

Influência do capeamento de corpos-de-prova cilíndricos na resistência à compressão do concreto

FRED R. BARBOSA - PROFESSOR

JOÃO M. F. MOTA - PROFESSOR

FACULDADE DO VALE DO IPOJUCA - CARUARU-PE

ANGELO J. COSTA E SILVA - PROFESSOR-DOCTOR

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - UNICAP

ROMILDE A. OLIVEIRA - PROFESSOR PERMANENTE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL, UFPE

1. INTRODUÇÃO

Dentre as formas empregadas para avaliação das características do concreto, identificam-se ensaios de determinações mecânicas destrutivas e não destrutivas. O ensaio mais consagrado para avaliação do desempenho mecânico do concreto é destrutivo - ensaio de resistência à compressão, onde este parâmetro é obtido por meio de ensaios de compressão uniaxial de corpos-de-prova moldados especificamente para esta finalidade. (SCANDIUZZI e ANDRIOLO, 1986; MARCO, REGINATTO e JACOSKI, 2003).

Alguns fatores que podem afetar o resultado relativo à qualidade intrínseca do material são relacionados com as características dos corpos-de-prova. São os casos da geometria, dimensões, grau de adensamento, tipo de molde utilizado, processo de cura empregado e forma de preparação



Detalhe do corpo-de-prova faceado no topo superior com borracha e capacete metálico

dos topos e ainda aqueles relacionados às características de execução do ensaio, através da influência da rigidez da máquina de ensaio e da velocidade de aplicação da carga (BEZERRA, 2007).

O presente trabalho resulta de um estudo comparativo entre diferentes formas de preparação de topos de corpos-de-prova,

relacionando-os e buscando possíveis correlações entre eles.

2. PREPARAÇÃO DOS TOPOS DOS CORPOS-DE-PROVA

No ensaio de compressão axial, as faces devem ser ortogonais ao eixo do corpo-de-prova. Pequenas irregularidades na superfície já são suficientes para provocar excentricidade, pelo carregamento não uniforme e, conseqüentemente, uma diminuição da resistência final. (BEZERRA, 2007).

Para minimizar o efeito desta excentricidade, efetua-se um tratamento para a superfície, tal que os desvios de planicidade não ultrapassem 0,05 mm e que o desvio entre as faces paralelas e o eixo longitudinal seja inferior a 0,5°. Para o tratamento das superfícies, a norma NBR 5738/2008 (ABNT, 2008) recomenda a utilização de processo por retífica ou capeamento.

A NBR 5738/2008 recomenda a utilização de um dispositivo auxiliar, denominado capeador, que garanta a perpendicularidade da superfície, obtida com a geratriz do corpo-de-prova, e que esta superfície deve ser lisa, isenta de riscos ou vazios e não ter falhas de planicidade superiores a 0,05mm em qualquer ponto. Destaca, ainda, que outros processos podem ser empregados, desde que sejam submetidos à avaliação prévia por comparação estatística com corpos-de-prova capeados pelo processo tradicional.



Retífica utilizada para o corte superficial do topo do corpo-de-prova

Existem basicamente três sistemas de regularização das faces: sistemas de capeamento colado, sistemas de capeamento não colados e sistemas de desgaste mecânico (BEZERRA, 2007).

Os sistemas colados compreendem aqueles que utilizam materiais que formam uma camada regular que adere física ou quimicamente à superfície da base do corpo-de-prova. Nesta categoria, destacam-se: a utilização de capeamento com mistura de enxofre; e o capeamento com pasta ou argamassa de cimento. A NBR 5738/2008 recomenda o emprego de pasta de cimento para o capeamento de corpos-de-prova cilíndricos de concreto fresco e de argamassa de enxofre ou desgaste mecânico para os de concreto endurecido.

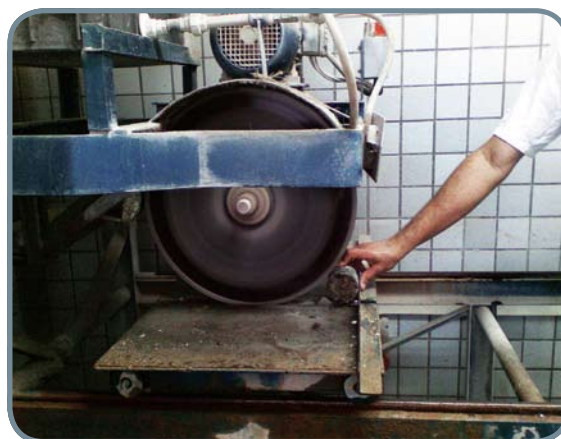
O enxofre vem sendo utilizado para capeamento dos corpos-de-prova desde o início do século XX, inicialmente através de uma mistura com 'filler' inerte e, atualmente, sem adições. Apresenta como vantagens o endurecimento rápido, atingindo elevada resistência à compressão em poucas horas; a alta produtividade em um dado espaço de tempo; e a boa aderência.

A grande desvantagem da utilização do enxofre no capeamento de corpos-de-prova encontra-se na liberação de gás sulfídrico durante a fusão do enxofre em pó, quando contaminado com materiais como parafina ou óleos. A inalação do SO₂ representa substancial risco à saúde, uma vez que representa produto altamente tóxico e irritante para as mucosas das vias respiratórias. A combinação deste gás com a água e o oxigênio forma ácido sulfúrico. A aplicação deste sistema requer cuidados especiais, a fim de evitar acúmulos deste gás e possíveis danos aos operadores.

SCANDIUZZI e ANDRIOLO (1986) realizaram um trabalho comparativo de resultados entre os capeamentos por mistura de enxofre e pasta de cimento e observaram melhores resultados e menores variações para os corpos-de-prova capeados por mistura de enxofre.



Detalhe da aplicação do enxofre nas faces do corpo-de-prova



Vista do equipamento de serra mármore utilizado para o desgaste dos tops

Os sistemas não colados caracterizam-se pela utilização de um material como almofada para as bases do corpo-de-prova, podendo este material estar confinado ou não. Dentre os materiais mais empregados, destacam-se: os elastômeros como o neoprene; areia confinada também se presta para este fim.

O capeamento com almofadas elásticas está sendo amplamente utilizado no Brasil e no mundo, mas, ainda, existem poucos estudos a respeito do seu emprego (BEZERRA, 2007). O principal elastômero utilizado tem sido o Policloroprene, comercialmente conhecido como Neoprene. Ele pode ser utilizado na forma não confinada ou confinada; contudo, a primeira apresenta inconsistência de resultados quando comparada à utilização do enxofre (MARCO, REGINATTO e JACOSKI, 2003).

Na forma confinada, utiliza-se uma base metálica, cuja função é restringir a deformação lateral do elastômero. Não é

recomendável a utilização deste sistema para concretos com resistência abaixo de 10MPa, ou acima de 85MPa, embora existam pesquisas com resultados satisfatórios para concretos de até 130MPa. A tabela 1 apresenta as considerações da norma ASTM C 1231 (ASTM, 2000) para almofadas de neoprene.

A borracha tem um período de utilização de até 1.000 vezes, desde que sejam observados alguns cuidados como não inverter o lado de aplicação da carga na borracha dentro da base metálica e trocá-la ao primeiro sinal de desgaste nas bordas (VIEIRA apud BEZERRA, 2007).

No caso do desgaste mecânico promove-se a remoção de uma fina camada de material do topo a ser preparado, proporcionando uma superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos; contudo, durante este processo, deve-se garantir a integridade estrutural das camadas adjacentes à camada removida.

Tabela 1 – Condições para uso de almofadas de Neoprene (adaptado de ASTM C 1231, 2000)

Resistência à Compressão do corpo de-prova (MPa)	Dureza Shore A	Teste de Qualificação	Número Máximo de Reuso
10 a 40	50	Não	100
17 a 50	60	Não	100
28 a 50	70	Não	100
50 a 80	70	Necessário	50
Acima de 80	-	Não Permitido	-

Tabela 2 – Resultados do ensaio de resistência à compressão para diferentes tipos de preparação de topo de corpos-de-prova (adaptado de MARCO, REGINATTO e JACOSKI, 2003)

Parâmetro	Tipo de Preparação de Topo			
	Neoprene confinado (MPa)	Neoprene não confinado (MPa)	Enxofre (MPa)	Pasta de Cimento (MPa)
Média	24,08	16,26	25,36	19,73
Desvio Padrão	1,13	2,22	0,90	0,70
COV	4,7 %	13,65 %	3,55 %	3,55 %

COV – Coeficiente de variação

MARCO, REGINATTO e JACOSKI (2003) realizaram uma avaliação da eficiência de diversos métodos de preparação de topo para corpos-de-prova para um concreto de 20 MPa, distribuído em 11 lotes de amostras. Os resultados por eles obtidos são apresentados na tabela 2.

3. MATERIAIS UTILIZADOS E METODOLOGIA

Foram utilizados, nesta pesquisa, os cimentos CP II Z 32 RS e CP III 40 RS BC. Os agregados utilizados, tanto miúdos quanto grãos, possuem natureza mineralógica quartzosa. Ambos são comercializados na região metropolitana da cidade do Recife. O agregado grão foi caracterizado quanto à sua granulometria e densidade de massa aparente no estado seco.

O traço utilizado (Tabela 3) foi especificado para atender a classe de agressividade II, conforme os parâmetros prescritos na NBR 6118. Em ambos os casos, procurou-se utilizar o mesmo abatimento e a mesma relação água/cimento, o que obrigou

o emprego de diferentes relações água/materiais secos para compensar a maior finura do cimento CPIII40 (área específica Blaine: CPIII 40 - 4.640 cm²/g; CPIIZ32 - 3540 cm²/g).

No arranjo experimental, o trabalho consistiu em avaliar a influência de diversas metodologias para regularização da superfície de corpos-de-prova de concreto na resistência à compressão desses elementos. A primeira fase do experimento consistiu na confecção, cura e realização de ensaios laboratoriais dos corpos-de-prova. Com este objetivo foram preparadas duas famílias de concreto, ambas com o mesmo traço, diferindo entre si pelo tipo de cimento empregado na confecção do concreto.

Para cada família, foram moldados 60 corpos-de-prova de 10cm x 20cm. A moldagem seguiu os procedimentos da NBR 5738 (ABNT, 2008) e o adensamento mecânico foi executado em duas camadas. Todos os CP's moldados foram imersos em tanque de cura, após 24 horas da moldagem, e permaneceram neste estado até 24 horas antes da realização dos ensaios. O traço

Tabela 3 – Informações referentes às dosagens utilizadas no estudo

FAMÍLIA	Traço Unitário em Peso (TUP)				A(%) = Água / mat secos	Consumo cimento (kg/m ³)
	Cimento	Areia	Brita	a/c		
CPIII 40	1,0	2,10	3,15	0,55	8,8%	283
CPIIF 32	1,0	2,19	3,28	0,55	8,5%	277



Amostra preparada para ruptura na prensa hidráulica

utilizado foi especificado para atender a classe de agressividade II.

Para cada uma das famílias estudadas, foram avaliadas as seguintes condições de preparação dos topos dos corpos-de-prova: capeamento por pasta de enxofre; capeamento com almofada de neoprene confinada; desgaste mecânico por ação de retífica; e corte do concreto por ação de serra para cortar mármore. Para cada um desses parâmetros, foram utilizados os resultados de 15 espécimes.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados na idade de 28 dias. O equipamento utilizado foi uma prensa eletromecânica com carga máxima de 100 toneladas, com sistema de medição digital, acoplado a um microcomputador com impressora, para processamento e obtenção dos resultados.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 1 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão para as famílias estudadas, segundo o tipo de preparação de topo dos corpos-de-prova.

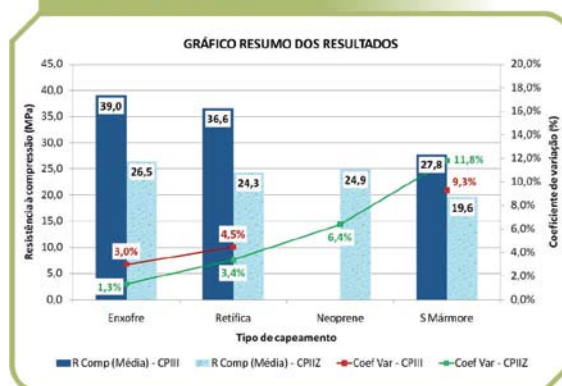
Nas duas famílias estudadas, pode-se perceber evidente influência da forma de capeamento das amostras nos resultados finais. A partir dos valores obtidos, algumas considerações importantes podem ser efetuadas:

- As menores variações entre os métodos es-

tudados foram observadas no capeamento com enxofre e com o uso de disco de corte com retífica, ambos considerados aceitáveis para esse tipo de avaliação, seguido da utilização de borracha confinada com neoprene e, por fim, com corte para serra de mármore. Esse comportamento indica uma menor influência desses procedimentos nos resultados, já que se trata de corpos-de-prova de uma mesma família.

- Quanto aos valores absolutos dos resultados de resistência, observa-se uma tendência inversa entre os métodos em relação ao desempenho, considerando apenas o aspecto da variação. A explicação encontrada para esse comportamento decorre do fato de que as falhas ocorridas durante as operações de preparação dos topos dos corpos-de-prova tendem a reduzir os valores de cargas de ruptura, pois podem provocar excêntrica e desequilíbrio na distribuição das cargas.
- As diferenças nos valores absolutos encontrados entre as duas famílias decorrem do fato de terem sido adotados tipos de cimento com diferentes classes de resistência (CPIII 40 e CPIIZ 32), ambos com mesma relação água/cimento. Com isso, os concretos fabricados com o cimento tipo CPIII40 apresentaram maiores níveis de resistência, embora

Figura 1 – Gráfico: resumo dos resultados encontrados no ensaio de resistência à compressão



apresentem também maiores consumos de cimento, decorrentes da sua maior finura, já que as famílias foram dosadas com o mesmo abatimento.

Para os ensaios na família 2, com a utilização de um cimento CP III 40 RS BC, procurou-se obter informações para os casos onde ocorresse um adensamento das matrizes cimentícias, proporcionando um leve aumento nos resultados de resistência para traços semelhantes e com os mesmos materiais.

Também neste caso, o melhor desempenho ficou a cargo do capeamento por enxofre; mostrando um resultado satisfatório para o desgaste por retífica (melhor ainda que no primeiro caso: ~ 94% e dispersão de 4,48%).

Por fim, deve-se considerar uma outra forma de preparação de topos, analisada neste caso, como uma forma alternativa para a ação da retífica, ou seja, a utilização de corte do corpo-de-prova por ação de serra para corte de mármore.

Os resultados obtidos neste caso não apresentaram bom desempenho, uma vez que seus índices se mostraram quase 30% inferiores aos valores obtidos para o capeamento com enxofre e, também, demonstraram os maiores índices de dispersão das amostras em ambos os casos estudados.

5. CONCLUSÕES

O capeamento influencia os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos. Verificou-se que o melhor desempenho obtido foi com a utilização de pasta de enxofre. Outros métodos também fornecem resultados satisfatórios, onde, nos casos estudados, a diferença foi inferior a 10% em relação aos obtidos com capeamento de enxofre.

Nessa categoria, incluem-se: os preparos através de desgaste superficial por meio de retífica; e a utilização de sistemas com neoprene confinado. Ambos representam uma boa alternativa de execução; principalmente, no caso da utilização de neoprene, por ser de fácil manuseio e, ainda, contribuir para a eliminação de riscos à saúde dos operadores e laboratoristas. Entretanto, o neoprene exige cuidados especiais, principalmente no tempo de vida útil do material.

Verificou-se, ainda, que a proposta alternativa de corte do corpo-de-prova por meio de utilização de serra de mármore não é adequada, por proporcionar um nível de agressão ao sólido que interfere negativamente no desempenho mecânico das amostras.

Referências Bibliográficas

- [01] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 1231/C 1231M - Standard practice for use of unbonded caps in determination of compressive strength of hardened concrete cylinders, 2000.
- [02] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738/2008 - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2003.
- [03] BEZERRA, A. C. S. Influência das Variáveis de Ensaio nos Resultados de Resistência à Compressão de Concretos: uma análise experimental e computacional. Dissertação. UFMG. Belo Horizonte. 2007.
- [04] MARCO, F. F.; REGINATTO, G. M. e JACOSKI, C. A. - Estudo comparativo entre capeamento de neoprene, enxofre e pasta de cimento para corpos-de-prova cilíndricos de concreto. 45° Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Vitória, 2003.
- [05] SCANDIUZZI, L. e ANDRIOLO, F. R. - Concreto e seus materiais: propriedades e ensaios. Pini, São Paulo, 1986. ■