

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO CONCRETO EM PILARES DO IFMT, CAMPUS CUIABÁ, POR MEIO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

*Bruno Leandro dos Santos Rodrigues¹
Albéria Cavalcanti de Albuquerque²
Angela Santana de Oliveira³*

RESUMO: As estruturas de concreto armado, não diferente de qualquer material, possuem uma vida útil e, com o passar do tempo, sofrem um processo natural de deterioração devido às muitas ações às quais estão expostas, por exemplo, a ação das intempéries. O estudo de caso apresentado neste trabalho foi realizado em pilares que integram a estrutura física do Instituto Federal de Mato Grosso - Campus Cuiabá, visando determinar a atual condição das estruturas por meio de ensaios não destrutivos, tendo em vista que há estruturas construídas há mais de 70 anos. Nesses casos, uma avaliação para determinar a integridade das estruturas é de extrema importância, a fim de preservar a segurança dos usuários. Sendo assim, este trabalho teve o objetivo de determinar o grau de carbonatação do concreto e estimar a resistência à compressão do concreto a partir de índices esclerométricos e a partir do módulo dinâmico (calculado por meio da velocidade de propagação de onda ultrassônica). Foram analisados os concretos de estruturas construídas há 75 anos, há 25 anos e há 4 anos. Os resultados indicaram que o concreto dos pilares mais antigos apresentou melhores índices de qualidade do que aquele dos pilares mais recentemente construídos.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto, durabilidade, ensaios não destrutivos.

ABSTRACT: The reinforced concrete structures, as any material have their useful life and over time, they undergo a natural process of deterioration, due to many actions to which they are exposed, such as, the action of the weather. This case study was carried out on pillars that make up the physical structure of the Federal Institute of Mato Grosso - Campus Cuiabá. It aims at determining the current condition of these structures by non-destructive testing, since that, there are structures built for over 70 years. In such cases, an assessment to determine the integrity of the structures is important, mainly, to preserve the users' security. Thus, this study

1 Engenheiro e Tecnólogo e Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - *Campus* Várzea Grande. *Email:* bruno.rodrigues@vgd.ifmt.edu.br

2 Doutora em Engenharia Civil e Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - *Campus* Cuiabá. *Email:* alberia.albuquerque@cba.ifmt.edu.br

Doutora em Física Ambiental e Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - *Campus* Cuiabá. *Email:* angela.oliveira@cba.ifmt.edu.br

3 Doutora em Física Ambiental e Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - *Campus* Cuiabá. *Email:* angela.oliveira@cba.ifmt.edu.br

aimed to determine the degree of concrete carbonation; estimate the strength compression of concrete based on esclerometric indexes and based on the dynamic module (calculated by using the ultrasonic wave propagation velocity). It was analyzed the concrete structures built of 75 years ago, 25 years ago and 4 years ago. The results indicated that the concrete of the oldest pillars had better quality scores than those of the most recently built pillars.

KEYWORDS: Concrete, Durability, Non-Destructive Testing.

INTRODUÇÃO

Estruturas de concreto armado se deterioram com o tempo. Este processo de deterioração pode levar à degradação ao longo do tempo e, possivelmente, induzir ao colapso. Portanto, é necessário que sejam feitas inspeções periódicas para avaliar a extensão, implicações e estado atual do processo de deterioração (SAHUINCO, 2011). Um dado importante a verificar quando se estuda o estado de deterioração do concreto é o tempo de vida útil do mesmo.

A norma NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto (ABNT, 2014) – descreve o tempo de vida útil como o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto sem exigir medidas extras de manutenção e reparo. É após esse período que começa a efetiva deterioração da estrutura, com o aparecimento de sinais visíveis como: produtos de corrosão da armadura, desagregação do concreto, fissuras etc. A norma pressupõe uma vida útil de no mínimo 50 anos. O uso de ensaios tecnológicos pode fornecer informações valiosas para os engenheiros na avaliação da integridade estrutural e na manutenção de uma estrutura existente.

Tendo em vista que nas edificações do IFMT - Campus Cuiabá há estruturas construídas há mais de 75 anos, pensou-se conveniente a análise das mesmas a fim de avaliar seu grau de integridade. Entretanto, como as edificações se encontram em pleno uso, optou-se por utilizar ensaios não-destrutivos para realização dessas análises.

Os métodos de ensaios não destrutivos podem ser aplicados a elementos estruturais, os quais durante a sua aplicação não reduzem a capacidade funcional da estrutura (SAHUINCO, 2011). Segundo MEHTA & MONTEIRO (2008), ensaios não destrutivos podem ser utilizados para localizar fissuras, falhas, imperfeições e danos em meios heterogêneos como o concreto. Estes ensaios também servem para detectar áreas insalubres ou de concreto suspeitas de estar significativamente abaixo do nível de resistência exigido pelo projeto, ou do nível de durabilidade.

O objetivo do trabalho é avaliar a qualidade dos concretos que integram as estruturas dos pilares das edificações principais do Campus Cuiabá do IFMT. Para tanto, as seguintes análises serão necessárias: estimar a resistência dos concretos por meio de ensaios de esclerometria e de ultrassom; medir a profundidade de carbonatação na camada de cobrimento das estruturas; e verificar se a profundidade da camada carbonatada alcançou as armaduras dos pilares.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os ensaios não destrutivos podem ser utilizados para avaliar as condições de desempenho da estrutura de concreto quando não é possível a extração de testemunhos ou quando a obtenção destes é limitada.

Ensaio de Carbonatação

A carbonatação do concreto ocorre quando o dióxido de carbono (CO_2) presente no ar penetra através dos poros do concreto e reage com o hidróxido de cálcio [$\text{Ca}(\text{OH})_2$]. Este processo leva à formação de carbonato de cálcio (CaCO_3) provocando uma redução do índice de pH no concreto de 13 para aproximadamente 9. A profundidade de carbonatação aumenta com o tempo e, se chegar a alcançar as armaduras, essas serão despассивadas e ficarão suscetíveis à corrosão (DNIT, 2010).

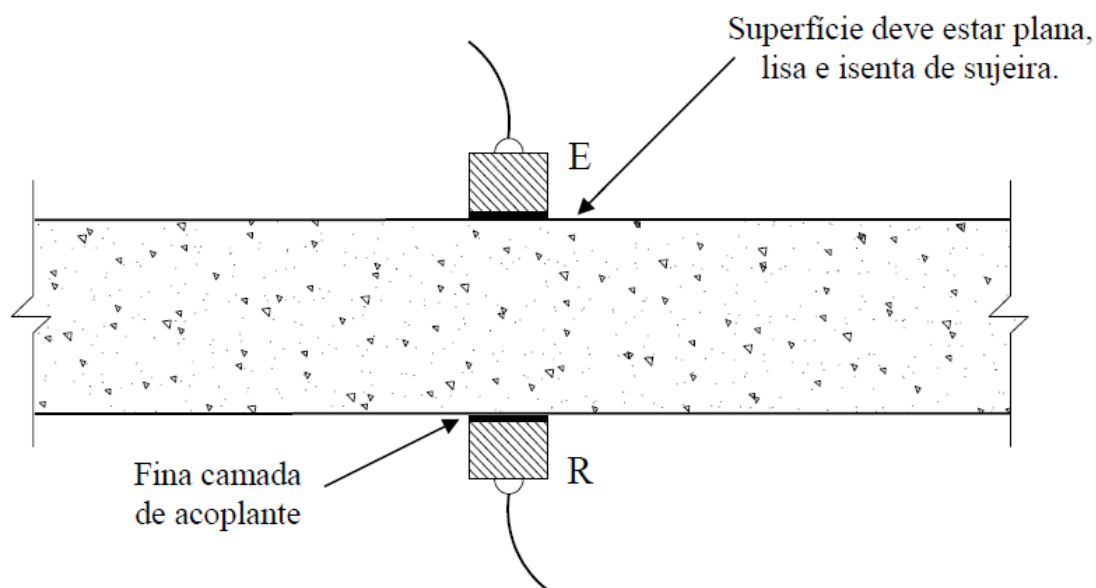
Não há norma brasileira vigente para determinação da carbonatação do concreto. A prática atual é realizada com base na recomendação do RILEM 1988 - Recommendation CPC 18. Neste ensaio é medida a profundidade de carbonatação do concreto. Para tanto, uma superfície recentemente exposta (fraturada) do concreto é aspergida com indicador químico à base de fenolftaleína ou timolftaleína e verifica-se a cor resultante. A cor violeta indica um concreto com pH superior a 13 e superfícies sem cor indicam que o concreto está carbonatado, ou seja, com pH inferior a 9 (SAHUINCO, 2011).

Ensaio de ultrassom

Este ensaio é normalizado pela NBR 8802:2013 - Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. O ensaio de ultrassom é um método não destrutivo que mede a velocidade de propagação de uma onda ultrassônica no interior de um corpo. Com o tempo fornecido pelo aparelho e a distância entre os dois pontos de aplicação dos transdutores, obtém-se a velocidade do pulso ultrassônico. Este dado pode então ser usado para estimar a compacidade e a homogeneidade do concreto (SILVA FILHO & CAMPAGNOLO, 2001).

Existem três posições possíveis de leitura, em função da disposição adotada para os transdutores, direta, semi-direta e indireta. Na realização desta pesquisa optou-se pela medição direta que, segundo NEPOMUCENO (1999), é o tipo de posicionamento mais adequado, uma vez que os transdutores são posicionados em faces opostas do elemento sob ensaio e o tempo de percurso pode ser medido com grande precisão (Figura 1).

Figura 1 - Método direto de ensaio.



Fonte: SILVA FILHO & CAMPAGNOLO, 2001.

Por meio deste ensaio é possível obter as seguintes informações: módulo de elasticidade dinâmico do concreto, resistência à compressão, localização de vazios, profundidade de fissuras internas e deteriorações existentes (NAIK, 2004).

A velocidade de ultrassom pode ser determinada a partir da Equação 1:

$$V = \frac{L}{T} \quad (1)$$

Onde:

V= Velocidade de propagação de onda (m/s);

L= é o comprimento do percurso (m);

T= é o tempo de percurso dado pelo aparelho (s)

Segundo NEPOMUCENO (1999), a norma britânica BS 1881: part. 203: 1986 estabelece correlações entre as grandezas mostradas, permitindo estimar diretamente o módulo dinâmico a partir da medição da velocidade de propagação de ultrassom. A precisão pode ser de $\pm 10\%$. A correlação é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Relação entre a velocidade de ultrassom no concreto e o módulo de elasticidade dinâmico.

Velocidade dos ultrassons (V), (km/s)	Módulo de elasticidade dinâmico (Ed), (MN/m ²)
3,6	24000

Velocidade dos ultrassons (V), (km/s)	Módulo de elasticidade dinâmico (Ed), (MN/m ²)
3,8	26000
4,0	29000
4,2	32000
4,4	36000
4,6	42000
4,8	49000
5,0	58000

Fonte: NEPOMUCENO, 1999.

O conhecimento do módulo de deformação dinâmico é importante porque está ligado a cargas de impacto e pode ser determinado com mais exatidão pelo ensaio de ultrassom (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Segundo CANOVAS (1988) *apud* SAHUINCO (2011), a partir do módulo de elasticidade dinâmico torna-se possível calcular a resistência do concreto para concretos normais com módulo de deformação compreendido entre 20 e 47 GPa. Para a determinação da resistência do concreto usa-se a Equação 2:

$$f_c = 3,5 \times 10^{-9} \times E_d^2 - 10^{-3} \times E_d + 200 \quad (2)$$

Onde:

f_c = Resistência a compressão do concreto (kgf/cm²);

E_d = Módulo de elasticidade dinâmico do concreto (kgf/cm²).

Segundo SILVA FILHO & CAMPAGNOLO (2001), dadas as muitas variáveis que intervêm na resistência do concreto e que afetam a velocidade de propagação, esta relação deve ser vista com cautela. Alguns autores propõem a adoção de categorias gerais para indicar um índice aproximado de qualidade do concreto em função da faixa de velocidade de propagação mensurada, como segue na Tabela 2.

Tabela 2 - Qualidade do concreto de acordo com a velocidade de onda.

Velocidade propagação linear (m/s)	>4500	3600 a 4500	3000 a 3600	2100 a 3000	<2100
Qualidade do concreto	excelente	bom	aceitável	má	muito má

Fonte: Silva Filho & Campagnolo, 2001.

Segundo MENEGUETTI (2009), o equipamento para este ensaio é de fácil operação e de custo baixo. Este método é completamente não destrutivo e pode avaliar

o concreto em toda a espessura do elemento estrutural, caso seja feita a transmissão direta. A boa ligação entre o concreto e o transdutor é um ponto crítico do método, assim como a interpretação dos resultados, que pode ser difícil.

Dentre os muitos fatores que podem interferir nos resultados deste ensaio estão: distância entre as superfícies de contato dos transdutores; presença de armaduras; densidade do concreto; tipo e características dos elementos ensaiados; tipo de cimento e grau de hidratação; idade do concreto; teor de umidade; e temperatura do concreto (ABNT, 2013).

Ensaio de Esclerometria

Este ensaio é normalizado pela NBR 7584:2012 - Dureza do concreto pelo esclerômetro de reflexão. A esclerometria permite a determinação da qualidade do concreto e sua resistência à compressão, cuja precisão é maior quando utilizada em combinação com outros métodos de ensaio.

A partir da medição da distância de retorno do pistão obtida no ensaio com o martelo de Schmidt é possível, através de correlações existentes, avaliar a resistência à compressão do concreto baseado em curvas de calibração (MENEGUETTI, 2009).

Segundo MEHTA & MONTEIRO (2008) o método de esclerômetro de Schmidt é de uso simples e oferece um meio rápido e barato de avaliação da uniformidade do concreto endurecido *in loco* e a estimativa da resistência do concreto, com danos praticamente nulos à superfície do material. Contudo, a precisão na estimativa da resistência do concreto em ensaios de laboratório pode variar de 15 a 20% e 25% em ensaios realizados em estrutura de concreto. Por isso, recomenda-se que seja realizado por um profissional capacitado e que suas análises sejam feitas em conjunto com os resultados de outros tipos de ensaio.

Os resultados de esclerometria podem ser influenciados pelos seguintes fatores: tipo e teor de cimento utilizado; tipo de agregado utilizado; estado da superfície ensaiada; grau de umidade da superfície; profundidade de carbonatação da superfície; idade da estrutura ensaiada; erro ao posicionar o aparelho durante o ensaio; esbeltez do elemento ensaiado; proximidade entre a área de ensaio e uma falha no concreto; estado de tensão do concreto, e massa específica do concreto (ABNT, 2012).

Estudo de Caso

Visando a verificação da integridade das estruturas verticais (pilares) que fazem parte dos prédios do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT) - Campus Cuiabá, foram realizados alguns ensaios não destrutivos.

Trata-se de três estruturas distintas. A primeira estrutura avaliada foi a do prédio principal do IFMT, de aproximadamente 75 anos, denominado neste estudo PILARES

DREC; a segunda estrutura foi a passarela que faz a ligação do prédio do bloco administrativo com o de salas de aulas, com aproximadamente 4 anos, que se denominou PILARES DACC; e a terceira foi a cobertura lateral do prédio do bloco do departamento de construção civil, com aproximadamente 25 anos, denominada PILARES Lab. DACC. Os pilares em estudo foram escolhidos de forma aleatória, utilizando a amostragem padrão de três pilares por grupo, considerando que cada grupo tem um total de 15 pilares. Tal amostragem se justifica devido à dificuldade de preparação das superfícies de ensaios e à degradação das fachadas dos prédios durante o período de ensaios.

A primeira sequência de pilares em estudo se localiza no prédio principal do IFMT próximo à Diretoria de Relações Empresariais e Comunitárias (DREC), sendo composta pelos pilares denominados de: P1 -DREC, P2 -DREC e P3 -DREC. A segunda sequência está localizada na passarela próxima ao DACC que liga o prédio do bloco administrativo ao de salas de aula, sendo composta pelos pilares denominados de: P1 - DACC, P2 - DACC e P3 - DACC. A terceira sequência está localizada na cobertura lateral do prédio do DACC próximo ao laboratório de solos, sendo composta pelos pilares denominados de: P1 -Lab. DACC, P2 -Lab. DACC e P3 -Lab. DACC.

Os pilares da DREC apresentavam visualmente bom estado de conservação, não contendo fissuras nem rachaduras. Suas faces possuíam revestimento em reboco e pintura com tinta esmalte na cor verde. Os pilares foram construídos com seções retangulares. Os pilares do DACC apresentavam visualmente bom estado de conservação, não contendo fissuras nem rachaduras. Suas faces possuíam revestimento em reboco com pintura texturizada na cor branca. Os mesmos foram construídos com seções retangulares. Os pilares da cobertura ao lado do laboratório de solos do DACC apresentavam visualmente bom estado de conservação, não apresentando fissuras nem rachaduras. Suas faces possuíam revestimento em reboco e pintura com tinta esmalte verde. Suas seções foram construídas no formato circular.

Preparação das superfícies de ensaio

Inicialmente realizou-se a marcação da área de ensaio em cada pilar. Essa marcação seguiu um padrão: altura do piso até a linha inferior da área de ensaio igual a aproximadamente 1,40m e altura da face de ensaio igual a 0,40m. Posteriormente à marcação procedeu-se ao corte com serra elétrica circular fazendo o perímetro das faces de ensaios. Logo após foi retirado o revestimento em reboco por meio do uso de talhadeira.

Assim que todo o revestimento em reboco foi retirado (Figuras 2 e 3), realizou-se a regularização da superfície de ensaio com o uso de uma pedra abrasiva e retirou-se a poeira com um pincel.

Figura 2 - Corte do revestimento com serra elétrica circular.



Figura 3 - Retirada do revestimento com talhadeira.



Execução dos ensaios não destrutivos

Com as faces dos pilares expostas, limpas e devidamente regularizadas foram executados os ensaios não destrutivos. Foi seguida uma sequência de ensaios, para que os mesmos não influenciassem nos resultados dos que seriam executados posteriormente. A seguinte sequência foi adotada:

Carbonatação: logo que as faces dos pilares foram expostas, foi executado o ensaio, para que o mesmo não fosse afetado com o tempo de exposição da superfície do pilar.

Ultrassom: após o ensaio de verificação da frente de carbonatação, foi executado o ensaio de ultrassom, que não agride de nenhuma forma a estrutura em estudo.

Esclerometria: finalmente foi executado o ensaio de esclerometria.

Ensaio de carbonatação

Imediatamente após a exposição das faces dos pilares em estudo procedeu-se à verificação da frente de carbonatação nos mesmos, por meio da aplicação do reagente fenolftaleína. Após a aplicação do reagente, algumas partes do concreto ficaram com tonalidades próximas do violeta, o que indica que essas superfícies não estão carbonatadas, já outras não tiveram mudança na coloração, o que indica que estas superfícies estão carbonatadas. A frente de carbonatação foi devidamente medida e anotado o resultado.

Ensaio de ultrassom

A determinação do tempo de propagação da onda ultrassônica foi realizada pelo método direto. No caso dos pilares retangulares, o ensaio foi realizado no sentido da largura e do comprimento da seção do pilar em estudo. No caso dos pilares circulares, a leitura foi realizada em pontos radialmente opostos. O aparelho foi calibrado conforme procedimento descrito na norma NBR 8802 - Concreto Endurecido - Determinação da Velocidade de Propagação de Onda Ultrassônica (ABNT, 2013) (ver Figuras 4 e 5)

Figura 4 - Kit de aparelho de ultrassom.



Figura 5 - Calibração do equipamento de ultrassom.



Ensaio de esclerometria

Sobre a superfície de ensaio devidamente preparada, procedeu-se à marcação dos pontos de ensaio conforme prescrito na norma NBR 7584 Dureza do Concreto pelo Esclerômetro de Reflexão (ABNT, 2012). Optou-se por uma malha de nove centímetros por nove centímetros, constituída por nove pontos de impacto. A sequência de impactos foi realizada a 90° com a face do pilar, com o aparelho na posição

horizontal (Figura 6). Todos os pilares foram ensaiados no sentido da seção com maior momento de inércia.

Figura 6 - Execução dos impactos contra a estrutura.



RESULTADOS

Após análise do referencial teórico, pesquisa de campo e análise minuciosa dos dados obtidos, são expressos a seguir os resultados dos ensaios realizados:

Ensaio de Carbonatação

Este ensaio foi realizado em um pilar representativo de cada conjunto de estruturas. Para sua execução, seguiram-se os procedimentos expostos no referencial teórico, já que não existe normalização vigente (Figuras 7 a 9).

Figura 7 – Pilar DREC – Frente de carbonatação de 10mm. Só atingiu a argamassa.



Figura 8 – Pilar DACC – Frente de carbonatação de 20mm no concreto. Mas não atingiu a armadura.



Figura 9 – Pilar LAB.DACC – Frente de carbonatação de 20mm. Só atingiu a argamassa.



No pilar representativo da DREC (Figura 7), a solução de fenolftaleína foi aspergida em toda a superfície exposta do concreto e também na seção de argamassa exposta. Observou-se que a face do pilar ficou incolor, indicando carbonatação do concreto. Na argamassa de revestimento, por sua vez, observou-se uma frente de carbonatação de 10mm de profundidade. Com base nesse resultado, pode-se supor que os pilares receberam revestimento reboco depois de certo tempo da estrutura construída. Esse tempo de exposição ocasionou a carbonatação da face do pilar, mas não há indícios de que a frente de carbonatação tenha atingido as armaduras do pilar. No pilar do DACC (Figura 8), constatou-se uma frente de carbonatação com profundidade de 20mm. Mesmo nesse caso não foi observado o surgimento das armaduras, o que indica que a frente de carbonatação está ainda em uma zona de segurança, uma vez que, segundo a NBR 6118 (2014), a camada de cobertura mínima para armaduras é de três centímetros. No caso do pilar do LAB.DACC (Figura 9), observou-se carbonatação apenas na argamassa de revestimento, em uma profundidade de 20mm. O concreto se apresentou sem carbonatação, a partir da superfície.

Ensaio de Ultrassom

Para a realização desse ensaio seguiu-se os procedimentos prescritos pela norma NBR 8802 (ABNT, 2013). Os resultados médios obtidos estão apresentados na Tabela 3, cujos valores foram determinados na seguinte sequência:

- i. O tempo de propagação da onda foi obtido diretamente do aparelho.
- ii. O cálculo da velocidade da onda ultrassônica foi realizado usando a Equação 1.

- iii. A partir dos valores apresentados na Tabela 1 (NEPOMUCENO, 1999) foi elaborado um gráfico de correlação entre as velocidades de propagação de onda e o módulo dinâmico (Figura 10). Em função desse gráfico foi possível obter o E_d para as velocidades de ondas obtidas na pesquisa, por meio de interpolação.
- iv. A resistência à compressão foi estimada tomando como base a Equação 2, fornecida por CANOVAS (1988) *apud* SAHUINCO (2011).

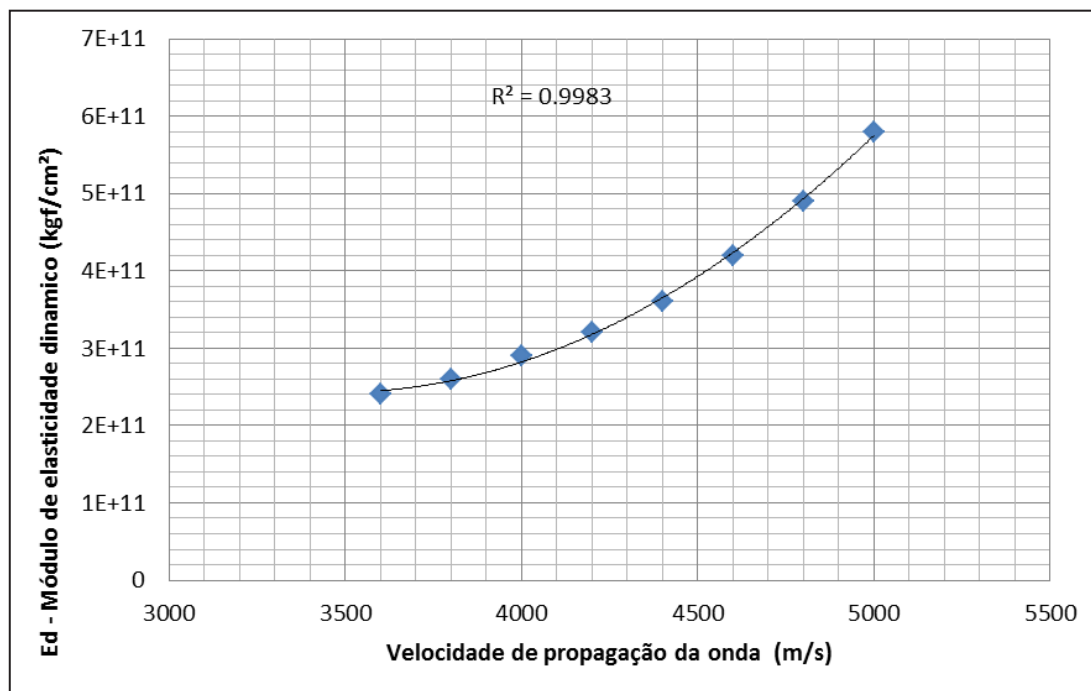
Tabela 3 – Resultados do ensaio de ultrassom.

RESULTADOS DO ENSAIO DE ULTRASSOM					
LOCAL	PILAR	TEMPO MÉDIO DA ONDA (μs)	VELOCIDADE DA ONDA (m/s)	E_d^* ($\times 10^{11}$ kgf/cm ²)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)
DREC	1	54,78	4206	3,2	35,8
	2	52,39	4368	3,5	42,9
	3	54,69	4277	3,4	40,5
DACC	1	58,83	3595	2,4	20,2
	2	58,30	3615	2,4	20,2
	3	142,55	1522	**	**
LAB DACC	1	52,80	3705	2,5	21,9
	2	36,27	3618	2,4	20,2
	3	40,25	3233	**	**

* (E_d) Módulo de elasticidade dinâmico do concreto.

** Não foi possível calcular, pois o concreto apresenta E_d menor que 20Gpa.

Figura 10 – Módulo de elasticidade dinâmico x Velocidade de propagação de onda.



A partir dos dados da Tabela 2, fornecida por SILVA FILHO & CAMPAGNOLO (2001), foi determinado o índice aproximado da qualidade do concreto em estudo, tomando como base a velocidade de propagação de onda no concreto. Com exceção do P3 DACC, todos os pilares podem ser classificados como de qualidade “boa” ou “aceitável”, como se pode constatar pelos resultados apresentados na Tabela 4. No caso do P3 DACC, a velocidade do pulso ultrassônico muito baixa indica um concreto muito poroso (ou com vazios e fissuras internas) e, portanto, de “má qualidade”. Entretanto, como pode ser observado na tabela 5, este pilar apresentou uma resistência estimada de 20,4 MPa pelos índices esclerométricos, que pode ser considerada segura para o elemento estrutural em questão.

A incoerência entre esses resultados pode ser explicada pelo tipo de critério utilizado entre os dois ensaios: o ultrassom analisa internamente a estrutura, enquanto o esclerômetro fornece resultados de dureza superficial, até aproximadamente 20mm de profundidade. No caso do P3 DACC, observou-se uma profundidade de carbonatação de 20mm, o que pode ter majorado a dureza superficial do concreto e, conseqüentemente, falseado a resistência estimada pelo esclerômetro. Daí a necessidade de se utilizar mais de um método não destrutivo na análise das estruturas. Segundo a NBR 7584 (ABNT, 2013):

a influência da carbonatação na dureza da superfície do concreto é significativa e promove a superestimação da resistência. Devem ser definidos coeficientes corretivos, a fim de minorar o efeito da carbonatação. Em casos extremos, os valores estimados para a resistência do concreto, quando há carbonatação podem superar os valores em mais de 50% em função da espessura da camada carbonatada que pode chegar a 20mm.

Tabela 4 - Qualidade do concreto em relação à velocidade de propagação de onda.

CLASSIFICAÇÃO DOS CONCRETOS ESTUDADOS		
LOCAL	PILAR	CLASSE
DREC	1	BOM
	2	BOM
	3	BOM
DACC	1	ACEITÁVEL
	2	ACEITÁVEL
	3	MUITO MÁ
LAB DACC	1	ACEITÁVEL
	2	ACEITÁVEL
	3	ACEITÁVEL

Ensaio de Esclerometria

Para a realização desse ensaio seguiu-se o procedimento prescrito na norma NBR 7584 (2012). Os resultados médios estão apresentados na Tabela 5.

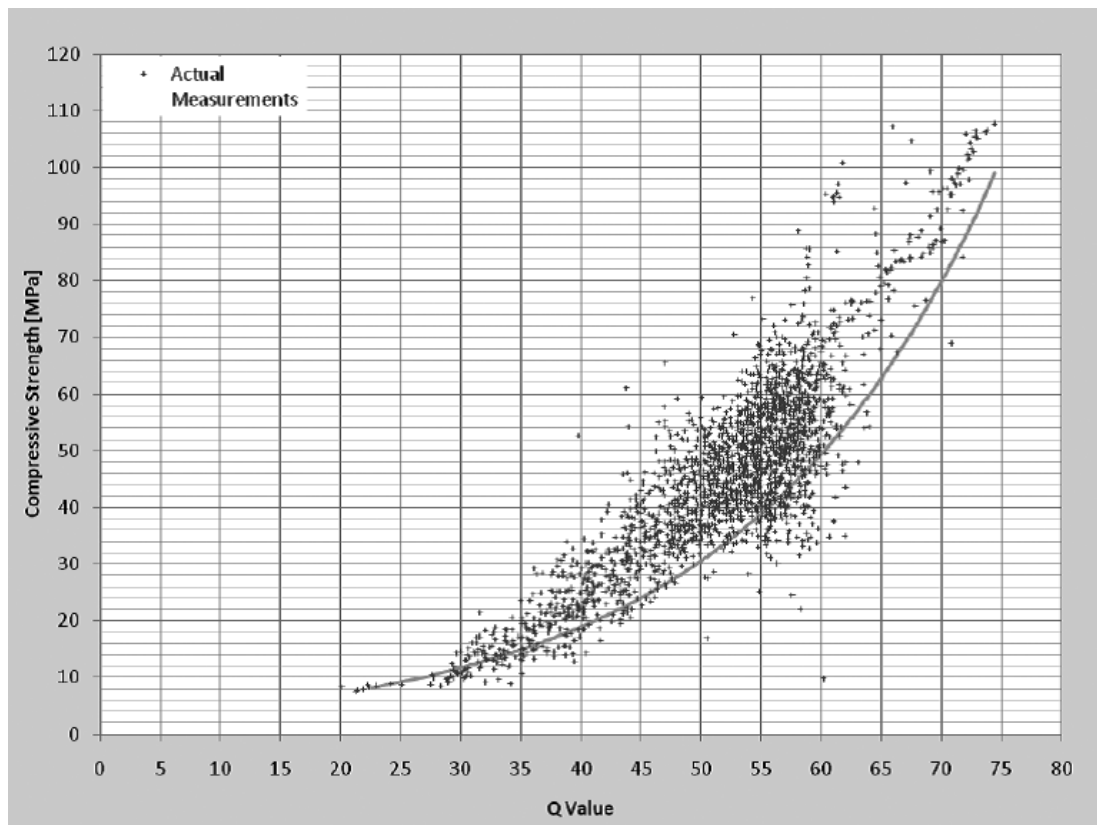
Tabela 5 - Resultados do ensaio de esclerometria.

RESULTADOS DO ENSAIO DE ESCLEROMETRIA			
LOCAL	PILAR	INDICES ESCLERÔMETRICOS MEDIO (IE)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)
DREC	1	62,19	54,8
	2	69,28	77,0
	3	63,56	58,5
DACC	1	42,72	21,5
	2	45,50	24,6
	3	41,58	20,4
LAB DACC	1	52,50	34,4
	2	54,14	37,3
	3	57,42	43,6

A resistência à compressão dos pilares foi obtida utilizando o ábaco e a respectiva equação da curva fornecidos pelo fabricante do esclerômetro (Figura 11).

Deve-se ter cautela ao utilizar estes resultados, já que a precisão na estimativa da resistência do concreto em ensaios de laboratório pode variar de 15 a 20% e 25% em ensaios realizados em estrutura de concreto.

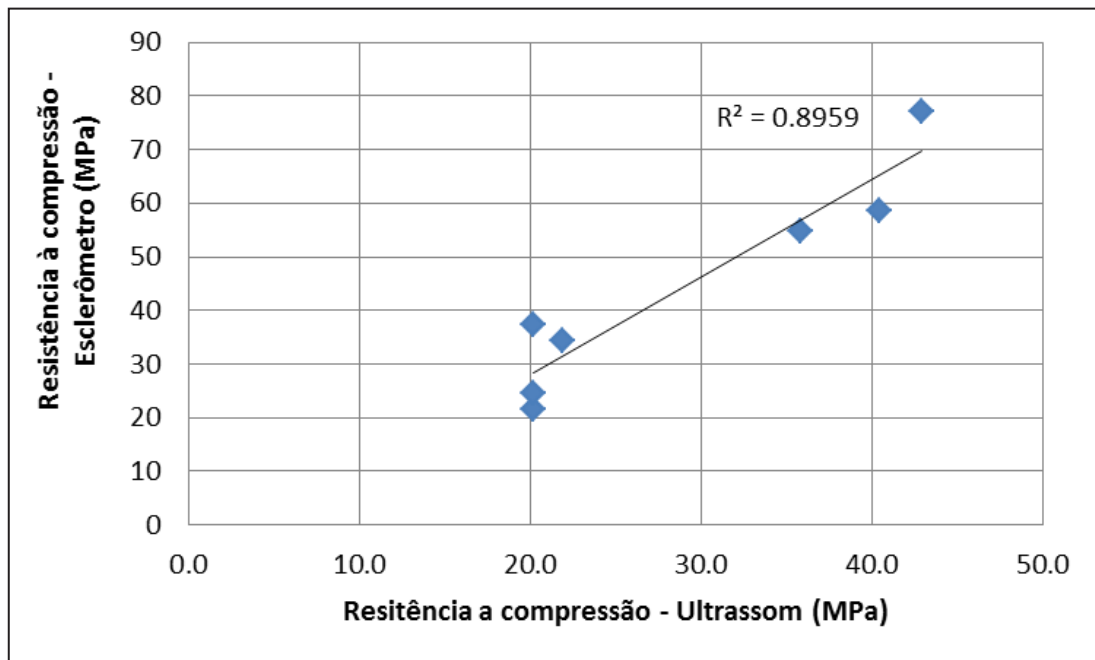
Figura 11 - Resistência à compressão x índice esclerométrico. (Ábaco e equação da curva fornecidos pelo fabricante do aparelho - PROCEQ SA).



Correlação dos resultados de esclerometria e ultrassom

De posse dos resultados de resistência à compressão obtidos a partir dos índices esclerométricos e dos ensaios de ultrassom, foi possível elaborar um gráfico para avaliar a correlação entre essas duas variáveis (Figura 12). Observou-se um bom grau de correlação (0,895) entre as variáveis, indicando que os resultados obtidos a partir do ultrassom e de esclerometria são diretamente proporcionais entre si.

Figura 12 - Correlação entre a resistência à compressão estimada pelo índice esclerômetro e a resistência à compressão estimada a partir do ultrassom.



CONCLUSÕES

Pilares de concreto do IFMT - Campus Cuiabá, construídos em diferentes épocas, tiveram sua estrutura de concreto submetida a ensaios não destrutivos para avaliação da sua qualidade e observou-se que:

- quanto ao grau de carbonatação: ao analisar as frentes de carbonatação, observou-se que as mesmas não ultrapassaram a camada de cobrimento. Nesse caso, as armaduras permanecem passivadas, sem risco de corrosão por carbonatação, denotando a boa integridade das estruturas;
- a resistência à compressão das estruturas foi calculada em função dos índices esclerométricos e da velocidade da onda ultrassônica, apresentando um bom grau de correlação entre as mesmas;
- as estruturas mais antigas apresentaram melhores índices de qualidade do que a estrutura mais recentemente construída: sendo em primeiro lugar os pilares da DREC; em segundo os pilares do LAB. DACC; e em terceiro os pilares do DACC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro. 2014.

_____. **NBR 7584 - Dureza do concreto pelo esclerômetro de reflexão**. Rio de Janeiro. 2012.

_____. **NBR 8802 - Concreto Endurecido - Determinação da Velocidade de Propagação de Onda Ultra-Sônica**. Rio de Janeiro. 2013.

DNIT - Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários**. Rio de Janeiro. 2010. 137p.

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674p.

MENEGUETTI, L.C. **Avaliação de estruturas acabadas**. Cascavel. PR. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2009. 34p.

NAIK, T.R. **The break-off test method**. In Malhotra V.M., Carino N.J. Nondestructive testing of concrete. 2 ed. cap. 4. Flórida. EUA. crcp. 2004. p. 1-14.

NEPOMUCENO, M.C.S. **Ensaio não destrutivo em betão**. Tese (Livre-docência). Universidade da Beira Interior. Covilha. Portugal.1999. 469p.

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. 2011. 170p.

SILVA FILHO, L.C.P., CAMPAGNOLO J.L. **Ensaio de avaliação de estruturas acabadas**. Caderno LEME 07. Escola de Engenharia. UFRGS. 2001