

CONCRETO

& Construções



Ano XLI

70

ABR-JUN • 2013

ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br

EDIFICAÇÕES

CONCRETO: ALTO DESEMPENHO EM OBRAS RESIDENCIAIS, COMERCIAIS E INDUSTRIAIS



PERSONALIDADE ENTREVISTADA

PAULO SAFADY SIMÃO:
CONSTRUÇÃO DE CONSENSOS
NO SETOR

NORMALIZAÇÃO TÉCNICA

NORMA DE DESEMPENHO:
FOCO NA QUALIDADE
DAS CONSTRUÇÕES

MERCADO NACIONAL

PERSPECTIVAS DE
CRESCIMENTO DOS
PRÉ-FABRICADOS NO PAÍS

Controle da resistência do concreto – 2ª Parte

JÉSSICA PACHECO

PAULO HELENE

PHD ENGENHARIA

11. 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).

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 $0,01m^3$ - 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.

Atualmente, o interesse pelos procedimentos para Controle de Produção fica restrito às empresas de serviços de concretagem ("ready mix companies"), que produzem concreto em central ou àquelas poucas obras onde há produção de concreto no canteiro, com assessoria de um Tecnologista de Concreto que, através da análise dos resultados, possa interferir na dosagem, traço e produção do concreto.

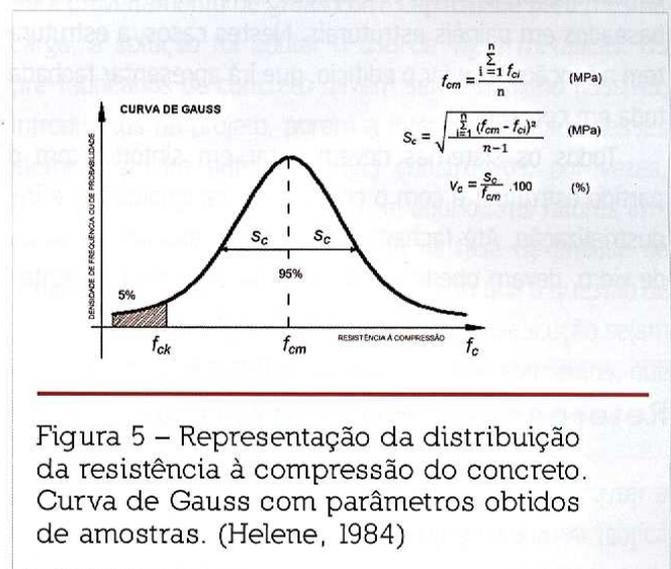


Figura 5 – Representação da distribuição da resistência à compressão do concreto. Curva de Gauss com parâmetros obtidos de amostras. (Helene, 1984)

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}	Coefficiente 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_c	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_c 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

O interesse maior – principalmente porque afeta diretamente a segurança da estrutura – está relacionado com os procedimentos para Controle de Aceitação, de Recebimento ou de Conformidade de concreto, que se aplica a toda e qualquer obra.

Na Fig. 7, apresentam-se os conceitos de controle de produção e controle de aceitação, que, juntos, constituem a dinâmica das operações de controle.

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.

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.

12. CONTROLE DE ACEITAÇÃO DO CONCRETO

A confirmação da conformidade do concreto que está sendo produzido e lançado numa determinada estrutura,

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)

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 em um prazo máximo de 7 dias	3 dias de concretagem em um prazo máximo de 7 dias

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.

Esta definição é muito variável de uma norma a outra, de um país a outro. O importante é o conceito de definir um certo volume de concreto para o qual pode-se admitir que tenha sido produzido com mesmos materiais, na mesma Central, com temperaturas e RH equivalentes, e que corresponda a uma parte definida da estrutura que será, então, julgada como conforme ou não.

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 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, 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 raramen-

te 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:

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

dos de concreto produzido por várias betoneiras estacionárias de obra e somente para volumes inferiores a 10m^3 , que a amostra tenha de 2 a 5 exemplares.

Exemplos:

■ **1º exemplo:** volume de concreto de pilares de um andar tipo de apenas 18m^3

a) Quando o concreto for produzido por central e entregue por 3 caminhões betoneira de 6m^3 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 300dm^3 (um saco por vez), os mesmos 18m^3 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 96m^3

a) Quando o concreto for produzido por central e entregue por 12 caminhões betoneira de 8m^3 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 300dm^3 (um saco por vez), os mesmos 96m^3 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. 8.

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



Figura 8 – Ensaio para avaliação da consistência do concreto fresco através do ensaio de abatimento do tronco de cone ABNT NBR NM 67:1998 (acervo PhD Engenharia)

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)
$f_{c1} = 19,0$ $f_{c2} = 20,9$	$f_c = 20,9$	$f_{c1} = 22,1$ $f_{c2} = 22,3$	$f_c = 22,3$
$f_{c1} = 24,9$ $f_{c2} = 28,3$	$f_c = 28,3$	$f_{c1} = 20,1$ $f_{c2} = 23,9$	$f_c = 23,9$
$f_{c1} = 22,2$ $f_{c2} = 20,3$	$f_c = 22,2$	$f_{c1} = 23,9$ $f_{c2} = 26,1$	$f_c = 26,1$
$f_{c1} = 21,2$ $f_{c2} = 26,5$	$f_c = 26,5$	$f_{c1} = 21,5$ $f_{c2} = 20,0$	$f_c = 21,5$
$f_{c1} = 22,5$ $f_{c2} = 26,9$	$f_c = 26,9$	$f_{c1} = 20,0$ $f_{c2} = 19,0$	$f_c = 20,0$
$f_{c1} = 23,5$ $f_{c2} = 26,8$	$f_c = 26,8$	$f_{c1} = 22,5$ $f_{c2} = 26,2$	$f_c = 26,2$

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.

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_{c1} . 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 41m³ 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?

Solução:

- Segundo a Tabela 3, reproduzida da ABNT NBR 12655:2006, cada lote terá 41m³ (< 50m³), e poderá ser constituído de 6 unidades de produto (4 caminhões betoneira de 8m³ mais 2 de 4,5m³) ou de 140 (unidades de produto) betonadas de 2 sacos por vez;
- 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 $n \leq 20$: lote 1: $f_{ck,est} = f_{c1} = 20,9 \text{ MPa}$

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 20 exemplares]. $f_{ck,est} \geq \Psi_6 \cdot f_{c1}$

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

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

usando o estimador

$$f_{ck,est} = 2 \cdot \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m \quad [1]$$

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

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

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

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

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 $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$.

13. 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 115 m^3 de concreto;
- ≥ 1 exemplar para cada 465 m^2 de área construída;
- Dispensado o controle para volumes inferiores a 36 m^3 , 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 15 cm diâmetro por 30 cm altura ou média de 3 corpos de prova de 10 cm de diâmetro e 20 cm 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 $3,5 \text{ MPa}$ em relação ao valor característico (até $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$);
3. Nenhum resultado individual deve ser inferior a $0,9 \cdot f_{ck}$ 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

Tabela 3 – Valores de Ψ_6 (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 $\leq 4,0 \text{ MPa}$; B = concreto produzido com desvio padrão $\leq 5,5 \text{ MPa}$ e C = concreto produzido com desvio padrão $\leq 7,0 \text{ MPa}$

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.

14. 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) 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**

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

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

■ **Para Produção contínua**

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

- 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 todo o concreto produzido em 1ano! 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.

15. 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,

$$f_{ck,est} < f_{ck}$$

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:

- 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;
- Permanecendo a insegurança estrutural, proceder à inspeção "in loco", preferencialmente melhorando a avaliação através do uso de ensaios simples, tipo esclerometria, pacometria e ultrassom;
- Na sequência, extrair testemunhos de acordo com a *ABNT NBR 7680:2007* (vide Fig. 9), e estimar o novo f_{ck} equivalente, de acordo com a *ABNT NBR 12655:2006*.

Neste ponto, a normatização 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 a 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;

e) Caso ainda não atenda f_{ck} de projeto, utilizar na nova verificação estrutural, para o caso dos estados limites últi-

mos (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.

16. 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 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



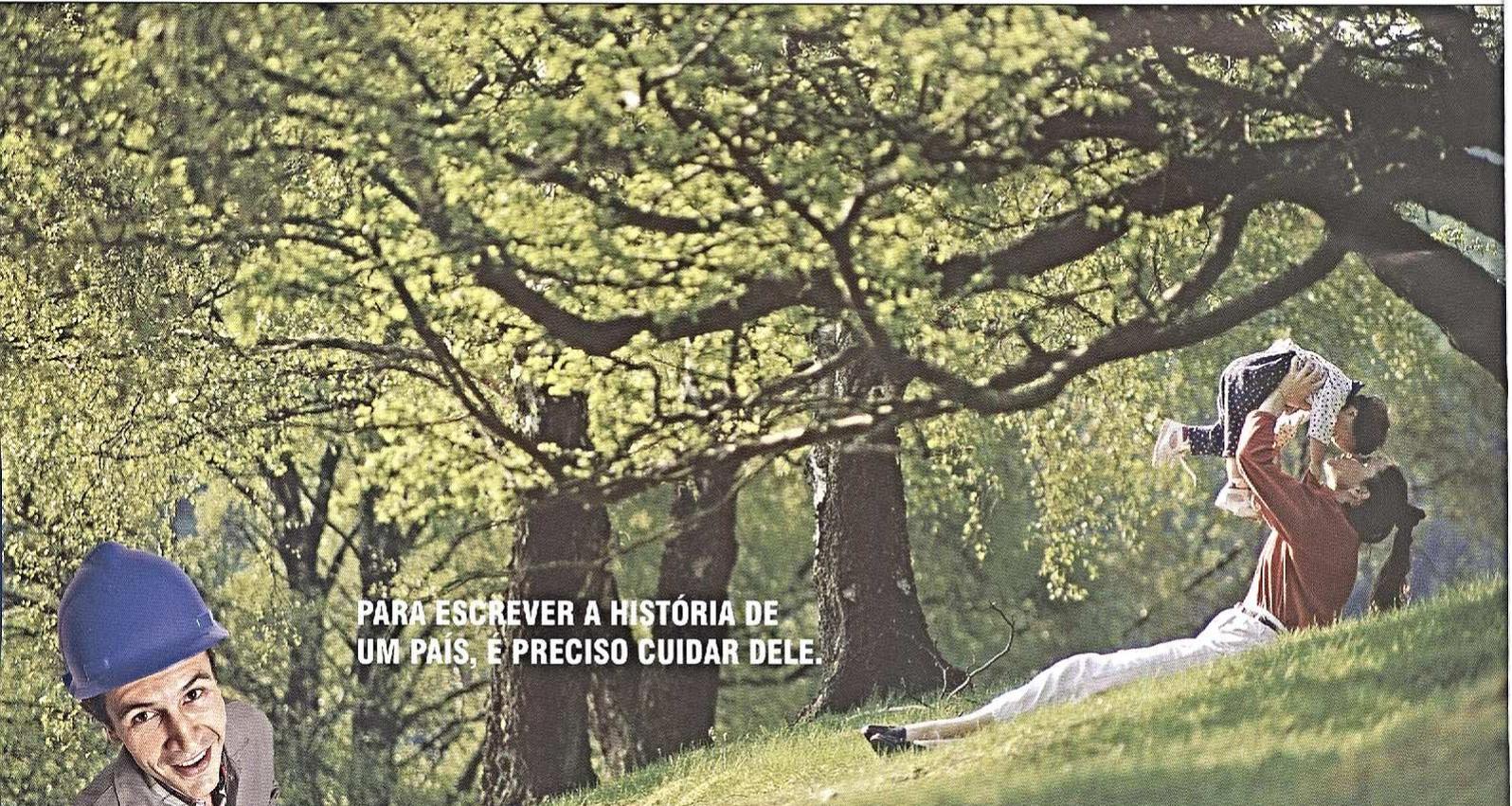
Figura 9 – Extração de testemunhos cilíndricos de concreto da estrutura para avaliação da resistência potencial equivalente do concreto à compressão

se evidenciará através do controle de produção do concreto, hoje quase restrito às Empresas de Serviços de Concretagem e indústrias de pré-fabricados.

A análise da resistência do concreto em estruturas existentes para fins de avaliação da segurança será objeto de outro artigo.

Referências Bibliográficas

- [07] 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
- [08] 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
- [09] 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)
- [10] 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
- [11] 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)
- [12] Meseguer, Álvaro Garcia. Control de la Calidad. In: Colloque Européen sur le Contrôle de la Qualité dans la Construction, primer. Madrid, 1976. Compterendus, European Organizatton for Quality Control EQQC, 1976, p. 361-3. ●



**PARA ESCREVER A HISTÓRIA DE
UM PAÍS, É PRECISO CUIDAR DELE.**

Para um país crescer, é preciso investimento. Mas é necessário também pensar no meio ambiente, na sociedade e nas futuras gerações.

A indústria do cimento investe em qualidade e utiliza as tecnologias mais avançadas para promover um desenvolvimento sustentável. Colabora ainda para tornar o meio ambiente mais limpo com o co-processamento: a destruição de resíduos industriais e pneus em seus fornos.

Onde tem gente tem cimento.