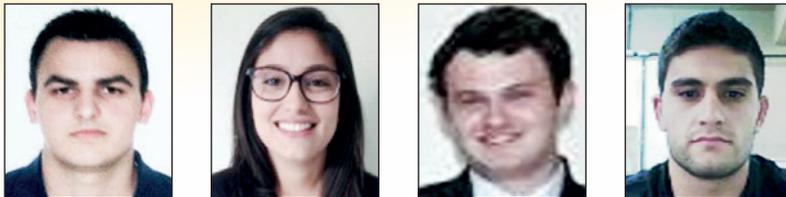


Investigation of the influence of different surface regularization methods for cylindrical concrete specimens in axial compression tests

Investigação da influência de diferentes métodos de regularização das superfícies de corpos de prova cilíndricos de concreto nos ensaios de compressão axial



R. MEDEIROS ^a
rennan.med@gmail.com

B. A. PEREIRA ^{a, b}
beatrizanselmo.p@hotmail.com

G. SIPP ^a
gsipp@hotmail.com

T. DELFINO ^a
thiago.delf@hotmail.com

Abstract

This study was conducted with the aim of evaluating the influence of different methods for end surface preparation of compressive strength test specimens. Four different methods were compared: a mechanical wear method through grinding using a diamond wheel established by NBR 5738; a mechanical wear method using a diamond saw which is established by NM 77; an unbonded system using neoprene pads in metal retainer rings established by C1231 and a bonded capping method with sulfur mortar established by NBR 5738 and by NM 77. To develop this research, 4 concrete mixes were determined with different strength levels, 2 of group 1 and 2 of group 2 strength levels established by NBR 8953. Group 1 consists of classes C20 to C50, 5 in 5MPa, also known as normal strength concrete. Group 2 is comprised of class C55, C60 to C100, 10 in 10 MPa, also known as high strength concrete. Compression tests were carried out at 7 and 28 days for the 4 surface preparation methods. The results of this study indicate that the method established by NBR 5738 is the most effective among the 4 strengths considered, once it presents lower dispersion of values obtained from the tests, measured by the coefficient of variation and, in almost all cases, it demonstrates the highest mean of rupture test. The method described by NBR 5738 achieved the expected strength level in all tests.

Keywords: axial compression tests, surface preparation methods of cylindrical specimens.

Resumo

Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a influência de diferentes métodos de regularização dos topos de corpos de prova cilíndricos de concreto nos ensaios de compressão axial. Foram comparados os métodos de desgaste pela retificação com disco de desbaste estabelecido pela NBR 5738 e equipamento tipo policorte estabelecido pela NM 77, o método da almofada de neoprene confinada C 1231 e o método de capeamento colado com argamassa de enxofre estabelecido pela NBR 5738 e NM 77. Para desenvolvimento desta pesquisa foram determinados 4 traços com níveis de resistências diferentes, sendo 2 do grupo 1 e 2 do grupo 2 de resistência da NBR 8953. O grupo 1 é composto pelas classes C20 até C50, de 5 em 5MPa, também conhecidos como concretos de resistência normal. O grupo 2 é formado pelas classes C55, C60 até C100 de 10 em 10MPa, também conhecidos como concretos de resistência elevada. Os ensaios de compressão foram realizados com 7 e 28 dias para os 4 métodos de regularização. Os resultados deste estudo apontam que o método estabelecido pela NBR 5738 é o mais eficaz entre os 4 níveis de resistência estudados por possuir menor dispersão nos valores obtidos nos ensaios, mensurado por meio do coeficiente de variação e, em quase todos os casos, apresentar maior média das tensões de ruptura. O método da NBR 5738 atingiu o nível de resistência desejado em todos os testes.

Palavras-chave: ensaios de compressão axial, métodos de regularização de corpos de prova cilíndricos.

^a Department of Civil Engineering, University of Southern Santa Catarina, Tubarão, SC, Brazil;
^b HEI, Lille, France.

1. Introdução

Uma das formas mais eficientes e utilizadas para avaliação das características do concreto é a determinação da resistência à compressão axial pela ruptura da amostra de concreto, moldada apenas para essa finalidade. Este tipo de ensaio é utilizado comumente para avaliação do desempenho mecânico do concreto devido à sua facilidade de realização, ao seu custo relativamente baixo e à sua sensibilidade perante as demais propriedades do material, o que possibilita o estabelecimento de correlações. Helene e Terzian (1992) [1] certificam que, para um mesmo concreto, os resultados do ensaio de compressão axial podem depender de variáveis relativas à geometria, dimensões e grau de adensamento do corpo de prova, assim como da planicidade, paralelismo e perpendicularidade em relação ao eixo longitudinal e às superfícies de aplicação de carga dos corpos de prova. Bezerra (2007) [2] cita que outros fatores de influência são a velocidade de aplicação da carga e a rigidez do equipamento de ensaio. Neville (2016) [3] destaca que, para a execução do ensaio de compressão axial dos corpos de prova de concreto, é necessário que as superfícies onde se aplicam as cargas sejam planas, paralelas e lisas, de modo que o carregamento seja uniforme, além de garantir a ortogonalidade em relação ao eixo longitudinal do corpo de prova. Mehta e Monteiro (2014) [4] asseveram que pequenas irregularidades na superfície já são suficientes para provocar excentricidade do carregamento desuniforme e, conseqüentemente, uma diminuição da resistência final. É possível minimizar o efeito da irregularidade nas extremidades dos corpos de prova através de polimento mecânico com disco diamantado, remate com pasta de cimento ou do capeamento com argamassa de enxofre; estes são prescritos, no Brasil, pela norma NBR 5738 (ABNT, 2008) [5]. As normas C617/617M (ASTM, 2012) [6] e C39 (ASTM, 2014) [7] prescrevem que as falhas de planicidade não devem ultrapassar 0,05mm, e o desvio entre as faces do capeamento e o eixo longitudinal do corpo de prova deve ser inferior a 0,5°. Entretanto, a norma brasileira NBR 5738 (ABNT, 2008) [5] estabelece tolerância apenas para o molde, na ordem de 0,05mm de falha na planicidade. Ao serem desenformados, corpos de prova cilíndricos não apresentam superfícies dentro dos padrões de tolerância citados para a realização do ensaio de compressão sem que as irregularidades interfiram nos resultados. Assim, faz-se necessária a realização de regularização destas superfícies por um dos sistemas mencionados anteriormente. Helene e Terzian (1992) [1] destacam que um acabamento inadequado da superfície dos corpos de prova acarretará em uma redução de 30% de resistência para superfícies côncavas e 50% de resistência para superfícies convexas, dados reafirmados por Andrade e Tutikian (2011) [8]. Os sistemas de regularização das superfícies dos corpos de prova cilíndricos são divididos em três grupos, sistema de capeamento colado, sistema de capeamento não colado e sistema de desgaste mecânico, sendo estes, posteriormente apresentados.

1.1 Sistemas de capeamento colados

Os sistemas de capeamento colados compreendem aqueles que empregam materiais formadores de uma camada regular que adere física ou quimicamente à superfície da base do corpo de prova

(ANDRADE; TUTIKIAN, 2011 [8]). Nos sistemas colados destacam-se dois métodos: a utilização de capeamento com mistura de enxofre e capeamento com pasta ou argamassa de cimento (NEVILLE, 2016 [3]). Tanto a Norma NM 77 (AMN, 1996) [9] quanto a NBR 5738 (ABNT, 2008) [5] estabelecem que o emprego de pasta de cimento para capeamento deve ser feito em corpos de prova cilíndricos de concreto com apenas algumas horas de cura. Já para concreto endurecido deve-se utilizar a argamassa de enxofre ou o desgaste mecânico. Souza (2006) [10] salienta que o enxofre apresenta, como vantagens para ser utilizado como material de capeamento, seu endurecimento rápido, proporcionando alta produtividade, quando seu uso é comparado ao da pasta de cimento; sua boa aderência à superfície do corpo de prova; além de elevada resistência à compressão axial nas primeiras horas de idade. Entretanto, Souza (2006) [10] e Bezerra (2007) [2] citam que sua grande desvantagem é a liberação de gás sulfídrico durante a fusão do enxofre em pó: sem o uso de Equipamentos de Proteção Individuais (EPI) adequados, expõe o operador a alto risco de saúde. Em Concreto e Construção (2011) [11] foram apresentados trabalhos que compararam os resultados entre o capeamento utilizando mistura de enxofre e pasta de cimento. Por meio de tais resultados é possível observar que, utilizando capeamento com mistura de enxofre, obtêm-se resistências mais altas e menores variações para os níveis de resistência estudados nas referidas pesquisas. Ademais, é interessante destacar que a norma C617/C617M (ASTM, 2012) [6] define que a resistência apresentada pelo capeamento deve ser superior a do concreto a ser ensaiado, mas nunca inferior a 35 MPa para concretos que apresentem até 50 MPa de f_{ck} ¹. Para concretos com resistência superior a 50MPa, a resistência do capeamento não deve ser inferior à resistência do concreto a ser ensaiado. No caso das normas brasileiras, estas especificam apenas que a resistência do capeamento de enxofre deve ser superior a 35 MPa, sendo necessário avaliar cuidadosamente as influências deste capeamento para concretos de elevada resistência à compressão axial. Outro fator de interesse é que a norma C617/C617M (ASTM, 2012) [6] supracitada determina a espessura média máxima do capeamento em 6 mm para concretos até 50 MPa e, para resistências superiores, de até 3 mm; enquanto a NBR 5738 (ABNT, 2008) [5] especifica, apenas, que a espessura do capeamento do enxofre não deve exceder 3mm em qualquer ponto, sem levar em consideração a resistência do concreto a ser ensaiado.

1.2 Sistemas de capeamento não colados

Andrade e Tutikian (2011) [8] destacam que os sistemas de capeamento não colados ou não aderentes são caracterizados pela utilização de um material como almofada para as bases dos corpos de prova, podendo ser confinado ou não. Entre os materiais mais utilizados atualmente estão os elastômeros, como o neoprene, mas também pode ser utilizada, para esse fim, a areia confinada. De acordo com Bezerra (2007) [2], o capeamento com almofadas elastoméricas normatizado pela C1231 (ASTM, 2014) [12] está sendo amplamente utilizado no Brasil e no mundo, mas ainda existem poucos estudos científicos publicados a respeito do seu emprego. O principal elastômero utilizado com esse objetivo tem sido o *policloroprene*, comercialmente conhecido como *neoprene*,

¹ f_{ck} : Resistência característica do concreto à compressão, é o valor adotado no projeto que possui uma confiabilidade de 95%.

que pode ser utilizado nas formas confinada ou não. Entretanto, sua utilização na forma não confinada tem apresentado disparidade e inconsistência nos resultados obtidos em relação ao capeamento de enxofre, nos poucos artigos publicados sobre o assunto. Isto se deve ao fato de que a almofada de neoprene deforma-se radialmente com maior intensidade que o corpo de prova ensaiado, o que gera esforços de tração na base dos espécimes. Souza (2006) [10] salienta que, no sistema não colado de neoprene confinado, é utilizada uma base metálica, cuja função é restringir a deformação lateral do elastômero. Dessa forma, restringindo-se a deformação lateral do material, reduz-se a atuação de esforços diferenciados, responsáveis pelo aumento na variação dos resultados de resistência. No entanto, não é recomendável a utilização deste sistema para concretos com resistência abaixo de 10 MPa ou acima de 85 MPa. Segundo Vieira (1991) [13], no uso deste método, alguns cuidados com o elastômero precisam ser observados, já que a borracha tem um período de utilização de 1.000 vezes e, ainda, ela não deve ser invertida dentro da base metálica. Caso apresente excessivo desgaste nas bordas, ela deve ser trocada imediatamente, mesmo que o valor de 1.000 vezes de uso não tenha sido atingido. Em contraponto ao exposto acima, a C 1231/C1231M (ASTM, 2014) [12] define que a dureza do neoprene varia de acordo com a resistência do concreto a ser ensaiado, assim como o número de vezes de uso, que não deve exceder 100 ensaios.

1.3 Sistema de desgaste mecânico

Este método faz uso de um disco diamantado para que, de forma abrasiva, seja realizado o capeamento, de modo que fique garantida a integridade estrutural das camadas adjacentes àquela removida. Neville (2016) [3] cita que este sistema, através de meios mecânicos, remove uma fina camada de material do topo do corpo de prova a ser preparado. Além disso, Andrade e Tutikian (2011) [8] destacam que o corpo de prova, após ser submetido a este tipo de regularização, deve apresentar uma superfície lisa e livre de ondulações e abaloamentos, sempre tomando o cuidado para que as falhas de planicidade não sejam superiores a 0,05mm. A norma NM 77 (AMN, 1996) [9] prevê o uso deste tipo de capeamento para com testemunhos extraídos de pavimentos, por apresenta-

rem base muito irregular. Neste sistema são utilizadas máquinas, como a policorte e a retífica; entretanto, estas máquinas facilitam e apressam a realização da atividade em um laboratório com alta demanda de ensaio de compressão axial em corpo de prova cilíndrico (MEHTA; MONTEIRO, 2014 [4]; NEVILLE, 2016 [3]).

- Policorte: este método consiste em cortar um pedaço do topo do corpo de prova de concreto, regularizando, com isto, sua superfície. O equipamento é formado por um disco diamantado especial para o corte de concreto (NEVILLE, 2016 [3]).
- Retificação: o capeamento mecânico que utiliza a retífica permite retificar a superfície do corpo de prova por meio de um rebolo abrasivo diamantado, que possui velocidade e limite de desgaste aferidos no equipamento (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011 [8]).

2. Materiais e programa experimental

Esta pesquisa teve por objetivo comparar 4 tipos de regularização das superfícies de corpos de prova cilíndricos destinados a ensaios de compressão axial, sendo um de sistema colado – com argamassa de enxofre; um de sistema não colado – com almofada de neoprene confinada; e outros dois de sistema mecânico – com o emprego de policorte e o outro com o emprego da retificação. O parâmetro de comparação utilizado foi o sistema padrão para corpos de prova cilíndricos de concreto endurecido estabelecido pela NBR 5738 (ABNT, 2008) [5] e NM 77 (AMN, 1996) [9], retificação e argamassa de enxofre, respectivamente. Julgou-se de grande valia estudar os 2 grupos de resistência estabelecidos pela NBR 8953 (ABNT, 2011) [14]. Pertencentes ao grupo 1, foram estudados os níveis de resistência 20 e 40 MPa, e ao grupo 2, 60 e 80 MPa, denominados traço 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Foram determinados esses diferentes níveis de resistência para analisar de maneira mais ampla a possível influência do tipo de capeamento utilizado na resistência do corpo de prova. Todos os corpos de prova foram moldados com dimensões de 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura. Após a moldagem e a cura dos corpos de prova até a idade de ensaio - delimitadas nesta pesquisa como 7 e 28 dias, foram aplicados os diferentes métodos de capeamento anteriormente citados no presente item deste artigo e, por conseguinte, realizados os ensaios de compressão axial. Todos os

Tabela 1
Resultados dos ensaios de determinação dos índices físicos

| | | Areia industrial | Areia fina | Pedrisco | Brita 1" |
|--------------------------------|----------------------|------------------|------------|----------|----------|
| Módulo de finura | | 3,020 | 1,422 | 5,712 | 6,782 |
| Dimensão máxima característica | (mm) | 4,8 | 0,6 | 9,5 | 19,0 |
| Massa unitária em estado solto | (kg/m ³) | 1731 | 1480 | 1335 | 1530 |
| Teor de material pulverulento | (%) | 12,78 | 1,43 | 1,48 | 1,80 |
| Impurezas orgânicas | Ppm | - | < 300 | - | - |
| Teor de argila em torrões | (%) | - | 0,37 | - | - |
| Massa específica aparente | (g/cm ³) | 2,662 | 2,684 | 2,660 | 2,632 |
| Absorção | (%) | 0,098 | 0,229 | 0,573 | 0,300 |

Tabela 2
Traço unitário

| Traço | fck (MPa) | Cimento | Areia fina | Areia industrial | Pedrisco | Brita 1" | Água | Aditivo |
|-------|-----------|---------|------------|------------------|----------|----------|------|---------|
| 1 | 20 | 1 | 1 | 2,5 | 0,75 | 3 | 0,71 | 0,0057 |
| 2 | 40 | 1 | 0,66 | 1,33 | 0,5 | 2 | 0,48 | 0,0058 |
| 3 | 60 | 1 | 0,33 | 0,77 | 0,33 | 1,33 | 0,32 | 0,0066 |
| 4 | 80 | 1 | 0,077 | 0,23 | 0,23 | 0,92 | 0,23 | 0,01 |

procedimentos citados foram executados seguindo as respectivas normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, *Asociación Mercosur de Normalización* - AMN e da *American Society for Testing and Materials* - ASTM. Em seguida, os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial foram compilados e os dados tratados estatisticamente. Para realização do tratamento estatístico fez-se uso do suplemento *action*, que trabalhou em paralelo ao aplicativo *Excel®*. As atividades práticas desta pesquisa foram realizadas no Laboratório Engenharia Civil - LEC do Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL, campus Tubarão - Santa Catarina. Com a finalidade de alcançar resultados mais completos, foi verificada a necessidade de classificar os agregados utilizados na produção das amassadas de concreto, referentes aos corpos moldados para realização da pesquisa.

2.1 Caracterização dos agregados

Para o cálculo dos traços fez-se necessário conhecer os índices físicos dos agregados a serem empregados no concreto. Os resultados estão dispostos na (Tabela [1]).

Os ensaios realizados foram análise granulométrica, determinação da massa unitária, determinação do teor de material pulverulento, determinação da presença de impurezas orgânicas, determinação do teor de argila, determinação da massa específica e absorção de água dos materiais constituintes - agregados: areia de britagem, areia fina, pedrisco e brita 1". Os ensaios realizados segui-

ram o estabelecido pela ABNT, mais especificamente pelas NBR NM 52 (ABNT, 2002) [15], NBR NM 46 (ABNT, 2003) [16], NBR NM 44 (ABNT, 1996) [17], NBR NM 53 (ABNT, 2002) [18], e NBR NM 30 (ABNT, 2001) [19]. A brita 1", o pedrisco e a areia de britagem são provenientes da Pedreira Falchetti, de Tubarão – SC; e a areia fina é proveniente da Terfal Mineração, de Laguna - SC.

2.2 Dosagem e procedimentos de mistura

Os traços para esta pesquisa estão apresentados na (Tabela [2]). O cimento utilizado foi o CP V – 32 da Cimpor, pois este apresenta menor teor de adições e a comercialização é mais comum na região sul do estado. Todos os traços foram moldados para cada tipo de capeamento. Para cada traço foram moldados seis corpos de prova, três para serem rompidos com sete dias e os outros três com 28 dias. Todos os corpos de prova foram moldados de acordo com o preconizado pela NBR 5738 (ABNT, 2008) [5].

De acordo com a NBR NM 79 (ABNT, 1996) [21], foi amassado o concreto em misturador do tipo horizontal, seguindo a ordem de mistura ressaltada por Medeiros *et al.* (2013) [22]: primeiramente foi colocado o agregado graúdo; em seguida, 70% da água, sendo ambos bem misturados posteriormente, adicionou-se o agregado miúdo; subsequentemente foi adicionado o cimento, o restante da água e o aditivo. A mistura foi bem homogeneizada e, por conseguinte, determinou-se o abatimento pelo tronco de cone conforme NBR NM 67 (ABNT, 1997) [23]. Coletado o valor de abatimento dos referidos traços, o concreto foi lançado novamente no misturador horizon-



Figura 1
Aparelho para capeamento e execução do capeamento colado com enxofre



Figura 2

a) Discos de neoprene; b) Corpo de prova com os discos de neoprene

tal, homogeneizado para então proceder-se a etapa de moldagem.. Para esta, utilizou-se dos prescritos da NBR 5738 (ABNT, 2008) [5] que preconiza os métodos de moldagem e cura para corpos de prova cilíndricos no Brasil. Com as formas devidamente limpas e preparadas, o concreto foi derramado até a metade da capacidade da forma; em seguida, foram aplicados doze golpes para, então, o resto ser preenchido e adensado novamente. Finalmente, foi procedido o arrasamento da superfície. Os corpos de prova ficaram em cura em câmara úmida à temperatura de 23 ± 2 °C, e umidade relativa do ar superior a 95%, conforme a NBR 5738 (ABNT, 2008) [5]. Para avaliar a resistência conforme o tipo de capeamento, após as idades de cura de 7 e 28 dias, as amostras foram regularizadas conforme cada método apresentado anteriormente. Então, o ensaio de determinação da resistência à compressão axial de corpos de prova cilíndricos foi realizado seguindo o procedimento prescrito pela NBR 5739 (ABNT, 2007) [24].

2.3 Métodos de regularização dos corpos de prova

Conforme a NM 77 (AMN, 1996, p. 3) [9], “[...] antes do ensaio

de compressão de corpos de prova ou testemunhos cilíndricos, é imprescindível tratar suas bases, de forma a garantir que sejam superfícies planas, paralelas entre si, e perpendiculares ao eixo longitudinal do corpo de prova [...]”.

- Capecamento com enxofre: a argamassa de enxofre foi preparada e o capecamento das amostras executado conforme a normativa NM 77 (AMN, 1996) [9]. Foi utilizado o aparelho da (Figura [1]) para deixar o corpo de prova perpendicular à superfície e sem nenhum desvio de planicidade. Após a mistura estar preparada, esta foi despejada na base do equipamento para que, assim, a face do corpo de prova aderisse ao material fundido, tomando sempre o cuidado para que o mesmo ficasse devidamente alinhado. Este sistema é preconizado pela NM 77 (ANM, 1996) [9] como o padrão para corpos de prova de concreto endurecido, o caso das amostras desta pesquisa.
- Neoprene: este método de regularização para o ensaio de compressão axial foi realizado conforme a norma C1231 (ASTM, 2014) [12], que prevê o uso de discos de neoprene não aderentes e com o número de reutilização do material de capecamento inferior ao máximo definido pela norma, conforme



Figura 3
Policorte

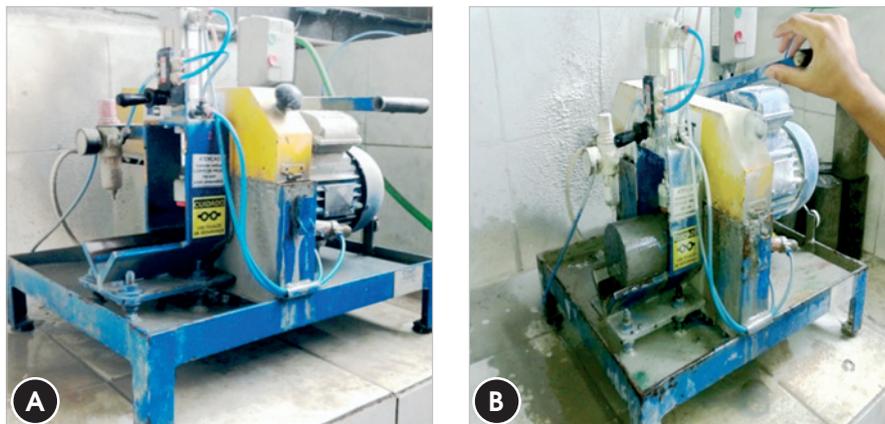


Figura 4
Retífica

sua Dureza Shore A. Foram usadas duas bases metálicas (Figura [2]), específicas para este ensaio, com diâmetro interno de 100 mm, e dois discos de neoprene. As bases metálicas dotadas dos discos de neoprene foram encaixadas nos corpos de prova para realizar o ensaio de compressão axial.

- c) Policorte: este sistema de regularização consiste em retirar uma fina camada do corpo de prova através da serra de corte para obter uma amostra devidamente regularizada. Este sistema é estabelecido pela NM 77 (AMN, 1996) [9] para regularização de testemunhos extraídos de pavimentos de concreto de cimento Portland. A referida norma não menciona a necessidade de realização de outro tipo de capeamento após o corte; logo, é possível inferir que este é caracterizado como um sistema de capeamento de corpos de prova no estado endurecido. Foi utilizado o aparelho ilustrado na (Figura [3]).
- d) Retificação: o método de retificar o corpo de prova com a finalidade de regularizar a superfície de ensaio da amostra é realizado através do desbaste mecânico com disco diamantado. Tal operação é realizada em equipamento especialmente adaptado para este fim (Figura [4]) (AÏTCIN, 2000 [25]). An-

drade e Tutikian (2011, p. 633) [8] destacam que “[...] a regularização deve ser feita de modo que garanta a integridade estrutural das camadas adjacentes à camada removida e proporcionar superfície [...]” que atenda o limite de irregularidade de 0,05mm. Este sistema é sugerido pela NBR 5738 (ABNT, 2008) [5] para preparação de topos de corpos de prova cilíndricos, sendo este o sistema de capeamento estabelecido como referência para verificação da adequabilidade de outros sistemas de capeamento.

2.4 Ensaio de compressão axial

O ensaio de compressão axial foi realizado conforme NBR 5739 (ABNT, 2007) [24] em prensa EMIC PCE 150 tf instalada no LEC. A (Figura [5]) ilustra o equipamento citado.

Após o capeamento, a amostra foi cuidadosamente limpa para evitar quaisquer desvios, e colocada no prato inferior da prensa, tomando o cuidado para deixá-la no centro da superfície. Deve-se fazer um adendo quanto à excentricidade de carga, pois, segundo Neville (2016) [3], excentricidades superiores a 6 mm acarretam



Figura 5
Prensa EMIC PCE 150 tf

Tabela 3

Resultados ANOVA para os 4 sistemas de regularização avaliados para os 4 traços

| | Policorte | Retífica | Neoprene | Enxofre |
|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| SQ | 2399,16 | 7531,44 | 8198,30 | 3856,13 |
| GI | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| MQ | 799,72 | 2510,48 | 2732,77 | 1285,38 |
| F | 17,09 | 106,29 | 76,18 | 94,29 |
| valor-P | 9,65E-06 | 1,85E-12 | 4,06E-11 | 5,66E-12 |
| F crítico | 3,10 | 3,10 | 3,10 | 3,10 |

em decréscimo da tensão de ruptura em até 10%. A carga foi aplicada de forma contínua, com aumento de tensão de aproximadamente 0,5 MPa/s, até a ruptura da amostra. O cálculo da resistência à compressão axial foi realizado seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2007) [24], pela (Equação [1]).

$$f_{ci} = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (1)$$

O f_{ci} é a resistência à compressão axial individual de cada um dos exemplares, a j dias de idade, em megapascal (MPa); Q é a carga máxima de ruptura em Newtons (N), e d o diâmetro do corpo de prova e milímetros (mm). A partir dos resultados, uma análise estatística para comparar os resultados obtidos foi realizada.

2.5 Tratamento dos dados

Os resultados individuais obtidos no ensaio de resistência à compressão axial para os 4 métodos de capeamento já citados, e para as idades de 7 e 28 dias, foram analisados para se determinar o $f_{ck,est}$ – resistência característica estimada do concreto à compressão axial a partir de uma amostragem – de cada método de capeamento, conforme o traço moldado. Para tanto, considerou-se o valor mais alto do lote como sendo o $f_{ck,est}$. Além disso, com os resultados de f_{ci} obtidos calculou-se a resistência média (f_{cm}) através da resistência do concreto à compressão obtida a j dias de idade em MPa, assim como o desvio padrão (sd) em MPa

e o coeficiente de variação expresso em porcentagem. A resistência média foi calculada utilizando o método de média aritmética. O desvio padrão foi calculado em acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015), utilizando a seguinte equação:

$$s_d = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{cm})^2} \quad (2)$$

O coeficiente de variação é a razão entre o desvio padrão e a média dos dados em análise, expresso em porcentagem. Os dados foram analisados pelo método da ANOVA – Análise de Variância – tratamento este que visa testar a igualdade de três ou mais médias populacionais através da análise das variâncias amostrais. Para tanto, foi utilizado o suplemento *action* que trabalha em paralelo ao aplicativo *Excel*®. A análise dos resultados foi realizada seguindo o proposto por Triola (2005) [27], onde, quando o P apresenta um pequeno valor, sendo este menor ou igual a 0,05, leva à rejeição da hipótese de variação das médias.

3. Resultados e discussões

A seguir, são apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial realizados nas amostras com idades de 7 e 28 dias, discriminando-se os diferentes tipos de capeamentos empregados. A (tabela [4]) apresenta as resistências médias dos grupos estudados. Analisando a referida tabela, é possível observar que, para o traço 1, apenas a retífica atingiu a resistência

Tabela 4

Resistências médias para os diferentes tipos de regularização e traços e para 7 e 28 dias de idade

| Idade | Tipo de regularização | Traço 1 | Traço 2 | Traço 3 | Traço 4 |
|-------|---------------------------|---------|---------|---------|---------|
| 7 | Diamond saw water cooling | 12,75 | 23,58 | 33,46 | 37,07 |
| | Diamond disk | 22,33 | 40,57 | 52,16 | 65,78 |
| | Neoprene | 19,11 | 31,45 | 51,92 | 60,28 |
| | Sulfur | 17,06 | 33,88 | 43,01 | 48,84 |
| 28 | Diamond saw water cooling | 15,05 | 28,16 | 42,14 | 39,32 |
| | Diamond disk | 24,23 | 50,31 | 60,20 | 78,30 |
| | Neoprene | 22,02 | 38,96 | 64,76 | 75,01 |
| | Sulfur | 22,00 | 37,15 | 52,63 | 55,53 |

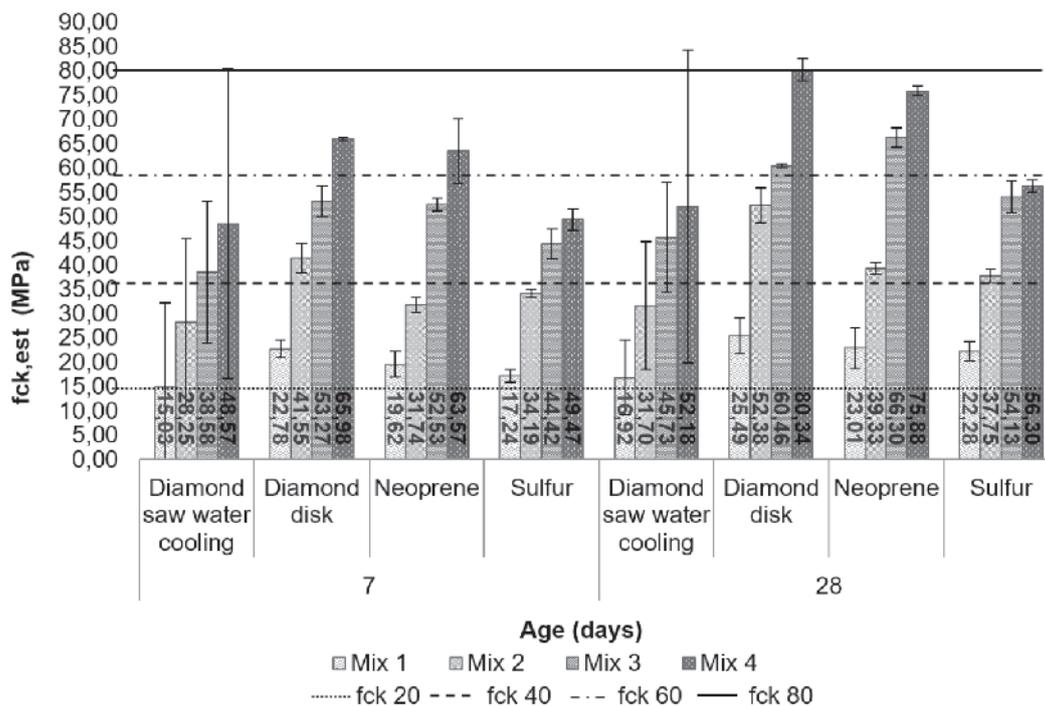


Figura 6

Gráfico da resistência estimada dos traços 1, 2, 3 e 4 quanto aos diferentes tipos de capeamento e os diferentes fck

esperada para 7 dias, assim como obteve o resultado mais alto para 28 dias. O mesmo método também se destacou no traço 2, sendo o único método a atingir a resistência nas duas idades ensaiadas. No traço 3, nenhum dos métodos alcançou a resistência para 7 dias, porém para 28 dias, o método da retificação e do neoprene atingiram a resistência, sendo o último a obter o maior resultado. Por último, nenhum dos métodos ensaiados alcançaram o resultado esperado em nenhuma das duas idades.

Considerando os dados de resistência à compressão estimada do traço 1 expostos no gráfico da (Figura [6]), é possível salientar que, o processo de regularização superficial obtido com a retificação foi o único a atingir o nível de resistência de 20 MPa aos 7 dias de idade, e o maior resultado atingido no 28º dia entre os quatro processos investigados. Para este traço, o processo de regularização com neoprene confinado atingiu resultados aproximados aos obtidos com a retificação, porém, só alcançando o nível de resistência esperado aos 28 dias. Para este traço, em nenhuma das idades avaliadas, o sistema de regularização fornecido pelo corte com disco diamantado atingiu o nível de resistência esperado, comprovando-se seu desempenho inferior. Verificando os dados referentes ao traço 2, constata-se que, para os resultados com 7 e 28 dias de idade, o único sistema a atingir o nível de resistência 40 MPa foi o tipo retificação. Os menores valores atingidos em ambas as idades, para este traço ficou, novamente, a cargo do sistema utilizador da policorte. Analisando os valores atingidos com o traço 3, é possível considerar que nenhum dos sistemas de regularização atingiu o nível de resistência de 60 MPa aos 7 dias de idade. Já no 28º dia, este nível de resistência foi atingido pelos sistemas

de retificação e neoprene, tendo este último atingido os valores mais elevados. Novamente, a utilização da policorte destacou-se por influenciar negativamente a resistência da amostra. Atendendo para os dados do traço 4, percebe-se que nenhum dos sistemas de regularização dos topos dos corpos de prova alcançaram o nível de resistência 80 MPa aos 7 dias de idade. No entanto, para os resultados de 28 dias, somente o sistema retificação atingiu o referido valor. Dentre todos os níveis de resistência avaliados, ficou clara a influência prejudicial apresentada pelo processo utilizador da policorte, sendo este o detentor dos resultados mais baixos de resistência entre todos os sistemas de regularização, como pode ser reafirmado na (figura [6]). Os valores obtidos com o capeamento de enxofre também apresentaram desempenho inferior ao esperado, comprovando a necessidade de uma investigação mais aprofundada de sua utilização, provavelmente, resultando na necessidade de aumento da resistência mínima deste capeamento, para sua utilização. Deve-se salientar que nenhum dos dois níveis de resistência estudados que fazem parte do grupo 2 de resistências da NBR 8953 (ABNT, 2011) [14] foram alcançados, aos 7 dias, por nenhum dos sistemas de regularização pesquisados, mesmo utilizando cimento CP V – 32.

A (figura [7]) apresenta as variações das médias e dos desvios padrão dos demais sistemas de regularização comparados com o sistema retificação que é estabelecido pela NBR 5738 (ABNT, 2008) [5] como padrão de comparação, conforme anteriormente mencionado. Com os dados apresentados na (Figura [7]), referente ao traço 1, é possível destacar que o tipo de regularização policorte apresenta maior diferença entre os tipos de regularização, quando suas

médias são comparadas à média da retificação. Da mesma forma, seu desvio padrão amostral também é o maior. Isto ocorre para os dados de 7 e 28 dias. O tipo de regularização que utiliza o neoprene confinado apresenta menor diferença quando sua média é comparada com a retificação e também o menor desvio padrão.

Com os dados apresentados na (Figura [7]), referentes ao traço 2, é possível destacar que o tipo de regularização policorte apresenta maior diferença, entre os tipos de regularização, quando suas médias são comparadas à média da retificação. Da mesma maneira, seu desvio padrão amostral também é maior para ambas

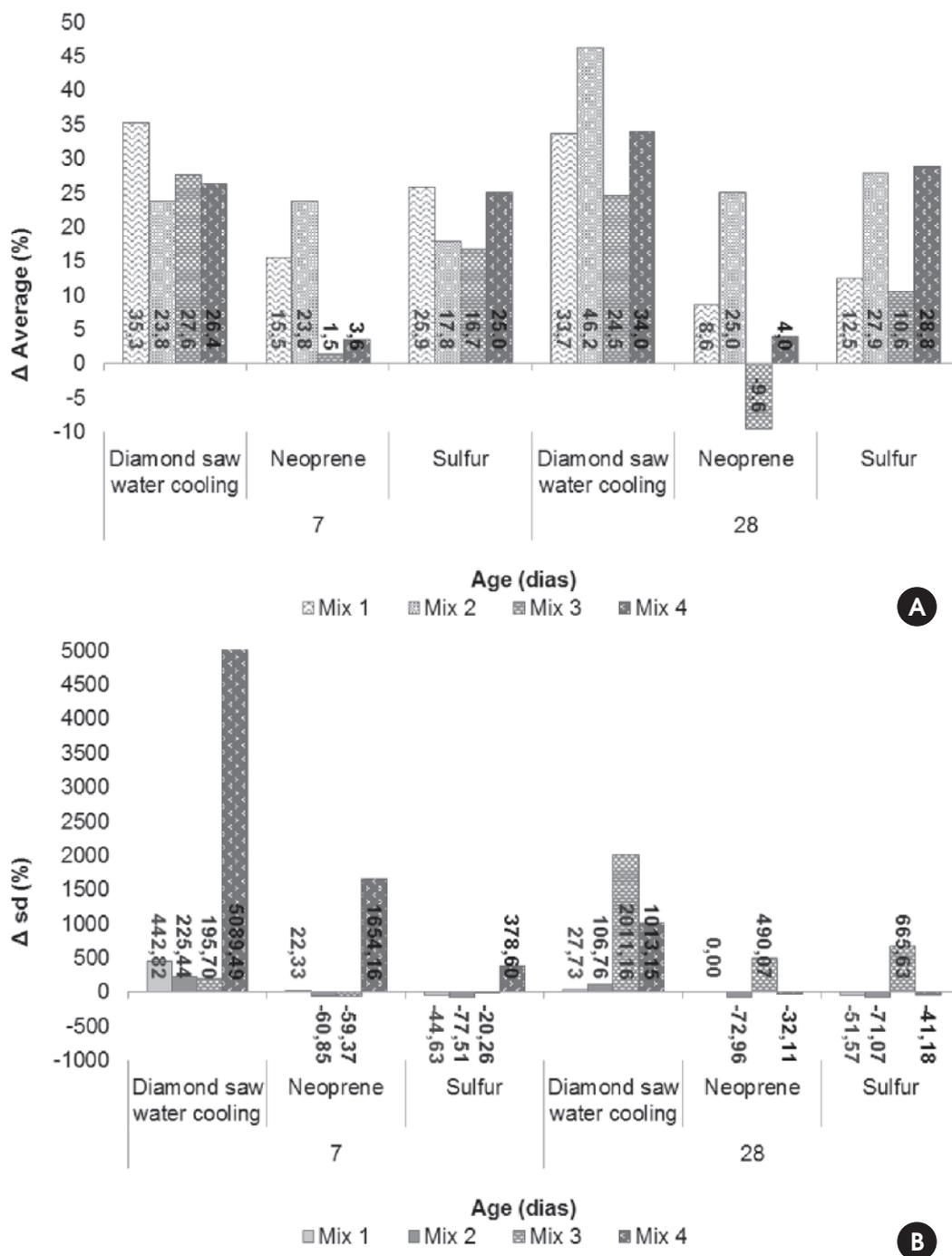


Figura 7 Diferenças analisadas entre os tipos de regularização quando comparados com o padrão da NBR 5738 a) Diferença entre as médias. b) Diferença entre os desvios padrões

idades avaliadas. O menor desvio padrão é referente aos dados do tipo de regularização capeamento com enxofre aos 28 dias e neoprene aos 7 dias. Com os dados apresentados na (Figura [7]), referentes ao traço 3, é possível destacar que o tipo de regularização policorte apresenta maior diferença, entre os tipos de

regularização, quando suas médias são comparadas à média da retificação. Também seu desvio padrão amostral é o maior. Isto ocorre para os dados de 7 e 28 dias. O tipo de regularização que utiliza o neoprene confinado apresenta menor diferença quando sua média é comparada com a retificação. O menor desvio

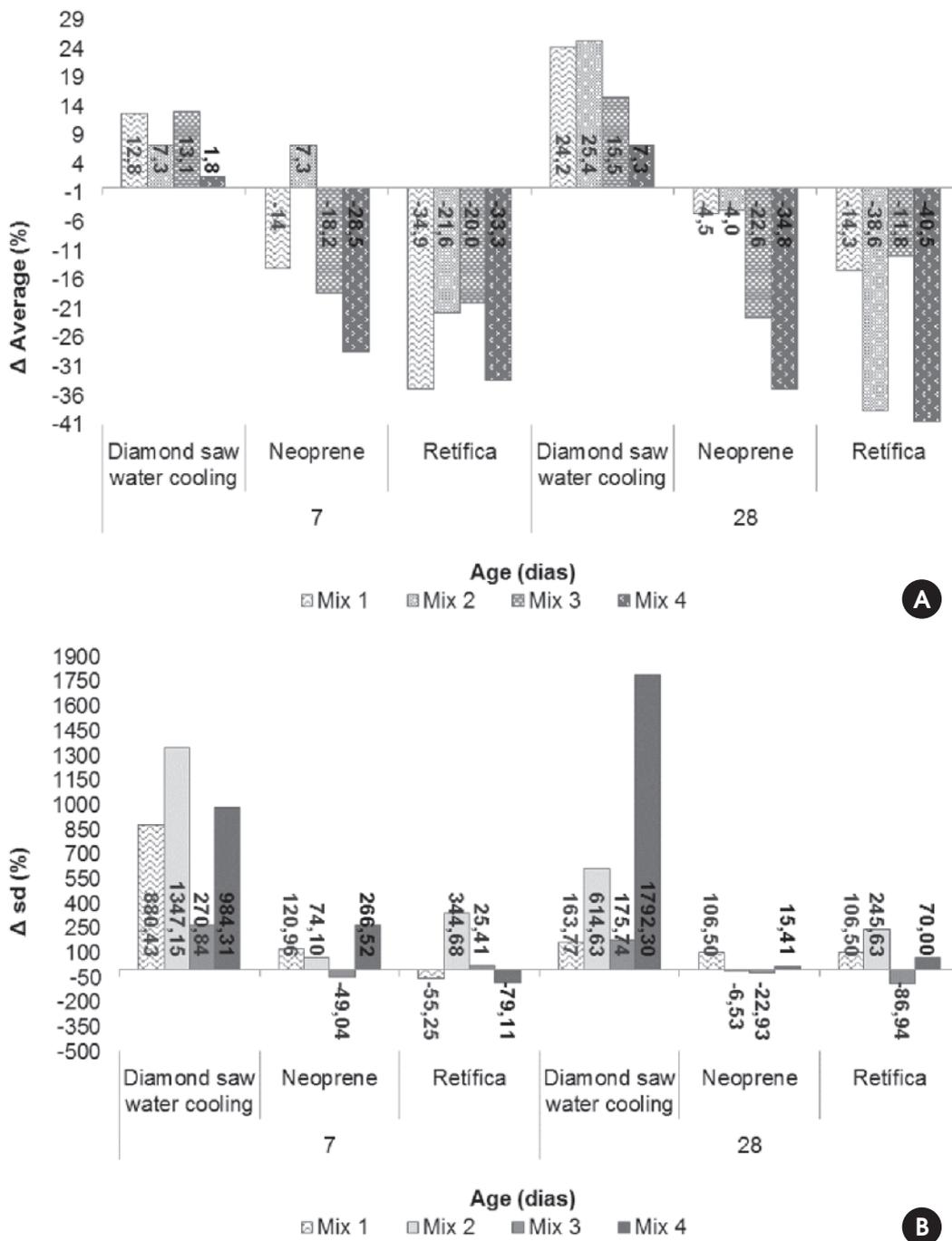


Figura 8

Diferenças analisadas entre os tipos de regularização quando comparados com o padrão da NM 77
 a) Diferença entre as médias. b) Diferença entre os desvios padrões

padrão é referente aos dados do tipo de regularização capeamento com enxofre aos 7 dias e neoprene aos 28 dias. Com os dados apresentados na (Figura [7]), referentes ao traço 4, destaca-se que o tipo de regularização policorte apresenta maior diferença, entre os tipos de regularização, quando suas médias são comparadas à média da retificação. Seu desvio padrão amostral também é o maior, e isto ocorre para os dados de 7 e 28 dias. O tipo de regularização que utiliza o neoprene confinado apresenta menor diferença quando sua média é comparada com a retificação. O menor desvio padrão é referente aos dados do tipo de regularização capeamento com enxofre aos 7 dias e neoprene aos 28 dias. A (figura [8]) apresenta as variações dos demais sistemas de regularização comparados com o sistema que utiliza a argamassa de enxofre. Este é estabelecido pela NM 77 (AMN, 1996) [9] como padrão para regularização de corpos de prova de concreto endurecido, conforme mencionado anteriormente.

Com os dados apresentados na (Figura [8]), referentes ao traço 1, é demonstrado que o tipo de regularização por retificação apresenta maior diferença, entre os tipos de regularização, quando suas médias são comparadas à média do enxofre aos 7 dias. Já para os 28 dias a maior diferença, entre as médias, fica a cargo da policorte. O menor desvio padrão aos 7 dias é referente aos dados do tipo de regularização retificação e é igual ao sistema neoprene para os 28 dias de idade. Com os dados apresentados na (Figura [8]), referentes ao traço 2, é possível destacar que o tipo de regularização retificação e o tipo de regularização policorte apresentam a mesma diferença, entre os tipos de regularização, quando suas médias são comparadas à média do enxofre. O maior desvio padrão amostral pertence ao sistema policorte, e o menor ao neoprene, tanto para os 7 quanto os 28 dias de idade. Com os dados referentes ao traço 3, demonstra-se que o tipo de regularização retificação apresenta maior diferença aos 7 dias e neoprene aos 28 dias, entre os tipos de regularização, quando suas médias são comparadas à média do enxofre. O maior desvio padrão amostral pertence ao sistema policorte para os 7 e 28 dias de idade. Ainda conforme dados apresentados na (Figura [8]), referentes ao traço 4, salienta-se que o tipo de regularização retificação apresenta maior diferença entre os tipos de regularização, enquanto a policorte apresenta a menor, quando suas médias são comparadas à média do enxofre, para ambas idades. O maior desvio padrão amostral pertence ao sistema policorte, tanto para os 7 quanto para 28 dias de idade.

Para contribuição com a validação dos resultados da pesquisa, considerou-se necessária a realização de um tratamento estatístico a fim de verificar a variância pela ANOVA – fator único. Inicialmente verificou-se a hipótese de normalidade da distribuição, conforme sugere Medeiros (2014) [26], para aplicação deste método. A ANOVA baseia-se na variância dentro das amostras, também conhecida como variação devida ao erro. Para realização dos cálculos estatísticos fez-se uso do suplemento *action*, que trabalhou em paralelo ao aplicativo *Excel*®, conforme previamente citado.

As distribuições dos dados de todas as amostras foram consideradas normais. Conforme já destacado, Triola (2005) [27] descreve que, quando o P apresenta um pequeno valor, sendo este menor ou igual a 0,05, leva à rejeição da hipótese de variação das mé-

dias. Com isso, é possível considerar válidos todos os métodos avaliados nesta pesquisa, nas condições descritas, pois apresentaram valor de P, segundo a análise da ANOVA, menor que 0,05.

4. Conclusões

Esta pesquisa foi proposta com o objetivo de avaliar o desempenho de 4 sistemas de regularização de superfícies de corpos de prova de concreto, os quais **são os mais utilizados no Brasil e no mundo**. Dado o potencial de emprego do método de ensaio que determina a resistência à compressão axial do concreto, propriedade sensível a alterações de outras propriedades, faz-se necessária uma avaliação atualizada dos sistemas de regularização mais utilizados e relacionar seus resultados com os sistemas estabelecidos pelas normas vigentes no Brasil. Levou-se e consideração os dois grupos de resistência estabelecidos pela NBR 8953 ABNT, 2011) [14], pois a partir de 2014 a NBR 6118 (ABNT, 2014) [28] traz em seu texto alguns procedimentos distintos para dimensionamento de estruturas de concreto com resistências pertencentes aos dois grupos de resistência.

- As distorções nos resultados dos ensaios causadas pela falha na execução ou aplicação indevida de um dado sistema de regularização podem acarretar em rejeições de lotes de concretagem que deveriam ser aceitos, ou pior, ocasionar aceitação de lotes que deviriam ser rejeitados. Isto pode interferir consideravelmente na durabilidade e funcionalidade da estrutura.
- Para realização desta pesquisa, determinou-se os traços a serem submetidos a ensaios de compressão nas idades de 7 e 28 dias, com 4 tipos de regularização dos topos a serem pesquisados. Considerou-se imprescindível avaliar os referidos tipos de regularização em concretos nos dois grupos de resistência estabelecidos pela NBR 8953 (ABNT, 2011) [14], uma vez que projetistas vem utilizando largamente este segundo grupo, que anteriormente era utilizado somente em projetos especiais.
- Com a análise dos resultados é possível inferir que o sistema estabelecido pela NBR 5738 (ABNT, 2008) [5] apresenta-se muito eficiente para os 4 níveis de resistência analisados nesta pesquisa, considerando suas médias e desvios padrão apresentados para os referidos níveis de resistência. O sistema preconizado pela NM 77 (AMN, 1996) [14] apresenta-se eficiente somente para o nível de resistência 20 MPa; para os outros 3 níveis de resistência, sua resistência efetiva **não alcançou o valor desejado**, e mostrou-se inferior ao resultados apresentados pelo processo de retificação. Este fato, implica na necessidade de maiores estudos quanto sua aplicação para concretos, principalmente, os com elevadas resistências à compressão. Possivelmente, o desempenho deste capeamento poderá ser melhorado com a utilização de argamassas de enxofre com resistência significativamente superiores aos 35 MPa estabelecidos pela normativa brasileira. Quanto ao seu desvio padrão, este é consideravelmente pequeno, mostrando que sua distribuição também é pequena; portanto, este sistema possui uma ligeira variação em seus resultados. O sistema que faz uso do neoprene confinado **não** atingiu nenhum dos níveis de resistência avaliados, seu desvio padrão apresentou-se pequeno, exceto para o nível de resistência 80 MPa.

O sistema policorte mostrou-se ineficiente, quanto a resistência média, em todos os níveis de resistência avaliados, e seus desvios padrão foram os maiores entre os sistemas avaliados nesta pesquisa.

- Logo, é possível inferir que o sistema estabelecido pela NBR 5738 (ABNT, 2008) é utilizável para ensaios de compressão axial de concretos dos dois grupos de resistência estabelecidos pela NBR 8953 (ABNT, 2011) [14]. O sistema estabelecido pela NM 77 (AMN, 1996) [9] pode ser empregado para avaliar concretos do grupo 1 de resistências da NBR 8953 (ABNT, 2011) [14], mas para o grupo 2 este sistema não deve ser empregado. É cabível considerar que o objetivo desta pesquisa foi alcançando, visto que foi possível analisar todos os sistemas quanto às resistências desejadas.

5. Referências bibliográficas

- [1] HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. Manual de dosagem e controle de concreto. São Paulo: SENAI, 1992.
- [2] BEZERRA, A. C. S.. Influência das variáveis de ensaio nos resultados de resistência à compressão de concretos: uma análise experimental e computacional. 2007. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- [3] NEVILLE, A.M.. Propriedades do Concreto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. Tradução de: Ruy Alberto Cremonini
- [4] MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestruturas, Propriedades e Materiais. 2ªEd., São Paulo, Editora PINI, 2014. Edição: Nicole P. Hasparyk
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- [6] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C617 / C617M: Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens. 1 ed. Pennsylvania: West Conshohocken, 2012.
- [7] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C 39: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. 1 ed. Pennsylvania: West Conshohocken, 2014.
- [8] TUTIKIAN, B. F.; ANDRADE, J. J. O.. Resistência Mecânica do Concreto. In: ISAIA, G. C.. Concreto: Ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap. 17. p. 615-652.
- [9] ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. NBR NM 77: Concreto – Preparação das bases dos corpos de prova e testemunhos cilíndricos para ensaio de compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- [10] SOUZA, G. G.. Influência dos procedimentos de ensaio à compressão de corpos-de-prova cilíndricos no controle de qualidade do concreto. 2006. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- [11] CONCRETO E CONSTRUÇÕES. São Paulo: IBRACON, v. 63, Jul, Ago, Set, 2011. Trimestral.
- [12] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C 1231/C1231M: Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders. 1 ed. Pennsylvania: West Conshohocken, 2014.
- [13] VIEIRA, A. P. - Procedimento para a realização do controle tecnológico de concreto usando o novo método de capeamento "Unbonded - cap". L.A. Falcão Bauer, São Paulo, 1991.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: Agregado Miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 44: Agregados – Determinação do teor de argila e torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: Agregado Graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 30: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- [22] MEDEIROS, R. DELFINO, T., SIPP, G., ANDRADE, L. A. S.. Avaliação dos Agregados e Aplicação do Método de Dosagem de Concreto IPT/EPUSP Utilizados na Região Sul de Santa Catarina. In: 55º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2013, Gramado. Anais 55º CBC. São Paulo: IBRACON, 2013.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- [25] AÍTCIN, P. C.. Concreto de alto desempenho. São Paulo: PINI, 2000. Tradução de: Geraldo G. Serra.
- [26] MEDEIROS, R.. Reação álcali-agregado: Avaliação do caráter reativo de agregados da região sul de Santa Catarina. 2014. 156 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2014.
- [27] TRIOLA, Mario F.. Introdução à Estatística. 9. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2005.
- [28] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.