

## **Estudo comparativo de resultados de resistência à compressão de concretos produzidos com agregados graúdos da zona granulométrica 9,5/25 utilizando corpos de prova cilíndricos Ø5x10 cm e Ø10x20 cm**

*Comparative study of compressive strength results from concretes produced with coarse aggregates with particle size range 9.5-25 mm using Ø5×10 cm and Ø10×20 cm cylindrical test specimens*

José Maria F. Carvalho (1,2); Paula A. M. Campos (3); Junio O. S. Batista (3);  
Juliana F. Natalli (4); Fernando S. Souza (1); Ricardo A. F. Peixoto (5)

(1) *Doutorando(a), Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia Civil.*

(2) *Professor M.Sc., Universidade Federal de Viçosa (UFV), Departamento de Engenharia Civil.*

(3) *Graduando(a), Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia Civil.*

(4) *Mestrando(a), Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia Civil.*

(5) *Professor D.Sc., Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia Civil.*

*Laboratório de Materiais de Construção Civil, Escola de Minas, Campus Morro do Cruzeiro. Ouro Preto, Brasil. CEP 35400-000. E-mail: josemaria.carvalho@ufv.br*

### **Resumo**

A norma brasileira NBR 5738 prevê a utilização de corpos de prova (CPs) cilíndricos de concreto para os ensaios de compressão simples, obedecendo um diâmetro mínimo igual a 100 mm; relação altura / diâmetro igual 2; e relação diâmetro /  $D_{max}$  maior ou igual a 4, onde  $D_{max}$  é a dimensão máxima característica do agregado. A utilização de CPs de dimensões reduzidas, no entanto, representa vantagens significativas como: redução no consumo de materiais na produção; otimização do espaço de armazenamento e movimentação; e redução da força necessária para o rompimento. Com o intuito de avaliar a viabilidade do emprego de CPs Ø50×100 mm, três concretos estruturais (25 MPa; 35 MPa; e 45 MPa) foram produzidos com agregados graúdos da zona granulométrica 9,5/25 ( $D_{max} = 19$  mm) e quantidades iguais de CPs das geometrias Ø50×100 mm e Ø100×200 mm foram moldados. Os CPs foram rompidos com 28 dias de idade e seus resultados comparados. A análise estatística indicou que os resultados apresentados pelos dois CPs não podem ser considerados diferentes.

*Palavra-Chave: Corpos de prova de concreto, Efeito da dimensão dos corpos de prova, ensaio de resistência à compressão.*

### **Abstract**

The Brazilian standard NBR 5738 defines the use of cylindrical specimens for concrete compressive strength tests, obeying a minimum diameter dimension equals to 100 mm; diameter / height ratio equals to 2; and specimen diameter /  $D_{max}$  greater than or equal to 4, where  $D_{max}$  is the maximum characteristic aggregate dimension. However, the use of samples with reduced dimensions presents advantages such as reduction in material consumption; optimization in stock space and transportation; and reduction in required equipment capacity for the test. Aiming the feasibility evaluation in utilization of Ø50×100 mm cylindrical specimens, three structural concretes (25 MPa; 35 MPa; and 40 MPa) were produced using a particle size range 9.5-25 mm coarse aggregate ( $D_{max} = 19$  mm) and equal quantities of samples for each Ø50×100 mm and Ø100×200 mm geometry were molded. The samples were tested at 28 days and the results compared. The statistical analysis indicated that the results obtained for the two sample geometries cannot be considered different.

*Keywords: Concrete test specimens, Effect of the dimensions of the samples, Compressive strength test.*

## 1 Introdução

A resistência a compressão de um concreto é a propriedade mais básica e importante utilizada em projetos de estruturas de concreto armado (YI, YANG e CHOI, 2006). Adicionalmente, a determinação da resistência à compressão de um concreto é feita por um teste simples e relativamente barato, razões pelas quais o ensaio de resistência a compressão é o teste mais comum e largamente empregado (VISO, CARMONA e RUIZ, 2008).

A utilização da informação de resistência a compressão de concretos se torna um problema, no entanto, por causa das diferenças no tamanho e forma dos corpos de prova utilizados (YI, YANG e CHOI, 2006; ASLANI, 2013). Em países como Estados Unidos, Canadá, França, Austrália, entre outros, são utilizados como padrão os corpos de prova cilíndricos  $\varnothing 150 \times 300$  mm. Em outros como Alemanha, Reino Unido, e muitos outros da União Europeia, são utilizados como padrão os corpos de prova cúbicos de 150 mm. Em alguns países, no entanto, os dois padrões são igualmente aceitos (por exemplo, Noruega) (YI, YANG e CHOI, 2006; ASLANI, 2013). No Brasil, a norma ABNT NBR 5738:2015 prescreve a utilização de corpos de prova cilíndricos para os ensaios de compressão simples, que devem apresentar altura com dimensão igual a duas vezes a dimensão básica (diâmetro). As dimensões básicas prescritas são: 100, 150, 200, 250, 300 e 450 mm. Corpos de prova cilíndricos com diâmetro igual a 50 mm são utilizados para obtenção da resistência de cimentos, dada pela resistência à compressão de corpos de prova de uma argamassa padronizada, conforme prescrições da norma ABNT NBR 7215:2009; porém não são prescritos para ensaios em concretos.

A ABNT NBR 5738:2015 prescreve, ainda, que deve-se obedecer um critério de conformidade com a dimensão máxima característica do agregado, que não deve ser superior a 1/4 da dimensão básica do CP (em casos excepcionais, 1/3). Essa recomendação tem como fundamentação se evitar o efeito de parede (ASTM, 2002; NEVILLE, 2011).

Desde o início do século XX vários estudos comparativos vêm sendo realizados (GONNERMANN, 1925; GIENGO, 1938; MURDOCK e KESLER, 1957), demonstrando que a resistência de um mesmo lote de concreto pode diferir em função das diferenças na forma do corpo de prova, relação altura diâmetro, condição de carregamento, capeamento e restrições impostas em suas extremidades pelo equipamento (YI, YANG e CHOI, 2006; VISO, CARMONA e RUIZ, 2008; KUMAR e BARAI, 2012).

Vários autores têm estudado o efeito da forma e tamanho de corpos de prova não padronizados na determinação de propriedades mecânicas de concretos (DAY e HAQUE, 1993; KIM, YI, *et al.*, 1999; YI, YANG e CHOI, 2006; YAZICI e SEZER, 2007; VISO, CARMONA e RUIZ, 2008), incluindo concretos especiais (VISO, CARMONA e RUIZ, 2008; ASLANI, 2013) e condições especiais de carregamento (SINAIE, HEIDARPOUR, *et al.*, 2015). Muitos desses estudos buscaram comparar resultados de diferentes geometrias de corpos de prova e os correlacionar por meio de fatores de conversão ou equações. No entanto, poucos estudos comparativos envolvendo corpos de prova cilíndricos

Ø50 × 100 mm ou menores são encontrados na literatura, embora estes venham sendo utilizados por diversos autores em determinações de propriedades mecânicas (SINAIE, HEIDARPOUR, *et al.*, 2015).

Com relação aos corpos de prova cilíndricos, estudos vêm demonstrando que, com a redução do diâmetro observa-se, de maneira geral, um aumento na resistência à compressão (VISO, CARMONA e RUIZ, 2008; SINAIE, HEIDARPOUR, *et al.*, 2015), de tal forma que é prática comum assumir que a resistência de corpos de prova Ø100 × 200 mm é 5% maior que a de corpos de prova Ø150 × 300 mm (YAZICI e SEZER, 2007). Sinaie et al. (2015) ainda observaram que o módulo tangente inicial ( $E_0$ ) tende a diminuir com a redução do diâmetro, mas em carregamento cíclico, a ductilidade pós-pico e o módulo tangente no recarregamento tendem a aumentar.

Day e Haque (1993) estudaram a correlação entre a resistência de corpos de prova cilíndricos pequenos (Ø75 × 150 mm) e de tamanho padrão (Ø150 × 300 mm) de concretos convencionais e com cinza volante, submetidos a cura padrão e a frio. Como conclusão de seus estudos, observaram que os resultados foram estatisticamente idênticos, inferindo-se ainda que o mesmo se aplicaria a corpos de prova de Ø100 mm. Observações semelhantes foram feitas por Viso et al. (2008) em estudo com concretos de alta resistência (~90 MPa) utilizando agregados graúdos com dimensão máxima característica de 12 mm e corpos de prova cilíndricos Ø100 × 200 mm e Ø75 × 150 mm.

Modelos numéricos baseados em abordagem teórica de mecânica da fratura do concreto vêm sendo utilizados para estudar o comportamento de corpos de prova e propor equações (KUMAR e BARAI, 2012). Kim et al. (1999), utilizaram essa abordagem para propor uma equação para prever a resistência  $f_{c,d}$  de um corpo de prova de diâmetro  $d$  em função da resistência à compressão do corpo de prova padrão  $f_{c,s}$ , do diâmetro  $d$  (em mm), e da altura  $h$  (em mm) (Eq. 1). Os autores levantaram resultados de resistência de corpos de prova da literatura e realizaram análises experimentais e estatísticas, comparando resultados de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Os resultados mostraram que a equação pode ser usada para prever com boa precisão a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de diâmetro  $d$  com diferentes razões  $h/d$ . Neste mesmo trabalho, os autores avaliaram a influência da dimensão máxima do agregado no efeito da dimensão do corpo de prova na resistência à compressão, e concluíram que essa pode ser desconsiderada dentro da faixa dimensional prática.

Eq. 1

$$f_{c,d} = \frac{0,4f_{c,s}}{\sqrt{1 + \frac{(h-d)}{50}}} + 0,8f_{c,s}$$

Yi et al. (2006) fizeram um amplo estudo comparativo, onde diferenças entre tamanhos, formas e disposição de corpos de prova foram avaliados na determinação da resistência à compressão de concretos de resistência convencional a alta. Neste estudo, um agregado graúdo com dimensão máxima característica de 13 mm foi empregado. Quatro tipos

dimensionais de corpos de prova cilíndricos foram comparados ( $\varnothing 50 \times 100$  mm;  $\varnothing 100 \times 200$  mm;  $\varnothing 150 \times 300$  mm; e  $\varnothing 200 \times 400$  mm). De posse dos resultados e utilizando o método dos mínimos quadrados, os autores propuseram uma equação (Eq. 2) para estimar a resistência  $f_{c,d}$  (em MPa) de corpos de prova cilíndricos de concreto de diferentes diâmetros. Os parâmetros de entrada são a resistência à compressão do corpo de prova padrão  $f_{c,s}$  (em MPa) e o diâmetro  $d$  (em cm) do corpo de prova alternativo.

Eq. 2

$$f_{c,d} = \frac{0,49 f_{c,s}}{\sqrt{1 + d/2,6}} + 0,81 f_{c,s}$$

O tamanho e a forma dos corpos de prova impactam nos processos e capacidade de laboratórios, de maneira especial no contexto da pesquisa. Os volumes produzidos, a movimentação e armazenamento em condições especificadas, bem como a força necessária para o rompimento dos protótipos podem implicar em restrições importantes, principalmente em laboratórios com espaço e equipamentos limitados (YAZICI e SEZER, 2007; SINAIE, HEIDARPOUR, *et al.*, 2015). Esse fato é agravado quando se estudam concretos de alta resistência (VISO, CARMONA e RUIZ, 2008) ou materiais de difícil obtenção ou produção limitada, situações onde se tem disponibilidade de pequenas quantidades. Dessa forma, corpos de prova com dimensões reduzidas se apresentam como solução interessante, e a validação de seus resultados é fundamental para o emprego destes.

Neste trabalho é apresentado um estudo comparativo com o objetivo de investigar as implicações em se utilizar corpos de prova cilíndricos de dimensões  $\varnothing 50 \times 100$  mm em ensaios de compressão, produzidos com concretos convencionais utilizando agregados graúdos da zona granulométrica 9,5 / 25 mm. A avaliação será feita por comparação e análise estatística de resultados obtidos de concretos de um mesmo lote, através de ensaios realizados em corpos de prova cilíndricos de dimensões  $\varnothing 50 \times 100$  mm e corpos de prova cilíndricos de dimensões  $\varnothing 100 \times 200$  mm.

## 2 Metodologia

Um cimento CP III 40 RS da marca cauê/Intercement foi empregado nesta pesquisa. O agregado miúdo utilizado foi uma areia natural quartzosa, apresentando granulometria dentro da faixa utilizável de acordo com a norma ABNT NBR 7211:2009, e proveniente do rio dos Peixes, Ponte Nova, MG. Como agregado graúdo, foi utilizada rocha gnáissica britada, da faixa granulométrica 9,5/25, em conformidade com a ABNT NBR 7211:2009, e obtido junto à empresa Martins Lanna, Contagem, MG. Os agregados foram caracterizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e mantidos estocados em recipientes plásticos hermeticamente fechados no pátio do mesmo laboratório. Na Tabela 1 são apresentadas algumas propriedades dos agregados empregados.

Tabela 1 - Propriedades físicas dos agregados

Propriedade	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Metodologia
Massa específica	2,649 g/cm <sup>3</sup>		ABNT NBR NM 52:2002
Massa específica		2,657 g/cm <sup>3</sup>	ABNT NBR NM 53:2003
Massa unitária	1,615 g/cm <sup>3</sup>	1,541 g/cm <sup>3</sup>	ABNT NBR NM 45:2006
Material pulverulento	0,46%	0,15%	ABNT NBR NM 46:2003

Três traços de concreto foram projetados empregando-se o software de dosagem de concretos desenvolvido por Soares (2009) e aplicando-se o método ACI/ABCP (TORRES e ROSMAN, 1953). As resistências de dosagem estabelecidas foram: 25 MPa (C25); 35 MPa (C35) e 40 MPa (C40), e a consistência fixada em 60±10 mm pelo ensaio de abatimento do tronco de cone ABNT NBR NM 67:1998. Na Tabela 2 são apresentados os traços produzidos.

Tabela 2. Traços dos concretos produzidos

Traço	C25	C35	C40
Cimento, kg/kg de cimento	1,000	1,000	1,000
Areia, kg/kg de cimento	2,180	1,291	1,419
Pedra britada, kg/kg de cimento	3,050	1,911	2,173
Relação a/c, kg/kg de cimento	0,570	0,470	0,430
Consumo de cimento, kg/m <sup>3</sup>	374	495	473
Abatimento medido (slump), mm	50	50	60
Teor de argamassa, %	51,0	54,5	52,7

Os concretos foram preparados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFOP, utilizando-se o misturador forçado de eixo vertical, modelo MF2070, marca CSM, com capacidade normal de mistura de 120 L. Foram produzidos 30 corpos de prova de cada geometria estudada com os concretos C25 e C35, para cada traço. Com o concreto C40 foram moldados 10 corpos de prova para cada geometria.

Os corpos de prova foram moldados conforme ABNT NBR 5738:2015, sendo adensados com a utilização de mesa vibratória em tempos de 30 s (corpos de prova Ø100×200 mm) e 15 s (corpos de prova Ø50×100 mm). Após desmoldagem com 1 dia de idade, os corpos de prova foram mantidos em câmara úmida até a data do rompimento.

Os ensaios de compressão foram executados com 28 dias de idade, seguindo as recomendações da ABNT NBR 5739:2007. A regularização das faces em contato com os pratos da máquina de ensaio foi feita utilizando-se a técnica do capeamento com enxofre. A máquina universal de ensaios empregada foi uma EMIC DL 20000. Foi utilizada uma célula de carga de 20 tf (200 kN) de capacidade para os corpos de prova de dimensões Ø50×100 mm, e uma célula de carga de 200 tf (2 000 kN) de capacidade para os corpos de prova de Ø100×200 mm.

Para avaliar a diferença entre as médias dos resultados obtidos pelos dois tipos de corpos de prova, o Teste t para diferença entre médias de populações foi aplicado (RIBEIRO JR., 2012). Foi feito um tratamento para eliminação de valores considerados discrepantes (*outliers*) utilizando-se o critério de Chauvenet.

Os resultados obtidos foram comparados com os valores numéricos previstos pelas equações propostas por Kim et al. (1999) e Yi et al. (2006) (Eq. 1 e Eq. 2).

### 3 Resultados e Discussão

De maneira geral, os resultados apresentados pelos dois corpos de prova estudados ficaram próximos, sendo que os corpos de prova  $\varnothing 50 \times 100$  mm apresentaram uma maior dispersão comparada com a dos corpos de prova  $\varnothing 100 \times 200$  mm, como mostrado na Figura 1. Os desvios padrão observados foram superiores para os corpos de prova  $\varnothing 50 \times 100$  mm para todos os traços (80%; 66%; e 264% para os concretos C25; C35; e C40, respectivamente). As maiores dispersões foram observadas para o concreto C35 (Desvios padrão de 6,72 MPa e 4,06 MPa para os corpos de prova  $\varnothing 50 \times 100$  mm e  $\varnothing 100 \times 200$  mm, respectivamente). A grande diferença entre os desvios padrão dos dois corpos de prova para o concreto C40 foi potencializada pelo número reduzido de corpos de prova e pelo tratamento de eliminação de *outliers*. Os maiores desvios padrão observados para o concreto C35 não têm relação com as geometrias, uma vez que ambas as geometrias apresentaram valores significativamente maiores que os apresentados pelas mesmas no concreto C25.

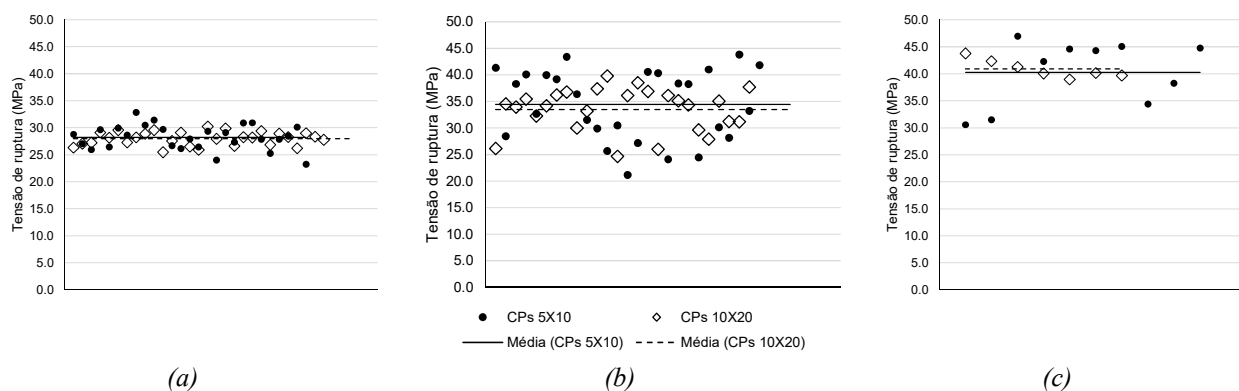


Figura 1. Dispersão dos resultados de resistência à compressão dos corpos de prova  $\varnothing 50 \times 100$  mm e  $\varnothing 100 \times 200$  mm: (a) C25; (b) C35; (c) C40.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão mostraram que os corpos de prova  $\varnothing 50 \times 100$  mm apresentaram um valor médio superior aos apresentados pelos corpos de prova  $\varnothing 100 \times 200$  mm para os concretos C25 e C35, sendo que a diferença observada para o C25, foi de 0,87% (28,23 MPa x 27,99 MPa) e para o C35, 2,88% (34,43 MPa x 33,47 MPa). Essas observações concordam com o reportado pela literatura, indicando que ao se reduzir o tamanho do corpo de prova, a resistência mecânica tende a aumentar

(VISO, CARMONA e RUIZ, 2008; SINAIE, HEIDARPOUR, *et al.*, 2015). No entanto, o mesmo não foi observado para o concreto C40, cuja diferença obtida foi de -1,52% (40,26 MPa x 40,88 MPa). Na média, no entanto, observou-se que os corpos de prova  $\varnothing 50 \times 100$  mm apresentaram uma resistência à compressão 0,75% maior que a apresentada pelos corpos de prova  $\varnothing 100 \times 200$  mm. São mostrados na Tabela 3 os resultados dos ensaios de resistência à compressão. Na Figura 2 são mostrados os gráficos comparativos de resistência à compressão e desvio padrão.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova

Traço	Resultados (MPa)		Diferença (%)	Desvio padrão (MPa)		Diferença (%)
	$\varnothing 50 \times 100$ mm	$\varnothing 100 \times 200$ mm		$\sigma(\varnothing 50$ mm)	$\sigma(\varnothing 100$ mm)	
<b>C25</b>	28.23	27.99	0.87%	2.29	1.27	80%
<b>C35</b>	34.43	33.47	2.88%	6.72	4.06	66%
<b>C40</b>	40.26	40.88	-1.52%	6.12	1.68	264%
<b>Média</b>			0.75%			136.64%

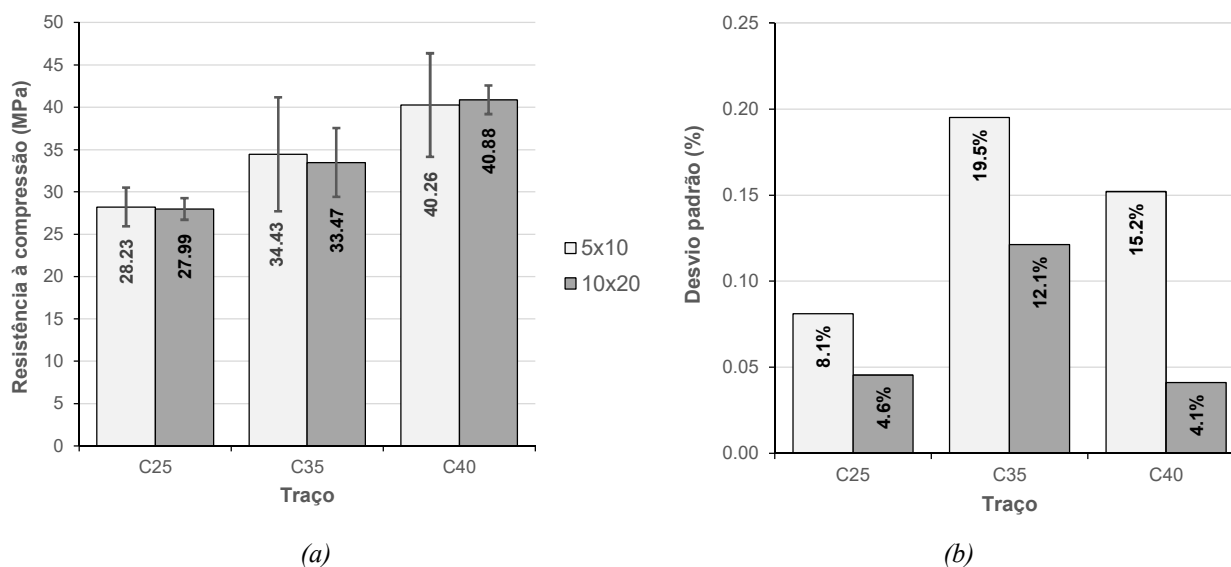


Figura 2. Gráficos comparativos dos resultados dos ensaios de resistência à compressão: (a) Resistência à compressão dos diferentes traços para os dois corpos de prova testados; (b) Avaliação do desvio padrão em percentual da resistência média.

Foi aplicado o Teste t para diferença entre médias de uma população. A hipótese avaliada foi que as médias  $m_1$  e  $m_2$  são iguais ( $H_0: m_1 - m_2 = 0$ ) para um intervalo de confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ). Os resultados mostraram que a hipótese de as médias serem iguais não pode ser rejeitada para os três concretos. Esse achado concorda com resultados reportados por Day e Haque (1993) e Viso *et al.* (2008). Os principais parâmetros da análise são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Principais parâmetros do Teste t para duas médias, sendo a hipótese  $H_0: m_1 - m_2 = 0$  e  $\alpha = 0,05$ .

Concreto	Amostra	População	Média (MPa)	Desv. pad. (MPa)	t, calc.	p-valor	Intervalo de confiança	Resultado
C25	1: Ø50	27	28,23	2,29	0,4873	0,6287	(-0,7676 ; 1,2553)	Não rejeitado
	2: Ø100	29	27,99	1,27				
C35	1: Ø50	27	34,43	6,72	0,6346	0,5291	(-2,0991 ; 4,0264)	Não rejeitado
	2: Ø100	26	33,47	4,06				
C40	1: Ø50	10	40,26	6,12	-0,3041	0,7673	(-5,1594 ; 3,9204)	Não rejeitado
	2: Ø100	7	40,88	1,68				

Os resultados de resistência a compressão medidos foram confrontados com valores previstos pelas equações propostas por Kim et al. (1999) e Yi et al. (2006). Para tanto, a resistência do corpo de prova padrão foi calculada com base na resistência do copo de prova Ø100 × 200 mm. Os resultados mostraram que as duas equações superestimaram os valores de resistência à compressão dos corpos de prova Ø50 × 100 mm, sendo que a equação proposta por Kim et al. (1999) apresentou valores ligeiramente mais próximos aos medidos, com desvios de 3,9% para o C25; 1,9% para o C35; e 6,5% para o C40. Para os valores obtidos pela equação proposta por Yi et al. (2006), os desvios observados foram 5,3% para o C25; 3,2% para o C35; e 7,9% para o C40. Os resultados deste estudo são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Análise comparativa entre os resultados de resistência à compressão medidos e calculados para o corpo de prova Ø50×100 mm

Concreto	$f_{c,s}$	h (mm)	d (mm)	$f_{c,d}$ medido (MPa)	$f_{c,d}$ (Kim et al.)		$f_{c,d}$ (Yi et al.)	
	(MPa)				(MPa)	Desvio(%)	(MPa)	Desvio(%)
C25	27,1	100	50	28,23	29,35	3,9%	29,72	5,3%
C35	32,4	100	50	34,43	35,08	1,9%	35,53	3,2%
C40	39,6	100	50	40,26	42,88	6,5%	43,43	7,9%
Média						4,1%		5,5

Com o intuito de avaliar a distribuição dos agregados no interior dos corpos de prova Ø50 × 100 mm, alguns exemplares foram divididos diametralmente ao meio (por compressão diametral) e foi feita uma inspeção visual (Figura 3). De maneira geral, apesar da dimensão máxima característica do agregado gráudo não respeitar o limite de 1/4 da dimensão básica do corpo de prova, os agregados ficaram bem distribuídos em seu interior e totalmente envolvidos por argamassa. Adicionalmente, para os concretos de maior resistência, observou-se predominância da fratura do agregado ao longo do plano de ruptura, ao passo que no concreto de menor resistência, observou-se predominância do descolamento do agregado da argamassa, conforme esperado.





Figura 3. Corpos de prova  $\varnothing 50 \times 100$  mm divididos ao meio (C35).

Neste estudo, para os traços produzidos e resultados obtidos, não foram observadas evidências que desqualifiquem a utilização de agregados graúdos da zona granulométrica 9,5/25 na produção de corpos de prova  $\varnothing 50 \times 100$  mm, e seu emprego em ensaios de resistência à compressão. Dessa forma, a afirmação de Kim et al. (1999) de que pode-se desconsiderar a influência da dimensão máxima do agregado dentro da faixa dimensional prática, é aplicável à condição estudada. No entanto, outras investigações estão sendo feitas utilizando-se agregados de outras zonas granulométricas para avaliar, entre outros, a influência no desvio padrão.

#### 4 Conclusão

Neste estudo, os corpos de prova  $\varnothing 50 \times 100$  mm apresentaram resistência à compressão 0,75% maior, em média, que a apresentada pelos corpos de prova  $\varnothing 100 \times 200$  mm. O desvio padrão observado foi, em média, 136% maior para os corpos de prova  $\varnothing 50 \times 100$  mm, comparando com os corpos de prova  $\varnothing 100 \times 200$  mm. A análise estatística, no entanto, indica que os resultados de resistência à compressão apresentado pelos corpos de prova  $\varnothing 50 \times 100$  mm e  $\varnothing 100 \times 200$  mm não podem ser considerados diferentes, com uma confiabilidade de 95%. Para os concretos testados, as equações propostas por Kim et al. (1999) e Yi et al. (2006) superestimaram as resistências à compressão apresentadas pelos corpos de prova  $\varnothing 50 \times 100$  mm em 4,1% e 5,5% respectivamente. Por fim, observou-se uma distribuição uniforme dos agregados graúdos no interior dos corpos de prova  $\varnothing 50 \times 100$  mm e um completo envolvimento destes por argamassa. Dessa forma, não foram observadas evidências que desqualifiquem a utilização de agregados graúdos da zona granulométrica 9,5/25 na produção de corpos de prova de concreto cilíndricos  $\varnothing 50 \times 100$  mm, destinados a ensaios de resistência à compressão.

#### 5 Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer as instituições FAPEMIG, CAPES, Fundação Gorceix, UFOP, UFV e CNPq pelo apoio financeiro para a realização e apresentação dessa pesquisa. Também somos gratos pela infraestrutura e colaboração do Grupo de Pesquisa em Resíduos Sólidos - RECICLOS - CNPq.

## 6 Referências

ABNT. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996.

ABNT. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998.

ABNT. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2002.

ABNT. **NBR NM 46**: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.

ABNT. **NBR NM 53**: Agregado Graúdo - Determinação de massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.

ABNT. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006.

ABNT. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007.

ABNT. **NBR 5738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015.

ASLANI, F. Effects of specimen size and shape on compressive and tensile strengths of selfcompacting concrete with or without fibres. **Magazine of Concrete Research**, v. 65, n. 15, p. 914-929, 2013.

ASTM. **ASTM C192/C192M-02**: Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory. Philadelphia: American Society of Testing Materials, 2002.

DAY, L. R.; HAQUE, M. N. Correlation Between Strength of small- and Standard-Size Concrete Cylinders. **ACI Materials Journal**, v. 90, n. 5, p. 452-462, 1993.

GIENGO, T. Effect of type of test specimen and gradation of aggregate on compressive strength of concrete. **ACI Journal Proceedings**, v. 33, p. 269-238, 1938.

GONNERMANN, H. F. Effect of size and shape of test specimen on compressive strength of concrete. **ASTM Proc.**, v. 25, p. 237-250, 1925.

KIM, J. K. et al. Size Effect on Compressive Strength of Plain and Spirally Reinforced Concrete Cylinders. **ACI Structural Journal**, v. 96, n. 1, p. 88-95, 1999.

KUMAR, S.; BARAI, S. V. Effect of loading condition, specimen geometry, size-effect and softening function on double-K fracture parameters of concrete. **Sadhana**, v. 37, n. 1, p. 3-15, 2012.

MURDOCK, J. W.; KESLER, C. E. Effect of length to diameter ratio of specimen on the apparent compressive strength of concrete. **ASTM Bulletin**, v. 221, p. 68-73, 1957.

NEVILLE, A. M. **Properties of Concrete**. 5th. ed. [S.l.]: Pearson, 2011.

RIBEIRO JR., J. I. **Métodos Estatísticos Aplicados à Melhoria da Qualidade**. Viçosa: UFV, 2012.

SINAIE, S. et al. Effect of size on the response of cylindrical concrete samples under cyclic loading. **Construction and Building Materials**, v. 84, n. 2015, p. 399-408, 2015.

SOARES, A. F. F. **Software especialista para dosagem de matrizes cimentícias**. Monografia - Curso de graduação em Engenharia de Produção Civil - CEFET MG. Belo Horizonte. 2009.

TORRES, A. F.; ROSMAN, C. E. **Método para dosagem racional do concreto**. São Paulo: ABCP, 1953.

VISO, J. R.; CARMONA, J. R.; RUIZ, G. Shape and size effects on the compressive strength of high-strength concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 38, n. 2008, p. 386-395, 2008.

YAZICI, S.; SEZER, G. I. The effect of cylindrical specimen size on the compressive strength of concrete. **Building and Environment**, v. 42, n. 2007, p. 2417-2420, 2007.

YI, S. T.; YANG, E. I.; CHOI, J. C. Effect of specimen sizes, specimen shapes, and placement directions on compressive strength of concrete. **Nuclear Engineering and Design**, v. 236, n. 2006, p. 115-127, 2006.