

# CONCRETO

& Construções



Ano XL  
**69**  
JAN-MAR • 2013

ISSN 1809-7197  
[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)

INFRAESTRUTURA GERAL E URBANA

## CONCRETO: PRESENTE NAS OBRAS DE INFRAESTRUTURA POR TODO PAÍS



PERSONALIDADE ENTREVISTADA

JOSÉ ROBERTO BERNASCONI:  
ENGENHARIA A SERVIÇO  
DA SOCIEDADE

ENTENDENDO O CONCRETO

CONTROLE DA  
RESISTÊNCIA  
DO CONCRETO

MERCADO NACIONAL

PERSPECTIVAS  
DO SETOR  
CONSTRUTIVO

# Controle da resistência do concreto – 1ª Parte

---

JÉSSIKA PACHECO

PAULO HELENE

PHD ENGENHARIA

---

## 1. 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, este sim podendo 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  $\sigma_p$ ) 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 constam mais do *EuroCode II*, e sim de uma norma específica, a *EN 206:2000 Concrete: specification, performance, production and conformity*.

Além dessas, outras normas específicas tratam da produção do concreto em canteiro e em Centrais, de amostragem de concreto fresco, de classificação dos con-

Figura 1 – Estocagem, dimensionamento, preparo e ensaio com corpos de prova



a



b



c



d

- a) Câmara úmida para cura dos corpos de prova (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 (acervo Rubens Bittencourt. Furnas, 2011)
- c) Retificação dos topos dos corpos de prova para ensaio (acervo PINI, Revista Técnica, edição 166. Janeiro de 2011);
- d) Ensaio de ruptura (acervo PINI, Revista Técnica, edição 166. Janeiro de 2011).

cretos, 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, tranquiliza 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 artigo, 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.

## 2. 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:  $(100 \pm 1)$ mm por  $(200 \pm 4)$ 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 proce-

dimentos e corpos de prova de geometrias próprias, não abordados neste documento.

### 3. 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 autoadensáveis

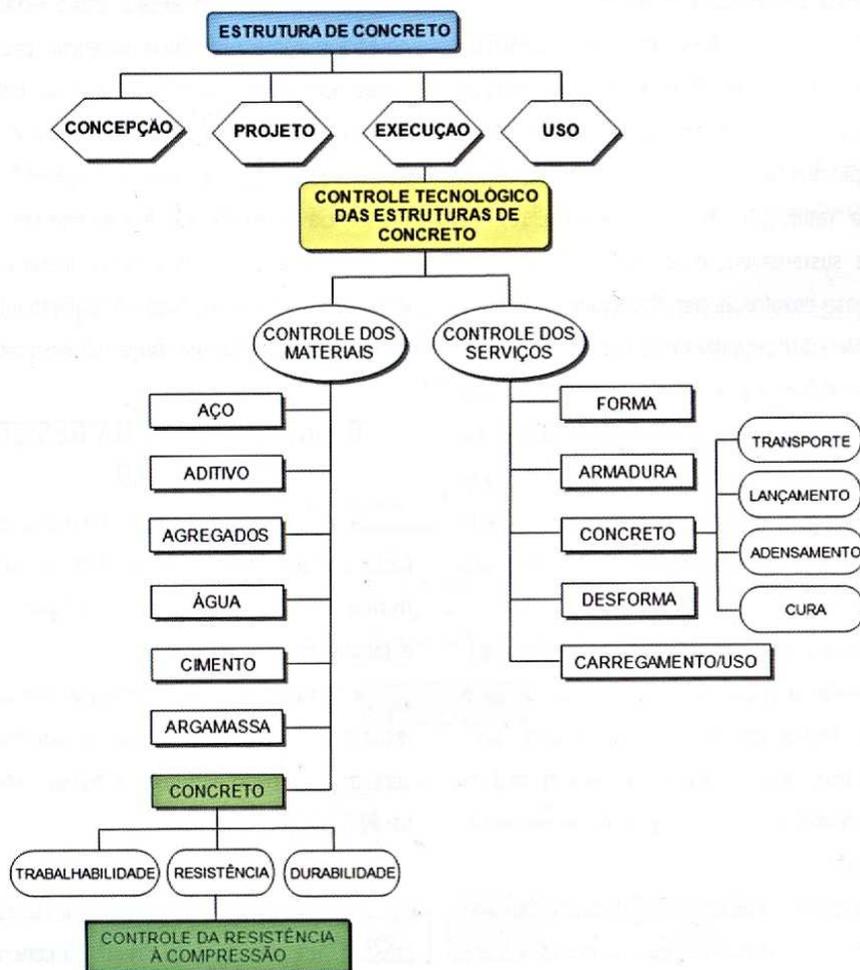
conforme *ABNT 15823:2010 - Concreto autoadensável*.

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 o concreto do volume correspondente ao terço central é mais representativo.

Porém, do ponto de vista de reduzir o risco de erro humano, retirar o 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 preme-

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, 1993)



ditada e intencional no traço que prejudique a qualidade original do concreto (Helene, 2012).

## 4. MOLDAGEM E SAZONAMENTO DOS CORPOS DE PROVA

A moldagem ou preenchimento dos moldes deve atender um procedimento rigoroso 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 quando se utilizam vibradores eletromecânicos com diâmetro da agulha de, no máximo, 25mm. Para concretos autoadensáveis (SCC) é dispensado o adensamento mecânico e o manual pode ser bem leve.

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

## 5. ENSAIO DE RESISTÊNCIA

Para o ensaio de ruptura deve ser atendido 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  $f_{cr}$  e normalmente expresso em MPa (cerca de 10 kgf/cm<sup>2</sup> ou 1 N/mm<sup>2</sup> ou 145psi).

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 (Terzian, 1993).

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, 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.

## 6. 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" ( $f_{cef}$ ) 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 ( $f_{ci}$ ).

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 – 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.

## 7. LIMITAÇÕES DO CONTROLE DA RESISTÊNCIA

Toda estrutura de concreto, depois de acabada, pos-

sui uma série de características próprias que a diferencia 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 formas 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 da-

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. (Terzian, 1993)

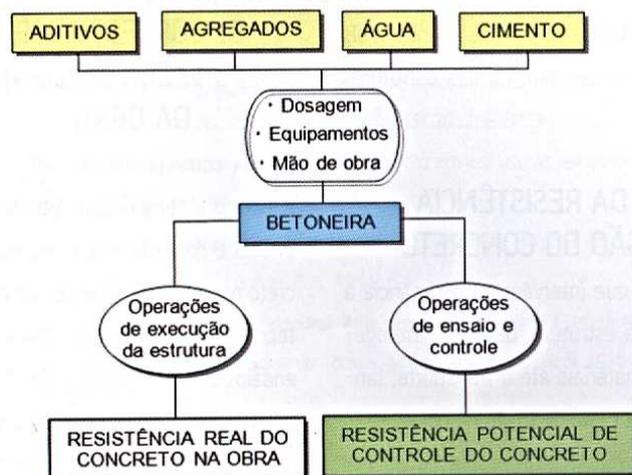


Figura 4 – Esmagamento de concreto em pilar de obra



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 (acervo PhD Engenharia)

quilo que está sendo executado frente ao que foi adotado no projeto da estrutura.

Apesar de que pode ser considerado um dos mais importantes, o 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.

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.

## 8. 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 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 a 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.

## 9. 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 resistên-

cia à compressão do concreto,  $\gamma_c$ , desde que a execução obedeça às técnicas atuais de bem construir e os desvios estejam dentro das tolerâncias expressas nos manuais de bem construir e na *ABNT NBR 14931:2004 Execução de estruturas de concreto. Procedimento*.

O valor usual de  $\gamma_c$  no Brasil é 1,4; 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.

## 10. 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.

## Referências Bibliográficas

- [01] Anton Corrales, J. M. Teorías probabilistas de seguridad. Madrid, Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. Monografía n. 306, Noviembre, 1972. 69p.
- [02] Carromeu, Cauê C.; Oliveira, Karina C.; Helene, Paulo; Hervé Neto, Egdio; Bilesky, Pedro; Pacheco, Jéssica 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
- [03] 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
- [04] 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
- [05] 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
- [06] Terzian, Paulo & Helene, Paulo. Manual de Dosagem e Controle do Concreto. São Paulo, PINI / SENAI, 1993. 189p. ISBN 85-7266-007-0 ●