

## **AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA DUREZA SUPERFICIAL DO CONCRETO DOS PILARES QUE COMPOEM A MESO ESTRUTURA DA PONTE JOSÉ CAVALCANTI.**

Ramom Martins de Medeiros (1), Orientador Bruno do Vale Silva (2)

*UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense*  
*(1)ramom\_bob@hotmail.com (2)dovalesilva@unesc.net*

### **RESUMO**

O presente estudo de caso tem como foco a análise da dureza superficial e da profundidade de carbonatação do concreto dos pilares da ponte José Cavalcanti, localizada em Lauro Müller/SC, rota turística para a Serra do Rio do Rastro. Faz parte desse estudo também uma breve análise patológica visual, que teve como intuito uma avaliação qualitativa. O foco desse estudo são os ensaios, nos quais estão os não-destrutivos, que foi a esclerometria, e ensaios semi-destrutivos, que foi a medição da profundidade de carbonatação. Obteve-se valores de índices esclerométricos que se correlacionou com a profundidade de carbonatação e resistência à compressão do concreto. Concluiu-se uma diferença entre os pilares, principalmente nos valores de profundidade de carbonatação, sendo a média de 15,6mm e 7,8mm entre os pilares A e B, respectivamente. E já no ensaio esclerométrico obteve-se um resultado mais homogêneo, com uma estimativa da resistência à compressão ( $f_c$ ) de 8,9MPa e 9,9MPa nos pilares A e B, respectivamente.

Palavras chaves: Concreto armado, Pontes, Esclerometria, Carbonatação

### **1 INTRODUÇÃO**

A disponibilidade de um fluxo de água nas proximidades das primeiras civilizações foi de fundamental importância para que elas pudessem desenvolver a sua agricultura e abastecer a sua população. Porém, ao mesmo tempo em que esse fluxo d'água na sua proximidade era um ponto positivo, era também um grande problema quando se havia a necessidade de atravessá-lo, dificultando assim a mobilidade entre as cidades ou até mesmo dentro da própria cidade.

Com o desenvolvimento de técnicas construtivas que vinham a atender a necessidade coletiva, a construção de pontes está intrínseca na história da

humanidade, e o aprimoramento deste tipo de construção especial ainda é constante para que seja cada vez mais garantida a sua funcionalidade e a segurança de quem a transita.

Sem dúvida que em muitos aspectos a história da construção civil de pontes é a história da civilização. Através dela podemos medir uma parte importante do progresso de um povo. (Steinman, D. B., Watson, S. R. 1941, apud Franklin D. Roosevelt).

Será objeto de estudo desse artigo a ponte Jose Cavalcanti, construída em 1976 para repor a antiga ponte que foi levada pela enchente de 1974. Ela está localizada na SC 390 no município de Lauro Müller/SC, e serão avaliadas a dureza superficial e a profundidade de carbonatação do concreto dos pilares.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Iniciou-se o trabalho fazendo uma visita ao local onde se localiza esta obra de arte especial. Além de serem tiradas várias fotos da ponte, foram também estudadas todas as suas dimensões através de ferramentas apropriadas de medidas. A Figura 1 mostra o inferior do tabuleiro, e a Figura 2 mostra a parte lateral da ponte.

Figura 1 – Inferior do Tabuleiro



Fonte: (Ramom Martins de Medeiros)

Figura 2 – Lateral.

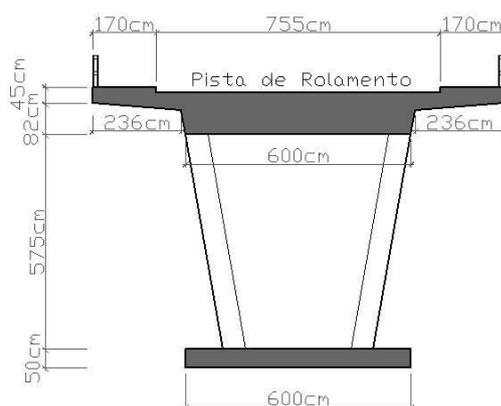


Fonte: (Ramom Martins de Medeiros)

Esse é um processo fundamental, pois como não se tem o projeto original em mãos por ser uma construção antiga, obter as dimensões é um passo muito importante para o início do estudo de caso, pois através dos desenhos em prancha é possível analisar os pontos onde serão feitos os testes, pontos estes que têm uma relevância considerável para a estabilidade estrutural.

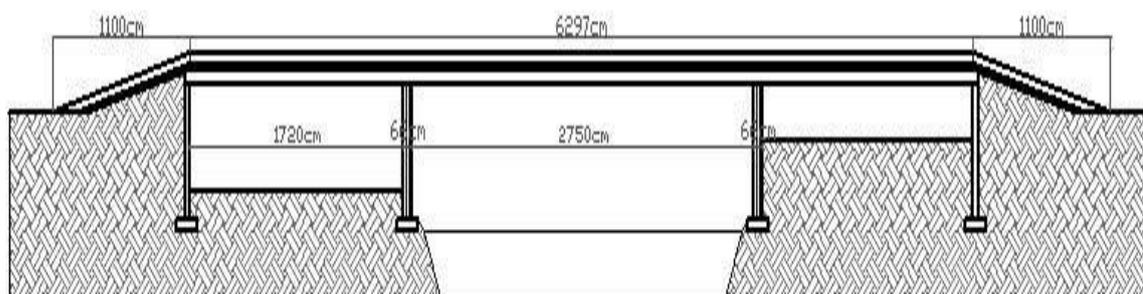
Foi utilizada uma trena a laser, modelo DLE 70, para medir o grande vão da ponte que corta o rio Tubarão, e uma trena normal para medir dimensões menores e mais acessíveis, como por exemplo, a largura da calçada e a altura de corrimão. A Figura 3 ilustra um corte transversal esquemático da ponte, e a Figura 4 ilustra um corte longitudinal.

Figura 3 – Corte transversal da ponte Jose Cavalcanti.



Fonte: Ramom Martins de Medeiros

Figura 4 – Vista lateral da ponte Jose Cavalcanti.



Fonte: Ramom Martins de Medeiros

Para realizar a análise do concreto da ponte, foram realizados os seguintes ensaios: Profundidade da Carbonatação e Esclerometria.

## 2.1 Medição da carbonatação do concreto

Este estudo consiste em fazer uma quebra na superfície do concreto com uma talhadeira. A seguir, retira-se do local do furo todo material pulverulento com um pincel e depois é aspergida a solução de fenolftaleína, que é um ácido base indicador de Ph com a seguinte fórmula:  $C_{20}H_{14}O_4$ . A parte carbonatada tende a permanecer incolor. Já a parte não carbonatada fica com uma coloração rosada.

Adquire-se, através desse teste, o nível e a profundidade que a carbonatação atingiu o concreto nos principais pontos que ele sustenta a carga da ponte. Neste caso, serão realizados esses testes nos pontos dos ensaios de esclerometria.

Dependendo da profundidade em que se encontrar com esse teste, podemos avaliar os riscos que envolvem a durabilidade da obra, pois quando a carbonatação atingem a armadura do concreto, ocorre a despassivação da mesma, não tendo assim o atrito necessário entre armadura e concreto, o que pode afetar a durabilidade da obra.

Muitas estruturas de concreto armado vêm apresentando sérios problemas de durabilidade. Grande parte deles ocorre após a despassivação das armaduras, devido à carbonatação a que naturalmente as estruturas estão sujeitas. (Helene, 1995, p.1)

## 2.2 Esclerometria

O ensaio de esclerometria fornece dados referentes a dureza superficial do concreto. Todo o processo de realização será normatizado pela NBR 7584/2012, e como se trata de um ensaio não-destrutivo, não proporcionará dano nenhum à estrutura, podendo também ser realizado com a mesma em uso.

Para a realização do ensaio, limpa-se a superfície de concreto onde será feito a leitura com o esclerômetro.

Superfícies irregulares tem que ser evitadas, pois ela não fornece resultados homogêneos. É necessário também seca-la caso a mesma esteja úmida.

Após isso, loca-se o gabarito na superfície do concreto, riscando com um giz todos os pontos do concreto definidos por este gabarito. A seguir, aplica-se o esclerômetro em todos os pontos marcados com o giz, obtendo-se assim todos os índices esclerométricos do gabarito, que é definido como um grupo.

Será feito o ensaio de esclerometria nos dois pilares que existem na estrutura, para depois serem corrigidos esses índices esclerométricos em algumas equações encontradas na literatura, obtendo assim o  $f_c$ .

É importante ressaltar que alguns fatores influenciam nos resultados deste ensaio. Um deles é a aplicação do esclerômetro em um ponto da superfície no qual se encontra uma brita abaixo. Ou também seria o encontro de uma armadura logo abaixo deste ponto. Para isso, é feita uma correção nos resultados para filtrar esses dados, que será explicado nos resultados deste artigo.

A figura 5 mostra o esclerômetro de reflexão.

Figura 5 – Esclerômetro de reflexão da marca Schmidt



Fonte: Ramom Martins de Medeiros

### 3.RESULTADOS E ANÁLISES

Neste item serão apresentados os resultados, análises “*in loco*” das patologias e correlações entre os ensaios realizados.

#### 3.1 - Manifestações patológicas

Algumas patologias aparentes foram encontradas na ponte José Cavalcanti.

Dentre essas patologias, estão.

- a) Pequenas áreas superficiais com a brita aparente, mas com pequena profundidade. (Figura 6)

Figura 6 – Brita aparente na superfície



Fonte: Ramom Martins de Medeiros

- b) Algumas áreas de superfície foram preenchidas por argamassa para cobrir o aço. (Figura 7)

Figura 7 – Argamassa para preenchimento de vazios



Fonte: Ramom Martins de Medeiros

Não foi observado nenhum aço exposto ou trincas nos dois pilares desta ponte.

### 3.2 - Ensaio de esclerometria

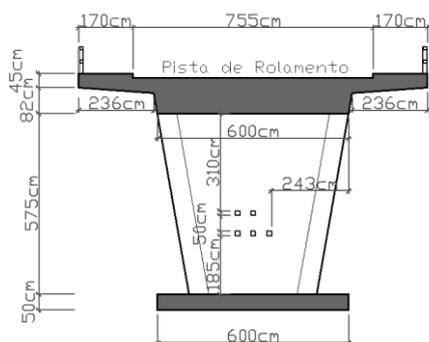
Para a realização do ensaio de esclerometria, regido pela ABNT NBR 7584/2012, foram feitos 10 grupos de pontos através do gabarito, distribuídos igualmente entre os dois pilares, totalizando 5 em cada 1. Para mais especificações, foram locados e cotados todos esses pontos, conforme mostram a Figuras 8, 9 e 10.

Figura 8 – Indicação dos grupos



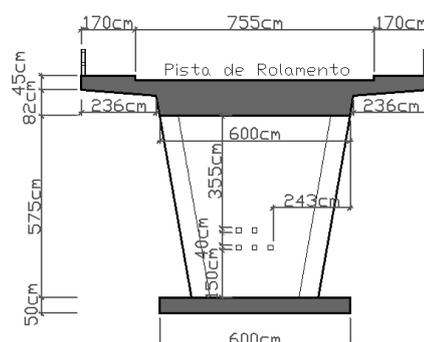
Fonte: Ramom Martins de Medeiros

Figura 9 – Locação dos grupos pilar B



Fonte: Ramom Martins de Medeiros

Figura 10 – Locação dos grupos pilar A



Fonte: Ramom Martins de Medeiros

O esclerômetro foi aplicado no sentido horizontal e antes de leva-lo a ponte, ele foi devidamente calibrado no laboratório Iparque. Todos os dados foram registrados “in loco” em uma planilha para depois ser analisados. A Tabela 1 mostra os resultados de todos os pontos onde foram feitos o ato de aplicação do impacto do esclerômetro, no qual se obteve o índice esclerométrico (I.E.), que versa sobre a dureza superficial do concreto.

Tabela 1: Tabela de Esclerometria

GRUPOS	PONTOS															
Furos grupo 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I.E	30	36*	44	34*	34*	26	31*	36*	30	34*	36*	29	34*	36*	29	50
Furos grupo 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I.E	22	40	26	28*	29*	25	22	27*	34	31*	25	30*	29*	37	32*	30*
Furos grupo 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I.E	30*	32*	32*	22	32*	26	30*	38	37	39	28	40	30*	34*	34*	34*
Furos grupo 4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I.E	25	32*	32*	36	28	28	33*	34*	33*	35	36	32*	24	33*	30*	32*
Furos grupo 5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I.E	32*	29*	28*	32*	28*	34*	29*	38	32*	30*	31*	30*	30*	31*	30*	34*
Furos grupo 6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I.E	35*	34*	30	32*	32*	36*	38	38	33*	38	31*	32*	30	36*	38	38
Furos grupo 7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I.E	44	33*	34*	38*	38*	38*	33*	35*	30	38*	31	36*	32	34*	33*	32
Furos grupo 8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I.E	27	38	38	30*	35*	32*	34*	38	28	40	29	32*	35*	40	37	32*
Furos grupo 9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I.E	35*	34*	30	35*	35*	39	36*	40	36*	36*	36*	40	28	36*	36*	28
Furos grupo 10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I.E	44*	45	36	38*	42*	44*	33	40*	35	40*	39*	42*	50	44*	41*	35

Fonte: Ramom Martins de Medeiros

Na Tabela 1, os valores que estão com um “asterístico” representam os que estão dentro da tolerância (10%) da media total do grupo inteiro, que está mais detalhado na Tabela 2. Já os valores “riscados”, são os que estiveram fora da tolerância da média corrigida, que é a média dos valores em asterístico.

O índice esclerométrico médio final deve ser obtido com no mínimo cinco valores individuais. Quando isso não for possível, o ensaio esclerométrico dessa área deve ser desconsiderado. Nenhum dos índices esclerométricos individuais restantes deve diferir em mais de 10% da média final. Se isso ocorrer, o ensaio esclerométrico dessa área deve ser desconsiderado. (NBR 7584, 2012- p.5)

Tabela 2: Médias I.E.dos Grupos.

Pilares	A					B				
Grupos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Média Total	34,31	29,19	32,375	31,44	31,125	34,44	34,94	34,06	35	40,5
Tolerância	31 - 37	27 - 32	30 - 35	29 - 34	28 - 34	31 - 37	32 - 38	31 - 37	32 - 38	37 - 44
Média Corrigida	<del>34,55</del>	29,5	32	32,33	<del>30,67</del>	33,44	35,45	32,86	35,5	41,4
Tolerância	32 - 38	27 - 32	29 - 35	30 - 35	28 - 33	31 - 36	33 - 38	30 - 36	32 - 39	38 - 45
Média por pilar	31,28					35,73				

Fonte: Ramom Martins de Medeiros

Como podemos observar na Tabela 2, dois grupos (1 e 5) obtiveram valores que não estão dentro dos 10 % tolerados por norma em relação a média corrigida. Sendo assim, considera-se para fazer a média total, todas as médias corrigidas, menos esses dois grupos. O resultado dessa média final do I.E. ficou em 34,06.

Segundo prevê a norma NBR 7584/2012, para uma estrutura de 39 anos de idade, deve-se reduzir o índice esclerométrico em 50% por causa do efeito da carbonatação, mostrado com mais detalhes nesse mesmo artigo.

Sendo assim, usaremos o valor corrigido do índice esclerométrico no valor de 17,03.

Para detalharmos melhor este estudo de caso, será feito a média do índice esclerométrico de cada pilar, individualmente. Sendo assim, o pilar A (grupo 1 ao 5) obtem-se o I.E. de 31,28, e corrigido se tem 15,64. Já no pilar B (grupo 6 ao 10), obtem-se o I.E. de 35,73, e corrigido se tem 17,87 (Tabela 2).

As Figuras 11 e 12 mostram a execução do ensaio de esclerometria.

Figura 11 – Gabaritando os pontos



Fonte: Ramom Martins de Medeiros

Figura 12 – Locando os grupos



Fonte: Ramom Martins de Medeiros

A superfície dos pilares se apresentou ser plana e adequada para o ensaio, assim como estavam secas e limpas, aumentando a precisão dos resultados.

Para se obter o  $f_c$  através do índice esclerométrico, foi pesquisado e encontrado curvas de correlação encontradas por alguns autores, que a partir destas, foi feita uma média e encontrado a resistência do concreto do pilar da ponte em estudo, conforme mostra a Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Resultado das resistências correlacionadas

Autor	Equação	I.E.		f <sub>c</sub>	
		Pilar A	Pilar B	Pilar A	Pilar B
Silva (2006)	$y = [2,61e]^{0,071E}$	15,64	17,87	7,8	9,1
Isaia (2005)	$y = [5,1282e]^{0,05251E}$	15,64	17,87	11,7	13,1
Machado (2005)	$y = 0,0261E^{2,044}$	15,64	17,87	7,2	9,4
Evangelista (2002)	$f_c = 0,0071E^{2,477}$	15,64	17,87	8,8	7,9
Média				8,9	9,9
Desvio padrão				2,0	2,3

Fonte: Ramom Martins de Medeiros

### 3.3 - Medição da profundidade de carbonatação.

São consideravelmente levados em conta os fatores que intensificam o avanço da profundidade de carbonatação do concreto. Um deles é o ambiente no qual está localizado o concreto. Sendo assim, podemos considerar nesse objeto de estudo que esta em ambiente urbano, ficando ela mais exposta ao CO<sub>2</sub> que aumentam as chances do avanço da profundidade de carbonatação no concreto.

Ambientes úmidos com poros preenchidos com água na superfície do concreto também influenciam nesse avanço, e este também é o caso deste objeto, que tem o seu inferior ao nível do rio.

Foram medidas as profundidades de carbonatação do concreto em todos os grupos dos dois pilares (Tabela 4).

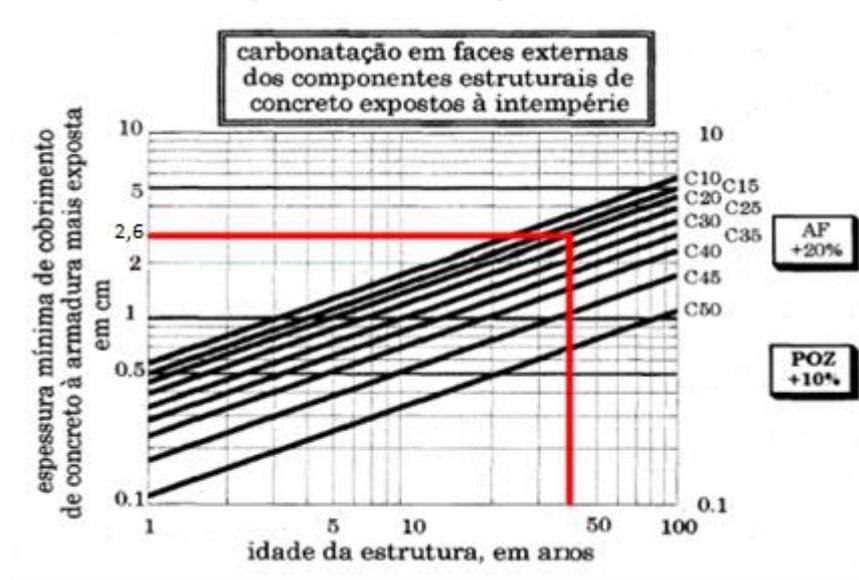
Tabela 4: Profundidade de Carbonatação

Pilares	Pilar A					Pilar B				
Pontos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Profundidade(mm)	14	21	12	11	20	18	3	7	6	5

Fonte: Ramon Martins de Medeiros

A maior profundidade medida entre os dez grupos foi de 21 mm, valor este que será usado para a correção do índice esclerométrico, isso porque a carbonatação influencia os resultados do I.E. pela introdução do CO<sub>2</sub> para o interior do concreto, o que densifica a superfície do concreto, interferindo na reflexão do esclerômetro.

Figura 13 – Carbonatação/tempo/fcd

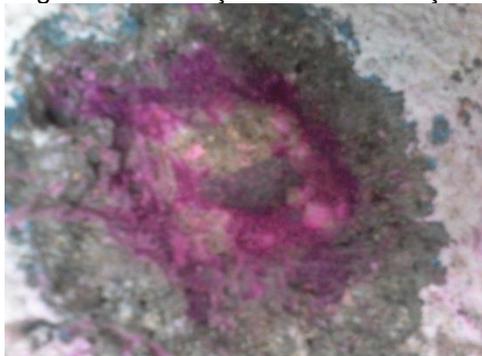


Fonte: HELENE (1997)

De acordo com o gráfico da Figura 13, que prevê a profundidade de carbonatação de acordo com a idade e fcd de projeto, se obtém um valor de 26mm, para a ponte em estudo. Este resultado foi obtido considerando um fcd mínimo 15 MPa e idade da ponte de 39 anos (construída em 1976).

As Figuras 14 e 15 mostram a execução do ensaio de carbonatação.

Figura 14 – Medição da Carbonatação



Fonte: Ramom Martins de Medeiros

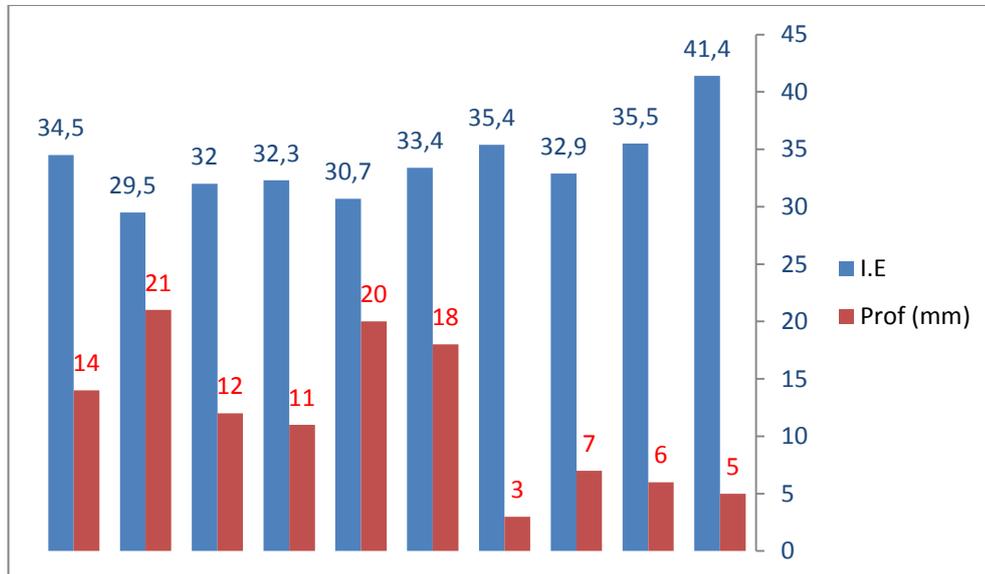
Figura 15 – Medição da Carbonatação



Fonte: Ramom Martins de Medeiros

No gráfico da Figura 16 e na tabela 5, mostram a correlação entre os dois ensaios realizados. Observa-se as profundidades dos pilares A, que correspondem aos grupos 1 a 5, têm uma profundidade maior de carbonatação do que os demais grupos do pilar B.

Figura 16 – Gráfico Profundidade/Índice Esclerométrico



Fonte: (Ramom Martins de Medeiros)

Tabela 5 – Tabela Profundidade/Índice Esclerométrico

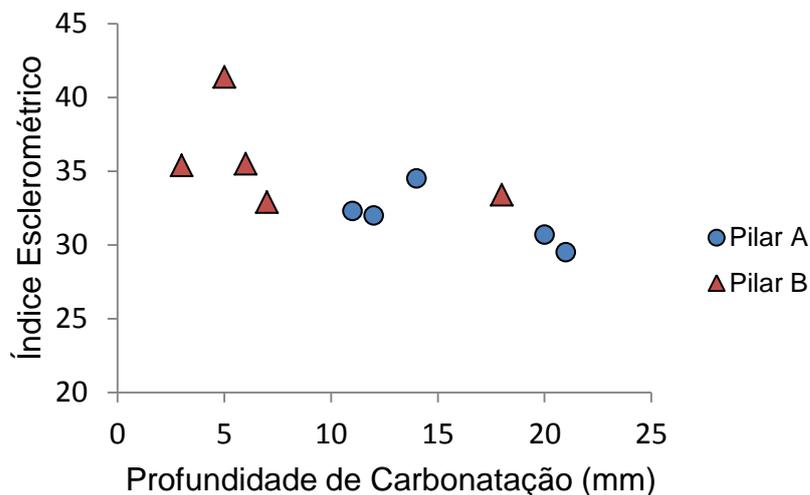
Pilar	Ponto	I.E.	Prof (mm)
A	1	34,5	14
	2	29,5	21
	3	32,0	12
	4	32,3	11
	5	30,7	20
	Média (D.P.)	31,8 (1,9)	15,6 (4,6)
B	6	33,4	18
	7	35,4	3
	8	32,9	7
	9	35,5	6
	10	41,4	5
	Média (D.P.)	35,7 (3,4)	7,8 (5,9)

Fonte: (Ramom Martins de Medeiros)

Já em relação ao I.E., obteve-se exatamente o contrário. Nos grupos do pilar A, temos um valor retirado pelo esclerômetro mais baixo do que do pilar B, contrariando a tendência citada pela literatura, que diz que o índice esclerométrico aumenta com o aumento da profundidade de carbonatação.

A Figura 17 mostra a correlação entre o índice esclerométrico e a profundidade de carbonatação.

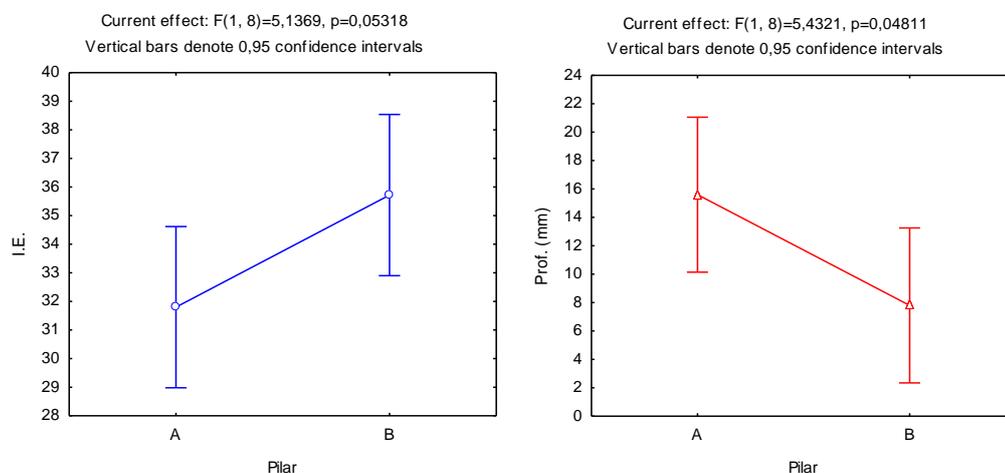
Figura 17 – Correlação entre índice esclerométrico e profundidade de carbonatação.



Fonte: (Ramom Martins de Medeiros)

Para verificar se os valores de I.E. e profundidade de carbonatação entre pilares são diferentes entre si, realizou-se uma análise estatística de variância (ANOVA) com nível de confiança de 95%, ou seja para um fator ser significativo deve-se obter  $p_{value} \leq 0,05$ . Esta análise mostrou que aos valores de profundidade de carbonatação obtidos no pilar A são diferentes do pilar B com  $p_{value} = 0,04811$ , este fato deve-se ao valor de profundidade = 18 (ponto 6) que aumentou a variabilidade dos dados.. Enquanto que o índice esclerométrico se mostrou igual entre os pilares, porém com  $p_{value} = 0,05318$ , valor muito próximo do  $p_{value} \leq 0,05$ .

Figura 18 – ANOVA - Índice Esclerométrico e Profundidade.



#### 4.CONCLUSÕES

No presente trabalho, foram realizados dois ensaios na ponte José Cavalcanti, localizada no município de Lauro Müller/SC. Ensaios que forneceram valores de índice esclerométrico e profundidade de carbonatação. Os ensaios foram executados em dois pilares que dão suporte a pista de rolamento da ponte em estudo.

Observou-se algumas patologias, porém não foi realizado nenhum estudo mais aprofundado para averiguar os eventuais possíveis danos a estrutura. O ensaio de esclerometria resultou em um valor relativamente baixo, pois através das equações apresentadas na Tabela 3 obteve-se uma baixa resistência à compressão, com valor de 8,9 MPa para o pilar A e 9,9 MPa para o pilar B.

Porém, observou-se uma profundidade de carbonatação baixa, que atinge no máximo 21 mm dentro a superfície do concreto. Também notou-se que essa profundidade é inferior em relação a idade da ponte conforme gráfico da Figura 13 . Prevê-se um valor de 26 mm (conforme citado na Figura 13), mas foi obtido uma média de 11,7 mm de profundidade, e um valor máximo de 21 mm. Esse fato colabora com indícios de uma boa qualidade do concreto utilizado na ponte.

## 5. REFERÊNCIAS

Steinman, D. B., Watson, S. R. **Bridges and Their Builders**. G. P. Putnam's Sons, New York. 1941.

**Determinação da eficiência de películas usadas como proteção contra a carbonatação** / C. de S. Kazmierczak, P.R. do L. Helene. – São Paulo : EPUSP, 1995. 20p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR7584: concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão**. Rio de Janeiro, 2012. 9p.

**Patologia, recuperação e reforços de estruturas de concreto** / Vicente Custódio Moreira de Souza e Thomaz Ripper. – São Paulo: Pini, 1998.

HELENE, P. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1997.

JORGE, Ana Catarina. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 2002. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil da URJ. Universidade Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Lima, F.B. e Silva M.F.B. 2000, **Correlação entre a resistência à compressão do concreto e a sua dureza superficial**, Anais IV Congresso de Engenharia Civil, Ed. Interciência, Juiz de Fora , pp. 429-440

MACHADO, M. **Curvas de correlação para caracterizar concretos usados no Rio de Janeiro por meio de ensaios não destrutivos**. 2005. 294 f. Dissertação 41 (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.



Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC -  
como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil



ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo:  
IBRACON, 2005. 2v. 1.600 p.