

9

Controle da Resistência do Concreto
Control de la Resistência del Hormigón
Conformity Control for Compressive Strength

Boletín Técnico

Jéssika Pacheco & Paulo Helene

Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología
y Recuperación de la Construcción - ALCONPAT Int.



Elaboración de:



PREFÁCIO

Com o grande desenvolvimento atual dos meios de comunicação e de transporte, há efetiva possibilidade e necessidade de integração dos profissionais dos países Ibero-americanos, conscientes de que o futuro inscreve-se numa realidade social onde o conhecimento científico e o desenvolvimento tecnológico são as ferramentas corretas a serem utilizadas em benefício da sustentabilidade e qualidade de vida de nossos povos.

É missão e objetivo da ALCONPAT (Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción) ser um forte instrumento de união, desenvolvimento e difusão dos conhecimentos gerados pela comunidade da construção civil, com foco nos materiais e na gestão da qualidade de obras em andamento, no estudo dos problemas patológicos, na manutenção, recuperação e proteção do enorme patrimônio construído e na prevenção de falhas de projeto e construção em obras novas.

Desde sua fundação no ano de 1991 em Córdoba, Argentina, os membros da ALCONPAT Internacional e de suas delegacias e entidades nacionais, vêm organizando cursos, seminários, palestras e, nos anos ímpares o tradicional e reconhecido congresso científico CONPAT, já realizado de forma itinerante em onze diferentes países da Ibero-américa.

Com o objetivo de fortalecer essa integração e valorizar ainda mais a Construção Civil desses países, a ALCONPAT instituiu, em 2011, a “Comisión Temática de Procedimientos Recomendables” sob a profícua coordenação do Prof. Dr. Bernardo Tutikian. Essa Comissão tem o objetivo de levantar temas de interesse da comunidade, buscar um especialista que se disponha a pesquisar e escrever sobre o assunto, voluntariamente, e divulgar esse conhecimento na comunidade Ibero-americana.

O conteúdo deve ser claro, objetivo, com bases científicas, atualizado e não muito extenso, fornecendo a cada leitor profissional as bases seguras sobre um tema específico de forma a permitir seu rápido aproveitamento e, quando for o caso, constituir-se num ponto de partida seguro para um desenvolvimento ainda maior daquele assunto.

O resultado dessa iniciativa agora se cristaliza na publicação de 10 textos fantásticos, em forma de fascículos seriados, cuja série completa ou coletânea se denomina “O QUE É NA CONSTRUÇÃO CIVIL?”. Se tratam de textos conceituais visando o nivelamento do conhecimento sobre as principais “palavras de ordem” que hoje permeiam o dinâmico setor da

Construção Civil, entre elas: Sustentabilidade, Qualidade, Patologia, Terapia, Profilaxia, Diagnóstico, Vida Útil, Ciclo de Vida, e outras, visando contribuir para o aprimoramento do setor da construção assim como a qualificação e o aperfeiçoamento de seus profissionais.

Por ter um cunho didático, os diferentes temas são abordados de modo coerente e conciso, apresentando as principais etapas que compõem o ciclo dos conhecimentos necessários sobre aquele assunto. Cada fascículo é independente dos demais, porém o seu conjunto constituirá um importante referencial de conceitos utilizados atualmente na construção civil.

O curto prazo disponível para essa missão, de repercussão transcendental aos países alvo, foi superado vitoriosamente e esta publicação só se tornou realidade graças à dedicação, competência, experiência acadêmica, profissionalismo, desprendimento e conhecimento do Coordenador e Autores, apaixonados por uma engenharia de qualidade.

Estes textos foram escritos exclusivamente por membros da ALCONPAT, selecionados pela sua reconhecida capacidade técnica e científica em suas respectivas áreas de atuação. Os autores possuem vivência e experiência dentro de cada tópico abordado, através de uma participação proativa, desinteressada e voluntária.

O coordenador, os autores e revisores doaram suas valiosas horas técnicas, seus conhecimentos, seus expressivos honorários e direitos autorais à ALCONPAT Internacional, em defesa de sua nobre missão. Estimou-se essa doação em mais de 500h técnicas de profissionais de alto nível, a uma média de 50h por fascículos, acrescidas de pelo menos mais 200h de coordenação, também voluntária.

Todos os recursos técnicos e uma visão sistêmica, necessários ao bom entendimento dos problemas, estão disponíveis e foram tratados com competência e objetividade, fazendo desta coletânea uma consulta obrigatória. Espera-se que esta coletânea venha a ser amplamente consultada no setor técnico-profissional e até adotada pelas Universidades Ibero-americanas. Esta coletânea é mais um esforço que a ALCONPAT Int. realiza para aprimoramento e atualização do corpo docente e discente das faculdades e universidades, assim como para evolução dos profissionais da comunidade técnica ligada ao construbusiness, valorizando indistintamente a contribuição da engenharia no desenvolvimento sustentado dos países Ibero-americanos.

Mérida - México, março de 2013

Prof. Paulo Helene
Presidente ALCONPAT Internacional

Prof. Bernardo Tutikian
Coordenador Comisión Temática de Procedimientos Recomendables

Junta Directiva de ALCONPAT Internacional (bienio jan.2012/dez. 2013):

<i>Presidencia:</i>	<i>Prof. Paulo Helene</i>
<i>Presidência de Honor:</i>	<i>Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho</i>
<i>Vicepresidente Administrativo:</i>	<i>Profa. Maria Ysabel Dikdan</i>
<i>Vicepresidente Técnico:</i>	<i>Profa. Angélica Piola Ayala</i>
<i>Secretario Ejecutivo:</i>	<i>Prof. José Manuel Mendoza Rangel</i>
<i>Director General:</i>	<i>Dr. Pedro Castro Borges</i>
<i>Gestor:</i>	<i>Ing. Enrique Crescencio Cervera Aguilar</i>

Sede permanente ALCONPAT:

CINVESTAV Mérida México
<http://www.alconpat.org>
Dr. Pedro Castro Borges

Presidente Congreso CONPAT 2013

Prof. Sérgio Espejo

Comisiones Temáticas:

<i>Publicaciones</i>	<i>Dr. Pedro Castro Borges</i>
<i>Educación</i>	<i>Prof^a. Liana Arrieta de Bustillos</i>
<i>Membrecía</i>	<i>Prof. Roddy Cabezas</i>
<i>Premiación</i>	<i>Prof^a. Angélica Piola Ayala</i>
<i>Procedimientos Recomendables</i>	<i>Prof. Bernardo Tutikian</i>
<i>Relaciones Interinstitucionales</i>	<i>Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho</i>
<i>Historia ALCONPAT</i>	<i>Prof. Dante Domene</i>
<i>Boletín de Noticias</i>	<i>Arq. Leonardo López</i>

Missão da ALCONPAT Internacional:

ALCONPAT Internacional es una Asociación no lucrativa de profesionales dedicados a la industria de la construcción en todas sus áreas, que conjuntamente trabajan a resolver los problemas que se presentan en las estructuras desde la planeación, diseño y proyecto hasta la ejecución, construcción, mantenimiento y reparación de las mismas, promoviendo la actualización profesional y la educación como herramientas fundamentales para salvaguardar la calidad y la integridad de los servicios de sus profesionales.

Visão da ALCONPAT Internacional:

Ser la Asociación de especialistas en control de calidad y patología de la industria de la construcción con mayor representatividad gremial y prestigio profesional reconocido internacionalmente, buscando siempre el beneficio social y el óptimo aprovechamiento de los recursos humanos, materiales y económicos para la construcción de estructuras sustentables y amigables con el medio ambiente.

Valores de ALCONPAT Internacional:

Ciencia, Tecnología, Amistad y Perseverancia para el Desarrollo de América Latina.

Objetivos da ALCONPAT Internacional:

ARTÍCULO 1.2 del Estatuto. ALCONPAT se define como una asociación sin fines de lucro, cuyos fines son:
a) Contribuir al desarrollo científico y técnico de toda la comunidad Latinoamericana relacionada con la construcción y sus materiales, con énfasis en la gestión de la calidad, la patología y la recuperación de las construcciones.
b) Actuar como un interlocutor cualificado, tanto de la propia sociedad civil como de sus poderes públicos representativos.
c) Promover el papel de la ciencia y la tecnología de la construcción y sus materiales, y contribuir a su difusión como un bien necesario que es para toda la sociedad Latinoamericana y Iberoamericana.



09

ALCONPAT Internacional

Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y
Recuperación de la Construcción

Boletín Técnico

Control de la resistencia del hormigón
Controle da resistência do concreto
Conformity control for compressive strength

Jéssika Pacheco
Paulo Helene
PhD Engenharia. BRASIL

Introdução

Em geral as operações de controle da resistência à compressão do concreto são entendidas como operações de controle de qualidade do concreto. Essa interpretação se deve ao fato desses procedimentos estarem fundamentados num conceito estatístico, em variáveis aleatórias e contínuas, com amostragem e ensaios padronizados, similar à metodologia utilizada para controle de qualidade de produtos nas indústrias.

No transcorrer deste texto demonstra-se que esse controle de qualidade do concreto, focado no controle da resistência à compressão do concreto, é apenas uma parte do importante controle tecnológico das estruturas de concreto, que, esse sim, poderá assegurar qualidade ampla à estrutura final.

O controle da resistência à compressão do concreto das estruturas de edificações e obras de

arte é parte integrante da introdução da segurança no projeto estrutural, sendo indispensável a sua permanente comprovação, conhecido também por controle de recebimento ou de aceitação do concreto.

Avaliar se o que está sendo produzido corresponde ao que foi adotado previamente por ocasião do dimensionamento da estrutura faz parte da própria concepção do processo construtivo como um todo.

Em várias partes do mundo e também no Brasil, com início de discussões a partir de meados da década de 50 (*Himsworth, 1954*), houve a introdução do conceito de resistência característica associada a um quantil inferior de uma curva de distribuição normal ou de Gauss.

No fim da década de 50 e início da década de 60, esses conceitos foram definitivamente incorporados às normas de projeto com a introdução da norma *ABNT NB 1:1960 Projeto e Execução de Obras de*

Concreto Armado. Procedimento, do conceito de resistência característica, f_{ck} (na época denominada resistência mínima com a notação de σ_R) associado ao quantil inferior de 5%.

De 1960 a 1978 experiências internacionais e o desenvolvimento da estatística para a estimativa de um quantil (*Anton Corrales, 1972*) permitiram a atualização do texto dessa norma pioneira, dando origem à *ABNT NB 1:1978*, também identificada por *ABNT NBR 6118:1978*, ocorrendo o mesmo nas normas equivalentes da Espanha, Portugal, Alemanha, USA e outras, ainda que com quantis variáveis de 5% a 10%.

Ao longo dos últimos anos, devido a questões práticas e conceituais, essas normas pioneiras que abrangiam projeto, controle e execução de estruturas de concreto foram desmembradas em outras mais específicas. No Brasil, atualmente o tema é tratado em três outras: a *ABNT NBR 6118:2007*, que se destina ao projeto estrutural; a *ABNT NBR 12655:2006*, que trata da produção e controle de aceitação do concreto; e a *ABNT NBR 14931:2004* que trata da execução de estruturas de concreto. Na Europa, a produção, controle e critérios de aceitação também não consta mais do *EuroCode II* e sim de uma

norma específica, a *EN 206:2000 Concrete: specification, performance, production and conformity*.

Além destas, outras normas específicas tratam da produção do concreto em canteiro e em Centrais, de amostragem de concreto fresco, de classificação dos concretos, de ensaios de ruptura, de ensaios não destrutivos e de ensaios de extração de testemunhos.

Esse conjunto consistente de textos, por vezes desconhecido, em sua totalidade, da maioria dos engenheiros, tranquilizam projetistas, construtores, produtores de concreto, consultores e laboratórios de controle, que têm numa normalização abrangente, um referencial seguro e legal de seu exercício profissional, minimizando desentendimentos e desgastes entre as partes.

Neste Boletim Técnico, procurar-se-á relembrar alguns conceitos básicos indispensáveis à implantação de um programa de controle visando à segurança estrutural, ao mesmo tempo em que se apresenta a sistemática atualmente recomendada pela *ABNT NBR 12655:2006*, focando-se no controle de aceitação ou, também denominado, de recebimento ou de conformidade do concreto.

1. Como é obtida a resistência

Por convenção, no Brasil, a resistência à compressão, de referência do concreto para fins de introdução da segurança no projeto estrutural e para fins de controle, é obtida através da tensão de ruptura à compressão axial de um cilindro de concreto, que deve ter altura igual ao dobro do diâmetro, que por sua vez pode ser de 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cm ou 45cm (vide Fig. 1b).

As medidas possuem tolerância de 1% para o

diâmetro, e 2% para a altura. Hoje em dia, para um corpo de prova usual, utilizado no controle de edificações urbanas, as dimensões ideais seriam: (100±1)mm por (200±4)mm.

Em alguns países são adotados corpos de prova cúbicos, em outros, prismáticos. Para controle de resistências à tração e à flexão são adotados outros procedimentos e corpos de prova de geometrias próprias, não abordados neste documento.

2. Coleta e amostragem

A coleta do concreto deve ser realizada em conformidade com a norma *Mercosur ABNT NBR NM 33:1998* Amostragem de concreto fresco. Método de ensaio.

Nos casos triviais, na chegada à obra do caminhão betoneira, após bem misturar o concreto, deve ser retirada uma pequena porção de concreto para ensaios de consistência do concreto fresco e liberação

da descarga, em conformidade com a *ABNT NBR NM 67:1998 Concreto. Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Método de Ensaio*, ou também em conformidade com os métodos destinados a concretos auto-adensáveis conforme *ABNT NBR 10823:2010*.

Para aferir a resistência à compressão desse concreto, essa norma determina a retirada de

outra porção específica de concreto, pertencente ao concreto proveniente do volume do terço médio do balão do caminhão betoneira.

Os autores deste artigo recomendam retirar essa porção do último terço do volume total desse balão. Do ponto de vista físico ou de engenharia de concreto, tanto faz. Do ponto de vista matemático, retirar concreto do volume correspondente ao terço

3. Moldagem dos corpos de prova

A moldagem ou preenchimento dos moldes deve atender um procedimento rigoroso que no Brasil está descrito na *ABNT NBR 5738:2003 Concreto. Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova*. Em princípio, cada molde cilíndrico de 10cm por 20cm deve ser preenchido em duas camadas, com 12 golpes por camada, quando o adensamento é feito com soquete manual, ou em uma camada

4. Ensaio de resistência

Para o ensaio de ruptura deve ser atendido, no Brasil, o método *ABNT NBR 5739:2007 Concreto. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*, observando-se muito cuidado com a preparação dos topos dos corpos de prova, sendo ideal a chamada “retificação” dos topos (vide Fig. 1c).

Por razões sustentáveis é aconselhável não mais usar pasta de base enxofre, e, por dificuldades operacionais, também não usar argamassa ou pasta de cimento. Também deve-se evitar usar neoprene, escovas ou outros produtos e artifícios equivalentes ainda não considerados nas normas e que, via de regra, reduzem a resistência potencial do concreto, comparativamente ao procedimento com topo retificado e aderência entre o topo e o prato da prensa.

Outro cuidado é o ajuste da velocidade de carga que muda segundo o diâmetro do corpo de prova e que deve estar dentro dos limites especificados pelo método, sendo que velocidades muito rápidas podem aumentar falsamente a resistência e velocidades muito lentas reduzi-las.

O resultado do ensaio de compressão axial é indicado com a notação f_{ci} , e normalmente expresso em MPa (cerca de 10 kgf/cm² ou 1 N/mm² ou 145psi)

central é mais representativo.

Porém, do ponto de vista de reduzir o risco de erro humano, retirar concreto do terço final significa inibir até esse final que seja lançada água em excesso no balão, ou seja, reduz o risco humano de haver distorção premeditada e intencional no traço que prejudique a qualidade original do concreto (*Helene, 2012*).

quando se utilizam vibradores eletro-mecânicos com diâmetro da agulha de, no máximo, 25mm. Para concretos autoadensáveis (SCC) é dispensado o adensamento mecânico e o manual pode ser leve.

Mantém-se os corpos de prova em câmara úmida [UR ≥ 95% e $\theta = (23 \pm 2)^\circ\text{C}$] até a idade de ensaio, devendo ser rompido “saturado”. (vide Fig. 1a)

O ideal é que todos os ensaios sejam realizados por Laboratórios competentes e supervisionados por um sistema de qualidade tipo os pertencentes à RBLE – Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio – acreditados para essa finalidade. A RBLE é um conjunto de laboratórios credenciados pelo INMETRO, segundo os requisitos da norma *ABNT NBR ISO/IEC 17025*, considerados habilitados para a realização de serviços de ensaios.

O credenciamento estabelece mecanismos para comprovar que os laboratórios empregam um sistema de qualidade; que possuem competência técnica, que tenham laboratoristas certificados pelo INMETRO / IBRACON (*Carromeu, 2012*).

A eficiência das operações de ensaio é decisiva para a obtenção de um valor confiável e que possa ser tomado como característico de certo lote de concreto.

Um capeamento insatisfatório dos topos dos corpos de prova ou um adensamento deficiente poderão reduzir em até 50% o valor da resistência à compressão do concreto de um certo corpo de prova (*Helene, 1987*).

As operações de ensaio estão estabelecidas para obter a máxima resistência potencial daquele concreto. Essas operações são consideradas a melhor forma de adensar, sazonar e ensaiar um concreto e,



Figura 1. (a) Câmara úmida para cura dos corpos-de-prova (Imagem acervo PINI, Revista Técnica, edição 166. Janeiro de 2011); (b) Corpos de prova cilíndricos adotados no Brasil como referência de projeto e para controle da resistência à compressão do concreto (imagem acervo Rubens Bittencourt. Furnas, 2011); (c) Retificação dos topos dos corpos de prova para ensaio (Imagem acervo PINI, Revista Técnica, edição 166. Janeiro de 2011); (d) Ensaio de ruptura (Imagem acervo PINI, Revista Técnica, edição 166. Janeiro de 2011).

portanto, sendo bem realizadas vão medir a “máxima” ou “potencial” resistência desse volume de concreto que esse corpo de prova representa. Qualquer falha

operacional vai reduzir essa resistência, advindo desse conceito a importância de operações de ensaio corretamente executadas.

5. Importância da resistência à compressão

A resistência à compressão é a propriedade do concreto adotada por ocasião do dimensionamento da estrutura. Portanto, está diretamente ligada à segurança e estabilidade estrutural.

A estrutura deve ser construída com um concreto de resistência à compressão igual ou superior àquele valor adotado no projeto estrutural e tomado como referência para fins de controle.

Portanto, conceitualmente, não é a resistência do concreto na estrutura, conhecida por resistência à compressão “efetiva” ($f_{c,ef}$) ou “real” do concreto que deve ser controlada.

O referencial de segurança e controle é a resistência obtida no corpo de prova padrão, amostrado, moldado, curado e ensaiado em condições ideais para “potencializar” a resistência intrínseca daquele traço de concreto, ou seja, operações de ensaio programadas para alcançar a máxima resistência potencial daquele material ($f_{c,i}$).

Por outro lado, não há dúvida de que a propriedade do concreto que melhor o qualifica é a resistência à compressão, para a maioria das aplicações correntes. Desde que na sua dosagem e preparação tenham sido levados em conta também os aspectos de trabalhabilidade, deformabilidade e durabilidade (Castro-Borges, 2007) – optando-se por determinada curva granulométrica, tipo e classe de cimento, relação água/cimento, adições, aditivos, fibras, etc. – e, conseqüentemente, daí resultando uma certa resistência à compressão, qualquer modificação na uniformidade, natureza e proporcionamento desses materiais especificados poderá ser captada por uma variação na resistência.

A resistência à compressão é uma propriedade muito sensível, capaz de indicar com presteza as eventuais variações da “qualidade” de um concreto, da dosagem ou de seus insumos.

6. Limitações do controle da resistência

Toda estrutura de concreto, depois de acabada, possui uma série de características próprias

que a diferença daquela que foi especificada através do conjunto de documentos que compõe o projeto estrutural.

O aço e o concreto não possuem exatamente a resistência característica especificada. As armaduras não estão perfeitamente nas posições desenhadas, as fôrmas não têm as dimensões especificadas no projeto, os pilares não guardam o prumo nem o alinhamento (excentricidade) perfeito, o concreto da obra não é uniforme e pode ter ninhos de concretagem, a cura pode ter sido inadequada, a história de carregamento pode ter sido imprópria e certamente diferente daquela considerada no cálculo estrutural, etc.

A etapa de execução propriamente dita da

obra estará sujeita a variações aleatórias de tal modo que não é possível prever com certeza qual será o resultado da resistência final do elemento estrutural analisado.

O grau de concordância dessas características finais com aquelas que foram anteriormente adotadas e especificadas no projeto pode medir a qualidade, e conseqüentemente a confiabilidade ou rigor da execução. Esse rigor será tanto mais alto quanto maior a conformidade do executado ao que foi projetado.

O controle da resistência à compressão do concreto situa-se dentro dessa necessidade de comprovação daquilo que está sendo executado frente ao que foi adotado no projeto da estrutura.

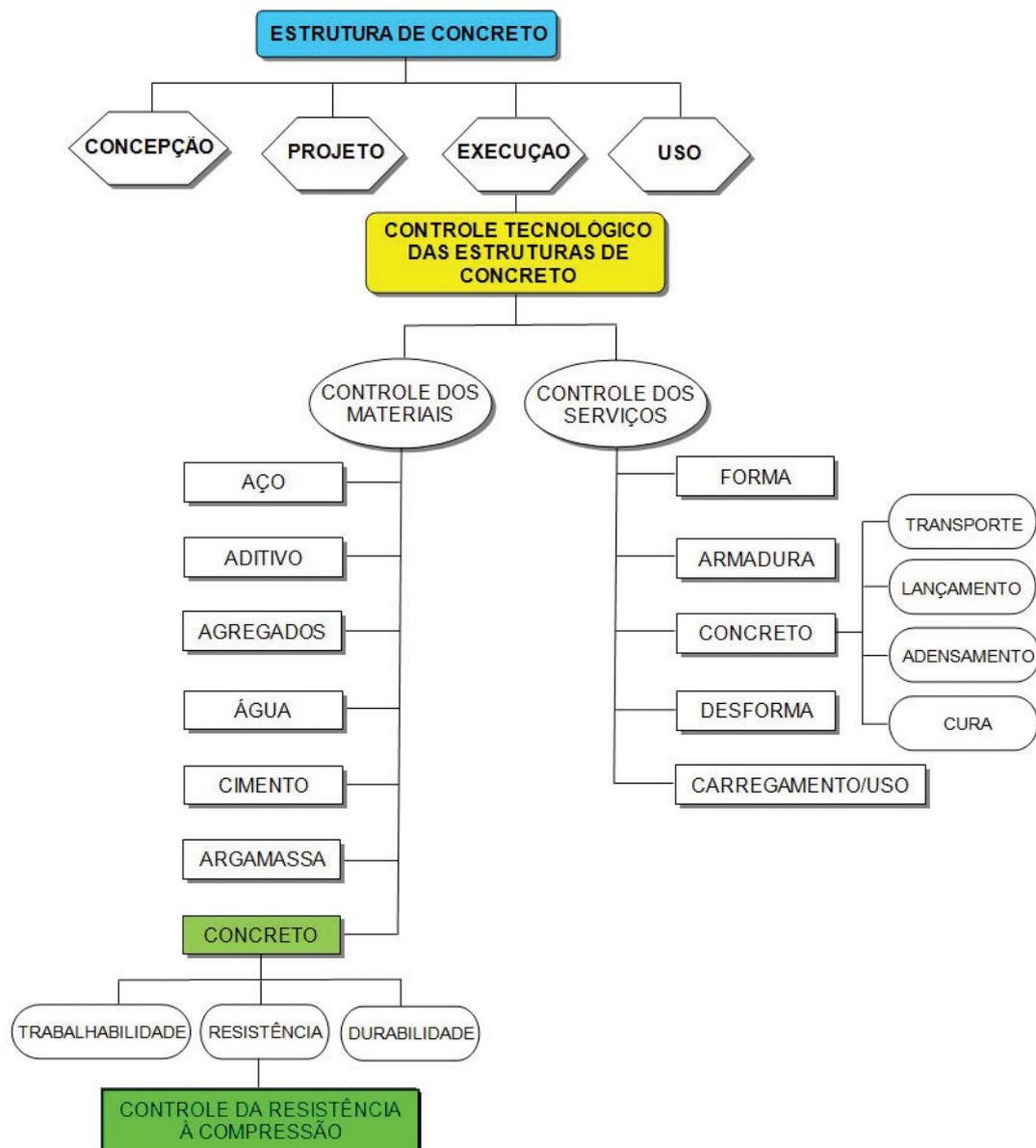


Figura 2. Diagrama de blocos que esquematicamente situa o controle da resistência à compressão do concreto dentro da problemática mais ampla de controle tecnológico das estruturas de concreto (Terzian, 1992).

Apesar de que pode ser considerado um dos mais importantes e obrigatório acompanhamento a ser feito durante a execução da estrutura, não deve ser confundido com o **controle tecnológico** das estruturas de concreto, conforme se expõe na Fig. 2.

Como a figura em questão mostra, não está implícito que, ao fazer o controle da resistência à compressão do concreto, resultará uma estrutura segura e com alta qualidade, confiabilidade ou rigor. Da mesma forma, só com o controle de recebimento do concreto não se pode garantir que a estrutura final atende integralmente o projeto.

O controle tecnológico de uma estrutura engloba a conferência de posição e bitola das armaduras,

a geometria, o alinhamento (excentricidade), o prumo, a estanqueidade e resistência das fôrmas, a qualidade dos materiais do traço, a eficiência da produção, as operações de transporte, lançamento e adensamento do concreto, o escoramento e a retirada do escoramento, o módulo de elasticidade, e outras variáveis de menor importância.

Portanto, o controle estatístico da resistência à compressão do concreto, que utiliza as técnicas de controle de qualidade de um produto, é um dos recursos - sem dúvida um dos mais importantes - porém, apenas mais um dos recursos do controle tecnológico das estruturas de concreto.

7. Significado da resistência à compressão do concreto

Vários são os fatores que intervêm na resistência à compressão do concreto da estrutura, desde a heterogeneidade e proporção dos materiais até o transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto na obra.

No entanto, a resistência à compressão do concreto, de controle e de referência, restringe-se à resistência potencial do concreto, medida na “boca” da betoneira conforme indicado na Fig. 3.

O valor da resistência potencial do concreto

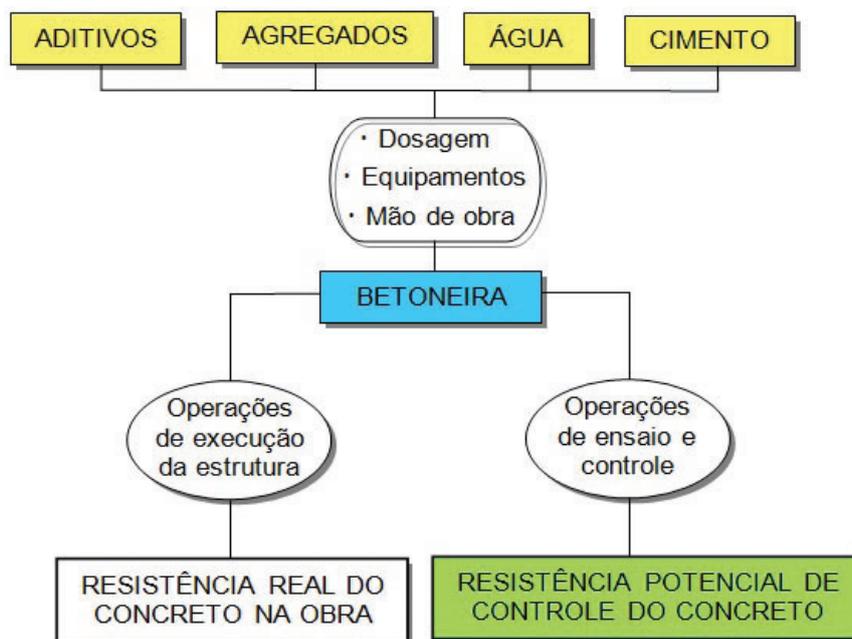


Figura 3. Significado da resistência à compressão do concreto obtida através do controle do concreto. Notar que sempre vai haver diferenças entre resistência real ou efetiva do concreto na estrutura e a resistência de controle ou potencial, de referência.

obtido através das operações de ensaio e controle é o valor de referência para a segurança e o dimensionamento da estrutura.

Precisa ser um valor único e perfeitamente definido a fim de permitir a comunicação entre as etapas de projeto e execução da obra.

Essa necessidade invalida a prática – felizmente

cada vez menos usual – de procurar manter o corpo de prova em condições iguais à do concreto da estrutura.

Essa igualdade nunca poderia ser alcançada (diferenças de geometria, de acabamento superficial, de adensamento) ao mesmo tempo em que o resultado deixaria de ser único, tornando-o inviável para ser tomado como referência.

8. Correspondência entre o valor de controle e o efetivo da obra

A correspondência entre a resistência potencial do concreto à compressão, obtida através das operações de ensaio e controle e a resistência real ou efetiva do concreto na estrutura, deve ser assegurada através do **controle tecnológico** dos serviços envolvidos e é independente dos ensaios de recebimento (vide Fig. 4).

Os desconhecimentos relativos às variáveis que intervêm nessa diferença entre “moldado” e “efetivo” são englobados pelo coeficiente de minoração da resistência à compressão do concreto, γ_c , desde que a execução obedeça às técnicas atuais de bem construir, e os desvios estejam dentro das tolerâncias expressas nos manuais de boas práticas de engenharia e na *ABNT NBR 14931:2004 Execução de estruturas de concreto. Procedimento*.

O valor usual de γ_c no Brasil é 1,4 e no *EuroCode II, ACI 318 e fib Model Code 2010* esse valor é variável, de 1,18 a 1,65, segundo o caso, natureza do esforço, etc. Isso equivale dizer que a resistência à compressão do concreto do componente estrutural (resistência efetiva) será sempre inferior, – na mesma idade e condições de carregamento – que a resistência à compressão obtida dos corpos de prova de controle. (*Joint Committee, 1975*).

Portanto, nem sempre rejeitar um concreto cuja resistência à compressão no ensaio de controle não atendeu ao especificado, significa rejeitar automaticamente o concreto da estrutura, pois na estrutura ele terá uma resistência diferente e chamada de “efetiva”, que eventualmente poderá, ou não, atender ao projeto estrutural (*Calavera Ruiz, 1975*).



Figura 4. Esmagamento de concreto em pilar de obra: (a) e (c) devido à má execução (bicheiras) e (b) devido a erro de projeto (dimensionamento insuficiente). Na esmagadora maioria das vezes, a resistência à compressão efetiva do concreto na obra é inferior à do concreto medida no corpo de prova de referência. O corpo de prova de controle mede a resistência potencial do concreto na “boca da betoneira”, sob condições ideais de adensamento, cura e ensaio.

9. Como a estatística pode ajudar

O objetivo maior de um programa de controle da resistência à compressão do concreto é a obtenção de um valor potencial, único e característico da resistência à compressão de certo volume de concreto, a fim de comparar esse valor com aquele que foi especificado no projeto estrutural e, conseqüentemente, tomado como referência para a segurança e o dimensionamento da estrutura.

Os valores de ensaio que se obtêm dos diferentes corpos de prova são mais ou menos dispersos, variáveis de uma obra a outra, conforme o rigor de produção do concreto. Por exemplo, conhecidos os resultados de n exemplares obtidos a partir de um certo número de corpos de prova de um mesmo concreto, como determinar um valor que seja

representativo daquele concreto?

Por razões óbvias de comportamento estrutural onde uma seção transversal de pilar tem importância tão determinante quanto os elos de uma corrente, verifica-se facilmente que só a média dos resultados não seria suficiente para definir e qualificar uma produção de concreto. É necessário considerar também a dispersão dos resultados, que pode ser medida através do desvio padrão ou do coeficiente de variação do processo de produção.

Para eliminar o inconveniente de ter que trabalhar com dois parâmetros, foi adotado o conceito de resistência característica do concreto à compressão, que é uma medida estatística que engloba a média e a dispersão dos resultados, permitindo

definir e qualificar um concreto através de apenas um valor característico.

As técnicas atuais de controle estão desenvolvidas

para a obtenção desse valor característico que é também o valor adotado no projeto estrutural para fins de segurança.

10. O que é resistência característica do concreto

Admite-se, ou melhor, convencionou-se que a função de erro, distribuição normal ou de Gauss é um modelo matemático que pode representar de maneira satisfatória a distribuição das resistências à compressão do concreto (fenômeno físico real). (Helene, 1981)

$$f_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n} \quad (\text{MPa})$$

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n-1}} \quad (\text{MPa})$$

$$V_c = \frac{S_c}{f_{cm}} \cdot 100 \quad (\%)$$

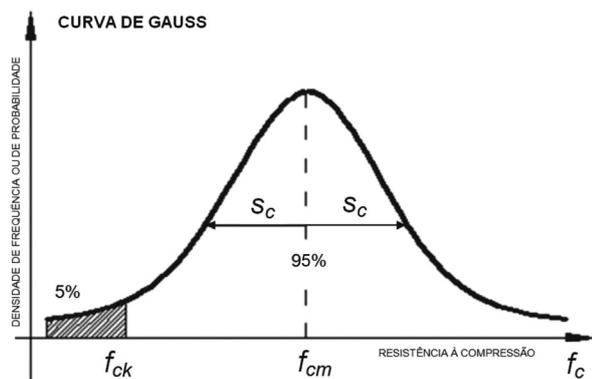


Figura 5. Representação da distribuição da resistência à compressão do concreto. Curva de Gauss com parâmetros obtidos de amostras. (Helene, 1984)

A curva densidade de probabilidade das resistências é admitida como normal e o valor característico é calculado em função da dispersão dos resultados, originados pelo processo de produção e ensaio.

O valor de resistência à compressão que apresenta uma probabilidade de 5% de não ser alcançado é denominado resistência característica do concreto à compressão e indica-se com a notação f_{ck} , conforme indicado na Fig. 5.

Esse valor é o adotado no projeto estrutural e também é conhecido por resistência especificada, característica ou de projeto, indicada por f_{ck} .

A estrutura será moldada com um concreto de resistência característica à compressão, efetiva ou real, sempre igual ou menor, denominado $f_{ck,ef}$

cujo valor é complexo e difícil de ser conhecido, pois envolve muitas variáveis de execução, tais como geometrias, excentricidades, cura, adensamento, etc.

Em outras palavras, a maioria esmagadora do concreto deve ir para moldar a estrutura e dar origem a uma f_{ck} efetivo ou real, e somente uma pequena parte deve ir para o controle. Em vista disso há necessidade de – a partir de uma pequena amostra representativa, ou seja, uns poucos corpos de prova com volume menor que $0,01\text{m}^3$ – obter uma resistência característica estimada do concreto à compressão, $f_{ck,est}$ daquela população em estudo, em geral maior que 8m^3 , normalmente da ordem de 50m^3 ou mais.

Essa estimativa do valor real ou efetivo será tanto mais perfeita quanto maior o tamanho da amostra (quanto mais próxima do tamanho da população ou lote), quanto maior a eficiência do estimador (fórmula matemática adotada para inferência estatística) e quanto menor a dispersão dos resultados (ou seja, quanto mais rigoroso e homogêneo o processo de produção e ensaio do concreto).

Na Fig. 6 apresentam-se as definições de alguns termos normalmente utilizados em controle de qualidade do concreto.

Os próprios textos das normas, em geral, fazem referência apenas ao Controle de Aceitação. Em vista disso, aborda-se em continuação apenas os procedimentos relacionados ao controle de aceitação do concreto, recebimento ou conformidade.

No controle de aceitação de um produto acabado, a finalidade da decisão é julgar a conformidade ou não de certa quantidade do produto, e não julgar a sua uniformidade, conforme Fig.7.

É necessário estabelecer para cada decisão uma quantidade determinada do produto (concreto), denominada unidade de produto, lote ou população, dentro da qual se fará uma amostragem aleatória e representativa.

termo ou notação	significado
f_{cmj}	resistência média do concreto à compressão obtida de amostras a j dias de idade em MPa. μ seria a média (“real ou efetiva”) da população
S_{cj}	desvio padrão do processo de produção e ensaio do concreto obtido de amostras, a j dias de idade, em MPa. σ seria o desvio padrão “real ou verdadeiro” da população
V_{cj}	coeficiente de variação do processo de produção e ensaio do concreto obtido de amostras, a j dias de idade, em %. ρ seria o coeficiente de variação “real ou efetivo” da população
f_{ci}	resistência à compressão individual de cada um dos n exemplares de uma amostra, a j dias de idade, em MPa
lote ou população	quantidade de concreto que tendo sido confeccionado em condições equivalentes (mesma população) é submetido a julgamento de uma só vez, podendo ser aceito ou rejeitado. Também conhecido por população
unidade de produto	corresponde a uma amassada / betonada qualquer que seja o volume da betoneira. O concreto de uma betoneira tem apenas uma resistência
amostra	conjunto de exemplares (unidades de produto) que se admitem como representativos de um lote ou população
tamanho da amostra	corresponde ao número de exemplares (unidades de produto) que constituem uma amostra de uma certa população
exemplar	corresponde ao valor de resistência à compressão f_{ci} que representa uma unidade de produto (amassada). É a média ou o valor mais alto de dois ou mais corpos de prova “irmãos” retirados de uma mesma amassada. Portanto de uma betoneira pode-se moldar p corpos de prova, porém o concreto dessa betoneira (unidade de produto) será representado apenas por um valor

Figura 6. Significado de alguns termos e notações empregados atualmente no controle da resistência à compressão do concreto.

indagações	controle de produção	controle de aceitação
o que é?	controle dos fatores que intervêm na resistência	comprovação da conformidade da resistência
por que se faz?	para assegurar que se alcance a resistência especificada ao mínimo custo possível	para verificar que se alcançou como mínimo o f_{ck}
quem o faz?	o produtor (fabricante, construtor)	o consumidor (fiscalização, laboratório, proprietário)
como se realiza?	amostragem contínua de todo o processo de produção	amostragem associada a um lote
quais as variáveis de controle?	as que intervêm no processo produtivo do concreto	a resistência à compressão

Figura 7. Dinâmica do controle de qualidade do concreto. (Meseguer, 1976)

11. Controle de aceitação do concreto

A confirmação da conformidade do concreto que está sendo produzido e lançado numa determinada estrutura, com o que foi especificado no projeto estrutural, pode ser efetuada através dos passos a seguir descritos:

1º Passo: Definição da extensão do lote que será oportunamente julgado:

Como exemplo, segundo a *ABNT NBR 12655:2006* os limites de um lote devem atender às recomendações expressas na Tabela 1.

Está implícito nessas recomendações que se busca, por um lado, identificar o volume de concreto de mesmas características, pressuposto básico de uma inferência estatística e, por outro, delimitar uma porção restrita de estrutura para viabilizar localizar esse volume, permitindo encontrá-lo após

a obtenção e análise dos resultados de controle (conceito de rastreabilidade).

Portanto, o **1º passo** corresponde à identificação a priori (antes da concretagem) do lote de concreto que será controlado e julgado.

2º Passo: Definição do tipo de amostragem a ser adotado

- *Controle por amostragem total ou a 100% (item 6.2.3.2 da ABNT NBR 12655):* corresponde a mapear a posição do concreto de cada amassada e a amostrar todas as amassadas. É o ideal para todas as situações sendo altamente recomendável para pilares, certas vigas de transição e peças de importância elevada. Todas as amassadas (caminhões betoneira ou grandes betoneiras de obra) devem estar com suas resistências aferidas,

Tabela 1. Definição do volume máximo de lote de concreto. *ABNT NBR 12655:2006*

limites superiores	solicitação principal dos elementos da estrutura	
	compressão ou compressão e flexão	flexão simples
volume de concreto	50 m ³	100 m ³
número de andares	1	1
tempo de concretagem	3 dias de concretagem num prazo máximo de 7 dias	

ou seja, todo o lote é conhecido, não há concreto com resistência desconhecida. É um procedimento de controle muito confiável, porém, o mais caro e raramente utilizado ou recomendado nas normas estrangeiras (ACI, EN), apesar de usual no Brasil;

- *Controle por amostragem parcial (item 6.2.3.1 da ABNT NBR 12655)*: corresponde a apenas amostrar algumas amassadas representativas. Pode ser o caso de lajes, grandes blocos e sapatas, paredes cortina e grandes volumes de concreto nos quais a resistência mínima do concreto não tem consequências tão desastrosas quanto em pilares. Algumas amassadas (caminhões betoneira ou betonadas) serão aferidas, outras não. Portanto é uma amostra daquele lote ou população e para tal precisa ser definido o tamanho mínimo dessa amostra, ou seja, em quantas amassadas será realizada a tomada de corpos de prova representativos que darão origem a exemplares

3º Passo: Tamanho mínimo da amostra (só aplicável a amostragem parcial)

No caso brasileiro, aqui usado como exemplo didático, o tamanho mínimo da amostra no caso de amostragem parcial, ou seja, o número mínimo de exemplares que deve constituir uma amostra, segundo a *ABNT NBR 12655:2006* é de 6 exemplares, para os concretos classificados segundo a *ABNT NBR 8953:2009*, como do grupo I (classes até C50) e de 12 exemplares, para os concretos do grupo II (classes superiores a C50).

A definição do tamanho da amostra parcial deverá considerar dois fatores, a saber:

a) Número mínimo de exemplares para permitir uma estimativa confiável da resistência do lote (inferência estatística);

b) Número máximo de betonadas ou amassadas empregadas na concretagem da peça em questão, já que não tem sentido retirar mais de um exemplar por betoneira (menor unidade de produto).

É permitido ainda pelo item 6.2.3.3 da *ABNT NBR 12655:2006*, em casos excepcionais, por exemplo nos casos de concreto produzido por várias betoneiras estacionárias de obra e somente para volumes inferiores a 10m³, que a amostra tenha de 2 a 5 exemplares.

Exemplos:

1º exemplo: volume de concreto de pilares de um andar tipo de apenas 18m³

a) quando o concreto for produzido por central e entregue por 3 caminhões betoneira de 6m³ cada, a amostra deverá ter apenas três exemplares, um para cada caminhão (menor unidade de produto) e, portanto, tratar-se-á de uma amostragem total ou a 100%;

b) quando o concreto for produzido na própria obra com betoneira de capacidade nominal de 300dm³ (um saco por vez), os mesmos 18m³ serão produzidos por cerca de 110 betonadas (110 unidades de produto) e, portanto, será necessário que a amostra seja composta de pelo menos 6 ou 12 exemplares, segundo seja o caso, ou seja, moldar dois corpos de prova de uma betoneira a cada 9 ou 18 betonadas ou amassadas.

2º exemplo: volume de concreto de lajes e vigas de um andar tipo de edifício de 96m³

a) quando o concreto for produzido por central e entregue por 12 caminhões betoneira de 8m³ cada, a população ou lote terá 12 (“resistências) exemplares (96:8) e, portanto, se todos os caminhões forem amostrados, constituir-se-ão numa amostragem total a 100%. Se apenas 11 caminhões ou, no mínimo 6, forem amostrados, então irão constituir uma amostra parcial, ou seja, exemplares retirados de apenas parte do lote;

b) quando o concreto for produzido na própria obra com betoneira de capacidade nominal de 300dm³ (um saco por vez), os mesmos 96m³ serão produzidos por cerca de 580 betonadas (580

unidades de produto ou “resistências) e, portanto, é recomendável que no mínimo sejam escolhidas aleatoriamente 6 ou 12 das 580 betonadas para retirada de exemplares. Nesses casos, como a concretagem vai durar mais de um dia, pode ser conveniente separar lotes por dia e amostrar, pelo menos, 6 ou 12 betonadas por dia.

Como se verifica, o programa de controle deve sempre ser estabelecido a priori, ou seja, antes do início da concretagem e deve levar em consideração outros aspectos, inclusive bom senso, além daqueles citados na *ABNT NBR 12655:2006*.

4º Passo: Retirada (coleta) e moldagem dos corpos de prova (exemplares):

O concreto para moldagem dos corpos de prova deve ser o mais representativo possível da amassada em questão e deve ser coletado de acordo com a *ABNT NBR NM 33:1998*.

Evidentemente, o concreto entregue por caminhões betoneira é aceito, condicional e preliminarmente, apenas com base na medida do abatimento do tronco de cone ou espalhamento e na observação visual do concreto, conforme a Fig. 9.

A aceitação definitiva fica condicionada aos resultados obtidos dos corpos de prova destinados à medida da resistência à compressão a j dias de idade.

Os moldes dos corpos de prova devem estar em local plano, preferencialmente coberto, à sombra e devem ter sido preparados com produto desmoldante e cera para calafetar as juntas, evitando a fuga de nata de cimento.

Constitui boa técnica umedecer o carrinho e os instrumentos (concha, soquete, pás, etc.) que entrarão em contato com o concreto e moldar dois corpos de prova por amassada, apenas para idade especificada no projeto (em geral 28 dias).

Pode ser conveniente moldar corpos de prova para ruptura a 63d e 91d. A prática usual de moldar dois corpos de prova para idades precoces (7d) não tem muita utilidade quando se trata de Controle de Aceitação do concreto, pois raríssimas vezes essa informação tem sido utilizada para corrigir os novos traços de concreto, o que seria o ideal.

Nos casos de retirada de escoramentos, transporte de peças pré-moldadas e protensão, as resistências a baixas idades são indispensáveis.



Figura 9. Ensaio para avaliação da consistência do concreto fresco através do ensaio de abatimento do tronco de cone *ABNT NBR NM 67:1998*

No caso dos Produtores do concreto, ou seja, para o Controle de Produção, corpos de prova para baixas idades também são muito importantes e úteis.

5º Passo: Análise dos resultados: caso 1: Amostragem total ou a 100%

No Controle de Aceitação, tipo a 100% ou total, no qual se conhece todos os valores de resistência de todas as amassadas, ou seja, a população ou lote é integralmente conhecido, então não há necessidade de inferência estatística, que é a ferramenta utilizada para amostras (parciais) de populações desconhecidas.

Nestes casos, basta aplicar a definição, ou seja, buscar naquela população integralmente conhecida o quantil de 5% ou seja, de cada 20 resultados será o inferior deles, quando o número de exemplares for maior do que 20. Se a amostra é menor ou igual do que 20, será o menor de todos, conhecido como f_{ct} . De 40 resultados será o segundo menor e de cada 100 resultados será o quinto menor resultado.

Claro que a estatística deve servir à engenharia, como um instrumento, uma ferramenta e não o contrário. Portanto, o ideal nas amostragens a 100% é analisar cada resultado individualmente em correspondência com a peça por aquele concreto moldada.

Usando o conhecimento fornecido pela rastreabilidade e com um pouco de bom senso, cada peça poderá ser julgada individualmente.

Em outras palavras, essa é a situação mais privilegiada possível, de maior segurança e de maior confiabilidade. Tudo é conhecido, nada foi inferido ou parcialmente estimado.

6º Passo: Análise dos Resultados:

caso 2: Amostragem Parcial

Neste caso os resultados devem ser analisados por lote, ou seja, não há interesse no resultado individual de um corpo de prova ou de um exemplar, mas tão somente na estimativa da resistência característica, $f_{ck,est}$ do lote em questão, utilizando-se todos os resultados da amostra.

Exemplo: Conhecendo-se os resultados de

controle do concreto (condição de preparo do concreto tipo A) apresentados na Tabela 2, correspondentes aos pilares do primeiro e do segundo subsolos de um edifício com 41m^3 de concreto (6 caminhões ou cerca de 140 betonadas estacionárias de 2 sacos por vez), pergunta-se se foi atendida a resistência característica especificada no projeto estrutural, de $f_{ck} = 20\text{MPa}$ a 28 dias de idade?

Tabela 2. Resultados obtidos dos corpos de prova. Resistência à compressão a 28 dias de idade

lote 1 (1º subsolo)		lote 2 (2º subsolo)	
Corpos de prova (MPa)	Exemplar (MPa)	Corpos de prova (MPa)	Exemplar (MPa)
$f_{c1} = 19,0$ $f_{c2} = 20,9$	$f_c = 20,9$	$f_{c1} = 22,1$ $f_{c2} = 22,3$	$f_c = 22,3$
$f_{c1} = 24,9$ $f_{c2} = 28,3$	$f_c = 28,3$	$f_{c1} = 20,1$ $f_{c2} = 23,9$	$f_c = 23,9$
$f_{c1} = 22,2$ $f_{c2} = 20,3$	$f_c = 22,2$	$f_{c1} = 23,9$ $f_{c2} = 26,1$	$f_c = 26,1$
$f_{c1} = 21,2$ $f_{c2} = 26,5$	$f_c = 26,5$	$f_{c1} = 21,5$ $f_{c2} = 20,0$	$f_c = 21,5$
$f_{c1} = 22,5$ $f_{c2} = 26,9$	$f_c = 26,9$	$f_{c1} = 20,0$ $f_{c2} = 19,0$	$f_c = 20,0$
$f_{c1} = 22,5$ $f_{c2} = 26,8$	$f_c = 26,8$	$f_{c1} = 23,5$ $f_{c2} = 26,2$	$f_c = 26,2$

Solução:

a) Cada lote terá 41m^3 ($< 50\text{m}^3$), e poderá ser constituído de 6 unidades de produto (4 caminhões betoneira de 8m^3 mais 2 de $4,5\text{m}^3$) ou de 140 (*unidades de produto*) betonadas de 2 sacos por vez;

b) Cada **lote** foi representado, neste caso, por **uma amostra** de 6 exemplares, devendo ser considerado amostragem total ou a 100% no caso de caminhões betoneira e amostragem parcial no caso de betoneiras estacionárias de obra;

c) cálculo do $f_{ck,est}$ conforme o estimador da **ABNT NBR 12655:2006**:

1. Amostragem total a 100% (todos os caminhões betoneira), para $n < 20$:

$$\text{lote 1: } f_{ck,est} = f_{c1} = 20,9\text{MPa}$$

$$\text{lote 2: } f_{ck,est} = f_{c1} = 20,0\text{MPa}$$

2. Amostragem parcial (algumas betoneiras de obra)

- ordenar os resultados dos exemplares: (ordem crescente)

$$20,9 \leq 22,2 \leq 26,5 \leq 26,8 \leq 26,9 \leq 28,3$$

$$20,0 \leq 21,5 \leq 22,3 \leq 23,9 \leq 26,1 \leq 26,2$$

$$f_{C1} \leq f_{C2} \leq f_{C3} \leq f_{C4} \leq f_{C5} \leq f_{C6}$$

- calcular o $f_{ck,est}$ [item 6.2.3.1 da **ABNT NBR 12655:2006** para a condição de preparo A (central) e amostras com 6 a 12 exemplares]

$$f_{ck,est} \geq \Psi_6 \cdot f_{C1}$$

$$\text{lote 1: } f_{ck,est} \geq 0,92 \cdot 20,9 = 19,3\text{ MPa}$$

$$\text{lote 2: } f_{ck,est} \geq 0,92 \cdot 20,0 = 18,4\text{ MPa}$$

usando o estimador

$$f_{ck,est} = 2 * \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m$$

$$\text{lote 1: } f_{ck,est} \geq 16,6\text{ MPa}$$

$$\text{lote 2: } f_{ck,est} \geq 19,2\text{ MPa}$$

- portanto das duas estimativas de $f_{ck,est}$ obtém-se que:

$$\text{lote 1: } f_{ck,est} = 19,3\text{ MPa}$$

$$\text{lote 2: } f_{ck,est} = 19,2\text{ MPa}$$

Consequentemente uma fiscalização radical diria que não atende ao projeto, e seriam considerados lotes não conformes, pois o valor especificado no projeto estrutural foi $f_{ck} = 20\text{MPa}$.

Tabela 3. Valores de Ψ_c (tabela 8 da ABNT NBR 12655:2006)

condição de preparo do concreto	tamanho da amostra (número) de exemplares (n)										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	≥ 16
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02
B ou C	0,75	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,02

A → concreto produzido com desvio padrão ≤ 4,0MPa; B → concreto produzido com desvio padrão ≤ 5,5MPa e
 C → concreto produzido com desvio padrão ≤ 7,0MPa

12. Como é o controle de aceitação / rejeição do concreto (recebimento) recomendado pelas Normas Americanas do ACI?

Os critérios de controle e recebimento do concreto estrutural estão claramente expressos no texto da norma *ACI 318-11 Building Code Requirements for Structural Concrete, Chapter 5 Concrete quality, mixing, and placing, item 5.6 Evaluation and acceptance of concrete.*

Em primeiro lugar exige que o Laboratório de Controle seja acreditado pela norma *ASTM C 1077* e que os laboratoristas sejam certificados pelo *ACI*. Atualmente no Brasil o IBRACON tem um programa de certificação similar.

Obriga que os corpos de prova sejam retirados em conformidade com a *ASTM 172*, moldados e sazoados em conformidade com a *ASTM C31* e ensaiados em conformidade com a *ASTM C39*. Ressalta que é obrigatório medir e registrar a temperatura do concreto na “boca da betoneira” no momento de moldar os corpos de prova.

Recomenda que a retirada de corpos de prova obedeça a:

- ≥ 1 exemplar por dia de concretagem;
- ≥ 1 exemplar para cada 115m³ de concreto;
- ≥ 1 exemplar para cada 465m² de área construída;
- dispensado o controle para volumes inferiores

a 36m³ desde que exista carta de traço aprovada;

- cada betonada fornece apenas um resultado;
- o tamanho mínimo da amostra deve ser 5 exemplares e quando não houver 5 betonadas pode ser menos de 5;
- para representar um exemplar obter a média de 2 corpos de prova cilíndricos de 15cm diâmetro por 30cm altura ou média de 3 corpos de prova de 10cm de diâmetro e 20cm de altura

Como critério de aceitação exige:

1. a média móvel de qualquer 3 resultados consecutivos cronologicamente falando, deve ser $\geq f_{ck}$ (na verdade f_c que é a notação americana e que corresponde ao quantil inferior de 10%);
2. nenhum resultado individual deve ser inferior em 3,5MPa em relação ao valor característico (até $f_{ck} = 35\text{MPa}$);
3. nenhum resultado individual deve ser inferior a $0,9 * f_{ck}$ para $f_{ck} > 35\text{MPa}$

Como se verifica é recomendado um controle por amostragem, bem leve, superficial (uma betonada por dia!) com uso obrigatório de estimadores e com julgamento de grandes volumes de concreto de uma só vez. O procedimento usual no Brasil de controlar a 100% é, provavelmente, um dos mais caros e mais seguros do planeta.

13. Como é o controle de aceitação / rejeição do concreto (recebimento) recomendado pelo fib Model Code 2010 e EuroCode II?

No *fib Model Code 2010*, os autores não encontraram referências para controle da resistência do concreto, salvo rápida referência à *ISO 22965* e à *EN 206*.

O *EuroCode II* também remete as diretrizes para controle e recebimento à *EN 206-1: Concrete – Part*

1: Specification, performance, production and conformity. Chapter 8 – Conformity Control and Conformity Criteria. 8.2.1 Conformity control for compressive strength.

Observe-se que o texto da *EN 206* é confuso e complexo, dando a entender que além da

responsabilidade pela produção do concreto, cabe ao Produtor (Empresa de Serviços de Concretagem, ready mix company) também aferir a conformidade do concreto. No Brasil, ao contrário, fica muito claro que aferir a resistência é uma prerrogativa e obrigação do consumidor (Construtora) e não do produtor.

Além de recomendar que a amostragem siga a *EN 12350-1 Testing Fresh Concrete*, sucintamente a *EN 206*, recomenda que a retirada de corpos de prova obedeça a:

Produção inicial – corresponde à situação de início de produção de concreto até que sejam disponíveis resultados de pelo menos 35 exemplares durante, no máximo 12 meses:

- o resultado do exemplar é a média de 2 ou 3 corpos de prova da mesma betonada. Caso um desses resultados individuais difira em menos ou mais 15% dessa média, o resultado deve ser descartado;

- aleatoriamente escolher 3 exemplares dos primeiros 50m³ da produção;

- daí em diante retirar 1 exemplar a cada 200m³ ou pelo menos 2 exemplares por semana, para concretos com certificação de controle de produção;

- daí em diante retirar 1 exemplar a cada 150m³ ou pelo menos 1 exemplar por dia, para concretos sem certificação de controle de produção;

Produção contínua – corresponde à situação na qual já são conhecidos mais de 35 resultados:

- a partir dos 50m³ iniciais, retirar 1 exemplar a cada 400m³ ou pelo menos 1 exemplar por semana, para concretos com certificação de controle de produção;

- a partir dos 50m³ iniciais, retirar 1 exemplar

a cada 150m³ ou pelo menos 1 exemplar por dia, para concretos sem certificação de controle de produção;

- As amostras devem ser retiradas somente após a adição de 100% da água e do aditivo;

- O desvio padrão de produção não pode superar em 37% o desvio padrão de dosagem. Caso isso ocorra, aferido pelos últimos 15 resultados, todo o controle deve se intensificar retornando à condição de Produção Inicial, que é um pouco mais rigorosa e precisa, mas ainda bem longe de um controle ideal.

Como critério de aceitação, *8.2.1.3 Conformity criteria for compressive strength*, exige:

Para *Produção inicial*:

1. critério 1: a média de, no mínimo, 3 resultados consecutivos deve ser $\geq f_{ck} + 4$, qualquer que seja f_{ck} ;

2. critério 2: qualquer valor individual deve ser $\geq f_{ck} - 4$, qualquer que seja f_{ck} ;

Para *Produção contínua*:

1. critério 1: a média de, no mínimo, 15 resultados consecutivos deve ser $\geq f_{ck} + 1,48\sigma$, qualquer que seja f_{ck} ;

2. critério 2: qualquer valor individual deve ser $\geq f_{ck} - 4$, qualquer que seja f_{ck}

Novamente pode se verificar que se trata de um controle por amostragem, bem leve, muito superficial (uma betonada por semana!) com uso obrigatório de estimadores e com julgamento de grandes volumes de concreto de uma só vez, permitindo julgar de uma só vez todo o concreto produzido em lano! Pode-se reafirmar com tranquilidade que o procedimento usual no Brasil de controlar a 100% é, provavelmente, um dos mais caros e mais seguros e que, conseqüentemente, traz muita tranquilidade para os Construtores e Projetistas.

14. Medidas a serem tomadas no caso de rejeição do concreto do lote

No caso da normalização brasileira, considerando que a eficiência dos estimadores para amostras pequenas com $n \leq 36$ exemplares fica prejudicada, e que o estimador está centrado na média, ou seja, no f_{cm} , é de bom senso aceitar concretos com resistência estimada 5% a 10% abaixo do f_{ck} de projeto, sendo desnecessário nesses casos revisar o projeto. Cabe, no entanto, comunicar o Produtor do concreto para que este revise a dosagem.

As normas consultadas, *ACI*, *EuroCode II* e *ABNT NBR 6118:2007* recomendam que quando o $f_{ck,est} < f_{ck}$ ou seja, o controle de aceitação automática do concreto indicou que o concreto produzido não tem a resistência característica potencial e de referência adotada por ocasião do dimensionamento da estrutura, deve-se adotar as ações corretivas do tipo:

- a) revisão do projeto considerando o novo resultado de resistência característica do concreto

à compressão obtido do controle de recebimento realizado através de corpos de prova moldados;

b) permanecendo a insegurança estrutural, proceder à inspeção “in loco”, preferencialmente melhorando a avaliação através do uso de ensaios simples tipo esclerometria, pacometria e ultrassom;

c) na sequência extrair testemunhos de acordo com a *ABNT NBR 7680:2007* (vide Fig. 10), e estimar o novo f_{ck} equivalente, de acordo com a *ABNT NBR 12655:2006*;

Neste ponto a normalização brasileira ainda é deficiente e não específica, com detalhes claros, como obter o f_{ck} equivalente a partir de ensaios em testemunhos extraídos.



Os autores se propõem a redigir um texto específico sobre como pode e deve ser realizada esta transformação, ou seja, passar de um $f_{ck,ext,j}$ a um f_{ck} equivalente para uma nova verificação da segurança.

Em princípio utiliza-se coeficientes de correção do resultado obtido da extração e ensaio, feito a j dias de idade e muitas vezes sob carga, para conduzi-lo a uma resistência equivalente à de um corpo de prova moldado, rompido a 28 dias em condições normalizadas e sem carga.

d) de posse desse “novo $f_{ck,est}$ ” confrontá-lo com o f_{ck} de projeto. Se atender, a investigação encerra-se e aceita-se o concreto do ponto de vista estrutural;



Figura 10. Extração de testemunhos cilíndricos de concreto da estrutura para avaliação da resistência potencial equivalente do concreto à compressão.

e) caso ainda não atenda f_{ck} de projeto, utilizar na nova verificação estrutural, para o caso dos estados limites últimos (ELU), um $\gamma_c = 0,9 * \gamma_{c,original}$. No caso de verificação dos estados limites de serviço (ELS) deve ser adotado $\gamma_c = 1,0$, ambos conforme disposto no item 12.4.1 da *ABNT NBR 6118:2007*. Outras normas internacionais recomendam ainda reduzir γ_s e γ_F e ainda considerar valores de γ_c da ordem de $0,85 * \gamma_{c,original}$.

Esta redução se justifica pelo fato deste concreto extraído representar melhor a resistência efetiva do concreto, ou seja, haver menos desconhecimentos

sobre a estrutura. Também só deve ser utilizado se realmente houver inspeção da estrutura e comprovação da qualidade de sua execução.

É evidente que o bom senso recomenda observar excentricidade, nível, prumo, alinhamento, armadura, estribos, bicheiras, etc. antes da tomada final de decisão.

Permanecendo a não-conformidade, poder-se-ia escolher entre as seguintes alternativas:

- determinar as restrições de uso da estrutura;
- providenciar o projeto de reforço;
- decidir pela demolição parcial ou total.

Considerações finais

Nestas considerações técnicas, abordou-se a questão do controle, usando-se como exemplo e dando-se ênfase à pragmática atualmente recomendada para o Controle de Aceitação do concreto no Brasil, que é uma comprovação indispensável e obrigatória em qualquer obra.

No entanto, é através do Controle Tecnológico – que será objeto de futura consideração técnica – que fica ressaltada ainda mais a importância da atuação dos Tecnologistas de Concreto e de materiais junto às obras de construção civil.

A reformulação contínua dos traços com vistas à

economia de material, tradicional recompensa pelo controle, só se evidenciará através do controle de produção do concreto, hoje quase restrito às Empresas de Serviços de Concretagem (Centrais, ready mix

companies) e indústrias de pré-fabricados.

A análise da resistência do concreto em estruturas existentes para fins de avaliação da segurança será objeto de outro Boletim Técnico da ALCONPAT Int.

Referências bibliográficas

- American Concrete Institute ACI 318-11 Building Code Requirements for Structural Concrete. **ACI Manual of Concrete Practice, 2012**
- Anton Corrales, J. M. Teorías probabilistas de seguridad. **Madrid, Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento**. Monografía n. 306, Noviembre, 1972. 69p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NB 1:1960. Projeto e execução de obras de concreto armado
- ABNT NB 1:1978 Projeto e execução de obras de concreto armado. Procedimento
- ABNT NBR 5738:2003. Concreto. Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Procedimento (equivalente à ISO 1920-3:2004 e ASTM C 192)
- ABNT NBR 5739:2007. Concreto. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Método de ensaio (equivalente à ISO 1920-4:2005 e ASTM C 39)
- ABNT NBR 6118:2007. Projeto de estruturas de concreto. Procedimento.(equivalente ao EuroCode II e ACI 318)
- ABNT NBR 7680:2007. Concreto. Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto. (equivalente à ISO 1920-6:2004, ASTM C 42-10 A e ACI 214)
- ABNT NBR 8953:2009 Concreto para fins estruturais. Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e por consistência (Model Code 2010)
- ABNT NBR 12655:2006. Concreto de Cimento Portland. Preparo, controle e recebimento. Procedimento. (equivalente à EN 206 e ACI 318)
- ABNT NBR 14931:2004. Execução de estruturas de concreto. Procedimento (equivalente à ISO 22966:2009, EN 13670 e ACI 301)
- ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005 Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. (equivalente à ASTM C 1222-09)
- ABNT NBR NM 33:1998. Amostragem de concreto fresco. Método de ensaio. Norma MERCOSUR (equivalente à ISO 1920-1:2004, ASTM C 172-10 e ACI 214)
- ABNT NBR NM 67:1998 Concreto. Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Método de Ensaio. Norma MERCOSUR (equivalente à ISO 1920-2:2005 e ASTM C 43-10 A)
- Calavera Ruiz, Jose. **La influencia de las variaciones resistentes de los materiales y de las variaciones dimensionales de las piezas de hormigón armado sobre su capacidad resistente**. Madrid, Instituto Eduardo Torroja, Monografía 324, 1975
- Carrameu, Cauê C.; Oliveira, Karina C.; Helene, Paulo; Hervé Neto, Egydio; Bilesky, Pedro; Pacheco, Jéssika M. **A Importância da Acreditação Laboratorial e da Certificação de Mão de Obra no Controle de Aceitação do Concreto**. In: 54º Congresso Brasileiro do Concreto, 2012, Maceió. Anais: CBC2012. IBRACON, 2012
- Castro-Borges, Pedro & Helene, Paulo. **Service Life Concepts of Reinforced Concrete Structures. New Approach**. Chapter 13. In: Sagues, A.A.; Castro-Borges, Pedro; Castañeda-Lopez, H. & Torres-Acosta, A.A (Ed.). Corrosion of Infrastructure. 13 ed. USA: The Electrochemical Society, 2007, ECS Transactions, v. 3. p. 9-14 ISBN 978-1-56677-540-3
- European Standard **EN 206-1: Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity**, 2000
- fib (CEB-FIP) Model Code 2010**. Final Draft. V. 1 & 2. Bulletin 65 & 66, 2012. ISBN 978-2-88394-106-9. ISSN 1562-3610
- Helene, Paulo. **Contribuição à análise da resistência do concreto em estruturas existentes para fins de avaliação da segurança**. São Paulo, ABECE Informa, ano 16, n. 90, Mar.Abr. 2012 p.16-23
- Helene, Paulo. **Contribuição ao estabelecimento de parâmetros para dosagem e controle dos concretos de cimento portland**. São Paulo, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1987. (Tese de Doutorado)
- Helene, Paulo. **Controle da Resistência à Compressão do Concreto das Estruturas de Edificações e Obras de Arte**. Separata dos encartes publicados nas Revistas A Construção. PINI. Tecnologia de Edificações. IPT.Ded Divisão de Edificações, Agosto 1984. Cap. 11 p. 49 a 54
- Helene, Paulo. **Controle de Qualidade do Concreto**. São Paulo, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1981. 150p. (Dissertação de Mestrado)
- Helene, Paulo. **Introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto**. São Paulo, Revista Ambiente Construído (Online), ANTAC, v.1, n.2, jul.dez.1997 p. 45-57 ISSN 1415-8876
- Helene, Paulo. **Vida Útil das Estruturas de Concreto** In: IV Congresso Ibero Americano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle da Qualidade CONPAT-97, 1997, Porto Alegre. **IV Congresso Ibero Americano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle da Qualidade CONPAT-97**, 1997. v.1. p.1 – 30
- Himsworth, F. R. The application of statistics to concrete quality. In: ANDREW, Ralph P. ed., **Mix design and quality control of concrete**: proceedings of symposium. London, CCA, 1954, p.465-87
- ISO 22965-1 **Concrete - Part 1: Methods of specifying and guidance for the specifier**, 2007
- Joint Committee CEB-CIB-FIP-RILEM. **Recommended Principles for the Control of Quality and the Judgement of Acceptability of Concrete**. Madrid, Instituto Eduardo Torroja, Monografía n.326, Abril 1975. 105p. Presidente H. Rüsck. Relator Alvaro Garcia Meseguer
- Meseguer, Álvaro Garcia. **Control de la Calidad**. In: Colloque Européen sur le Contrôle de la Qualité dans la Construction, primer. Madrid, 1976. Compterendus, European Organizaon for Quality Control EOQC, 1976, p. 361-3
- Terzian, Paulo & Helene, Paulo. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo, PINI / SENAI, 1993. 189p. ISBN 85-7266-007-0

Boletins Técnicos Alconpat

BT 01 – Bernardo Tutikian e Marcelo Pacheco

Inspección, Diagnóstico y Prognóstico en la Construcción Civil

Inspeção, Diagnóstico e Prognóstico na Construção Civil
Civil Construction Assessment

Boletim técnico 02 – Raúl Husni

Reparación y Refuerzo

Reparo e Reforço

Repair and Strengthening

Boletim técnico 03 – Antônio Carmona Filho e Thomas Carmona

Grietas en Estructuras de Hormigón

Fisuração nas Estruturas de Concreto

Cracking in Concrete Structures

BT 04 – Fernando Branco, Pedro Paulo e Mário Garrido

Vida Útil en la Construcción Civil

Vida Útil na Construção Civil

Service Life in Civil Construction

BT 05 – Gilberto Nery

Monitoreo en la Construcción Civil

Monitoração na Construção Civil

Monitoring in Civil Construction

BT 06 – Enio Pazini Figueiredo e Gibson Meira

Corrosión de armadura de estructuras de hormigón

Corrosão das armaduras das estruturas de concreto

Reinforcement corrosion of concrete structures

BT 07 – Alicia Mimbacas

Sostenibilidad en la Construcción

Sustentabilidade na Construção

Construction Sustainability

BT 08 – Paulo Helene e Salomon Levy

Curado del Hormigón

Cura do Concreto

Concrete Curing

BT 09 – Paulo Helene e Jéssika Pacheco

Controle da Resistência do Concreto

Control de la Resistencia del Hormigón

Conformity control for compressive strength

BT 10 – Hênio Tinoco

Responsabilidad Social en Construcción

Responsabilidade Social na Construção Civil

Social Responsibility in Civil Construction

Patrocínio de: