

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO ATRAVÉS DE TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS: CONTRIBUIÇÃO À ESTIMATIVA DOS COEFICIENTES DE CORREÇÃO

Manuela Maltauro¹
Angela Zamboni Piovesan²

Resumo

A resistência à compressão é o parâmetro mais relevante para a avaliação do desempenho do concreto empregado nas estruturas. Quando se refere a inspeções em estruturas acabadas, a determinação da resistência pode ser feita tanto por ensaios destrutivos, como por não destrutivos, ou ainda a combinação de ambos. Apesar de todos os métodos aplicáveis apresentarem resultados satisfatórios, destaca-se a extração e rompimento de testemunhos, em razão da grande confiabilidade dos resultados obtidos no ensaio. No entanto, esses resultados podem ser afetados por muitas variáveis, dentre elas os efeitos de broqueamento decorridos do processo de extração, o diâmetro e a presença de fragmentos de aço nos testemunhos. Visando estudar essa influência, realizou-se a extração de amostras em uma placa de concreto, as quais, juntamente com corpos de prova moldados normativamente foram submetidos a ensaio de resistência à compressão axial. A análise dos resultados indicou significativa influência dos trabalhos de extração, diminuindo a resistência à compressão em cerca de 5%. O mesmo é verificado para a presença de armadura, a qual também acarretou perda de resistência, contudo essa perda foi mais acentuada atingido índices de redução de até 22,7%. No que se refere ao diâmetro da amostra, a variável demonstrou interferência, no entanto, quase desprezível. Percebe-se que o ensaio de extração e rompimento de testemunho é um bom estimador da qualidade do concreto em estruturas acabadas, no entanto, os fatores citados, podem induzir a avaliações equivocadas.

Palavras-chave: Resistência à compressão; Extração de testemunhos; Método destrutivo.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação pela qualidade e durabilidade do concreto vêm se intensificando cada vez mais, sendo indispensável à comprovação da resistência à compressão efetiva do material. É de notória importância avaliar se o que está sendo produzido corresponde ao que foi previamente adotado na fase de projeto, a fim de possibilitar a análise estrutural e a previsão da vida útil dos elementos.

¹ Engenheira Civil. e-mail: maltauromanuela@gmail.com.

² Professora Mestre, Universidade do Oeste de Santa Catarina, e-mail: angela.piovesan@unoesc.edu.br.

Existem inúmeras variáveis inertes ao processo de produção e utilização do concreto e que, muitas vezes, acabam não sendo controladas e prejudicam seu desempenho. Desse modo, quando surgem dúvidas quanto à resistência mecânica do concreto lançado, seja por ensaios laboratoriais com resultados inferiores ao esperado, ou por sinais de deterioração, podem ser empregados diferentes métodos de inspeção, destrutivos ou não-destrutivos, para verificar a situação real da estrutura (MEDEIROS *et al.*, 2017).

Dentre os métodos destrutivos, destaca-se a extração de testemunhos de concreto endurecido para posterior ensaio de resistência à compressão, o qual é regido pela NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015), como o procedimento de maior confiabilidade para estimar a resistência do concreto *in loco*, uma vez que proporciona resultados que levam em consideração as condições reais de execução e exposição do elemento em estudo (CASTRO, 2009).

Embora o ensaio seja simples de se realizar, os resultados alcançados podem apresentar grande variação em função dos diversos parâmetros condicionantes que influenciam no procedimento. A NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) apresenta alguns coeficientes para ponderação dos resultados, porém, ainda assim tornasse difícil correlacionar os valores obtidos, pois a análise proposta pela normativa não contemplam uma grande parte dos fatores de influência que constam nas bibliografias.

Esse campo de atuação é foco desta pesquisa, que buscou analisar o impacto causado pelo diâmetro da amostra e pela taxa de aço nos resultados de resistência à compressão em testemunhos extraídos, e assim contribuir para um melhor entendimento dos efeitos que devem ser considerados no ato de inspeções que façam uso da técnica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

De maneira geral, Teodoro (2018) conceitua a resistência à compressão como o parâmetro mais importante e mais objetivo, na avaliação da qualidade de uma estrutura de concreto. Tal propriedade usualmente é estimada a partir de ensaios de controle tecnológico em corpos de provas moldados, adensados e curados em condições consideradas ideais, a fim de se alcançarem o valor máximo de resistência para aquele traço (NEVILLE, 2008).

Contudo, autores como Helene (2011) e Neville (2008) afirmam que os corpos de prova moldados não representam verdadeiramente a resistência do material nas peças, visto que nas construções são aplicadas diferentes condições de cura, adensamento, transporte e lançamento do concreto, quando comparado a corpos de prova. Assim, os resultados baseados nessas amostras presumem a resistência potencial de um volume definido e homogêneo de concreto.

A determinação da resistência efetiva do concreto é feita através de ensaios em elementos acabados, os quais estão submetidos às solicitações reais de carregamento. De

acordo com Teodoro (2018), "Trata-se de um valor que depende do próprio concreto e, principalmente da qualidade e conformidade da execução em relação ao projeto."

Comumente a resistência real do concreto em estruturas acabadas, apesar da origem do mesmo traço que foram moldados os corpos de prova, apresentam resultados inferior aos de resistência potencial, sendo que essa diferença se deve sobretudo ao fato de que nas obras a execução dos elementos estruturais é mais deficiente e de maneira menos controlada (CREMONINI, 1994).

Como dito por Vieira Filho (2007) "Essa resistência real ou efetiva, dificilmente pode ser conhecida, a não ser em casos especiais, quando for possível ensaiar e romper o próprio componente estrutural."

2.2 ENSAIO DE EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS

Conforme citam vários pesquisadores, entre eles Silva Filho e Helene (2011), a extração de amostras de concreto endurecido, é reconhecidamente dentre os métodos de inspeção existentes, a forma mais direta e precisa de coletar dados referentes à resistência efetiva de uma obra acabada.

Segundo a NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) os procedimentos de extração, preparo e rompimento de testemunhos de estruturas de concreto deve ser aplicado para a aceitação definitiva e avaliação da segurança estrutural em situações que não há conformidade da resistência à compressão com os critérios da NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015). A normativa ainda descreve que o uso desse ensaio permite verificar as condições das obras existentes tendo em vista a execução de reforma, ampliações, mudança de uso, acidentes e outras circunstâncias que seja interessante estipular o estado real do concreto.

As amostras obtidas são objetos de análise em laboratório para determinação da qualidade do concreto, sendo que podem ser usadas também para determinar a profundidade da frente de carbonatação, o teor de cloretos e propriedades físicas e mecânicas como a densidade, absorção de água, resistência à tração, entre outras (MEDEIROS *et al.*, 2017).

O procedimento de extração consiste em retirar testemunhos de forma cilíndrica do concreto consolidado, por meio de uma máquina rotativa com broca diamantada ou com disco, sob refrigeração de água. Após a extração, os corpos de prova necessitam ser protegidos das ações deletérias como impacto, queda e perda de umidade. Como procedimento padrão, as amostras são retificadas ou capeadas, e mantidas em umidade compatível a de seu elemento de origem (CASTRO, 2009; VIEIRA FILHO, 2007).

Referente às condições de umidade, a NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) recomenda que quando o concreto da estrutura que está sendo examinada estiver em contato com a água, os corpos de prova devem ser acondicionados em câmaras úmidas ou submersos em tanques, por no mínimo 72h antes da ruptura. Já os testemunhos

de regiões sem presença de água devem ser mantidos ao ar, obedecendo os critérios de temperatura da NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016).

Apesar de ser um método bastante favorável para obtenção da resistência do ponto de vista dos modelos de segurança, entende-se que a extração de testemunho não fornece a resistência real com total exatidão, devido a inúmeros fatores relativos às operações de extração como geometria do testemunho, corte de agregados, tempo de carregamento do componente, além de diversos outros aspectos comentados por outros pesquisadores (TEODORO, 2018).

2.2.1 Vantagens e limitações

Sobre as vantagens do referido ensaio, Castro (2009) cita a facilidade de execução, a precisão dos resultados e a rapidez com que os dados são obtidos.

Em relação as desvantagens, têm-se situações nas quais são feitas extrações em locais inadequados, que podem minorar a capacidade resistente da estrutura em avaliação. Em vista disso, a NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) ressalta que quando for considerada necessária a realização da inspeção, essa deve ser precedida de estudos em projetos, memórias de cálculo, memoriais descritivos e outros, de forma a balizar a obtenção de informações consistentes e evitar equívocos.

Por ser o ensaio mais utilizado para obtenção da resistência à compressão de um elemento acabado, existem hoje no mundo, várias normas e pesquisas pertinentes. Entretanto, em virtude da grande diversidade de recomendações e coeficientes apresentados, torna-se difícil interpretar e correlacionar os resultados obtidos (TEODORO, 2018).

2.2.2 Fatores de influência

“Além dos fatores relativos à variabilidade do concreto na estrutura, alguns outros fatores relativos às operações de extração e ensaio de testemunhos, podem influenciar nos resultados do ensaio à compressão, podendo-se citar, dentre outros: o diâmetro, índice de esbeltez, a presença de armadura, o teor de umidade e a direção da extração.” (CASTRO, 2009).

2.2.2.1 Diâmetro das amostras

Em testemunhos as partículas do agregado não estão totalmente envolvidas pela argamassa, pois durante o processo de extração ocorre a divisão dos grãos que estão no entorno. Como consequência, ao longo do ensaio de compressão axial, os agregados que ficaram na camada externa e foram cortados tendem a ser expelidos, ocasionando perda de resistência. As amostras de menor diâmetro têm mais superfície cortada por unidade de

volume, assim a resistência pode ser reduzida em nível maior que em amostras de grande diâmetro (CASTRO, 2009).

Além disso, Cremonini (1994) cita outro efeito prejudicial decorrente das operações de corte e retirada dos testemunhos, o qual refere-se ao aparecimento de microfissuras na superfície das amostras, podendo romper a ligação de aderência existente entre a pasta e os agregados.

No Brasil, a normativa NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) estabelece que o diâmetro dos testemunhos cilíndricos deve ser no mínimo três vezes a dimensão máxima características do agregado graúdo contido no concreto, e preferencialmente maior ou igual a 100,0 mm. No entanto, em elementos estruturais cuja concentração de armadura torne inviável a extração de testemunhos com tais dimensões permite-se o uso de extrações com diâmetro de 75,0 mm. Ademais, todos os testemunhos devem apresentar coeficiente de esbeltez na faixa de $1 \leq h/d \leq 2$, sendo que a relação deve ser a mais próxima a dois possível.

Já a normativa americana C-42 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1992) orienta o uso de testemunhos com diâmetro mínimo de 94,0 mm, exceto em casos que for impossível atingir uma relação altura/diâmetro (h/d) superior ou igual a 1 é aceito o uso de diâmetros menores.

Ainda, ao que tange o tamanho dos testemunhos cilíndricos, do mesmo modo que as normativas citadas, a norma inglesa BS-1881 (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2011) recomenda, sempre que executável, utilizar testemunhos com dimensões mínimas iguais ao triplo do diâmetro do agregado. Além disso, o diâmetro mínimo de acordo com essa normativa é de 100,0 mm, sendo o mais adequado 150,0 mm (MEDEIROS *et al.*, 2017).

“De forma geral, as normas que regem as avaliações estruturais e análise do concreto em estruturas acabadas tendem a aplicar redução de algumas parcelas dos coeficientes, sem prejuízo à segurança estrutural” (TEODORO, 2018). Entretanto, essas recomendações necessitam ser periodicamente verificadas, tendo em vista as alterações que surgem nos processos construtivos, qualidade de mão de obra e materiais (CASTRO, 2009).

Referente às pesquisas feitas por brasileiros, autores como Castro (2009) afirmam que o diâmetro é uma das variáveis que mais pode afetar o resultado obtido no ensaio. Em testemunhos de diâmetros menores os valores de resistência tendem a ser igual ou inferior aos obtidos através de testemunhos com maior diâmetro. Ainda, a discrepância nos resultados é maior para dimensões menores, sendo que um dos motivos seria o dano provocado pela extração, o qual se torna maior quanto menor for o diâmetro (MEDEIROS *et al.*, 2017; CASTRO 2009).

Silva Filho e Helene (2011) defendem o uso de testemunhos de menor diâmetro, devido aos prejuízos estruturais que as perfurações podem causar. “Por exemplo, um testemunho de 10,0 cm de diâmetro, com altura de 20,0 cm, resulta em um vazio de 12,0 cm x 22,0 cm, no mínimo, o que pode representar, no caso de um pilar de secção quadrada de 40,0 cm, uma redução de mais de 16% na secção resistente de concreto” (SILVA FILHO; HELENE, 2011).

Por outro lado, Teodoro (2018) e Santos (2016) concluíram que os resultados obtidos são mais satisfatórios para a utilização de extrações de 100,0 mm e 75,0 mm. Sendo que a utilização de diâmetros menores, mini testemunhos, tais como 50,0 mm e 25,0 mm, deve ser feita somente quando necessária, em vista da grande dispersão de resultados que podem oferecer.

Em seu estudo Santos (2016) verificou que comparando-se corpos de prova moldados, curados e rompidos de forma normativa com os testemunhos extraídos de 100,0 e 75,0 mm, os valores médios das relações de resistência foi de 1,09 e 1,11, ou seja, uma redução de 9% e 11% da resistência à compressão. Estes valores são próximos aos coeficientes k_2 da NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) de 0,06 (6%) e 0,09 (9%) para diâmetros de 100,0 e 75,0 mm, respectivamente.

Referente ao tema, Helene (2011) considera que as diferenças introduzidas pela variação do diâmetro do testemunho são desprezíveis na maioria dos casos. Após analisar os coeficientes de ajustes de diversas normas, resume que os resultados obtidos podem ser majorados de 11 a 25%, sempre levando em conta que a falha de um testemunho pode indicar um problema local, invés de uma questão global.

Contudo não há consenso entre pesquisadores e normativas, sendo que alguns defendem que corpos de provas com diâmetros inferiores de 75,0 mm, por exemplo, apresentam maior resultado que o de 100,0 mm e outros mostram resultados contrários.

2.2.2.2 Presença de aço nos testemunhos

São considerados ideais as amostras destinadas ao ensaio de compressão que não apresentem barras de aço em seu corpo. Entretanto, a última atualização da NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) estabelece que podem ser aceitos testemunhos que contenham barras em direção ortogonal (variando de 80° a 100°) desde que estas tenham diâmetro nominal máximo de 10,0 mm. Testemunhos que contenham barras de armaduras cruzadas na mesma seção, ou falta de aderência da barra de aço ao concreto devem ser descartados.

Mesmo permitido, amostras com eventuais presenças de aço devem ser evitadas sempre que possível, dado que acarretam a variação dos resultados de resistência à compressão dos testemunhos, e a normativa brasileira não expõe coeficientes para ajustes desses valores. Além disso, aconselha-se a análise do projeto estrutural e concomitantemente uso de equipamento eletromagnético, a fim de prevenir cortes na armadura, visto que pode provocar o comprometimento do elemento estrutural e dificuldade nos reparos (CASTRO, 2009).

Outras normativas como a C-42 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1992) afirma que caso não seja possível extrair um testemunho sem a presença de barras de aço, o engenheiro responsável pelo ensaio pode optar por aceitar ou não testemunhos na dita situação.

A norma inglesa BS-1881 (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2011) com base em estudos da *Concrete Society*, adota coeficiente de correção em função do diâmetro, número de barras existentes no interior do testemunho e distância dessa até o topo da amostra, de forma a considerar a distorção causada pela presença de aço (CASTRO, 2009).

A presença de segmentos de barras, provoca uma redução na resistência de ordem de 4%, além de um ligeiro aumento da dispersão de resultados, no entanto a diminuição na resistência pode ser desprezada, em razão do resultado obtido resultar a favor da segurança (PETERSONS, 1968, apud VIEIRA FILHO, 2007).

Sobre o assunto Neville (1997) cita em seu livro alguns estudos onde não foi observada diminuição da resistência e outros em que a redução variou entre 8 e 18% quando há fragmentos de aço nas amostras. O autor salienta que quando considerados os diversos fatores envolvidos e os dados conflitantes de pesquisas realizadas, não existe nenhum fator confiável que leve em conta a presença de barras transversais de aço no interior dos testemunhos, logo, os efeitos de enfraquecimento são contraditórios.

2.2.3 Corpos de prova moldados vs. testemunhos extraídos

Os estudos voltados para esse âmbito são inúmeros, os quais abordam diferentes condições experimentais de exposição e características dos testemunhos e corpos de prova em análise. Todavia, é de consentimento de todos que os resultados de resistência obtidos por meio de testemunhos extraídos podem ser significativamente inferiores àqueles obtidos em amostras de concreto moldados e coletadas durante a concretagem. Helene (2011) destaca que “O procedimento de extração ou de ensaio, somente vai reduzir a resistência potencial, [...] jamais aumentá-la.”, visto que introduzem efeitos deletérios nos testemunhos.

Pelos diferentes fatores intervenientes na resistência final de testemunhos, são aceitos consensualmente por pesquisadores e entidades normatizadas, percentuais entre 10 e 30 % de minoração da resistência em relação à obtido em corpos de prova de referência (VIEIRA FILHO, 2007). Ao final de sua tese Vieira Filho (2007) demonstrou que em média, $f_{cm,28d} = 1,07 * f_{c1,8d}$ o que significa que as operações de extração reduzem a resistência do concreto, sendo que encontrou como limites, 1,09 para concretos de 20 MPa e 1,04 para concretos de 70 MPa.

Em contrapartida, autores como Medeiros *et al.* (2017) encontraram perdas de 20% na resistência de testemunhos com concretos de 30 MPa, demonstrando maior influência do efeito de broqueamento nas amostras quando equiparado a outros pesquisadores.

2.2.4 Coeficiente de correção

A NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) prevê coeficiente de correção para ajuste dos resultados obtidos em ensaio de resistência à compressão a partir de testemunhos extraídos, em função das características das amostras em análise. Esses

coeficientes são aplicáveis para concreto do grupo I (C20 a C50) e do grupo II de resistência (C55 a C100), conforme classificação da NBR 8953 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

São quatro os itens a serem observados:

- a) Relação h/d (k_1): Quando o valor do índice de esbeltez (h/d) for igual a dois não há coeficiente de correção, já os demais valores necessitam ser corrigidos. Na Tabela 1 podem ser observados os coeficientes a serem utilizados, sendo que, para obter o fator de correção para os valores de altura/diâmetro compreendidos entre as constantes deve ser realizado interpolação linear.

Tabela 1 - Valores de k_1

h/d	2,00	1,88	1,75	1,63	1,50	1,42	1,33	1,25	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00
k1	0,00	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06	-0,07	-0,08	-0,09	-0,10	-0,11	-0,12	-0,13	-0,14

Fonte: NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

- b) Efeito do broqueamento em função do diâmetro do testemunho (k_2): O efeito deve ser considerado em todos os casos e é maior quanto menor for o diâmetro do testemunho. Para a correção, emprega-se os valores de k_2 conforme a Tabela 2, sendo permitida interpolação dos valores quando necessário.

Tabela 2 - Valores de k_2 em função do diâmetro do testemunho

Diâmetro dos testemunhos (d1) mm	≤ 25	50	75	100	≥ 100
k2	Não permitido	0,12	0,09	0,06	0,04

Fonte: NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

- c) Direção da extração em relação ao lançamento do concreto (k_3): Os corpos de prova devem ser ensaiados sempre que possível no sentido do lançamento do concreto ($k_3=0$), como é o caso das lajes. Quando inexecutável, as extrações podem ser realizadas no sentido ortogonal ao lançamento, sendo que para essa condição $k_3 = 0,05$.
- d) Efeito da umidade do testemunho (k_4): Para os testemunhos que forem ser rompidos saturados o coeficiente de correção, nesse caso k_4 , será nulo. No caso de ensaio do testemunho seco ao ar, $k_4 = -0,04$.

Para efeito de cálculo a norma estabelece os itens de correção k_1 a k_4 serem utilizados na Equação 1.

$$f_{ci, ext} = [1 + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)] \cdot f_{ci, ext, inicial} \quad (1)$$

Comparando a norma brasileira com as internacionais, é observado que as últimas levam em consideração uma maior quantidade de coeficientes de ajuste para minimizar outros efeitos como a idade do elemento em estudo, presença de fragmentos de aço nas amostras, efeito de carga de longa duração, microfissuração, entre outros (SILVA; SILVA, 2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração da pesquisa foi necessário a moldagem de uma placa de concreto, na qual, decorrido o período de cura realizou-se a extração dos testemunhos. Os testemunhos retirados foram submetidos a ensaio de resistência á compressão axial.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os agregados utilizados no traço do concreto foram areia média e brita. Para a caracterização desses foram realizados ensaios de granulometria conforme as recomendações das normas regulamentadoras NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003) e NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), ensaios de massa específica regidos pelas NBR 16917 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021) e NBR 16916 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021), e ensaio para determinação de massa unitária conforme NBR NM 45 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

3.2 DOSAGEM DO CONCRETO

Para a dosagem do concreto foram utilizados: cimento CP V-ARI-RS, agregados naturais e água. Empregou-se no estudo um traço de concreto na proporção de 1: 1,75: 2,25 (cimento: areia: brita) com teor de argamassa de 55%, determinado com base no método IPT e em informações provenientes de experiências anteriores em laboratório.

Optou-se por trabalhar com um concreto com classe de resistência superior a 30 MPa, para tanto, o traço adotado foi previamente testado por meio de moldagem de corpos de prova para verificar tal condição. Moldou-se um par de corpos de prova cilíndricos de 10,0 x 20,0 cm, seguindo o procedimento recomendado pela NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016), os quais foram mantidos em cura úmida. O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado 7 dias após a moldagem, conforme as diretrizes da NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018). Os resultados obtidos foram superiores ao esperado, enquadrado na NBR 8953 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) como C30.

O traço final utilizado apresentou uma massa específica de 2377,32 kg/m³, com uma relação água/cimento de 0,54 ocasionando um resultado de *slump test* de 100,0 mm. A proporção e quantidade de materiais utilizados no concreto está apresentada na Tabela 3. Para os cálculos considerou-se a massa específica aparente do cimento de 3,09 kg/m³, informada pelo fabricante do produto.

Tabela 3 - Proporção dos materiais empregados para o concreto C30

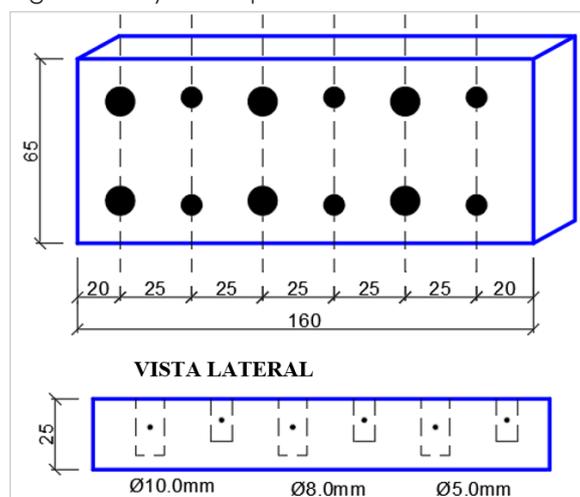
Material utilizado	Proporção	Consumo em kg/m ³
Cimento	1	429,10
Areia	1,75	750,93
Brita I	2,25	965,48
Água	0,54	231,71

Fonte: os autores (2021).

3.3 MOLDAGEM DA PLACA DE CONCRETO

Para realização do estudo, foi preciso moldar uma placa conforme *layout* a seguir (Figura 1), na qual realizou-se a extração dos testemunhos. A dimensão da placa foi definida levando em consideração as recomendações da norma NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) no que diz respeito a distância da extremidade da peça até o local de extração do testemunho, e distância entre bordas das perfurações, sendo que essas devem ser ao mínimo uma vez o diâmetro do referente testemunho. Para as amostras extraídas arbitrou-se a relação altura / diâmetro igual a 2,0, logo, o item descrito também foi importante na formulação do *layout* do elemento.

Figura 1 - Layout da placa



Fonte: os autores (2021).

Para os testemunhos que continham fragmentos de aço em seu interior, a extração foi realizada conforme as posições indicadas, já as demais perfurações necessárias foram realizadas nos espaços livres da placa. Foram previstas duas extrações para cada situação, exceto para testemunhos sem aço, para esses optou-se por extrair quatro amostras de cada diâmetro.

As barras de aço utilizadas para o estudo são de aço CA-60 de Ø5.00 mm e aço CA-50 de Ø8.00 e Ø10.0 mm. Quanto a posição dessas no corpo da amostra, buscou-se locar as barras de modo que após a extração estivessem posicionadas no centro geométrico do testemunho. A Fotografia 1 mostra a fôrma da placa concluída com as barras de aço posicionadas e fixadas.

Fotografia 1 - Fôrma da placa



Fonte: os autores (2021).

A placa foi moldada de maneira homogênea, e para garantir o adensamento da peça, e visando eliminar as bolhas de ar, utilizou-se um vibrador de imersão (Fotografia 2). No momento de confecção da placa, também foram moldados um par de corpos de prova cilíndricos de 100,0 x 200,0 mm, seguindo o procedimento recomendado pela NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016), para a determinação da resistência à compressão aos 28 dias (momento da extração e ruptura dos testemunhos).

Fotografia 2 - Moldagem e adensamento da placa



Fonte: os autores (2021).

Ainda, no concreto fresco foram realizados ensaios de massa específica, seguindo os procedimentos da NBR 9833 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), e de abatimento pelo método do cone, regido pela NBR 16889 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020).

A placa e os corpos de prova, foram mantidos por 27 dias em cura ao ar, desconsiderando a umidade relativa do ambiente. A fim de minimizar a fissura excessiva na superfície da placa, manteve-se os elementos cobertos por uma lona plástica durante esse período. A padronização da cura foi realizada para que, no momento de avaliação das diferenças existentes entre os resultados, esta não fosse fonte de variação.

3.4 EXTRAÇÃO DOS TESTEMUNHOS

Para a extração dos testemunhos foi utilizado equipamento de perfuração rotativo acoplado com ferramenta diamantada, da marca Merax e modelo Z1Z-CF02-255N. O procedimento foi realizado 25 dias após a moldagem, e seguiu as preconizações da NBR 7680

(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015). Utilizou-se brocas com diâmetros de 75,0 mm e 100,0 mm para as perfurações, sendo que os diâmetros indicados são nominais, entretanto nos cálculos foram utilizados os diâmetros reais.

Foram extraídos um total de 20 testemunhos, dos quais 10 com diâmetro 75,0 mm e os demais de 100,0 mm. Além disso, 12 das amostras continham barras de armadura em seu interior Fotografia 3.

Fotografia 3 - Testemunhos extraídos



Fonte: os autores (2021).

3.5 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados 28 dias após a moldagem. Os corpos de prova e testemunhos foram preparados seguindo as recomendações da NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016).

O ensaio foi realizado nos testemunhos extraídos e moldados em condição de cura ambiente, com aplicação de carga em velocidade controlada, de acordo com a NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007). A prensa é da marca EMIC, com capacidade de carga de 2000 kN. O critério adotado para a análise dos resultados foi a resistência potencial, ou seja, para cada caso foram extraídos ou moldados ao mínimo dois testemunhos e o maior valor foi o adotado.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

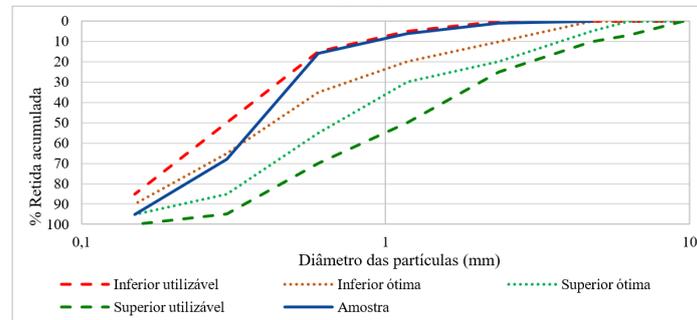
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A curva granulométrica do agregado miúdo está apresentada no Gráfico 1. Constatou-se que a curva granulométrica do material ensaiado ficou entre a zona inferior utilizável e a ótima. Entre as peneiras 0,15 a 0,30 mm a curva enquadrou-se dentro da zona ótima estabelecida pela NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), no entanto, no restante das peneiras a amostra ficou levemente acima do limite inferior utilizável.

A dimensão máxima característica do agregado foi de 2,36 mm. O módulo de finura obtido foi de 1,86, ficando entre 1,55 e 2,20 especificado na normativa para a zona inferior utilizável, podendo assim ser aplicado como agregado miúdo no concreto. A massa unitária

seca do agregado em questão é de $1,49 \text{ g/cm}^3$, já a massa específica aparente obtida foi de $2,59 \text{ g/cm}^3$ e a absorção de água de $0,25\%$.

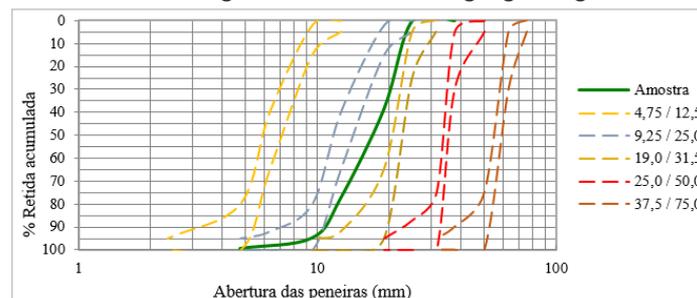
Gráfico 1 - Granulometria agregado miúdo



Fonte: os autores (2021).

O Gráfico 2 apresenta a curva granulometria do agregado graúdo ensaiado.

Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: os autores (2021).

O agregado graúdo não se enquadrou em nenhuma zona granulométrica estabelecida na NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009) ficando entre as faixas $9,25/25,0$ e $19,0/31,5$, no entanto tal condição não define o material como não apto para ser utilizado no concreto, apenas como um agregado sem graduação padronizada. O módulo de finura obtido foi de $6,94$ e a dimensão máxima característica que o agregado apresentou foi de $19,0 \text{ mm}$, assim o agregado pode ser classificado como brita I.

A amostra ensaiada apresentou massa unitária de $1,43 \text{ g/cm}^3$, massa específica de $2,84 \text{ g/cm}^3$ e a absorção de água de $1,29\%$.

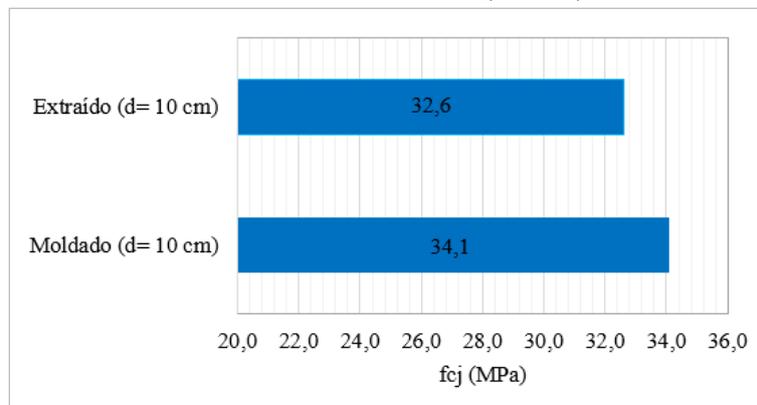
4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

4.2.1 Influência da extração dos testemunhos

No Gráfico 3 é apresentado os valores máximos de resistência à compressão alcançados a partir de testemunhos extraídos e de amostras moldadas normativamente,

ambos com diâmetro de 10,0 cm. Foram ensaiados quatro testemunhos e um par de corpos de prova para a determinação da resistência potencial.

Gráfico 3 - Testemunhos extraídos vs. Corpos de prova moldados



Fonte: os autores (2021).

Dentro do contexto e conforme esperado, houve uma predominância de resultados mais altos para os corpos de prova moldados. Isso se deve ao fato, de que os testemunhos sofrem influência negativa do processo de extração e do efeito de broqueamento, e acabam tendo sua resistência afetada.

Obteve-se nesse estudo, para testemunhos extraídos com diâmetro de 10,0 cm, um coeficiente de ajustes ($f_{c_j}/f_{c_{j,ext}}$) de 1,046. Analisando comparativamente o resultado com o coeficiente k2 apresentado no Quadro 2 adaptado da NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015), nota-se que o valor obtido é muito próximo ao valor de 1,06 exposto na normativa. Ressalta-se que os demais coeficientes de correção nesse caso seriam nulos, uma vez que a relação altura/diâmetro foi mantida em dois para as amostras, a extração foi paralela a moldagem da placa e ambas as peças foram submetidas às mesmas condições de cura.

Como dito, os resultados referem-se a exposições de cura idênticas entre a placa e os corpos de prova. No entanto, comumente a cura de corpos de prova é próxima ao ideal, e nos elementos de concreto nos quais se realiza a extração, a cura adotada, muitas vezes, é deficiente. Portanto, se for considerado tais condições, é provável que o índice $f_{c_j}/f_{c_{j,ext}}$ seria superior ao encontrado.

Outro quesito que deve ser avaliado, é a classe de resistência à compressão do concreto em análise, sendo que, à medida que essa aumenta a influência sofrida pelo processo de extração é reduzida. Isso ocorre, em virtude das peças com alta resistência mecânica serem menos suscetíveis a microfissuração na zona de transição, quando comparada à de baixa e média resistência.

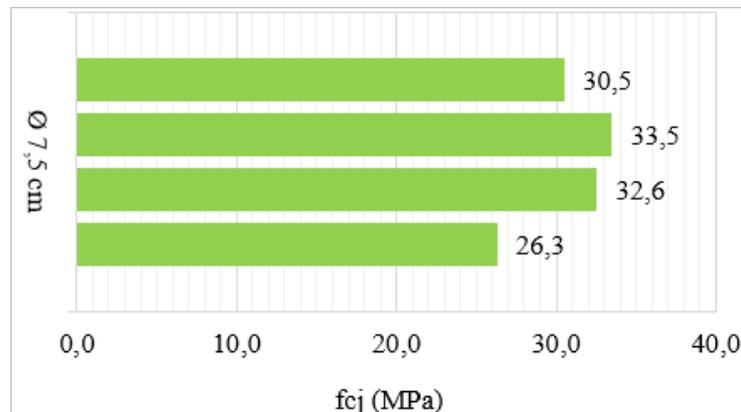
Em analogia a outros autores, Vieira Filho (2007) obteve coeficiente de correção similar de 1,09 para concretos na faixa de 20MPa. Em contrapartida, Cremonini (1994) avaliando também testemunhos de 100,0 mm, encontrou coeficientes de variação de 1,22, sendo que o autor utilizou métodos distintos de cura para as amostras moldadas e elementos de extração.

Desse modo, corroborando as informações do meio técnico e as normativas pertinentes, os resultados dos ensaios de resistência à compressão realizados a partir de testemunhos extraídos devem mesmo ser majorados para oferecerem maior exatidão das características do concreto em obra.

4.2.2 Influência do diâmetro dos testemunhos

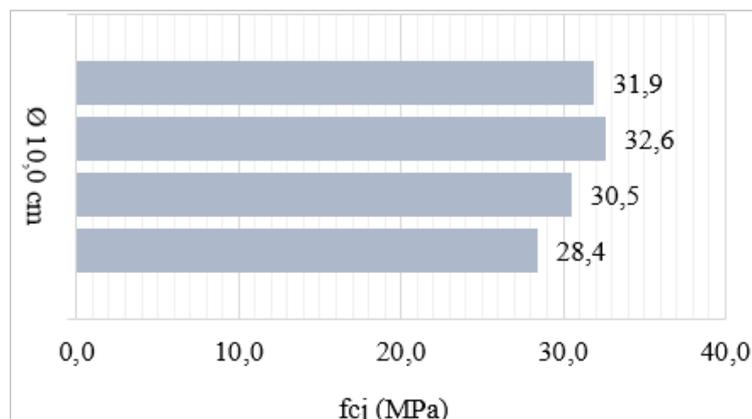
Diversos pesquisadores já referenciados, apontam que à medida que o diâmetro do testemunho é diminuído, também é reduzida a resistência à compressão, ou seja, diâmetro e resistência são proporcionais. No entanto, os resultados desse estudo não demonstraram esse fato. O Gráfico 4 e Gráfico 5 ilustram os resultados obtidos a partir de ensaio de resistência à compressão nos testemunhos extraídos com diâmetro de 7,5 cm e 10,0 cm, respectivamente, sem nenhum fragmento de aço no interior. Destaca-se que para alguns testemunhos não foi possível manter a relação $h/d=2$, assim a resistência foi adequada com os coeficientes pertinentes da NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

Gráfico 4 - Resistência à compressão de testemunhos com diâmetro de 7,5 cm



Fonte: os autores (2021).

Gráfico 5 - Resistência à compressão de testemunhos com diâmetro de 10,0 cm



Fonte: os autores (2021).

Considerando a resistência potencial, nesse caso 33,5 MPa, e 32,6 MPa, para as amostras com dimensões de 7,5 x 15,0 cm e 10,0 x 20,0 cm, respectivamente, observa-se que a primeira apresenta resistência à compressão superior. Analisando os valores com base na correlação $f_{c,75}/f_{c,100}$ verifica-se um fator de 1,027 para as peças em estudo, ou seja, os testemunhos extraídos de 7,5 cm alcançaram 2,7% a mais resistência que a de 10,0 cm.

A NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015), traz coeficientes de correção de 1,09 e 1,06 para testemunhos de 7,5 e 10,0 cm, respectivamente. A norma aponta que os testemunhos menores devem ser majorados por coeficiente maiores, ou seja, a resistência obtida por meio das amostras de diâmetro 7,5 cm deveria ser inferior a aquela obtida pelas de 10,0 cm, considerando que os testemunhos menores sofrem mais com os efeitos gerados no processo de extração.

Não houve diferenças significativas entre os valores, porém, as justificativas atribuídas para essa propensão de testemunhos menores gerarem maior resistência, aborda diversos aspectos, entre eles destaca-se o volume do corpo de prova. À medida que se aumenta a dimensão do testemunho, maior a probabilidade de ser extraído em zonas frágeis do concreto, e apresentar porções com resistências inferiores.

A média aritmética das resistências à compressão e a resistência potencial, assim como o desvio padrão e o coeficiente de variação das amostras ensaiados para cada diâmetro, são apresentados na Tabela 4. Valores atípicos foram desconsiderados no cálculo.

Tabela 4 - Resultados da compressão axial

	Testemunhos d= 7,5 cm	Testemunhos d=10,0 cm
Resistência máxima (MPa)	33,5	32,6
Resistência média (MPa)	32,2	31,7
Desvio padrão	1,53	1,07
Coeficiente de variação (%)	4,77	3,38

Fonte: os autores (2021).

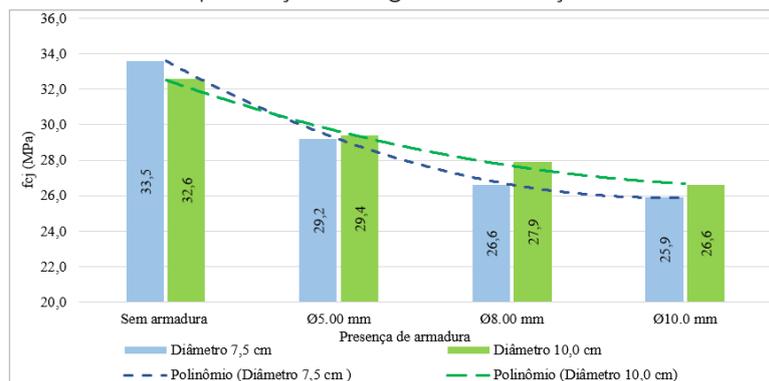
Analisando os resultados e relacionando-os com os coeficientes, a tendência do coeficiente de variação é aumentar conforme o diâmetro do testemunho reduz, isso ocorre em razão do fato, já citado anteriormente, dos testemunhos menores serem mais vulneráveis aos danos de operação que podem prejudicar a interface com o surgimento de microfissuras.

Logo, os testemunhos de 7,5 cm possuem maior dispersão comparado aos testemunhos de 10,0 cm, sendo que ambas as amostras são classificadas como baixa dispersão e podem ser utilizadas com segurança e confiabilidade. Mesmo não sendo uma diferença significativa pois se trata de diâmetros bem próximos, a utilização de amostras extraídos com maior diâmetro pode ser considerada mais confiável quando equiparado às menores, no entanto, para validar tal colocação é necessário ensaiar um número maior de amostras.

4.2.3 Presença de aço nos testemunhos

Os efeitos ocasionados pela presença de fragmentos de aço no interior dos testemunhos são contraditórios, sendo que alguns autores relatam redução e outros ganho na resistência. Os valores de resistência à compressão são representados no Gráfico 6, juntamente com as linhas de tendência.

Gráfico 6 - Resultados de resistência dos testemunhos extraídos com presença de fragmentos de aço



O gráfico evidencia que a presença de aço transversal acarreta na redução da resistência dos testemunhos, sendo que quanto mais aço maior essa diminuição. Analisando as amostras de 7,5 e 10,0 cm, nota-se que os primeiros sofreram maior influência, minorando os resultados, visto que possuem maior área de aço por área de concreto. Para os testemunhos menores obteve-se, em função da amostra com ausência de aço, uma redução de 12,8%, 20,6% e 22,7%, para as barras de 5.00, 8.00 e 10.0 mm, respectivamente. Já para os testemunhos de 10,0 cm essa redução foi de 9,8%, 14,4% e 18,4%, em analogia aos testemunhos de mesmo diâmetro, porém sem a existência de aço em seu núcleo.

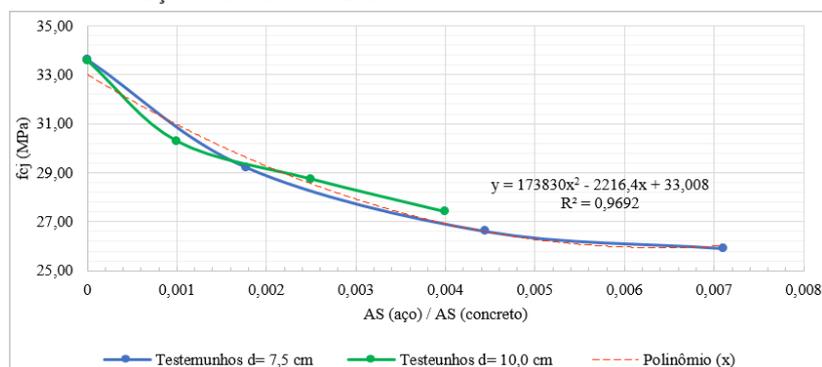
A explicação atribuída para a diminuição de resistência à compressão, refere-se ao fato do aço sofrer vibração e aquecimento, o qual gera dilatação térmica, durante o procedimento de corte. Assim, a aderência existente entre a pasta do concreto e a barra de armadura é prejudicada, ocasionando o surgimento de fissuração e zonas de maior fragilidade no corpo da amostra. Ressalta-se que o efeito citado pode ser mais expressiva caso a broca do equipamento utilizado esteja danificada ou a perfuração não seja feita sob refrigeração de água, visto que o aquecimento e vibração serão mais intensos nessas condições.

A presença de aço também causa aumento no desvio padrão das amostras, bem como na amplitude dos resultados. Tal fato também foi confirmado e mencionado por Neville (2008) em seus trabalhos. Os testemunhos de 7,5 x 15,0 cm e 10,0 x 20,0 cm apresentaram, respectivamente, desvio padrão de 1,42 e 1,14 e amplitude de 3,30 e 2,80 MPa.

No Gráfico 7 é apresentado os resultados em função da relação $A_{s, \text{aço}}/A_{s, \text{concreto}}$ juntamente com a linha de tendência, equação polinomial da reta e coeficiente de determinação. Do mesmo modo que ocorreu no Gráfico 6, verifica-se perda de resistência

com aumento da relação área de aço pela área de concreto nos testemunhos. Para os resultados obtidos a partir das amostras com diâmetro de 10,0 cm aplicou-se a correção por meio do coeficiente $f_{c,75}/f_{c,100}$ de 1,027 encontrada na pesquisa.

Gráfico 7 - Relação da resistência a compressão com a presença de aço nos testemunhos



Fonte: os autores (2021).

Nota-se deificiência nas considerações da norma NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015), pois essa não relata correções para ajustes em função da variável apresentada. Ressalta-se, que nesse estudo as barras foram mantidas no centro geométrico do testemunho, assim a posição não interferiu no resultado. No entanto, seria necessário considerar essa variação para elaborar equações de correção, dado que autores como Neville (2008) relatam que o efeito é tanto maior quanto mais distante o aço estiver do topo do testemunho.

Fica evidente, que existe uma concordância geral entre autores e normativas, apenas quando se refere à evitar a extração de amostras em locais onde possa ocorrer corte do aço, visto que fica confirmado a influência negativa da ação no ensaio de compressão. Além disso, é importante ressaltar que seccionar o aço de uma estrutura de concreto armado pode comprometer o desempenho da peça.

5 CONCLUSÃO

É de grande interesse do meio técnico e profissional da construção civil, aprimorar as inspeções e avaliações do concreto armado em estruturas acabadas. A estimativa de resistência do material pode ser feita por meio de ensaios destrutivos, não destrutivos ou ainda a combinação de ambos. Todavia, independentemente do método adotado, os procedimentos sofrem influência de fatores externos.

No presente trabalho, analisou-se como o diâmetro da amostra e presença de aço no interior dessa, influenciam nos resultados de resistência à compressão de testemunhos extraídos. Bem como, fez-se uma analogia dos efeitos causados pelo processo de extração.

Conforme esperado, os testemunhos extraídos resultaram em resistência à compressão inferiores aos dos corpos de prova moldados, nota-se que o trabalho de extração causa danos

deletérios nas amostras. O coeficiente encontrado de 1,046 para majoração da resistência mecânica dos testemunhos é similar ao exposto pela NBR 7680 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

No que diz respeito ao diâmetro, a variável demonstrou baixa influência nos resultados, sendo que amostras com diâmetro menores resultaram em resistências 2,7% superiores às alcançadas para amostras com diâmetro de 10,0 cm. Os testemunhos de 7,5 cm apresentaram aumento na dispersão dos resultados, no entanto, no estudo ambas as amostras procederam baixa dispersão podendo ser usadas em inspeções com segurança.

Ao que tange a existência de aço no corpo dos testemunhos, constatou-se que a presença desse é prejudicial para a resistência à compressão da amostra, ocasionando minoração de até 22,7% nos resultados. Porém, como não há equações de ajustes normalizadas, sempre que possível deve ser evitada tal situação.

Apesar dos incontáveis fatores que interferem no procedimento de extração, de maneira geral, o ensaio tende a apresentar resultados satisfatórios, sempre a favor da segurança estrutural. Contudo, destaca-se a importância de coeficientes e equações de correção coerentes e adequadas para cada circunstância, visto que, em alguns casos, a não aplicação de ajustes na resistência alcançada, pode induzir a resultados equivocados.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete - C 42**. Filadélfia, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NORMA MERCOSUL. **NBR NM 45 – Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NORMA MERCOSUL. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7680: Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9833: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2021.

BRITISH STANDARDS INSTITUTE. **BS 1881 -122 -Testing concrete: Method for determination of water absorption**. London, 2011.

CASTRO, Elisângela de. **Estudo da resistência à compressão do concreto por meio de testemunhos de pequeno diâmetro e esclerometria**. 2009. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

CREMONINI, R. A. **Análise de estruturas acabadas: Contribuição para determinação da relação entre as resistências potencial e efetiva do concreto**. 1994. 195p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

HELENE, P. Análise da Resistência à Compressão do Concreto em Estruturas Acabadas com Vistas à Revisão da Segurança. **Revista ALCONPAT**, v.1, n.1, p. 64-89, jan. / abr. 2011. Disponível em: <https://revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/7/77>. Acesso em: 28 mar. 2021.

MEDIROS, Marcelo Henrique Farias *et al.* Resistência a compressão em testemunho de concreto: influência do fator de esbeltez, diâmetro da amostra e método de extração. **Revista eletrônica de engenharia civil- REEC**, v. 13, n. 1, p. 240-250, jan./jun. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/reec.v13i1.41073>. Acesso em: 28 mar. 2021.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto – 5ª ed.** São Paulo: Bookman Editora Ltda, 2008.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto - 2ª ed.** São Paulo: Editora PINI, 1997.

SANTOS, Ícaro Mariani Ribeiro dos. **Resistência à compressão de testemunhos extraídos de concreto: Efeito do diâmetro, da direção de extração e das classes de Resistência**. 2016. 241 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

SILVA FILHO, J. C. P.; HELENE, P. R. L. Análise de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo. IBRACON, 2011.

SILVA, Rodrigo Lacerda; SILVA, Júnior Marques. **Avaliação da resistência à compressão do concreto: Estudo de caso: Comparativo entre corpos de provas moldados e testemunhos extraídos**. Brasília, 2017, 48 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário do Distrito Federal, Brasília, 2017.

TEODORO, Marina Leme. **Contribuição ao conhecimento da influência do diâmetro na resistência à compressão de testemunhos de concreto**. 2018. 97 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Processos construtivos) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Belo Horizonte, 2018.

VIEIRA FILHO, J. O. **Avaliação da resistência à compressão do concreto através de testemunhos extraídos: contribuição à estimativa do coeficiente de correção devido aos efeitos do broqueamento**. 2007. 217 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.