



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

YGOR ALVES TAVARES

**CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO E ENSAIO DE
ESCLEROMETRIA: ANÁLISE EM CORPOS DE PROVA DE CONCRETO
MOLDADOS IN LOCO E PROVENIENTES DE EXTRAÇÃO.**

FORTALEZA

2021

YGOR ALVES TAVARES

CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO E ENSAIO DE
ESCLEROMETRIA: ANÁLISE EM CORPOS DE PROVA DE CONCRETO
MOLDADOS IN LOCO E PROVENIENTES DE EXTRAÇÃO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário Christus, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Ms. Rafaela Fujita
Lima.

FORTALEZA

2021

YGOR ALVES TAVARES

CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO E ENSAIO DE
ESCLEROMETRIA: ANÁLISE EM CORPOS DE PROVA DE CONCRETO
MOLDADOS IN LOCO E PROVENIENTES DE EXTRAÇÃO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário Christus, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Ms. Rafaela Fujita
Lima.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Ms. Rafaela Fujita Lima (Orientadora)
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Profa. Ms. Marisa Teófilo Leitão
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Profa. Ms. Mariana de Araújo Leite
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Este projeto de pesquisa é dedicado aos meus avós José Vidal Alves (in memoriam) e Joana Cordeiro Tavares (in memoriam), maiores exemplos de seres humanos íntegros e éticos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pois acredito que é ele que tem um propósito na vida de cada um, e foi com a ajuda dele que consegui concluir minha graduação.

Agradeço aos meus pais, Antônio Cordeiro Tavares e Maria Teresa Alves Tavares, por todo esforço feito para que eu pudesse usufruir sempre de uma educação de qualidade e conseguir alcançar meu objetivo principal, concluir minha primeira graduação.

Agradeço aos meus familiares por estarem ao meu lado durante toda a minha trajetória na graduação, e por sonharem esse sonho comigo.

Agradeço à minha banca avaliadora, composta por Profa. Ms. Marisa Teófilo Leitão e Profa. Ms. Mariana de Araújo Leite, professoras que muito admirei durante a graduação. Fico muito honrada em poder contar com a avaliação de ambos nessa monografia.

Agradeço a minha orientadora, Profa. Ms. Rafaela Fujita Lima, que prontamente aceitou e abraçou minha ideia de pesquisa. Obrigado pela oportunidade, por garantir que este trabalho acontecesse e pelo apoio durante o desenvolvimento da pesquisa. Os elogios dirigidos a sua pessoa fazem jus ao professor, profissional e mãe de família que é.

Agradeço aos meus amigos que de alguma maneira me incentivaram, não me deixaram desistir diante das barreiras encontradas no decorrer do curso.

RESUMO

A Construção Civil no Brasil é um setor que mesmo com o avanço da tecnologia, ainda possui falhas quanto ao controle do seu processo produtivo. Isso ocorre pelo processo ainda ser muito manual, o que dificulta essa análise. O concreto é o material mais utilizado nesse setor e o seu controle de qualidade é muito importante, pois garante a durabilidade e a segurança das estruturas de concreto. Esse controle de qualidade, no Brasil, é realizado em laboratório, seguindo as instruções da norma ABNT NBR 12655:2015, onde a partir dos resultados encontrados, pode-se considerar o concreto conforme ou não conforme. O estudo foi realizado na cidade de Fortaleza/CE. Quando se observam não conformidades no concreto em relação a sua resistência potencial, os ensaios geralmente indicados pelo calculista são a extração de corpos de prova e a esclerometria. Diante do exposto, com essa pesquisa buscou-se identificar as diferenças existentes entre os resultados obtidos das resistências entre os três ensaios e verificar as resistências aos 28 dias. Esse estudo foi realizado através da execução de uma base de concreto de 0,729 m³, em um terreno localizado na cidade de Caucaia/CE. O concreto utilizado foi o do tipo usinado e foi realizado o ensaio do *slump test* no estado fresco, moldou-se os corpos de prova que foram rompidos com 28 dias. Aos 28 dias da concretagem foram executadas as extrações de corpos de prova de 10 x 20 cm e rompeu-se os testemunhos. O ensaio de esclerometria foi realizado com 28 dias. Os resultados encontrados para o ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova moldados foram satisfatórios, porém para os corpos de prova extraídos e ensaio de esclerometria foram abaixo do esperado.

Palavras-chave: Concreto. Resistência. Qualidade. Durabilidade.

ABSTRACT

Civil Construction in Brazil is a sector that, even with the advancement of technology, still has flaws regarding the control of its production process. This is because the process is still very manual, which makes this analysis difficult. Concrete is the most used material in this sector and its quality control is very important, as it guarantees the durability and safety of concrete structures. This quality control, in Brazil, is carried out in the laboratory, following the instructions of ABNT NBR 12655: 2015, where from the results found, the concrete can be considered as compliant or not. The study was carried out in the city of Fortaleza / CE. When nonconformities are observed in the concrete in relation to its potential strength, the tests usually indicated by the calculator are the extraction of specimens and sclerometry. In view of the above, this research sought to identify the differences between the results obtained from the resistances between the three tests and to verify the resistances at 28 days. This study was carried out through the execution of a concrete base of 0.729 m³, in a land located in the city of Caucaia / CE. The concrete used was the machined type and the slump test was performed in the fresh state, the specimens that were broken after 28 days were molded. At 28 days of concreting, extractions of 10 x 20 cm specimens were performed and the testimonies were broken. The sclerometry test was performed at 28 days. The results found for the compressive strength test of the molded specimens were satisfactory, however for the extracted specimens and the sclerometry test were lower than expected.

Keywords: Concrete. Resistance. Quality. Durability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Seção de corpo de prova.	17
Figura 2 – Curva de Abrams.	21
Figura 3 – Curva de Sitter.	24
Figura 4 – Classe de agressividade ambiental da cidade de Fortaleza/Ce.....	25
Figura 5 – Materiais utilizados para realizar o <i>Slump Test</i>	27
Figura 6 – Passo a passo do <i>Slump Test</i>	28
Figura 7 – Moldes de corpo de prova.	28
Figura 8 – Equipamento de verificação de resistência	30
Figura 9 – Esclerômetro.	32
Figura 10 – Máquina utilizada para extração de testemunhos.....	34
Figura 11 - Etapas do programa experimental.	38
Figura 12 - Moldes de corpos de prova.	43
Figura 13 - Localização das extrações a serem	43
Figura 14 - Localização dos pontos no bloco de	44
Figura 15 - Ensaio de resistência a compressão em corpos	47
Figura 16 - Ensaio de resistência a compressão em corpos	49
Figura 17 – Ensaio de esclerometria.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de cimento disponíveis o mercado.....	18
Tabela 2 – Limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	19
Tabela 3 – Classe de Agressividade Ambiental.....	24
Tabela 4 – Tipos de concreto de acordo com a classe de agressividade ambiental.....	25
Tabela 5 – Escolha do método de adensamento adequado.....	29
Tabela 6 – Determinação do número de golpes e camadas.....	29
Tabela 7 – Tipos e aplicações ideais para cada tipo de esclerômetro.....	31
Tabela 8 – Coeficiente de correlação K1.....	36
Tabela 9 – Coeficiente de correlação K2.....	36
Tabela 10 – Granulometria da areia.....	39
Tabela 11 – Granulometria dos agregados graúdos (BRITA 0).....	40
Tabela 12 - Granulometria dos agregados graúdos (BRITA 1).....	40
Tabela 13 - Traço de 25Mpa Usinado.....	41
Tabela 14 - Idade e quantidade de corpos de prova a serem rompidos.....	42
Tabela 15 - Resistência à compressão dos corpos de	46
Tabela 16 - Resistência à compressão dos corpos de prova extraídos aos 28 dias.....	48
Tabela 17 - Resultados obtidos nos ensaios de esclerometria aos 28 dias.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparativo entre as resistências dos corpos de prova moldados e extraídos.	52
Gráfico 2 - Comparativo entre as resistências dos corpos de prova moldados e esclerometria.	53
Gráfico 3 - Comparativo entre as resistências dos três ensaios.	54
Gráfico 4 - Comparativo entre as resistências dos ensaios do presente trabalho e de pesquisas existentes.	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a/c - Relação água/cimento

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

Ca - Consumo de água

CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará

Cb - Consumo de brita

Cc - Consumo de cimento

CP - Corpo de Prova

DMC - Dimensão Máxima Característica

NBR - Norma Brasileira

S_d - Desvio Padrão

SLUMP - Abatimento de tronco de cone (em mm)

VC - Volume compactado seco

VM - Volume médio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Concreto	16
2.1.1 Cimento.....	17
2.1.2 Agregados.....	19
2.1.2.1 Agregado miúdo.....	19
2.1.2.2 Agregado graúdo	20
2.1.3 Água	20
2.1.4 Aditivos	21
2.1.5 Adição mineral	22
2.2 Propriedades do concreto	22
2.2.1 Concreto no estado fresco	22
2.2.2 Concreto no estado endurecido	23
2.3 Durabilidade das estruturas de concreto	23
2.4 Ensaio nas estruturas de concreto	26
2.4.1 Slump test.....	26
2.4.2 Moldagem de corpos de prova e ensaio de resistência a compressão.....	28
2.4.3 Esclerometria	31
2.4.4 Extração de testemunhos.....	33
2.5 Estudos sobre ensaios no concreto	36
3 METODOLOGIA	38
3.1 Materiais	38
3.1.1 Cimento.....	39
3.1.2 Agregado Miúdo.....	39
3.1.3 Agregado Graúdo.....	39
3.1.4 Água	41
3.2 Métodos	41
3.2.1 Dosagem do traço base	41
3.2.2 Volume e moldagem do bloco	42
3.2.4 Moldagem de corpo de prova e ensaio de resistência a compressão.....	42
3.2.5 Extração de testemunhos.....	43
3.2.6 Esclerometria	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46

4.1 Resultados dos ensaios	46
4.1.1 Resistência à compressão de corpos de prova moldados	46
4.1.2 Resistência à compressão de corpos de prova extraídos.....	48
4.1.3 Esclerometria	49
4.2 Comparativo dos resultados dos ensaios.....	51
4.2.1 Corpos de prova moldados x Corpos de prova extraídos	51
4.2.2 Corpos de prova moldados x Esclerometria	53
4.2.3 Corpos de prova extraídos x Índice Esclerometria	53
4.2.4 Resultado do experimento	54
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
5.1 Conclusão.....	57
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	58
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais consumidos na construção civil. Estima-se que anualmente no mundo são consumidos 11 bilhões de toneladas de concreto, ou seja, um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante (PEDROSO, 2009).

Diante do elevado uso desse insumo em obras civis, faz-se necessário um controle de qualidade do concreto, visando uma maior durabilidade das estruturas. Em meio as propriedades do concreto, a mais significativa para o controle de qualidade é a resistência a compressão, pois é considerado um ensaio fácil de ser realizado e através dele é possível observar outras propriedades do concreto, por exemplo, o módulo de elasticidade. (MEHTA, 2008).

A maioria dos ensaios realizados no concreto possuem Normas Brasileiras (NBR) emitida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O controle de qualidade pode ser feito através da realização de ensaios que verifiquem a resistência à compressão do concreto com 28 dias. O ensaio de moldagem e rompimento de corpos de prova, por exemplo, deve seguir orientações da NBR 5738:2018 para moldagem dos corpos de prova, da NBR 5739:2018 para realização do ensaio de compressão e da NBR 12655:2015 para preparo, controle e recebimento do concreto em campo.

Garantir a qualidade dos produtos e a operação segura de equipamentos, prevenir acidentes e a perda de vidas humanas, evitar a paralisação da operação de equipamentos com consequentes prejuízos econômicos são as principais razões para se utilizar ensaios em estruturas de concreto. (MOREIRA, 2014).

Com o decorrer do tempo, buscando aferir cada vez mais precisão aos resultados e qualidade ao concreto, houve evoluções no ensaio de resistência à compressão e surgimento de novos ensaios, tais como: esclerometria, ultrassom, extração, entre outros.

Segundo Medeiros (2011), esses ensaios dividem-se em destrutivos e não destrutivos, sendo classificado como destrutivo os ensaios que trazem dano na estrutura em questão, e não destrutivos os ensaios que não trazem prejuízos à estrutura.

Com a intenção de averiguar a qualidade e a durabilidade do concreto, é indicado realizar ensaios nas estruturas de concreto em andamento como nas estruturas de concreto executadas.

Quanto maior a durabilidade dessas estruturas, maior será sua vida útil e menor serão os impactos ambientais. Tais impactos serão minimizados decorrentes da redução do número de demolições de concreto, e isso diminuirá os resíduos gerados pela construção civil. Além disso, diminuirá também o consumo de novos materiais.

A norma de desempenho, NBR 15575:2013, estabelece a vida útil mínima das estruturas de concreto de 50 anos para as estruturas de concreto. Segundo Possan (2010), antigamente, as estruturas de concreto armado eram realizadas seguindo conhecimento empírico, bom senso e experiência profissional, onde o fator de maior relevância era a resistência à compressão. Hoje a resistência ainda possui grande relevância, porém, além de resistente à compressão, as estruturas de concreto devem ser duráveis.

Desse modo, questiona-se: 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?

Assim, o presente trabalho apresenta como objetivo geral analisar e correlacionar as resistências à compressão resultantes dos ensaios destrutivos e não destrutivos, que são utilizados para a avaliação da qualidade do concreto.

Para tal, desenvolveu-se um estudo experimental, em que foi executado um bloco de concreto, de forma a contribuir com o conteúdo científico sobre o assunto, no qual foi realizado os ensaios destrutivos e não destrutivos, visando correlacionar os resultados obtidos nos quatro ensaios realizados para aferir a qualidade do concreto estudado. Com isso, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Estabelecer a resistência potencial do concreto utilizada na concretagem do bloco, através da moldagem de corpos de prova;
- b) Estabelecer a resistência efetiva do concreto utilizada na concretagem do bloco, através do ensaio de extração de testemunhos;
- c) Estabelecer o índice esclerométrico (IE) do concreto e fazer a correlação com a resistência do concreto utilizado na concretagem do bloco;

d) Comparar os resultados da resistência potencial, da resistência efetiva e da resistência advinda do índice esclerométrico (IE).

Assim, o trabalho ficou dividido em 5 tópicos principais. Neste primeiro tópico foi realizada uma introdução sobre o tema estudado, tendo ênfase na importância dos ensaios e nos objetivos do trabalho.

No segundo é apresentado um embasamento teórico sobre o estudo em questão, visando explicar cada ensaio realizado.

No terceiro tópico será exposta a metodologia de estudo utilizada e é apresentado a formulação da pesquisa. Além disso, são exibidos os ensaios do concreto no estado fresco: slump test e moldagem dos corpos de prova, bem como no estado endurecido: extração dos corpos de prova, ensaios a resistência a compressão dos corpos de prova moldados e dos testemunhos extraídos, esclerometria e a ultrassom.

No quarto tópico, será apresentado os resultados obtidos e discutido sobre os mesmos.

No quinto tópico será apresentada as considerações finais do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este tópico contempla o embasamento teórico dos assuntos abordados neste trabalho, a fim de mostrar a literatura sobre os materiais que compõem o concreto, sua utilização e suas características. Também serão abordados assuntos referentes às propriedades pertencentes ao concreto e aos ensaios realizados no estado fresco e no estado endurecido, além de abordarmos sobre a durabilidade da estrutura e sustentabilidade ambiental. Ademais, serão detalhados os ensaios a serem realizados com o concreto, a fim de aferir a qualidade, vida útil e durabilidade da estrutura.

2.1 Concreto

Diniz (2009) afirma que o concreto depois da água é o material que mais se consome no ramo da construção civil. São características de durabilidade, resistência, plasticidade que são responsáveis por este elevado consumo.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), o concreto é um compósito onde temos agregados e partículas aglutinados num meio aglomerante. Geralmente, o meio aglutinante é composto por cimento Portland hidratado, e os demais materiais presentes nesse meio são agregados miúdos (areia) e agregados graúdos (brita).

Segundo Mehta (2008), as propriedades físicas mais importantes do concreto são: a resistência do concreto à água, a fácil trabalhabilidade do material no estado fresco, o baixo custo de aquisição, bem como, a fácil disponibilidade de encontrar os materiais que o compõem.

Mehta e Monteiro (2014) abordam as complexidades do concreto em termos de microestrutura, onde pode ser observado três fases: as partículas de agregado, o meio ligante e a zona de transição entre estes.

Os mesmos autores citados acima abordam ainda que por mais simples que pareça, o concreto é um material complexo e exige cuidado no seu preparo. Falhas em alguma das etapas de preparação do concreto, podem influenciar diretamente nas suas propriedades, na sua durabilidade e na sua vida útil.

Isaias (2016), indaga que por mais que, a olho nu, o concreto pareça ser um material homogêneo, sabe-se que ele é um material heterogêneo. Quando se olha a estrutura microscopicamente, é possível observar a heterogeneidade que este material apresenta.

Helene e Andrade (2010), abordam que o concreto é constituído basicamente por cimento, agregados e água, podendo conter aditivos químicos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais, utilizados em proporções adequadas.

A Figura 1 mostra o interior de um corpo de prova de concreto no estado endurecido e sua heterogeneidade. Além disso, mostra três fases do interior de uma estrutura de concreto: as partículas de agregado, o meio ligante e a zona de transição entre estes.

Figura 1 – Seção de corpo de prova.



Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

Isaias (2016) afirma que o concreto é um material multifásico onde podemos encontrar pasta de cimento, agregados e vazios onde cada um desses elementos tem suas fases e características que influenciam diretamente no comportamento mecânico e na durabilidade do material.

2.1.1 Cimento

O cimento portland é composto de clínquer e de adições. O clínquer é o principal componente e está presente em todos os tipos de cimento portland. As adições podem variar de um tipo de cimento para outro e são principalmente elas que definem os diferentes tipos de cimento (ABCP, 2002).

Segundo Neville (2016), o cimento pode ser entendido como um material adesivo e coeso que tem finalidade de unir fragmentos minerais em um só. Ele

desenvolve um papel fundamental na microestrutura do concreto, pois ele é o responsável por manter todos os outros componentes unidos.

A NBR 16697:2018 informa que existem 8 tipos de cimento atualmente no mercado. Cada tipo diferencia-se quanto a composição e finalidade. O Tabela 1 expõe os tipos de cimento disponíveis no mercado, bem como a influência de cada um nas estruturas de concreto.

Tabela 1 – Tipos de cimento disponíveis o mercado.

Propriedades	Tipos de Cimento Portland						
	Comum e Composto	Alto-Forno	Pozolânico	Alta Resistência Inicial	Resistência aos Sulfatos	Branco Estrutural	Baixo Calor de Hidratação
Resistência à Compressão	Padrão	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Muito menor nos primeiros dias	Padrão	Padrão	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura
Calor gerado na reação do cimento com a água	Padrão	Menor	Menor	Maior	Padrão	Maior	Menor
Impermeabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão
Resistência aos agentes agressivos (água do mar e esgoto)	Padrão	Maior	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior
Durabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Maior	Padrão	Maior

Fonte: ABCP (2019), adaptado pelo autor.

De acordo com cada característica adquirida tem-se uma utilização adequada, como podemos ver na Tabela 1.

Analisando ainda a Tabela 1, verifica-se que o cimento de Alto forno e o pozolânico apresentam a maior resistência aos agentes agressivos e a durabilidade do concreto.

É notório o quanto a escolha do tipo correto influencia no desempenho da estrutura, por isso é necessário que os projetistas de cálculo estejam cientes dessa utilização na hora de projetar.

2.1.2 Agregados

Agregado é um material granular, como areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada, escória de alto forno ou resíduos de construção e de demolição, que é usado com um meio cimentício para produzir concreto ou argamassa. (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Pelo menos $\frac{3}{4}$ do volume total da mistura é composto pelos agregados, que além de preencher os vazios da mistura, agregam resistência. Se temos um agregado de má qualidade ele pode afetar no desempenho do concreto quanto a sua resistência e até mesmo limitar sua durabilidade (NEVILLE, 2016).

De acordo com a NBR 7211:2009, os agregados podem ser classificados como graúdos e miúdos. Essa classificação ocorre de acordo com a Dimensão Máxima Característica (DMC) de cada agregado.

Neville (2016) afirma que existe uma relação de proporcionalidade inversa entre o tamanho da partícula do agregado e sua área superficial, quanto maior o agregado menor sua área molhada. Deste modo, é possível que se possa diminuir a quantidade de água utilizada no traço quando levamos o agregado a ter uma maior dimensão máxima, mantendo sua trabalhabilidade.

2.1.2.1 Agregado miúdo

A NBR 7211:2009 considera como agregado miúdo grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248, com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1.

Na Tabela 2 pode-se conferir os valores das porcentagens necessárias de material passante para poder caracterizar o agregado como miúdo.

Tabela 2 – Limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida			
	Limites inferiores		Limites Superiores	
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona Utilizável
9,5mm	0	0	0	0
6,3mm	0	0	0	7
4,74mm	0	0	5	10

2,36mm	0	10	20	25
1,18mm	5	20	30	50
600 μ	15	35	55	70
300 μ	50	65	85	95
150 μ	85	90	95	100

Fonte: ABCP (2019), adaptado pelo autor.

A NBR 7122 (2009) preconiza que dependendo da porcentagem retida em cada peneira podemos classificar os agregados, porém se o agregado possuir uma porcentagem significativa retida na peneira limite (4,5 mm) ele não pode ser classificado como miúdo pois a quantidade de agregados com grande dimensão é elevada.

2.1.2.2 Agregado graúdo

Para NBR 7211:2009, agregados graúdos são os grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248, com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1.

A NBR 7122 (2009) preconiza que, assim como acontece nos agregados miúdos, se a porcentagem de agregados graúdos exceder ou não atingir os limites inferior e superior o mesmo não pode ser caracterizado como graúdo, pois não atinge as exigências da norma.

2.1.3 Água

A água é um recurso natural abundante no nosso planeta essencial para a existência de vida na Terra. Possui muitas aplicabilidades, dentre estas, a construção civil.

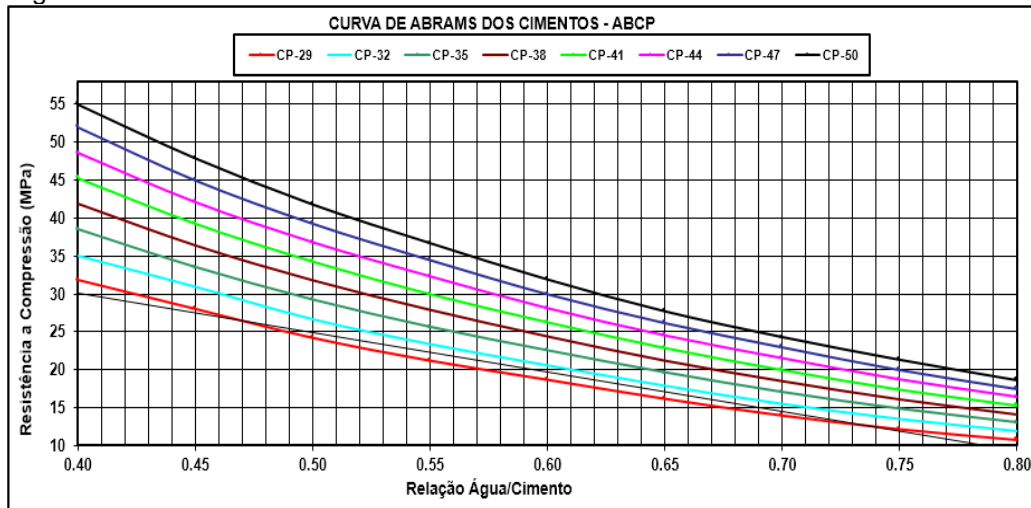
Neville (2016) considera a água um elemento essencial para a preparação do concreto pelo fato de quando ela entra em contato com o cimento eles formam uma pasta que é responsável por aglutinar os agregados. Além disso, a água utilizada para preparar o traço do concreto é responsável pela trabalhabilidade do mesmo. Quanto mais água presente no traço maior será sua plasticidade e melhor trabalhabilidade.

Sobral (2000) argumenta que a maior parte dos poros existentes no concreto é preenchido por água, isso explica porque temos a relação água/cimento como parâmetro.

Conforme Mehta e Monteiro (2014) exprimem, a relação a/c tem uma grande influência na resistência mecânica do concreto. Quanto menor a relação a/c, maior a resistência mecânica.

A Curva de Abrams apresentada na Figura 2 abaixo é utilizada para definição do valor da relação a/c.

Figura 2 – Curva de Abrams.



Fonte: Clube do concreto (2016).

Por meio dessa curva, é possível encontrar a relação água/cimento para cada concreto de acordo com a resistência normal do cimento empregado no mesmo.

2.1.4 Aditivos

Para Neville (2016), os aditivos hoje são amplamente utilizados pois eles são capazes de conferir ao concreto propriedades que antes não era possível obter, permitindo que a utilização do concreto fosse ampliada para situações onde antes existiam dificuldades consideráveis ou mesmo insuperáveis.

O mesmo autor citado anteriormente expõe ainda que os aditivos químicos podem ser classificados quanto a diversos fatores, sendo alguns deles: redutores de água, aceleradores de pega, redutores de pega e incorporadores de ar.

Soares (2016) comenta que o uso de aditivos é imprescindível, pois estes têm capacidade de diminuir a quantidade de água necessária para que se consiga a

trabalhabilidade desejada, e, conseqüentemente, aumento da resistência a compressão.

Sem os aditivos, a relação água/cimento teria que ser aumentada e, conseqüentemente, haveria uma perda da capacidade do concreto de resistir às tensões normais. Caso contrário, o concreto ficaria com baixa qualidade e não atenderia as exigências das normas vigentes.

2.1.5 Adição mineral

A ASTM C125 (2001) denomina as adições minerais como qualquer material, que não seja água, agregados, cimentos hidráulicos ou fibras, usado como ingrediente do concreto ou argamassa e adicionado à massa imediatamente ou durante a mistura.

Moraes (2012) manifesta as influências dessas adições nas propriedades do concreto, sendo algumas delas: Melhor trabalhabilidade; menor calor de hidratação do que nas reações de hidratação do cimento; menor risco de fissurações térmicas; formação de mais compostos resistentes; redução na permeabilidade e porosidade do concreto; e menor risco da entrada de agentes nocivos.

2.2 Propriedades do concreto

Para aferir a qualidade do concreto temos que levar em consideração os dois estados em que o concreto pode ser encontrado: o estado fresco e o estado endurecido.

Para Sobral (2000), as propriedades do concreto em ambos os estados estão ligadas diretamente e não podem ser analisadas separadamente. Assim, para obter um concreto de boa qualidade no estado endurecido, é preciso garantir sua qualidade no estado fresco.

2.2.1 Concreto no estado fresco

Para Helene e Andrade (2010), a propriedade do concreto no estado fresco compreende um período de tempo muito curto, geralmente da ordem de 1h a 5h. Essa fase refere-se ao intervalo de tempo necessário para que o concreto possa ser misturado, transportado, lançado e adensado.

Segundo Helene e Pacheco (2013), o concreto no estado fresco entregue por caminhões betoneira é aceito, condicional e preliminarmente, apenas com base na medida do abatimento do tronco de cone ou espalhamento e na observação visual do concreto.

2.2.2 Concreto no estado endurecido

Helene e Andrade (2010) consideram que este estado inicia-se com a hidratação do cimento e conseqüente endurecimento do concreto, estendendo-se por toda a vida da estrutura

Helene e Pacheco (2013) preconizam que a resistência à compressão é a propriedade do concreto adotada por ocasião do dimensionamento da estrutura. Portanto, está diretamente ligada à segurança e estabilidade estrutural.

Os mesmos autores citados acima preconizam ainda que vários são os fatores que intervêm na resistência à compressão do concreto da estrutura, desde a heterogeneidade e proporção dos materiais até o transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto na obra.

2.3 Durabilidade das estruturas de concreto

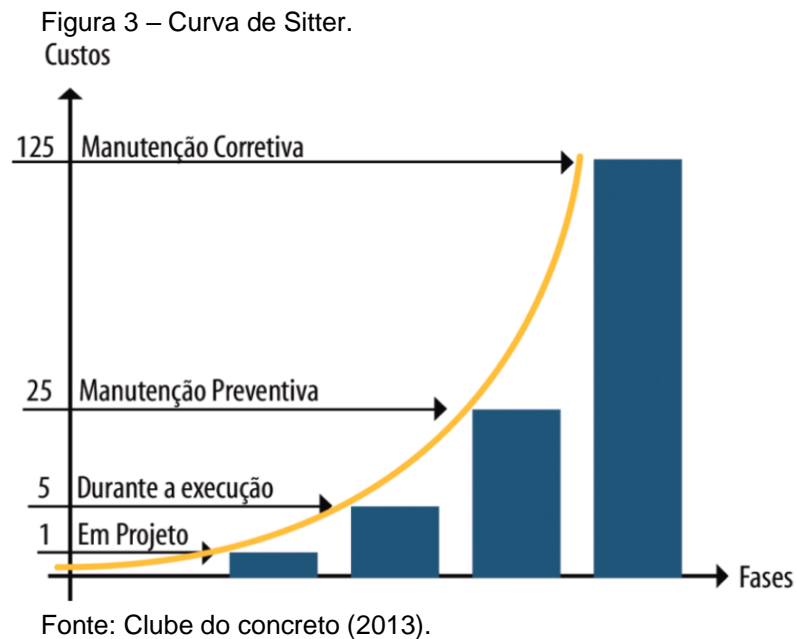
Para Possan e Demoliner (2013), a deterioração das estruturas de concreto ocorre devido, sobretudo, ao envelhecimento precoce das mesmas, o qual geralmente é desencadeado pela baixa qualidade dos materiais de construção empregados, por problemas de projeto e execução e falta de manutenção.

Segundo Isaías (2016), conhecimentos sobre durabilidade e vida útil das estruturas são importantes para prever comportamentos das mesmas ao longo do tempo, além de prevenir que aconteçam manifestações patológicas antecipadas.

Logo, para evitar e minimizar manifestações patológicas nas estruturas de concreto, é necessário se preocupar em proteger as estruturas desde o projeto da edificação, até as manutenções preventivas, e com isso, reduzir custos e garantir uma maior durabilidade.

Sitter (1984) explica bem esse problema. Segundo a Lei de Sitter, os custos para solucionar problemas em estruturas de concreto aumentam em função do tempo, sendo esse aumento em progressão geométrica de razão 5, em função do período de

tomada de decisão. A Figura 3 mostra o gráfico que representa o que descreve a Lei de Sitter.



Vários fatores podem influenciar diretamente na durabilidade da estrutura, bem como na sua vida útil. Dentre esses fatores, podemos citar: Erros de projeto e execução, descumprimento do período de cura indicado para a estrutura, falta de manutenção e agressividade ambiental.

A classe de agressividade ambiental de cada estrutura deve ser obtida através do Tabela 3 exposta pela NBR 12655:2015.

Tabela 3 – Classe de Agressividade Ambiental.

Classe de Agressividade Ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Riscos de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito Forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: NBR 12655:2015, adaptado pelo autor.

A NBR 15575:2013 desde de 2013 exige que as construtoras tratem o sistema de estruturas com rigor desde a sua concepção, projeto, execução e o seu uso.

A mesma norma preconiza que todas as etapas influenciam diretamente na sua vida útil, desde a determinação pelo calculista da sua classe de agressividade, de acordo com o Tabela 4 e da definição do tipo de concreto (armado ou protendido) a ser utilizado na obra, bem como da sua resistência, conforme o Tabela 3.

Tabela 4 – Tipos de concreto de acordo com a classe de agressividade ambiental.

Concreto	Tipo	Classe de Agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe do Concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
Consumo de cimento por m ³ de concreto (kg/m ³)	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

Fonte: NBR 15575:2013, adaptada pelo autor.

Portella (2013) mostra que a cidade de Fortaleza possui classes de agressividade que variam de II a IV. A propósito, classes de agressividades elevadas se compararmos com outras regiões brasileiras. Na Figura 4 é possível observar as classes de agressividade de Fortaleza com suas respectivas zonas.

Figura 4 – Classe de agressividade ambiental da cidade de Fortaleza/Ce.



Fonte: Cabral e Campos (2016).

A norma de desempenho NBR15575:2013 preconiza uma vida útil mínima da estrutura de concreto de 50 anos. Diante dos colapsos de edifícios e dos problemas em estrutura de concreto armado, tem-se procurado aumentar cada vez mais a qualidade e a vida útil dessas peças. Para isso, são realizados ensaios na estrutura, com o intuito de evitar problemas futuros e aferir a qualidade do material utilizado.

A análise das resistências das estruturas de concreto obtidas pelos ensaios realizados, auxilia a aferir a qualidade, a durabilidade e a vida útil da peça.

Mehta e Monteiro (2014) manifestam que o custo de reparo das estruturas por falhas nos materiais utilizados é algo a se considerar. Eles estimam ainda que 40% dos recursos utilizados na construção civil estejam em reparo e manutenção estrutural.

2.4 Ensaio nas estruturas de concreto

Ensaio não destrutivo e semi-destrutivo são aqueles que podem ser usados para avaliar o elemento estrutural in situ sem provocar danos expressivos ao elemento durante a execução dos ensaios de forma a não prejudicar a sua aparência e nem o seu desempenho; já os ensaios destrutivos são aqueles que causam danos à estrutura. (MACHADO, 2005).

Os ensaios nas estruturas de concreto classificados como destrutivos e não destrutivos. Os ensaios destrutivos são: Extração de testemunhos; e os não destrutivos são: moldagem e ruptura de corpos de prova e esclerometria.

Todos os ensaios realizados no concreto são normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). No estado fresco, realiza-se os seguintes ensaios: slump test e moldagem dos corpos de prova. Já no estado endurecido, os ensaios realizados são: extração de testemunhos, esclerometria e ultrassom.

O ensaio de slump test é normatizado pela NBR NM 67:1998, o ensaio de moldagem de corpos de prova é normatizado pelas NBR's 5738:2018, 5739:2018 e NBR 12655:2015, o ensaio de extração de testemunhos é normatizado pela NBR 7680-1:2015 e o ensaio de esclerometria é normatizado pela NBR 7584:2012.

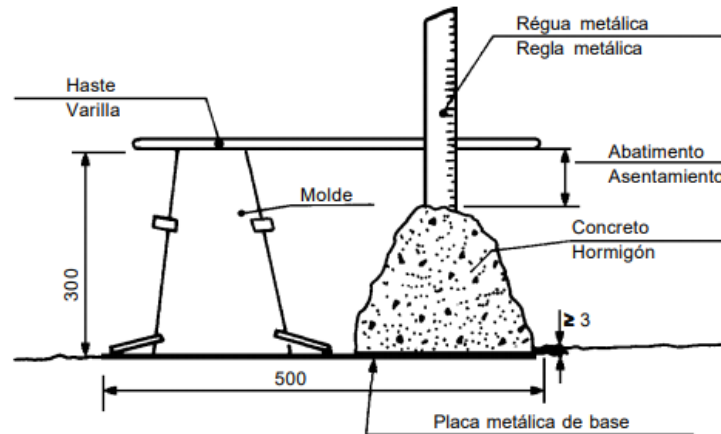
2.4.1 Slump test

Esse ensaio é o primeiro a ser realizado no concreto e é utilizado para medir a trabalhabilidade do concreto. Pela simplicidade do ensaio de abatimento, ele é

considerado como o principal controle de recebimento do concreto na obra, e deve seguir as orientações da NBR NM 67:1998.

Os materiais utilizados para realizar esse ensaio são: Concreto a ser ensaiado, placa metálica, tronco de cone, haste compactadora e trena métrica. A Figura 5 mostra os materiais utilizados no ensaio.

Figura 5 – Materiais utilizados para realizar o *Slump Test*.



Fonte: NBR NR 67 (1998).

Segundo a NBR NM 67:1998, o primeiro passo para a realização desse ensaio é colocar a placa metálica sobre uma região resistente e plana e, em seguida, colocar o tronco de cone sobre a placa.

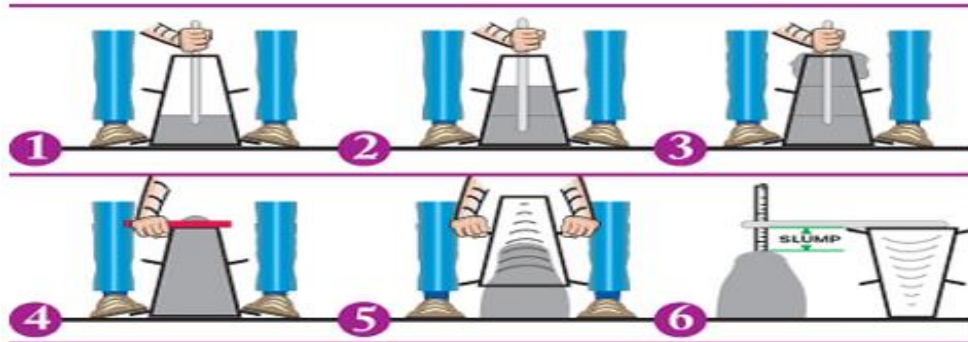
O responsável pela realização do ensaio deve colocar os pés sobre as extensões presentes nas laterais inferiores do tronco de cone, a fim de impedir qualquer deslocamento da ferramenta. Posteriormente a isso, deve-se começar a encher o molde de concreto.

Esta etapa deve acontecer em três momentos. No primeiro, enche-se o molde até um terço de sua altura total e compacta a camada com 25 golpes utilizando a haste metálica. No segundo momento, completa a amostra até dois terços de sua altura e compacta a segunda camada com mais 25 golpes. No terceiro momento, deve-se encher por completo o molde e compactar a terceira camada com mais 25 golpes.

Vale salientar que a compactação deve ser feita por camada, não sendo indicado a interferência da compactação das camadas superiores nas camadas inferiores. Finalizado esse processo, o responsável pelo ensaio deve fazer a desforma do material levantando o tronco de cone verticalmente.

Após a desforma do material, o operador deve colocar o molde metálico no sentido contrário ao lado do material desformado e, com a haste sobre a superfície do mesmo, medir a altura entre a parte inferior da haste e a parte superior do concreto desmoldado. O valor obtido pela variação de altura será o valor do Slump Test. A Figura 6 apresenta um passo a passo de maneira resumida para a realização deste ensaio.

Figura 6 – Passo a passo do *Slump Test*.



Fonte: NBR NR 67 (1998).

Esse ensaio não pode ser aplicado para concretos do tipo autoadensável. Para esse tipo de concreto, deve-se realizar o ensaio de espalhamento.

2.4.2 Moldagem de corpos de prova e ensaio de resistência a compressão

Para a NBR 5738:2018, a moldagem de corpos de prova é um ensaio é uma das primeiras maneiras de analisar a qualidade do concreto e de verificar a resistência do mesmo no estado endurecido.

O ensaio resume-se basicamente em: moldar o concreto no seu estado fresco em moldes de diâmetros previamente definidas por norma.

A Figura 7 mostra exemplares dos moldes de corpos de prova utilizados para fazer a moldagem do concreto.

Figura 7 – Moldes de corpo de prova.



Fonte: Autor (2020).

A NBR 5738:2018 determina que o interior dos os moldes e suas bases devem ser convenientemente revestidos com uma fina camada de óleo mineral ou outro lubrificante que não reaja com o cimento.

Além disso, estabelece que a quantidade de camadas que o concreto deve ser colocado pode variar de acordo com o diâmetro do corpo de prova e do método de adensamento utilizado na moldagem. Em casos de concreto autoadensável, não é preciso realizar o adensamento.

A Tabela 5 mostra como deve ser feita a escolha do método de adensamento do concreto em função do abatimento obtido no ensaio de Slump Test. Já a Tabela 6 apresenta o número de camadas que cada corpo de prova deve conter, seguido do número de golpes dado com haste metálica em cada camada.

Tabela 5 – Escolha do método de adensamento adequado.

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

Fonte: NBR 5738:2018, adaptado pelo autor.

Tabela 6 – Determinação do número de golpes e camadas.

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

Fonte: NBR 5738:2018, adaptado pelo autor.

Posteriormente, a NBR 5738:2018 estabelece que os corpos de prova devem ser armazenados em local protegido de intempéries e cobertos com material não reativo e não absorvente, por 24 horas, para evitar perda de água do concreto.

Com o passar das 24 horas, devem ser desmoldados, identificados e imersos no tanque de cura ou em uma câmara úmida. Esse tanque deve haver solução saturada de hidróxido de cálcio a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, e a câmara fria deve se manter a uma temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar superior a 95 %.

Os corpos de prova deverão ficar nesses reservatórios até atingir a idade desejada para a realização do ensaio de resistência.

Segundo a NBR 5739:2018, antes de ensaiar os corpos de prova é preciso preparar suas bases tornando-as superfícies planas e perpendiculares ao eixo longitudinal do corpo de prova. A NBR 5739:2018 relata que esse preparo pode ser por retificação ou capeamento.

A máquina de ensaio para compressão deve ser equipada com dois pratos de aço de formato circular, onde estes, entrarão em contato com as superfícies dos corpos de prova ensaiados. A NBR 5739:2018 diz ainda que a velocidade de carregamento deve ser mantida constante durante todo o ensaio. O resultado obtido pelo ensaio será a resistência potencial do concreto.

A Figura 8 mostra um exemplar da máquina utilizada para realizar o ensaio de ruptura do corpo de prova para verificação da resistência do concreto.

Figura 8 – Equipamento de verificação de resistência à compressão.



Fonte: Autor (2020).

2.4.3 Esclerometria

Esse ensaio é classificado como não destrutivo e é normatizado pela NBR 7584:2012.

Os materiais utilizados para a realização desse ensaio são: disco ou prisma de carborundum, máquina politriz dotada de acessórios para desgaste e polimento da superfície de concreto e o esclerômetro, sendo este último, segundo a NBR 7584:2012, dividido em quatro tipos: energia de percussão de 30N.m, energia de percussão de 2,5N.m, energia de percussão de 0,90N.m e energia de percussão de 0,75N.m.

Este método também pode ser chamado de medição da dureza superficial, já que o ensaio se baseia em analisar o choque entre dois corpos, sendo que um deles está fixo e outro em movimento (BAUER 2008).

O Tabela 7 mostra os quatro tipos de esclerômetro e onde devem ser utilizados.

Tabela 7 – Tipos e aplicações ideais para cada tipo de esclerômetro.

TIPO	INDICAÇÃO
Energia de percussão de 30 N.m	Obras de grandes volumes de concreto, como concreto-massa e pistas protendidas de aeroportos.
Energia de percussão de 2,25 N.m	Com ou sem fita registradora automática, que pode ser utilizado em casos normais de construção de edifícios e postes.
Energia de percussão de 0,90 N.m	Com ou sem aumento da área da calota esférica da ponta da haste, indicado para concretos de baixa resistência.
Energia de percussão de 0,75 N.m	Com ou sem fita registradora automática, que é mais apropriado para elementos, componentes e peças de concreto de pequenas dimensões e sensíveis aos golpes.

Fonte: Autor (2020).

Para executar esse ensaio, a norma determina que as superfícies do concreto devem ser secas ao ar, limpas e planas. A área a ser ensaiada deve ser polida em movimentos circulares com o prisma ou disco de carborundum, e a poeira ou pó superficial deve ser retirada a seco. A Figura 9 representa um exemplar do aparelho utilizados para realizar o ensaio de esclerometria.

Figura 9 – Esclerômetro.



Fonte: Autor (2020).

Segundo a NBR 7584:2012, cada ensaio deverá atingir a peça de concreto com um total de 16 impactos, não sendo permitido mais de um impacto sobre um mesmo ponto. Além disso, a distância mínima entre eixos de dois pontos ensaiados deve ser 30mm.

A NBR 7584:2012 afirma que o resultado do índice esclerométrico (IE) é simples de encontrar. Faz-se uma média aritmética dos valores obtidos através dos 16 impactos. Despreza-se todo índice esclerométrico individual afastado em mais de 10% do valor encontrado pela média aritmética e faz uma nova média com os índices individuais restantes. A segunda média deve ser realizada com, no mínimo, cinco índices. Caso contrário, o ensaio dessa área deve ser desconsiderado. Além disso, o valor de nenhum dos índices individuais restantes pode ultrapassar 10% do valor da segunda média. Se isso acontecer, o ensaio deve ser desconsiderado.

Em situações em que se deseja corrigir o valor médio obtido de uma área de ensaio para um índice correspondente à posição horizontal, a norma determina consultar os coeficientes de correção fornecidos pelo fabricante do esclerômetro.

Após encontrar o valor de IE, encontra-se o valor do índice esclerométrico efetivo ($IE\alpha$) através da equação abaixo:

Equação 1

$$IE\alpha = k \cdot IE$$

Fonte: NBR 7584:2012.

onde:

- IE_{α} é o índice esclerométrico médio efetivo;
- k é o coeficiente de correção do índice esclerométrico;
- IE é o índice esclerométrico médio.

Para cada ensaio, só é possível obter um índice esclerométrico médio efetivo.

Segundo a NBR 7584:2012, esse ensaio não substitui nenhum outro método, mas é utilizado como um método adicional ou ensaio complementar. A NBR 7584:2012 afirma ainda que não é recomendado utilizar este método na avaliação direta da resistência à compressão, a menos que haja uma correlação confiável com outros ensaios, tais como: Compressão axial e extração de testemunhos.

2.4.4 Extração de testemunhos

A Norma NBR 7680-1:2015 estabelece os processos relativos à resistência à compressão axial de corpos de prova extraídos. Segundo esta norma, os resultados encontrados pelas diretrizes dessa norma devem ser aplicados em três casos:

- Aceitação do concreto, em casos de convergências nos valores de resistência à compressão do concreto estabelecidos pela NBR 12655:2015.
- Avaliação da segurança estrutural de obras em andamento, em casos de convergências nos valores de resistência à compressão do concreto estabelecidos pela NBR 12655:2015.
- Verificação da resistência à compressão do concreto das obras existentes, tendo em vista a execução de obras específicas, tais como: retrofit, reforma, mudança de uso, incêndio, acidentes e colapsos parciais.

Em todos os casos, a realização desse ensaio depende da aprovação prévia de um engenheiro responsável. Extrações desnecessárias podem minorar a capacidade resistente da estrutura em avaliação.

A NBR 7680-1:2015 sugere que sempre que for considerada necessária, a extração de testemunhos deve ser precedida de estudos com base nos documentos disponíveis (projetos, memórias de cálculo, memoriais descritivos e outros), de forma a balizar a obtenção de informações consistentes e evitar extrações desnecessárias.

A extração deve ser planejada envolvendo todas as partes interessadas (responsável pelo projeto estrutural, pela execução da obra, pela extração dos

testemunhos e, quando for o caso, pela empresa de serviço de concretagem, entre outros).

Quando a resistência potencial convergir do valor da resistência prevista pela NBR 12655:2015 aplica-se a extração de testemunhos. Para isso, o calculista procede a verificação da segurança estrutural a partir do valor da resistência resistência potencial. Feita esta análise, tem-se duas possibilidades:

- O valor do $f_{ck,est}$ atende os requisitos de avaliação da segurança estrutural, apesar de não ter atingido o valor especificado em projeto pelo calculista. Neste caso, a realização de extrações de testemunhos não é necessária e o projeto estrutural aceita a nova resistência, $f_{ck,est}$, obtida;
- Caso o valor do $f_{ck,est}$ não atinja os requisitos de avaliação da segurança estrutural, realiza-se um planejamento para a extração de testemunhos, considerando os critérios da NBR 7680-1:2015.

O equipamento para executar a extração dos testemunhos deve retirar amostras homogêneas e íntegras do concreto da estrutura. A Figura 10 representa um exemplar da máquina utilizada para realizar a extração de testemunhos.

Figura 10 – Máquina utilizada para extração de testemunhos.



Fonte: Autor (2020).

Segundo a NBR 7680-1:2015, a extração de testemunhos em uma estrutura deve ser executada em um local determinado através de consenso entre o tecnologista de concreto, o construtor e o projetista da estrutura, com o intuito de minimizar os riscos de extração em locais inadequados. Além disso, deve acatar as orientações a seguir:

- A estrutura deve ser dividida em lotes de acordo com a norma.
- A extração dos testemunhos deve ter uma distância maior ou igual ao seu diâmetro com relação as bordas do elemento estrutural ou a juntas de concretagem.
- A distância mínima entre as bordas das extrações deve ser maior ou igual ao diâmetro dos testemunhos.
- As armaduras não podem atingir e cortar as armaduras. Detectores de metais devem ser utilizados para identificar onde existe barras de aço ou prospecção por retirada do cobrimento.
- Em pilares, paredes e elementos verticais, devido a exsudação, a extração dos testemunhos deve acontecer pelo menos 30 cm de distância dos limites superior e inferior da etapa de concretagem do elemento estrutural e acima da região de traspasse das barras longitudinais.
- A redução da seção transversal de um pilar pelo furo deixado pelo testemunho extraído deve ser inferior a 10%.

A NBR 7680-1:2015 sugere ainda que o diâmetro dos testemunhos seja maior ou igual a 100mm, sendo permitidos em alguns casos, diâmetros menores.

Após extraídos, os testemunhos devem ser ensaiados de acordo com a NBR 5739:2018 e os valores obtidos pela ruptura devem ser identificados como $f_{ci,ext, inicial}$. Posteriormente a isto, é necessário corrigir os resultados das resistências pelos coeficientes k_1 a k_4 e obtem-se uma nova resistência identificados como $f_{ci,ext}$.

A relação altura/diâmetro (h/d) é responsável pelo coeficiente k_1 , quando o valor $h/d=2$ não se verifica, o resultado de resistência à compressão do testemunho deve ser corrigido, sendo utilizado o coeficiente definido na Tabela 8.

A Tabela 8 auxilia na escolha do coeficiente K_1 utilizado para corrigir a resistência a compressão do testemunho.

Tabela 8 – Coeficiente de correlação K1.

h/d	2,00	1,88	1,75	1,63	1,50	1,42	1,33	1,25	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00
K1	0,00	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06	-0,07	-0,08	-0,09	-0,10	-0,11	-0,12	-0,13	-0,14

Fonte: NBR 7680-1:2015.

Caso os coeficientes de correção não se encontrem na tabela, podem ser obtidos por interpolação linear.

O efeito deletério do broqueamento é responsável pelo k2, e varia de acordo com o diâmetro do testemunho. Quanto menor for o diâmetro maior será o efeito sobre o testemunho.

A Tabela 9 auxilia na escolha do coeficiente K2 utilizado para corrigir a resistência a compressão do testemunho.

Tabela 9 – Coeficiente de correlação K2.

Diâmetro de testemunho (dt) mm	≤ 25	50 ^a	75	100	≥150
K2	Não Permitido	0,12	0,09	0,06	0,04

Fonte: NBR 7680-1:2015.

A direção da extração ao lançamento do concreto é responsável pelo k3. Para extrações realizadas no sentido ortogonal ao lançamento (como pilares, cortinas e paredes moldados no local), k3=0,05, já para as extrações no mesmo sentido do lançamento (como lajes), k3=0.

O efeito da umidade do testemunho é responsável pelo k4. Para os corpos de prova que forem rompidos saturados o valor de k4 será 0, já para o testemunho seco ao ar o valor de k4 será considerado -0,04.

Equação 2

$$f_{ci,ext} = [1 + (k1 + k2 + k3 + k4)] \times f_{ci,ext, inicial}$$

Fonte: NBR 7680-1:2015.

2.5 Estudos sobre ensaios no concreto

Muitos estudos já foram executados a fim de aferir a qualidade e a resistência do concreto. Conto e Lecheta (2012), analisaram o desempenho estrutural do concreto através de um estudo comparativo entre os ensaios destrutivos e não destrutivos realizados em um bloco de concreto. Os autores moldaram um bloco de

concreto de aproximadamente $0,25\text{m}^3$ e corpos de prova com o mesmo traço de concreto utilizado no bloco. Os ensaios foram realizados aos 7, 14, 21, 28 e 63 dias. Com isso, os autores concluíram que os corpos de prova moldados foram os que apresentaram melhores resistências em todas as idades e que as resistências obtidas através da esclerometria se aproximou das resistências dos corpos de prova extraídos. Além disso, o ensaio de ultrassom mostrou que o concreto utilizado obteve uma qualidade excelente, conforme observado nas resistências obtidas nos ensaios de resistência a compressão dos corpos de prova moldados.

Lima (2017), também procurou verificar a qualidade do concreto através de um comparativo utilizando os mesmos ensaios utilizados pelos autores supracitados, exceto o ensaio de ultrassom. A autora moldou um bloco de aproximadamente $0,73\text{m}^3$ de concreto e corpos de prova com o mesmo traço de concreto utilizado no bloco. Os ensaios foram realizados aos 28 e 63 dias. Com isso, a autora concluiu que o resultado da resistência média à compressão dos corpos de prova moldados supera todos os resultados médios dos outros ensaios aos 28 e 63 dias e que as resistências obtidas através da esclerometria se aproximou das resistências dos corpos de prova extraídos.

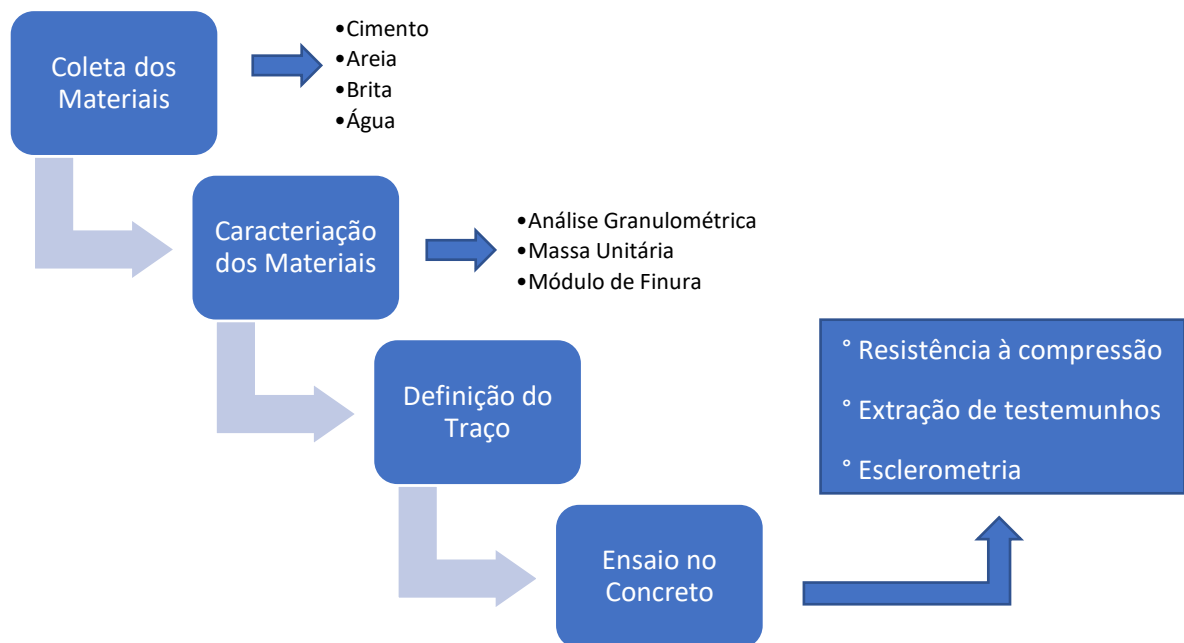
3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta o programa experimental utilizado em laboratório de forma a aferir e analisar a resistência à compressão no concreto em seu estado endurecido, através do uso dos ensaios não destrutivos e destrutivos.

Ademais, nesta parte do estudo foi abordado e classificado os tipos de materiais utilizados no preparo do concreto, além de expor os ensaios realizados nestes materiais.

Para a análise adequada dos parâmetros necessários foi escolhida uma abordagem de pesquisa experimental quali-quantitativa, em que foi executado um bloco de concreto, no qual foi realizado os ensaios destrutivos e não destrutivos, visando correlacionar os resultados obtidos nos quatro ensaios realizados para aferir a qualidade do concreto estudado. O fluxograma da Figura 11 mostra as etapas a serem seguidas neste capítulo.

Figura 11 - Etapas do programa experimental.



Fonte: Autor (2020).

3.1 Materiais

É importante determinar e caracterizar os materiais utilizados no traço do concreto, pois a geometria e a forma de cada material podem influenciar no resultado do ensaio.

Além disso, é preciso conhecer e saber classificar os materiais do concreto e a propriedade de acordo com as normas técnicas vigentes. Nesta seção foram caracterizados cada material componente no concreto.

3.1.1 Cimento

O cimento utilizado para a realização desta pesquisa foi o CP II F 32. A escolha desse tipo de cimento foi determinada pela sua comercialização no mercado local. Segundo a NM 76, este cimento possui módulo de finura igual a 2600cm²/g, resistência esperada aos 28 dias para este é maior ou igual a 32MPa e massa específica de 3,00mg/m³.

3.1.2 Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado nesta pesquisa foi a areia. Os requisitos exigidos para este foi a Dimensão Máxima Característica (DMC) de 4,75mm, ou seja, material passante na peneira de 4,75mm. A Tabela 10 expõe as características do agregado utilizados.

Tabela 10 – Granulometria da areia.

Granulometria da Areia				
Peneira (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada	% Passante
6,3	0	0	0	100
4,75	0	0	0	100
2,36	25	2,5	2,5	97,5
1,18	100	10	12,5	87,5
0,6	290	29	41,5	58,5
0,3	435	43,5	85	15
0,15	115	11,5	96,5	3,5
Fundo	35	3,5	100	0
Total	100	100	-	-

Fonte: Autor (2020).

3.1.3 Agregado Graúdo

Neste estudo optou-se por utilizar dois tipos de agregado graúdo: Brita 0 e brita 1. Foi utilizado dois tipos diferentes a fim de melhorar a distribuição granulométrica e, assim, aumentar a resistência do concreto. Foi utilizado cerca de

30% de brita 0 e 70% de brita 1. A Tabela 11 apresenta as características dos agregados graúdos (Brita 0), já a Tabela 12 apresenta as características dos agregados graúdos (Brita 1).

Tabela 11 – Granulometria dos agregados graúdos (BRITA 0).
Granulometria da Brita 0

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada	% Passante
25	0	0	0	100
19	0	0	0	100
12,5	0	0	0	100
9,5	130	13	13	87
6,3	520	52	65	35
4,75	275	27,5	92,5	7,5
2,36	65	6,5	99	1
1,18	0	0	99	1
0,6	0	0	99	1
0,3	0	0	99	1
0,15	0	0	99	1
Fundo	10	1	100	0
Total	1000	100	-	-

Fonte: Autor (2020).

Tabela 12 - Granulometria dos agregados graúdos (BRITA 1).
Granulometria da Brita 1

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada	% Passante
25	0	0	0	100
19	10	1	1	99
12,5	620	62	63	37
9,5	285	28,5	91,5	8,5
6,3	80	8	99,5	0,5
4,75	5	0,5	100	0
2,36	0	0	100	0
1,18	0	0	100	0
0,6	0	0	100	0
0,3	0	0	100	0
0,15	0	0	100	0

Fundo	0	0	100	0
Total	1000	100	-	-

Fonte: Autor (2020).

É possível observar que os valores encontrados estão em conformidade com os valores recomendados pela NBR 7211 (2009).

3.1.4 Água

A água utilizada para o preparo da mistura foi proveniente da rede de abastecimento da cidade de Fortaleza/Ce, sendo a CAGECE a empresa responsável pela distribuição de água desta cidade. A CAGECE garante que a água advinda dos seus reservatórios é potável e está de acordo com os requisitos exigidos pela NBR 15900(2009).

3.2 Métodos

Nesta seção foram definidas as práticas a serem realizadas, no tocante dos ensaios de laboratório. Além disso, foi apresentada como foi estabelecida a dosagem e os ensaios que foram realizados no concreto no seu estado fresco e no estado endurecido.

3.2.1 Dosagem do traço base

O concreto utilizado foi usinado, e o traço fornecido pela concreteira foi um traço padrão, bastante utilizado na cidade de Fortaleza/Ce. Visando uma melhor distribuição granulométrica foram escolhidos duas granulometrias de brita (B0 e B1). A distribuição de porcentagem é aproximadamente: B1 70% e B0 30%. A Tabela 13 mostra o traço base para 25Mpa.

Tabela 13 - Traço de 25Mpa Usinado.

fck (Mpa)	Consumo de material por m ³ de concreto				
	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita 0 (Kg)	Brita 1 (Kg)	Água (Kg)
25	294	263	700	837	180

Fonte: Autor (2020).

3.2.2 Volume e moldagem do bloco

Para a execução do bloco em estudo, foi executada uma forma com dimensões internas de 0,90 x 0,90 x 0,90 m, perfazendo um volume total de 0,73 m³. O lançamento do concreto foi realizado manualmente e o adensamento vibratório por meio de vibrador de imersão.

A cura do bloco foi realizada através da cura úmida, por molhagem dos blocos até a idade de 5 dias após a concretagem.

Os ensaios realizados para este estudo foram: moldagem e rompimento dos corpos de prova, extração de testemunhos e esclerometria.

3.2.4 Moldagem de corpo de prova e ensaio de resistência a compressão

Os corpos de prova utilizados para realizar o ensaio foram moldados de acordo com os parâmetros exigidos pela NBR 5738 (2015) e rompidos de acordo com as especificações contidas na NBR 5739 (2018).

Os corpos de provas foram de formato cilíndricos e possuem diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm. Para a realização dos ensaios acima citados, foram definidos como amostragem 20 elementos (corpos de prova). Estes foram rompidos com idade de 28 dias. A Tabela 14 mostra como foi executado os rompimentos dos corpos de provas com suas respectivas idades e quantidades.

Tabela 14 - Idade e quantidade de corpos de prova a serem rompidos.
Ruptura dos Corpos de Prova

Idade	Quantidade de CP's
28 dias	20 unidades

Fonte: Autor (2020).

A Figura 12 mostra exemplares de moldes de corpos de prova utilizados na moldagem destes para realizar o ensaio.

Figura 12 - Moldes de corpos de prova.



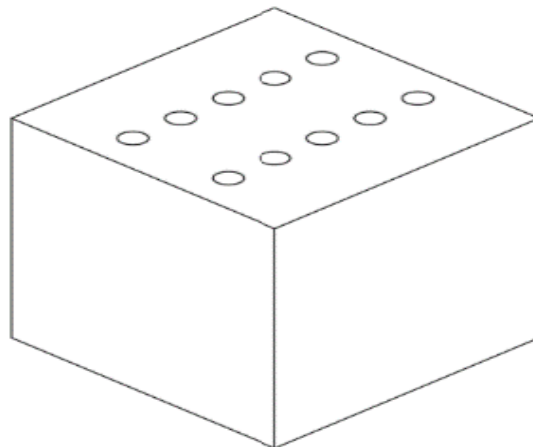
Fonte: Autor (2020).

Os 20 corpos de prova foram moldados em um terreno localizado no município de Caucaia/CE, num local protegido de intempéries. Após 24 horas da moldagem foram colocados em um tanque, onde permanecerão até a data da execução do ensaio. Na data prevista para a realização dos ensaios, aos 28 dias, foram rompidos na condição saturado superfície seca.

3.2.5 Extração de testemunhos

Os testemunhos do bloco foram extraídos 28 dias após a concretagem, sendo estes, extraídos de forma normal à concretagem. Para o rompimento após os 28 dias foram rompidos os 06 testemunhos extraídos de tamanho (10x20) cm. A Figura 13 mostra a localização de onde foram extraídos os testemunhos para a realização do ensaio.

Figura 13 - Localização das extrações a serem executadas no bloco.



**NORMAL
À CONCRETAGEM**

Fonte: Autor (2020).

As extrações foram executadas as recomendações das normas NBR 7680:2010, por meio de um equipamento da marca HILTI, composto de sonda rotativa, dotada de coroa diamantada resfriada por água, para se minimizarem as vibrações e os possíveis danos ou ondulações nos testemunhos, as sondas extratoras foram adequadamente fixadas com parafusos.

A preparação e a extração foram realizadas por uma empresa especializada, efetuada por operador experiente, não havendo quebras de testemunhos.

Após a extração, os testemunhos extraídos foram levados ao laboratório e cortados numa serra provida de um disco diamantado e refrigerado de água, com o objetivo de perfazer a relação h/d igual a 2.

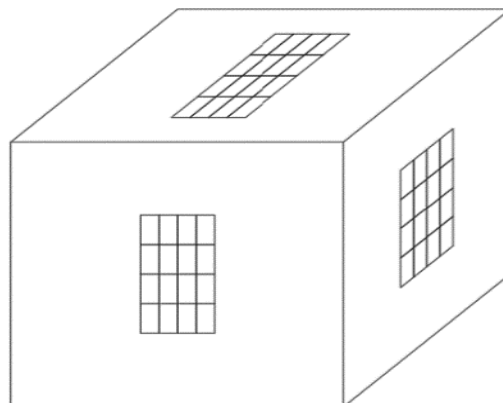
Após esse corte, os testemunhos foram retificados na retífica horizontal da marca Fortest e armazenados nos tanques até a data do ensaio.

Os resultados da ruptura dos testemunhos foram calculados de acordo com a norma ABNT NBR 7680-1:2015 – Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estrutura de concreto- Parte 1: Resistência à compressão.

3.2.6 Esclerometria

Os ensaios de esclerometria foram realizados nas mesmas datas dos rompimentos dos corpos de prova e dos testemunhos. Foram escolhidos 04 pontos para realizar a esclerometria aos 28 dias, sendo estes pontos localizado nas faces laterais do bloco. A Figura 14 mostra a localização dos pontos escolhidos para a realização do ensaio.

Figura 14 - Localização dos pontos no bloco de Concreto.



Fonte: Autor (2020).

A superfície do bloco escolhido para realizar os ensaios foi limpa e isenta de ninhos e pedras, foi preparada realizando o polimento com uma pedra de carborundo e demarcada a área, onde foram marcados e aplicados 16 impactos em cada ensaio.

O equipamento utilizado no ensaio foi um esclerômetro da marca Schmidt do tipo N, com energia de percussão de 2,25 J. A curva de correlação do esclerômetro foi utilizada para que desta forma possa haver a comparação dos resultados da esclerometria com a resistência à compressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo serão expostos e analisados os resultados dos ensaios realizados no concreto desenvolvidos durante o trabalho, tanto no estado fresco como no estado endurecido. Ainda nesta sessão serão levantadas e analisadas indagações mediante aos resultados encontrados, de forma comparativa e correlativa a mostrar a resistência e a característica do concreto estudado.

4.1 Resultados dos ensaios

Inicialmente são apresentados os resultados dos ensaios realizados no concreto: resistência à compressão de corpos de provas moldados, resistência a compressão dos testemunhos extraídos e o resultado da esclerometria, após será feito um gráfico comparativo entre os resultados encontrados de cada ensaio.

4.1.1 Resistência à compressão de corpos de prova moldados

No dia 14/10/2020 foram moldados 20 corpos de prova e o ensaio de resistência à compressão destes foi realizado no dia 11/11/2020. Os corpos de prova moldados foram do tamanho de 10x20 cm, e a resistência obtida por eles está apresentada na Tabela 15, bem como a média das resistências, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Tabela 15 - Resistência à compressão dos corpos de prova moldados aos 28 dias.

Resistência à Compressão (Mpa)	
Corpo de Prova	Idade
	28 dias
1	26,52 MPa
2	25,17 Mpa
3	25,33 Mpa
4	25,89 Mpa
5	28,00 Mpa
6	27,20 Mpa
7	26,17 Mpa
8	25,64 Mpa
9	27,39 Mpa
10	25,12 Mpa
11	26,01 Mpa
12	25,11 Mpa

13	27,03 Mpa
14	28,38 Mpa
15	27,95 Mpa
16	25,31 Mpa
17	25,63 Mpa
18	25,03 Mpa
19	26,74 Mpa
20	25,49 Mpa
Média (Mpa)	26,25 Mpa
Desvio Padrão (Mpa)	1,07 MPa
Coef. De Variação %	4,08%

Fonte: Autor (2020).

As resistências expostas na Tabela 15 foram decorrentes do ensaio de resistência à compressão de corpos de prova moldados. Tais resultados foram satisfatórios, visto que a resistência média de projeto era de 25Mpa.

Esse ensaio foi realizado no laboratório da empresa contratada, e o equipamento utilizado para realizar a medição foi a prensa Fortest 200tf. A Figura 15 mostra o momento em que estava sendo executado o ensaio de resistência a compressão dos corpos de prova moldados.

Figura 15 - Ensaio de resistência a compressão em corpos de prova moldados.



Fonte: Autor (2020).

4.1.2 Resistência à compressão de corpos de prova extraídos

O bloco utilizado para a realização desta pesquisa foi moldado dia 14/10/2020 e a extração dos testemunhos foi realizada dia 11/11/2020.

Os corpos de prova extraídos foram de 10x20 cm, e a resistência obtida por eles está apresentada na Tabela 16, bem como a média das resistências, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Os resultados da resistência dos testemunhos extraídos são identificados como $f_{c,ext, inicial}$, entretanto, os resultados devem ser corrigidos pelos coeficientes de k_1 , k_2 , k_3 e k_4 , sendo os valores obtidos informados como $f_{c,ext}$.

Os coeficientes de correção dos 06 corpos de prova extraídos são os seguintes:

- $k_1 = 0$, pois a relação $h/d = 2$
- $k_2 = 0,06$, pois o diâmetro utilizado nas extrações foi de 100 mm
- $k_3 = 0$ pois o sentido da extração foi no sentido do lançamento do concreto
- $k_4 = -0,04$, pois o testemunho foi rompido seco ao ar

Tabela 16 - Resistência à compressão dos corpos de prova extraídos aos 28 dias.

Resistência à Compressão (Mpa)						
Corpo de Prova	$f_{c,ext, inicial}$ (Mpa)	K1	K2	K3	K4	$f_{c,ext}$ (Mpa)
1	19,18 MPa	0	0,06	0	-0,04	19,56 MPa
2	21,33 MPa	0	0,06	0	-0,04	21,76 MPa
3	21,23 MPa	0	0,06	0	-0,04	21,65 MPa
4	22,42 MPa	0	0,06	0	-0,04	22,87 MPa
5	21,26 MPa	0	0,06	0	-0,04	21,69 MPa
6	20,42 MPa	0	0,06	0	-0,04	20,83MPa
Média (Mpa)						21,46 MPa
Desvio Padrão (Mpa)						1,14 MPa
Coef. De Variação %						5,31%

Fonte: Autor (2020).

As resistências apresentadas na Tabela 16 foram decorrentes do ensaio de resistência à compressão de corpos de prova extraídos. Tais resultados não foram

satisfatórios, visto que a resistência advinda da extração foi menor que a resistência dos corpos de prova moldados.

A extração foi feita por uma empresa terceirizada e o preparo das bases dos corpos de prova e o ensaio de resistência a compressão nos testemunhos foi realizado em laboratório de uma empresa terceirizada. O equipamento utilizado para realizar a medição da resistência à compressão foi a prensa Fortest 200tf. A Figura 16 mostra o momento em que estava sendo executado o ensaio de resistência a compressão dos corpos de prova moldados.

Figura 16 - Ensaio de resistência a compressão em corpos de prova extraídos.



Fonte: Autor (2020).

4.1.3 Esclerometria

No ensaio de esclerometria encontramos o índice esclerométrico médio efetivo, onde através desse valor correlacionamos com as resistências à compressão. Na Tabela 17 encontram-se os resultados obtidos nos ensaios de esclerometria.

Tabela 17 - Resultados obtidos nos ensaios de esclerometria aos 28 dias.

Leituras das Peças Estruturais				
Ponto/Elemento	P1	P2	P3	P4
1	31	36	31	31
2	26	30	38	24

3	33	31	28	24
4	31	30	31	32
5	28	35	33	35
6	29	34	32	31
7	27	34	31	31
8	32	33	29	35
9	32	34	35	31
10	31	40	36	31
11	39	35	30	33
12	35	32	35	32
13	34	33	36	31
14	36	30	35	41
15	31	28	34	34
16	25	35	35	30
Índice Esclerométrico Médio Inicial	31,3	33,1	33,1	31,6
Limite Superior	34,4	36,4	36,4	34,8
Limite Inferior	28,1	29,8	29,8	28,5
Índice Esclerométrico Médio Final	31,6	33,0	33,4	31,6
Índice Esclerométrico Efetivo	31,6	33,0	33,4	31,6
Ângulo (°)	0	0	0	0
Resistência (Mpa)				
Resistência (Mpa)	17,80	19,14	19,51	17,80
Índice Esclerométrico Médio	32,4			
Média (Mpa)	18,56			
Desvio Padrão (Mpa)	0,89 Mpa			
Coef. De Variação (%)	4,79%			

Fonte: Autor (2020).

As resistências apresentadas na Tabela 17 foram decorrentes do ensaio de esclerometria. A esclerometria foi realizada no bloco no dia 11/11/2020 no local onde o bloco foi moldado e concretado, e o equipamento utilizado para realizar a medição foi o esclerômetro da marca Engetotus. A Figura 17 mostra o momento em que estava sendo executado o ensaio de resistência a compressão dos corpos de prova moldados.

Figura 17 – Ensaio de esclerometria.



Fonte: Autor (2020).

4.2 Comparativo dos resultados dos ensaios

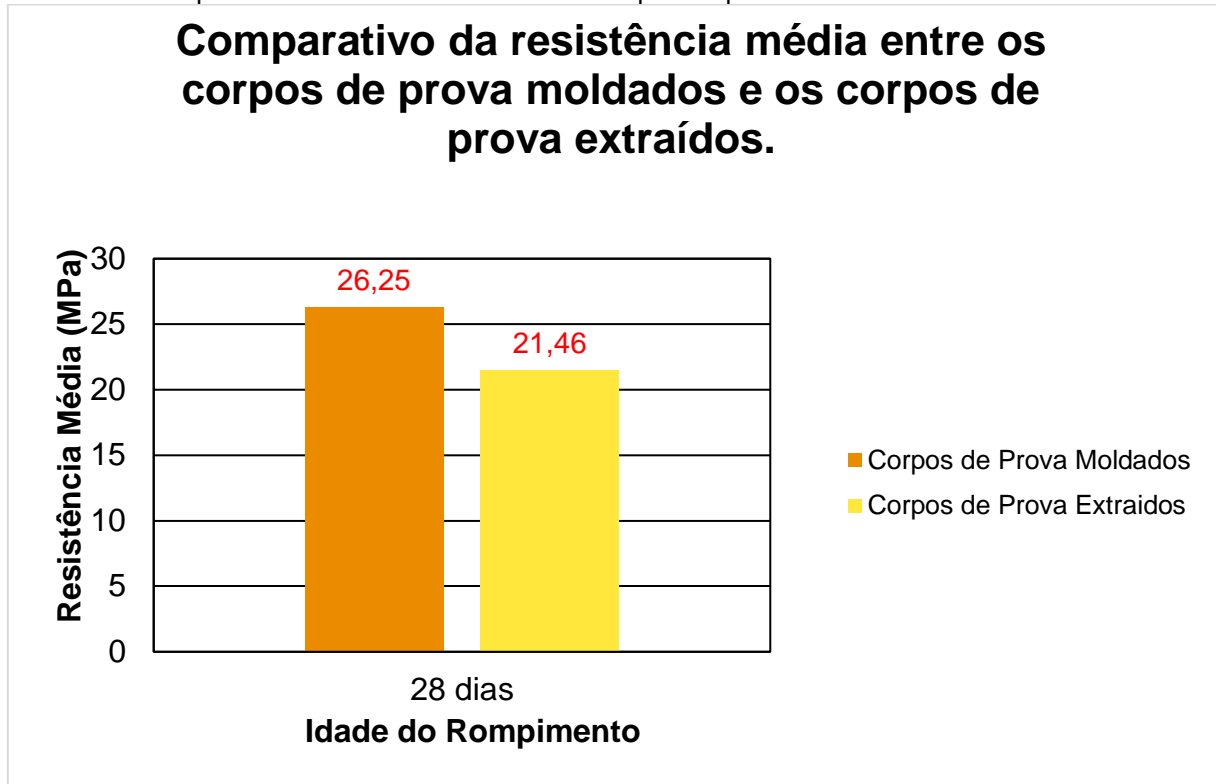
O ensaio da resistência a compressão dos corpos de prova moldados é o mais utilizado nas obras quando a intenção é aferir a qualidade do concreto. Este tem fator determinante na aceitação ou rejeição do concreto.

Desta forma, nesta análise será considerado o ensaio da resistência média dos corpos de prova moldados em relação aos demais ensaios de extração de testemunhos e esclerometria.

4.2.1 *Corpos de prova moldados x Corpos de prova extraídos*

No Gráfico 1 apresenta um comparativo entre a resistência médias dos corpos de prova 10x20 cm moldados e a resistências médias dos testemunhos extraídos de 10x20 cm na idade de 28 dias.

Gráfico 1 - Comparativo entre as resistências dos corpos de prova moldados e extraídos.



Fonte: Autor (2020).

Através do Gráfico 1 supracitado, foi possível observar que a resistência média dos corpos de prova moldados é superior à resistência média dos corpos de prova extraídos.

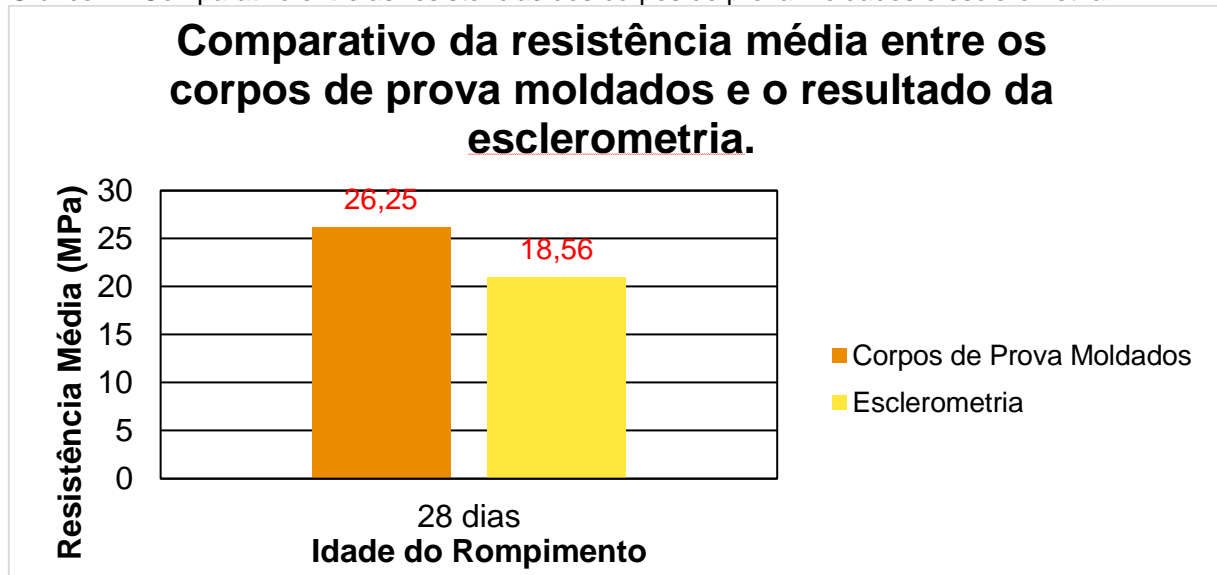
Essa diferença entre as resistências dos corpos de prova era esperada, visto que a perda de resistência nos corpos de prova extraídos pode ocorrer por uma série de fatores, dentre eles, mal execução da cura no bloco. Além disso, na extração a estrutura é danificada, passando por um processo invasivo. Ademais, outra coisa que pode interferir nos resultados é a preparação dos corpos de prova extraídos, pois é necessário cortar, retificar e capear os testemunhos, e isso não é um processo fácil de se fazer.

Nesta obra, a resistência a compressão dos corpos de prova moldados foi maior que o fck de projeto, e, na prática, não seria necessária a realização da extração dos testemunhos. Mas caso esta resistência estivesse sido menor? O que deveria ser feito? O procedimento a ser feito seria entrar em contato com o engenheiro calculista e ele verificaria se passaria ou não.

4.2.2 Corpos de prova moldados x Esclerometria

No Gráfico 02 apresenta um comparativo entre a resistência médias dos corpos de prova 10x20 cm moldados e dos valores encontrados na esclerometria na idade de 28 dias.

Gráfico 2 - Comparativo entre as resistências dos corpos de prova moldados e esclerometria.



Fonte: Autor (2020).

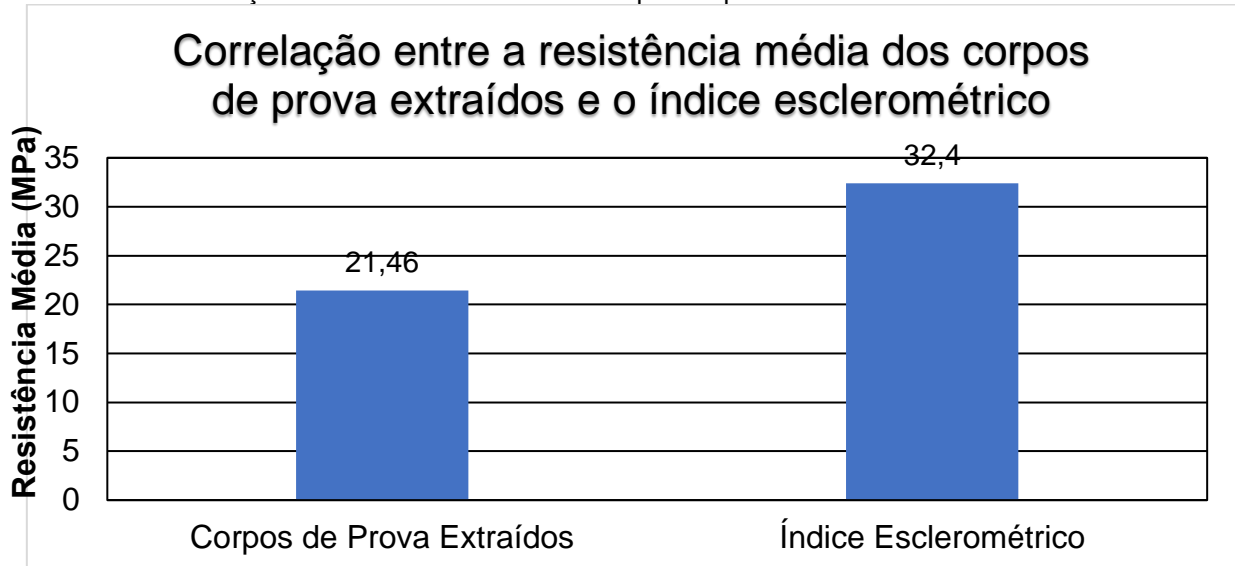
Através do Gráfico 2 mencionado acima, foi possível identificar que a resistência média dos corpos de prova moldados foi inferior à resistência média obtida pelo ensaio de esclerometria.

Comparando as resistências obtidas no ensaio de compressão dos corpos de prova moldados e do ensaio de esclerometria, e adotando a fórmula de conversão utilizada pelo LARREB, é possível verificar que a resistência dos corpos de prova moldados é maior que a resistência obtida na esclerometria. Vale ressaltar que a resistência média encontrada no ensaio de esclerometria utilizou a fórmula do LARREB como modelo. O ideal é que cada obra/construtora possua sua fórmula/conversão!

4.2.3 Corpos de prova extraídos x Índice Esclerometria

Através do Gráfico 3 exposto acima, foi possível identificar uma correlação entre a resistência média dos corpos de prova extraídos e o índice esclerométrico

Gráfico 3 - Correlação entre as resistências dos corpos de prova extraídos e índice esclerométrico.



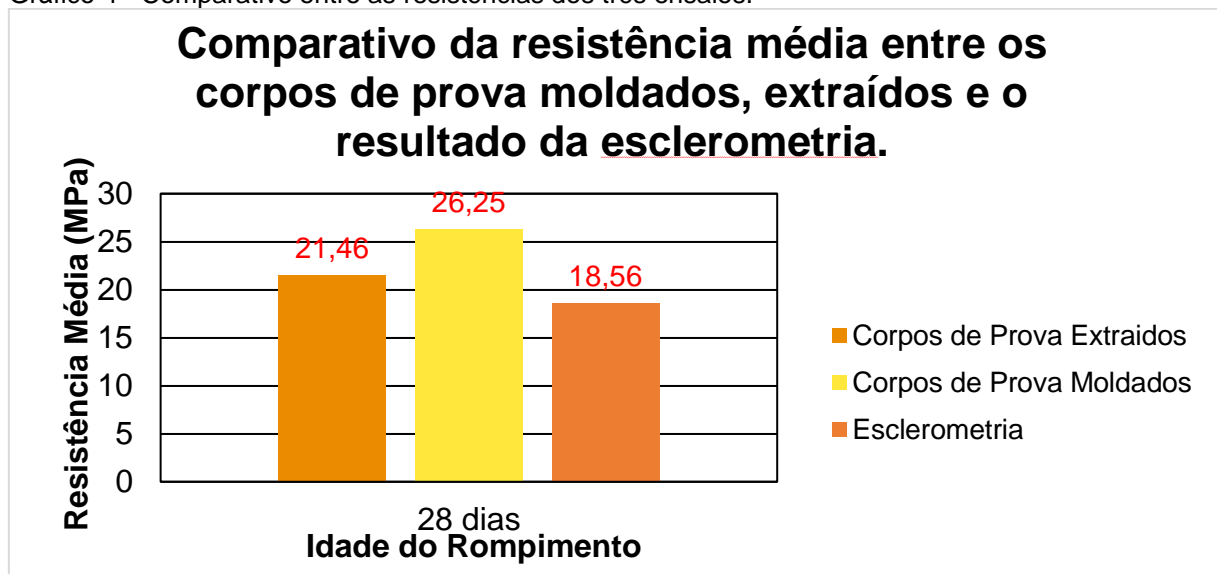
Fonte: Autor (2020).

Essa correlação me diz que um índice esclerométrico de 32,40 Mpa corresponde a uma resistência média efetiva de 21,46 Mpa. Com isso, se fosse preciso fazer esclerometria em outros pontos nesta mesma obra, poderia levar em consideração o valor desse índice esclerométrico em relação a resistência efetiva, tornando desnecessário a necessidade de realizar novas extrações.

4.2.4 Resultado do experimento

O Gráfico 04 apresenta um comparativo dos três ensaios realizados no concreto aos 28 dias.

Gráfico 4 - Comparativo entre as resistências dos três ensaios.



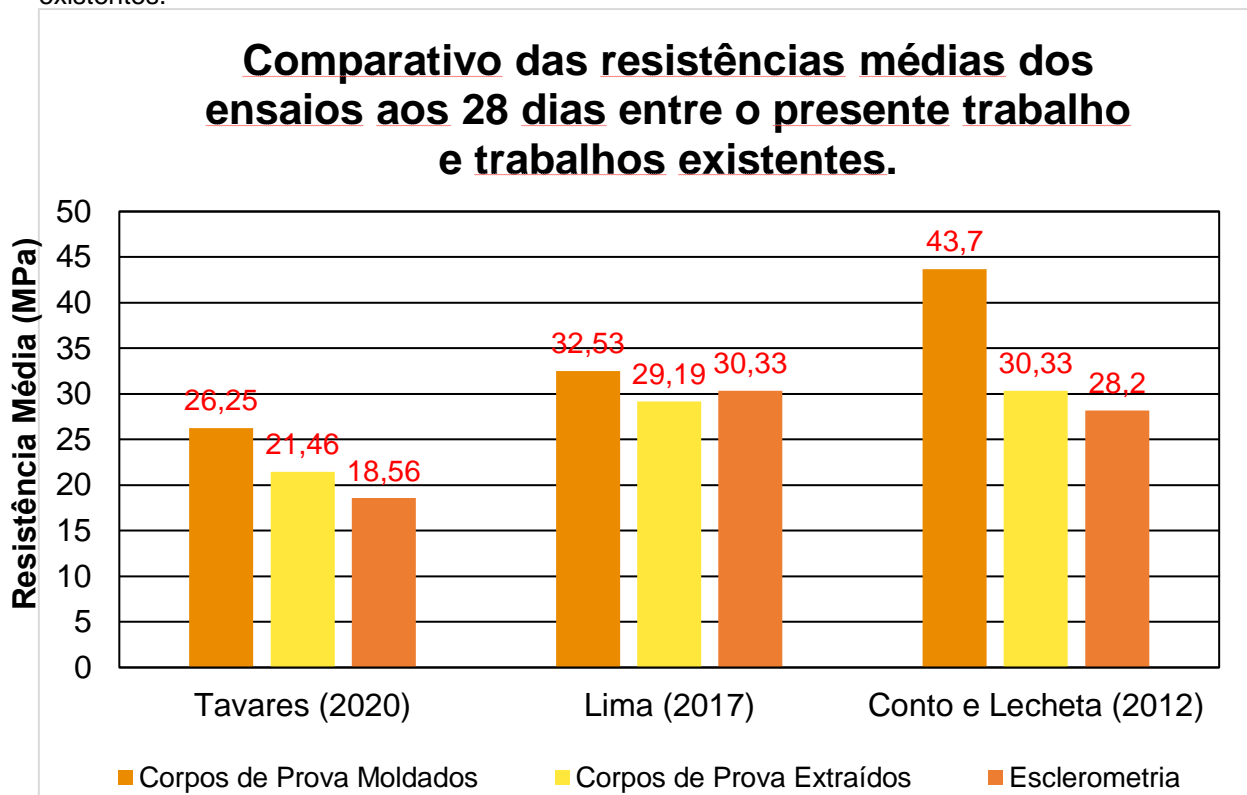
Fonte: Autor (2020).

Assim, os resultados dos meus 03 ensaios foram esses: 21,46 para a resistência média dos corpos de prova extraídos; 26,25 para a resistência média dos corpos de prova moldados; e 18,56 para o ensaio de esclerometria utilizando a fórmula do LARREB.

O resultado encontrado no Gráfico 4 mostra que a resistência média à compressão aos 28 dias foi conforme ao especificado em projeto (resistência potencial) nos ensaios da moldagem dos corpos de prova, entretanto, na extração e na esclerometria a resistência média (resistência efetiva) não atingiu ao fck,est do projeto de 25 MPa, mas o resultado obtido na extração foi muito próximo.

O Gráfico 05 apresenta um comparativo entre os resultados obtidos em três pesquisas deferente.

Gráfico 5 - Comparativo entre as resistências dos ensaios do presente trabalho e de pesquisas existentes.



Fonte: Autor (2020).

É possível observar que em todas as 03 pesquisas, a resistência à compressão dos corpos de prova moldados foi maior que a resistência dos corpos de prova extraídos.

Assim, pode-se concluir que mesmo a NBR 7680-1 ter sido revisada em 2015, considerando esses coeficientes de ponderação, o que se vê na prática é que ainda existe uma divergência relevante entre os resultados das resistências dos corpos de prova moldados e dos corpos de prova extraídos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusão

As análises apresentadas anteriormente partem do resultado da resistência média à compressão do concreto estudado nesta pesquisa, nos ensaios realizados de: moldagem dos corpos de prova 10x20 cm, extração dos testemunhos de 10x20 cm e da esclerometria.

Com a análise quantitativa das resistências à compressão do concreto deste estudo foi possível obter fatores de correlação do índice esclerométrico com valores de resistência à compressão dos corpos de prova extraídos, podendo, assim, corrigir o efeito das extrações de testemunhos no IE.

Outrossim, o objetivo geral do trabalho foi alcançado, pois através dos ensaios realizados no laboratório foi possível averiguar uma correlação entre a resistência à compressão do concreto nos corpos de prova extraídos e o índice esclerométrico.

Quanto aos objetivos específicos:

a) Foi estabelecida a resistência potencial do concreto por meio dos corpos de prova moldados e foi observado que alcançou um resultado satisfatório, tendo em vista que o fck de projeto era de 25MPa e a resistência média encontrada foi de 26,25MPa.

b) Foi estabelecida a resistência efetiva do concreto por meio dos testemunhos extraídos e foi observado que o resultado encontrado não foi satisfatório, tendo em vista que o fck de projeto era de 25MPa e a resistência média encontrada foi de 21,46MPa. Isso nos mostra que por mais que a NBR 7680-1:2015 ter sido revisada recentemente, considerando esses coeficientes de ponderação, é notório que ainda existem diferenças entre as resistências potenciais e efetivas.

c) Foi estabelecido o índice esclerométrico e, utilizando a fórmula do LARREB, foi convertido o índice esclerométrico em resistência à compressão. O resultado da conversão não foi satisfatório, pois a resistência encontrada foi menor que o esperado. Isso nos mostra o quanto é importante cada obra ter sua própria fórmula de conversão, tendo em vista que os resultados podem variar bastante.

Além disso, foi encontrado uma correlação entre o índice esclerométrico e a resistência efetiva. Essa correlação apontou um índice esclerométrico de 32,40 Mpa como uma resistência média efetiva de 21,46 MPa, o que permite levar em

consideração o valor desse índice esclerométrico em relação a resistência efetiva, tornando desnecessário a necessidade de realizar novas extrações.

d) Por fim, foi comparado as resistências dos três ensaios desta pesquisa. Além disso, foi comparado os resultados desta pesquisa com os resultados das pesquisas existentes. Em todas as três pesquisas, a resistência efetiva foi menor que a resistência potencial.

A partir dos resultados expostos pode-se concluir que a correlação entre ensaios no concreto é importante, pois torna desnecessário realização de ensaios destrutivos em grande quantidade. No caso desta pesquisa, foi possível provar que a correlação reduz o número de extrações em uma obra, tendo em vista que foi correlacionado o índice esclerométrico e a resistência efetiva.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestão para futuros trabalhos podem ser propostas os seguintes estudos:

- Fazer um estudo semelhante utilizando concreto auto-adensável, que é bastante utilizado no município de Fortaleza/CE.
- Realizar o ensaio do ultrassom, paralelamente aos ensaios aqui estudados, como forma de analisar a sua correlação.
- Realizar o mesmo trabalho em diferentes obras a fim de verificar a variação entres as obras.
- Realizar o mesmo trabalho utilizando concreto de usinas diferentes.
- Realizar rompimento dos corpos de prova aos 14, 28 e 63 dias a fim de verificar a evolução da resistência do concreto.
- Realizar o mesmo trabalho em diferentes volumes a fim de verificar e estudar fatores relacionados à temperatura.

REFERÊNCIAS

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2019. Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/cms/sustentabilidade/meio-ambiente/sustentabilidade-meio-ambiente/>>. 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).

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

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.

CLUBE DO CONCRETO. Eng. Ruy Serafim de Teixeira Guerra, 29 mai 2016. Disponível em :<<http://www.clubedoconcreto.com.br/2016/05/curvas-de-abrams.html>>. Acesso em 23 mar 2019.

CLUBE DO CONCRETO. Eng. Ruy Serafim de Teixeira Guerra, 20 jul 2016. Disponível em :< http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/o-que-e-slump-test-ensaio-de-abatimento_29.html>. Acesso em 26 out 2019.

DINIZ, José Zamarion Ferreira. Concreto: Material construtivo mais consumido no mundo. **Concreto e construções**, n. 53, 2009. Disponível em: < http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf>. Acesso em: 28 maio 2020.

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

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

MEDEIROS, Giovana. **“Métodos de ensaios não destrutivos para estruturas de concreto”** Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinza/metodos-de-ensaios-naodestruativos-para-estruturas-de-concreto/> acesso em: 01/05/2011.

MEHTA, P.K.;MONTEIRO P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 3.ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 2. ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2014. 751 p.

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

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

<http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf>. Acesso em: 18 out. 2014.

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, E; DEMOLINER, C. A. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: Abordagem geral**. Revista Técnico-Científica do CREA-PR - ISSN 2358-5420 - 1ª edição – Outubro de 2013

SAHUINCO M. H. C., **Utilização de métodos não destrutivos e semi destrutivos na avaliação de pontes de concreto**. 2011. 170 f. Tese (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2011.

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).