Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

ESTUDO COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO ATRAVÉS DE ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO-DESTRUTIVOS

A.GADELHA DE MEDEIROS
Profº. Me
UFERSA
RN; Brasil
alisson.gadelha@ufersa.edu.br

E. CÁSSIA DE FREITAS
Profª
IFRN
RN; Brasil
evilane_cassia@globo.com

L.CAVALCANTE DE ARAÚJO MELLO
Engenheira Civil
UFRN
RN; Brasil
larissa.engciv@yahoo.com.br

M.V.VIEIRA DE ALMEIDA
Profª. Drª
UFRN
RN; Brasil
vitoria@ct.ufrn.br

RESUMO

No âmbito da Engenharia Civil brasileira, as estruturas de concreto são as mais difundidas, principalmente quando comparadas às estruturas metálicas. Este fato reforça a necessidade do estudo de sua durabilidade, no sentido de minimizar o aparecimento de eventuais manifestações patológicas as quais poderão estar sujeitas. Para tanto, a realização de ensaios tecnonológicos tornam-se fundamentais na obtenção de suas características, propriedades e aspectos de durabilidade, que remetem a qualidade e a resistência da estrutura. É importante ressaltar que, a qualidade do concreto depende dos materiais utilizados em sua dosagem, das propriedades no estado fresco, da maneira de seu lançado nas fôrmas, bem como das condições em que é submetido após concretagem. Para essas medições, os ensaios aplicados podem ser destrutivos e não-destrutivos. Diante deste contexto, este artigo tem como objetivo realizar análises em concreto com resistência caracteristica de 20MPa, a partir da comparação de resultados de ensaios destrutivos (extração de testemunho e compressão axial) e não-destrutivos (esclerometria e ultrassom). A análise da resistência foi realizada aos 28 dias de idade, e os resultados corroboraram que a resistência à compressão dos corpos-de-prova moldados foi superior ao ultrassom, sendo estes superiores aos encontrados nos ensaios de extração de testemunho e esclerometria, para o segundo, obteve-se resistência mais aproximada do ensaio de extração de testemunho. Outrossim, foi possível observar que a homogeneidade do concreto interfere nos resultados de esclerometria, e as medidas de ultrassônicas estimaram qualidade satisfatória do concreto, no que se refere a resistência requerida.
Palavras-chave: durabilidade, ensaios tecnológicos, qualidade do concreto, resistência.

ABSTRACT

In the scope of brazilian Civil Engineering, the concrete structures are widespread, mainly when compared with the metallic structures. This fact strengthens the necessity of the study of its durability, in the direction to minimize the appearance of eventual pathological manifestations which may be subject. To this end, conducting technological tests become crucial in obtaining their characteristics, properties and aspects of durability, properties and aspects of durability, referring to quality and resistance of the structure. It is important to stand out that the quality of the concrete depends on the used materials in its dosage, of the properties in the cool state, in the launched way of it's in the forms, as well as them conditions where concreting is submitted after. For these measurements, the applied assays can be destructive and nondestructive. Ahead of this context, this article has objective to carry through analyses in concrete with characteristic resistance of 20MPa, from the comparison of results of destructive testings (extration of testimony and axial compression) and nondestructive (testing hammer and ultrasound). The analysis of the resistance was carried through to the 28 days of age, and the results had corroborated that the compressive strength molded of the bodies-of-proof was superior to ultrasound, these being superior than those found in the extraction of testimony and testing hammer, to the second, there was obtained closest resistance of the assay of extration of testimony. Moreover, was possible to observe that, the homogeneity of the concrete intervenes with the testing hammer results, and the measures of ultrasonic had esteem satisfactory quality of the concrete, being considered the required resistance.
Keywords: durability, technological tests, quality of the concrete, resistance.

1. INTRODUÇÃO

O cimento da civilização romana era constituído de cinza vulcânica e cal, permitindo a formação de grandes blocos de pedra, até que surgiu o cimento Portland, tornando possível a confecção do concreto, material pétreo moldável. No

entanto, apenas na década de 20, foi possível utilizar o concreto em grandes estruturas com segurança e economia devido a inserção do aço nas zonas de tração [1].

Em razão do uso bastante difundido das estruturas de concreto no Brasil, há a necessidade do conhecimento do controle tecnológico de uma de suas mais importantes propriedades, a resistência. Nesta perspectiva, o estudo dessa propriedade vem se intensificando de maneira significativa desde a extração da matéria-prima até análises de aplicação em obra, visto que essa propriedade se relaciona com a qualidade do concreto.

O controle tecnológico do concreto tem como enfoque a avaliação de suas propriedades no estado endurecido. Dentre essas, a resistência à compressão do concreto é a de maior importância. Com isso, a fim de conhecer tal propriedade, são utilizados ensaios destrutivos e não-destrutivos. Estes ensaios resultam em fatores que são influenciados pela resistência à compressão e podem ser correlacionados com a durabilidade do material, ou seja, com a expectativa de tempo de uso adequado de um material sob determinadas condições de solicitações de cargas e ambientais, consequentemente, com a segurança da estrutura. Diante da importância da resistência à compressão na interpretação dos resultados dos ensaios, a análise dessa propriedade é de fundamental importância no conhecimento da qualidade do compósito em estudo.

Para a determinação da resistência à compressão do concreto é fundamental a caracterização de fatores influentes, como adensamento e condições de cura, curva granulométrica, aditivos, adições, condições de umidade e geometria do corpo-de-prova, sendo a principal delas a relação água/cimento.

2. CONCRETO

Definido como um material compósito, o concreto consiste, essencialmente, de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas ou fragmentos de agregado. No concreto de cimento hidráulico, o aglomerante é formado de uma mistura de cimento hidráulico e água [2].

Em relação à microestrutura do concreto, três fases são de grande importância: agregado, matriz da pasta de cimento e uma interface bem definida entre estas, denominada interface pasta agregado ou Zona de Transição (ZT). Esta zona é uma pequena região, com espessura de 10μm a 50μm, em volta do agregado graúdo que, geralmente, apresenta-se mais fraca em relação a outros dois componentes, o agregado e a pasta de cimento hidratada, do concreto. Em virtude disso, o comportamento mecânico do concreto é bastante influenciado por tal região [2];[3].

O concreto pode ser analisado em duas condições: no estado fresco e endurecido. Uma das características do concreto no estado fresco é a trabalhabilidade que se trata da capacidade do concreto ser misturado, transportado, lançado e vibrado, sem mudança de homogeneidade [4]. Sendo a trabalhabilidade bastante influenciada pela consistência e pela coesão. A primeira indica a capacidade do concreto de resistir deformações sob a ação da sua própria massa e é medida através do ensaio de abatimento de tronco de cone, enquanto a coesão indica a capacidade de retenção de água e retenção dos agregados graúdos na pasta, sendo uma propriedade medida qualitativamente [5].

O concreto no seu estado endurecido pode estar submetido a esforços de compressão, tração ou cisalhamento. A resistência à tração é em média de 10% da resistência à compressão. Sob tração, basta uma energia considerada baixa para o início e o desenvolvimento de fissuras na matriz. A ruptura frágil é contribuída pela progressão rápida e pela interligação do sistema de fissuração, que consiste em fissuras pré-existentes na zona de transição e novas fissuras formadas na matriz [2].

2.1. Resistência à compressão do concreto

Existem fatores influentes na resistência mecânica do concreto de acordo com [2];[3], tais como: as propriedades dos componentes (cimento, agregados, aditivos e adições minerais), proporcionamento dos componentes (relação água/cimento e relação agregado/cimento) e condições de cura e idade dos corpos-de-prova.

O tipo de cimento, o que inclui as suas propriedades físicas e químicas, interfere significativamente na resistência do concreto. [6] afirmam que o processo de hidratação, o qual acarreta ganho de resistência, nos concretos se inicia pela superfície das partículas, com uma redução progressiva do tamanho da partícula do cimento e com isso são formados os produtos hidratados. Assim sendo, quanto mais fino for o cimento, maior será a velocidade de reação com consequente ganho de resistência a menores idades.

A permeabilidade pode ser entendida como o fluxo de um fluido em consequência de um gradiente de pressão, sendo caracterizada pela facilidade com que um fluido atravessa um sólido poroso sob uma diferença de pressão [7]. Para [8], uma menor permeabilidade pode ser conseguida com uma relação água-cimento baixa e execução cuidadosa. A permeabilidade se relaciona diretamente com a porosidade da pasta. Quanto menos porosa for, menos permeável será o concreto. A porosidade da pasta depende da relação água-cimento e do seu grau de hidratação.

A porosidade ainda influencia no grau de absorção do concreto, sendo este o processo pelo qual o concreto retém água nos poros e condutos capilares. Tal processo pode ser medido secando uma amostra até sua massa ficar constante para depois haver a imersão dela, em água, e com isso é determinado o acréscimo de massa expressa em porcentagem da massa seca. Grande parte dos concretos de boa qualidade possui absorção abaixo de 10% [3].

Em relação à influência dos agregados, raramente os naturais do concreto são fator determinante da resistência e das propriedades elásticas do concreto por serem densos e resistentes. Apesar dos agregados, isoladamente, não terem grande influência na resistência, quando se trata da relação agregado/cimento há uma interferência significativa [2].

[9] cita que a distribuição granulométrica do agregado graúdo, mantendo constante a dimensão máxima e a relação água/cimento, quando alterada, pode influenciar a resistência do concreto devido à alteração da consistência e da exsudação da mistura. Por isso, busca-se uma distribuição granulométrica densa, resultando em concretos mais trabalháveis e econômicos, além de possibilitar uma estrutura interna do concreto mais fechada, com menos vazios, e uma maior dificuldade de penetração dos agentes agressivos.

As reações químicas de hidratação dos compostos presentes na pasta de cimento ocorrem graças a cura do concreto. Portanto, a prática da cura é de fundamental importância para a boa qualidade do produto final. Essas reações são importantes para o ganho de resistência mecânica por parte do concreto e para a garantia da sua vida útil. Além disso, a manutenção da umidade do concreto por este método evita a formação de fissuras na superfície do material provocadas pelos efeitos de retração, o que ajuda a garantir sua durabilidade [10].

Mesmo havendo o ganho de resistência com o tempo, [1] sugere valores relativos e aproximados de resistências, 50%, 70%, 92% e 100% da resistência de projeto, para as idades de 3, 7, 14 e 28 dias, respectivamente.

3. ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DO CONCRETO

3.1. Ensaios destrutivos

A forma convencional de analisar a qualidade do concreto é através da moldagem e ruptura dos corpos-de-prova (CPs), afim de assegurar a resistência à compressão projetada. Também podem ser feitas outras análises do concreto como resistência a tração, a curva de tensão-deformação, módulo de deformação e coeficiente de Poisson [11].

O ensaio em CPs de concreto cilíndricos é normatizado pela ABNT NBR 5739 (2007) [12]. Esta norma prescreve um método de ensaio pelo qual devem ser submetidos à compressão dos CPs cilíndricos de concreto, moldados conforme a ABNT NBR 5738 (2015) [13].

Quando há indicação de fissuração interna ou zonas de concreto mais fraco, é necessário realizar ensaios diretos de resistência em testemunhos extraídos da estrutura usando coroa rotativa de diamante [14].

Para [4], a extração e rompimento de testemunhos é o método mais usado na determinação da resistência à compressão da própria estrutura nas situações de dúvidas sobre o controle de aceitação, homogeneidade ou deterioração do concreto. A resistência dos testemunhos geralmente é menor que a dos corpos-de-prova padronizados. Esta diminuição não é motivada somente pelas diferenças das condições de cura e adensamento em relação aos CPs padronizados, mas também aos danos gerados no processo de extração.

3.2. Ensaios não-destrutivos

[15] definem os ensaios não-destrutivos (ENDs) como aqueles que não causam danos à estrutura ensaiada, pois não provocam perda na capacidade resistiva. Estes ensaios podem ser feitos em qualquer idade do elemento. Nos elementos novos, esses ensaios são feitos para o controle da evolução de sua resistência e outras propriedades relevantes em

estruturas de concreto como, corrosão, índice de vazios e permeabilidade. Já nas estruturas existentes visam avaliar a sua integridade e capacidade resistiva a novas cargas.

Dentre os END, há o ultrassom que consiste na medição, por meio eletrônico, do tempo de propagação de ondas ultrassônicas através do concreto, entre o emissor e o receptor. O comprimento percorrido entre os transdutores dividido pelo tempo de propagação, resulta na velocidade média de propagação da onda [16]. A velocidade do ultrassom dá muitas indicações sobre as propriedades mecânicas do material, dentre vários exemplos, a sua rigidez, seu estado de tensão, o seu nível de danos químicos ou danos mecânicos e idade. Ainda sendo possível visualizar grande descontinuidades associadas a um contraste significativo no concreto, incluindo fissuras [17].

A velocidade da onda depende principalmente dos seguintes fatores: coeficiente de Poisson, módulo de deformação, massa específica e também da presença ou não de armadura. O ensaio é de operação fácil e baixo custo. A ligação entre o transdutor do aparelho e a superfície do concreto é um dos pontos críticos do método. Um outro problema que pode influenciar nos resultados é a presença de fissuras, vazios ou descontinuidades no concreto [15];[18].

Nas medições por ultrassom, pode-se analisar o sinal através de ondas longitudinais, transversais e na superfície da massa do concreto – onde se manifesta uma onda superficial de grande energia denominada de onda de Rayleigh [19].

[20] relatam que tanto a densidade como o módulo de elasticidade estão correlacionados com a velocidade ultrassônica. Para um concreto não saturado, esta velocidade diminui com o aumento da porosidade.

Outro END é a esclerometria, ensaio baseado no princípio da dependência da reflexão (recuo) de uma massa elástica com a dureza da superfície contra a qual a massa colidiu. O funcionamento se dá pelo impulsionamento de uma massa por uma mola que possui determinada quantidade de energia transmitida pela extensão da mola até uma posição estabelecida. Isso é feito pela pressão de uma haste contra uma superfície lisa de concreto firmemente apoiada. Após a liberação, o reuco da massa da haste e a distância percorrida pela massa, expressa como uma porcentagem da extensão inicial da mola, é denominada índice esclerométrico. A haste deve estar sempre normal à superfície do concreto, e a posição relativa do esclerômetro em relação à vertical afeta o índice esclerométrico devido à influência da gravidade na massa móvel [21].

Os valores obtidos não são precisos já que dependem da uniformidade da superfície, da condição de umidade, da carbonatação superficial e da rigidez do elemento estrutural [2]. Além dos fatores já citados, os estudos de [22] apresentam outros fatores também influentes no resultado como o tipo e teor de cimento e os agregados utilizados.

De acordo com [21], o ensaio com o esclerômetro Schmidt é válido como uma medida da uniformidade e qualidade relativa do concreto em uma estrutura ou da produção de uma quantidade de elementos similares pré-moldados, mas não como um ensaio de aceitação.

4. MATERIAIS E METÓDOS

O concreto foi dosado em central, possuindo o traço (cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água) em massa de 1 : 2,48 : 2,67 : 0,65, com uso do aditivo plastificante MIRA RT 67 e cimento do tipo CPIIZ-32 da marca Cimpor. O abatimento do concreto foi de 18 cm.

Afim de compreender melhor a utilização do traço adotado pela empresa que forneceu o concreto, realizou-se a caracterização dos agregados e estes se apresentaram com uma distribuição uniforme.

Para o estudo do concreto foram moldados 5 corpos-de-prova (0,10x0,20m) e um bloco de concreto com dimensões de 1,0m de comprimento, 0,50m de largura e 0,40m de altura para o f_{ck} de 20MPa.

No bloco do experimento, conforme a ABNT NBR 7680 (2015) [23], foram extraídos 5 CPs com diâmetro de 75mm. O ensaio de extração de testemunho foi do tipo úmido e os CPs extraídos (T) foram cortados com serra diamantada para que a sua altura ficasse aproximadamente igual ao dobro do diâmetro. O ensaio de resistência a compressão axial, aos 28 dias, foi aplicado em 4 CPs de cada tipo, moldados e extraídos. Os ensaios complementares ao estudo, de absorção de água, índice de vazios, massa específica do concreto, foram feitos em 1 CP de cada tipo, um moldado e um extraido, seguindo as orientações da [24].

No bloco, após a regularização da superficie, com disco de *carborundum,* definiu-se, de acordo com a norma [25], os pontos a serem efetuados os ensaios de ultrassom (Figura 1). Foram escolhidos seis pontos em cada face, espaçados 0,15m entre si, com medição de forma indireta em cada face do bloco.



Figura 1: Ensaio de ultrassom.

A partir dos resultados obtidos foi determinado, atráves da Equação (1) proposta por [26], o módulo de elasticidade a partir da velocidade média (V^2) da propagação do pulso ultrassônico e da massa especifica (ρ) obtida com o testemunho extraído.

$$E_d\ (GPa) = (\rho V^2) / 10^6 \qquad \text{Equação (1)}$$

[27] conclui que a resistência do concreto (f_c) para concretos normais cujo módulo de deformação compreendidos entre 20 e 47 GPa pode ser calculada, quando se tem o módulo de elasticidade dinâmico (E_d), através da Equação (2).

$$f_c\ (kgf/cm^2) = 3{,}5 \times 10^{-9} \times E_d - 10^{-3} \times E_d + 20 \qquad \text{Equação (2)}$$

Após a regularização já citada e seguindo as orientações de [28], no ensaio de esclerometria houve a elaboração de quatro malhas de 0,20x0,20m, sendo três na face maior e uma na face menor. Na maior, as malhas (M) ficaram distantes, verticalmente e horizontalmente, 0,10m das bordas. Já para na menor, a malha ficou distante horizontalmente 0,15m e verticalmente, 0,10m. A execução de tal ensaio pode ser observada na Figura 2.



Figura 2: Ensaio de esclerometria.

A Tabela 1 mostra de forma resumida a nomeclatura dos corpos-de-prova e os seus respectivos ensaios.

Tabela 1: Resultado do ensaio de compressão axial dos corpos-de-prova

Corpo-de-prova	Tipo	Ensaio
CP1 ao CP4	Moldado	Compressão axial
CP5	Moldado	Absorção e massa especfica
T1 ao T4	Extraído	Compressão axial
T5	Extraído	Absorção e massa especfica
Bloco	Moldado	Esclerometria e ultrassom

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E ANÁLISE COMPARATIVA

5.1. Resistência à compressão dos CPs e extração de testemunho

A Tabela 2 apresenta os valores da resistência dos CPs moldados com resistência média de 34,35MPa. Já a Tabela 3 mostra os resultados das resistências dos testemunhos T, onde houve correção devido a proporção H/D ser diferente de 1, segundo [12].

Tabela 2: Resultado do ensaio de compressão axial dos corpos-de-prova

Nº do CP	Carga (Kgf)	Resist. Compressão (MPa)
CP1	26700	34,01
CP2	25900	32,99
CP3	29100	37,07
CP4	27400	34,9

Tabela 3: Resistências dos testemunhos extraídos

CPs extraídos (T)	Diâmetro (D) (cm)	Altura (H) (cm)	H/D	Área (cm²)	Carga (Kgf)	Resist. Direta (MPa)	Fator de correção	Resist. corrigida (MPa)
T1	7,3	14,3	1,96	41,83	10000	23,9	0,9968	23,83
T2	7,3	14,0	1,92	41,83	12600	30,12	0,9936	29,93
T3	7,3	14,2	1,95	41,83	10000	23,9	0,996	23,81
T4	7,3	14,2	1,95	41,83	10300	24,62	0,996	24,52

Na Figura 3 são mostrados os valores de resistência à compressão dos corpos-de-prova moldados (CPs-20) e extraídos (T), observa-se que a resistência destes foi menor do que a resistência dos testemunhos de concreto.

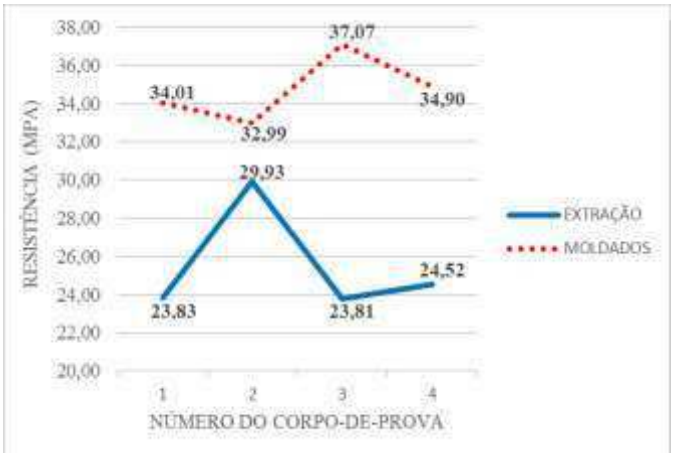


Figura 3: Gráfico comparativo entre as resistências dos corpos-de-prova moldados e extraídos

O valor da resistência média dos testemunhos corresponde a 74,29% da resistência média dos CPs. Com o auxílio dos valores de índice de vazios e massa específica das amostras, conforme apresentado na Tabela 4, assegura-se que o testemunho possui maior vazios em sua estrutura, diminuindo a sua resistência.

Tabela 4: Resultado dos ensaios complementares

CP Moldado		CP Extraído	
Ensaio	**Resultado**	**Ensaio**	**Resultado**
Absorção por imersão (%)	5,32	Absorção por imersão (%)	6,67
Absorção após fervura (%)	5,56	Absorção após fervura (%)	6,95
Índice de vazios (%)	13,00	Índice de vazios (%)	15,86
Massa especifica da amostra seca (g/cm³)	2,34	Massa especifica da amostra seca (g/cm³)	2,28
Massa especifica da amostra saturada (g/cm³)	2,47	Massa especifica da amostra saturada (g/cm³)	2,44
Massa especifica real (g/cm³)	2,45	Massa especifica real (g/cm³)	2,51

Pode-se atribuir os resultados de resistência e absorção ao processos de adensamento do bloco e/ou de extração, sendo o concreto de natureza frágil, resulta em fissuras e consequentemente reduz a resistência à compressão do concreto.

5.2. Resistência à compressão dos CPs e ultrassom

A Tabela 5 apresenta os valores da velocidade de ultrassom no bloco. Para a análise da resistência a compressão do concreto a partir desde ensaio, optou-se pela exclusão pontos P7 e P8, devido os valores não serem satisfatórios e resultar em má interpretação dos resultados. Com isso, a velocidade média obtida foi de 3676m/s e, de acordo com as Equações (1) e (2), respectivamente, chegou-se ao módulo de elasticidade de 34,45GPa e resistência estimada em 27,09MPa.

Tabela 5: Resultados do ensaio de ultrassom

Face	Ponto	t1	t2	Velocidade (m/s)	E (GPa)	Resist.compressão (MPa)
Face maior	P1	32,1	74,7	3521	31,61	23,37
	P2	31,7	74,4	3513	31,47	23,19
	P3	31,6	71,7	3741	35,69	28,89
	P4	32,1	71,4	3817	37,15	31,16
Face menor	P5	29,7	69,8	3731	35,50	28,60
	P6	30,7	70,9	3731	35,50	28,60
	P7	34,1	81,9	3138	25,11	16,96
	P8	32,7	82,9	2988	22,77	15,37

A forma indireta do ensaio de ultrassom deve ser levada em consideração, pois caso as medidas fossem diretas na seção transversal da peça, bem como ao longo de seu comprimento, as propagações ocorreriam de forma diferente. Isso ocorre em virtude de que as velocidades transversais são mais lentas em relação às velocidades longitudinais, condicionadas aos diferentes tipos de esforços (cortante e tração-compressão) serem coincidentes ou não com a direção de propagação da velocidade ultrassônica [19].

A Figura 4 ilustra a comparação entre este valor estimado com a resistência média dos CPs de acordo com o ensaio de resistência à compressão axial.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

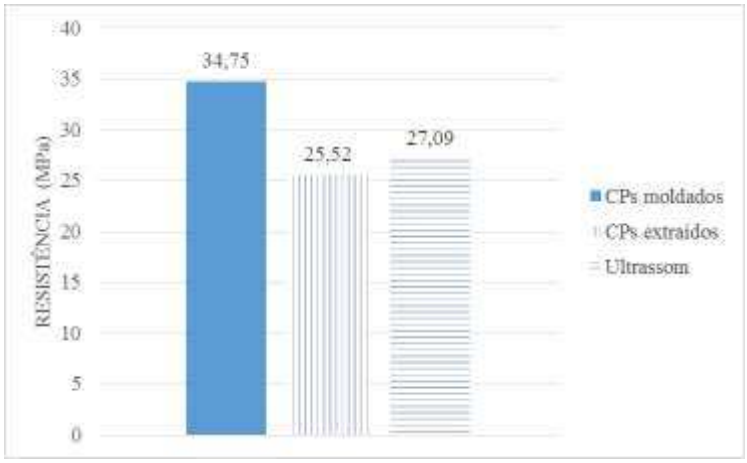


Figura 4: Gráfico comparativo das resistências dos CPs com ensaio de ultrassom

Verifica-se através da Figura 4 que a resistência encontrada pelo ensaio de ultrassom é 77,96% da resistência obtida pelos CPs moldados. A resistência dos CPs extraídos é 94,20% do encontrado no ensaio de ultrassom. Segundo [29], é admissivel 20% de erro para estimativa da resistência do concreto, portanto, como a resistência de projeto é de 20MPa, tornou-se bastante satisfatória a resistência obtida atráves do ensaio de ultrassom.

Aliado ao ensaio de absorção de água e índice de vazios, o de ultrassom auxilia na determinação da qualidade do concreto, possibilitando o entendimento quanto aos processos de adensamento e cura, assim como sua correta execução. Por isso houve a correlação entre os dois. Nota-se que os valores encontrados nos ensaios de absorção de água e índice de vazios estão condizentes com a velocidade média de 3676 m/s da onda propagada no bloco, compatível com um concreto pouco poroso.

A Tabela 6 mostra a relação entre a velocidade da onda e a qualidade do concreto proposta por [30]. Como o valor de velocidade de propagação da onda encontrado, 3676m/s, está compreendido no intervalo de 3500 < V > 4500, o concreto é classificado como “Bom”.

Tabela 6: Relação das ondas sonoras com a qualidade do concreto

Velocidade da onda ultrassônica (m/s)	Qualidade do concreto
V > 4500	Excelente
3500 < V < 4500	Bom
3000 < V < 3500	Aceitável
2000 < V < 3000	Ruim
V < 2000	Muito ruim

Fonte: Modificado [30]

5.3. Resistência à compressão dos CPs e esclerometria

Observa-se através da Figura 5 que a média dos CPs moldados foi maior que a resistência média obtida no ensaio de esclerometria. A porcentagem entre a média destas resistências é de 54,96%, sendo o valor da resistência do último mais próximo da resistência dos testemunhos, numa razão de 73,98%.

A média dos índices de reflexão pode ser relacionada com a qualidade e homogeneidade do concreto a partir dos coeficientes de variação. Na amostra ensaiada, os coeficientes de variação obtidos através da razão entre o desvio padrão e a média dos valores de cada malha foram de 4,88 a 5,50%. Esse resultado indica que o concreto analisado é homogêneo e de boa qualidade, visto que o intervalo encontrado para os referidos coeficientes encontra-se entre os limites fixados por [31] (entre 2% e 15%) para classificar o concreto com tais qualidades.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

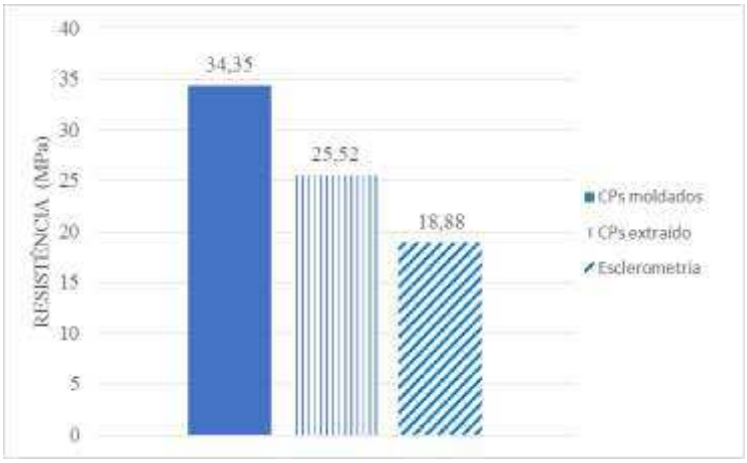


Figura 5: Gráfico comparativo entre resistência à compressão dos CPs moldados e a resistência obtida através do ensaio de esclerometria realizada no bloco.

6. CONCLUSÕES

Diante do estudo realizado com o concreto cuja resistência de projeto é de 20MPa, obteve-se as seguintes conclusões:

- Os ensaios realizados no concreto possibilitaram se identificar as diferenças entre os valores de resistência à compressão encontrados, assim como, se obter informações a respeito da qualidade do concreto em estudo;

- Os resultados obtidos com o ensaio de compressão axial de CPs moldados e extraídos apresentaram uma discrepância de 25,71%, mostrando que os CPs moldados tiveram resistência média maior que os extraídos. Tal resultado é comprovado ao ser comparado com o índice de vazios dos CPs; aquele moldado obteve menor índice que o extraído, portanto, há uma tendência a possuir menores zonas de fragilidade, apresentando assim maiores resistências à compressão;

- Por ser um ensaio de dureza superficial, logo é relacionado ao estado da superficie do concreto a ser ensaiado, houve uma diferença de resistência entre os CPs moldados e a esclerometria de 45,04% e entre os CPs extraídos e esclerometria de 26,01%. Portanto, em ambos os casos a resistência encontrada no ensaio de esclerometria foi menor que àquelas dos CPs;

- O resultado do ensaio de ultrassom se aproximou mais dos testemunhos, 6,15% maior. Em relação ao de esclerometria e CPs moldados foi 43,48% maior que o primeiro e 22,04% menor que o segundo;

- O ensaio de ultrassom mostrou que o concreto é de boa qualidade, comprovando a tendência de concretos com menor relação água/cimento apresentarem qualidade. Tanto a qualidade do concreto quanto a propagação de ondas neste puderam ser comprovadas com os ensaios de absorção de água e índice de vazios que indicaram não serem concretos tão porosos;

- O ensaio de esclerometria indicou, através dos seus coeficientes de variação de 4,88 a 5,50%, um concreto homogêneo e de boa qualidade;

- Houve coerência entre os ensaios de esclerometria e ultrassom no que se diz respeito à qualidade do concreto, o primeiro confirmou a conclusão obtida pelo segundo ensaio, o concreto é de boa qualidade;

- Dentre os ensaios analisados, o que mais se aproximou da resistência real da estrutura (bloco) foi de ultrassom. A pequena diferença entre este ensaio e o de extração de testemunho pode ser devido ao efeito do broqueamento, criando microfissuras que deixam o concreto mais frágil. O valor do ensaio de esclerometria divergiu muito em razão de ser um ensaio bastante superficial e depender de diversos fatores;

- Por fim conclui-se que não foi possível elaborar equações de correlação para dos resultados encontrados nos diferentes ensaios realizados no concreto devido à divergência entre os valores de resistência obtidos e ao tamanho do espaço amostral em análise.

7. REFERÊNCIAS

[1] GIAMUSSO, S. E. *Manual do Concreto*. São Paulo: Pini, 1992.162p.
[2] MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.* 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674p.
[3] NEVILLE, A.M. *Propriedades do concreto*. São Paulo: Pini, 1997. 828p.
[4] ALVES, J. D. *Manual de tecnologia do concreto*. 3. ed. rev. Goiânia: Ed. UFG, 1993. 194p.
[5] PALACIOS, M.P.G. *Emprego de Ensaios Não Destrutivos e de Extração de Testemunhos na Avaliação da Resistência à Compressão do Concreto*. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília (DF), 2012. 165p.
[6] ANDRADE, J.J.O; TUTIKIAN, B.F. *In: Concreto: Ciência e Tecnologia*. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1. 1712p.
[7] SANTOS, L. *Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto*. Dissertação (Mestrado em estruturas), Departamento de Estruturas, Universidade de Brasília, Brasília (DF), 2006. 161p.
[8] VILASBOAS, J. M. L. *Durabilidade das edificações de concreto armado em Salvador: uma contribuição para a implantação da NBR 6118:2003.* Dissertação de Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo, Salvador (BA), 2004. 229p.
[9] LEAL, A.C.F.S. *Investigação experimental do módulo de elasticidade nos concretos produzidos em Brasília.* 2012. 151f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília (DF), 2012. 151p.
[10] GOMES, V. L. L. e*t al,* "*Influência do processo de cura em concreto convencional em seis idades.*" In: Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, VII. Palmas, 2012. p.8.
[11] FIGUEIREDO, E. P. *In: Concreto: ensino, pesquisa e realizações.* 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2005. v.1. 787p.
[12] ABNT NBR 5739, *Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007. 13p.
[13] ABNT NBR 5738, *Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova*. Rio de Janeiro, 2015. 12p.
[14] ASTM C42. "*Standard Test Method For Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete*". USA: American Society for Testing and Materials, 1991. 6p.
[15] MOTA, R. O.; JUNIOR, P. F.; SOUZA, R. A. "*Avaliação da resistência à compressão do concreto através da velocidade de propagação da onda ultra-sônica".* UEG. Goiás,(s.d.). 6p.
[16] EVANGELISTA, Ana C. J. *Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos*. Tese (Doutorado em Ciências na Construção Civil) Coordenação de Programa de Pós-Graduação em Engenharia-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002. 219p.
[17] PLANES, T.; LAROSE, E. "*A review of ultrasonic Coda Wave Interferometry in concrete".* Cemend and Concrete Research, Vol. 53. 2013. pp. 248 – 255.
[18] BREYSSE. D. *"Nondestructuve evaluation of concrete strenght: Na historical reviw and a new perpective by combinig NDT methods."* Construction and Building Materials. Vol. 33. 2012. pp. 139 – 163.
[19] MESEGUER, A. G.; CABRÉ, F. M.; PORTERO, J. C. A. *Hormigón armado*.15ª ed.,Barcelona: GG, 2011. 629p.
[20] BENOIS, A.; GRINI, A. "*Estimation of concrete's porosity by ultrasounds".* Physics Procedia, Vol. 21. 2011. pp. 53 – 58.
[21] NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. *Tecnologia no concreto*. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 452p.
[22] SAHUINCO, M.H.C. *Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto.* Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 2011. 170p.
[23] ABNT NBR 7680, *Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto*. Rio de Janeiro, 2015. 27p.
[24] ABNT NBR 9778, *Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica.* Rio de Janeiro, 2009.4p.
[25] ABNT NBR 8802, *Concreto Endurecido – Determinação da velocidade de Propagação de Onda Ultra-S*. Rio de Janeiro, 2013. 8p.
[26] BARLUENGA, G.; HERNÁNDEZ-OLIVARES, F. "*Self-levelling cement mortar containing grounded slate from quarrying waste."* Construction and Building Materials, Vol. 24. 2010. pp. 1601 – 1602.
[27] CÁNOVAS, M. F. *Patologia e terapia do concreto armado*. São Paulo: Pini, 1988. 522p.

[28] ABNT NBR 7584, *Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão*. Rio de Janeiro, 2012. 10p.
[29] BUNGEY, J. H.; MILLARD, S. G.; GRANTHAM, M. G. *Testing of concrete in structures*. 4 ed. New York: Champan e Hall, 2006. 310p.
[30] QASRAWI, H. Y. "*Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted.*" Cement and Concrete Research, Vol. 30. 2000. pp. 739 – 746.
[31] BRITISH STANDARD. BS 1881: Part 202. *Testing concrete: Recommendations for surfasse hardness testing by rebound hammer*. London: British Standards Instituition, 1986. 8p.