

## ARTIGO

Envie artigo para: [techne@pini.com.br](mailto:techne@pini.com.br).  
O texto não deve ultrapassar o limite  
de 15 mil caracteres (com espaço).  
Fotos devem ser encaminhadas  
separadamente em JPG.

# Avaliação do concreto de peças estruturais pequenas pelo método dos cilindros montados

A avaliação de propriedades mecânicas em estruturas acabadas nem sempre é viável, muitas vezes devido à geometria dos elementos estruturais, quando esta não permite a extração de testemunhos com dimensões normalizadas para os ensaios (altura do corpo-de-prova no mínimo igual ao diâmetro, ou maior que três vezes a dimensão máxima do agregado graúdo).

Os experimentos apresentados mostraram ser possível "montar" um corpo-de-prova extraído de relação altura-diâmetro ideal, empregando segmentos de testemunhos do mesmo concreto solidarizados com argamassa, obtendo-se resultado semelhante ao de um corpo-de-prova ideal, extraído íntegro. A semelhança mostrou-se bastante evidente para ensaios a compressão e promissora para ensaios de módulo de deformação.

O método dos "cilindros montados" vem, assim, auxiliar na análise das propriedades mecânicas de estruturas, nas quais, pelos métodos tradicionais, não era possível obter resultados confiáveis.

## Metodologia

Em caso de necessidade de avaliação das propriedades mecânicas do concreto, é comum efetuar os ensaios

### Pedro Carlos Bilesky

Encarregado da Área de Concreto do Laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo  
e-mail: [pcbareta@ipt.br](mailto:pcbareta@ipt.br)

### Carlos Eduardo de Siqueira Tango

Doutor em Engenharia – Consultor autônomo e colaborador do Laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo  
e-mail: [tango@ipt.br](mailto:tango@ipt.br)

em corpos-de-prova cilíndricos obtidos de testemunhos extraídos da própria estrutura, por meio de coroas diamantadas rotativas, refrigeradas a água, conforme a NBR-7680 (1983).

Extraídos os testemunhos, devido a defeitos no concreto ou exigüidade de dimensões da peça, nem sempre é possível obter corpos-de-prova com dimensões adequadas para ensaio. A altura do corpo-de-prova, muitas vezes, tem que ser menor que o dobro do diâmetro, relação considerada ideal, ou até mesmo menor que uma vez o diâmetro, relação mínima admi-



Figura 1 – Moldagem dos protótipos

tida, o que inviabilizaria a avaliação. Considerando a exigência de que o diâmetro do corpo-de-prova deve ser pelo menos o triplo da dimensão máxima do agregado, ficam ainda mais evidentes as limitações dimensionais para a viabilização de tais ensaios. Além disso, as correções usuais, para os resultados de resistência à compressão obtidos com relações altura-diâmetro entre 2 e 1, não estão livres de propiciar erros de avaliação.

Propõe-se metodologia objetivando viabilizar a avaliação nas condições de impossibilidades geométricas acima assinaladas.

A metodologia consiste em avaliar as propriedades mecânicas do concreto montando-se os corpos-de-prova de modo a obter-se sempre uma relação altura/diâmetro (h/d) igual a 2,0, a partir da superposição de segmentos de testemunhos extraídos da mesma região, quando não for possível obter-se um corpo-de-prova íntegro com esta relação h/d.

Cada corpo-de-prova representativo de uma região da estrutura a ser ensaiada é montado a partir de segmentos de testemunhos extraídos de locais próximos, nessa região, tendo suas partes unidas por uma fina camada (< 3 mm) de argamassa, que deve garantir distribuição adequada dos esforços de compressão, sem alterar significativamente o resultado dos ensaios.

Para verificação da eficiência do método foram realizados, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas, ensaios laboratoriais de desempenho comparativos entre corpos-de-prova moldados, de acordo com a NBR-5738 (2003) e corpos-de-prova extraídos (NBR-7680/1983) de protótipos de elementos estruturais não armados, lajes e vigas moldadas com concretos de linha do mercado da cidade de São Paulo, com agregado graúdo de origem calcária, de 25 mm de diâmetro máximo.

Protótipos:

- 2 vigas Tipo I: altura = 0,30 m x largura = 0,22 m x comprimento = 1,30 m
- 2 vigas Tipo II: altura = 0,45 m x largura = 0,32 m x comprimento = 2,00 m

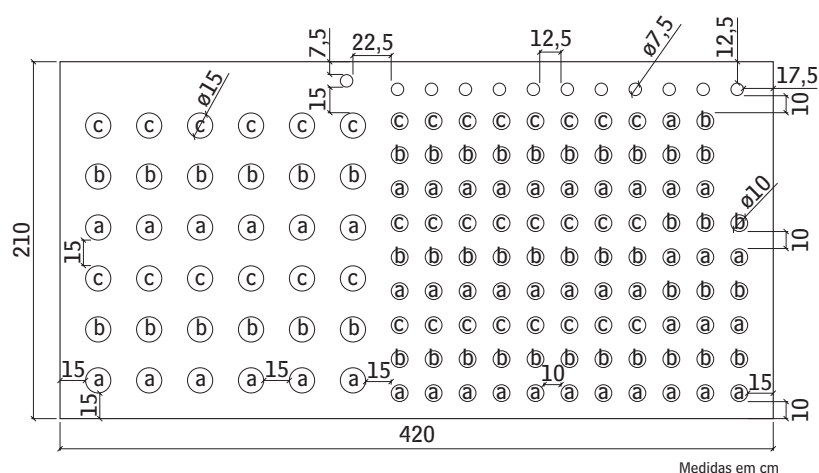


Figura 2 – Croqui da laje e pontos de extração

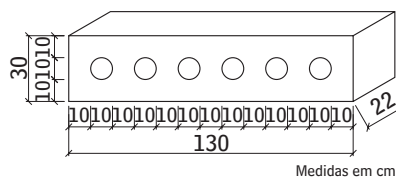


Figura 3 – Croqui da Viga tipo I e pontos de extração

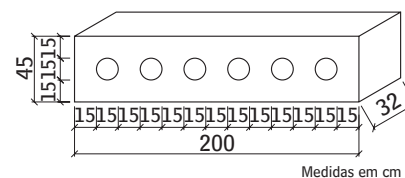


Figura 4 – Croqui da Viga tipo II e pontos de extração

- 1 Laje: altura = 0,15 m x largura = 2,10 m x comprimento = 4,20 m

O concreto foi lançado nas fôrmas diretamente do caminhão betoneira e adensado com vibrador de imersão (Figura 1).

Foram moldados e curados corpos-de-prova cilíndricos, de dimensões nominais de 100 mm de diâmetro

e 200 mm de altura e de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, para cada traço de concreto avaliado (Figura 2).

Após 14 dias de cura dos protótipos, foram extraídos de cada laje (NBR-7680/1983) testemunhos de 150 mm, 100 mm e 75 mm de diâmetro. Das vigas tipo I foram extraídos testemunhos de 100 mm de diâmetro, com



Figura 5 – Moldagem dos corpos-de-prova e dos protótipos



# ARTIGO

**Tabela 1 – INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DA ARGAMASSA DE CONSOLIDAÇÃO – TRAÇOS ESTUDADOS**

Argamassa	Concreto A				Concreto B				Concreto C			
	Cimento	Areia	Água	Aditivo	Cimento	Areia	Água	Aditivo	Cimento	Areia	Água	Aditivo
Tipo A	1,00	5,22	0,61	1%	1,00	4,00	0,49	1%	1,00	5,12	0,59	1%
Tipo B	1,00	4,24	0,51	1%	1,00	3,00	0,39	1%	1,00	4,00	0,49	1%
Tipo C	1,00	3,18	0,41	1%	1,00	2,49	0,34	1%	1,00	3,00	0,39	1%
Tipo D	1,00	2,16	0,31	1%	1,00	1,97	0,29	1%	1,00	1,97	0,29	1%

Consistência das argamassas: 260 ± 10 mm, ABNT-7215 (1996)

Materiais utilizados: Cimento CP-V-ARI, Areia Rosa de Bofete-SP e aditivo superplastificante.

h/d = 2,00 e das vigas tipo II foram extraídos testemunhos com diâmetro de 150 mm de diâmetro, com h/d = 2,00, conforme Figuras 3 e 4.

Para consolidação dos testemunhos, utilizou-se argamassa dosada para resistência média superior à do concreto, preparada de acordo com a NBR-7215 (1996). A necessidade da resistência da argamassa de consolidação ser maior do que a resistência esperada do concreto foi verificada em experimentos preliminares realizados com esta finalidade, variando-se a resistência das argamassas conforme resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2 e no Gráfico da Figura 6.

A partir dos testemunhos extraídos da laje, Figuras 7 e 8, foram montadas aos 25 dias de idade séries de corpos-de-prova, usando partes de testemunhos dos respectivos concretos, com as dimensões apresentadas

nas Figuras 7 a 12 e fotografia na Figura 13.

Todos os corpos-de-prova moldados e preparados conforme descrito anteriormente foram capeados com pasta quente de enxofre e pozolana na proporção de 80% e 20% e ensaiados aos 28 dias de idade, de acordo com a NBR-5739 (1994) e NBR-8522 (2003), sendo três dias a idade das argamassas de consolidação. Aspectos dos ensaios a compressão e de módulo são apresentados nas figuras 12, 13 e 14.

Os resultados obtidos nos ensaios a compressão estão apresentados graficamente nas figuras 16, 17 e 18.

Na Figura 19, apresentam-se as diferenças observadas nos resultados médios de resistência à compressão obtidos em corpos-de-prova extraídos íntegros e montados, em relação aos respectivos corpos-de-prova moldados.

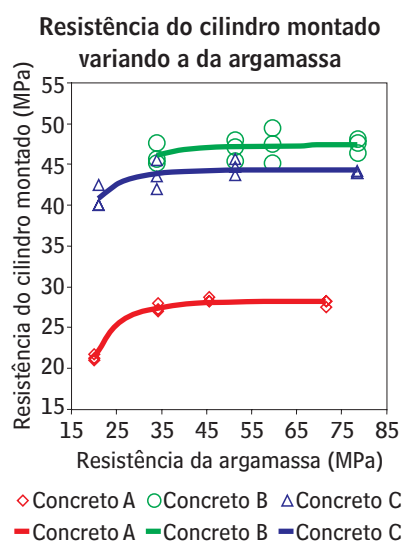
A avaliação da utilização de cilin-

dros montados no ensaio de módulo de elasticidade (NBR-8522/2003) foi realizada montando-se séries de três cilindros de relação h/d = 2,00, montagens Tipo A, B e C, de acordo com as figuras 9, 10 e 11.

Na figura 20, apresentam-se os diagramas tensão-deformação (médias de três corpos-de-prova cada) obtidos em primeiro carregamento, discriminados pelos tipos de corpos-de-prova.

Na figura 21, são mostrados os diagramas tensão-deformação (médias de três corpos-de-prova cada) obtidos em primeiro carregamento, discriminados pelos tipos de corpos-de-prova.

As Figuras 22 e 23 apresentam a comparação das médias e dos desvios-padrão obtidos para módulos de deformação tangente inicial e módulo de deformação secante (nível de 0,3 vezes a carga de rup-



**Figura 6** – Experimentos preliminares sobre a influência da resistência da argamassa no resultado do ensaio



**Figuras 7 e 8** – Extração de testemunhos da laje

**Tabela 2 – INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DA ARGAMASSA DE CONSOLIDAÇÃO – VERIFICAÇÃO**

Argamassa tipo	Concreto A		Concreto B		Concreto C	
	Resistência do concreto (cilindro montado) MPa	Resistência da argamassa de consolidação MPa	Resistência do concreto (cilindro montado) MPa	Resistência da argamassa de consolidação MPa	Resistência do concreto (cilindro montado) MPa	Resistência da argamassa de consolidação MPa
A	21,2	20,1	45,7	33,9	40,0	21,0
	21,0		47,7		42,5	
	21,7		45,2		40,0	
B	28,0	34,3	45,5	51,3	45,5	33,9
	27,2		47,2		43,5	
	27,0		48,0		42,0	
C	28,2	45,6	49,5	59,6	45,7	51,3
	28,7		47,5		43,7	
	28,2		45,2		44,7	
D	27,5	71,6	46,5	78,5	44,0	78,5
	28,2		48,2		44,2	
	28,2		47,7		44,0	

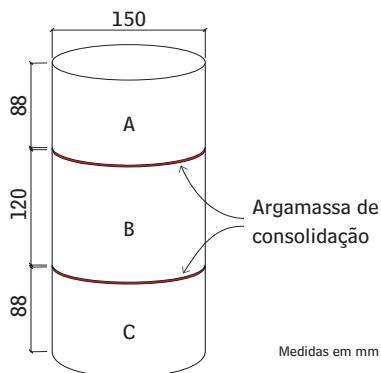
Idade das argamassas no dia do ensaio: 3 dias

tura prevista).

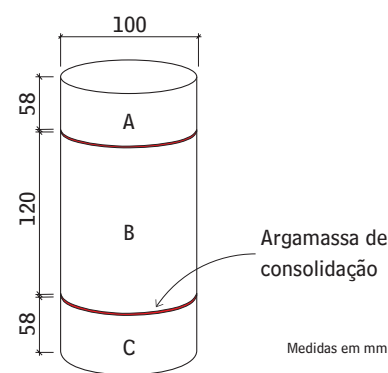
Pelos resultados obtidos nos ensaios de determinação da resistência à compressão, podemos concluir que os corpos-de-prova moldados de diâmetros 150 e 100 mm tiveram desempenho praticamente semelhantes, diferindo, ora para mais, ora para menos, cerca de até 3%, diferenças provenientes da variabilidade do próprio ensaio.

Os corpos-de-prova extraídos íntegros de diâmetros 150 e 100 mm apresentaram resultados semelhantes entre si e menores que os de corpos-de-prova moldados, diferindo destes em até cerca de menos 8%, diferenças estas bem próximas do percentual de majoração de 10% da resistência à compressão obtida no ensaio sugerido pela antiga NBR-6118.

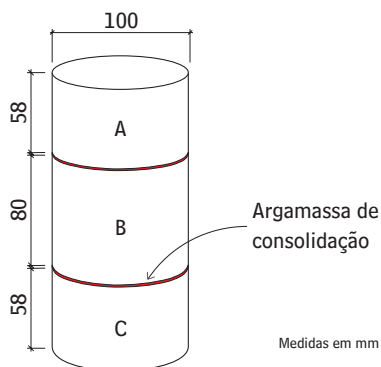
Os corpos-de-prova extraídos íntegros de 75 mm de diâmetro apresentaram resultados sensivelmente mais discrepantes que os correspondentes, moldados, de 150 e 100 mm de diâmetro, não parecendo serem convenientes para a avaliação dos concretos em estudo, pois estes chegaram a menos 30%. Estas diferenças podem ser justificadas pelo fato de estes corpos-de-prova sofrerem uma diminuição de seção efetiva no momento do ensaio. Esta diminuição



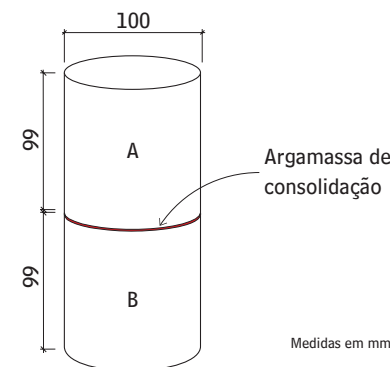
**Figura 9** – Croqui dos corpos-de-prova da Série A: dimensão básica: 150 mm de diâmetro x 300 mm de altura. Três partes de testemunho: A - 88 mm + B - 120 mm + C - 88 mm



**Figura 10** – Croqui dos corpos-de-prova da Série B: dimensão básica: 100 mm de diâmetro x 200 mm de altura. Três partes de testemunho: A - 38 mm + B - 120 mm + C - 38 mm



**Figura 11** – Croqui dos corpos-de-prova da Série C: dimensão básica: 100 mm de diâmetro x 200 mm de altura. Três partes de testemunho: A - 58 mm + B - 80 mm + C - 58 mm



**Figura 12** – Croqui dos corpos-de-prova da Série D: dimensão básica: 100 mm de diâmetro x 200 mm de altura. Duas partes de testemunho: A - 99 mm + B - 99 mm

ARTIGO



Figura 13 – Diversos tipos de montagens estudadas antes da consolidação



Figura 14 – Aspecto do ensaio a compressão



Figura 15 – Detalhe dos extensômetros

Concreto A

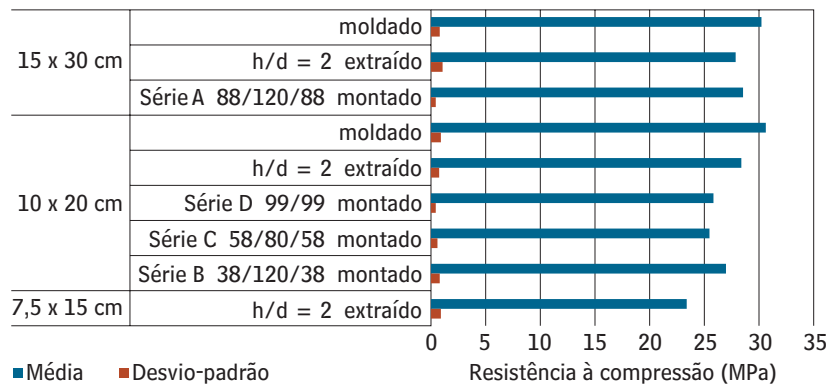


Figura 16 – Concreto A: Comparação de resistências à compressão média e respectivos desvios-padrão obtidos de corpos-de-prova moldados, extraídos íntegros e extraídos montados.



Figura 16 – Aspectos dos ensaios de módulo

Concreto B

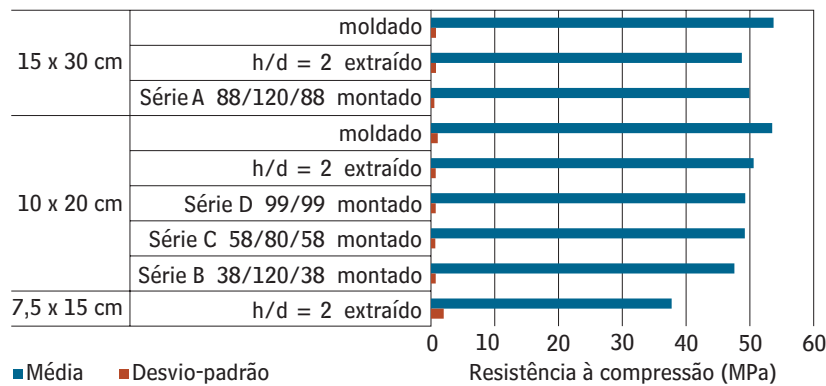


Figura 17 – Concreto B: Comparação de resistências à compressão média e respectivos desvios-padrão obtidos de corpos-de-prova moldados, extraídos íntegros e extraídos montados.

teórica se dá em função da distribuição dos esforços de compressão que tendem a eliminar os grãos de agregado graúdo existentes em toda periferia do corpo-de-prova, que não estão confinados pelo efeito parede gerado pela argamassa do concreto nas fôrmas, diminuindo assim a área de reação.

Os corpos-de-prova montados de 150 mm de diâmetro apresentaram comportamento em geral semelhante aos dos corpos-de-prova extraídos íntegros de mesmo diâmetro, isto é, diferenças percentuais de até cerca de menos 8%. Assim, parecem prestar-se bem a uma avaliação de

propriedades do concreto, com expectativa de confiabilidade semelhante à existente em extrações usuais de corpos-de-prova.

Os corpos-de-prova montados de 100 mm de diâmetro apresentaram diferenças percentuais médias maiores que os correspondentes íntegros, em relação aos corpos-de-prova moldados. As diferenças percentuais chegaram a menos de 15%. Essas diferenças são muito menores, em valor absoluto, às observadas para os corpos-de-prova extraídos íntegros de 75 mm de diâmetro. Assim, os corpos-de-prova montados de 100 mm de diâmetro devem, sempre que possível, ser adotados em substituição aos íntegros de 75 mm de diâmetro.

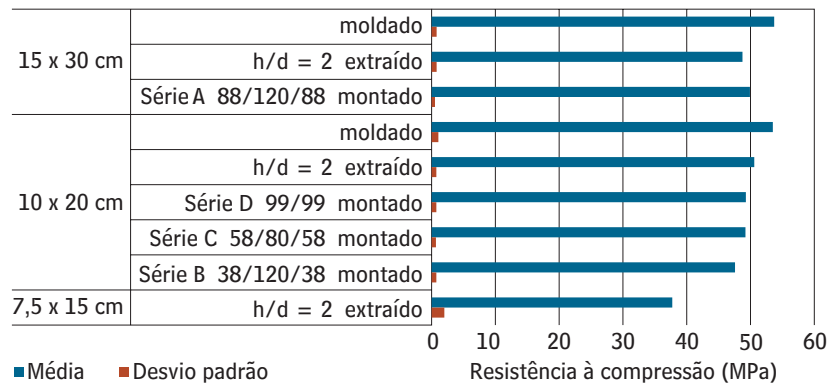
As formas de ruptura dos corpos-de-prova montados apresentaram-se semelhantes às obtidas nos ensaios de corpos-de-prova íntegros.

Na montagem dos testemunhos, deve-se utilizar sempre argamassas de consolidação com resistências maiores que a do concreto em estudo. É recomendável, inclusive, usar uma argamassa de alta resistência, aumentando a probabilidade de atendimento desse requisito para concretos desconhecidos a analisar, diminuindo-se assim a chance desta influenciar no resultado do ensaio.

A metodologia ora proposta, amostragem de testemunhos para montagem de cilindros utilizados na determinação da resistência à compressão, foi aprovada em 05/12/2006, pela Comissão de Estudo de Métodos de Ensaio de Concreto (CE-18:300.02), do ABNT/CB-18 (Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados), e foi disponibilizada para consulta nacional até o dia 12/03/2007. Em abril a Comissão se reúne para revisão final do texto e aprovação para publicação.

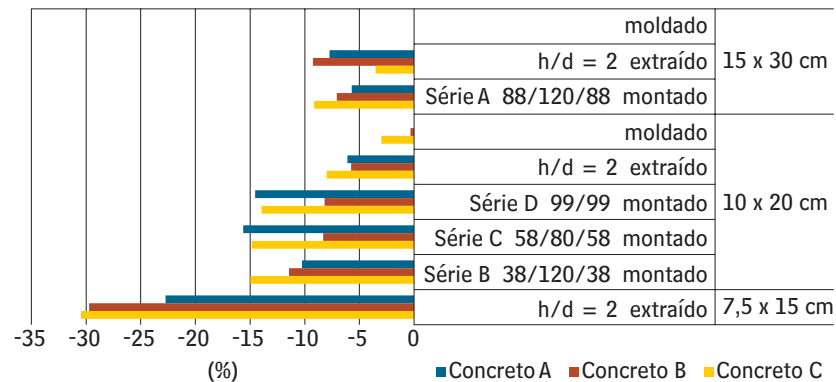
Os ensaios de determinação do módulo de elasticidade ou deformação demonstraram que os resultados obtidos em cilindros montados oscilaram em torno dos obtidos em cilindros moldados ou testemunhos extraídos íntegros, parecendo que o uso dos cilindros montados, confor-

**Concreto C**

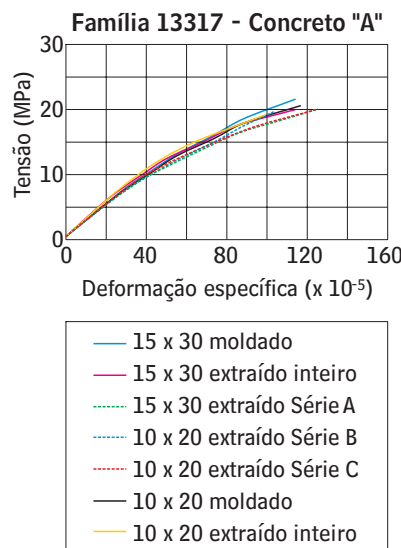


**Figura 18** – Concreto C: Comparação de resistências à compressão média e respectivos desvios-padrão obtidos de corpos-de-prova moldados, extraídos íntegros

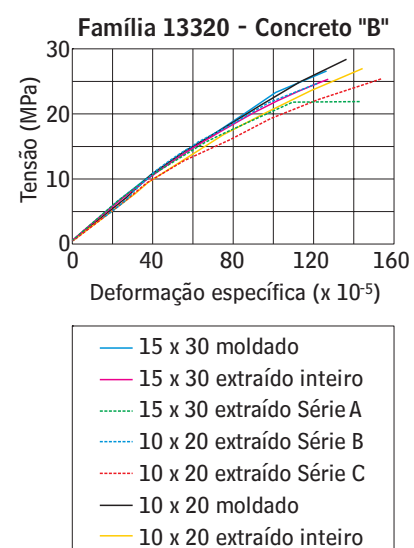
**Diferenças porcentuais médias em relação ao resultado no corpo-de-prova moldado de diâmetro 150mm**



**Figura 19** – Comparação entre as diferenças observadas



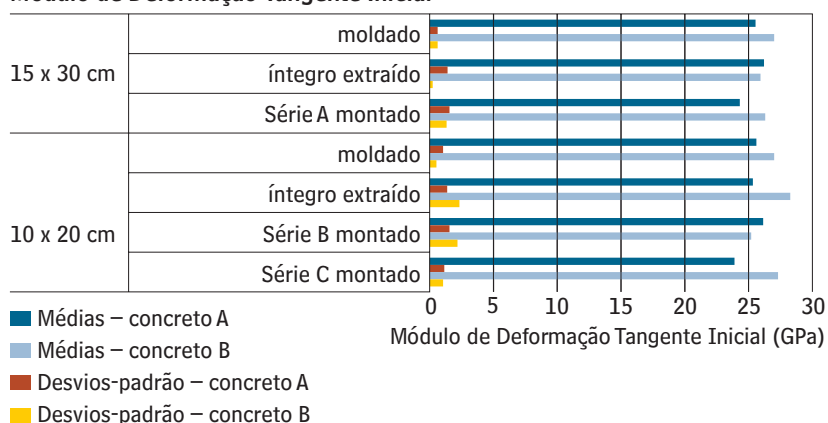
**Figura 20** – Concreto "D": Diagramas tensão-deformação obtidos para corpos-de-prova moldados, corpos-de-prova extraídos íntegros e cilindros montados (aqui indicados como "extraídos séries A, B e C").



**Figura 21** – Concreto "E": Diagramas tensão-deformação obtidos para corpos-de-prova moldados, corpos-de-prova extraídos íntegros e cilindros montados (aqui indicados como "extraídos séries A, B e C").

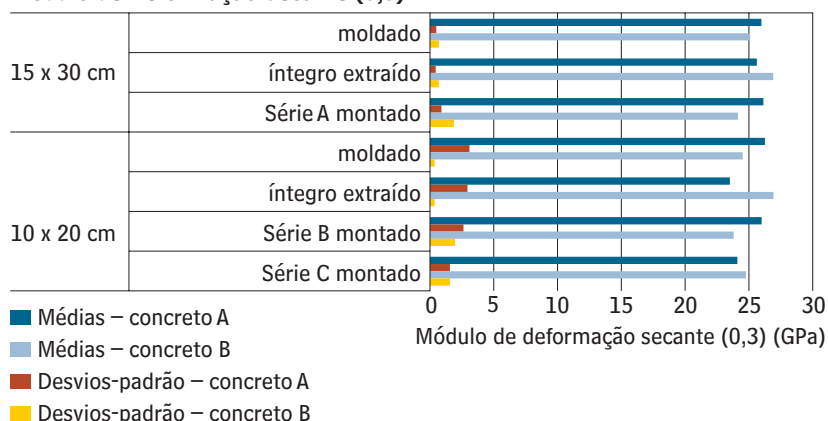
## ARTIGO

### Módulo de Deformação Tangente Inicial



**Figura 22** – Comparação de médias e desvios-padrão obtidos para módulos de deformação tangente inicial ou módulo de elasticidade.

### Módulo de Deformação Secante (0,3)



**Figura 23** – Comparação de médias e desvios-padrão obtidos para módulos de deformação secante (nível de 0,3 vezes a carga de ruptura prevista).

me os arranjos das figuras 8, 9 e 10, seria viável para aplicação nesses ensaios no nível de carregamento de 0,3 vezes a carga prevista de ruptura, em testemunhos extraídos. Isso era uma expectativa já existente, levando em conta que as juntas de consolidação tendem a não influir nos resultados de ensaios a compressão, principalmente quando se apresentam com módulo de deformação maior que o do concreto em estudo. Estas juntas estão posicionadas de forma a permitir a instalação de instrumentos de medição no terço médio do corpo-de-prova.

Os resultados obtidos de módulo de deformação e elasticidade en-

corajam a ampliação do estudo para se analisar concretos de diferentes classes, melhorando a amostragem para criação de metodologia.

#### Agradecimentos

Aos engenheiros Fernando Antonio Nogueira, da Tupi Concreto, e Eliron Souto Maia, da Engemix, pelo concreto usinado; ao engenheiro Antonio Carlos Zorzi, da Cyrela Engenharia, pelas fôrmas para moldagem dos protótipos; a Alcides Zanetti, da Dinateste, pelos extensômetros utilizados nos ensaios de módulo, e aos técnicos e engenheiros do Laboratório de Concreto do IPT.

### LEIA MAIS

#### NBR-5738 – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos de concreto – Procedimento.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2003.

#### NBR-5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos – Método de Ensaio.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1994.

#### NBR-7680 – Extração, preparo, ensaios e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Procedimento.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1983.

#### NBR-7215 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1996.

#### NBR-8522 – Determinação do módulo de deformação estática e diagrama – tensão deformação – Método de ensaio.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2003.

#### Utilização de cilindros montados para ensaios mecânicos de concreto (I – Resistência à Compressão).

P. C. Bilesky; C.E.S. Tango. 46º Congresso Brasileiro do Concreto. Florianópolis-SC, Ibracon, 2004.

#### Utilização de cilindros montados para ensaios mecânicos de concreto (II – Módulo de elasticidade).

P. C. Bilesky; C. E. S. Tango. 47º Congresso Brasileiro do Concreto. Olinda-PE, Ibracon, 2005.

#### Utilização de cilindros montados para ensaios mecânicos de concreto (III – Resistência à Compressão, $hd < 2,00$ ).

P. C. Bilesky; C. E. S. Tango. 48º Congresso Brasileiro do Concreto. Rio de Janeiro - RJ, IBRACON, 2006.