

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ALTURA DE LANÇAMENTO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Paulo Roberto Trombetta¹

Jackson Antônio Carelli²

Resumo

As principais causas dos problemas em estruturas de concreto, como redução da durabilidade e resistência mecânica, são provenientes de falhas no processo de concretagem, por exemplo, nas etapas de lançamento ou adensamento do concreto. Neste estudo foram avaliados resultados de variação de resistência à compressão quando um concreto é lançado de alturas elevadas. Para tanto, foram definidas cinco alturas diferentes (1,5, 2,0, 2,5, 3,0 e 3,5 m) de lançamento de concreto, moldando-se três corpos de prova prismáticos de cada ponto de lançamento. Os corpos de prova tinham dimensões de 30 cm de largura, 15 cm de espessura e 50 cm de altura. Para a concretagem se utilizou um único traço de concreto, fazendo com que a altura fosse o principal fator de influência nos resultados. Para o teste de resistência à compressão foram extraídos testemunhos da base dos corpos de prova prismáticos. Observou-se nos resultados que, para a altura de lançamento de 1,5 m, os valores de resistência à compressão foram ligeiramente superiores que nos demais casos, o que indica que o lançamento do concreto de alturas mais elevadas pode resultar na perda de resistência à compressão. Os resultados das amostras do concreto lançado de 2,50 m tiveram uma divergência significativa em relação aos demais casos, indicando a ocorrência de algum problema, mas que não pode ser identificado. Verificou-se visualmente nos testemunhos extraídos a ausência de vazios oriundos de falhas de concretagem.

Palavras-chave: Concreto. Altura de lançamento. Resistência à compressão.

¹ Graduando no Curso de Engenharia Civil da Universidade do Oeste de Santa Catarina de Joaçaba; paulotronbeta@hotmail.com

² Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina; Professor na Universidade do Oeste de Santa Catarina; jackson.carelli@unoesc.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Mais do que um problema estético, os vazios ou nichos de concretagem, popularmente conhecidos como bicheiras, podem afetar a durabilidade e resistência mecânica das estruturas de concreto, que poderão sofrer deformações ou até mesmo entrar em colapso. As principais causas desse problema são as falhas no processo de concretagem da estrutura, por exemplo, no lançamento ou adensamento do concreto.

É comum a visualização de formação de vazios em razão da segregação em obras de construção civil, principalmente base de pilares, em que o lançamento normalmente é feito a alturas elevadas. Essa patologia, além de estética, pode gerar alto risco para uma estrutura, pois a resistência à compressão se torna deficitária.

Desse modo, este estudo foi realizado como o objetivo de avaliar a influência da altura de lançamento na resistência à compressão do concreto, procurando estabelecer resultados que determinem grandezas para a real influência do lançamento do concreto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a resistência à compressão do concreto é a propriedade mais valorizada por projetistas e engenheiros de controle de qualidade.

No concreto a resistência está relacionada à tensão necessária para causar a ruptura, sendo definida como a tensão máxima que a amostra do concreto pode suportar. No ensaio de compressão, o corpo de prova é considerado rompido, mesmo não havendo sinais visíveis de fratura externa. No entanto, as fissuras internas terão atingido um estado avançado tal que o corpo de prova não suporte uma carga maior.

2.2 SEGREGAÇÃO E EXSUDAÇÃO

De acordo com Neville e Brooks (2013), segregação define-se como a separação dos componentes de uma mistura heterogênea de modo que sua distribuição não seja mais uniforme. No caso do concreto, é a diferença entre as dimensões das partículas (e em algumas vezes a diferença entre a massa específica dos constituintes da mistura), que é a causa principal da segregação, mas sua amplitude pode ser controlada pela escolha de granulometrias adequadas e pelo cuidado no manuseio.

Há dois tipos de segregação. No primeiro, as partículas maiores tendem a se separar já que elas deslizam em superfícies inclinadas ou se assentam mais que partículas mais finas. A extensão real da segregação depende do método de manuseio e lançamento. Caso o concreto não tenha de ser transportado por grandes distâncias e seja lançado diretamente da caçamba ou carrinhos de mão em sua posição final nas formas, o risco de segregação é pequeno.

Porém, se o lançamento do concreto for de alturas consideráveis, passando por calhas, em especial com mudanças de direção e descarga contra um obstáculo, favorece a ocorrência de segregação, separando o agregado graúdo da pasta do concreto, portanto, nessas circunstâncias devem ser utilizadas misturas de maior coesão (NEVILLE; BROOKS, 2013).

A exsudação é o segundo tipo de segregação e é característica de misturas de concreto muito fluidas. Define-se exsudação como um fenômeno cuja manifestação externa é o surgimento de água na superfície após o concreto ter sido lançado e adensado, porém, antes de sua pega (isto é, quando a sedimentação não pode mais ocorrer). A água é o componente mais leve em uma mistura de concreto, assim, a exsudação é uma forma de segregação, porque os sólidos em suspensão tendem a se sedimentar sob a força da gravidade. A exsudação resulta da incapacidade dos materiais componentes em reterem toda a água de amassamento em um estado disperso, enquanto os sólidos mais pesados se assentam (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), não há ensaios para medir a segregação. A observação visual e a inspeção dos testemunhos extraídos de concreto endurecido normalmente são adequadas para determinar se a segregação ocorreu.

2.3 CONCRETAGEM DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Segundo Vasconcelos *et al.* (2011), pilares são elementos estruturais, usualmente dispostos na vertical, cuja função principal é receber as ações atuantes nos diversos níveis e conduzi-las até as fundações. Na execução da estrutura do pilar tem que haver um rígido controle de qualidade dentro das normas dos órgãos regulamentadores.

2.3.1 Dosagem do concreto

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a dosagem do concreto é o processo de obtenção da combinação correta de cimento, agregados, água, adições e aditivos, para produzir o concreto de acordo com as especificações dadas. Esse processo é considerado uma arte, mais do que uma ciência. O exercício dessa arte pode ser muito recompensador, já que os efeitos da dosagem no custo do concreto e em importantes propriedades, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, podem ser claramente percebidos.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), um dos objetivos da dosagem do concreto é obter um produto que atenda a certos requisitos predeterminados. Convencionalmente, os dois requisitos mais importantes são a trabalhabilidade do concreto no estado fresco e a resistência à compressão do concreto no estado endurecido em uma idade específica. A trabalhabilidade é composta pela combi-

nação de duas propriedades principais, quais sejam: a consistência (facilidade de fluidez) e a coesão (resistência à segregação). Ambas as propriedades tendem a ser afetadas de maneira oposta quando água é adicionada a uma mistura de concreto.

2.3.2 Lançamento

De acordo com Ribeiro (2007), chama-se de lançamento a operação de colocação do concreto nas formas. Nessa etapa, o maior cuidado é evitar a chamada segregação do concreto, que consiste na separação dos materiais componentes, com o consequente aparecimento de ninhos ou bicheiras, que o adensamento não conseguirá eliminar. Nesse caso, a grande porosidade será o fator causador da baixa qualidade da estrutura.

A segregação ocorre porque os materiais componentes têm massas específicas diferentes e com a queda ou lançamento tendem a se separar. Portanto, pode-se deduzir que o tipo de lançamento determina quais características do concreto devem ser reforçadas. Por exemplo, se os lançamentos forem realizados em alturas maiores é necessário se verificar os teores de argamassa e consistência adequados (boa coesão). Em peças verticais, como pilares e paredes, o cuidado é no sentido de se reduzir o fenômeno da exsudação e da segregação (RIBEIRO, 2007).

2.3.3 Adensamento

Conforme Vasconcelos *et al.* (2011), o adensamento consiste no processo manual ou mecânico para compactar uma mistura de concreto no estado fresco, com o intuito de eliminar vazios internos da mistura (bolhas de ar) e facilitar a acomodação do concreto no interior das formas, sendo comum utilizar o vibrador de imersão para adensar o concreto fresco. O concreto deve ser adensado imediatamente após seu lançamento nas formas, levando em conta que tanto a falta de vibração quanto o excesso podem causar sérios problemas na estrutura.

2.4 EXTRAÇÃO E ENSAIO DE TESTEMUNHOS

Segundo Itambé (2011), o ensaio de extração de testemunhos normalmente é requisitado quando ocorre resistência abaixo do projeto estabelecido pelo calculista das estruturas nas obras ou em fábrica de pré-moldados em geral. Sendo realizado com critério, é considerado confiável, porém, destrói parte da estrutura em decorrência dos furos necessários para a extração dos corpos de prova.

A NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b) delimita as condições de extração de testemunhos em estruturas de concreto. Indica que os testemunhos devem ser extraídos dos locais próximos ao centro do elemento estrutural e nunca a uma distância menor do que um

diâmetro do testemunho com relação às bordas ou juntas de concretagem. A distância mínima entre as bordas e perfurações não deve ser inferior a um diâmetro do testemunho. Ainda, indica que se a razão entre a altura e o diâmetro médio do testemunho for inferior a dois, a resistência de ruptura à compressão obtida deve ser corrigida multiplicando o valor da resistência pelo fator de correção h/d definido pela respectiva norma.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente foi realizada a compra dos materiais necessários em lojas de materiais de construção na Cidade de Irani, SC. Os ensaios foram posteriormente desenvolvidos no Laboratório de Engenharia Civil da Unoesc, localizada em Joaçaba, SC.

3.1 CORPOS DE PROVA DE CONCRETO

Para a realização deste trabalho foram confeccionados 15 corpos de prova de concreto, com uma seção transversal de 15 cm por 30 cm, e altura de 50 cm, conforme a Fotografia 1. As características tanto de seção quanto de dosagem de concreto foram mantidas as mesmas para todos os corpos de prova, com alteração apenas da altura de lançamento destes.

Fotografia 1 – Molde de corpo de prova



Fonte: os autores.

Para isso foram fixados em uma parede os complementos das fôrmas para que se pudesse ter diferentes alturas de lançamento, tendo assim a possibilidade de substituição das fôrmas na base, como mostra a Fotografia 2.

Inicialmente foi lançado o concreto à altura de 1,5 m, concretando três corpos de prova e utilizando apenas o complemento de fôrma inicial denominado C1, depois se inseriu mais um complemento de fôrma de 0,5 m denominado C2 fixado na parede e concretaram-se mais três corpos de prova, dessa vez com o concreto lançado a 2,0 m de altura. Repetiu-se esse processo por mais três vezes, sendo aplicados os complementos C3, C4 e C5, lançando o concreto de 2,5 m,

3,0 m e 3,5 m de altura, respectivamente, também com moldagem de três corpos de prova cada.

Fotografia 2 – Posicionamento das formas para lançamento do concreto



Fonte: os autores.

3.1.1 Execução do concreto

Para dar início à concretagem foi definido um traço unitário para o concreto de 1: 3,44: 2,56 (cimento, areia média e brita 1), com uma relação água/cimento de 0,8 e *slump* de 120 mm.

O volume necessário para preencher as 15 fôrmas e moldar mais seis corpos de prova cilíndricos era de aproximadamente 0,4 m³ de concreto, sendo maior que a capacidade da betoneira de 180 litros, necessitando, assim, ser dividido em três betonadas de concreto. Os materiais foram pesados e separados para a execução de cada betonada.

3.1.2 Lançamento do concreto

Antes do lançamento do concreto as fôrmas eram molhadas com auxílio de uma mangueira, posicionadas sob o primeiro complemento de fôrma e fixadas com cunhas de madeira na base. O primeiro complemento de fôrma denominado C1 mais a fôrma do corpo de prova resultou em uma altura de 1,5 m de lançamento, como demonstrado na Fotografia 3:

Fotografia 3 – Lançamento de concreto a 1,5 m



Fonte: os autores.

O lançamento do concreto era feito até preencher aproximadamente metade da fôrma, que então era removida para adensamento, com vibrador de imersão. Depois a fôrma era reposicionada e preenchida por completo, realizando-se, então, o adensamento do restante do concreto. Esse procedimento foi repetido na concretagem de todos os corpos de prova.

3.1.3 Extração de testemunhos

Para a extração dos testemunhos dos corpos de prova foi utilizada uma máquina extratora elétrica, também chamada de perfuratriz diamantada, acoplada com mangueira de água e uma bomba de vácuo para a fixação da máquina extratora. Esta possuía disco de corte com aproximadamente 10 cm de diâmetro.

O ponto onde foi feita a retirada dos testemunhos era demarcado com o auxílio de uma régua e giz de cera (Fotografia 4), posicionando a extração a 10 cm das bordas laterais e da base do corpo de prova, estando, assim, em acordo com a NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b).

Fotografia 4 – Identificação de testemunhos



Fonte: os autores.

Posicionou-se a máquina extratora sobre a marcação feita no corpo de prova e iniciou-se a extração dos testemunhos. Cada testemunho extraído era marcado na lateral com o mesmo nome do seu respectivo corpo

de prova para manter a sua identificação (Fotografia 5):

Fotografia 5 – Identificação de testemunhos



Fonte: os autores.

3.1.4 Ensaio de resistência à compressão

Para realizar o ensaio de resistência à compressão nos testemunhos extraídos foi necessário fazer a retificação das extremidades destes. Foram aferidas e anotadas as medidas de todos os testemunhos com o auxílio de um paquímetro, fazendo uma medida da altura e duas medidas do diâmetro para ser calculada a média.

Essas medidas anotadas eram inseridas no programa computacional da prensa, e então posicionados os respectivos testemunhos para rompimento. Também foram rompidos três corpos de prova cilíndricos, de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, moldados na mesma data e com o mesmo processo de cura ambiente, e outros três que passaram pelo processo de cura submerso e controle de temperatura, conforme recomenda a NBR

5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a). A prensa utilizada era da marca EMIC com capacidade de carga de 2000 kN. O rompimento de todas as amostras ocorreu aos 28 dias após a moldagem.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos testemunhos e corpos de prova cilíndricos de concreto, e também é apresentada uma análise do estado visual dos testemunhos.

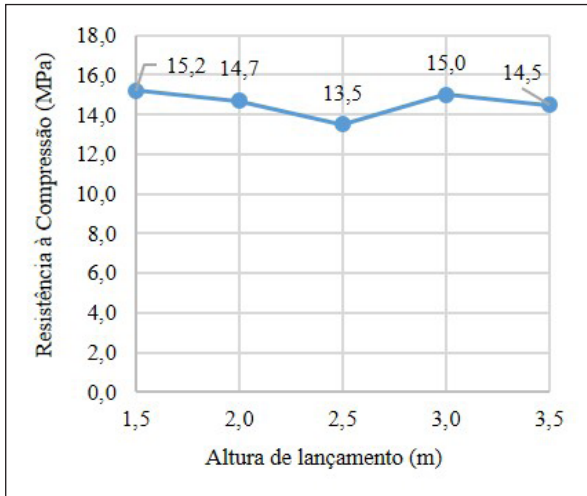
4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O ensaio de resistência à compressão foi realizado utilizando os testemunhos extraídos dos corpos de prova. Foram aferidas as dimensões de cada testemunho, em que se obteve a dimensão média de 14,7 cm de altura e 9,4 cm de diâmetro. Medidas estas que diferem dos corpos de prova comuns que usualmente são de 20,0 cm de altura por 10,0 cm de diâmetro, portanto, houve uma correção dos valores de tensão máxima obtidos nos relatórios de ensaio gerados pelo programa computacional do equipamento da prensa.

Para essa correção se obteve um fator de correção de 0,96. Este foi utilizado para todos os resultados de resistência à compressão dos testemunhos.

Para se fazer uma análise e comparativo desses dados, foram agrupados os resultados das médias de resistência à compressão de cada altura de lançamento, conforme mostra o Gráfico 1:

Gráfico 1 – Resistência à compressão média



Fonte: os autores.

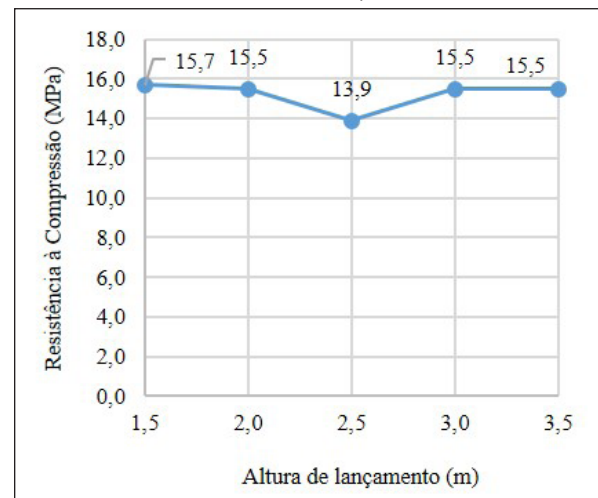
Como pode ser visualizado no Gráfico 1, houve uma ligeira redução no valor médio de resistência à compressão para lançamentos feitos de alturas superiores a 1,50 m.

Percebe-se que houve uma redução um pouco mais acentuada na altura de lançamento de 2,50 m (13,5 MPa), aumentando levemente os valores médios de resistência nas alturas superiores a esta. Esse contraste ocorrido na tendência de perda de resistência pode ter sido causado por diversos fatores, porém não é possível saber ao certo qual o fator agravante. Entretanto, uma condição que pode ser levada em consideração é o intervalo de tempo entre as concretagens de 2,50 m para 3,0 m e 3,5 m. A montagem de extensão de fôrma foi

mais demorada nesses dois últimos casos por não haver parede como apoio de fixação de extensão, levando assim mais tempo para fixá-la. Esse intervalo de tempo pode ter causado a perda de água no concreto por evaporação, diminuindo, dessa forma, o fator água/cimento e por consequência tornando o concreto mais resistente. Além disso, com menor fluidez, menor a possibilidade de segregação e exsudação no concreto. Outro fator que pode ser apontado para esse diferencial de resultados é que durante o processo de adensamento o vibrador de imersão tenha sido inserido por mais ou menos tempo, intervindo na eliminação de vazios, o que interfere diretamente na resistência à compressão.

Também foram agrupados os valores máximos de resistência à compressão ocorridos em cada altura de lançamento para que fosse feita uma segunda análise, conforme mostra o Gráfico 2:

Gráfico 2 – Resistência à compressão máxima



Fonte: os autores.

Percebe-se novamente a semelhança nos valores encontrados com pequenas reduções na resistência à compressão para alturas de lançamento do concreto superiores a 1,50 m, todavia, com uma redução um pouco mais acentuada na resistência do ponto de lançamento a 2,5 m de altura, sendo condizente com os valores apresentados no Gráfico 1.

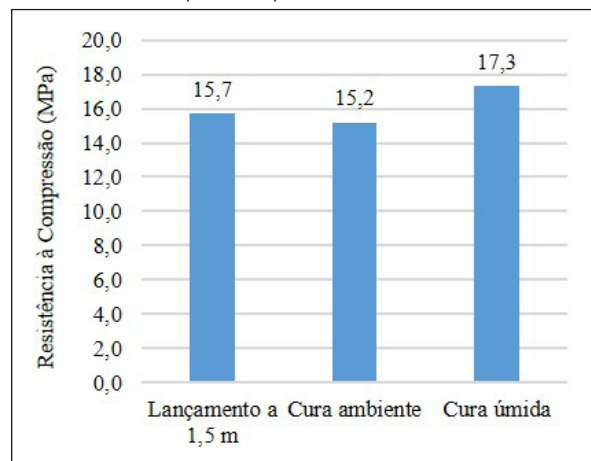
Apesar da pouca diferença nos valores encontrados, percebe-se que tanto se avaliando pela média quanto pelo maior valor dos testemunhos extraídos, em cada altura de lançamento do concreto o maior valor de resistência à compressão ocorreu para a menor altura de lançamento, confirmando o que é encontrado em bibliografias, sendo que quando lançado mais próximo de sua posição final, menor é o risco de ocorrência de segregação e perda de resistência mecânica.

4.1.1 Comparativo com corpos de prova cilíndricos moldados conforme a NBR 5739

No momento da concretagem das amostras para a extração dos testemunhos foram moldados três corpos de prova cilíndricos submetidos à cura controlada de umidade e temperatura, e outros três que ficaram em cura ambiente, ou seja, da mesma forma que os testemunhos. No Gráfico 3 são apresentados os valores máximos alcançados pelo concreto em ambas as condições de cura, bem como

o valor máximo do testemunho extraído da amostra com lançamento de concreto a 1,50 m, sendo este o que apresentou o maior valor de todas as alturas de lançamento de concreto avaliadas no item anterior.

Gráfico 3 – Comparativo de resistência à compressão entre testemunho e corpos de prova de 10 x 20 cm



Fonte: os autores.

Percebe-se que tanto o testemunho de concreto quanto o corpo de prova, ambos com cura ambiente, apresentaram valores similares. Todavia, quando se observa o corpo de prova que foi curado atendendo às condições da NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a), houve um acréscimo no valor da resistência à compressão de aproximadamente 10% e 14%, respectivamente, para o testemunho e corpo de prova curados em condições ambientais. Esse fato evidencia que normalmente a cura dos elementos estruturais de concreto em condições reais de utilização possivelmente apresentará valores inferiores daqueles verificados em laboratório. Desse modo, torna-se indispensável que se faça a cura

dos elementos em obra, seguindo todas as recomendações normativas.

4.2 ANÁLISE VISUAL DOS TESTEMUNHOS

De modo geral, foram verificados os testemunhos e constatou-se que não houve a formação de grandes vazios (Fotografia 6) frequentemente encontrados em pilares concretados a alturas elevadas. Visualizaram-se apenas pequenos poros distribuídos nos testemunhos.

Fotografia 6 – Testemunho



Fonte: os autores.

Essa ausência de vazios se deve principalmente ao fato de se ter sido feito o adensamento com vibrador de imersão em duas camadas no momento da concretagem dos corpos de prova prismáticos, expulsando praticamente todo o ar do concreto fresco e fazendo com que a argamassa do concreto preenchesse os vazios entre os agregados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos e a partir dos ensaios realizados nos testemunhos extraídos dos corpos de prova prismáticos de concreto, concretados com a utilização de diferentes alturas de lançamento, podem-se admitir as conclusões a seguir relacionadas.

Observou-se nos resultados que a resistência à compressão das amostras que tiveram lançamento do concreto à altura de 1,5 m foi ligeiramente superior que às demais. Os resultados das amostras lançadas de 2,50 m de altura tiveram uma divergência elevada em relação às demais, fato que comprometeu em partes o resultado desta pesquisa.

Pode-se concluir, também, mesmo não sendo o principal objetivo do trabalho, que a cura úmida com temperatura controlada do concreto tem uma elevada influência em sua resistência final, chegando a um acréscimo superior de 10% no valor da resistência à compressão do concreto curado em condições ambientais normais.

Outra consideração importante é que avaliando visualmente os testemunhos

extraídos dos corpos de prova, observou-se a ausência de vazios, como falhas de concretagem, que são comuns quando ocorre lançamento de concreto de alturas elevadas. Essa ausência se deve, sobretudo, ao fato de ter sido feito o adensamento com vibrador de imersão. Porém, em obra, deve-se tomar cuidado com essa situação, visto que em pilares dificilmente o adensamento do concreto ocorre por meios mecânicos, como os utilizados neste estudo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738** – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739** – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7680** – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2015b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67** – Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ITAMBÉ. **Apostila de ensaios de concretos e agregados**. 3. ed. Curitiba: [S. n.], 2011.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M., **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Editora Ibracon, 2008.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=cqY5AgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt=BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 5 set. 2015.

RIBEIRO, Rosemeri. Proteja seu Concreto. **Itambé**, 18 dez. 2007. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/proteja-seu-concreto-3/>. Acesso em: 5 set. 2015.

VASCONCELOS, Ananda *et al.* **Boas práticas na concretagem de pilar**. [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em: <http://docslide.com.br/documents/boas-praticas-na-concretagem-pilar.html>. Acesso em: 5 set. 2015.