

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

MARIANA FERNANDES DE PAIVA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO AXIAL
OBTIDAS EM CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS E CÚBICOS**

Taubaté

2019

Mariana Fernandes de Paiva

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO AXIAL
OBTIDAS EM CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS E CÚBICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil, pelo Curso de
Engenharia Civil da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof.º Flávio Pedrosa Dantas Filho

Taubaté

2019

Sistema Integrado de Bibliotecas SIBi/UNITAU
Biblioteca Setorial de Gestão e Negócios/Civil

P149e Paiva, Mariana Fernandes de
Estudo comparativo entre as resistências à compressão axial obtidas em corpos de prova cilíndricos e cúbicos / Mariana Fernandes de Paiva. - 2019.
41f.:il.

Monografia (graduação) - Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Civil, 2019.
Orientação: Prof. Me. Flávio Pedrosa Dantas Filho, Departamento de Engenharia Civil.

1. Comparativo. 2. Ensaio de resistência à compressão axial. 3. Corpos de prova cilíndricos e cúbicos. I.Título.

CDD 691.3

MARIANA FERNANDES DE PAIVA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO AXIAL
OBTIDAS EM CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS E CÚBICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade de Taubaté
(UNITAU), como exigência parcial para a
obtenção do diploma de Graduado em
Engenharia Civil.

Aprovado em ___/ ___/ ___

BANCA EXAMINADORA

Prof.º Me. Flávio Pedrosa Dantas Filho

Eng.º Hemerson Máximo de Oliveira

Eng.ª Alessandra Fernanda Pedroso de Siqueira

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me oferecer o refúgio e conforto.

Agradeço aos meus pais, cujo o amor incondicional e compreensão estiveram comigo ao longo de todo o caminho como lembrança de nunca desistir dos meus sonhos.

Agradeço a todo o corpo docente da Universidade de Taubaté pelo empenho no ofício do ensino, sem o qual seria impossível a minha formação pessoal e profissional.

Por fim, a todos que participaram da minha formação direta ou indiretamente, o meu muito obrigado.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar de maneira clara e organizada, o comparativo dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial mediante a utilização corpos de prova cilíndricos e cúbicos, os quais são frequentemente aplicados no controle tecnológico do concreto empregado em elementos estruturais. Desse modo, serão indicadas e analisadas as principais características e propriedades do concreto, de maneira a ilustrar as diversas variáveis que possuem influência direta sobre a qualidade do mesmo; além de listar as etapas essenciais entre seu processo de confecção à realização dos ensaios já citados. A partir dos resultados obtidos, espera-se o fornecimento de informações precisas e confiáveis, com o intuito de prover uma leitura esclarecedora, a qual venha a gerar a conhecimento da eficácia da utilização de cada corpo de prova.

Palavras-Chave: Comparativo, Ensaio de Resistência à Compressão Axial, Corpos de Prova Cilíndricos e Cúbicos, Concreto.

ABSTRACT

The present study has the objective of presenting in a clear and organized way, the comparative of the results obtained in Axial Compressive Strength Tests using cylindrical and cubic test specimens, which are frequently applied in the technological control of the concrete used in structural elements. In this way, the main characteristics and properties of the concrete will be indicated and analyzed, in order to illustrate the several variables that have a direct influence on its quality; in addition to listing the essential steps between its manufacturing process and the tests already mentioned. Based on the results obtained, it is expected to provide accurate and reliable information, in order to provide an enlightening reading, which will generate knowledge of the effectiveness of the use of each test specimen.

Keywords: Comparative, Axial Compressive Strength Tests, Cylindrical and Cubic Test Specimens, Concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Seção polida de um corpo de prova de concreto.....	12
FIGURA 2 – Proporção dos materiais constituintes do concreto.....	13
FIGURA 3 – Traço unitário de concreto.....	25
FIGURA 4 – Medição do abatimento do tronco do cone.....	27
FIGURA 5 – Dimensões para corpos de prova cilíndricos.....	28
FIGURA 6 – Moldagem de corpos de prova cilíndricos.....	30
FIGURA 7 – Nivelamento dos corpos de prova cilíndricos.....	31
FIGURA 8 – Dimensões para corpo de prova cúbico.....	32
FIGURA 9 – Moldagem de corpos de prova cúbicos.....	33
FIGURA 10 – Nivelamento dos corpos de prova cúbicos.....	33
FIGURA 11 – Corpos de prova cilíndricos e cúbicos moldados.....	34
FIGURA 12 – Rupturas satisfatórias para corpos de prova cilíndricos.....	36
FIGURA 13 – Rupturas satisfatórias para corpos de prova cúbicos.....	36
FIGURA 14 – Máquina de ensaio de resistência à compressão axial.....	37
FIGURA 15 – Rompimento de corpo de prova cilíndrico.....	37
FIGURA 16 – Rompimento de corpo de prova Cúbico.....	37

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Designação normalizada, sigla e classe do Cimento Portland.....	15
TABELA 2 – Concentrações toleráveis de impurezas na água para concreto....	17
TABELA 3 – Parâmetros e limites para caminhões-betoneira de centrais dosadoras.....	19
TABELA 4 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova.....	29
TABELA 5 – Classes de consistência.....	30
TABELA 6 – Tolerância de idade de ensaio de corpos de prova.....	35
TABELA 7 – Resultados dos ensaios de compressão axial do concreto.....	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	09
1.1 JUSTIFICATIVA.....	09
1.2 OBJETIVO GERAL.....	10
1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	10
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 CONCRETO.....	11
2.2 COMPOSIÇÃO DO CONCRETO.....	11
2.2.1 Cimento	13
2.2.2 Agregados	15
2.2.3 Água de Amassamento	16
2.3 DOSAGEM.....	17
2.4 TRAÇO.....	17
2.5 CONCRETO DOSADO EM CENTRAL.....	18
2.6 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO.....	19
2.7 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO.....	20
2.8 PRODUÇÃO DO CONCRETO.....	21
2.8.1 Mistura	21
2.8.2 Transporte	22
2.8.3 Lançamento	22
2.8.4 Adensamento	23
2.8.5 Cura	23
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	24
3.1 MÉTODOS.....	24
3.2 MATERIAIS UTILIZADOS.....	25
3.3 TRAÇO DO CONCRETO.....	25
3.4 SLUMP TEST.....	26
3.5 AMOSTRAGEM DO CONCRETO FRESCO.....	27
3.6 MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA.....	28
3.6.1 Corpos de prova cilíndricos	28
3.6.2 Corpos de prova cúbicos	31
3.7 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	34
3.7.1 Máquina de Ensaio	34

3.7.2 Execução do Ensaio	35
3.7.3 Cálculo as Resistência	38
4. RESULTADOS	38
5.0 CONCLUSÃO	39
6.0 REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o concreto é o material mais utilizado no setor da construção civil. Portanto, devido ao importante papel que desempenha, é essencial que haja um controle cada vez mais rigoroso da resistência obtida nos elementos estruturais onde o mesmo é empregado.

Desse modo, torna-se necessário que os resultados dos ensaios envolvidos no controle tecnológico do concreto sejam cada vez mais precisos e condizentes com os valores reais; condição essa, alcançada através de uma maior atenção às características e qualidade dos materiais utilizados, bem como à metodologia dos processos aplicados.

Neste contexto, o ensaio de resistência à compressão axial é realizado com o intuito de indicar, a partir da aplicação de esforços em corpos de provas confeccionados com amostras de concreto, a real resistência alcançada pelos elementos estruturais de obra.

1.1 JUSTIFICATIVA

No território nacional, é preconizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 5739:07, a utilização de corpos de provas cilíndricos nos ensaios de resistência à compressão axial. No entanto, no continente europeu, em países como Portugal, é reconhecida a norma NP EN 12390-3:09, a qual indica, entre outros, a utilização de corpos de prova cúbicos.

Em vista disto, realiza-se neste trabalho o ensaio já mencionado com ambos os formatos de corpos de prova, respeitando-se as normas vigentes dos territórios em que são aplicados. Dessa maneira, espera-se realizar o comparativo dos resultados obtidos, de modo a ilustrar uma possível vantagem na realização de uma das técnicas.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é gerar de maneira precisa, o comparativo entre os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial, quando aplicados esforços em corpos de prova cilíndricos e cúbicos em idades pré-definidas.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar de maneira objetiva as resistências obtidas nos ensaios do concreto, através da apresentação dos mesmos por meio de tabela.

Comparar os resultados apresentados com as resistências esperadas quando efetuada a dosagem do concreto; além de conferir sua adequação com os valores indicados em norma.

Averiguar os pontos a favor e contra a utilização de cada formato de corpo de prova.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho, em seu capítulo inicial, apresenta de maneira sucinta a introdução ao tema a ser desenvolvido, a justificativa para o mesmo e objetivos a serem alcançados.

No capítulo seguinte, expõe-se a revisão bibliográfica, na qual serão indicados o conteúdo teórico utilizado como embasamento para a realização do controle da qualidade do concreto e as premissas básicas para a realização dos ensaios necessários.

Posteriormente, no programa experimental, são descritas as principais etapas realizadas desde a preparação do concreto até a confecção dos corpos de prova e sua consecutiva utilização no ensaio de resistência à compressão axial.

Em apresentação e análise de resultados, irão ser descritos os resultados obtidos no ensaio citado anteriormente, de maneira a gerar a análise e comparativo entre os valores das resistências provenientes dos corpos de prova cilíndricos e cúbicos.

Logo após, mediante ao exposto, serão elaboradas as conclusões, por meio das quais foi possível chegar através da realização deste trabalho.

E, finalmente, serão listadas as referências utilizadas na produção deste, listando os materiais referenciados na presente obra.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

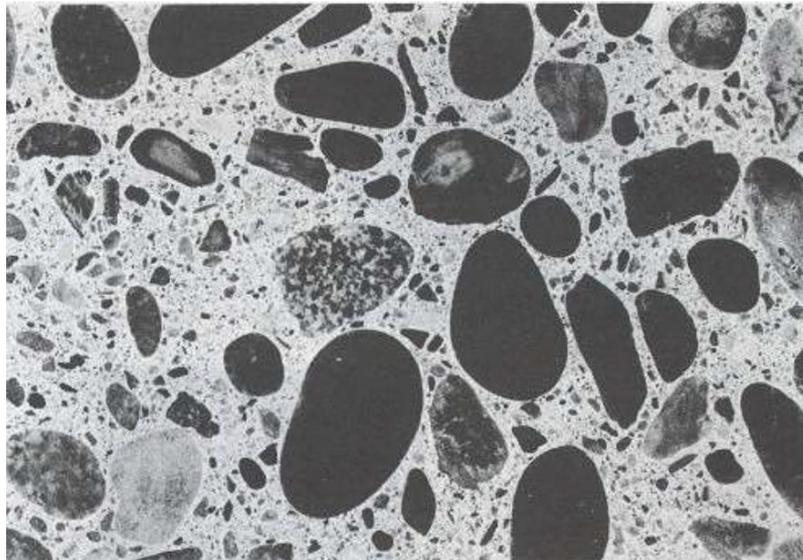
2.1 CONCRETO

O concreto é, atualmente, o material mais utilizado no setor da construção civil, sendo resultante principalmente da mistura de um aglomerante com materiais inertes e água. Dessa mistura, espera-se condições de plasticidade que favoreçam o manuseio e lançamento nas formas, bem como a aquisição de coesão e resistência.

2.2 COMPOSIÇÃO DO CONCRETO

Os materiais componentes do concreto são: cimento, um agregado miúdo, um agregado graúdo e água; podendo observar-se a distribuição dos elementos citados na imagem abaixo:

Figura 1 - Seção polida de um corpo de prova de concreto



Fonte: Ribeiro (2015)

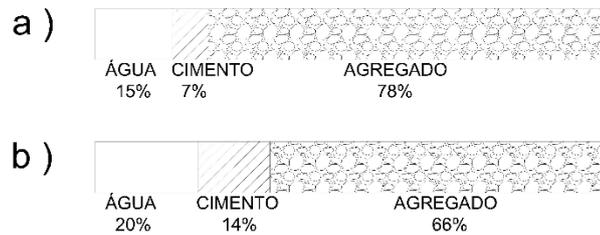
No entanto, atualmente são utilizados constituintes responsáveis por melhorar ou conferir propriedades ao concreto. A estes é dada a denominação de aditivos, os quais destinam-se aos concretos tratados.

O produto resultante da mistura entre cimento e água denomina-se pasta, a qual é responsável por preencher grande parte dos espaços vazios entre os agregados, constituindo um material ligante capaz de unir suas partículas de modo que, ao endurecer, formem uma massa sólida.

Os agregados podem ser considerados os materiais de maior volume presentes no concreto, representando cerca de 60% a 80% em sua composição. Este fato se deve principalmente a fatores econômicos, pois o valor dos agregados é mais reduzido em relação ao da pasta.

A proporção dos elementos que constituem o concreto pode ser observada na figura abaixo:

Figura 2 - Proporção dos materiais constituintes do concreto



Fonte: Pfeil (1985)

Dada a importância dos materiais constituintes do concreto em sua qualidade, é importante ressaltar que:

Os agregados são considerados materiais inertes, enquanto a pasta (cimento + água) constitui o material ligante que junta as partículas dos agregados em uma massa sólida. Para os agregados, em geral se empregam materiais de elevada resistência mecânica, de modo que a qualidade do concreto depende principalmente da pasta de cimento. (PFEIL, 1985, p. 7)

Uma vez que, frequentemente, a dosagem e mistura são executadas *in loco*, cabe ao engenheiro responsável o pleno conhecimento das propriedades e qualidade de cada material constituinte do concreto, sua proporção e técnica de preparo e uso.

2.2.1 Cimento

Para fins de estudo, o cimento pode ser considerado como qualquer material capaz de ligar os agregados, de maneira a formar um corpo sólido.

Contudo, o mesmo pode ser classificado em duas categorias:

a) Cimentos não hidráulicos:

São aqueles que possuem lenta solubilidade em água e são formados, em sua grande maioria, por gesso calcinado ou cal hidratada.

Contudo, uma vez que sua resistência mecânica é pouco elevada, os cimentos não hidráulicos possuem utilização limitada.

b) Cimentos hidráulicos:

São aqueles que formam produtos hidratados insolúveis em água. Este tipo de cimento é composto principalmente pela hidratação de silicatos ou aluminatos de cálcio reativados.

Modernamente, os cimentos de silicatos de cálcio são os mais utilizados na preparação do concreto e, usualmente, recebem a denominação de Cimento Portland, devido à uma península inglesa de mesmo nome, onde se encontram pedras de alvenaria de propriedades e coloração similares.

Segundo Eladio G. R. Petrucci (1993, p. 5), “o Cimento Portland é um material de caráter pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre.”

Já Enio Ribeiro (2015, p. 3) classifica o Cimento Portland como “[...] um pó fino com propriedades de aglomerante hidráulico aglutinante ou ligante, que endurece sob a ação da água”.

A origem desse tipo de cimento se dá pela pulverização de um produto intitulado clínquer, o qual é formado, de maneira essencial, por silicatos de cálcio acrescidos de sulfatos de cálcio e outros compostos. O processo de fabricação do mesmo inclui três etapas principais:

- Dosagem nas proporções adequadas e mistura, de forma seca ou com adição de água, dos materiais calcários e argilosos;
- Destinação da mistura a tratamento térmico em fornos rotativos, de temperaturas entre 1400°C a 1550°C, nos quais é formado o produto denominado clínquer;
- Moagem do clínquer com o acréscimo de uma quantidade de cerca de 4% a 6% de gesso.

Há ainda, a possibilidade de classificar os tipos de Cimento Portland, como descrito a seguir:

Tabela 1 - Designação normalizada, sigla e classe do Cimento Portland

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo		
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 ^c	RS ^a ou BC ^b —		
	Com adição	CP I-S				
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E				
	Com material carbonático	CP II-F				
	Com material pozolânico	CP II-Z				
Cimento Portland de alto-forno		CP III				
Cimento Portland pozolânico		CP IV				
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI ^d			
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 ^c			
	Não estrutural	CPB	—	—		

^a O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

^b O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

^c As classes 25, 32 e 40 representam os mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascals (MPa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.

^d Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPa, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

Fonte: ABNT (2018)

2.2.2 Agregados

Os agregados podem ser definidos como materiais de caráter granuloso e inerte, sem forma e volume definidos, compostos, em sua grade maioria, de grãos minerais e que devem apresentar propriedades adequadas para a sua utilização em obras de construção civil.

É de extrema importância que os grãos que compõem os agregados sejam compactos, estáveis, duráveis e limpos, não contendo substâncias que possam interferir na hidratação e endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade e o aspecto visual do concreto.

São fundamentais na confecção de concretos, tanto do ponto de vista econômico quanto do técnico, pois possuem influência direta sobre características essenciais do mesmo, sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos, uma vez que agregados de qualidade adequada possuem a resistência mecânica mais elevada do que a da pasta aglomerante.

Os agregados podem ser classificados levando em consideração a sua origem, uma vez que são identificados como naturais ou artificiais, ou mesmo divididos em leves, normais ou pesados, se considerada a massa específica aparente do material.

São denominados naturais aqueles já encontrados na natureza em forma de agregados, ou seja, com dimensões adequadas à utilização em obras de engenharia, sendo eles: areias, pedregulhos e seixos rolados. Já os artificiais são aqueles que necessitam da ação do homem para atingir tais dimensões, como é caso de areias e pedras resultantes da moagem de fragmentos maiores.

Existem também os agregados artificiais provenientes de tratamento industrial, como por exemplo: a escória britada e a argila expandida.

No entanto, resta ainda a classificação segundo o tamanho dos grãos, considerada a mais importante, a qual define os mesmos como agregados miúdos ou graúdos.

A NBR 7211:09, indica como agregado miúdo, aquele cujos os grãos são capazes de passar pela peneira com abertura de malha de 4,75mm, e agregado graúdo, aquele cujos os grãos são capazes de passar pela peneira de malha de 75mm, mas que, no entanto, ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm.

2.2.3 Água de amassamento

A água utilizada na confecção do concreto não deve conter, preferencialmente, resíduos de caráter industrial ou orgânico, podendo estes virem a prejudicar as reações entre ela e os elementos que compõe o cimento.

A presença de tais resíduos deve ser verificada, uma vez que, em muitos casos, podem ainda afetar o tempo de pega do concreto, sua resistência mecânica e a estabilidade de seu volume, bem como favorecer a aparição de eflorescências e corrosão de armaduras.

Conforme o quadro a seguir, as quantidades toleráveis de impurezas presentes na água de amassamento são:

Tabela 2 - Concentrações toleráveis de impurezas na água para concreto

carbonatos e bicarbonatos de sódio e potássio	1 000 ppm
íon de bicarbonatos de cálcio e magnésio	400 ppm
sulfato de sódio	10 000 ppm
cloreto de sódio	20 000 ppm
cloreto de cálcio.	2% do peso do cimento
sais de ferro	40 000 ppm

Fonte: Pfeil (1985)

2.3 DOSAGEM

A finalidade principal da dosagem do concreto é determinar as proporções dos elementos que o constituem, de maneira a atender às condições de plasticidade e posterior resistência adquirida pelo mesmo.

A composição do concreto em relação à proporção de cada item chama-se traço.

2.4 TRAÇO

De acordo com Petrucci (1993, p.114), “chama-se traço à maneira de exprimir a composição do concreto”. Desse modo, o traço pode ser representado em massa ou volume, sendo mais frequente, uma indicação mista, onde se apresenta o cimento em massa e os agregados em volume.

Portanto, nota-se que independente da indicação adotada, assume-se o cimento como unidade e condiciona-se a quantidade dos materiais restantes à quantidade de cimento.

2.5 CONCRETO DOSADO EM CENTRAL

Por meio de condições de fácil verificação, conclui-se que em grandes obras é de interesse a utilização da entrega de concreto pronto, ao invés do concreto produzido em obra. Nesse caso, utiliza-se concreto dosado em central, o qual é executado em usinas, também conhecidas como centrais de concreto.

A NBR 7212:12 define o concreto dosado em central como:

“Concreto dosado, misturado em equipamento estacionário ou em caminhão betoneira, transportado por caminhão betoneira ou outro tipo de equipamento, dotado ou não de agitação, para entrega antes do início de pega do concreto, em local e tempo determinados, para que se processem as operações subsequentes à entrega, necessárias à obtenção de um concreto endurecido com as propriedades pretendidas”. (ABNT, 2012, p. 07)

Nas centrais misturadoras, os elementos componentes do concreto são dosados e homogeneizados em misturadores para, após o processo, serem descarregados em veículos para seu transporte até a obra. Desse modo, os equipamentos envolvidos devem ser verificados periodicamente para garantir a eficiência necessária à mistura.

Já nas centrais dosadoras, os materiais que compõe o concreto são dosados e colocados nos caminhões-betoneira de maneira a misturar-se totalmente, sendo o equipamento de transporte do concreto dotado ou não de agitação. Para este tipo de central, a qualidade da mistura leva em consideração a estanqueidade da betoneira e a ausência de concreto em suas paredes, bem como os parâmetros expostos a seguir:

Tabela 3 - Parâmetros e limites para caminhões-betoneira de centrais dosadoras

Parâmetro	Limite
Altura das facas	≥ 280 mm
Espessura de chapas de aço (cilindro do balão e das facas)	≥ 2 mm
Velocidade de mistura da betoneira	(14± 2) rpm

Fonte: ABNT (2012)

Há ainda a possibilidade de realizar a mistura de maneira parcial na central, realizando-se a complementação em obra. Dessa maneira, os materiais componentes do concreto são postos no caminhão betoneira com parte da água de amassamento, que será complementada em obra antes da mistura final e descarga.

Quanto ao transporte, este deve ser realizado por um veículo que apresente estanqueidade adequada e paredes e fundo de material que não apresente absorção; dessa maneira, evitando perda de componentes. Os veículos podem ou não ser dotados de dispositivo de agitação.

Além disso, o tempo de transporte, compreendido entre a adição de água à mistura e a entrega do concreto, deve ser fixado de forma a garantir que a conclusão do adensamento não ocorra após o início da pega, sendo inferior a 90min no caso de caminhão betoneira, e inferior a 40min no caso de veículos não dotados de dispositivo de agitação.

2.6 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

Dentre as principais propriedades do concreto fresco destacam-se: a textura, consistência, trabalhabilidade, capacidade de retenção de água e integridade da massa. No entanto, muitas das propriedades citadas já podem ser incorporadas ao conceito de trabalhabilidade.

A trabalhabilidade é de difícil definição, já que possui valores relativos, dependentes de padrões fixados e está relacionada à qualidade dos componentes do concreto, bem como às condições de sua mistura, transporte e lançamento.

Porém, em resumo, pode-se dizer que a mesma é a propriedade do concreto fresco que indica seu grau de aptidão para a aplicação em determinada finalidade, de maneira a não ocorrer a perda de homogeneidade.

O método mais utilizado para a indicação da trabalhabilidade é o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco do cone, tendo como vantagem principal sua fácil execução. Tal ensaio consiste na medição do abatimento causado na massa de concreto pelo seu próprio peso.

2.7 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

Dentre as propriedades do concreto endurecido, destacam-se os seguintes itens: resistência aos esforços mecânicos, permeabilidade, absorção e deformações.

O concreto, ao endurecer, adquire boa resistência aos esforços mecânicos. Contudo, possui baixa resistência aos esforços relacionados à tração, sendo esta, cerca de um décimo da resistência à compressão.

Desse modo, nos ensaios de flexão é possível observar que os valores de resistência à tração obtidos representam o dobro das resistências alcançadas por tração simples. Além disso, o concreto apresenta baixa resistência ao cisalhamento, devido às tensões de distensão verificadas em planos inclinados.

Contudo, os principais fatores que afetam a resistência obtida são: a relação água cimento, a idade, a forma e graduação dos agregados, o tipo de cimento, a forma e dimensão dos corpos de prova, velocidade da carga aplicada no ensaio e duração da carga.

Em relação a permeabilidade e absorção, o concreto é um material necessariamente poroso, pois mesmo a pasta de cimento não consegue preencher totalmente os vazios entre os agregados. Assim, a interligação dos vazios torna o mesmo permeável à água.

Dessa maneira, é possível indicar a absorção como um processo físico de retenção de água em poros e condutos capilares e a permeabilidade, como a propriedade, pela qual observa-se a possibilidade da passagem de água pelo material.

Quanto às deformações, estas podem ser definidas como a causa da variação de volume do concreto, podendo ocorrer em razão das condições ambientes, como é o caso da retração, variação de umidade e variação de temperatura, ou mesmo devido a ações de cargas externas, originárias das deformações imediatas e deformações lentas.

Verifica-se a importância da ciência destas deformações, pois estas podem gerar fissurações, que por sua vez serão a via pela qual o material estará exposto a agentes exteriores agressivos, bem como o aparecimento de esforços adicionais em elementos com variação de dimensão.

2.8 PRODUÇÃO DO CONCRETO

A produção dos concretos compreende, de maneira geral, as seguintes etapas:

- Mistura;
- Transporte;
- Lançamento;
- Adensamento;
- Cura.

2.8.1 Mistura

O processo de contato entre os materiais que compõe o concreto é denominado mistura, que pode ser manual ou mecanizada. Esta tem como objetivo principal, a total cobertura das partículas de agregado pela pasta de cimento, gerando um produto homogêneo. Tal homogeneidade é de fundamental importância, pois falhas na mesma acabam por gerar um decréscimo considerável na resistência mecânica e durabilidade do concreto.

É importante que durante a mistura, seja obedecida a seguinte orientação:

“Os componentes do concreto, [...], devem ser misturados até formar uma massa homogênea. Esta operação pode ser executada na obra, na central de concreto ou em caminhão betoneira. O equipamento de mistura utilizado para este fim, bem como sua operação, deve atender às especificações do fabricante quanto à capacidade de carga, velocidade e tempo de mistura.” (ABNT, 2017, p. 15)

Na mistura manual, inicialmente acrescenta-se, sobre uma superfície plana, impermeável e resistente, o agregado miúdo ao cimento e, posteriormente, o agregado graúdo. Sucessivamente, forma-se com os materiais já combinados uma espécie de cratera, onde adiciona-se a água de amassamento, que é agregada até a obtenção do produto final. É importante ressaltar que este tipo de mistura pode ser aplicado apenas em elementos de importância reduzida.

Já na mistura mecânica, há a utilização de máquinas especializadas intituladas betoneiras, as quais constituem-se principalmente de uma cuba ou tambor, fixa ou móvel ao redor de um eixo central, que através de pás combinam os componentes do concreto, de maneira a gerar o produto final.

2.8.2 Transporte

O transporte do concreto deve ser efetuado de maneira agilizada e capaz de preservar a sua homogeneidade, evitando possíveis segregações do material. Tal transporte compreende as direções horizontais, verticais e oblíquas, podendo também ser classificado como contínuo e descontínuo.

Os transportes descontínuos se dão, muitas vezes pela utilização de equipamentos como carrinhos de mão, caçambas e vagonetes. Todavia, os principais meios de transporte contínuos são: as calhas, correias transportadoras e bombas.

2.8.3 Lançamentos

Uma vez misturado, não se aconselha que o concreto seja lançado em um intervalo maior do que uma hora ou após o início da pega; da mesma forma, também não é indicado que haja a remistura do concreto.

O concreto, logo que deixa a betoneira sofre a influência de forças internas e externas que tendem a resultar na segregação dos materiais que o compõe. Afim de manter a homogeneidade do concreto, devem ser tomadas precauções, tais quais:

- Efetuar o lançamento do concreto no ponto mais próximo possível de sua posição definitiva;
- Evitar a inclinação excessiva dos caminhos de lançamento;
- Preencher uniformemente as formas;
- Evitar quedas-livres de mais de 2 m;
- Utilizar na confecção do concreto, teores de argamassa e consistência adequados ao lançamento;
- Lançamento inicial de argamassa com composição semelhante a argamassa utilizada na confecção do concreto;
- Utilização de mecanismos de condução do concreto que minimizem a segregação.

2.8.4 Adensamento

O processo de adensamento do concreto envolve deslocar, por meio de esforços, seus componentes, de maneira a compactá-los, fazendo com que as partículas ocupem os espaços vazios e o ar seja desalojado do material.

O adensamento pode ser manual, por meio de socamento ou apiloamento, ou mecânico, utilizando-se de aparelhos que geram vibrações ou centrifugação.

2.8.5 Cura

Chama-se cura, o conjunto de medidas tomadas para garantir que não haja a evaporação prematura da água necessária ao processo de hidratação do cimento, uma vez que esta possui grande influência sobre a pega e endurecimento do concreto.

Segundo a NBR 14931:04, enquanto o concreto não atingir o endurecimento satisfatório, este deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais, de maneira a garantir que não haja a perda de água na superfície exposta, bem como gerar uma superfície de resistência adequada e durável.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 MÉTODOS

Com o intuito de elaborar o comparativo entre os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial, foram moldados corpos de prova em diferentes formatos, sendo quatro unidades cúbicas e quatro cilíndricas.

A moldagem foi realizada em laboratório, na Universidade de Taubaté (UNITAU); a mesma concedeu as formas necessárias, bem como auxiliou na realização dos ensaios cabíveis e apresentação dos resultados que constam na elaboração do comparativo já citado.

Nos corpos de prova foi utilizado concreto de 25MPa, produzido in loco.

As etapas que se seguiram desde a produção do concreto até a realização dos ensaios estão listadas a seguir:

- Separação e pesagem dos elementos componentes do concreto;
- Mistura em betoneira dos elementos devidamente dosados;
- Realização do Slump Test, ou seja, determinação da consistência do concreto através do ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme a NBR NM 67:98;
- Coleta de amostra de concreto para execução da moldagem de corpos de prova, conforme NBR NM 33:98;

- Preparação e verificação de conformidade dos corpos de prova cilíndricos e cúbicos, conforme a NBR 5738:15 e NP EN 12390-1:03;
- Moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos e cúbicos, segundo a NBR 5738:15 e NP EN 12390-2:09;
- Realização de Ensaio de resistência à compressão conforme NBR5739:07 e NP EN 12390-3:09.

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

O concreto empregado neste estudo foi confeccionado com os materiais indicados a seguir:

- Cimento Portland CP III 40 RS.
- Agregado Graúdo: Brita Nº 01.
- Agregado Miúdo: Areia natural.
- Água para amassamento.

Obs.: Não houve a adição de aditivos ao concreto.

3.3 TRAÇO DO CONCRETO

O concreto empregado foi dosado in loco, a partir do traço indicado abaixo:

Figura 3 - Traços unitários de concreto

1 : 1,75 : 2,39 : 0,47

Fonte: Do autor.

3.4 SLUMP TEST

O ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone, conhecido como Slump Test, é utilizado como um indicador da trabalhabilidade do concreto. De fácil execução, este baseia-se na medição da deformação causada na massa pelo seu próprio peso.

O aparelho empregado consiste em um molde metálico de formato semelhante à um tronco de cone oco de espessura mínima de 1,5mm e interior liso livre de protuberâncias. Segundo a NBR NM 67:98, o mesmo deve possuir as seguintes dimensões:

- a) Diâmetro da base inferior: $200\text{mm} \pm 2\text{mm}$;
- b) Diâmetro da base superior: $100\text{mm} \pm 2\text{mm}$;
- c) Altura: $300\text{mm} \pm 2\text{mm}$.

O procedimento de realização do ensaio consiste nas etapas indicadas a seguir:

- Umedecimento do molde e de uma placa metálica de base quadrada, de lado igual ou superior 500mm e espessura mínima de 3mm;
- Posicionamento da placa sobre uma superfície regular e, conseqüentemente, do molde sobre ela;
- Preenchimento do molde em três camadas de mesma altura, junto à compactação das mesmas aplicando-se 25 golpes em cada com uma haste metálica de seção circular de diâmetro 16mm, comprimento 600mm e extremidades arredondadas;
- Nivelamento da superfície do concreto utilizando-se de desempenadeira;
- Elevação do molde em movimento constante de duração de 5 a 10s;
- Medição do abatimento do concreto através da diferença entre a altura do molde e o eixo da superfície do concreto.

Abaixo, observa-se a medição do abatimento do tronco de cone do ensaio realizado para o concreto utilizado na moldagem dos corpos de prova do presente

estudo. Dessa forma, uma vez que o abatimento deveria se encontrar entre $10 \pm 2\text{cm}$, o resultado apresentado está em conformidade com o esperado.

Figura 4 - Medição do abatimento do tronco de cone



Fonte: Do autor.

3.5 AMOSTRAGEM DO CONCRETO FRESCO

O concreto tem sua resistência determinada através de ensaios que utilizam corpos de prova que reproduzem suas propriedades. No entanto, para que estes realmente representem o concreto em estudo, o recolhimento do material deve seguir regras pré-definidas. A NBR NM 33:98 define o procedimento para a coleta e preparação das amostras.

Desse modo, é definido que o volume da amostra de concreto deve ser de pelo menos 1,5 vezes maior do que a quantidade necessária a realização do ensaio, sendo seu transporte efetuado através de recipiente de material não absorvente, metálico e de dimensões que favoreçam sua homogeneidade.

Assim que coleta, a amostra deverá ser transportada até o local de moldagem dos corpos de prova, onde deve ser misturada e uniformizada com o auxílio de concha metálica ou pá, não sendo aconselhável ultrapassar o tempo máximo de 15min no processo.

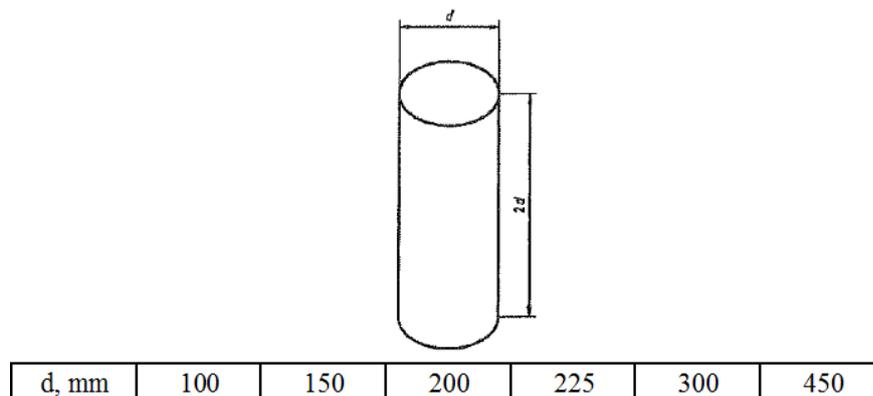
3.6 MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA

A moldagem dos corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão axial do concreto foi realizada em dois tipos de forma: cúbica e cilíndrica.

3.6.1 Corpos de Prova Cilíndricos

Conforme a NBR 5738:15, os corpos de prova cilíndricos devem possuir altura equivalente ao dobro do diâmetro, devendo este ser de 10cm, 15cm, 20 cm, 25cm, 30cm ou 45cm, como indicado na seguinte imagem:

Figura 5 - Dimensões para corpo de prova cilíndrico



Fonte: Do autor.

Também é indicado que a dimensão básica destes corpos de prova seja no mínimo três vezes maior do que a dimensão máxima do agregado graúdo.

Quanto ao molde, o mesmo deve confeccionado em aço ou outro material não reagente com o Cimento Portland e resistente a deformações. Além disso, este deve possuir abertura superior e base inferior rígida e plana.

Anteriormente ao início do processo de moldagem dos corpos de prova, deve-se aplicar ao conjunto do molde e sua base algum tipo de lubrificante que não reaja com o cimento, afim de facilitar a desforma. Assim, uma vez que este passo tenha sido realizado, dá-se início ao preenchimento com concreto através da utilização uma concha de seção U e obedecendo o número de camadas e golpes para adensamento determinados pela tabela abaixo:

Tabela 4 - Número de camadas para moldagem dos corpos de prova

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 ^b	3	-	-

^b Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta Tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

^c No caso de dimensão básica de 450mm, somente é permitido adensamento mecânico.

Fonte: ABNT (2015)

Definido o número de camadas, as mesmas deverão ser depositadas em volume semelhante e adensadas, no caso manual, a partir da aplicação de golpes com haste de aço de formato cilíndrico e superfície lisa, que apresente cerca de 16mm de diâmetro, comprimento de 600mm a 800mm e extremos de forma esférica.

O adensamento mecânico pode ser efetuado através de vibradores de imersão, os quais possuem eixo rígido ou flexível e frequência de vibração igual ou superior a 100Hz; ou vibradores externos do tipo de compartimento fechado, sendo estes de frequência de vibração superior a 50Hz.

O tipo de adensamento é definido a partir das classes de consistência, como descrito a seguir:

Tabela 5 - Classes de consistência

Classe	Abatimento mm	Método de adensamento
S10	$10 \leq A < 50$	Mecânico
S50	$50 \leq A < 100$	Mecânico ou manual
S100	$100 \leq A < 160$	
S160	$160 \leq A < 220$	Manual
S220	$A \geq 220$	

Fonte: ABNT (2015)

Para o presente estudo foram utilizados moldes para corpos de prova cilíndricos de 100mm de diâmetro e 200mm de altura. Portanto, os mesmos foram confeccionados em duas camadas, sendo seu adensamento manual através da aplicação de 12 golpes em cada camada.

O processo de moldagem dos corpos de prova cilíndricos pode ser observado nas seguintes fotos:

Figura 6 - Moldagem dos corpos de prova cilíndricos



Fonte: Do autor.

Figura 7 – Nivelamento dos corpos de prova cilíndricos



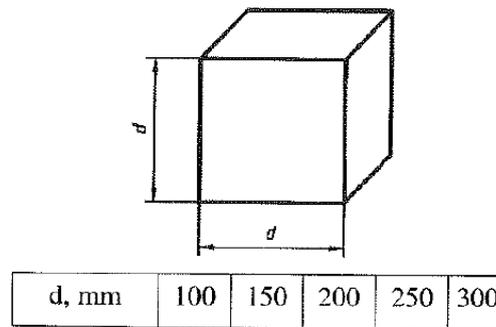
Fonte: Do autor.

3.6.2 Corpos de Prova Cúbicos

No Brasil, os corpos de prova cúbicos não são altamente utilizados nos ensaios de compressão e, dessa forma, não há norma específica para a confecção dos mesmos. No entanto, este modelo é o principal a ser utilizado em locais como Portugal e o restante dos países europeus, por acreditar-se que o mesmo se aproxima mais dos valores reais de resistência do concreto.

Segundo às normas portuguesas NP EN 12390-1:03 e NP EN 12390-2:09, definem-se as condições de moldagem e rompimento de corpos de prova cúbicos, os quais podem apresentar as seguintes dimensões:

Figura 8 - Dimensões para corpo de prova cúbico



Fonte: CEN (2003)

É desejável que os moldes utilizados sejam estanques, não absorventes, resistentes a deformações e que sejam fabricados em aço ou ferro fundido. Caso fabricados em outros materiais, deve-se apresentar resultados de ensaios de desempenho que comprovem características semelhantes aos materiais já citados.

Antes do preenchimento dos moldes, suas faces interiores devem ser cobertas com uma camada fina de material desmoldante para evitar a aderência do concreto. A partir da consistência do concreto e do método de compactação a ser utilizado, define-se se a moldagem será realizada em duas ou mais camadas.

Após ser depositado no molde, o concreto deve ser compactado imediatamente, podendo ser utilizada a vibração mecânica ou manual.

Quanto a vibração mecânica, é indicado o uso de vibrador agulha de frequência mínima de 120Hz ou mesa vibradora de frequência mínima de 40Hz, sendo ambos utilizados durante o tempo mínimo necessário para a compactação completa.

Já no caso da vibração manual, permite-se a utilização de haste de compactação produzida em aço e que apresente diâmetro de 16mm, comprimento aproximado de 600mm e extremidades arredondadas; ou mesmo, uma barra de compactação retilínea, também em aço e que possua seção transversal quadrada de lado de 25mm e 380mm de comprimento. Neste tipo de vibração, aplica-se um número mínimo de 25 golpes distribuídos por camada.

Para o presente estudo foram utilizados moldes para corpos de prova cúbicos de lado de 150mm, sendo os mesmos confeccionados em duas camadas e

utilizando-se do adensamento manual através da aplicação de 25 golpes em cada camada.

O processo de moldagem dos corpos de prova cúbicos pode ser observado nas seguintes fotos:

Figura 9 - Moldagem de corpos de prova cúbicos



Fonte: Do autor.

Figura 10 – Nivelamento dos corpos de prova cúbicos



Fonte: Do autor.

Figura 11 – Corpos de prova cilíndrico e cúbicos moldados



Fonte: Do autor.

3.7 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

3.7.1 Máquina de Ensaio

O ensaio à compressão axial deve ser realizado através de uma máquina equipada com dois pratos de pressão confeccionados em aço. Sendo esta de classe 1, para laboratórios especializados, e Classe 2, para laboratórios em obras ou centrais de concreto.

A máquina deve possibilitar efetuar-se o ajuste da distância entre os pratos de pressão antes do ensaio, fazendo com que esta supere a altura do corpo de prova em pelo menos 15mm, de forma a facilitar o posicionamento e alinhamento do eixo do mesmo com o da máquina. Por esse motivo, o prato inferior possui círculos concêntricos que auxiliam a centralização do corpo de prova.

Sobre o prato inferior, permite-se a utilização de calços metálicos para auxiliar o ajuste da altura dos corpos de prova.

Já para o prato superior, solicita-se que este seja provido de articulação tipo rótula esférica, cujas superfícies de assentamento esférico estejam limpas e

lubrificadas, garantindo que, após a aplicação de uma pequena força inicial de acomodação, o prato não se movimente em nenhum sentido durante o ensaio.

Quanto ao funcionamento da máquina, esta deve permitir o controle e aplicação da força sobre o corpo de prova, bem como possuir um sistema de medição, podendo ser analógico ou digital, que indique força máxima atingida após a realização do ensaio. É importante ressaltar que a resolução da escala deve atender à especificação para a classe da máquina utilizada.

O acionamento da máquina pode ser realizado por meio de fonte estável de energia ou, apenas no caso das máquinas de classe 2, por acionamento manual.

3.7.2 Execução do Ensaio

Os corpos de prova são rompidos através da aplicação da força de compressão nas idades especificadas, contadas a partir da hora de moldagem, e com as tolerâncias de tempo indicadas na tabela abaixo:

Tabela 6 - Tolerância para a idade de ensaio de corpos de prova cilíndricos

Idade de ensaio	Tolerância permitida h
24 h	0,5
3 d	2
7 d	6
28 d	24
63 d	36
91 d	48
NOTA Para outras idades de ensaio, a tolerância deve ser obtida por interpolação.	

Fonte: ABNT (2007)

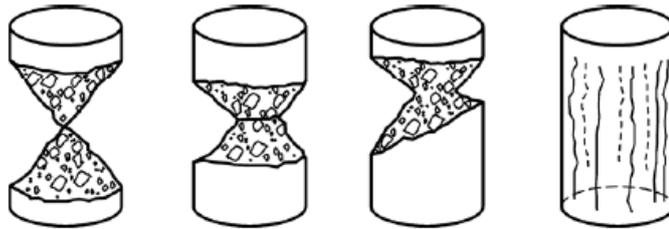
Uma vez que as faces dos pratos de pressão e do corpo de prova estejam limpas e secas, o corpo de prova deve ser posicionado de modo centralizado no prato inferior, com a ajuda de seus círculos concêntricos de referência.

Para a realização do ensaio, o carregamento necessita de aplicação contínua e sem choques, possuindo a velocidade de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s durante todo

o processo. Desse modo, o carregamento apenas é interrompido quando há a indicação de uma queda de força que represente a ruptura.

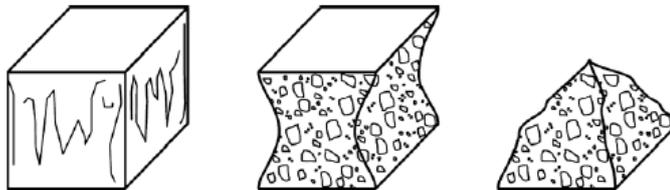
A seguir observa-se as rupturas satisfatórias para cada formato de corpo de prova:

Figura 12 - Rupturas satisfatórias para corpos de prova cilíndricos



Fonte: CEN (2009)

Figura 13 - Rupturas satisfatórias para corpos de prova cúbicos



Fonte: CEN (2009)

A realização dos ensaios de resistências à compressão axial pode ser observada nas seguintes imagens:

Figura 14 - Máquina de ensaio de resistência à compressão axial



Fonte: Do autor.

Figura 15 - Rompimento de corpo de prova cilíndrico



Fonte: Do autor.

Figura 3 - Rompimento de corpo de prova cúbico



Fonte: Do autor.

3.7.3 Cálculo da Resistência

A resistência à compressão, em corpos de prova cilíndricos, é calculada pela seguinte expressão:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2}$$

Onde:

- f_c é a resistência à compressão, em megapascals (MPa);
- F é a força máxima alcançada, em newtons (N);
- D é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros (mm).

Já resistência à compressão, em corpos de prova cúbicos, é calculada pela expressão abaixo:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

Onde:

- f_c é a resistência à compressão, em megapascals (MPa);
- F é a força máxima alcançada, em newtons (N);
- A_c é a área da seção transversal do corpo de prova, em milímetros quadrados (mm²).

4. RESULTADOS

Foram realizados ensaios de resistência à compressão axial utilizando corpos de prova cúbicos e cilíndricos nas idades de 7 e 28 dias.

A data e horário da moldagem dos corpos de prova, as datas dos rompimentos, a medição do Slump e os resultados obtidos nos ensaios, podem ser observados na tabela a seguir:

Tabela 7 - Resultados dos ensaios de compressão axial do concreto

Data da Moldagem:	04/09/2019
Slump (mm) :	850

Nº	Formato	Data do Rompimento	Leitura (Ton)	Área da Seção (cm ²)	Resistência (MPa)		
					7 Dias	14 Dias	28 Dias
1	Cilíndrico	11/09/2019	11,37	78,540	14,477	-	-
5	Cúbico	11/09/2019	37,99	225,000	16,884	-	-
2	Cilíndrico	18/09/2019	15,93	78,540	-	20,283	-
6	Cúbico	18/09/2019	51,57	225,000	-	22,920	-
3	Cilíndrico	02/10/2019	23,17	78,540	-	-	29,501
4	Cilíndrico	02/10/2019	20,78	78,540	-	-	26,458
7	Cúbico	02/10/2019	70,62	225,000	-	-	31,387
8	Cúbico	02/10/2019	67,95	225,000	-	-	30,200
Diferença Média					2,408	2,637	2,115

Fonte: Do autor.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que a resistência à compressão do concreto é sua propriedade de maior importância e, portanto, deve-se buscar meios cada vez mais apurados de determiná-la. Desse modo, foi possível observar através deste trabalho que para um mesmo concreto, os resultados dos ensaios tendem a diferenciar-se quando utilizados diferentes formatos de corpos de prova.

Os corpos de prova cúbicos são utilizados principalmente nos países europeus, sendo que no Brasil o modelo principal adotado é o corpo de prova cilíndrico.

Do mesmo modo, observou-se que a média das resistências obtidas nos corpos de prova cúbicos foi superior às encontradas nos cilindros. Tal fato, se deve à uma maior influência do atrito entre os pratos de compressão e o cubo, devido à menor relação entre a altura de aresta e o diâmetro equivalente à superfície de um dos lados. Portanto, quanto menor esta relação, maior será o valor de resistência à compressão.

6.0 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para a moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especialização.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212: Execução de concretos dosado em central – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2012.

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 15900-1: Água para amassamento do concreto: Parte 1.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 33: Concreto - amostragem de concreto fresco.** Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

COMITÊ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **NP EN 12390-1: Ensaio do betão endurecido: Parte 1: Forma, dimensões e outros requisitos para ensaios de concreto e moldes.** Bruxelas, 2003.

COMITÊ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **NP EN 12390-2: Ensaio do betão endurecido: Parte 2: Execução e cura de corpos de prova para ensaio de resistência mecânica.** Bruxelas, 2009.

COMITÊ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **NP EN 12390-3: Ensaio do betão endurecido: Parte 3: Resistência à compressão de provetes.** Bruxelas, 2009.

HAMASSAKI, L. T. SANTOS, R. F. C. **Corpos de prova**. Disponível em:

<file:///C:/Users/Usuario/Downloads/986Noticias_da_Construcao_SindusCon_Novembro_de_2013%20(1).pdf> Acesso em 7 de novembro de 2018.

HELENE, P. ANRADE, T. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia dos materiais**. 3ª Edição. São Paulo: IBRACON, 2017.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 12ª Edição. São Paulo: Globo, 1993.

PFEIL, W. **Concreto armado**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1985.

RIBEIRO JR, E. **Propriedades dos materiais constituintes do concreto**. Disponível em:

<<https://pt.scribd.com/document/310403171/Enio-Ribeiro-Junior-1615287>> Acesso em 24 de outubro de 2018.