

Murillo Henrique Sardinha Gomes

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS
PARA A DETERMINAÇÃO DO FCK DO CONCRETO.

Palmas – TO

2020

Murillo Henrique Sardinha Gomes

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS
PARA A DETERMINAÇÃO DO FCK DO CONCRETO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Msc. Denis Cardoso Parente.

Palmas – TO

2020

Murillo Henrique Sardinha Gomes

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS
PARA A DETERMINAÇÃO DO FCK DO CONCRETO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Msc. Denis Cardoso Parente.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Denis Cardoso Parente

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Msc. Fernando Moreno Suarte Júnior

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Dr. Fabio Henrique de Melo Ribeiro

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas - TO

2020

AGRADECIMENTOS

À Deus por minha saúde, força e perseverança de superar todos os obstáculos.

Agradeço a minha mãe Wanderlucy Sardinha Benedito por me apoiar em minhas decisões e me possibilitar realizar essa conquista, mesmo com todas as dificuldades que surgiram no decorrer da graduação, se manteve firme e hoje estou aqui, graças a ela.

Agradeço a minha namorada Mylena Barroso que é uma das pessoas mais especiais que eu tenho e sempre esteve ao meu lado me apoiando.

Agradeço aos meus amigos Larissa Aires, Mateus Lacerda, que em momentos me ajudaram e apoiaram na execução desta pesquisa.

Agradeço ao meu orientador Dênis Cardoso, que através dos seus conhecimentos, incentivos disponibilizados e do direcionamento, tornaram capaz a realização dessa pesquisa.

RESUMO

GOMES, M. H. S. análise comparativa dos métodos destrutivos e não destrutivo para a determinação do fck do concreto. 53f. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil). Centro Universitário Luterano de Palmas. Ao projetar e executar uma estrutura de concreto pretende-se que ela apresente segurança compatível com sua responsabilidade. Contudo, as especificações e projetos são estabelecidos parâmetros de qualidade que devem ser controlados durante e após a execução. Esses parâmetros dependem do tipo da estrutura, do que será submetida e do meio à qual irá atuar. Os ensaios não destrutivos se apresentam como uma ferramenta já consolidada no monitoramento da durabilidade das estruturas de concreto. Dentre as técnicas não destrutivas, o ensaio de esclerometria, permitem uma análise qualitativa das características do concreto quanto à dureza superficial e homogeneidade, respectivamente. O presente trabalho tem como objetivo fazer a correlação de ensaio não destrutivo (esclerometria) com os dados de resistência à compressão do concreto por meio de curva de correlação. Para isso, foram utilizados corpos de prova cilíndricos para a moldagem de concreto usinado com resistência à compressão aos 28 dias de 30Mpa. foram moldados e ensaiados. Aos 28 dias, ensaios destrutivos de resistência à compressão e esclerometria foram realizados. Curvas de correlação foram analisadas de modo a permitir uma ferramenta para estimar a resistência à compressão dos concretos. Os resultados obtidos demonstraram curvas com fatores de correlação confiáveis. Os ensaios para averiguação do fck são: extração de testemunho e esclerometria. É importante determinar a resistência do concreto em uma peça já executada, pois assim chegará à conclusão de que o concreto realmente atende ou não a resistência exigida no projeto estrutural. Esses ensaios destrutivos e não destrutivos são exigidos quando supostamente o concreto não atinge o fck, com os ensaios a compressão moldados in loco. Esse concreto deve ser localizado e identificado para possibilitar a averiguação através de ensaios específicos.

PALAVRA-CHAVE: Ensaio de Extração, Ensaios não Destrutivos, Esclerometria, Resistência à Compressão.

ABSTRACT

GOMES, M. H. S. comparative analysis of destructive and non-destructive methods for determining the concrete fck. 53f. 2020. Course conclusion work (Civil Engineering). Lutheran University Center of Palmas. When designing and executing a concrete structure, it is intended that it presents security compatible with its responsibility. However, specifications and projects are established quality parameters that must be controlled during and after execution. These parameters depend on the type of structure, what will be submitted and the medium to which it will act. Non-destructive tests are presented as a tool already consolidated in monitoring the durability of concrete structures. Among the non-destructive techniques, the sclerometry test, allows a qualitative analysis of the characteristics of the concrete in terms of surface hardness and homogeneity, respectively. The present work aims to correlate a non-destructive test (sclerometry) with the compressive strength data of concrete through a correlation curve. For this, cylindrical specimens were used for the molding of machined concrete with compressive strength at 28 days of 30Mpa. were molded and tested. At 28 days, destructive tests of resistance to compression and sclerometry were performed. Correlation curves were analyzed in order to allow a tool to estimate the compressive strength of concretes. The results obtained showed curves with reliable correlation factors. The tests for ascertaining the fck are: testimony extraction and sclerometry. It is important to determine the strength of the concrete in a part that has already been made, as this will lead to the conclusion that the concrete does or does not meet the strength required in the structural design. These destructive and non-destructive tests are required when the concrete is not supposed to reach the fck, with the compression tests molded in loco. This concrete must be located and identified to enable the investigation through specific tests.

KEYWORD: Extraction Testing, Non-Destructive Testing, Sclerometry, Compression Resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Classe de agressividade ambiental (CAA).....	9
Figura 02 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental.....	10
Figura 03 - Classes de consistência.....	11
Figura 04 - Ruptura à compressão de concretos com resistência de até 40 Mpa.....	13
Figura 05 - Resistências médias esperadas de testemunhos extraídos em diferentes alturas de um pilar.....	14
Figura 06 - Correção da resistência do concreto em diferentes relações h/d.....	15
Figura 07 - Detalhes esclerômetro Schmidt – Tipo N.....	16
Figura 08 – Esquema simplificado do funcionamento mecânico do esclerômetro.....	16
Figura 09 - Modelo simplificado do funcionamento mecânico do esclerômetro.....	17
Figura 10 - Equações propostas por diversos autores para a correlação entre resistência à compressão (f_c) e velocidade de onda (V).....	18
Figura 11 –Determinação da massa unitária do agregado graúdo.....	20
Figura 12 –Determinação da massa específica do agregado miúdo.....	21
Figura 13 - Ensaio de granulometria.....	21
Figura 14– Determinação pulverulento do agregado miúdo.....	22
Figura 15 – Caminhão Betoneira	23
Figura 16– Moldagem de Corpos de Prova.....	23
Figura 17 - Slump Traço.....	24
Figura 18 – Ensaio de resistência a compressão axial.....	25

Figura 19 – Ensaio de Esclerometria.....	27
Figura 20 – Ensaio de Extração de Testemunho.....	27
Figura 21 – Corpos de Provas Extraídos.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ensaio de massa unitária, massa específica dos agregados e pulverulento.....	29
Tabela 2 – Resultados dos ensaios de massa específica, slump do concreto no estado fluido.....	30
Tabela 3 – Resultados dos ensaios a compressão axial.....	31
Tabela 4 – Resultados dos ensaios de Esclerometria	33
Tabela 5 – Resultados dos ensaios de Extração de testemunho.....	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação dos ensaios a compressão axial.....	31
Gráfico 2 - Comparação dos ensaios de esclerometria.....	33
Gráfico 3 - Resultados da correlação entre o índice esclerométrico efetivo e resistência à compressão axial.....	34
Gráfico 4 - Comparação dos ensaios Extração de testemunho.....	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
1.2. OBJETIVOS.....	7
1.2.1. OBJETIVO GERAL.....	7
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
1.3. JUSTIFICATIVA.....	7
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	9
2.1. DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	9
2.2. PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	10
2.2.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	10
2.3. PARÂMETROS NORMATIVOS VISANDO O CONTROLE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	11
2.3.1. MOLDAGEM E CURA DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETO.....	11
2.4. MÉTODOS DE TESTES EM ESTRUTURAS.....	12
2.4.1. DESTRUTIVOS.....	12
2.2.1.1. EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHO.....	12
2.4.2. NÃO DESTRUTIVO.....	15
2.4.2.1. POR MEIO DA AVALIAÇÃO DA DUREZA SUPERFICIAL PELO ESCLERÔMETRO DE REFLEXÃO.....	15
3. METODOLOGIA.....	19
3.1. ESCOLHAS DO MATERIAIS.....	19
3.1.1. AGREGADO GRAÚDO.....	19
3.1.2. AGREGADO MIÚDO.....	19
3.1.3. AGLOMERANTE.....	20
3.1.4. ADITIVO.....	20
3.1.5. ÁGUA.....	20
3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	20
3.2.1. DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA.....	20
3.2.2. DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA.....	21
3.2.3 .DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS.....	22
3.3 DOSAGEM DO CONCRETO.....	22
3.4 FABRICAÇÃO DO CONCRETO.....	22
3.5MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.....	23

3.6. ENSAIOS UTILIZADOS.....	24
3.6.1. ENSAIOS NO ESTADO FLUIDO	24
3.6.2. SLUMP.....	24
3.6.3. ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO	24
3.6.3.1. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL.....	24
3.7. ESCLEROMETRIA	26
3.8. ENSAIO DE TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	29
4.1.1 MASSA UNITÁRIA, MASSA ESPECÍFICA E PULVERULENTO.....	29
4.2 ENSAIOS NO ESTADO FLUIDO DO CONCRETO.....	29
4.3 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO DO CONCRETO	30
4.3.1 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL	30
4.3.2. ENSAIO DE ESCLEROMETRIA	32
4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE ESCLEROMETRIA	32
4.4.1.AVALIAÇÃO DO ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO MÉDIO	32
4.5. ENSAIO DE EXTRAÇÃO	35
5. CONCLUSÃO.....	40
5.1.SUGESTÕES PARA FUTUROS ESTUDOS.....	41
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

Ao projetar e executar uma estrutura de concreto pretende-se que ela apresente segurança compatível com sua responsabilidade. Contudo, as especificações e projetos são estabelecidos parâmetros de qualidade que devem ser controlados durante e após a execução. Esses parâmetros dependem do tipo da estrutura, do que será submetida e do meio à qual irá atuar.

Considerando que o concreto é constituído de diversos elementos com formas, dimensões e propriedades variadas, portanto, existe a necessidade de um controle tecnológico presente e consistente, tendo em vista evitar problemas principalmente no seu estado endurecido.

De acordo com RAUBER (2015) o principal parâmetro de controle de qualidade para o concreto é sua resistência característica a compressão (f_{ck}), que é determinado em projeto. Portanto o controle é efetivado, através de o rompimento de corpos de provas moldados in loco, com idade entre 7 e 28 dias. Sendo que a resistência característica a compressão após os 28 dias determina se o concreto atende o f_{ck} especificado em projeto.

Porém, quando há necessidade de determinar a resistência do concreto em uma peça já executada, os ensaios para averiguação do f_{ck} indicados são: extração de testemunho e esclerometria. Esses ensaios destrutivos e não destrutivos são exigidos quando o concreto não atinge o f_{ck} , com os ensaios a compressão moldados in loco. Esse concreto deve ser localizado e identificado para possibilitar a averiguação através de ensaios específicos.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar os principais meios de controle de qualidade, através de ensaios experimentais *in loco*. Utilizando resultados de corpos de provas moldados *in loco*, a fim de comparar com os demais métodos, tendo como método destrutivo a extração de testemunho e ensaio de esclerometria como não destrutivo.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar peças de concreto armado de uma determinada empresa de torre de transmissão.
- Determinar a resistência a compressão dos corpos de provas moldados *in loco*.
- Determinar a resistência da peça por meio dos ensaios de extração de testemunho e esclerometria (destrutivos e não destrutivos).
- Comparar os resultados a compressão dos ensaios de esclerometria e extração de testemunho com a resistência dos Corpos de provas moldados *in loco*.

1.3. JUSTIFICATIVA

Considerando o crescimento da construção civil no âmbito mundial, e a falta do cumprimento de regras para o controle tecnológico do concreto, RAUBER (2015) explana sobre o aparecimento de problemas que geram dúvidas quanto à qualidade e durabilidade do concreto, portanto, se faz necessário estudar ensaios nos quais verifiquem a qualidade e durabilidade do concreto.

Em estruturas de concreto armado podem ocorrer acidentes, e os fatores variam entre erros de projeto, execução ou má utilização, portanto, com o intuito de minimizar acidentes, foram feitos estudos para determinar a resistência através de ensaios destrutivos e não destrutivos. Cada ensaio tem diferentes características, sendo elas; Precisão, equipamentos, execução, custo ou danos a estrutura.

De acordo com (SILVA et al, 2013) um dos métodos mais utilizados atualmente é extração de testemunho, no entanto, existe a necessidade de uma considerável quantidade de testemunhos para uma avaliação precisa, além disto, esta metodologia pode danificar a estrutura e comprometer seu desempenho, caso não seja considerado os esforços atuantes na peça.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

A NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de Concreto armado – Procedimento, impõe determinações a serem cumpridas durante a concepção de estruturas de concreto armado, para que assim, se torne possível assegurar a segurança, estabilidade e resistência a esforços previstos durante toda a vida útil estipulada, parâmetros estes que consideram fatores ambientais, construtivos e de materiais empregados durante a execução.

No que se refere a vida útil, HELENE (2014), pondera que este período é compreendido pela concepção da estrutura até o ponto onde existe a necessidade de manutenção corretiva da estrutura.

No que se diz respeito a influência ambiental nas estruturas de concreto armado, NBR 6118:2014 classifica a agressividade do meio de acordo com a Figura 01 abaixo.

Figura 01 - Classe de agressividade ambiental (CAA).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

Para garantir a durabilidade das estruturas, é importante atentar-se a proteção das armaduras, uma vez que a ausência desta proteção pode gerar a corrosão das mesmas, patologia esta que está diretamente ligada ao controle de fissuras que possam aparecer na peça, sendo

assim, a NBR 6118:2014 estabelece o valor máximo da fissuração em determinadas situações, indicadores apresentados na Figura 02 abaixo.

Figura 02 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental.

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	–
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D ^a	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ^a	Combinação frequente

^a A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 50$ mm (Figura 3.1).

NOTAS

1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.

3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

Já no que se diz respeito a armaduras passivas, a NBR 6118:2014 determina que a abertura máxima na ordem de 0,2 mm a 0,4 mm.

2.2.PROPRIEDADES DO CONCRETO.

2.2.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.

Quando observa a resistência a compressão, a NBR 6118:2014 afirma que estes resultados devem ser obtidos através de ensaios de corpos de provas cilíndricos executados conforme a

NBR 5739:2017 e NBR 5738:2015. Ainda afirma que a idade de controle adotada para efeitos de dimensionamento das estruturas é de 28 dias.

2.3. PARÂMETROS NORMATIVOS VISANDO O CONTROLE DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO.

2.3.1. MOLDAGEM E CURA DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETO

A normativa vigente para a moldagem de corpos de prova é determinada pela NBR 5738:2015, normativa esta determina que corpos de provas cilíndricos devem ter altura igual ao dobro do diâmetro, no entanto, determina que corpos de provas devem ter 10 cm, 15cm até 20cm de diâmetro, com variação máxima de 1%, já na altura, uma variação máxima de 2%.

O molde utilizado para a confecção das peças deve ser constituído de material não absorvente e negativo para reação com o cimento, para que assim, exista a garantia de estanqueidade e manutenção de percentual de água no corpo, além disto, o molde deve ser aberto em uma das extremidades, para que se torne possível a desmoldagem do corpo de prova sem danificar o exemplar. Enquanto a base do molde deve ser aplainada com um limite máximo de 0,05mm.

Já a haste que auxilia no adensamento, deve ser composta por aço, extremo semiesférico e com diâmetro máximo de 16mm.

É importante salientar a necessidade de execução do ensaio de abatimento do tronco de cone, antes da moldagem dos corpos de provas, este ensaio é embasado na NBR NM 67:1998 - Concreto - *Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. De acordo com valores obtidos neste ensaio, a NBR5738:2015 instrui o adensamento conforme a Figura 04 a seguir.

Figura 03 - Classes de consistência

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

Fonte: ABNT NBR 5738:2015

2.4.MÉTODOS DE TESTES EM ESTRUTURAS

Por conta da ampla utilização do concreto na sociedade moderna, se faz necessária a criação de ferramentas para a obtenção de dados sobre a resistência do mesmo, sendo assim, foram desenvolvidos ensaios para relacionar valores, como por exemplo, ao comparar a dureza superficial com a resistência à compressão, para assim, encontrar a resistência real da peça.

BOTTEGA (2010) afirma que o método destrutivo de ensaio a compressão de testemunhos é o mais preciso, uma vez que a resistência é obtida diretamente na peça, sem a necessidade de comparação com demais fatores, como a propriedades físicas dos agregados.

Porém, este método possui diversos fatores que dificultam a realização, como peças fortemente armadas, portanto, estas armaduras impedem a extração de corpos de provas, ou mesmo elementos com pouco preparo estrutural, neste caso, a extração pode resultar no aparecimento de fissuras ou trincas, uma vez que, a peça sofre uma diminuição na sua seção devido ao corpo de prova extraído da mesma.

No entanto, FUSCO (1995) orienta sobre alguns fatores que fazem com que desvirtue os resultados, por conta destes fatores, BOTTEGA (2010) salienta a necessidade de realização de no mínimo dois ensaios, sendo um não destrutivo e outro destrutivo, ou até mesmo, dois ensaios não destrutivos, para que assim abra a possibilidade de conferir os resultados obtidos.

2.4.1. Destrutivos

2.2.1.1. EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHO

Ensaio de extração são amplamente utilizados em situações onde por diversos motivos existem incertezas quanto ao comportamento estrutural das peças de concreto, duvidas estas, que podem aparecer, por exemplo, por falha no controle tecnológico do concreto.

As peças extraídas, comumente chamadas de testemunhos, tem por normalidade o formato cilíndrico.

Outro ponto interessante que implica a necessidade deste ensaio, é fato de que devido a corpos de provas moldados *in loco*, que utiliza material diretamente do caminhão betoneira, sofre intempéries como transporte, colocação, compactação ou cura não ideal, portanto, de acordo com CÁNOVAS (1988), isto implica numa diferença de resistência, entre a peça moldada *in loco* e o testemunho extraído da estrutura.

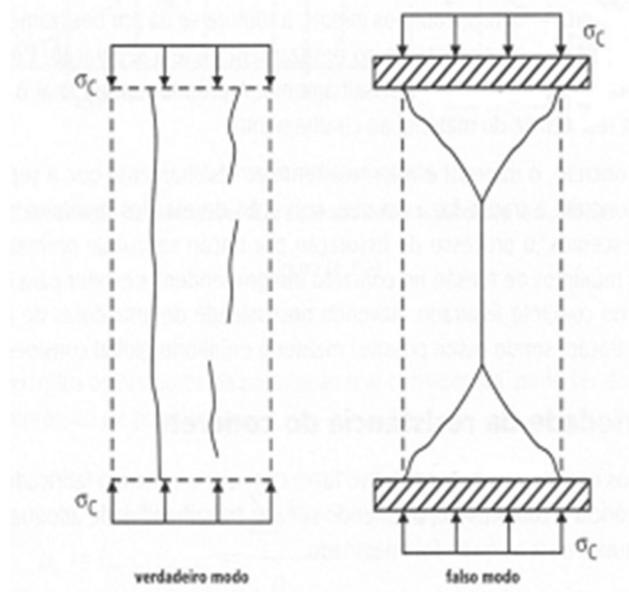
FUSCO (1995) ainda ressalta que os testemunhos, uma vez rompidos, podem apresentar valores distintos, dos demais do mesmo lote, isso se dá por diversos motivos, sendo assim, o autor cita alguns destes parâmetros:

a) Influência da resistência característica do concreto.

O F_{kc} do concreto a ser ensaiado, implica diretamente na variância de resistência, o FUSCO (1995) explana que por exemplo, concretos de 20MPa possui uma variação de 5% a 10% dos demais testemunhos do mesmo lote, enquanto peças moldadas com até 40MPa, chegam a ter uma variância de até 15% a 30%.

Essa discrepância se dá por conta da resistência na matriz de argamassa, que por sua vez, faz com que apareçam tensões de tração transversais, conforme Figura 04 abaixo.

Figura 04 - Ruptura à compressão de concretos com resistência de até 40 MPa



Fonte: FUSCO (1995)

b) Influência das dimensões e forma de extração do corpo de prova.

FUSCO (1995) ainda explana que por conta do processo de extração do testemunho, pode resultar em divergências em resultados, por conta de por exemplo, o corte do agregado graúdo, sendo assim, algumas normas, contabilizam este fator, instruindo a aplicação de um fator de correção com variância entre 1,10 e 1,15.

c) Influência da idade do concreto na resistência obtida.

O autor ainda ressalta que a idade influencia diretamente na resistência do concreto, por conta do tempo de hidratação dos compostos do cimento.

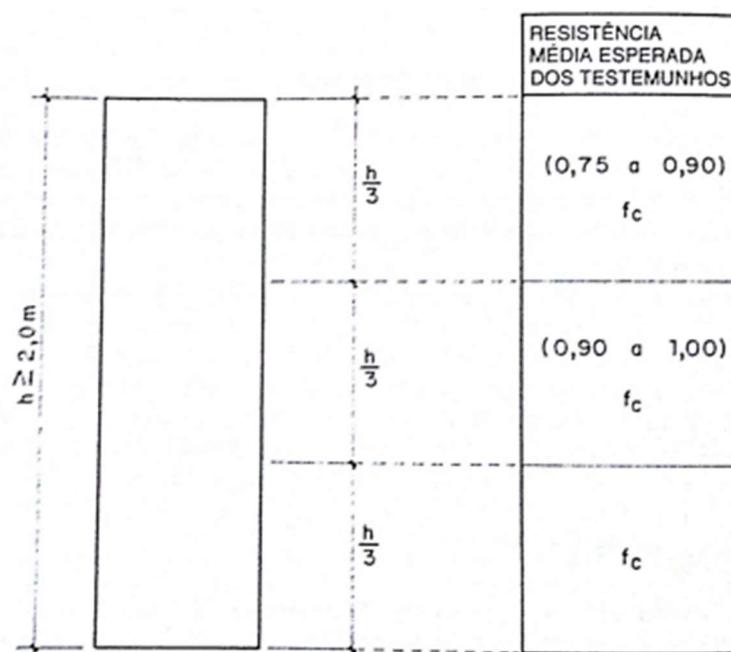
O autor ainda explana que a idade mínima para a extração deve ser 14 dias, no caso de utilização de cimento Portland comum, porém, recomenda a extração com a idade mínima de 28 dias.

Sendo assim CÁNOVAS (1988) publicou uma tabela que é descrita na Figura 07 abaixo, que traz coeficientes esperados de f_{ck} , de acordo com os dias de cura.

d) Altura da extração do testemunho.

Em peças como pilares, devidos a exposição ao ambiente externo podem apresentar diferentes resultados em cada uma das suas seções, conforme a Figura 05 abaixo.

Figura 05 - Resistências médias esperadas de testemunhos extraídos em diferentes alturas de um pilar



Fonte: CÁNOVAS (1988)

e) Dimensão do corpo de prova.

Em peças aonde não se torne possível a extração por meio da relação apresentada anteriormente de dois, onde o diâmetro mínimo é 10cm, como no caso de Lajes, CÁNOVAS (1988) ressalta que este valor deve ser ajustado de acordo com a Figura 06 abaixo.

Figura 06 - Correção da resistência do concreto em diferentes relações h/d

Relação $\frac{h}{d}$	Fator de correção		
	ASTM C42-77	BS 1881-70	UNE 7242
2,00	1,00	1,00	1,00
1,75	0,98	0,98	0,98
1,50	0,96	0,96	0,96
1,25	0,93	0,94	0,94
1,00	0,87	0,92	0,85

Fonte: CÁNOVAS (1988)

f) Orientação do testemunho.

Além disto, outro fator que impacta na resistência é a direção em que o testemunho foi extraído, em relação a como foi concretado e compactado, resultando assim, em uma redução de 5% a 8% na resistência.

g) Presença de armadura.

Tendo em vista que, em determinadas situações, não exista a possibilidade de análise prévia de como as armaduras estão dispostas na peça, por conta de, principalmente ausência de projeto estrutural conhecido, durante a extração, o testemunho pode extrair uma parte de barras de aço, e isto conseqüentemente, prejudica a homogeneidade do testemunho, e por conseqüência, leva a ocasionar uma diminuição na resistência encontrada.

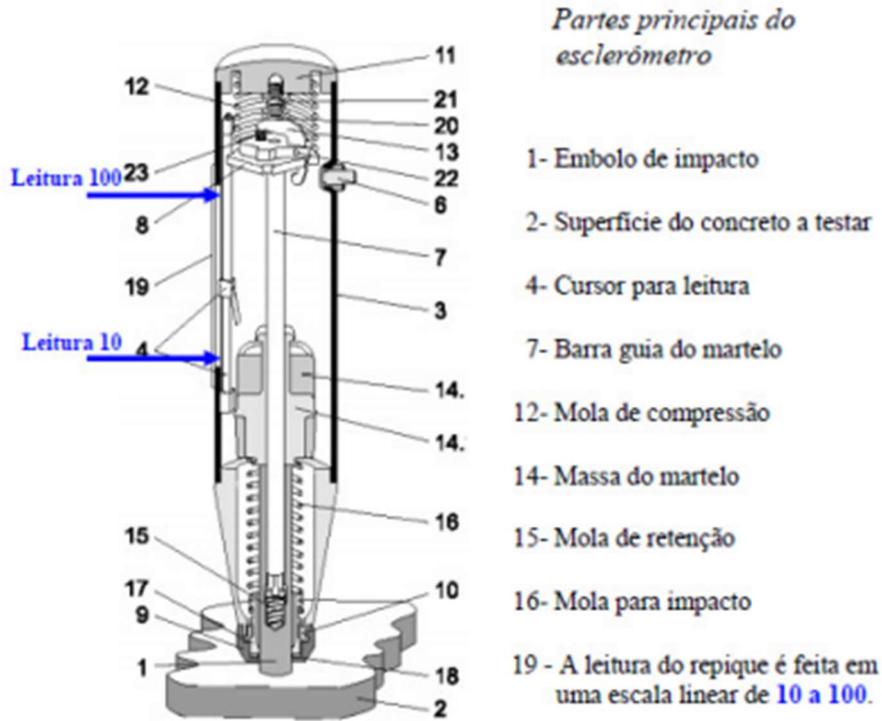
2.4.2. NÃO DESTRUTIVO

2.4.2.1. POR MEIO DA AVALIAÇÃO DA DUREZA SUPERFICIAL PELO ESCLERÔMETRO DE REFLEXÃO

O martelo de Schmidt, que também é conhecido como esclerômetro, foi desenvolvido pelo engenheiro suíço Ernest Schimidt, que possui a função de medir a resistência superficial do concreto e relacionar com a resistência à compressão.

A principal vantagem de acordo com (THOMAZ, 2011) é a de ser um ensaio rápido e econômico, por conta disso, é utilizado em diversos pontos da estrutura, e passível a grande precisão. Porém, (EVANGELISTA, 2002), implica a desvantagem em avaliar apenas uma seção superficial do concreto, para representar toda e pela em teste. Por conta disso, Carneiro (1975) aconselha a utilização do ensaio de esclerometria com uma grande quantidade de pontos, e aliada ao processo de extração de testemunho. A Figura 07 apresenta o detalhamento de um esclerômetro,

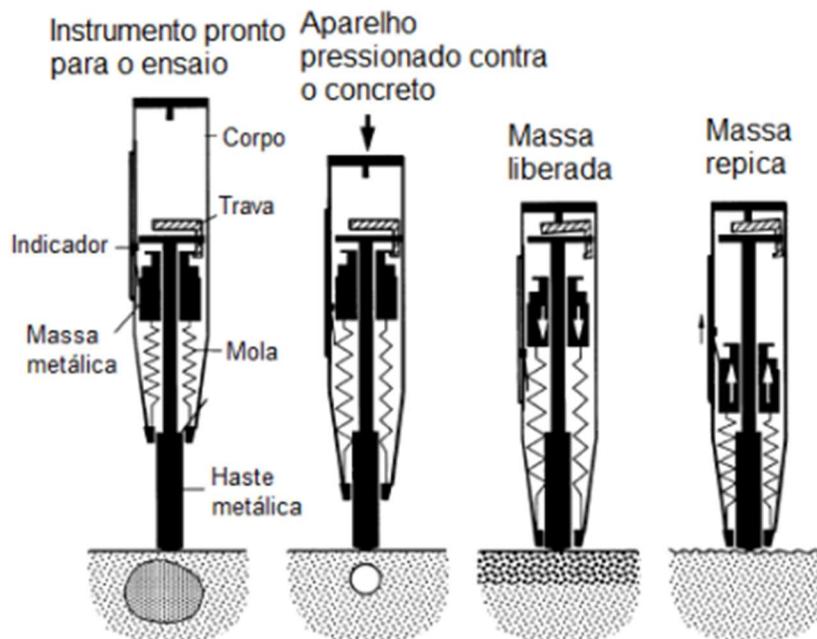
Figura 07 - Detalhes esclerômetro Schmidt – Tipo N



Fonte: Thomaz (2011)

Thomaz (2011) ainda exemplifica um sistema simplificado da função mecânica do esclerômetro. De acordo com a Figura 08 abaixo.

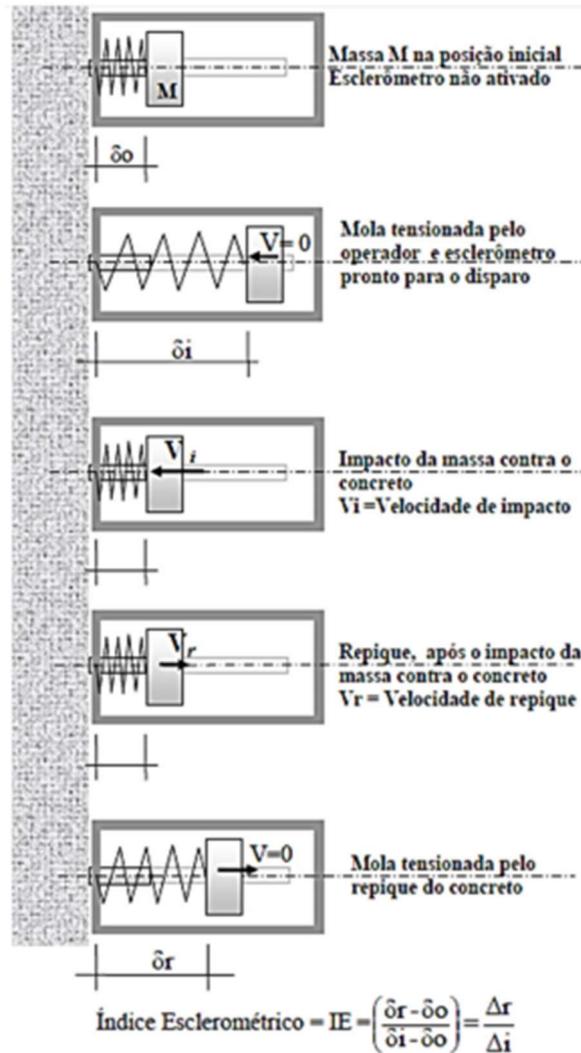
Figura 08 – Esquema simplificado do funcionamento mecânico do esclerômetro



Fonte: Thomaz (2011)

Thomaz (2011), ainda relaciona o funcionamento mecânico com as forças e reações físicas geradas pelo processo, apresentadas na Figura 09 abaixo.

Figura 09 - Modelo simplificado do funcionamento mecânico do esclerômetro



Fonte: Thomaz (2011)

Correlação entre a resistência à compressão e as grandezas medidas nos ensaios não destrutivos em estudo a determinação da resistência do concreto, requer amostras testadas em laboratório. Por isso, foram desenvolvidas técnicas especiais para medir algumas propriedades do concreto diferente da resistência à compressão para depois ser correlacionadas. Algumas destas propriedades são capacidade de permitir propagação de ondas ultrassônicas, dureza superficial e resistência à penetração (QASRAWI, 2000).

Nos ensaios não destrutivos usados para determinar a resistência à compressão do concreto, a relação entre a medida, mecânica ou física e da força, geralmente não é única. Este

surge a partir da diversidade nas relações existentes entre as propriedades medidas e as características do concreto, entre outros: conteúdo de cimento, tipo de agregados, conteúdo de argamassa e relação água cimento (FERREIRA e CASTRO, 2000).

É indispensável ter precauções na interpretação dos resultados obtidos já que, a característica heterogênea do concreto gera grande variabilidade nas suas propriedades físicas e por tanto nos resultados dos ensaios não destrutivos. Para estimar a resistência à compressão do concreto torna-se necessário conhecer a relação entre os resultados dos ensaios in loco e a resistência do concreto, obtida a partir de curvas determinadas empiricamente.

De acordo com o ACI 228.1R-03 (2003) a curva de correlação é realizada usando corpos-de-prova padrão (cilindros ou cubos) ou podem-se utilizar testemunhos com diferentes níveis de resistência usando os mesmos materiais que serão empregados na obra, em seguida realizar procedimentos estatísticos para estabelecer a relação da grandeza medida no ensaio e a resistência à compressão. É possível realizar no corpo-de-prova primeiramente o ensaio não destrutivo (velocidade de onda ultrassônica e esclerometria), em seguida, o ensaio para obter a resistência à compressão.

No entanto, na maioria dos casos, os ensaios são realizados em separado, tendo-se corpos-de-prova distintos para os ensaios de resistência à compressão e para os ensaios não destrutivos. Na sequência são apresentadas as equações propostas por alguns autores visando correlacionar a resistência à compressão com as grandezas medidas nos ensaios de velocidade de onda ultrassônica, índice esclerométrico e penetração de pino.

Figura 10 - Equações propostas por diversos autores para a correlação entre resistência à compressão (f_c) e velocidade de onda (V).

Autor	Equação	Observações	
Evangelista (2002)	$f_c = (0,033)IE^{2,02}$ $f_c = (0,007)IE^{2,477}$ $f_c = (0,0252)IE^{2,128}$	Gnaisse: 19 mm Gnaisse: 9,5 mm Traquito: 19 mm	11-53 MPa 10-46 MPa 8-49 MPa
Machado (2005)	$f_c = (0,026)IE^{2,044}$	Gnaise, Sienito: 19 mm	15-50 MPa
Câmara (2006)	$f_c = (1,8538) - IE - 25,126$ $f_c = (1,5881) IE - 17,423$	Granítica	20-50 MPa
Aydin e Saribiyik (2010)	$f_c = (11,612)IE - 52,033$	Calcário Britado	15-50 MPa
Qasrawi (2010)	$f_c = 1,353 IE - 17,393$	-	10-40 MPa
Joffily (2010)	$f_c = 2,4IE - 39,4$	-	25-45 MPa

3. METODOLOGIA

O Projeto em estudo é uma pesquisa de caráter exploratória e experimental foi aplicada em estruturas de concreto de uma obra de torre de transmissão localizada no distrito de Luzimangues, município de Porto Nacional o qual é denominada neste trabalho de Obra A. Salienta-se que não é objetivo do trabalho fazer comparações entre a empresa ou qualificar os fornecedor de concreto, uma vez que o interesse maior deste trabalho é correlacionar resultados de resistência à compressão com ensaio de Extração de testemunho de forma (destrutiva) e os resultados do ensaio de esclerometria (não destrutivo). O abatimento do tronco de cone (slump) de projeto dos concretos era de 150 mm com desvio padrão de mais ou menos 30 mm, controlados em obra. Na obra A foi utilizado um concreto de fck 30 MPa o concreto empregado foi do tipo usinado.

O concreto utilizado no experimento é do tipo dosado em central, bombeável, com traço 1:2,20:2,92:0,565 (cimento;areia;brita;a/c) e abatimento de 150+30 mm. Foi adotado fck = 30,0 MPa. Os materiais utilizados foram cimento CP I 40 Votorantim, agregado miúdo da região de Palmas - TO, de origem quartzosa, agregado graúdo da região de Palmas TO, de origem granítico e aditivo superplastificantes (Plastment VZ).

3.1.ESCOLHAS DO MATERIAIS

3.1.1. AGREGADO GRAÚDO

O agregado graúdo utilizado é do tipo granítico, na classificação de brita 1, conforme classificação da NBR 7211-2009, módulo de finura de 5,77 a 6,15 e Diâmetro máximo de 12,5 mm.

3.1.2. AGREGADO MIÚDO

Foi utilizado areia quartzosa média, proveniente da região de Palmas – TO. Conforme classificação da NBR NM 248-2003, módulo de finura de 2,94 e Diâmetro máximo de 4,8 mm.

3.1.3. AGLOMERANTE

O cimento utilizado para a confecção do concreto no traço foi o CP I 40, devido à sua polivalência e inúmeras possibilidades de aplicações, realçado por seu alto teor de escoria com alta resistência em todas as idades. Os ensaios necessários a realização dos estudos foram fornecido pelo fabricante.

3.1.4. ADITIVO

O aditivo empregado foi o superplastificante Plastment VZ, aditivo a base de policarboxilatos, isentos de cloretos. Este aditivo é amplamente empregado na indústria de pré-moldados, concretos de alta resistência inicial, pois aumenta significativamente a trabalhabilidade do concreto mantendo a relação água/cimento.

3.1.5. ÁGUA

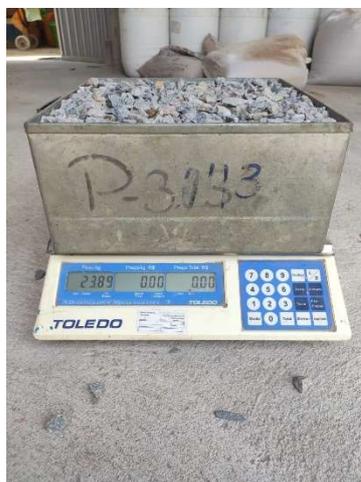
A água utilizada fora a fornecida pela empresa BRK que abastece a cidade.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.2.1. DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA

Fora realizado o ensaio para estabelecer a determinação da densidade a granel e do volume de vazios de agregados miúdos, grãos ou, em estado compactado ou solto, conforme parâmetros da ABNT NBR NM 45/2006.

Figura 11 –Determinação da massa unitária do agregado grão.

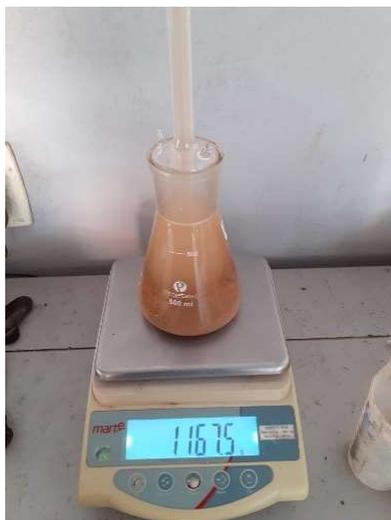


Fonte: Autor, 2020

3.2.2. DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA

Esta determinação foi realizada conforme a ABNT NBR 6508/1984, que estabelece o método de determinação da massa específica.

Figura 12 –Determinação da massa específica do agregado miúdo.



Fonte: Autor, 2020

3.2.3. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Realizou-se a caracterização granulométrica dos agregados graúdos (britas até 12,5 mm) e agregado miúdo, de acordo com ABNT NBR NM 248:2003.

Figura 13 - Ensaio de granulometria.



Fonte: Autor, 2020

3.2.4. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS

Já o ensaio citado ocorreu segundo a ABNT NBR NM 46/ 2003, que estabelece o método para a determinação por lavagem, em agregados, da quantidade de material mais fino que a abertura de malha da peneira de 75 μm . As partículas de argila e outros materiais que se dispersam por lavagem, assim como materiais solúveis em água, foram removidos do agregado durante o ensaio

Figura 14– Determinação pulverulento do agregado miúdo



Fonte: Autor, 2020

3.3 DOSAGEM DO CONCRETO

O concreto utilizado no experimento é do tipo dosado em central, bombeável, com traço 1:2,20:2,92:0,565 (cimento;areia;brita;a/c) e abatimento de 150+/-30 mm. Foi adotado $f_{ck} = 30,0$ MPa. Os materiais utilizados foram cimento CP I 40 Votorantim, agregado miúdo da região de Palmas - TO, de origem quartzosa, agregado graúdo da região de Palmas TO, de origem granítico e aditivo superplastificantes (Plastment VZ).

3.4 FABRICAÇÃO DO CONCRETO

O concreto foi fabricado segundo as especificações da norma NBR 7212 (Execução do concreto dosado em central), utilizando como equipamento para a mistura do concreto o caminhão betoneira com capacidade de 8 m^3 . Antes do início do carregamento foi realizado o ajuste de umidade dos materiais, e o volume da mistura de concreto foi de 8 m^3 .

Figura 15 – Caminhão Betoneira



Fonte: Autor, 2020

3.5 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Os moldes foram lubrificados utilizando óleo mineral, identificados com lote, data de moldagem, o concreto foi acomodado no molde com a utilização de concha em U, tendo sua distribuição de forma simétrica no recipiente, e a regularização realizada com haste de Aço. A Figura 16 abaixo, apresenta a moldagem dos Corpos de Prova.

Figura 16– Moldagem de Corpos de Prova



Fonte: Autor, 2020

3.6. ENSAIOS UTILIZADOS

3.6.1. ENSAIOS NO ESTADO FLUIDO

Baseado nas normas pertinentes para cada ensaio, estes foram realizados após a produção do concreto convencional no estado fresco para verificar as propriedades da dosagem do mesmo.

3.6.2. SLUMP

Este ensaio foi realizado para verificar a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico, buscando medir sua consistência e avaliar se está adequado para seu uso.

Figura 17 - Slump Traço



Fonte: Autor, 2020

3.6.3. ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

3.6.3.1. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

2 corpos de provas (CP's) de dimensões 10x20 que foram moldados para cada idade e traços submetidos a ensaios de resistência a compressão axial nas idades de 7 e 28 dias, conforme a NBR 5739/2018 ensaio de compressão a corpos de prova cilíndrico.

Figura 18 – Ensaio de resistência a compressão axial



Fonte: Autor, 20

O ensaio tem como objetivo, determinar a resistência á compressão do corpo de prova, onde a peça a ser ensaiado será posta entre os pratos da prensa, que servem para garantir um movimento perpendicular de forças.

O acionamento da máquina a ser utilizado deve ser realizado por fonte continua e velocidade de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s, com isso, é mantida a estabilidade na aplicação de força, para que se evite choques abruptos que possam influenciar nos resultados. Quando ocorrer uma queda brusca de força, o carregamento foi interrompido e o ensaio finalizado.

Os pratos a serem utilizados terão ajustes necessários e distancias entre faces suficientes para posicionar o corpo de prova. O sistema de força a ser utilizado garantirá precisão nos dados, e indicará a força máxima atingida na ruptura. 45 Equação 2 – Determinação da resistência a compressão.

Equação 02

$$F_c = \frac{4F}{\pi D}$$

Onde:

f_c = Resistencia à compressão, em megapascais;

F = Força máxima alcançada, em newtons;

D = Diâmetro do corpo de prova, em milímetro.

3.7. ESCLEROMETRIA

O equipamento utilizado para execução do ensaio foi um esclerômetro da marca Schmidt do tipo N, com energia de percussão de 2,25 J (ver figura 19). O ensaio de esclerometria foi realizado nas mesmas datas do rompimento dos corpos de prova moldados e o esclerometro era previamente aferido. A superfície do bloco estava isenta de ninhos e pedras, foi preparada para o ensaio junto ao polimento com uma pedra de carborundo, e demarcada uma área de 20x20cm, sempre próximo ao local onde seriam extraídos os Cp's, onde foram marcados 9 locais de impactos com um mínimo de 3 cm de distância de um local para o outro (ver detalhe em figura 20), precedendo-se as leituras nos pontos de interseção NBR 7584:1995.

Ensaio foi executado com a superfície do bloco em condições ambientes, fora do contato direto com água e os resultados coletados do ensaio foram calculados da seguinte forma:

Calculo da média dos “n” valores iniciais (M1)

- a) Despreza-se os valores fora do intervalo $\pm 10\%$ de M1 (LS=M1x1,1; LI=M1x0,9)
- b) Calcula-se uma nova média com os valores restantes (M2)
- c) Tomando-se a média M2, obtém-se a dureza superficial do concreto.
- d) A partir da dureza superficial estima-se a resistência à compressão.
- e) Definida a estimativa da resistência a compressão, aplicava-se as correções tendo em vista a calibração do aparelho

Onde:

M1 – média dos “n” valores iniciais

M2 – média dos “n” valores secundários

LS – Limite superior

LI – Limite inferior

A curva de correlação do esclerômetro utilizado fornece resultados para corpos de prova de formato cúbico, no entanto, os resultados obtidos foram convertidos para o formato cilíndrico, com finalidade de propiciar a comparação de resultados da esclerometria com a de resistência a compressão com os corpos de prova cilíndricos dimensão 10x20 cm.

Figura 19 – Ensaio de Esclerometria



Fonte: Autor, 2020

3.8. ENSAIO DE TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS

Já neste ensaio foi utilizada uma máquina para extração de testemunhos da marca TYROLIT (ver Figura 15), com o auxílio de uma broca rotativa provida de coroa de diamantes, refrigerada a água. O diâmetro da broca utilizado foi de 75mm, ou seja, três vezes maior que a dimensão nominal do agregado graúdo utilizado na formulação do concreto. Para uma melhor determinação da resistência a compressão, foram extraídos quatro corpos de prova para cada idade de rompimento, os mesmos eram desbastados em serra provida de um disco diamantado e refrigerado a água, de modo a obter uma relação de esbeltez h/d igual a dois.

Figura 20 – Ensaio de Extração de Testemunho



Fonte: Autor, 2020

Após o capeamento (figura 23) os mesmos eram medidos quanto ao seu diâmetro (d) (3 medidas) e a sua altura (h) com auxílio de um paquímetro digital. Após o preparo dos corpos de prova, os mesmos eram colocados durante 48h em condições de umidade relativa do ar acima de 50%, e obedecendo aos critérios de temperatura da ABNT NBR 5738, rompidos na condição saturados superfície seca.

Os resultados da ruptura dos corpos de prova da extração foram calculados e submetidos a média aritmética, conforme o determinado na ABNT NBR 7680:2007, bem como os fatores de correção na norma descritos

Figura 21 – Corpos de Provas Extraídos.



Fonte: Autor, 2020

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a produção dosagem de concreto foram necessárias as caracterizações dos agregados empregados, além da obtenção dos resultados do concreto em seu estado fluido e endurecido, todos os resultados obtidos serão discriminados a seguir.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os agregados caracterizados foram a brita 1 e areia natural média, que passaram por todos os ensaios de caracterização pertinentes as normas vigentes e a este trabalho.

4.1.1 MASSA UNITÁRIA, MASSA ESPECÍFICA E PULVERULENTO

Os resultados dos ensaios de massa unitária e massa específica estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Ensaio de massa unitária, massa específica dos agregados e pulverulento.

Agregados	Massa Especifica (kg/m ³)	Massa Unitária (kg/m ³)	Pulverulento %
Areia	2,63	1.47	0,5
Brita 0	2,50	1,447	0,2

Fonte: Autor, 2020.

Diante os valores obtidos nos ensaios, a areia e a brita 0 apresentam massas específicas conforme esperado, porém, a massa unitária da areia média resulta em bom índice de vazios, portanto o resultado que aponta uma melhor distribuição dos grãos para a areia média que foi utilizada em menor quantidade.

4.2 ENSAIOS NO ESTADO FLUIDO DO CONCRETO

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos das dosagens no estado fresco.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de massa específica, slump do concreto no estado fluido.

Traços	Massa Específica (kg/dm ³)	Slump (mm)
Convencional	2,39	120

Fonte: Autor, 2020.

A tabela 2 mostra os resultados da massa específica concreto usinado via caminhão Betoneira, e pode-se observar que o traço o do concreto convencional é denso, devido a sua composição granular melhor distribuída e proporcionar menor índice de vazios, sendo assim ocasiona maiores valores de massa específica.

Assim que caminhão chegou na obra foi verificado o slump caracterizou-se com boa consistência, materiais de boa trabalhabilidade.

4.3 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO DO CONCRETO

Foram realizados os ensaios no estado endurecido do concreto para os traços dosados utilizando os três modelos, conforme os tópicos a seguir.

4.3.1 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

Os dados de resistência a compressão foram coletados aos 07 e 28 dias após a data de moldagem do material, porém foi verificado que a superfície do material ficou de forma irregular devido à falta de argamassa, necessitando a execução do capeamento, utilizando uma pasta de cimento para regularizar a superfície, assim obtendo a perpendicularidade em relação ao eixo longitudinal e a planicidade dos CP's.

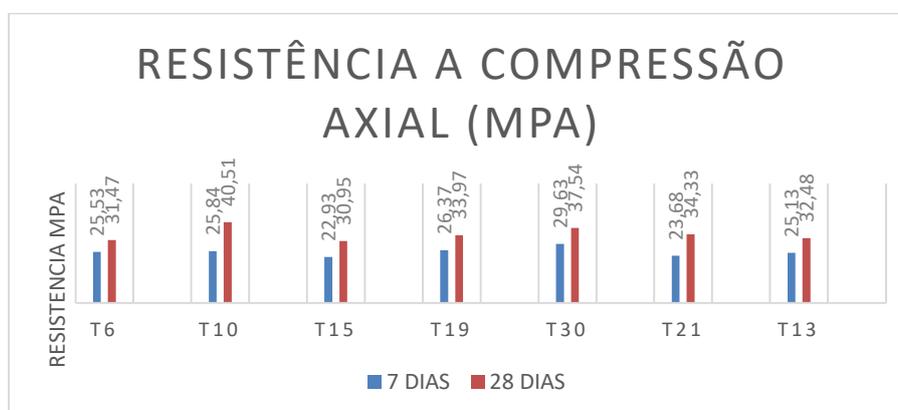
Tabela 3 – Resultados dos ensaios a compressão axial.

Resistencia a compressão axial (MPa)						
Peças	7 Dias		Maior resultado	28 Dias		Maior resultado
	CP 1	CP 2		7 Dias	CP 1	
T6	25,53	25,06	25,53	31,47	30,54	31,47
T10	21,88	25,84	25,84	40,51	38,71	40,51
T15	22,51	22,93	22,93	30,95	30,55	30,95
T19	25,79	26,37	26,37	32,79	33,97	33,97
T30	28,12	29,63	29,63	37,54	35,35	37,54
T21	21,87	23,68	23,68	34,33	31,74	34,33
T13	24,32	25,13	25,13	34,33	31,74	32,48

Fonte: Autor, 2020.

A tabela 3 apresenta o desenvolvimento da resistência à compressão axial ao longo do tempo e mostra que aos 28 dias a tensão de ruptura era maior que a resistência característica de projeto, portanto o lote examinado foi aceito conforme as indicações da NBR 12655 (ABNT, 2015) e NBR 7680 (ABNT, 2015). Sendo que, aos 7 dias, CP's alcançaram em média 98,76% da resistência especificada em projeto de 30MPa, portanto mesmo na idade inicial o CP alcançou uma boa resistência. Conseqüentemente, em média a resistência adquirida aos 28 dias foi de 12,94% acima da especificada no projeto.

Gráfico 1 - Comparação dos ensaios a compressão axial.



Fonte: Autor, 2020.

Portanto foi observado que todos os caminhões apresentaram resistência superior a 30 Mpa, com a utilização apenas de aditivo superplastificante, que melhora sua trabalhabilidade assim possibilitando reduzir o fator água cimento, que implica diretamente na resistência do material.

Com 07 dias de cura observou-se que a diferença na resistência a compressão ficou em 3 Mpa, de corpo de prova para o outro como previsto. Com 28 dias a diferença de resistência mecânica à compressão ficou em 2 Mpa, os resultados obtidos foram com a utilização da brita 1 e areia média, com todos os valores atendendo acima do especificado por norma.

4.3.2. ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

Foram realizadas as análises para o índice esclerométrico, que é a média de todos os valores individuais desprezando os mais distantes de 10% da média, o índice esclerométrico global, que seria a média dos efetivo de cada torre, os resultados do ensaio de resistência à compressão, extração e as devidas correlações.

4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

4.1.1. AVALIAÇÃO DO ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO MÉDIO

os índices esclerométrico de cada área de ensaio foram obtidos conforme a NBR 7584 (ABNT, 2012) e foram analisados estatisticamente considerando cada torre como uma área de ensaio.

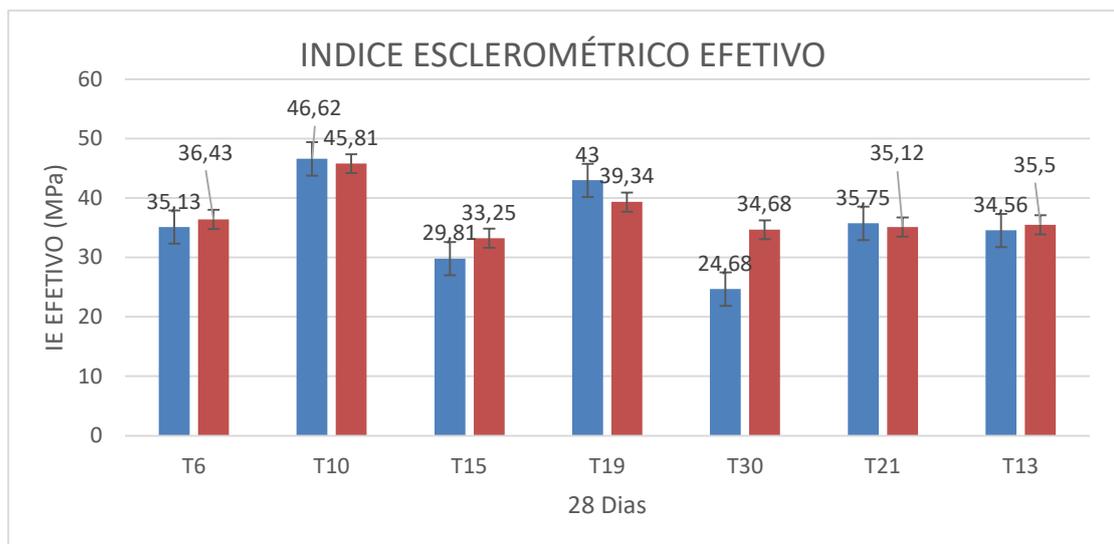
Os índices esclerométrico efetivos são as médias aritméticas realizadas para o conjunto de valores das áreas de ensaio, porém é desprezado todo valor individual que esteja distante em mais de 10% do primeiro valor médio, conforme preconiza a NBR 7584 (ABNT, 2012). A Tabela 3 apresenta os resultados dessa variável e a Figura 12 explana para melhor entendimento.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de Esclerometria.

TORRE	IDADE	Nº AMOSTRA	IE EFETIVO(MPa)	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO
T6	28	8	35,31	3,47	9,85%
			36,43	4,42	12,16%
T10	28	9	46,62	3,71	7,95%
			45,81	3,03	6,80%
T15	28	14	29,81	2,902	9,80%
			33,25	3,19	9,60%
T19	28	14	43,00	2,71	6,32%
			39,37	2,75	7,01%
T30	28	13	24,68	4,134	16,75%
			34,68	2,33	6,74%
T21	28	12	35,75	5,19	14,52%
			35,12	3,31	9,44%
T13	28	14	34,56	3,95	11,44%
			35,50	4,3875	12,36%

Fonte: Autor, 2020.

Gráfico 2 - Comparação dos ensaios de Esclerometria.



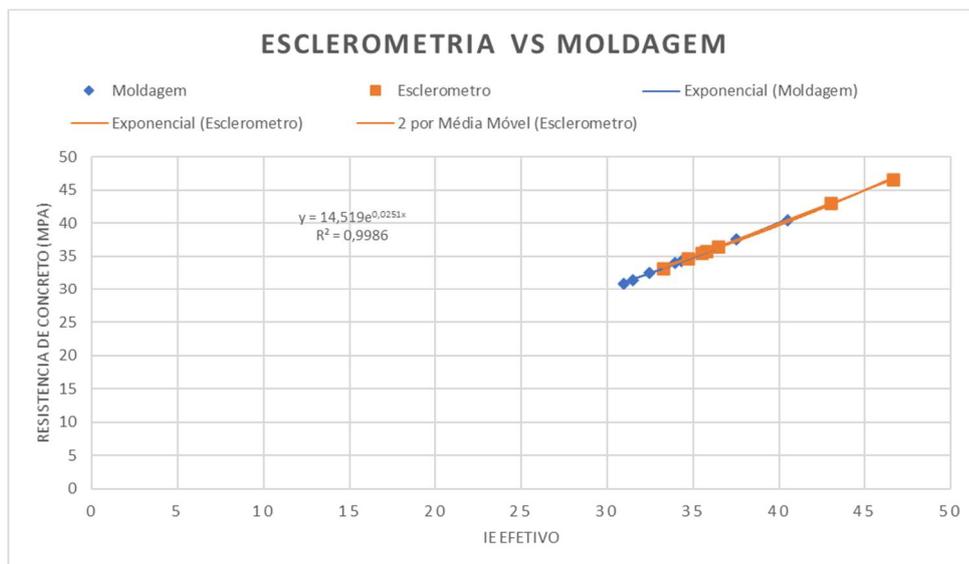
Fonte: Autor, 2020.

Com os dados do índice esclerométrico efetivo e resistência à compressão, foram traçadas curvas de correlação pelo método de regressão não linear simples, a fim de se escolher

a curva que melhor representasse essa correlação. Machado (2005) apresenta diversos autores que indicam as curvas que melhor ajustam a essa relação: potencial e linear.

O fator empregado na escolha do tipo de curva é a confrontação do r^2 , aquela curva que obtiver o maior r^2 dentre as testadas é considerada a que mais se ajusta. Nesse trabalho a regressão adotada para correlacionar as variáveis do índice esclerométrico e resistência à compressão foi a exponencial, porém observa-se que os melhores resultados com os maiores valores de r^2 , foram para o tipo exponencial e potencial, praticamente validando o que Machado (2005) apresenta em seu trabalho. O gráfico de resistência do concreto e índice esclerométrico com a melhor correlação testada, a exponencial.

Gráfico 3 - Resultados da correlação entre o índice esclerométrico efetivo e resistência à compressão axial



Fonte: Autor, 2020.

O Gráfico 5, mostra que, na medida que a peça ganha resistência, ela também aumenta a sua dureza superficial, sendo confirmado com o aumento do índice esclerométrico, ratificando o ganho de uniformidade e homogeneidade da superfície do concreto com a evolução da idade. Outrossim, os elementos estruturais analisados permaneceram o tempo todo sob cura ao ar, pois o índice esclerométrico apresentam maiores valores quando a superfície está seca e não saturada.

4.5. ENSAIO DE EXTRAÇÃO

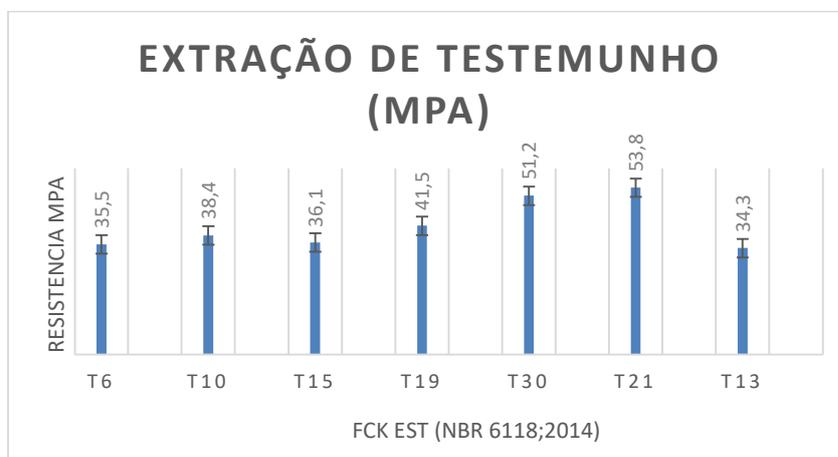
Os testemunhos extraídos apresentando ferragem com diâmetro superior a 10 mm, descontinuidades ou materiais estranhos ao concreto foram descartados.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de Extração de testemunho.

Peças	28 Dias				Fck est (NBR 6118;2014)
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	28 Dias
T6	32,0	32,4	31,8	33,0	35,5
T10	36,5	37,0	34,1	32,0	38,4
T15	32,0	32,3	33,9	33,4	36,1
T19	43,6	41,0	32,7	33,4	41,5
T30	46,6	52,4	43,3	44,4	51,2
T21	44,4	46,2	53,5	52,3	53,8
T13	32,6	30,7	31,9	30,7	34,3

Fonte: Autor, 2020.

Gráfico 4 - Comparação dos ensaios Extração de testemunho.



Fonte: Autor, 2020.

4.6. MEMORIAL DE CALCULO

CP Nº	Dimensão dos CP's		Força de Ruptura (N)	Tensão fci,ext,inicial	Coefic. de correção				Tensão fci,ext	massa (g)	Massa especif (kg/cm³)
	Diâmetro (mm)	Altura (mm)			K1	K2	K3	K4			
01	74,4	111,2	138.990	32,0	-0,041	0,0907	0,00	-0,04	32,3	1.129,8	2,306
02	74,5	115,2	141.420	32,4	-0,036	0,0906	0,00	-0,04	32,9	1.238,1	2,317
03	74,6	91,7	139.130	31,8	-0,075	0,0905	0,00	-0,04	31,0	880,1	2,320
04	74,4	100,7	143.670	33,0	-0,057	0,0907	0,00	-0,04	32,8	912,9	2,333

$$F_{ci, ext.} (MPa) = (CR * AG \div ACP) * (1+k1+k2+k3+k4)$$

Resultados Obtidos

CR = Carga de Ruptura (kgf);	Número de amostras	4
AG = Aceleração da Gravidade m/s ² (9,80665);	Valor Máximo	32,9 MPa
ACP = Área do corpo de prova (mm ²);	Valor Mínimo	31,0 MPa
k1 = Coeficiente de Correção (Relação h/d);	Média	32,3 MPa
k2 = Coeficiente de Correção (Efeito Broqueamento);	Desvio Padrão	0,9 %
k3 = Coeficiente de Correção (Direção da Extração);	Coeficiente de Variação	2,7 %
k4 = Coeficiente de Correção (Efeito Umidade);	f_{ck ext,seg}	32,3 MPa
Prensa: Classe 1, Marca Solocap Mod. 4HCIC, CAP 1000 kN, Res. 0,01 kN, hidráulica elétrica com indicador Digital. Data de Calibração: 25/06/2020 Certificado Nº 201925061A Landim Tec Calibração e manutenção de equipamentos para laboratório de construção civil - SãoPaulo -	f_{ck est (NBR 6118:2014 - Ítem 12.4.1)}	35,5 MPa
	f_{c ext,pot}	32,9 MPa

CP Nº	Dimensão dos CP's		Força de Ruptura (N)	Tensão fci,ext,inicial	Coefic. de correção				Tensão fci,ext	massa (g)	Massa especif (kg/cm³)
	Diâmetro (mm)	Altura (mm)			K1	K2	K3	K4			
05	74,4	111,2	158.820	36,5	-0,041	0,0907	0,00	-0,04	36,9	1.129,8	2,306
06	74,5	115,2	161.420	37,0	-0,036	0,0906	0,00	-0,04	37,6	1.238,1	2,317
07	74,6	91,7	149.130	34,1	-0,075	0,0905	0,00	-0,04	33,3	880,1	2,320
08	74,3	100,7	138.670	32,0	-0,057	0,0908	0,00	-0,04	31,8	912,9	2,333

$$F_{ci, ext.} (MPa) = (CR * AG \div ACP) * (1+k1+k2+k3+k4)$$

Resultados Obtidos

CR = Carga de Ruptura (kgf);	Número de amostras	4
AG = Aceleração da Gravidade m/s ² (9,80665);	Valor Máximo	37,6 MPa
ACP = Área do corpo de prova (mm ²);	Valor Mínimo	31,8 MPa
k1 = Coeficiente de Correção (Relação h/d);	Média	34,9 MPa
k2 = Coeficiente de Correção (Efeito Broqueamento);	Desvio Padrão	2,8 %
k3 = Coeficiente de Correção (Direção da Extração);	Coeficiente de Variação	8,0 %
k4 = Coeficiente de Correção (Efeito Umidade);	f_{ck ext,seg}	34,9 MPa
Prensa: Classe 1, Marca Solocap Mod. 4HCIC, CAP 1000 kN, Res. 0,01 kN, hidráulica elétrica com indicador Digital. Data de Calibração: 25/06/2020 Certificado Nº 201925061A Landim Tec Calibração e manutenção de equipamentos para laboratório de construção civil - SãoPaulo -	f_{ck est (NBR 6118:2014 - Ítem 12.4.1)}	38,4 MPa
	f_{c ext,pot}	37,6 MPa

CP Nº	Dimensão dos CP's		Força de Ruptura (N)	Tensão fci,ext,inicial	Coefic. de correção				Tensão fci,ext	massa (g)	Massa especif (kg/cm³)
	Diâmetro (mm)	Altura (mm)			K1	K2	K3	K4			
09	74,2	111,2	138.290	32,0	-0,040	0,0910	0,00	-0,04	32,3	1.129,8	2,306
10	74,9	115,2	142.220	32,3	-0,037	0,0901	0,00	-0,04	32,7	1.238,1	2,317
11	74,6	91,7	148.020	33,9	-0,075	0,0905	0,00	-0,04	33,0	880,1	2,320
12	74,4	100,7	145.060	33,4	-0,057	0,0907	0,00	-0,04	33,1	912,9	2,333

$$f_{ci, ext.} (MPa) = (CR * AG \div ACP) * (1+k1+k2+k3+k4)$$

Resultados Obtidos

CR = Carga de Ruptura (kgf);	Número de amostras	4
AG = Aceleração da Gravidade m/s² (9,80665);	Valor Máximo	33,1 MPa
ACP = Área do corpo de prova (mm²);	Valor Mínimo	32,3 MPa
k1 = Coeficiente de Correção (Relação h/d);	Média	32,8 MPa
k2 = Coeficiente de Correção (Efeito Broqueamento);	Desvio Padrão	0,4 %
k3 = Coeficiente de Correção (Direção da Extração);	Coeficiente de Variação	1,1 %
k4 = Coeficiente de Correção (Efeito Umidade);	fck_{ext,seg}	32,8 MPa
	fck_{est} (NBR 6118:2014 - Ítem 12.4.1)	36,1 MPa
	fc_{ext,pot}	33,1 MPa

Prensa: Classe 1, Marca Solocap Mod. 4HCIC, CAP 1000 kN, Res. 0,01 kN, hidráulica elétrica com indicador Digital. Data de Calibração: 25/06/2020 Certificado Nº 201925061A Landim Tec Calibração e manutenção de equipamentos para laboratório de construção civil - SãoPaulo -

CP Nº	Dimensão dos CP's		Força de Ruptura (N)	Tensão fci,ext,inicial	Coefic. de correção				Tensão fci,ext	massa (g)	Massa especif (kg/cm³)
	Diâmetro (mm)	Altura (mm)			K1	K2	K3	K4			
13	74,2	111,2	188.500	43,6	-0,040	0,0910	0,00	-0,04	44,1	1.129,8	2,306
14	74,5	115,2	178.820	41,0	-0,036	0,0906	0,00	-0,04	41,6	1.238,1	2,317
15	74,6	91,7	142.890	32,7	-0,075	0,0905	0,00	-0,04	31,9	880,1	2,320
16	74,4	100,7	145.360	33,4	-0,057	0,0907	0,00	-0,04	33,2	912,9	2,333

$$f_{ci, ext.} (MPa) = (CR * AG \div ACP) * (1+k1+k2+k3+k4)$$

Resultados Obtidos

CR = Carga de Ruptura (kgf);	Número de amostras	4
AG = Aceleração da Gravidade m/s² (9,80665);	Valor Máximo	44,1 MPa
ACP = Área do corpo de prova (mm²);	Valor Mínimo	31,9 MPa
k1 = Coeficiente de Correção (Relação h/d);	Média	37,7 MPa
k2 = Coeficiente de Correção (Efeito Broqueamento);	Desvio Padrão	6,0 %
k3 = Coeficiente de Correção (Direção da Extração);	Coeficiente de Variação	16,0 %
k4 = Coeficiente de Correção (Efeito Umidade);	fck_{ext,seg}	37,7 MPa
	fck_{est} (NBR 6118:2014 - Ítem 12.4.1)	41,5 MPa
	fc_{ext,pot}	44,1 MPa

Prensa: Classe 1, Marca Solocap Mod. 4HCIC, CAP 1000 kN, Res. 0,01 kN, hidráulica elétrica com indicador Digital. Data de Calibração: 25/06/2020 Certificado Nº 201925061A Landim Tec Calibração e manutenção de equipamentos para laboratório de construção civil - SãoPaulo -

CP Nº	Dimensão dos CP's		Força de Ruptura (N)	Tensão fci,ext,inicial	Coefic. de correção				Tensão fci,ext	massa (g)	Massa especif (kg/cm³)
	Diâmetro (mm)	Altura (mm)			K1	K2	K3	K4			
17	74,9	111,2	205.190	46,6	-0,042	0,0901	0,00	-0,04	47,0	1.129,8	2,306
18	75,0	115,2	231.670	52,4	-0,037	0,0900	0,00	-0,04	53,1	1.238,1	2,317
19	74,9	91,7	190.720	43,3	-0,076	0,0901	0,00	-0,04	42,1	880,1	2,320
20	74,8	100,7	195.300	44,4	-0,058	0,0902	0,00	-0,04	44,1	912,9	2,333

$$F_{ci, ext.} (MPa) = (CR * AG \div ACP) * (1+k1+k2+k3+k4)$$

Resultados Obtidos

CR = Carga de Ruptura (kgf);

AG = Aceleração da Gravidade m/s² (9,80665);ACP = Área do corpo de prova (mm²);

k1 = Coeficiente de Correção (Relação h/d);

k2 = Coeficiente de Correção (Efeito Broqueamento);

k3 = Coeficiente de Correção (Direção da Extração);

k4 = Coeficiente de Correção (Efeito Umidade);

Prensa: Classe 1, Marca Solocap Mod. 4HCIC, CAP 1000 kN, Res. 0,01 kN, hidráulica elétrica com indicador Digital. Data de Calibração: 25/06/2020 Certificado Nº 201925061A Landim Tec Calibração e manutenção de equipamentos para laboratório de construção civil - SãoPaulo -

Número de amostras	4
Valor Máximo	53,1 MPa
Valor Mínimo	42,1 MPa
Média	46,6 MPa
Desvio Padrão	4,8 %
Coeficiente de Variação	10,3 %
fck_{ext,seg}	46,6 MPa
fck_{est} (NBR 6118:2014 - Ítem 12.4.1)	51,2 MPa
fc_{ext,pot}	53,1 MPa

CP Nº	Dimensão dos CP's		Força de Ruptura (N)	Tensão fci,ext,inicial	Coefic. de correção				Tensão fci,ext	massa (g)	Massa especif (kg/cm³)
	Diâmetro (mm)	Altura (mm)			K1	K2	K3	K4			
21	74,8	84,3	195.300	44,4	-0,104	0,0902	0,00	-0,04	42,0	1.129,8	2,306
22	74,9	109,7	203.720	46,2	-0,044	0,0901	0,00	-0,04	46,5	1.238,1	2,317
23	74,8	115,2	235.270	53,5	-0,037	0,0902	0,00	-0,04	54,3	880,1	2,320
24	74,2	110,1	226.190	52,3	-0,042	0,0910	0,00	-0,04	52,8	912,9	2,333

$$F_{ci, ext.} (MPa) = (CR * AG \div ACP) * (1+k1+k2+k3+k4)$$

Resultados Obtidos

CR = Carga de Ruptura (kgf);

AG = Aceleração da Gravidade m/s² (9,80665);ACP = Área do corpo de prova (mm²);

k1 = Coeficiente de Correção (Relação h/d);

k2 = Coeficiente de Correção (Efeito Broqueamento);

k3 = Coeficiente de Correção (Direção da Extração);

k4 = Coeficiente de Correção (Efeito Umidade);

Prensa: Classe 1, Marca Solocap Mod. 4HCIC, CAP 1000 kN, Res. 0,01 kN, hidráulica elétrica com indicador Digital. Data de Calibração: 25/06/2020 Certificado Nº 201925061A Landim Tec Calibração e manutenção de equipamentos para laboratório de construção civil - SãoPaulo -

Número de amostras	4
Valor Máximo	54,3 MPa
Valor Mínimo	42,0 MPa
Média	48,9 MPa
Desvio Padrão	5,7 %
Coeficiente de Variação	11,6 %
fck_{ext,seg}	48,9 MPa
fck_{est} (NBR 6118:2014 - Ítem 12.4.1)	53,8 MPa
fc_{ext,pot}	54,3 MPa

CP Nº	Dimensão dos CP's		Força de Ruptura (N)	Tensão $f_{ci,ext,inicial}$	Coefic. de correção				Tensão $f_{ci,ext}$	massa (g)	Massa especif (kg/cm³)
	Diâmetro (mm)	Altura (mm)			K1	K2	K3	K4			
25	74,8	102,8	143.170	32,6	-0,055	0,0902	0,00	-0,04	32,4	1.129,8	2,306
26	74,9	100,2	135.190	30,7	-0,059	0,0901	0,00	-0,04	30,4	1.238,1	2,317
27	75,0	92,2	140.720	31,9	-0,075	0,0900	0,00	-0,04	31,1	880,1	2,320
28	74,9	82,1	145.300	33,0	-0,113	0,0901	0,00	-0,04	30,9	912,9	2,333

$$f_{ci, ext. (MPa)} = (CR * AG \div ACP) * (1+k1+k2+k3+k4)$$

Resultados Obtidos

CR = Carga de Ruptura (kgf);

AG = Aceleração da Gravidade m/s² (9,80665);ACP = Área do corpo de prova (mm²);

k1 = Coeficiente de Correção (Relação h/d);

k2 = Coeficiente de Correção (Efeito Broqueamento);

k3 = Coeficiente de Correção (Direção da Extração);

k4 = Coeficiente de Correção (Efeito Umidade);

Prensa: Classe 1, Marca Solocap Mod. 4HCIC, CAP 1000 kN, Res. 0,01 kN, hidráulica elétrica com indicador Digital. Data de Calibração: 25/06/2020 Certificado Nº 201925061A Landim Tec Calibração e manutenção de equipamentos para laboratório de construção civil - SãoPaulo -

Número de amostras	4
Valor Máximo	32,4 MPa
Valor Mínimo	30,4 MPa
Média	31,2 MPa
Desvio Padrão	0,9 %
Coeficiente de Variação	2,8 %
$f_{ck, ext, seg}$	31,2 MPa
$f_{ck, est}$ (NBR 6118:2014 - Ítem 12.4.1)	34,3 MPa
$f_{c, ext, pot}$	32,4 MPa

5. CONCLUSÃO

Durante a concretagem, adensamento e cura, os resultados do controle tecnológico poderiam estar equivocados e mascarando as condições reais do concreto estrutural. O ensaio de esclerometria é um método que avalia a dureza superficial da peça estrutural, portanto bons resultados não significam que todo o meu elemento está com boa homogeneidade e resistência, pois esse método mensura para uma camada pequena e próxima da superfície, e não fornece parâmetros para atestar a parte interna do concreto. Para isso, temos o ensaio de ultrassom que pode ser considerado como complementar ao de esclerometria.

Para esse trabalho as correlações propostas foram muito satisfatórias, pois todos ajustes da curva tiveram valores de r^2 superiores a 0,78, mesmo para a pior situação, logarítmica. Isso mostra que o lote avaliado está em boas condições de qualidade e resistência mecânica para ambas avaliações, do controle tecnológico e dos métodos não destrutivos, portanto considera-se como aprovado. As melhores correlações, do tipo de curva exponencial, servirão para futuros estudos ou manutenções preventivas. Com os resultados satisfatórios para ambos os ensaios.

Os resultados obtidos a partir da resistência a compressão entre os corpos de prova moldados (10x20 cm) e os corpos de prova extraídos, observa-se uma diferença de até 28,72% aos 28 dias, e para as outras idades também foram observadas diferenças nos resultados, isto mostra que os corpos de prova moldados 10x20cm, obtiveram em todas as idades menores resultados em relação aos extraídos.

Comparando os resultados de ensaio de resistência a compressão dos corpos de prova moldados 10x20cm com o ensaio de esclerometria, teve uma diferença de até 9,0% aos 28 dias, para as outras idades também foram observadas diferenças nos resultados, sendo assim a comparação entre estes ensaios também é marcada pela menor resistência dos corpos de prova moldados (10x20cm), conforme era previsto.

Analisando os resultados obtidos observa-se que o método de extração de testemunhos apresentou resultados mais próximos dos cps moldados.

De maneira geral os resultados obtidos mostram que o ensaio de esclerometria se aproximou do ensaio de extração, porém com uma diferença de em média 8,8 % a menos de resistência, os corpos de prova moldados obtiveram uma resistência para todas as idades menores em relação aos ensaios de extração de testemunhos e ensaio de esclerometria.

5.1. SUGESTÕES PARA FUTUROS ESTUDOS

- Para uma melhor definição do ensaio de esclerometria sugerimos efetuá-lo comparando o grau de umidade da peça, ou seja, criando uma situação para a peça no estado seco, e outra com um determinado grau de umidade.
- Efetuar ensaio comparativo de extração de testemunhos mudando o diâmetro dos corpos de prova, ou seja, comparando-se, por exemplo, o diâmetro 6,5 cm com o diâmetro 10 cm.
- Mudar a classe de cimento e o fck.
- Utilizar o ensaio de ultrassom como complementar ao de esclerometria, pois ele avalia a qualidade do concreto com os valores de velocidade do pulso ultrassônico que percorre o elemento internamente, detectando descontinuidades internas, defeitos de concretagem, diferenças de densidade e, possivelmente outros fatores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR ISO 7500-1 – **Materiais metálicos – Calibração e verificação de máquinas de ensaio estático uniaxial – Parte 1** – Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 8522: **Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão**. Rio de Janeiro, 2008.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto – procedimentos**: Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7584: **Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

BOTTEGA, Fábio. **Análise do ensaio esclerométrico, um ensaio não destrutivo, nas estruturas de concreto**. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010.

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: Pini, 1988. Coordenação Técnica: L. A. Falcão Bauer.

EVANGELISTA, Ana Catarina Jorge. **Avaliação da Resistência do Concreto Usando Diferentes Ensaio Não Destrutivos**. - Curso de Engenharia Civil, Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Evolução da fissuração**. São Paulo: PINI, 1995.

HELENE, Paulo. **Vida útil das estruturas de concreto**. 2014. Universidade de São Paulo PCC USP.

RAUBER, Daniel. **Análise Dos Métodos Teóricos E Experimentais Para A Determinação Das Propriedades Do Concreto Estrutural**. Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2015

SILVA, Turibio José da; FERREIRA, Gercindo; DIAS, João Fernando. **Influência de Variáveis nos Resultados de Ensaios Não Destrutivos em Estruturas de Concreto Armado**. Ciência & Engenharia, Uberlândia, v. 22, n. 1, 2013.

THOMAZ, Eduardo. **Notas de aula**. Instituto Militar de Engenharia – IME. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT-NBR 5738: **Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. Rio de Janeiro, 2003.

NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**, São Paulo, 2003.

NBR 7212 –**Execução do concreto dosado em central**, 1984.

NBR 7217 - **Determinação da composição granulométrica**, 1987.

NBR7218: **Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis**, Rio de Janeiro, 1987.

NBR 7218: **Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis**, 2010.

NBR 7219 – **Determinação do teor de materiais pulverulentos**, 1987.

NBR 7223 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, Rio de Janeiro, 1992.

NBR 7584: Concreto endurecido-Avaliação da dureza superficial pelo esclerometro de reflexão, 1995.

NBR 7680: Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto - Procedimento, 1983.

NBR 8802: Determinação da resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos, 1994.

NBR 9776 – Determinação da massa específica Chapman, Rio de Janeiro, 1987.

NBR 9777: Agregados - Determinação da absorção de água em agregados miúdos, Rio de Janeiro, 1987.

NBR 9937: Agregados - Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo, Rio de Janeiro, 1987.

NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – procedimento, 2004 62.

NBR 15900 – Água para amassamento do concreto, 2009.

NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios, São Paulo, 2006.

NBR NM 46: Agregados – determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem, 2003.

NBR NM 47: Concreto - Determinação do teor de ar em Concreto Fresco, 2002.

NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente, São Paulo, 2003.

NBR NM 52: **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**, São Paulo, 2009.

NBR NM 53: **Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**, São Paulo, 2009.

NBR NM 67: **Determinação pelo abatimento do tronco de cone**, 1998.

NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**, 2003.

ACI 214.4R: **Guia para obtenção e interpretação dos resultados de resistência à compressão**, 2010.

ALHADAS, Miguel F. S. **Estudo da influência do agregado graúdo de diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) Programas de Pós-Graduação da CAPES, Universidade federal de Minas Gerais, 2008.

AOKI, Jorge **“Proteja seu concreto”**. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/massacinzenta/proteja-seu-concreto>. Acesso em: 02/09/2011 **Concreto: material construtivo mais consumido no mundo**, IBRACON, São Paulo, Jan/ mar 2009.

Ano XXXVII | Nº 53 EVANGELISTA, Ana C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 219 p. Tese (Doutorado em Ciências na Construção Civil) Coordenação de Programa de Pós-Graduação em Engenharia-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

FIGUEIREDO, Enio Pazini **Inspeção de Estruturas de Concreto com problemas de Resistência, fissuras e deformações**, IBRACON, São Paulo, 2005 63.

HELENE, Paulo - **Fatores que afetam a resistência in situ do concreto** - Revista ALCONPAT, Volume 1, Número 1, Abril 2011, Páginas 67 - 92.

LAPA, J. S. **Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto** 55 p. pag28. Monografia (Especialização em Construção Civil), Escola de Engenharia da UFMG,– Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

LIMA, Jeferson M.; PACHA, Jose R. S. - **Causas dos processos de deterioração das estruturas durante a construção**, Disponível em: patologiaestrutura.vilabol.uol.com.br/causas.htm. Acesso em: 05/09/2011, item 4.4.4; 3º parágrafo.

LORENZI, Alexandre; CAETANO, Luciane F.; DRUNN, Mauricio T.; SILVA, Luiz C. P. F. - **Utilização de ultra som para monitoramento de estruturas de concreto**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais, 2003.

MARQUES FILHO, J. – **Maciços Experimentais de Laboratório de Concreto Compactado com Rolo Aplicado às Barragens**, Tese Doutorado em engenharia civil– UFRGS – 2005.

MACAMBIRA, Paulo M. F. **O concreto, uma visão analítica de seus componentes, mão-de-obra e patologias**. 113 p. pag44 Tese (Graduação em Engenharia Civil do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia,), Universidade da Amazonia, 2001.

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

MEHTA P. Kuman; MONTEIRO Paulo J.M., **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais** São Paulo: Pini 1994.

MEHTA P. Kuman; MONTEIRO Paulo J.M., **Microestrutura, Propriedades e Materiais** (2008) NEVILLE, Adam M. Propriedades do Concreto. São Paulo: Pini, 1982.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

NOGUEIRA, Carnot L. **Ensaos não destrutivos: Novas ferramentas para inspeção de obras públicas**, Ed. CEPE, Recife, 2000.

PETRUCCI, Eladio G. R. – **Concreto de cimento Portland**, Editora Globo, 1982. 64

WENDLER, Anthony P.; TURRA, Celso; SERIGHELI, I. J. **Estudo de fissuração térmica do concreto em barragens** Monografia (Pós Graduação- Especialista em Patologias na Construção Civil) Universidade Tuiuti do Paraná, 2007.

WHITEHURST, E. A, **Evaluation of concrete properties from sonic tests**, ACI Monografia, nº 2, American Concrete Institute/Iowa State University Press, Detroit, p.94, 1966.

VASCONCELOS AUGUSTO C., **O misterioso módulo de elasticidade**, TQS, fev. 2009.

VIEIRA, Geilma Lima et AL. **Avaliação da resistência à compressão, resistência à tração e formação de microfissuras em concretos produzidos com diferentes tipos de cimentos, quando aplicado um pré-carregamento de compressão**. Ambiente construído, revista online da ANTAC, Porto Alegre, v. 11, n. 1, mar. 2011.

Ferramentas Ajuda

Arquivo URL Iniciar Parar Limpar Opções Scholar

E-mail mylenabarroso1@gmail.com Modo de pesquisa Buscar em arquivos da Internet

	Nome do arquivo de entrada	Relatório	Tempo	Progresso	Chance	Status	Principal	
1	C:\Users\User\Desktop\2020-2 TCC2 MURILLO HENRIQUE SARDINHA GOMES.pdf	Analisar	02:36	100.0%	1,12%	Ok		✘

APOIA.se

Torne-se um Apoiador e tenha acesso a licenças exclusivas com todos os recursos do CopySpider.