



**FACULDADE UNIRB BARREIRAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

ADRIANO SILVA TELES

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO RESULTADO DA
COMPRESSÃO DE CORPO DE PROVA DE CONCRETO**

**BARREIRAS – BA
2023**

ADRIANO SILVA TELES

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO RESULTADO DA
COMPRESSÃO DE CORPO DE PROVA DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Civil,
Faculdade UNIRB de Barreiras, como requisito para obtenção do
grau de Bacharel.

Professor de TCC II:

Professor Orientador: Emerson Patrick Oliveira de Araújo.

Barreiras – BA
2023

FACULDADE UNIRB BARREIRAS

Teles, Adriano Silva

Análise do comportamento mecânico resultado da compressão de
corpo de prova de concreto / Adriano Silva Teles. – Barreiras- Ba, 2023.
60f.

Monografia (graduação) do Curso de Engenharia Civil –
Faculdade UNIRB Barreiras.

Orientador (a): Prof (a): Emerson Patrick Oliveira de Araújo.

1. Comportamento mecânico. 2. Compressão. 3. Corpo de
prova de concreto. I. Título.

CDD 624

ADRIANO SILVA TELES

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO RESULTADO DA COMPRESSÃO
DE CORPO DE PROVA DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade Unirb Barreiras.

Aprovado em 23 de janeiro de 2024.

Banca Examinadora

Thays Cristina Lima

Professora Thays Cristina Lima

Engenheira Agrônoma Especialista Agronegócio Mestranda Ciências Ambientais e Professora da UNIRB Barreiras

Luciene Souza Pinto

Professora Luciene Souza Pinto

Nutricionista Especialista Vigilância Sanitária e Qualidade de Alimentos
UNIRB Barreiras

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha eterna gratidão a todos que desempenharam um papel muito importante até a conclusão do curso. Em primeiro lugar agradeço a Deus, pois ele foi essencial em todas minhas conquistas e superações.

A minha esposa, Priscila Torres, quero expressar minha eterna gratidão. Ela tem sido muito fundamental, oferecendo amor, compreensão e motivação nos momentos mais difíceis, além disso teve um papel significativo ao longo do meu curso.

Aos meus pais João e Ivanete que estiveram ao meu lado durante todo o processo, sua compreensão, incentivo e encorajamento foram verdadeiros pilares de apoio.

Quero expressar minha sincera gratidão à minha sogra Odeth Torres, por seu apoio.

Quero expressar minha gratidão aos meus amigos, por vários momentos apoiando.

A Engtech, minha profunda gratidão por sua colaboração fundamental neste trabalho, a generosidade da empresa ao conceder a oportunidade de engatilhar meus primeiros passos e adquirindo cada vez mais conhecimento dentro do ramo da engenharia.

A todos os colegas de trabalho e da faculdade que contribuíram com ideias, apoio e colaboração ao longo deste trabalho, quero expressar minha mais profunda gratidão.

Agradeço a Faculdade Unirb por ter sido uma fonte constante de inspiração e motivação, e estou orgulhoso por ter sido parte dessa comunidade acadêmica. Minha experiência aqui tem sido enriquecedora e valiosa, e levarei as lições aprendidas para o próximo capítulo da minha jornada.

A todos os professores que generosamente compartilharam seus conhecimentos e dedicaram seu tempo e esforço à minha formação acadêmica, expressei minha mais profunda gratidão.

Por fim, desejo expressar minha gratidão a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação acadêmica.

Muito obrigado!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Equipamentos utilizados e passo a passo no ensaio de abatimento do concreto	15
Figura 2	Tipos de ruptura dos corpos de prova	20
Figura 3	Registro fotográfico da obra	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Descrição metodológica dos estudos incluídos na Discussão

43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/C – Relação Água / Cimento.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ASTM – *American Society for Testing and Materials*.

CAA – Classe de Agressividade Ambiental.

CP – Cimento Portland.

FCJ – Resistência de Dosagem.

FCK – *Feature Compress Know* (Resistência Característica do Concreto à Pressão).

MPa – Mega Pascal.

NBR – Norma Brasileira.

NRMCA - *National Ready Mixed Concrete Association*.

PVC - *Polyvinyl Chloride* (Policloreto de Vinil).

TELES, Adriano Silva. **Análise do comportamento mecânico resultado da compressão de corpo de prova de concreto.** 2023. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). Faculdade Unirb Barreiras, 2023. 60p.

RESUMO

A presente pesquisa aborda o estudo do comportamento mecânico do concreto quando submetido a forças de compressão. O concreto é um material amplamente utilizado na construção civil devido às suas propriedades mecânicas, e compreender o seu desempenho sob carga é fundamental para garantir a segurança e durabilidade das estruturas. O objetivo deste estudo foi avaliar o controle tecnológico na qualidade do concreto lançado em obra, analisando os resultados obtidos a partir da compressão de corpos de prova de concreto em laboratório. Os corpos de prova são amostras padronizadas de concreto que são submetidas a cargas de compressão até a sua ruptura. Esses testes permitem avaliar a resistência e o comportamento do concreto sob diferentes condições. Trata-se de uma pesquisa quali-quantitativa de cunho descritivo, complementada com um experimento que envolveu a fabricação dos corpos de prova de acordo com as NBR específicas, sendo realizados os ensaios de compressão em uma máquina de testes. Os resultados permitiram concluir que, atendendo o que prescrevem as normas brasileiras específicas para a construção civil, ocorreu a verificação da propriedade de resistência à compressão do concreto, a partir do correlacionamento entre ensaio de moldagem do corpo de prova, extração de testemunhos e esclerometria, avaliando-se o controle tecnológico da qualidade do concreto lançado em obra, fundamental para o sucesso da obra. Assim, conclui-se que o presente estudo alcançou seus objetivos previamente estabelecidos, respondendo ao problema inicialmente formulado e que norteou esta pesquisa.

Palavras-chave: Comportamento mecânico. Compressão. Corpo de prova de concreto.

TELES, Adriano Silva. **Análise do comportamento mecânico resultado da compressão de corpo de prova de concreto.** 2023. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). Faculdade Unirb Barreiras, 2023. 60p.

ABSTRACT

This research addresses the study of the mechanical behavior of concrete when subjected to compression forces. Concrete is a material widely used in civil construction due to its mechanical properties, and understanding its performance under load is essential to guarantee the safety and durability of structures. The objective of this study was to evaluate technological control over the quality of concrete placed on site, analyzing the results obtained from the compression of concrete specimens in the laboratory. Test specimens are standardized concrete samples that are subjected to compression loads until they rupture. These tests make it possible to evaluate the strength and behavior of concrete under different conditions. This is a qualitative and quantitative research of a descriptive nature, complemented with an experiment that involved the manufacture of test specimens in accordance with specific NBR, with compression tests being carried out on a testing machine. The results allowed us to conclude that, in compliance with specific Brazilian standards for civil construction, the concrete's compressive strength property was verified, based on the correlation between the specimen molding test, core extraction and sclerometry, evaluating the technological control of the quality of concrete placed on site, which is fundamental to the success of the project. Thus, it is concluded that the present study achieved its previously established objectives, responding to the problem initially formulated and which guided this research.

Keywords: Mechanical behavior. Compression. Concrete test body.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1 TESTE DE ABATIMENTO DE CONE DE CONCRETO	14
2.2 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CONCRETO.....	15
2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	16
2.4 COMPRESSÃO DOS CORPOS-DE-PROVA	20
2.4.1 Agregado	21
2.4.2 Água de amassamento	22
2.4.3 Aditivos.....	22
2.5 TRABALHABILIDADE DO CONCRETO	24
2.5.1 A cura	26
2.5.2 O tempo	26
2.5.3 A umidade	27
2.5.4 A temperatura.....	28
2.6 PARÂMETROS DE ENSAIO	29
2.6.1 Parâmetros dos corpos-de-prova	29
2.6.1.1 Geometria	29
2.6.1.2 Tamanho	30
2.6.1.3 Tipo de molde.....	31
2.6.1.4 Cura e condições de umidade	32
2.6.1.5 Preparação dos topos	33
2.6.2 Condições de carregamento.....	36
2.7 CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO.....	37
2.7.1 Resistência característica e resistência de dosagem	38
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO	40
3.2 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO.....	40
3.3 PROCEDIMENTO DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS	40
3.4 ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE	41
3.5 TESTE DE RESISTÊNCIA	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um material amplamente utilizado na engenharia para construção de diversos tipos de estrutura, chegando a 90% das construções brasileiras. Sua popularidade se deve, basicamente, a dois fatores principais: elevada resistência a compressão apresentada em seu estado sólido e a possibilidade de moldar elementos das mais variadas formas quando em seu estado fresco (Troxell; Davis; Kelly, 1968; Wang *et al.*, 2017).

O concreto armado, como se tornou conhecido, representou um grande avanço na construção civil, possibilitando a concepção de estruturas com vãos cada vez maiores e seções reduzidas em seus elementos estruturais.

A principal deficiência do concreto é sua baixa resistência a tração, podendo ser contornada com a utilização de armaduras passivas devidamente posicionadas para resistir às solicitações normais e tangenciais de tração que surgem nas seções dos diferentes tipos de elementos estruturais (Trevisol, 2017).

As principais patologias nas estruturas de concreto que afetam sua durabilidade podem ser evitadas garantindo que sejam respeitados o cobrimento mínimo das armaduras, conforme preconiza a NBR 6118:2014 em seu item 6, de acordo com a Classe de Agressividade Ambiental (CAA); o consumo mínimo de cimento e relação água / cimento (a/c) e máximo, conforme item 7.4; e controle da fissuração dentro dos limites do Estado Limite de Serviço – ELS, item 11.7.2. Percebe-se, portanto, que a durabilidade das estruturas também se relaciona com a tecnologia do concreto (ABNT, 2014).

Pelo exposto, confirma-se a necessidade de se ter maior controle tecnológico na qualidade do concreto lançado em obra, sendo realizados os ensaios de abatimento (*slump test*), conforme NBR NM 67:1998 e verificação da resistência a compressão axial, NBR 5739:2007. O *Slump Test* é um parâmetro que influencia no adensamento do concreto, ou seja, quanto mais fluido, mais fácil de adensar (ABNT, 1998; 2007).

Outros fatores merecem atenção, como a inclinação da superfície construída, por exemplo, lajes inclinadas, cuscuz de sapatas e escadas, o que exige *slump* mais baixos.

Enquanto elementos construtivos com muitas armaduras necessitam de maior trabalhabilidade, e quanto mais fluido o *slump* maior será a pressão exercida nos painéis laterais de vigas e pilares. Apesar da resistência a compressão não ser a única característica mecânica do concreto considerada no dimensionamento e verificação da estrutura, na prática, é o único parâmetro em seu estado endurecido que é confirmado através de ensaios.

O concreto é um dos materiais de construção mais usados em obras, e por isso é de grande interesse garantir segurança e durabilidade àquela edificação. Uma das maneiras de alcançar maiores níveis de segurança é estimando a resistência ao romper corpos de prova após uma cura de 28 dias. Ao fim da quebra, o corpo de prova deve apresentar a resistência indicada no projeto estrutural (Yazigi, 2021).

Em grandes obras o concreto é comprado nas concreteiras, onde a entrega é feita na obra no dia e horário agendados. Porém desde o momento que o concreto é preparado, transportado por caminhão-betoneira até a obra e sua aplicação, há alguns fatores que podem alterar sua qualidade. Dentre esses fatores, citam-se aqueles que envolvem o atraso do caminhão, mudanças climáticas, seja chuva em excesso ou temperaturas muito elevadas, ou ainda na adição exagerada de água (Mascolo, 2012). Ressalta-se, também, que a ordem e mistura dos agregados durante o transporte é essencial e indispensável para alcançar um produto resistente e com trabalhabilidade (Agulló *et al*, 1999; Araújo *et al.*, 2000).

As técnicas de avaliação envolvem método destrutivos e não-destrutivos, ensaios laboratoriais e ensaios *in loco*. Neste trabalho serão utilizados dois métodos, o teste *slump* e rompimento de corpo de prova (Rincón *et al*, 1997; Vieira Filho, 2007).

O ensaio de abatimento de cone de concreto, *slump test*, é muito utilizado pela sua facilidade de execução em concretos frescos como um parâmetro de qualidade e controle tecnológico. É um ensaio feito *in situ*, que auxilia no conhecimento do estado do concreto quanto trabalhabilidade, em que é adicionado água ou não (Bartos *et al.* 2002; Geyer, 2006; Castro, 2019).

A partir deste contexto, surge o seguinte problema: como os ensaios de moldagem de corpos de prova, extração de testemunhos, esclerometria e ultrassom podem ser correlacionados, visando a verificação da propriedade de resistência à compressão do concreto? É necessário que haja uma maior investigação para se estimar a resistência, vida útil, durabilidade e qualidade do concreto utilizado em elementos estruturais.

Em vista destes aspectos, o atual trabalho teve como objetivo fundamental avaliar, categorizar e elucidar informações acerca do controle tecnológico da qualidade e desempenho do concreto, visando a durabilidade e aumento da vida útil da edificação. Além da revisão bibliográfica para construção do referencial teórico e discussão, esta pesquisa restringiu-se à execução do ensaio de abatimento de cone, elaboração de corpos-de-prova de dimensão normatizada de concreto, e avaliação da resistência à compressão, aos 28 dias de idade.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TESTE DE ABATIMENTO DE CONE DE CONCRETO

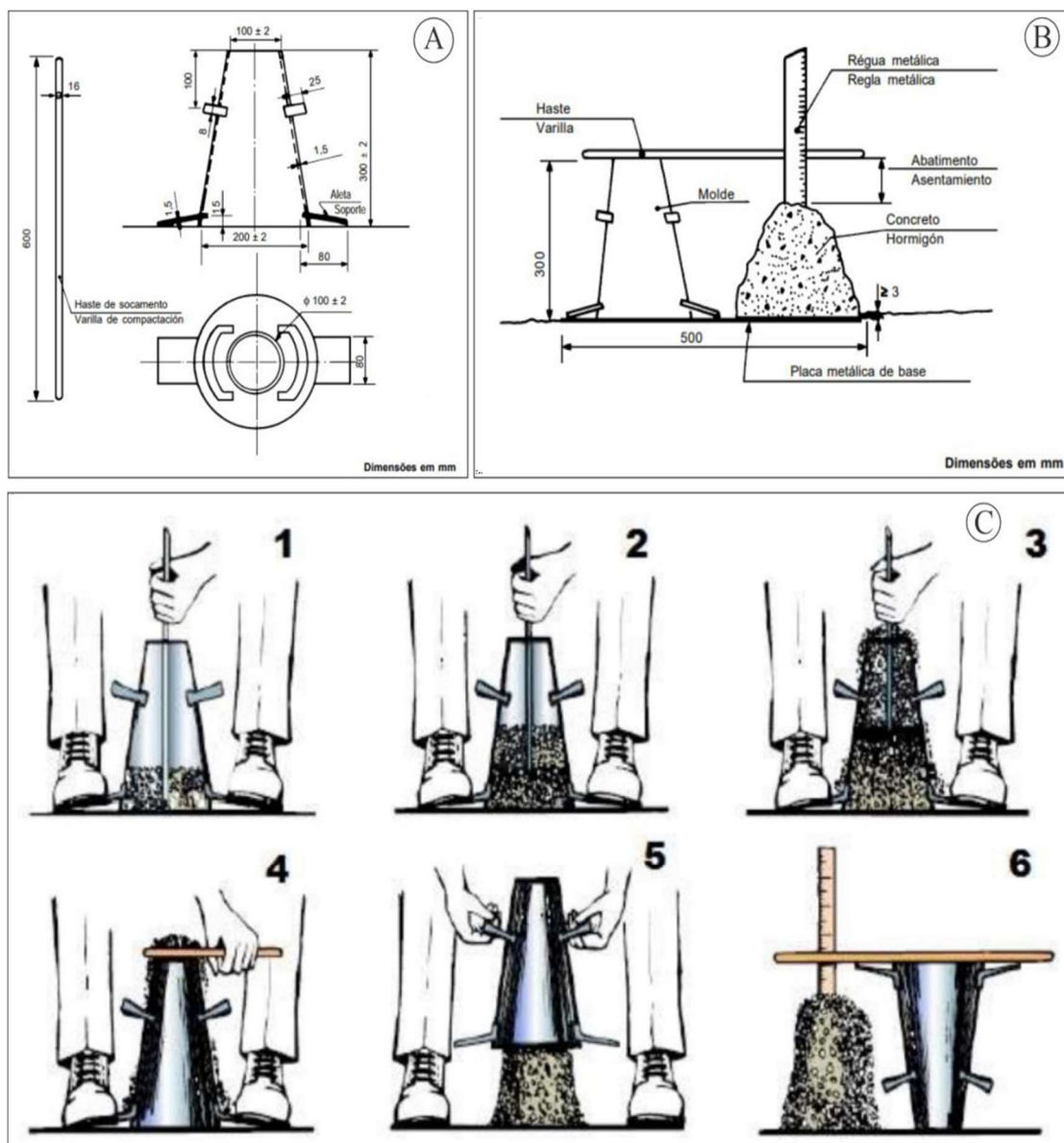
O *slump test* ou teste de abatimento de cone de concreto, é regulamento no Brasil pela NBR NM 67 (ABNT, 1998), que define os parâmetros de execução do ensaio e sua padronização, para obtenção da medida qualitativa, o abatimento. Criado por Murata (1984), o ensaio foi adaptado por Christensen (1991) para ser usado para monitorar a consistência do concreto não endurecido.

O *slump test* é um dos ensaios que são necessários quando o assunto é assegurar a qualidade do concreto. Atualmente existem diversos ensaios com essa finalidade, e esses ensaios são fundamentais para constatar a conformidade do material com as especificações. Caso o controle de qualidade do concreto utilizado em uma determinada obra não seja realizado, ou realizado de maneira errônea, a integridade estrutural da edificação não pode ser garantida.

No caso do *slump test* o que se busca avaliar é a consistência do concreto. Importante lembrar que essa propriedade é o principal fator que interfere no grau de trabalhabilidade do concreto. A consistência do concreto é empregada pra relacionar a mobilidade da massa e a coesão dos materiais constituintes, basicamente a consistência está ligada a associação do teor de água com os materiais secos (Schneider, 2020).

A Figura 1 apresenta ilustrativamente o equipamento e o passo-a-passo de cada etapa do slump test.

Figura 1 Equipamento utilizado no ensaio de abatimento do concreto, conforme dimensões da NBR-NM 67 modelo padrão do: A – Cone metálico aberto em ambas extremidades (altura de 300 mm, diâmetro inferior de 200 mm e diâmetro superior de 100 mm) e haste metálica (altura de 600 mm, diâmetro de 16 mm e extremidades arredondadas); B – Medição do abatimento, a placa metálica tem dimensão não inferior a 500 mm x 500 mm.



Fonte: Figuras A e B – ABNT (1998); figura C: Disponível em: <<http://engenheirosunidos.com.br/ensaio-de-abatimento-do-concreto-slump-teste/>>.

Os equipamentos utilizados (Figura 1 A) são um tronco de cone metálico, também conhecido como cone de Abrams, e uma placa metálica, plana, quadrada ou retangular não-absorvente na qual é disposto o tronco de cone, além de uma haste de compactação.

O ensaio é executado (Figura 1 B) preenchendo parte do cone com concreto e golpeando 25 vezes com uma haste metálica, a outra porção do cone é preenchida e se repete a operação.

Em seguida, o cone é retirado lentamente na direção vertical sem submeter o concreto a

torções laterais e, por fim, é realizada a verificação do *slump*, a altura de abatimento (Pashias *et al.*, 1996; ABNT, 1998). Conforme apresentado, a figura 1 C representa o passo a passo de cada etapa.

2.2 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CONCRETO

Os concretos são classificados em dois grupos de resistência a compressão (FCK) grupo I - C20 a C50, e grupo II - C55 a C90 (ABNT, 2009) determinada a partir do ensaio de corpos-de-prova preparados de acordo com a norma NBR 5738 (1993) e rompidos conforme a norma NBR 5739 (ABNT, 2007). De acordo com Araújo (2014) os concretos mais utilizados são aqueles do grupo I.

O termo FCK vem do inglês, *Feature Compression Know*, que significa resistência característica do concreto à compressão. A unidade de medida é MPa (Mega Pascal), que representa a pressão exercida pela força equivalente a 1 Newton em uma área plana de 1 m².

É de se esperar que em momentos futuros as edificações irão mostrar sinais de anormalidade, necessitando de reformas para preservar sua durabilidade e vida útil. Isso ocorre devido a qualidade dos materiais usados na construção como também resposta ao meio ambiente (Possan & Demoliner, 2013; Mehta & Monteiro, 2014; Bolina, Tutikian & Helene 2019).

Por meio de ensaio destrutivo, a resistência à compressão (FCK) é medida para verificar a resistência em amostras de 28 dias. Este parâmetro é uma propriedade muito importante pois esta ligada às qualidades gerais do concreto (Mascolo, 2016; Jacintho & Giongo, 2005).

2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTENCIA À COMPRESSÃO

Os principais fatores que influenciam na resistência à compressão são a qualidade e quantidade dos agregados, condições e tempo de cura e parâmetros de ensaios (Mehta & Monteiro, 2014; Neville, 2016; Helene & Andrade, 2010).

A mistura entre água e cimento representa o fator mais importante, pois afeta principalmente a porosidade do concreto seco (Bonaveti & Irassar, 1996, Araújo *et al.*, 2000; Leonhardt & Monnig, 2008, Neville, 2016).

O tipo de cimento é uma característica de interesse, pois o cimento Portland pode ser de tipos variados, sendo possível distinguir pelas siglas. O conjunto de siglas são Portland comum (designados pelas siglas CP I - Cimento Portland comum e CP I-S - Cimento Portland comum

com adição), cimento Portland de alta resistência inicial (designado pela sigla CP V-ARI), cimento Portland de alto-forno, (designados pela sigla CP III), cimento Portland pozolânico (designados pela sigla CP IV), cimento Portland composto, o qual é designado, segundo a ABNT NBR 11578 (1991), pelas siglas CP II-E - Cimento Portland composto com escória, CP II-Z - Cimento Portland composto com pozolana e CP II-F - Cimento Portland composto com filer, seguidos de suas classes de resistência (ABNT, 1991; Gimenes *et al.*, 2013).

A cura utilizada em corpos-de-prova é a cura húmida, que consiste no encharcamento do concreto com água. Este procedimento envolve o controle da temperatura, umidade e tempo, geralmente 28 dias, período em que concreto já possui a hidratação adequada (Araújo, 2003; Couto, 2003; Neville, 2016; Trindade, 2017).

Os parâmetros de ensaios que influenciam na resistência deve se atentar para o transporte correto de modo que não vibre, incline ou perturbe os moldes, deve-se atentar para a umidade, nivelamento do topo e da superfície em que estão apoiados.

No Brasil, executar estruturas de concreto armado ganhou espaço notório, e segundo Barros e Melhado (2006) é o sistema estrutural que mais se utiliza no país, em especial na produção de edifícios que possuem diversos pavimentos. A ótima compatibilidade entre o concreto e o aço fez com que esse tipo de sistema estrutural tivesse grande utilização nas mais variadas construções no nosso país (Fajersztajn, 1987). Esta utilização deve-se ao fato desse modelo estrutural, destacado por este autor, ter grande facilidade na execução, resistência térmica, atmosférica e mecânica, bem como ser econômica em comparação com as outras disponíveis no nosso mercado. Para a produção do concreto armado, faz-se necessário a união do aço com o concreto.

O concreto é um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregado miúdos e graúdos e água, com ou sem incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água) (ABNT NBR 12655, 2022, p. 3).

A escolha dos materiais constituintes do concreto e sua composição devem estar de acordo com a norma descrita. O concreto apresenta como características boa resistência à compressão, ser meio alcalino e possuir rigidez (Barros; Melhado, 2006). Este fato exemplifica, também, fazer com que o concreto seja muito utilizado em diversas obras no Brasil. A concretagem representa a última etapa no processo de execução de uma estrutura de concreto armado. De acordo com Freire (2001), essa última etapa consiste em produzir o concreto ou recebê-lo para transportar e lançar nas formas, espalhar, adensar e nivelar, dando o acabamento

necessário para posteriormente curá-lo. Todo esse processo na execução de concretagem necessita ser realizado de forma correta para que a vida útil da estrutura de concreto seja duradoura.

O controle tecnológico torna-se um dos fatores essenciais para este processo, que de acordo com Fachini (2005) consiste no estudo da dosagem dos materiais constituintes e no controle do concreto produzido. Em obras de grande porte, normalmente, as empresas executoras terceirizam o concreto, ou seja, não o produz no próprio canteiro. Com isso, ao receber o concreto, faz-se necessário verificar alguns itens a fim de se ter uma boa qualidade na obra. Uma dessas verificações é a realização do ensaio de abatimento de tronco de cone (*slump test*).

A qualidade final de uma estrutura de concreto armado depende do controle de suas propriedades no estado fresco e no estado endurecido. No estado endurecido, o concreto se encontra no estado sólido e que desenvolveu resistência mecânica; e no estado fresco “o concreto que está completamente misturado e que ainda se encontra em estado plástico, capaz de ser adensado por um método escolhido” (ABNT NBR 12655, 2022, p. 9).

O ensaio de abatimento de tronco de cone é um ensaio de consistência, no qual avalia-se a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, uma vez que determina ou não a presença de falha de concretagem, segregação, exsudação e vazios no concreto. Segundo Meia Colher (2018) a trabalhabilidade é a homogeneidade e facilidade desse concreto ser manipulado desde a mistura, até o acabamento da estrutura. O *slump test* envolve o ensino e a prática da engenharia, além de ser parte essencial no controle tecnológico.

A partir deste pode ocorrer discussões acerca de possíveis soluções para ser realizada a partir da correção das diferenças entre o que é visto no ensaio e o que se pede na norma vigente. A NBR 16889 informa quais os equipamentos e procedimentos necessários para a realização deste ensaio. De maneira inicial, a norma especifica ser um método aplicável aos concretos plásticos e coesos. Para o ensaio deve-se recolher uma amostra de concreto, que está sendo utilizado na obra, de acordo com a NBR 16886 (ABNT NBR 16889, 2020). A aparelhagem do *slump test* comporta um molde de metal, haste de adensamento, placa de base, régua ou trena metálica, concha em seção U e uma colher de pedreiro.

O molde de metal, na forma de um tronco de cone oco, com espessura igual ou superior a 1,5 mm, deve ser não absorvente pela pasta de cimento e seu interior deve ser liso. Este deve ter como dimensões internas de $200 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ de diâmetro de base inferior e $100 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ de diâmetro de base superior, com altura de $300 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$.

As bases devem ser abertas e paralelas entre si e perpendicular ao eixo do cone. Observase, também, que o molde deve conter duas alças, com intuito de manter-se estável durante o ensaio.

A haste de adensamento deve ser cilíndrica, com pontas em forma de semiesfera, de aço, com superfície lisa com diâmetro de $16 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ e com comprimento de 600 mm a 800 mm.

A placa de base, de metal, plana, retangular, com lados maiores que 500 mm e espessura maior ou igual a 3 mm, serve de apoio ao molde. A régua ou trena metálica, milimetradas com comprimento maior ou igual a 30 cm, servem para a medição do abatimento.

E a concha em seção U, metálica, serve para auxiliar no preenchimento do molde com concreto. A NBR 16886, além de especificar a aparelhagem, indica também os procedimentos par ao ensaio. Primeiro deve-se colocar a placa de base sobre uma superfície plana, horizontal e livre de vibrações. Depois umedecer o molde e a placa de base e pôr o molde sobre a placa de base (ABNT 16889, 2020).

Posteriormente, deve-se preencher o tronco de cone, com o auxílio da concha de seção U, com a amostra do concreto da obra de três camadas iguais. Nesta fase, o operador do ensaio deve manter os pés sobre as alças do molde, afim de mantê-lo estável.

A cada camada colocada, aplica-se 25 golpes uniformemente distribuídos, com a haste de metal, a fim de adensar. Após a última camada, deve-se retirar o excesso de concreto afim de alisar a superfície com uma régua de metal.

Depois limpa-se a placa de base e retira o molde do concreto, levantando com cuidado na direção vertical, em 4 segundos a 6 segundos, sem que ocorra movimentos de torção lateral. Imediatamente, deve-se medir a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova.

Se ocorrer desmoronamento da massa do concreto, o ensaio deve ser desconsiderado e uma nova amostra deverá ser coletada para a realização de um novo ensaio.

Caso tenha diferença considerável no abatimento, seria necessário efetuar uma mudança no traço do concreto, que pode ser feito pela mudança nas quantidades de água, cimento, areia, brita ou nos agregados. Ao fim do ensaio, um relatório torna-se essencial, a fim de referenciar a norma, data, identificação da amostra e o abatimento do corpo de prova de ensaio.

Erros na dosagem, além dos erros no levantamento do tronco de cone, do concreto pode acarretar além de danos na eficiência estrutural, como também nos desperdícios de materiais, gerando impactos ambientais. Portanto, é necessário que alunos do curso de Engenharia Civil possuam o pleno domínio teórico para realização de ensaio de controle tecnológico, e assim

deverão estar de posse da composição do traço do concreto utilizado, que deverá ser mostrado pela empresa executora.

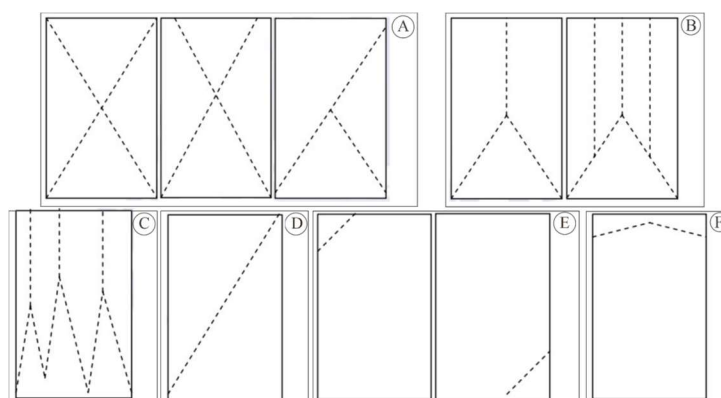
2.4 COMPRESSÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

A NBR 5739 (ABNT, 2007) normativa o ensaio de compressão de corpos de provas cilíndricos no Brasil, atualizando a NBR 7215/91. A fabricação dos corpos-de-prova cilíndricos seguiu as normas do NBR 5738 (ABNT, 2015), a dimensão do corpo cilíndrico utilizado tem 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura. Cada molde foi untado com óleo para facilitar o desenforme.

A moldagem foi realizada com adensamento manual com auxílio da haste metálica em duas camadas preenchidas com aplicação de 25 golpes (ABNT NBR 5739, 2018). Em seguida foi repousados por 24 horas, em seguida os moldes foram desenformados e corpos de prova foram submetidos ao processo de cura úmida por 28 dias.

O rompimento do corpo de prova foi numa prensa mecânica, seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2018). O corpo-de-prova é colocado no centro da prensa para que a força aplicada passe exatamente pelo centro de massa e com seu eixo e o da prensa alinhados. A Figura 2 ilustra os tipos de corpos-de-prova.

Figura 2 Tipos de ruptura de corpos de prova. A – Cônica, cônica afastadas 25mm do capeamento e cônica e cisalhada; B – Cônica e bipartida e cônica com mais de uma repartição; C – Colunas com formação de cones; D – Tipo cisalhada; E – Fraturado no topo e/ou base abaixo do capeamento; F – Similar ao tipo E com fraturas perto do topo.



Fonte: ABNT NBR 5739 (2007).

Deve-se atentar para o preparo do corpo, a superfície deve estar o mais retilínea possível, ou seja, é preciso retificar a topo. Outro fator que pode influenciar é o excesso de água, agregados ou não homogeneização da massa.

Para Resende (2016), as rupturas do tipo cônica (Figura 2 A e B) são as mais adequadas, pois ocorre quando a força aplicada é distribuída de maneira homogênea no corpo-de-prova, causando uma ruptura em forma de ampulheta. Ruptura do tipo colunar (Figura 2 C) pode estar relacionada ao não adensamento correto do concreto (Oliveira *et al.*, 2021). Segundo Souza (2006) as rupturas cisalhantes (Figura 2 D) são as mais indesejadas, pois indicam que a estrutura pode gerar movimentação causada pela descentralização do corpo-de-prova com o eixo da prensa.

As rupturas que ocorrem no topo ou base do corpo-de-prova (Figuras 2 E e F) podem sugerir que as extremidades do corpo-de-prova apresentam irregularidades e/ou não foram retificados.

2.4.1 Agregado

A influência do agregado está associada com o nível de resistência estudada. Isso fica mais evidente, em se tratando de concretos de alta resistência, em que a resistência da matriz chega a ser maior que a do agregado empregado na mistura.

Nesta condição, a resistência do agregado pode limitar o desempenho de resistência do concreto. Outras características do agregado influenciam indiretamente a resistência, tais como: dimensão máxima característica, forma, composição mineralógica, distribuição granulométrica (Paz, 1998) e textura (Özturan e Ceqen, 1997).

Estas características podem modificar a zona de transição no estado endurecido, e no estado fresco: a consistência, a exsudação e a incorporação de ar. O tamanho do agregado produz efeitos contrários na resistência do concreto.

Enquanto um agregado de tamanho maior requer menos água de amassamento, um agregado menor demanda mais água, para uma mesma consistência, condição de mistura e consumo de cimento. No entanto, o agregado graúdo é envolvido por uma película de água, que tende a ser mais espessa no agregado de maior tamanho.

A água interfacial, originária da exsudação e do efeito parede, vem a contribuir para a formação de uma zona de transição mais fraca. A relação entre agregado graúdo e miúdo também pode influenciar a resistência de um concreto.

Em um estudo feito por estudantes da University of Califórnia citado por Mehta e Monteiro (1994), para uma relação água/cimento igual a 0,6, onde foram feitas alterações na granulometria aumentando-se a relação entre agregado graúdo/miúdo comitadamente com o

teor de cimento, afim de obter-se um incremento na consistência de 50 para 150mm, houve aproximadamente 12% de redução na resistência média à compressão aos sete dias.

Os autores ressaltam a importância econômica de utilizar consistências mais rígidas e que ainda atendam de forma satisfatória os requisitos de adensamento adequado. Para consistências mais fluidas com alta relação água cimento, depois da pega, os materiais mais densos como o agregado graúdo tendem a ir para o fundo, segregando do restante dos materiais da mistura, enquanto a água tende a subir, ficando exsudada.

Como resultado, a superfície do concreto tem a relação a/c mais alta do que o restante do concreto, ocasionando um gradiente de compacidade que aumenta em direção ao fundo da forma em que está sendo moldado. Esta “pele” no concreto geralmente apresenta uma maior fração de pasta do que o concreto do centro (Meyer, 1987 *apud* Pinto e Hover, 2001, Pigeon, 1994 *Apud* Pinto e Hover, 2001).

2.4.2 Água de Amassamento

A qualidade da água, quando comprometida pela presença de impurezas, pode reduzir a resistência. No entanto, não existem normas muito explícitas sobre a qualidade da água, por ainda serem desconhecidos os teores prejudiciais, mas principalmente porque restrições desnecessárias poderiam ser economicamente danosas.

Em muitas especificações de obras, a qualidade da água é assegurada pela exigência da potabilidade, uma vez que esta raramente contém altos teores de sólidos inorgânicos dissolvidos e matérias orgânicas indesejáveis. No entanto, há a possibilidade da utilização de água suspeita (colorida, com mau cheiro, residual, salobra, salgada, ácida) como água de amassamento.

O desempenho da água de amassamento pode ser verificado por um estudo comparativo de argamassas, confeccionadas com a água suspeita e outra limpa de referência, onde podem ser avaliados o tempo de pega e a resistência.

A utilização do aditivo estabilizador de hidratação tem propiciado o reuso da água que lava internamente os caminhões betoneiras, entre uma remessa e outra.

Chini (1996); Paolini (1998); Sandrolini (2001); Caliço (2005); e Sampaio (2006) comprovaram que a incorporação da água reciclada à nova mistura não teve efeito significativo sobre a qualidade do concreto.

2.4.3 Aditivos

Os aditivos, com o passar do tempo, foram sendo incorporados ao concreto para usos específicos, mas atualmente, torna-se praticamente inviável a confecção de concreto técnico-economicamente viável sem o seu uso.

Os aditivos redutores de água ou comercialmente denominados de plastificantes são os mais difundidos quer pelo seu custo reduzido, ou pela facilidade de aplicação em centrais de concreto.

Os aditivos plastificantes são polímeros orgânicos usados para: produzir concretos com maior resistência por meio da redução no teor de água; obter uma resistência específica para um consumo de cimento menor; ou, aumentar o abatimento sem alterar o conteúdo de água.

São muito úteis quando o lançamento é feito por bomba de concreto (ACI 212.3R-91:1996). Os aditivos plastificantes são na sua maioria polímeros derivados da lignina ou lignosulfonatos, mas há também os fabricados a base de ácidos hidroxí-carboxílicos e gluconatos.

Apresentam uma capacidade de redução de água de 5 a 10% e um baixo custo por ser derivado de um subproduto da indústria da celulose e papel, requerendo um processamento simples para ser utilizado no concreto (Aïctin, 2000).

A sua dosagem deve ser definida de forma criteriosa, podendo ocorrer alguns efeitos colaterais, como retardo de pega devido à presença de açúcares da madeira, e a incorporação de ar, causada por substâncias de ação de superfície presentes na matéria prima.

Geralmente, na literatura internacional, a dosagem ótima fica em torno de 0,2 a 0,5% de material sólido em relação à massa de cimento. Já os fabricantes nacionais recomendam esta mesma faixa de dosagem do aditivo, porém de material líquido, composto pelo pó (parte ativa) diluído em água.

Segundo os fabricantes, alguns aditivos plastificantes podem ter como base química lignosulfonatos com menor teor de impurezas ou, ainda, ter em sua formulação uma combinação destes subprodutos com outros agentes químicos.

Estes aditivos são chamados de polifuncionais e sua base química, geralmente, não é padronizada e nem muito clara. São classificados como de médio desempenho, ficando entre os plastificantes convencionais e os superplastificantes.

Este desempenho é alcançado em função de se poder utilizar um teor maior de aditivo, sem provocar retardo de pega e incorporação de ar excessivos, uma vez que não possui tantas impurezas. No entanto, em um estudo recente realizado pelo GTec, as dosagens preconizadas

pelo fabricante para os polifuncionais (PA e PB), geraram fortes retardamentos de pega (identificados pelas curvas de liberação de calor), onde a diferença entre a pasta de referência (Ref) e a maior dosagem indicada pelo fabricante atrasou a pega em cerca de 20 horas (PB 1,1%).

Outro tipo de aditivo são os superplastificantes, com os objetivos do uso basicamente os mesmos dos plastificantes. A principal diferença entre os dois aditivos está principalmente na quantidade utilizada e desempenho obtido (redução de água superior a 12% se situando em valores em torno de 20%).

No caso dos superplastificantes, a dosagem está, geralmente, entre 1 e 2% de sólidos em relação à massa de cimento. Essa é a grande vantagem destes aditivos em relação aos plastificantes, cujos teores não ultrapassam 0,5% de sólidos em relação à massa de cimento devido aos efeitos secundários indesejáveis já citados.

Já os superplastificantes, por serem produtos sintéticos, feitos de matérias-primas que não contêm açúcares ou impurezas, não deveriam apresentar estes efeitos. No entanto, (Jiang e Roy, 1997 *apud* Martins, 2005; Ramachandran e Malhotra, 1984; Mailvaganam, 1999; Jolicoeur *et al.*, 2003 *apud* Martins, 2005) afirmam que geralmente, os superplastificantes retardam os tempos de início e fim de pega.

O teor de ar incorporado em misturas com superplastificante é, geralmente, maior que em concretos sem o aditivo, mas a maioria deste ar é perdida durante as operações de transporte e lançamento (Ramachandran *et al.*, 1998; Ramachandran e Malhotra, 1984). Entretanto, quando isso ocorre, os efeitos observados são bem menos acentuados do que os verificados com os plastificantes.

Por tudo isso que foi exposto anteriormente, pode ser concluído que ao apresentarem reações indesejáveis os aditivos estão influenciando na resistência, quer por incorporação de ar, diminuindo a compacidade da matriz, ou por retardo de pega, onde o seu manuseio e desmoldagem antecipada prejudicam a evolução da estrutura da pasta.

2.5 TRABALHABILIDADE DO CONCRETO

Segundo a norma americana ASTM C 125:2003, a trabalhabilidade do concreto é definida como a propriedade que determina o esforço necessário para manipular (lançamento, adensamento e acabamento) uma quantidade de concreto fresco com uma perda mínima de homogeneidade, ou seja, sem segregar (ASTM, 2003).

O esforço necessário para lançar uma mistura de concreto é predominantemente determinado pelo esforço total necessário para o início e manutenção do fluxo, que depende, por um lado, das propriedades reológicas da pasta de cimento (lubrificante) e do atrito interno entre as partículas de agregado, e por outro lado, do atrito externo entre o concreto e a superfície da forma.

De forma bem simplificada a trabalhabilidade reúne, em um conceito único, consistência e coesão, sendo que apenas a primeira é quantificada pelas normas brasileiras para o recebimento e aceitação do concreto fresco; enquanto a segunda fica limitada a uma avaliação qualitativa da mistura permanecer coesa ou estar segregada.

A consistência, que pode ser medida pelo ensaio de abatimento do tronco do cone, é usada como um simples índice da mobilidade ou da fluidez do concreto fresco (Metha e Monteiro, 1994). Neville (1997) concluiu que a trabalhabilidade é a quantidade de trabalho interno útil e necessário para produzir uma compacidade máxima promovida pelo adensamento pleno, que se intenciona remover os vazios de ar aprisionado.

A trabalhabilidade influencia diretamente a forma de adensamento a ser utilizada para eliminação dos vazios por ar aprisionado. E para concretos convencionais o adensamento pode ser manual, por vibração externa e interna. No adensamento por vibração o seu término é determinado de forma qualitativa, com a superfície de aspecto liso e sem bolhas.

No entanto, a perda de ar incorporado pode ser significativa para 30 segundos de vibração. Mas na prática, quando usadas em obras, essas mudanças são bem menos severas, porque o vibrador não permanece em um único local por esse período de tempo.

A resistência é influenciada pelo volume total de vazios, formado pelo ar aprisionado e incorporado, além dos poros decorrentes da água presente na mistura que não é consumida na hidratação do cimento.

Pode ser considerado como ar incorporado à mistura, a inclusão de bolhas estáveis pelo emprego de aditivo específico, na sua maioria com diâmetro variando de 10 a 100 μm (Martin, 2005; PCA, 2006). No entanto alguns autores afirmam que a dimensão máxima pode chegar a ser da ordem de grandeza de milímetros (Hover *apud* Pinto e Hover, 2001; Whiting e Nagi, 1998).

Para Martin (2005) as bolhas com o diâmetro maior que 200 μm comportam-se como ar aprisionado proveniente de um adensamento inadequado que certamente irá reduzir a resistência.

A influência na resistência é proporcional à quantidade de ar incorporado no concreto, quanto maior a quantidade maior é a redução, para uma mistura com a mesma relação a/c. Para

concretos de moderada e alta resistência, cada aumento na porcentagem de ar incorporado reduz cerca de 2 a 9 % da resistência (Pinto e Hover 2001; Whiting e Nagi 1998; Cordon, 1946 *apud* PCA, 2006; Klieger, 1952 *apud* PCA, 2006; Klieger, 1956 *apud* PCA, 2006). Poderia ser esperada uma redução maior da resistência, pelo enfraquecimento da matriz devido à incorporação de ar.

No entanto, há um aumento na trabalhabilidade, porque as pequenas bolhas esféricas agem como um lubrificante reduzindo o atrito entre o cimento e o agregado, permitindo que na dosagem seja reduzida a quantidade de água na mistura (Whiting e Nagi, 1998).

Alguns fatores devem ser levados em consideração, a exemplo da cura, do tempo, umidade, e temperatura.

2.5.1 A cura

A cura é um fator relevante na resistência, por se tratar dos procedimentos destinados a promover a hidratação do cimento, consistindo no controle, da temperatura e das condições de umidade, bem como a conservação destas condições ao longo de um determinado tempo. A hidratação se inicia, quando do primeiro contato do cimento com a água, em condições normais de temperatura. No entanto, os produtos da hidratação recobrem a partícula anidra do cimento, e dificultam o avanço da hidratação. A hidratação, a uma velocidade máxima, pode se processar somente, em condições de saturação. Por isso, o objetivo da cura é manter o concreto saturado, ou mais próximo possível dessa condição.

2.5.2 O tempo

O tempo de cura úmida está relacionado com as especificações de durabilidade e as condições que o concreto será submetido na secagem (área exposta, volume total, vento e temperatura incidentes, início da desforma) e deve ser iniciada tão logo cesse a exsudação. Quanto à duração, esta deve ser ininterrupta, principalmente em concretos com relação a/c baixa, devido à hidratação parcial nas primeiras idades e possibilidade de formação de poros descontínuos, impedindo o acesso da água novamente ao interior do concreto. De um modo geral, quanto maior o período de cura úmida, maior a resistência, para uma determinada relação a/c, considerando que a hidratação da partícula do cimento é contínua. A NBR 6118:2003 recomenda um período de sete dias de cura, mas nem sempre é executado na maioria das obras correntes, ocasionando, em alguns casos, fissuras por retração em toda a superfície. Estas

fissuras são responsáveis pelo enfraquecimento superficial, tornando o concreto suscetível ao intemperismo, carbonatação, abrasão, e corrosão quando da utilização do aço (Aïtcin, 2000; ABNT NBR 6118, 2003).

2.5.3 A umidade

A umidade da cura próximo à condição de saturação é indispensável para o contínuo processo de hidratação do cimento. Quando a pressão dos capilares fica aquém de 80 % da umidade de saturação, a hidratação torna-se muito reduzida (Tan, 1996; Powers, 1948).

Logo, a quantidade de água dentro dos poros deve ser suficiente para que a hidratação prossiga, mas nem sempre a água da mistura será capaz de atender essa exigência, e terá que ser repostada por uma fonte externa (aspersão de água) ou interna (materiais incorporadores de água).

Quando a relação a/c é baixa, a água da mistura é consumida para a combinação química e autosecagem e, se não houver ingresso de água no concreto, pode ocorrer a retração autógena em que há a formação de menisco de água, pela falta de umidade no concreto, levando ao aumento de tensões nos poros capilares.

A permeabilidade dessas misturas com baixa relação a/c é bem reduzida, mesmo nas idades iniciais, o que impede que a água aspergida atinja o concreto em níveis mais profundos, com relação à superfície exposta.

Como solução, pode ser adotado um material incorporador de água, tal como um agregado leve saturado ou polímero superabsorvente, que libera água à medida que vai ocorrendo a hidratação do cimento (Repette, 2005).

No caso de relações a/c maiores, a cura por membrana ou selada pode ser outra opção eficiente para o desenvolvimento da hidratação do cimento. O cobrimento com mantas transpassadas, ou, pulverização de composto formador de membrana deve garantir uma película superficial íntegra capaz de manter a umidade dentro do concreto.

No entanto, a cura por membrana exige um rigor maior na aplicação, além de ser uma solução inapropriada para relações a/c baixas, sendo adequada para a/c acima 0,4 (Bentz, 1997; Aïtcin, 2000). Em concreto de alto desempenho, as membranas de cura química resultaram em insignificante melhora ou, às vezes, no decréscimo da resistência (Pinto *et al.*, 2005).

A cura por molhagem é aceita no meio técnico como uma das exigências para ser atingida a resistência especificada. Mas, em peças esbeltas e curadas em condições úmidas pode ocorrer uma leve redução na resistência, quando submetidas à secagem ao ar. Isso ocorre devido

à retração por secagem, em que a pasta, ao retrair-se, é restringida pelo agregado, causando microfissuras na zona de transição.

2.5.4 A temperatura

A influência da temperatura sobre a resistência depende da taxa de temperatura, no período de lançamento e cura propriamente dita. Em um estudo de Metha e Monteiro (1994) foi avaliada a influência da temperatura de cura para uma faixa de 4° a 46 °C para a temperatura de lançamento, e, mantendo-se na temperatura indicada por 2 horas e depois constante em 21 °C na cura. Obtiveram resistências mais altas para as temperaturas abaixo de 13° C. A maior resistência é devido à microestrutura mais uniforme da pasta de cimento, que foi hidratada de forma mais lenta nas primeiras horas após a mistura.

Ainda numa faixa de 4° a 46°C em que o concreto é submetido a uma temperatura fixa e constante, até os 28 dias, conforme, quanto maior a temperatura maior será a resistência. Isto acontece porque, com o aumento da temperatura, a evolução da hidratação do cimento pode ser acelerada.

A mesma justificativa pode explicar o comportamento do aumento da resistência, quando o concreto é lançado à temperatura normal, de 21°C mantido por 6 horas, e curado a diferentes temperaturas, conforme pode ser visto Figura 8 .b (Metha e Monteiro, 1994).

As altas temperaturas no início da cura promovem um ganho de resistência no concreto, mas essa vantagem pode ser compensada com o passar do tempo e refletir numa redução em idades mais avançadas.

A importância da taxa de temperatura de cura no desenvolvimento da resistência do concreto é um aspecto que deveria ser incorporado às construções como prática corrente.

No entanto, a NBR 7212:1984 especifica um limite muito amplo para a temperatura ambiente quando do lançamento do concreto, variando de 10° a 32°C, e prescreve que os cuidados especiais devem ser tomados fora desses limites (ABNT,1984).

No mesmo sentido a NBR 14931:2003 recomenda cuidados nas temperaturas além de 35°C. No entanto é mais rigorosa ao prever a suspensão da concretagem em temperaturas muito quentes, maiores de 40°C, e em temperaturas muito frias, quando estiver prevista temperatura abaixo de 0°C nas 48 horas seguintes ao lançamento, bem como em situações nas quais a temperatura da massa do concreto esteja 5°C acima da temperatura ambiente (ABNT, 2003).

2.6 PARÂMETROS DE ENSAIO

A resistência é afetada pelos parâmetros de ensaio, devendo ser executadas em condições específicas e conhecidas. Os procedimentos de moldagem, cura e ruptura de corpos-de-prova cilíndricos de concreto são prescritos nas normas brasileiras NBR 5738:2003 e NBR 5739:1994 de forma não muito precisa, o que possibilita diversas interpretações e resultados distorcidos da estimativa de resistência (ABNT, 1994; 2003).

Julga-se fundamental a especificação de um procedimento único, em que possa ser garantida a repetição do resultado do ensaio. Os parâmetros de ensaio serão divididos em relação aos parâmetros do corpo-de prova e às condições de carregamento.

2.6.1 Parâmetros dos corpos-de-prova

A resistência pode ser influenciada por variações nos parâmetros dos corpos-de-prova, tais como: geometria, tamanho, tipo do molde, cura, condições de umidade na ruptura e preparação dos topos.

2.6.1.1 Geometria

Os corpos-de-prova podem ser cúbicos ou cilíndricos. Os cúbicos são usados na GrãBretanha, Alemanha e outros países da Europa. Os cilíndricos são padronizados nos Estados Unidos, França, Canadá, Austrália e Nova Zelândia (Neville, 1997). No Brasil, o corpo-de-prova cilíndrico é o utilizado com dimensões básicas prescritas na norma brasileira NBR 5738:2003 (ABNT, 2003).

Nos corpos-de-prova cilíndricos há a necessidade de tratamento do topo, antes do rompimento, com capeamento ou desgaste mecânico. Já o ensaio de corpos-de-prova cúbicos pode ser considerado mais simples, por não ter a necessidade da preparação do topo.

As faces laterais do corpo-de-prova são apoiadas diretamente nos pratos da prensa, por apresentarem uma superfície lisa e livre de saliências. No entanto, o molde cúbico é mais pesado e gera menor uniformidade de resultados.

Isso porque seus corpos-de-prova são mais influenciados pelo atrito entre o topo e o prato da prensa, propriedade do agregado graúdo e distribuição de tensões menos uniformes nos planos horizontais de seção quadrada. Em consequência da menor uniformidade, a RILEM (*Réunion Intransnationale des Laboratoires d'Essais e Recherches sur les Matériaux et les*

Constructions) recomenda a utilização de moldes cilíndricos, pelo menos em pesquisas (RILEM *apud* Neville, 1997).

A relação entre as resistências do cilindro e do cubo aumenta muito com o aumento da resistência e chega a aproximadamente 1 para resistências maiores do que 100 MPa (Evans *apud* Neville, 1997). Lima (2002) relata que os valores para a mesma relação, que constam na literatura, são de 0,7 a 0,9, podendo ser constatada a semelhança com os dados encontrados em estudo experimental, para a resistência de 25MPa, com a relação entre cilindros e cubos variando de 0,742 a 0,838 para 7 dias.

Para os 28 dias, os valores ficaram um pouco abaixo do esperado, variando de 0,625 a 0,696.

2.6.1.2 Tamanho

A norma brasileira NBR 5738:2003 prescreve que os moldes cilíndricos devem ter altura igual ao dobro do diâmetro, variando de 10 a 45 cm, em incrementos de 5 em 5 cm, sendo a medida do diâmetro utilizada como referência para corpos-de-prova e definida como dimensão básica (ABNT, 2023).

A dimensão básica do corpo-de-prova deve ser, no mínimo, três vezes maior que a dimensão nominal máxima do agregado graúdo do concreto. A norma americana ASTM C 31/C 31M:2003 determina as dimensões do corpo-de-prova cilíndrico, em 150X300 mm, podendo ser adotado o de 100x200 mm, quando especificado. A utilização de corpos-de-prova de 100x200 mm é uma tendência, e os benefícios são operacionais.

A facilidade no manuseio, instalações mais simples e menor desgaste nas prensas podem ser apontados como os principais requisitos para a preferência de um corpo-de-prova de menor tamanho. Por outro lado, as resistências e a variabilidade um pouco mais altas, tornaram-se uma limitação, por não estarem representando adequadamente a resistência potencial do concreto.

Seria prudente, para sanar esta restrição, a moldagem de mais corpos-de-prova para reduzir a variabilidade da amostra; e, com relação à resistência, alterar o procedimento de adensamento para diminuir a compactação dos corpos-de-prova, como por exemplo, redução do número de golpes ou de camadas.

As resistências aumentam com a redução do tamanho do cilindro (Aïctin, et al, 1994). Em estudo comparativo de desempenho entre corpos-de-prova de 150x300 mm e 100x200 mm pode ser encontrado um acréscimo de 1,3 %, entre as médias das resistências (Carino, 1996).

No entanto, a diferença de resistência entre os dois tamanhos de corpos-de-prova pode ser reduzida, modificando o adensamento, ao adotar duas camadas de concreto, ao invés de vez de três, no de menor volume (Carino, 1997, 2005).

Isso pode ser justificado da seguinte maneira, quando se tem volume maior de concreto, a quantidade de vazios também é maior e, por conseguinte, mais deformável; por isso os moldes maiores apresentam resistências menores (Jacintho, 2005). No entanto, Burg e Ost, 1994, Pistilli e Willems, 1993 *apud* PCA (2006c) não encontraram diferença significativa entre os dois tamanhos de corpos-de-prova cilíndricos.

Para variações na relação altura sobre diâmetro, a norma americana ASTM C 42/C 42M:2004 estabelece um fator de correção da resistência, que não difere mais que 8% dos valores obtidos com corpos-de-prova padronizados, para relação h/d de 1,75 a 1,25. Quando se trata de valores entre 1,50 e 2,50, essa correção pode ser desconsiderada devido a influência pouco significativa na resistência.

Para razão altura sobre diâmetro maior que 5, a resistência diminui rapidamente, evidenciando-se o efeito da relação de esbeltez. Para razão h/d muito pequena, a influência da contenção imposta pelo atrito do prato da prensa com a amostra, pode ser bastante significativa (Neville, 1997). Logo, a esbeltez influencia a resistência obtida em ensaio de resistência à compressão do concreto. Mas, além disso, (Munday e Dhir, 1984 *apud* Repette, 1991) comprovaram que a influência da esbeltez nos resultados de rupturas varia com a resistência do concreto e com o tipo de cura adotada para os testemunhos.

2.6.1.3 Tipo de molde

Os moldes mais usuais são os metálicos, mas também existem os moldes feitos de folha metálica, papelão e plástico, com baixa rigidez e menos duráveis.

Rocha (2002) apresentou um molde de resina que depois de fechado, possui elevada estanqueidade, possibilitando o endurecimento do corpo-de-prova na posição horizontal, dispensado completamente o tratamento do topo, conforme pode ser visto na Figura 12. Os resultados de resistência não evidenciaram nenhuma diferença significativa entre o molde de resina e o tradicional molde metálico.

O tipo do molde, aparentemente, pode não ter influência no resultado de resistência. Mas, no caso de moldes descartáveis, que não são suficientemente rígidos, pode haver a dissipação de parte da energia de adensamento e/ou a perda da forma geométrica do corpo-de-prova, com leve ovalização do topo, levando a redução da resistência (Aïctin, 2000). O material

dos moldes com características absorventes poderia aumentar a resistência, pela redução da relação a/c da mistura.

A inaptidão em manter a água na amostra, talvez, seja o fator preponderante sobre a influência na resistência, por não ser percebido no procedimento de moldagem.

Descuidos com a falta de estanqueidade dos moldes, que são providos de sistema desmontável para facilitar a desmoldagem, ou a evaporação na superfície livre, por não estarem cobertos, podem diminuir a relação a/c e, como nas primeiras horas, o concreto não tem resistência suficiente para suportar o seu peso próprio, a amostra é densificada pela aproximação dos produtos de hidratação. Isso resultaria na majoração.

A resistência do concreto em alguns corpos-de-prova, e conseqüentemente o aumento da variabilidade, sendo obtida uma avaliação distorcida da qualidade e uniformidade do concreto empregado na obra. Em estudo piloto no GTEC-UFSC, com a utilização de moldes metálicos tradicionais, ou seja, sujeitos aos vazamentos no fundo e lateral, e com, moldes de PVC estanques, composto de tubo de esgoto colado numa conexão tipo cap, ficou evidente a vulnerabilidade causada pelo uso de um molde não completamente vedado, tendo como resultado, dados mais dispersos, do que os dados obtidos com os moldes colados.

As diferenças entre o desvio-padrão do molde de PVC, 0,66 MPa, para o molde metálico, 0,71 MPa, e, aumento da média de 11,7 MPa para 12,1 MPa, respectivamente, molde de PVC e metálico, podem fundamentar o argumento de vazamento aleatório e revelar a necessidade aprimoramento dos moldes Os moldes de PVC estanques, são baseados em moldes de PVC feitos com tubo de esgoto e uma placa de PVC como fundo, usados em pesquisas da Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, e o molde plástico de concreto, produzido em escala industrial e empregado em alguns países, como Canadá e Estados Unidos.

Na desmoldagem, o emprego de ar comprimido é necessário, com pressão aproximada de 90 psi.

2.6.1.4 Cura e condições de umidade

A norma brasileira NBR 5738:2003 estabelece como cura inicial, o período que ocorre nas primeiras 24 horas para corpos-de-prova cilíndricos e 48 horas para os prismáticos, tendo seu término com a desmoldagem.

Na cura inicial, as amostras devem ser cobertas e armazenadas em local protegido de intempéries. Quando a finalidade do ensaio é para comprovar a qualidade e a uniformidade do

concreto, os corpos-de-prova após a desmoldagem devem ser submetidos à cura imersa ou úmida, até a data do ensaio.

Na cura imersa, os corpos-de-prova são armazenados em tanques com solução saturada de hidróxido de cálcio em temperatura de $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$. Na cura úmida, os corpos-de-prova são armazenados em ambiente com temperatura de $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa igual ou superior 95 %. Mas, se a intenção do ensaio é verificar as condições de proteção e cura do concreto, os corpos-de-prova devem receber as mesmas proteções contra ações climáticas e cura, que o concreto lançado.

Nesse caso, estes permanecem no local, sendo expostos, as mesmas condições climáticas que a estrutura, até a data do ensaio. Mesmo assim, os efeitos de temperatura e da umidade nos corpos-de-prova não são iguais aos que existem em massas de concreto, relativamente grandes.

Tem-se na literatura pesquisas que englobam estes efeitos em separado, onde é avaliada a temperatura de cura em função da resistência e relacionada com a idade de ruptura de corpos-de-prova.

Em corpos-de-prova secos ao ar no momento do ensaio, os resultados de ensaios à compressão apresentam um incremento de 20 a 25 % em relação ao dos corpos-de-prova correspondentes ensaiados em condição saturada (Metha e Monteiro, 1994). A menor resistência do concreto saturado é provavelmente devida à existência de uma pressão de água nos poros capilares da pasta, no momento do ensaio de ruptura.

2.6.1.5 Preparação dos topos

Nos corpos-de-prova cilíndricos, após o adensamento da última camada, deve ser feito o rasamento da superfície com a borda do molde de forma muito criteriosa. Isto porque, antes do rompimento, o topo será tratado com a finalidade de eliminar irregularidades da superfície deixadas pelo acabamento rudimentar de uma colher de pedreiro ou régua metálica. Para produzir resultados de ensaios precisos, o cilindro de concreto deve encontrar-se com os topos planos, lisos e perpendiculares em relação ao eixo central.

A norma brasileira NBR 5738:2003 prescreve que a preparação das bases dos corpos-de-prova cilíndricos deve ser feita com remate, retificação ou capeamento (ABNT, 2003).

O remate é um procedimento opcional, executado de 6 a 15 horas após a moldagem, no qual o topo é escovado e coberto com uma fina camada de pasta consistente e posteriormente tapado com uma placa de vidro.

Na retificação é feita a remoção de uma delgada camada de material do topo, por meios mecânicos, em máquinas especialmente adaptadas para esta finalidade. No capeamento, o topo do corpo-de-prova, é revestido com uma fina camada de material: aderente, fluido na aplicação, liso e plano após endurecimento, com compatibilidade química e resistência próxima dos valores obtidos com o concreto.

O capeamento, com espessura máxima de 3 mm, não tem a função de ocultar grandes imperfeições, causadas por descuidos na moldagem. Sua finalidade principal é uniformizar a superfície, evitando a concentração de tensões no ensaio de ruptura.

Poderia ser inferido que um corpo-de-prova bem moldado é condição prévia para uma boa aplicação do capeamento. Costumeiramente, os materiais empregados no capeamento aderente são: a pasta de cimento e a pasta de enxofre fundida.

O material do capeamento é vertido no capeador e, após sua fixação, o corpo-de-prova poderá ser removido, e levado para o ensaio de ruptura ou para dar prosseguimento à cura. A fixação da pasta de cimento acontece de forma lenta, variando de 18 a 24 horas.

O mesmo não ocorre com pasta de enxofre, que se fixa de forma muito rápida. O tempo de fixação deve ser levado em consideração na operacionalização do capeamento, pois irá determinar a quantidade necessária de capeadores.

O capeador é um dispositivo que garante o capeamento perpendicular em relação ao eixo central do corpo-de-prova, podendo ser horizontal ou vertical, sendo este último o mais prático e comum.

O manuseio e aplicação da pasta de enxofre é uma atividade que libera gases tóxicos e assim pode ser classificada como insalubre de grau máximo, conforme o anexo 11 da Norma Regulamentadora N° 15 - NR 15 dada a circunstância em que forem ultrapassados no ambiente de trabalho os limites de tolerância de 4 ppm ou 10 mg/m³, até 48 horas por semana.

Desta forma, o seu operador submete-se a inalar gases tóxicos e manipular material fundente sendo recomendada a utilização de equipamentos de proteção individual e coletivo, tais como máscara para gases, luvas, avental de mangas compridas, capela, exaustor e divisórias para o isolamento do local.

No procedimento de capeamento, o fator mais importante é o controle da temperatura, pois irá determinar o grau de fluidez do enxofre. Quando mantido a temperaturas mais baixas, o enxofre alcança o ponto de fluidez ideal, e é capaz de ser vertido como um óleo leve. Se submetido a temperaturas mais altas, a fluidez é muito reduzida, ficando coagulado ou até mesmo atingindo o ponto de queima.

Cuidados especiais devem ser adotados ao capear corpos-de-prova com a superfície molhada ou fria, porque podem originar áreas sem aderência. Estas podem ser identificadas pelo som abafado, ao se bater levemente na superfície do capeamento suspeito de estar solto, providenciando sua imediata remoção.

O capeamento quebrado, na ruptura do concreto e na inaptidão da aplicação pode ser reusado até cinco vezes (Neville, 1997). Mas deve ser tomado cuidado com a prática de aplicar óleo no corpo-de-prova para facilitar o desprendimento do capeamento. A incorporação excessiva de óleo na mistura aquecida de enxofre aumenta a toxicidade dos gases liberados, conforme alerta a ASTM C 617:2003. Às vezes, com a reutilização do enxofre, partículas sólidas grandes de concreto são misturadas ao material fundido e dificultam a confecção dos próximos capeamentos (ASTM, 2003).

Em um estudo pela NRMCA (*National Ready Mixed Concrete Association*) apud Carino (2001), foram comparadas as resistências de cilindros com diferentes tratamentos de topo, sendo utilizado a retificação e dois tipos de capeamento, com enxofre e pasta de cimento. Para concretos de alta resistência, o capeamento com enxofre resultou numa redução de 3% e 8% na resistência, com espessuras de 3 e 6 mm, respectivamente.

Para o capeamento com pasta de cimento, as resistências mostraram-se muito semelhante com as obtidas nos corpos-de-prova retificados. O emprego do capeamento não aderente vem aumentando, principalmente pela normalização e facilidade na aplicação, pois consiste de suporte metálico onde fica encaixado um disco de neoprene, conforme pode ser observado na Figura 16, que é apoiado sobre o corpo-de-prova no momento do ensaio, sem nenhuma preparação prévia como nos capeamentos aderentes. A norma americana ASTM C1231/C 1231:2001, restringe a utilização de capeamento não aderente, para concreto com resistência à compressão, abaixo de 10 MPa, ou acima de 85 MPa (ASTM, 2001).

A norma brasileira NBR 5738:2003 no item 9.4.2.5 estabelece a respeito de capeamento que: outros processos podem ser adotados, desde que sejam submetidos à avaliação prévia por comparação estatística, com resultados obtidos de corpos-de-prova capeados por processo tradicional, e os resultados obtidos apresentem-se compatíveis (ABNT, 2003).

Seguindo esta premissa de adotar um capeamento de mais fácil aplicação e custo reduzido, tem sido aplicado material alternativo, para que seja comprovado o desempenho similar ao método normalizado. Meneguetti *et al.*, (2001) utilizaram o enxofre, a resina epóxi e a madeira, e constataram que o primeiro tem o melhor desempenho que os outros dois tipos de capeamentos, por ser apto a corrigir as excentricidades maiores e irregularidades da superfície. Já os resultados obtidos por Prudêncio Jr. *et al.* (2005) causaram estranheza, pois os

corpos-de-prova retificados tiveram o pior desempenho se comparado com o neoprene, madeira e pasta de cimento.

A execução de forma inapropriada do tratamento de topo pode ter sido a causa da redução da resistência dos corpos-de-prova retificados, sendo recomendado maior cautela com os procedimentos adotados, para que a resistência obtida em ensaios seja a mais representativa do material empregado, e assim ser capaz de avaliar com precisão a aceitação de um determinado lote de concreto.

2.6.2 Condições de carregamento

As condições de carregamento influenciam nos resultados de resistência à compressão do concreto, uma vez que, no ensaio de compressão, o corpo-de-prova é submetido a aumentos progressivos de carga até a sua ruptura, o que acontece em poucos minutos. A norma brasileira, NBR 5739:1994, estabelece que a carga de ensaio deve ser aplicada continuamente e sem choques, com velocidade de carregamento de 0,3 a 0,8 MPa/s (ABNT, 1994).

A norma americana ASTM C 39/C 39M:2003 recomenda um intervalo estreito, para que a velocidade de aplicação de carga, não tenha nenhum efeito sobre a resistência. Carino (1996) relata que a taxa de carregamento mais rápida preconizada por esta norma, 0,34 MPa/s, resultou em aumento 2,2 % na resistência média, que a taxa mais lenta, 0,14 MPa/s. Tendo como base estes resultados, foi recomendado reduzir o valor da velocidade de aplicação da carga e a ASTM C 39, versão 2004, requer uma taxa carregamento de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s (Carino, 2005).

A ruptura dos corpos-de-prova de concreto tem seu início nas microfissuras da zona de transição, no entanto, contraditoriamente, é a presença do agregado graúdo que restringe a abertura de uma única e grande fissura. Mesmo antes da aplicação do carregamento, já existem fissuras muito finas na interface entre o agregado graúdo e a pasta de cimento, devido à retração e/ou variação térmica.

Com aplicação de cargas crescentes, essas microfissuras permanecem estáveis até cerca de 30 %, ou mais, da carga última e, a partir desse ponto, começam a aumentar em comprimento, abertura e número, tendendo a tornar-se instáveis.

Com o aumento da carga, até 70 % ou 90 % da resistência final, as fissuras se abrem através da argamassa (interface pasta e agregado miúdo), e se interligam formando um padrão de fissuração contínua, transformando-se num sistema instável, até a ruptura (Neville, 1997).

A distribuição uniforme da tensão é assegurada pela boa condição de topo do corpo de prova, bem como o seu posicionamento preciso no eixo do prato da prensa, e pelo dispositivo de alinhamento tipo um assento esférico. O assento esférico se inclina em caso de capeamento inclinado ou deformações diferentes com a aplicação da carga, de modo que a tensão é igual em todas as partes do corpo-de-prova (Neville, 1997).

2.7 CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO

No estado endurecido, a resistência à compressão é a propriedade mais importante para a constatação da uniformidade e conformidade do concreto durante a construção, estando presente em muitas normas como requisito mínimo de qualidade ou critério de aceitação.

Pode-se intuir que, a ampla difusão da resistência à compressão como parâmetro de dosagem e controle de qualidade, seja devido: à relativa facilidade de execução do ensaio, bem como, a padronização deste por normas; aptidão de influenciar, e ser relacionada, com outras propriedades do concreto; e evidentemente, a sua capacidade resistente.

A norma brasileira NBR 6118:2003 prescreve os requisitos mínimos de qualidade da estrutura de concreto, durante a execução e serviço, como sendo: a capacidade resistente, o desempenho em serviço e a durabilidade (ABNT, 2003).

No entanto, o projeto estrutural não é capaz de assegurar estes requisitos na execução, porque no transcorrer da obra, a qualidade da estrutura é influenciada por uma série de fatores, que a distancia do especificado. O grau de concordância dessas características finais, com aquelas que foram anteriormente especificadas, pode medir a qualidade da execução.

A verificação da conformidade, na sua grande maioria é feita, pelo controle do produto, por ser mais simples e barato, do que, o controle de qualidade do processo. Essa qualidade será tanto mais alta, quanto maior a conformidade do executado ao que foi projetado. As normas NBR 12655:1996 e NBR 7212:1984 tratam da qualidade do concreto e ainda que possam parecer conflitantes apresentam no item objetivo a distinção que lhe é pertinente, pois esta última é mais específica, tratando de concreto dosado em central, ao passo que aquela é mais abrangente e discorre sobre concreto, não excluindo o concreto dosado em central (ABNT, 1996, 1984).

Na norma brasileira NBR 12655:1996 são especificados os ensaios de controle de aceitação do concreto, como sendo: consistência e resistência à compressão, além de ensaios e determinações para o controle das propriedades especiais (ABNT, 1996).

A aceitação do concreto dosado em central está definida na norma brasileira NBR 7212:1984 pela constatação, por parte do contratante, das especificações constantes no pedido. E o pedido pode ser especificado pela resistência característica do concreto, pelo consumo de cimento e pela composição da mistura (conforme consta no item 5.1 da mencionada norma); além das propriedades e parâmetros necessários ao concreto fresco. Quando o concreto é especificado pelo traço, a resistência nem sempre é alcançada com as proporções prescritas, por sofrer grande influência devido à variabilidade do material empregado (ABNT, 1984).

O mesmo pode não ocorrer com a fixação do consumo de cimento, porque é um material com propriedades mais constantes, mas as restrições dos teores máximos estão associadas aos requisitos de durabilidade, evitando a fissuração por retração e variações de temperatura.

O pedido mais usual é o que especifica a resistência característica do concreto à compressão e, em complementação, a dimensão máxima característica do agregado graúdo e o abatimento do concreto fresco no momento da entrega.

2.7.1 Resistência característica e resistência de dosagem

O cálculo estrutural busca assegurar que a obra tenha uma mínima probabilidade de alcançar o estado limite último, e o principal propósito do controle de qualidade, é certificar que o concreto lançado na estrutura tenha uma mínima probabilidade de ter a resistência aquém da especificada em projeto.

A resistência mínima do concreto é especificada no projeto estrutural, é designada de resistência característica à compressão (FCK), e está relacionada com uma probabilidade pré-definida de ocorrência, sendo de 95 % de exceder a esse valor ou apenas 5 % de não atingi-lo.

A resistência média, que se pretende atingir na dosagem, é o parâmetro inicial para estabelecimento da proporção ideal entre os materiais, sendo denominada de resistência de dosagem (FCJ). Esta é dependente principalmente da relação água/cimento adotada para o concreto, ou seja, está diretamente relacionada com a definição do tipo e consumo de cimento. Seu valor pode ser obtido pela média das amostras ensaiadas por procedimento normalizado, na obra ou no laboratório.

Nas normas, é aceito que a dispersão encontrada nos resultados tenha o comportamento característico de uma distribuição normal ou gaussiana.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa, no percurso metodológico foi desenvolvida uma pesquisa quali-quantitativa de cunho descritivo, uma vez que essa metodologia foi considerada a melhor opção para a concretização do estudo, de modo a chegar-se aos objetivos propostos inicialmente e culminar com a realização do Trabalho de Conclusão de Curso de acordo com o que foi planejado.

No que diz respeito à metodologia e ao procedimento técnico, este estudo consistiu numa pesquisa bibliográfica quali-quantitativa, a partir de uma busca sistemática em livros e publicações disponíveis em bancos de dados específicos como o Portal Capes, Google Acadêmico, Scielo (*Scientific Eletr-onic Library Online*), e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações, abordando as temáticas: concreto; resistência a compressão; comportamento mecânico, e corpo de prova de concreto, entre outras.

Assim, segundo a abordagem, trata-se de uma pesquisa hipotético-dedutiva, e de caráter descritivo quanto aos objetivos gerais. Segundo os procedimentos de coleta de dados, trata-se de uma pesquisa bibliográfica, com estudo de campo experimental, constituindo-se num estudo de natureza quali-quantitativa (Gil, 2018; Lakatos & Marconi, 2003; Azevedo & Ensslin, 2020).

Para Minayo (2007) a pesquisa qualitativa trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis.

A pesquisa descritiva tem como objetivo descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis (Gil, 2018).

A pesquisa quantitativa trabalha com variáveis quantificáveis, mensuráveis, o que significa que, independentemente de quem realizar a mensuração do valor, o resultado deverá ser sempre o mesmo (excetuando-se erros de precisão de equipamentos e de leitura). Assim, a quantidade de alunos em uma sala em um dado instante, o peso de um corpo de prova, o valor de resistência à compressão de uma amostra de concreto representam valores quantitativos (Azevedo, Ensslin, 2020, p.77).

A pesquisa quantitativa com estudo de campo experimental foi realizada através de em ensaio laboratorial *in situ* utilizando-se o *slump test*.

Tendo como pergunta norteadora, fez-se a seguinte indagação: como os ensaios de moldagem de corpos de prova, extração de testemunhos, esclerometria e ultrassom podem ser correlacionados, visando a verificação da propriedade de resistência à compressão do concreto?

Na tentativa de se esclarecer o problema inicialmente proposto, recorreu-se ao uso dos descritores e palavras-chave como: resistência do concreto à compressão; corpos de prova de concreto; concreto; comportamento mecânico do concreto, e esclerometria, entre outras.

3.1 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO

Os critérios de inclusão considerados para a seleção e análise do material para que fosse delimitado o universo da pesquisa foram: artigos científicos e estudos originais, pesquisas de campo, dissertações e teses, sendo o texto completo nos idiomas português, inglês ou espanhol, tendo como recorte temporal trabalhos publicados entre os anos de 2018 e 2023.

3.2 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

Os critérios de exclusão adotados foram os artigos duplicados ou incompletos, trabalhos não originais, estudos com ano de publicação inferior a 2018 e trabalhos que fugiam ao tema proposto inicialmente.

3.3 PROCEDIMENTO DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

A coleta dos dados, com levantamento dos trabalhos relacionados ao tema, aconteceu entre os meses de julho e novembro de 2023. Uma vez submetidos aos critérios de inclusão e exclusão, os trabalhos aceitos foram detalhadamente lidos, sendo selecionados 06 artigos para a elaboração dos resultados e posterior discussão destes (Quadro 1).

O critério utilizado para a seleção dos seis artigos finais para resultados e discussão foi a maior relevância científica dentro da temática e objetivos levantados inicialmente.

O estudo de campo (ensaio experimental) seu deu através de um ensaio prático laboratorial *in situ*, quando foram verificadas as propriedades do concreto (*slump test*).

3.4 ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE

O ensaio *in situ* foi o ensaio de abatimento (*slump test*), os equipamentos utilizados foram o tronco de cone, a chapa niveladora e o soquete. Com os aparelhos limpos, a base da chapa foi nivelada em cima de um leito de areia. Em seguida o concreto do caminhão-betoneira foi transportado por um carrinho-de-mão até o local onde estava a chapa niveladora.

O tronco de cone foi fixado na chapa com os pés nas abas do tronco. Com o auxílio de uma concha o concreto é adicionado ao tronco em três partes, que representam três camadas e em cada camada são aplicados 25 golpes para facilitar a compactação e total preenchimento do cone.

Ao final o cone é retirado, puxando-o para cima com cuidado e posicional ao lado do concreto. A diferença de altura entre o cone e o concreto é medida, o *slump*, ou seja, o deslocamento do concreto em relação à altura do tronco de cone. A Figura 4 ilustra essas etapas do abatimento de tronco de cone.

Figura 3 Fotografias da obra: A - Chegada do caminhão concreto, concretando fundação; B – Prensa manual rompendo corpo de prova, a prensa utilizada segue as normas da ABNT NBR ISO 7500-1; C – Concretagem da laje.



Fonte: Autoria própria, 2023.

3.5 TESTE DE RESISTÊNCIA

A moldagem dos corpos de prova seguiu as regras da NBR 5738:2015 - Concreto – Procedimento para moldagem e cura do corpo de prova - em formas cilíndricas de dimensão 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, conforme NBR 5738 (ABNT, 2015).

As formas foram previamente lubrificadas com óleo mineral, para facilitar desenformar, então foram preenchidas com concreto e adensado de forma manual.

O concreto é adicionado nos cilindros em duas camadas, com aplicação de 12 golpes em cada camada para que haja compactação e total preenchimento do espaço. Cada molde foi etiquetado com identificação alfa numérica e data e depois foram deixados em cura submersa por 28 dias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após leitura criteriosa dos artigos, monografias, teses e dissertações selecionadas inicialmente para a revisão bibliográfica da literatura, disponibilizados em bancos de dados digitais e publicações impressas, foram escolhidos 06 trabalhos para estudo e análise comparativa, sendo extraído desses textos as informações sobre título, autor e ano, objetivos, método e resultados da pesquisa. Esses dados foram destrinchados e apresentados no quadro do item de resultados (Quadro 1).

Quadro 1 Descrição metodológica dos estudos incluídos nesta Discussão.

AUTOR/ANO	TIPO DE PRODUÇÃO	DELINEAMENTO DO ESTUDO	OBJETIVOS	METODOLOGIA	RESULTADOS
Azevedo, 2019.	Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).	Pesquisa qualitativa com estudo de caso (Experimento e ensaio).	Determinar a influência de distorções dimensionais de agregado graúdo no comportamento mecânico de concretos de cimento Portland quanto a utilização de corpos-de-prova de dimensões Ø50x100 mm, em relação aos de Ø100x200 mm, através da Teoria da Similitude de Murphy.	Foi utilizado um cimento CP III 40 para a pesquisa. Quanto aos agregados, trabalhou-se com areia natural quartzosa, proveniente da cidade de Ponte Nova – MG, apresentando granulometria dentro da zona utilizável, segundo a ABNT NBR 7211:2009. Foram estabelecidos critérios de adensamento para os espécimes reduzidos. O Efeito Parede foi analisado por	Os resultados dos testes de hipóteses mostraram similaridade entre as médias de resistência à compressão dos espécimes Ø50x100 mm e Ø100x200 mm para dimensões de agregado menores e resistências maiores. Através da utilização de coeficientes de predição com confiabilidade estatística, foi possível

				uma nova perspectiva, para diferentes tamanhos de espécimes e diversos traços de concreto.	corrigir as divergências na resistência à compressão provocadas pela distorção dimensional dos agregados.
Busetto, 2018.	Monografia (Graduação em Engenharia Civil).	Pesquisa bibliográfica e ensaio experimental.	Verificar a variabilidade da resistência à compressão do concreto usinado e bombeado empregado em uma obra, em Porto Alegre, ao longo de sua execução, através dos resultados obtidos por um laboratório.	Moldagem, cura e análise dos resultados.	Comprovou-se que para o caso estudado, a concreteira A não conseguiu, ao longo de todo o processo, produzir um concreto com resistência à compressão adequada para uma obra situada em Porto Alegre. A conclusão foi apoiada ao fato de que 7 das 31 concretagens realizadas não atingiram a resistência característica mínima exigida pelo projetista para a estrutura em questão.
Castro, 2019.	Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).	Pesquisa experimental.	Abordar e comparar técnicas para estimar a resistência à compressão do concreto em estruturas acabadas.	Moldagem de blocos prismáticos de concreto e corpos-de-prova, realização de ensaios de esclerometria, ensaios e análise de testemunhos extraídos dos	Apesar das limitações em relação ao número de testemunhos e algumas discrepâncias entre as técnicas utilizadas, os

				blocos, além da caracterização dos materiais e da dosagem.	testemunhos indicaram uma tendência em termos de variação de resistência.
Costa <i>et al.</i> , 2021.	Artigo científico.	Revisão bibliográfica e pesquisa experimental.	Apresentar os resultados da análise granulométrica do seixo misto, verificar a resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, módulo de elasticidade e absorção por imersão aos 7 e 28 dias do concreto executado com o traço 1:4, verificando se as resistências finais estão de acordo com os valores exigidos pelas normas brasileiras para concretos estruturais.	A pesquisa foi realizada no Laboratório de Engenharia Civil da UFPA, foram ensaiados 18 corpos de prova de concreto compostos por cimento CII-E 32, seixo misto e água. Inicialmente, foram realizados ensaios de caracterização dos agregados para identificação da composição granulométrica e das propriedades físicas seguindo as recomendações da NBR NM 248 (ABNT, 2003) e a NBR 7211 (ABNT, 2009), pois tais características são necessárias para a escolha do método de dosagem do concreto.	O seixo misto mostrou-se inapropriado para produção de concretos estruturais, pela baixa resistência mecânica e desempenho obtidos, sendo seus valores abaixo do mínimo exigido pelas normas brasileiras.
Silva e Bonfim, 2019.	Artigo científico.	Pesquisa bibliográfica com	Analisar amostras de concreto	A amostragem foi composta no total de 48	Através da análise dos resultados obtidos nos

		ensaio experimental.	convencional e com 2% de adição de diferentes tipos de fibras (aço, borracha e polipropileno), com intenção de comparar a interferência das fibras nas velocidades de propagação de ondas (V), para as frequências de 45 kHz e 80 kHz e nas propriedades mecânicas do concreto através dos ensaios de resistência à compressão (f_c) e módulo de elasticidade (E_{ci}).	corpos de prova de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, em conformidade com a norma ABNT NBR 5738, 2015), confeccionando 12 repetições para quatro traços com as seguintes características: sem adição de fibras (CPS), fibras aço (CPFA), fibras de polipropileno (CPFP) e fibras de borracha (CPFB), considerando a mesma proporção de agregados (grãos e miúdos) e relação a/c (água/cimento). A variação da amostragem com e sem fibra permitirá obter a contribuição mecânica ao concreto através do desempenho de cada tipo de fibra.	ensaios realizados e comparando com estudos anteriores pode-se observar que as fibras de aço atuam de maneira satisfatória quando se deseja aumentar a resistência à compressão e tração do concreto.
Furian, 2019.	Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).	Pesquisa bibliográfica com ensaio experimental.	Comparar o comportamento mecânico do concreto convencional em relação ao concreto produzido com agregado reciclado, e	Para o desenvolvimento da pesquisa foram executados dois traços base, o referência, com agregado natural e o traço com 30% de substituição do agregado natural pelo	Observou-se que o módulo de elasticidade tende a aumentar com o aumento do teor de fibra de aço, sendo que o tipo de agregado não influencia nos

			na tentativa de melhorar o comportamento mecânico do compósito, foram utilizadas fibras de aço e de vidro AR.	agregado reciclado. A partir destes dois traços base foram produzidos traços com porcentagens, em volume, de 0,25%, 0,38% e 0,50% de fibras, tanto para a fibra de aço, como para a fibra de vidro AR, totalizando 14 traços diferentes.	resultados de maneira significativa, já o concreto com fibra de vidro AR possui módulo de elasticidade maior quando utilizado agregado natural. O aumento da resistência à tração na flexão em função do aumento do teor de fibras foi observado apenas para o concreto com fibra de aço.
--	--	--	---	--	---

Fonte: Autoria própria, 2023.

Em seu estudo realizado com três séries de concreto, com brita 0, com brita 1 e com britas 1 e 2, mantendo as mesmas relações para água-cimento e agregado-cimento, Castro (2009) encontrou resultados que corroboram com o presente experimento. Os ensaios esclerométricos foram realizados em blocos de 40cm x 40cm x 80cm e corpos-de-prova de 150mm de diâmetro. A análise foi realizada por comparação entre resultados obtidos em testemunhos extraídos dos blocos, com diâmetros de 150 mm, 100 mm, 50 mm, 32 mm e 25 mm; corpos-de-prova de diâmetros 150 mm, 100 mm e 50 mm e esclerometria em corpos-de-prova com 150 mm de diâmetro. O estudo de Castro (2009) os resultados indicaram uma queda na resistência à compressão do concreto aos 28 dias quando se utilizou brita 1 e a associação das britas 1 e 2 em relação à brita 0; sendo que os valores obtidos por esclerometria foram próximos, independentemente da DMA. Assim, apesar das limitações em relação ao número de testemunhos e algumas discrepâncias entre as técnicas utilizadas, os testemunhos indicaram uma tendência em termos de variação de resistência.

Era esperado que os rompimentos dos corpos-de-prova alcançassem os valores indicados pelo engenheiro estrutural da obra. Uma vez que com isso se tem a certeza da qualidade do concreto, além de atestar que a concreteira segue as normas de padronização e possuem agregados de qualidade, além de saber dosar o teor água/cimento. Esta afirmativa ainda garante durabilidade da obra, já que as cargas projetadas serão suportadas pelas estruturas projetadas.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas é responsável por estabelecer padrões e critérios a serem seguidos para o ensaio de resistência à compressão. A instituição fixa limites mínimos e máximos de diversas propriedades e procedimentos, como orientação à produção e análise de um objeto final de qualidade. Por exemplo, as dimensões mínimas de um corpo de prova cilíndrico destinado ao ensaio de resistência à compressão, estabelecidas por norma, são $\varnothing 100 \times 200 \text{ mm}$.

Em estudo realizado por Azevedo (2019), com o objetivo de investigar o comportamento mecânico de corpos-de-prova de concreto de dimensões reduzidas em relação ao padrão mínimo recomendado pela NBR levando em conta a teoria da similaridade de Murphy, os resultados dos testes de hipóteses mostraram similaridade entre as médias de resistência à compressão dos espécimes $\varnothing 50 \times 100 \text{ mm}$ e $\varnothing 100 \times 200 \text{ mm}$ para dimensões de agregado menores e resistências maiores.

Como o *slump* é um teste que mede relação entre a resistência e a trabalhabilidade do concreto, é esperado que o concreto atinja os valores mínimos de trabalhabilidade e resistência. Entretanto, segundo Reis (2008), respostas diferentes de *slump* podem ser encontrados com diferentes operadores, o que não foi o caso neste experimento, uma vez que apenas o autor foi o executor de todos os testes descritos neste trabalho.

De acordo com Azevedo (2019), a teoria da similitude de Murphy é aplicada a inúmeros trabalhos envolvendo análise dimensional desde o começo do século XX e constitui-se de uma ferramenta poderosa para compreender como um determinado modelo se comporta em relação ao protótipo (real). Aliando essa teoria à realização de experimentos, poderão ser obtidos resultados quantitativos e qualitativos em relação à área de estudo de espécimes reduzidos em concreto. Essa teoria fundamenta de certa forma o experimento aqui realizado.

O rompimento dos corpos-de-prova deve alcançar a resistência mínima de 20 Mpa para CAA I (NBR 6118:2014). Por fim, os resultados satisfatórios atestam que a moldagem dos corpos-de-prova foi feita de maneira correta, seguindo as normas da ANBT, incluindo a cura

submersa e no tempo correto (ABNT, 2014).

O experimento realizado por Busetto (2018) teve por objetivo analisar a qualidade do concreto usinado fornecido pela concreteira “A” em Porto Alegre, através das principais normas que constituem os ensaios de resistência à compressão de CP, e, também, através de uma análise estatística para verificar se o laboratório escolhido para realizar o teste tem influência nos resultados obtidos. O procedimento foi semelhante ao que foi realizado neste estudo em Barreiras-BA. Busetto (2018) comprovou que para o caso estudado, a concreteira A não conseguiu, ao longo de todo o processo, produzir um concreto com resistência à compressão adequada para uma obra situada na capital riosulgrandense. A conclusão foi apoiada ao fato de que 7 das 31 concretagens realizadas não atingirem a resistência característica mínima exigida pelo projetista para a estrutura em questão.

No caso do experimento de Busetto (2018), os resultados obtidos pelo laboratório 1 apresentaram grandes variabilidades, tendo 23% dos lotes rejeitados pelo preconizado em norma, o que é muito significativo. Além disso, teve-se grandes amplitudes de resistência para um mesmo lote, chegando até a 8,4 MPa para uma mesma concretagem.

A exemplo do que foi realizado neste estudo *in situ*, embora com resultados diferentes, o ensaio foi feito de forma padronizada e eficiente, atendendo as recomendações das normas brasileiras específicas.

Outro aspecto importante a ser discutido é que a associação da esclerometria com ensaios em testemunhos constitui uma das melhores formas de estimar a resistência à compressão do concreto, tal como foi analisado no presente estudo.

Castro (2019) estudou as variáveis dimensão nominal máxima do agregado graúdo e o diâmetro do testemunho, abordando fatores que incidem na extração e ensaio do testemunho. Os resultados apontaram que, apesar das limitações em relação ao número de testemunhos e algumas discrepâncias entre as técnicas utilizadas, os testemunhos indicaram uma tendência em termos de variação de resistência.

O ensaio de esclerometria requer certa habilidade do operador com relação ao manuseio do equipamento e escolha dos pontos onde serão realizados os impactos, devido ao fato do aparelho ser sensível as variações do concreto, se o choque ocorrer sobre uma superfície com armadura, um elemento inerte, ou até mesmo um agregado, o índice esclerométrico será elevado, por outro lado, se o choque ocorrer em cima de um vazio, o índice será baixo.

Por isso é conveniente escolher pontos pouco armados e sem vazios, além de fazer para cada área de ensaio uma série de no mínimo 9 e no máximo 16 impactos, sendo o índice a média das determinações, de acordo com a ABNT NBR 7584:1995. Esta recomendação foi levada em

consideração e seguida à risca no presente experimento.

Costa *et al.* (2021), em seu estudo com seixo misto, tinham a expectativa inicial de ter-se um concreto com 25MPa a partir do traço 1:4 sem a utilização de aditivos, o que os levou a uma utilização do máximo permitido de água para ter-se uma trabalhabilidade dentro do indicado pela norma para o tipo de manuseio e adensamento que normalmente são realizados na cidade de Tucuruí. A quantidade de água influenciou no resultado final do concreto, com uma resistência à compressão de apenas 12,62 MPa aos 28 dias.

Após análise dos resultados, Costa *et al.* (2021) afirmaram que este traço não deve ser utilizado para obtenção de concretos estruturais, sendo necessário novos estudos de dosagem a fim de ter-se um traço que consiga atingir a resistência característica exigida pelas normas brasileiras. Até por uma questão de objetivos e material escolhido, diferentemente deste experimento aqui realizado, os resultados diferiram significativamente. Assim, concluíram que o seixo misto mostrou-se inapropriado para produção de concretos estruturais, pela baixa resistência mecânica e desempenho obtidos, sendo seus valores abaixo do mínimo exigido pelas normas brasileiras.

Com o objetivo principal de analisar amostras de concreto convencional e com 2% de adição de diferentes tipos de fibras (aço, borracha e polipropileno), com intenção de comparar a interferência das fibras nas velocidades de propagação de ondas, Silva e Bonfim (2019), realizaram correlações entre os parâmetros obtidos por ensaios destrutivos e propagação de ondas, demonstrando que o ensaio de ultrassom é capaz de inferir na qualidade de peças de concreto.

A adição de fibras de aço, polipropileno e borracha ao concreto pode alterar propriedades mecânicas como a resistência à flexão, compressão e elasticidade, além de evitar fissuras. Algumas características das fibras podem influenciar diretamente nos resultados dos ensaios como peso, formato e comprimento. As fibras possuem diferentes pesos e resistências individuais, o que altera o volume de fibras na mistura. Nesse caso, há influência sobre a resistência do concreto devido à incorporação de ar na mistura, o que cria pontos de instabilidade na matriz de concreto (Silva e Bonfim, 2019).

Naquele experimento, a amostragem foi composta no total de 48 corpos de prova de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, em conformidade com a norma ABNT NBR 5738:2015, confeccionando 12 repetições para quatro traços com as seguintes características: sem adição de fibras (CPS), fibras aço (CPFA), fibras de polipropileno (CPFP) e fibras de borracha (CPFB), considerando a mesma proporção de agregados (grãos e miúdos) e relação a/c (água/cimento) A variação da amostragem com e sem fibra permitiu obter a contribuição

mecânica ao concreto através do desempenho de cada tipo de fibra.

Furian (2019) estudou o comportamento mecânico do concreto convencional em relação ao concreto produzido com agregado reciclado, e na tentativa de melhorar o comportamento mecânico do compósito, foram utilizadas fibras de aço e de vidro AR. Observou-se que o módulo de elasticidade tende a aumentar com o aumento do teor de fibra de aço, sendo que o tipo de agregado não influencia nos resultados de maneira significativa, já o concreto com fibra de vidro AR possui módulo de elasticidade maior quando utilizado agregado natural. O aumento da resistência à tração na flexão em função do aumento do teor de fibras foi observado apenas para o concreto com fibra de aço. Na etapa experimental final foram executados ensaios para a determinação de resistência residual e de tenacidade.

No experimento de Furian (2019), os ensaios utilizando a norma ASTM C1399 proporcionaram valores de resistência residual média muito similares tanto para o concreto com agregado natural como para o concreto com agregado reciclado. O ensaio utilizando a norma EN 14651 proporcionou resultados similares para os dois tipos de concreto, com agregado natural e com agregado reciclado, para as resistências residuais. Os resultados do Ensaio Barcelona Simplificado apontaram similaridade entre o concreto com agregado natural e o concreto com agregado reciclado. Ao comparar os valores de resistência residual obtidos pelos dois métodos ensaios (Ensaio Barcelona Simplificado e EN 14651), observou-se resultados muito diferentes, no entanto fazendo uma correlação de segundo e terceiro graus entre os resultados obtidos nos ensaios, observa-se que o R^2 resultante é acima de 0,8, apontando uma ótima correlação entre os dois métodos de ensaio, o que permite a utilização do Ensaio Barcelona Simplificado, que é menos dispendioso que o método EN 14651.

Como resultado dos estudos de Furian (2019), observou-se que o módulo de elasticidade tende a aumentar com o aumento do teor de fibra de aço, sendo que o tipo de agregado não influencia nos resultados de maneira significativa, já o concreto com fibra de vidro AR possui módulo de elasticidade maior quando utilizado agregado natural. O aumento da resistência à tração na flexão em função do aumento do teor de fibras foi observado apenas para o concreto com fibra de aço.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise sobre a durabilidade das estruturas e qualidade do concreto podendo gerar obras de engenharia que duram por décadas, e quando mau executado pode acarretar em acidentes e desastres. Logo, a preocupação com a durabilidade e resistência do concreto é de extrema importância para construção civil, sendo um dos principais problemas a não resistência às cargas projetadas.

Isso implica em sérios riscos a vida dos trabalhadores e dos futuros utilizadores da edificação, como surgimento de rachaduras, risco de colapso parcial ou total da estrutura. Estes problemas podem surgir por um erro no dimensionamento do traço do concreto, variações na relação água cimento, agregados de má qualidade e erros de cálculos da estrutura.

O trabalho realizado demonstrou a importância da padronização dos procedimentos de ensaio para a obtenção de resultados de resistência à compressão de corpos-de-prova com baixa dispersão e reprodutíveis entre diferentes laboratórios.

A flexibilidade de procedimentos permitida pelas normas brasileiras, ao não fixar condições de ensaio rígidas e precisas é uma das principais causas das discrepâncias observadas entre os resultados dos ensaios obtidos por diferentes laboratórios, para um mesmo concreto.

Outra constatação indireta deste trabalho é a necessidade de se realizar o controle tecnológico do concreto aplicado nas estruturas de uma forma constante e por laboratórios terceirizados, para minimizar-se o número expressivo de não conformidades que vêm ocorrendo atualmente. Isto porque, parece haver uma tendência a mascararem-se os resultados não conformes por parte dos laboratórios das centrais de concreto.

Dessa forma, atendendo o que prescrevem as normas brasileiras específicas para a construção civil, ocorreu a verificação da propriedade de resistência à compressão do concreto, a partir do correlacionamento entre ensaio de moldagem do corpo de prova, extração de testemunhos e esclerometria, avaliando-se o controle tecnológico da qualidade do concreto lançado em obra. Assim, conclui-se que o presente estudo alcançou seus objetivos previamente estabelecidos, respondendo ao problema inicialmente formulado e que norteou esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2019. Disponível em: . Acesso em 19 mar 2019.

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland. Guia básico de utilização do cimento portland. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106).

AGULLÓ, L.; TORALLES-CARBONARI, B.; GETTU, R.; AGUADO, A. Fluidity of cement pastes with mineral admixtures and superplasticizer – A study based on the Marsh cone test. **Materials and Structures**, (1999).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM C-125. Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.

ARAÚJO, R.C.L.; RODRIGUES, E.H.V.; FREITAS, E.G.A. **Materiais de construção**. Edur, Rio de Janeiro (2000).

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. 4 vol. Rio Grande: Editora Dunas, 3. ed., 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5737**: Cimentos Portlands resistentes à sulfatos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Modelagem e cura de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland composto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção da água. Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos para concretos de cimento Portland. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13956**: Sílica ativa para uso em cimento Portland, concreto, argamassa e pasta de cimento Portland – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Norma de Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregado para concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7680**: Concreto — Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584**: Concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802**: Concreto

endurecido – determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 3310-1: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

AZEVEDO, Carlos Felipe de. **Teoria da similitude e análise estatística aplicadas a corpos de prova cilíndricos de concreto.** 2019. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/12516>>. Acesso em: 28 nov. 2023.

AZEVEDO, Rogério C.; ENSSLIN, Leonardo. **Metodologia da pesquisa para engenharias.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Rogério-Azevedo/publication/345778299_METODOLOGIA_DA_PESQUISA_PARA_ENGENHARIAS/links/5fb3e5ca299bf10c3686ab20/METODOLOGIA-DA-PESQUISA-PARA-ENGENHARIAS.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

BARTOS P. J. M.; SONEBI, M.; TAMIMI, A. K. **Workability and rheology of fresh concrete: compendium of tests.** Cachan: RILEM, 2002. Report of RILEM Technical Committee TC 145- WSM, Workability of Special Concrete Mixes.

BIZ, C. E. **Concreto de pós reativos.** 2001. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, SP, 2001. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/245244>. Acesso em: 15 out. 2023.

BOLINA, Fabrício Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo. **Patologia de estruturas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2019, p. 320.

BUSETTO, Rafael Tozzo. **Resistência à compressão do concreto: análise da variabilidade em corpos de prova moldados em obra situada em Porto Alegre.** 2018. 68f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/96340/000914941.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2023.

CASTRO, Elizângela de. **Estudo da resistência à compressão do concreto por meio de testemunhos de pequeno diâmetro e esclerometria.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14137/1/Elisangela.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2023.

CESAR, A. A.; VALENTIM, J. N.. Dosagem de Concreto de Pó Reativo CPR São Paulo:

Ática, 2004.

CHRISTENSEN, G., **Modeling the flow of fresh concrete: The slump test.** 1991. (Ph.D. thesis). Princeton University, Princeton, 1991.

CLUBE DO CONCRETO. Eng. Ruy Serafim de Teixeira Guerra, 29 mai 2016.

CLUBE DO CONCRETO. Eng. Ruy Serafim de Teixeira Guerra, 20 jul 2016.

COSTA, D. S.; BRANDÃO, J. S.; DIAS, A. C.; LIMA, F. F.; COSTA, A. S. Comportamento mecânico do concreto produzido com seixo misto utilizado na Cidade de Tucuruí/ Mechanical behavior of concrete produced with mixed pebble used in the City of Tucuruí. **Brazilian Journal of Development**, 7(4), 38608–38627. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-360>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

COUTO, A. B. P. **Influência das condições de cura nas características do cobrimento de diferentes concretos.** 2003. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

DINIZ, José Zamarion Ferreira. Concreto: Material construtivo mais consumido no mundo. *Concreto e construções*, n. 53, 2009.

FREITAS, J. de A. Jr.. Estudo Comparativo de Métodos de Dosagem para concretos de Alta resistência com o uso de Materiais Disponíveis na Região Metropolitana de Curitiba. Dissertação (Mestrado), ST/PPEC/UFPR. Curitiba, 133 p, 2005.

FURIAN, Bruna O. **Análise do comportamento mecânico de concreto com agregado reciclado e fibras de aço e vidro.** 2019. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2019. 149f. II. Disponível em: <http://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/15148/ceatec_ppgsiu_me_Bruna_OF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 nov. 2023.

GEYER, A. L. B.; SÁ, R. R. Importância do controle de qualidade do concreto no estado fresco. **Informativo Técnico Realmix**, Goiânia, 2006.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2018.

GIMENES, A. V. N., JUNIOR, C. R. M., DE FREITAS, G. H. M., DA SILVA, P. J., RIBEIRO, T. F., & DA SILVA, J. R. R. (2013). Avaliação da Resistência do Concreto em Relação à Variação na Dosagem de Água. **Iniciação Científica Cesumar**, 15(1).

HARTMANN, C. T.; HELENE, P. R. L.. **Pilares com fc 125 MPa: Record mundial em concreto de alto desempenho colorido.** 2003.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Concreto de Cimento Portland.** In: ISAIA, Geraldo C. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.* 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 1. p. 483-526.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. R.. **Manual de dosagem e controle do concreto.** São

Paulo: PINI, 1993.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Concreto de cimento Portland**. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. In: Geraldo Isaia. São Paulo: IBRACON, 2010, cap. 29, p. 905-944.

HELENE, P.; PACHECO, J. Controle da resistência do concreto – 1ª parte. **Concreto & Construções**, São Paulo, 69, n.15, p.75-81, jan-mar,2013.

HENCHE, D. ; ALESSI, E.. **Concreto de Pós-Reativos: Parâmetros de Dosagem e Propriedades**. Trabalho de Conclusão de Curso, UTFPR, 2011.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2016. 1968 p.

JACINTHO, A. E.; GIONGO, J.S. **Resistência Mecânica do Concreto**. In: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. 2v. p.45-74.

KAEFER, L. F.. **A evolução do concreto armado**. PEF 5707 – Concepção, Projeto e Realização das estruturas: aspectos históricos. São Paulo-SP, 1998.

LAKATOS, Eva M.; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5ª edição. São Paulo: Atlas, 2003.

LEONHARDT, F.; MONNIG, E. **Construções de Concreto – Volume I: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008.

MACHADO M. D., **Curvas de correlação para caracterizar concretos usados no Rio de Janeiro por meio de ensaios não destrutivos**. 2005. 265 f. Tese (Mestrado em Engenharia), COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MARTIN, J. F. M. **Aditivos para Concreto**. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações, IBRACON, São Paulo, 2005.

MASCOLO, R. **Concreto usado: Análise da variação da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira**. Porto Alegre: Campus, 2012.

MEDEIROS, Giovana. **Métodos não destrutivos contribuem para evitar danos à estrutura**. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/metodos-de-ensaios-nao-destrutivos-para-estruturas-de-concreto/>. Acesso em: 22 out. 2023.

MENDES, S. E. da S.. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba**. Curitiba, PR. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, UFPR, 2002.

MENDES, Roberta R. **Estudo experimental de corpos de prova de concreto com fibras de aço sujeitos à tração por compressão diametral e à tração direta**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do

Departamento de Engenharia Civil do Centro Técnico-Científico da PUC-Rio. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2018. 161f. II. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/29303/29303.PDF>>. Acesso em: 02 nov. 2023.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 1º ed. São Paulo: IBRACON, 674 p, 2008.

MEHTA, K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2014.

MINAYO, M. C. S. O desafio do conhecimento. Pesquisa qualitativa em saúde. São Paulo: HUCITEC, 2007.

MURATA, J. Flow and deformation of fresh concrete. **Mater. Constr.** (Paris), v. 17, p. 117, 1984. NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2016.

NEVILLE, A.M.. **Propriedades do Concreto**. Tradução Salvador E. Giammusso, São Paulo: PINI, 1997.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888 p.

OLIVEIRA, A. G.; BARBOSA, D. I. A; OLIVEIRA, I, M, S; NETO, R. Q. 2021. Dados Obtidos através de rompimento de corpo de prova com variação de armadura. **Revista Científica da FacUnicamps**.

PASHIAS, N.; BOGER, D. V.; SUMMERS, J.; GLENISTER, D. J. A fifty-cent rheometer for yield tress measurement. **Journal of Rheology**, v. 40, n. 6, p. 1179-1189. 1996.

PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto e construções**, n. 53, 2009.

PETRUCCI, E. G. R.; PAULON, V. A.. **Concreto de cimento Portland**. 13º ed. São Paulo: Editora Globo S.A, 307 p, 1998.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. 2010. Tese de doutorado (Doutorado em engenharia) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

POSSAN, Edna; DEMOLINER, Carlos. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR - ISSN 2358-5420** - 1ª edição, 2013, 14 p. Disponível em: <https://revistatecie.crea-pr.org.br/index.php/revista/article/view/14>. Acesso em: 31 set. 2023.

RESENDE, Carlos. **A forma de rompimento do CP é importante?** Concreto: Propriedades, descobertas e casos interessantes. 2016.

REIS, J. F. A. **Determinação de parâmetros reológicos de concretos através do ensaio de**

abatimento de tronco de cone modificado - estudo de caso. 2008. 178f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

RINCÓN, O. T.; CARRUYO, A. R.; ANDRADE, C.; HELENE, P.; DIAS, I. (Comité Editorial). Manual de Inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. **Pub. Red. DURAR** – Programa CYTED, Maracaibo, Venezuela, 1997. 205 p.

SILVA, Rodrigo R. C. da; BONFIM, Luiz Henrique de S. Análise do comportamento mecânico de concreto com diferentes tipos de adição de fibras através da propagação de ondas de ultrassom. **Exatas & Engenharias**, v. 9, n. 25, 13 set. 2019. Disponível em: <https://ojs3.perspectivasonline.com.br/exatas_e_engenharia/article/view/1748>. Acesso em: 10 nov. 2023.

SITTER, WR. Costs for service life optimization. The “Law of fives”. In: **CEBRILEM. Durability of concrete structures. Proceedings of the international workshop held in Copenhagen**, p. 18-20, Copenhagen, 1984. (Workshop Report by Steen Rostam).

SOUSA, Gabriela Gonçalves de. **Influência dos procedimentos de ensaio à compressão de corpos-de-prova cilíndricos no controle de qualidade do concreto.** Dissertação (mestrado) -Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2006

SOUZA, J. de; PEREIRA, L. A.; BIANCHINI, M.. Avaliação da influência de altas dosagens de aditivo polifuncional em concreto dosado em central. Estudo de caso – Sul do Brasil. In: **48º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO**, Rio de Janeiro, 2006.

TREVISOL, C. A.; SILVA, P. R. P.; PAULA, M. M. S.; PELISSER, F. Avaliação de inibidores de corrosão para estruturas de concreto armado. **Revista Matéria** (Rio de Janeiro) 22, n.º. 4, 2017.

TRINDADE, Marcos R. D. **Utilização Da Sílica Ativa Na Composição Do Concreto De Alta Resistência: Análise da viabilidade técnica e econômica.** 2017. Universitário Luterano De Palmas (CEULP/ULBRA). Palmas, TO, 2017.

TROXELL, G.E.; DAVIS, H.E.; KELLY, J.W. **Composition and properties of concrete.** Second edition. Nova York: McGraw-Hill, 2017.

TUTIKIAN, B. F.; ISAIA, G. C.; HELENE, P. **Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho.** Concreto: Ciência e Tecnologia. 1ª Edição. Editora IBRACON. São Paulo, v. 2, 2011.

VANDERLEI, R. D.; GIONGO S. J.. Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas. **Cadernos de Engenharia de estruturas**, São Carlos, vol. 8, n.º 33, p.115-148, 2006.

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 de broqueamento.** v.1; Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. 216 p.

WANG, J., WANG, Y., SUN, Y., TINGLEY, D. D., & ZHANG, Y. Life cycle sustainability assessment of fly ash concrete structures. Revista: **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 80, n. 12, p. 1162-1174, 2017.