

AVALIAÇÃO DE ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO POR MEIO DE ENSAIO DE ESCLEROMETRIA E EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS

**JOAQUIM MARTINS SOEIRO^{1*}; SARAH SILVA COSTA²;
ADRIANO DE PAULA E SILVA³; EDUARDO CHAHUD⁴**

¹Esp. em Eng. Diagnóstica, INBEC, Serra-ES, jmsoeiro@gmail.com;

²Mestranda em Materiais de Construção, UFMG, Belo Horizonte-MG, saraazzi@hotmail.com;

³Dr. em Eng. Metalúrgica e Minas, Prof. Titular DEMC, UFMG, Belo Horizonte-MG, apsilva@dmc.ufmg.br;

⁴Dr. em Eng. de Estruturas, Prof. Titular DEMC, UFMG, Belo Horizonte-MG, chahud@dmc.ufmg.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: As edificações e construções que não são monitoradas por processos de manutenção ou conservação durante sua vida útil, estão sujeitas ao aparecimento de manifestações patológicas, com grandes desgastes das estruturas. Nesse contexto, as análises das estruturas já executadas são feitas por meio da utilização de ensaios não destrutivos e destrutivos, responsáveis e determinantes para a caracterização do concreto. Dentre os métodos avaliados, temos a técnica da extração de testemunhos da estrutura, que consiste na retirada de partes da edificação para análise em laboratório, e o ensaio de esclerometria, que tem como objetivo medir a homogeneidade do concreto e monitorar a resistência da estrutura ao longo do tempo. O presente artigo consiste em associar esses dois métodos, afim de identificar melhores maneiras de estimar a resistência a compressão do concreto dos pilares de uma edificação paralisada a mais de 22 anos. Ao final, foi elaborado uma correlação entre os resultados do ensaio de extração de testemunhos e os valores medidos na esclerometria, baseado na medição da resistência a compressão desses pilares.

PALAVRAS-CHAVE: Esclerometria, ensaios, extração de testemunhos, concreto.

ASSESSMENT OF STRUCTURE IN ARMED CONCRETE BY MEANS OF SCLEROMETRY TESTING AND EXTRACTION OF WITNESSES

ABSTRACT: The buildings and constructions, which are not monitored for maintenance or preservation processes during its useful life, are subject to the appearance of pathological manifestations with large wear of the structures. In this context, the analysis of already implemented structures are made with non-destructive and destructive testing and determinants responsible for the characterization of the concrete. Among the methods evaluated, we have the technique of the structure testimonies of extraction, which is the removal of parts of the building for laboratory analysis, and testing of sclerometry, which aims to measure the homogeneity of the concrete and monitor the structure of resistance over time. This Article is to associate these two methods, in order to identify the best ways to estimate the concrete compressive strength of the pillars of a building paralyzed for more than 22 years. Finally, a correlation was established between the results of evidence extraction test and the values measured in sclerometry based on measuring the compression strength of these pillars.

KEY WORDS: Sclerometry, testing, extracting testimonies, concrete.

INTRODUÇÃO

A avaliação do comportamento das estruturas de concreto frente as intempéries e o desenvolvimento de novas tecnologias e técnicas, proporcionaram o aparecimento de métodos e ensaios que facilitam na investigação dessas estruturas, de forma que é possível entender o seu funcionamento. Entre essas técnicas utilizadas, podemos citar a extração de testemunhos da estrutura e o ensaio de esclerometria do concreto. Esses métodos são essenciais não só para o caso de estruturas executadas e

finalizadas já há algum tempo, que apresentam problemas e têm que ser reparadas ou reforçadas, mas também para o caso de estruturas novas ou ainda em execução.

Os ensaios realizados em obra, tanto em relação ao método de extração de testemunhos quanto ao ensaio de esclerometria, são diferenciados dos ensaios laboratoriais de resistência a compressão. Uma vez que, ensaios como esses proporcionam resultados que levam em consideração os efeitos das condições reais de execução da estrutura, como em relação a compactação, cura e estado de saturação, ou seja, aspectos que podem interferir nas propriedades dessa estrutura

Fundamentado nesse princípio, o artigo tem como objetivo avaliar, por meio de ensaios destrutivos e não destrutivos, a resistência a compressão dos 33 pilares de uma edificação paralisada a mais de 22 anos. Desses ensaios foram realizados os de extração de testemunhos da edificação e a esclerometria, como medida da dureza superficial do concreto. Além disso, o artigo correlaciona, utilizando gráficos e tabelas, os resultados desses ensaios, disponibilizados pela construtora, tendo como parâmetro principal a resistência a compressão do concreto.

MATERIAL E MÉTODOS

O empreendimento motivo deste estudo, fica situado na cidade de Belo Horizonte/MG, que de acordo com a NBR 6118:2014, está presente dentro de uma área urbana, classificando-se com classe de agressividade ambiental II, com grau de deterioração da estrutura pequeno. Pouco se conhece sobre a estrutura estudada, visto que a mesma, está paralisada desde 1991. No projeto estrutural apresentado, foi extraído a informação de que o concreto utilizado à época era de 15MPa. Foram feitos ensaios de extração de testemunhos para verificação da resistência do concreto em laboratório e aplicação do ensaio de esclerometria, num total de 33 pilares em diferentes pavimentos na mesma torre.

Ensaio de esclerometria: o ensaio de esclerometria foi utilizado para avaliação dos pilares de concreto armado, seguindo as orientações e diretrizes da NBR 7584:2012, como: limpeza superficial da estrutura, ensaiar em superfícies planas, secas ao ar, evitando regiões úmidas.

O equipamento utilizado no ensaio foi um esclerômetro analógico conhecido como martelo de Schimit da marca PROCEQ (figura 1), além de uma esmerilhadeira com disco diamantado da marca Vonder, com objetivo de efetuar à devida limpeza e regularização superficial do elemento estrutural.

As barras de aço foram identificadas na estrutura com a utilização de um pacômetro, com objetivo de verificar seu posicionamento, sendo possível fazer o mapeamento da armadura. O quadro demarcado (Figura 1) para o ensaio, media 20x20cm, dividido em uma matriz 4x4, com 5x5cm de lado cada.

Figura 1 – Aplicação do esclerômetro no pilar



Para aplicação dos testes nos pilares, foi utilizado o esclerômetro na posição indicado na figura 1, sendo a interpretação dos resultados do índice de esclerometria, nesta posição considerado 0° (zero graus).

Extração de testemunhos: o ensaio de extração de testemunhos e compressão dos corpos de prova, seguiram respectivamente, a NBR 7680:2007 e NBR 5739:2012. Os equipamentos utilizados nos ensaios, são: para extração de testemunho foi utilizado uma Perfuratriz Husqvama (Figura 2a), e para o ensaio de compressão foi usado uma prensa da Tecnotest KG-70 200T.

Figura 2 – (a) Máquina Perfuratriz Husqvama (b) Testemunhos extraídos



Os testemunhos (Figura 2b) foram preparados conforme NBR 5738:2013, tratados numa retífica e se mantiveram em condições de cura seco ao ar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da Tabela 1, são os resultados de resistência a compressão dos corpos prova extraídos dos pilares, numa escala colorida na cor esverdeada (item j da Tabela 1), afim de demonstrar a variação de resistência do concreto.

Tabela 1 – Resultado do ensaio de compressão dos corpos de prova

Peça extraída (a)	Diâmetro (mm) - D (b)	Altura (mm) - H (c)	H/D (d)	COEFICIENTES DE CORREÇÃO (f)				Área (cm ²) (g)	Carga (Kgf) (h)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (Mpa)	
				K1	K2	K3	K4			Direto (i)	Corrigido (j)
P 5 - SS	100	184	1,84	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	22550	28,7	30,4
P 18 - SS	100	148	1,48	-0,04	0,06	0,05	-0,04	78,5	19040	24,3	25,0
P 6 - PILOTIS	100	195	1,95	0,00	0,06	0,05	-0,04	78,5	28350	36,1	38,6
P 19 - PILOTIS	75	138	1,84	-0,01	0,09	0,05	-0,04	44,2	8900	20,1	21,9
P 9 - 2° PVTO	100	191	1,91	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	19870	25,3	26,8
P 5 - 3° PVTO	100	188	1,88	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	18060	23,0	24,4
P 18 - 3° PVTO	100	196	1,96	0,00	0,06	0,05	-0,04	78,5	17400	22,2	23,7
P 6 - 4° PVTO	100	196	1,96	0,00	0,06	0,05	-0,04	78,5	16140	20,6	22,0
P 18 - 4° PVTO	100	181	1,81	-0,02	0,06	0,05	-0,04	78,5	14770	18,8	19,8
P 4 - 6° PVTO	100	194	1,94	0,00	0,06	0,05	-0,04	78,5	18550	23,6	25,3
P 19 - 6° PVTO	100	191	1,91	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	17110	21,8	23,1
P 5 - 7° PVTO	100	194	1,94	0,00	0,06	0,05	-0,04	78,5	20480	26,1	27,9
P 21 - 7° PVTO	100	178	1,78	-0,02	0,06	0,05	-0,04	78,5	18580	23,7	24,9
P 6 - 8° PVTO	100	190	1,90	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	19660	25,0	26,5
P 22 - 8° PVTO	100	189	1,89	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	15780	20,1	21,3
P 8 - 9° PVTO	100	190	1,90	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	19930	25,4	26,9
P 23 - 9° PVTO	100	189	1,89	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	19620	25,0	26,5
P 9 - 10° PVTO	100	188	1,88	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	25500	32,5	34,4
P 26 - 10° PVTO	100	170	1,70	-0,02	0,06	0,05	-0,04	78,5	20960	26,7	28,0
P 1 - 11° PVTO	100	186	1,86	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	18820	24,0	25,4
P 18 - 11° PVTO	100	177	1,77	-0,02	0,06	0,05	-0,04	78,5	21810	27,8	29,2
P 2 - 12° PVTO	100	190	1,90	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	23820	30,3	32,2
P 23 - 12° PVTO	100	188	1,88	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	19700	25,1	26,6
P 3 - 13° PVTO	100	196	1,96	0,00	0,06	0,05	-0,04	78,5	23680	30,2	32,3
P 24 - 13° PVTO	100	183	1,83	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	21070	26,8	28,5
P 4 - 14° PVTO	100	188	1,88	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	22990	29,3	31,0
P 25 - 14° PVTO	100	185	1,85	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	22130	28,2	29,9
P 1 - 15° PVTO	100	192	1,92	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	21540	27,4	29,1
P 26 - 15° PVTO	100	189	1,89	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	22530	28,7	30,4
P 2 - 16° PVTO	100	189	1,89	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	26620	33,9	35,9
P 23 - 16° PVTO	100	187	1,87	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	26490	33,7	35,8
P 3 - 17° PVTO	100	183	1,83	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	25180	32,1	34,0
P 24 - 17° PVTO	100	186	1,86	-0,01	0,06	0,05	-0,04	78,5	23730	30,2	32,0

Os resultados de resistência a compressão axial dos testemunhos extraídos, conforme item (i) da Tabela 1, foram corrigidos pelos coeficientes K1 a K4, sendo K1 uma correlação entre H/D, que através da NBR 7680:2007 obtém-se os valores da coluna (d). Para os valores de K2 – efeito de bronqueamento, foram considerados os seguintes coeficientes: testemunhos com diâmetro de 100mm, o valor de K2 = 0,06, e para diâmetro de 75mm, o valor de K2 = 0,09. Para K3 - direção da extração em relação ao lançamento do concreto, foi considerado K3 = 0,05, e para K4 - Efeito da umidade do testemunho, o valor de -0,04. Logo, o valor da resistência a compressão corrigido é calculado a partir equação 1.

$$\frac{f_{ci,ext}}{\text{item}(j)} = \frac{[1 + (K1 + K2 + K3 + K4)]}{\text{item}(f)} \times \frac{F_{ci,ext, inicial}}{\text{item}(i)} - \text{Equação 1}$$

Sendo, $f_{ci,ext}$ - resultado corrigido de resistência obtido na ruptura de cada testemunho extraído e $f_{ci,ext, inicial}$ – resultado de resistência obtido na ruptura de cada testemunho extraído.

A Tabela 2, apresenta os resultados a partir dos ensaios de esclerometria, onde observa-se valores de índice esclerométricos variando entre 26,95 MPa para os pilares P6 do 4º pavimento e P4 do 6º pavimento tipo, e valor máximo de 51,72MPa para o pilar P23 do 9º pavimento.

Tabela 2 – Resultado do ensaio de índice de esclerometria

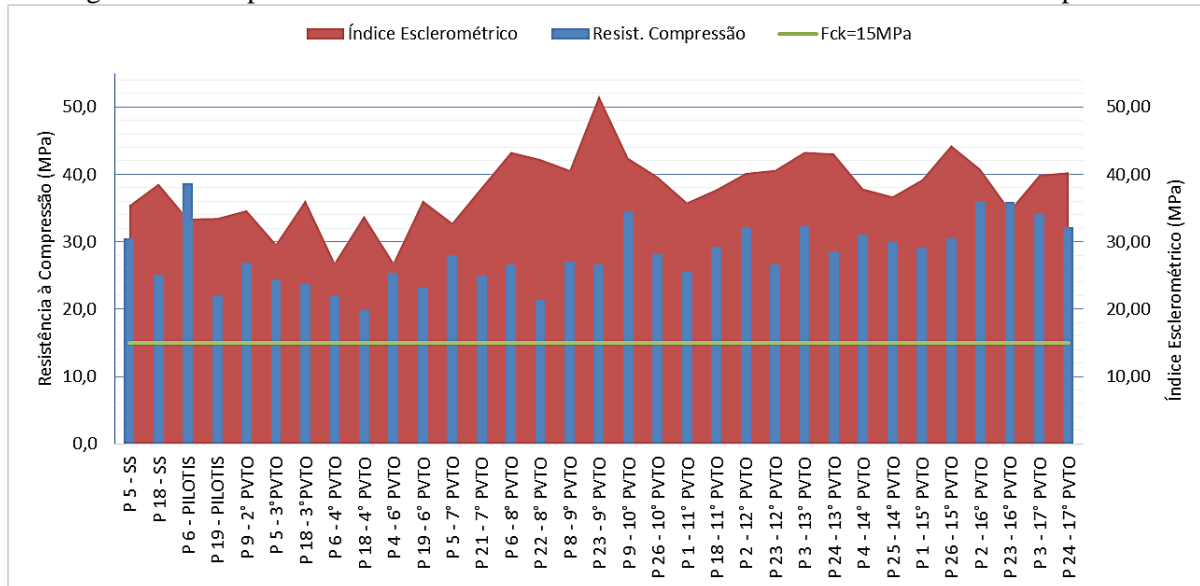
Local do Ensaio	Leitura do Esclerômetro																Índice Esclerométrico (M I)	Índice Pós Média (M II)	Índice Esclerométrico Corrigido (Mpa)	RC - corrigido IE - corrigido
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				
P 5 - SS	38	40	40	38	38	34	38	38	36	46	41	41	42	38	38	42	39,25	39,14	35,42	0,86
P 18 - SS	40	40	40	42	40	42	40	36	40	36	44	42	40	40	46	46	40,88	40,83	38,63	0,65
P 6 - PILOTIS	40	38	36	38	40	38	36	37	36	38	38	38	39	39	40	30	37,56	38,07	33,45	1,16
P 19 - PILOTIS	44	35	39	35	40	40	42	38	31	35	32	31	41	43	40	33	37,44	38,11	33,53	0,65
P 9 - 2° PVTO	36	36	38	39	42	40	37	41	39	38	38	39	39	42	38	38	38,75	38,75	34,70	0,77
P 5 - 3°PVTO	38	37	37	41	35	34	36	32	35	35	37	36	35	37	33	38	36,00	35,93	29,71	0,82
P 18 - 3°PVTO	38	38	39	40	38	40	38	40	42	40	40	38	40	42	40	40	39,56	39,56	36,21	0,66
P 6 - 4° PVTO	34	34	34	30	36	36	32	32	32	34	32	34	36	36	36	36	34,00	34,27	26,95	0,82
P 18 - 4° PVTO	38	39	38	38	38	38	38	38	39	38	38	40	38	39	38	38	38,31	38,31	33,90	0,58
P 4 - 6° PVTO	34	33	34	36	35	35	34	34	30	33	35	36	32	36	35	32	34,00	34,27	26,95	0,94
P 19 - 6° PVTO	36	40	42	39	40	35	40	37	40	40	40	40	36	40	43	40	39,25	39,53	36,15	0,64
P 5 - 7° PVTO	38	38	38	42	38	37	42	34	39	42	34	35	38	40	36	38	38,06	37,73	32,84	0,85
P 21 - 7° PVTO	40	41	40	41	41	40	38	40	38	40	42	42	42	42	40	40	40,56	40,56	38,11	0,65
P 6 - 8° PVTO	44	42	44	44	42	43	43	43	45	42	43	46	42	41	42	45	43,19	43,19	43,35	0,61
P 22 - 8° PVTO	43	42	40	44	44	48	44	44	44	43	42	42	42	42	42	42	43,00	42,67	42,28	0,50
P 8 - 9° PVTO	42	45	41	43	42	41	39	42	41	41	43	48	42	42	41	43	42,25	41,87	40,67	0,66
P 23 - 9° PVTO	42	44	44	47	49	50	44	45	50	51	49	50	50	49	40	42	46,63	47,07	51,72	0,51
P 9 - 10° PVTO	43	42	43	42	44	42	43	43	44	42	42	43	44	43	44	40	42,75	42,75	42,45	0,81
P 26 - 10° PVTO	42	42	42	41	40	40	40	42	40	43	41	42	42	42	40	43	41,38	41,38	39,69	0,71
P 1 - 11° PVTO	41	40	40	41	36	38	40	39	40	38	40	40	39	38	39	41	39,38	39,38	35,85	0,71
P 18 - 11° PVTO	40	40	39	42	42	46	40	40	40	40	40	38	44	40	41	40	40,75	40,40	37,80	0,77
P 2 - 12° PVTO	41	48	40	43	41	48	40	40	40	46	42	44	40	43	41	42	42,44	41,64	40,22	0,80
P 23 - 12° PVTO	40	44	41	44	47	38	44	41	42	46	40	42	42	41	42	41	42,19	41,87	40,67	0,65
P 3 - 13° PVTO	43	42	43	44	43	46	44	42	43	44	44	43	42	44	42	42	43,19	43,19	43,35	0,74
P 24 - 13° PVTO	38	42	42	42	44	43	42	46	43	42	44	42	43	48	44	44	43,06	43,07	43,11	0,66
P 4 - 14° PVTO	44	42	38	46	40	36	36	42	39	40	38	49	41	40	41	30	40,13	40,45	37,90	0,82
P 25 - 14° PVTO	40	40	40	40	40	40	38	38	40	42	44	35	40	40	40	34	39,44	39,85	36,74	0,81
P 1 - 15° PVTO	48	38	43	43	44	40	40	48	42	42	42	40	42	42	40	38	42,00	41,14	39,24	0,74
P 26 - 15° PVTO	45	46	40	44	40	46	36	42	44	46	44	42	46	46	42	42	43,19	43,67	44,34	0,69
P 2 - 16° PVTO	44	40	42	40	42	42	41	43	50	41	46	41	41	43	42	41	42,44	41,93	40,80	0,88
P 23 - 16° PVTO	40	46	40	38	40	38	38	38	36	44	38	40	40	38	38	41	39,56	38,79	34,76	1,03
P 3 - 17° PVTO	40	44	40	40	44	43	42	41	44	44	40	38	41	43	41	39	41,50	41,50	39,94	0,85
P 24 - 17° PVTO	45	48	42	42	48	38	42	40	42	42	40	40	42	43	42	40	42,25	41,69	40,32	0,79

Os resultados obtidos em campo, foram posteriormente tratados conforme estabelece a NBR 7584:2012. Inicialmente foi feito a média aritmética dos valores obtidos em cada pilar analisado - Índice Esclerométrico (MI) da Tabela 2, depois foi desprezado os valores de índice esclerométrico que esteja distante em mais de 10% do valor médio e calculado uma nova média aritmética (MII). O valor do índice de esclerometria corrigido foi calculado a partir da Equação 2 – fornecida pelo fabricante:

$$R = \frac{0,19MI^{2,0535}}{10} \text{ (MPa)} - \text{Equação 2}$$

Observa-se na Figura 3, que os valores do ensaio de esclerometria dos pilares de concreto armado estão compreendidos, em sua maioria, entre 25MPa e 50MPa, podendo ser classificados como um concreto de boa qualidade, sendo estes apresentando valores de resistência acima do valor de projeto – 15MPa.

Figura 3 – Comparativo dos resultados de índice de esclerometria e resistência à compressão



Ainda na Figura 3, observa-se que os valores de ensaio a compressão estão acima da linha verde, sendo representando o valor de projeto, com Fck de 15MPa. Foram feitos as médias dos valores de esclerometria e ensaio de compressão, sendo eles respectivamente 37,9MPa e 28,2MPa, com uma diferença entre os dois resultados 25% (28,2MPa/37,9MPa).

CONCLUSÃO

Os valores dos índices de esclerometria, somente, não qualificam o concreto utilizado na edificação como sendo um concreto de boa qualidade. Muitos fatores podem majorar os resultados obtidos *in situ*, sendo eles: a idade do concreto, profundidade de carbonatação, condições de umidade, condições da superfície ensaiada, além do tipo de cimento e agregado, etc.

Logo, os ensaios de extração de testemunhos, apresentaram valores de resistência inferiores aos resultados do índice esclerométricos, com uma variação média de 25%, porém os valores obtidos no ensaio de compressão classificam o concreto com valor médio de 28,2MPa, sendo este valor acima do Fck determinado em projeto.

Portanto, a estrutura analisada possui um concreto com boa qualidade, sendo está, com resultado acima do estabelecido em projeto em torno de 88% (28,2MPa/15MPa).

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7584:2012 – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7680:2007 - Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 5739:2012 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 5738:2013 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.
- CASTRO, E. de. Estudo da Resistência à Compressão do Concreto Por Meio de Testemunhos de Pequenos Diâmetros e Esclerometria. Dissertação de Mestrado. Engenharia Civil. Uberlândia, 2009.
- EVANGELISTA, A. C. J. Avaliação da Resistência do Concreto Usando Diferentes Ensaio Não Destrutivos. Rio de Janeiro, 2002.