

AVALIAÇÃO DA DUREZA SUPERFICIAL DO CONCRETO E DAS PATOLOGIAS EM PILARES DA BIBLIOTECA CENTRAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO: UM ESTUDO DE CASO

Déborah Fabrícia Lopes Santos¹
Rafaella Santos Mendes²
Maria Luiza Lopes de Oliveira Santos³

RESUMO

As estruturas de concreto armado ao entrarem em contato com o ambiente natural ao qual estão expostas estão sujeitas a sofrerem alterações, mesmo que se trate de um processo natural, há fatores que estão ligados diretamente na degradação do concreto, como a utilização, o tipo e a qualidade do material e modo de execução, além da falta de manutenção periódica. Mesmo com as inovações tecnológicas voltadas para construção civil, é recorrente o aparecimento de patologias em edificações que sejam relativamente novas que prejudicam a estabilidade, desempenho e durabilidade das estruturas, além de consumir recursos financeiros que poderiam ser poupados ou utilizados para outros fins como manutenção preventiva. Com isso e baseado no tempo em que a obra da biblioteca central da UFMA está interrompida, houve a motivação do desenvolvimento desse estudo para verificar a resistência superficial do concreto dos pilares da edificação e apurar as patologias presentes objetivando averiguar suas possíveis causas e diagnosticá-las por meio de uma ordem de priorização, através do Método GUT. Por meio de uma vistoria e inspeção visual e a realização do ensaio de esclerometria nos pilares da biblioteca, este trabalho verificou que 75% dos pilares ensaiados estão de acordo com a resistência superficial esperada. E quanto às manifestações patológicas, 34% correspondem a manchas de umidade e 22% a corrosão da armadura. Além disso, observou-se por meio da utilização do Método GUT que os casos correspondentes a corrosão das armaduras, obtiveram maior grau de priorização quanto a sua resolução.

Palavras-chave: Concreto armado. Pilares. Esclerometria. Patologias.

INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento acelerado da construção civil, houve necessidade em buscar novas formas de inovação, em contrapartida trouxe aceitação implícita de maiores riscos às construções. Com isso, veio também o aumento da necessidade de se conhecer e estudar mais sobre os materiais e as estruturas, por meio da análise de falhas que ocorreram, resultando em acidentes e a precoce deterioração das construções (SOUZA; RIPPER, 1998).

¹ Graduanda do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão - UFMA, bricialopes.dl@gmail.com;

² Graduada pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade CEUMA - UNICEUMA, rafaelamendes@live.com;

³ Professor orientador: Doutora, Universidade Federal do Maranhão - UFMA, mllo.santos@ufma.br.

O número de estruturas de concreto armado sujeitas a manifestações patológicas tem aumentado nos últimos anos, resultando na deterioração e envelhecimento precoce das edificações existentes (HELENE, 2001).

No que tange as obras públicas, muitas vezes, as mesmas tornam-se obras onerosas e de baixa qualidade devido à falta de fiscalização, além da ineficiência na gestão e no planejamento da obra, durante todo seu processo. Os problemas patológicos manifestados nas edificações públicas são oriundos de falhas na execução, no planejamento e tendem a se agravar ao longo do tempo por falta ou ineficiência de manutenção (SOUZA E RIPPER, 1998).

As construções sofrem degradações ao passar do tempo, um processo natural que causam a redução do desempenho e da vida útil de uma estrutura (SANTOS et al., 2017). O controle de qualidade não se deve restringir apenas aos materiais e insumos em geral que são utilizados, mas também durante todas as etapas da construção (CBIC, 2013).

A inspeção, avaliação e diagnóstico das patologias da construção são atividades que devem ser desenvolvidas com frequência, garantido que os resultados e as ações das manutenções ou medidas corretivas devam garantir o sucesso com a reabilitação da construção, sempre que houver necessidade (GRANATO, 2002).

Neville (2016) relata que a utilização de ensaios não destrutivos possibilita menores danos à estrutura, o que não compromete o desempenho e nem a aparência do concreto. Além dessas técnicas garantirem maior segurança, permitem uma melhor programação da construção.

O estudo das manifestações patológicas possibilita entender os mecanismos responsáveis pelas mesmas, além de ser base para possíveis intervenções diante dos problemas verificados (GAKLIK, 2012).

Justifica-se a escolha do tema por se tratar de uma obra pública federal, Biblioteca Central da UFMA, de interesse para a comunidade estudantil, além de representar gastos aos cofres públicos por ser uma obra interrompida há quase 4 anos e está exposta as intempéries sem nenhum tipo de proteção. Foi realizado o ensaio de esclerometria, para a verificação da resistência superficial dos pilares ensaiados, além de inspeção visual para identificar e analisar as manifestações patológicas presentes nos pilares, verificar e analisar a dureza superficial, além de obter e fornecer informações técnicas acerca das condições técnicas atuais dos pilares.

Com base nesses resultados foram feitas análise dos pilares estudados com auxílio do método GUT, onde foram verificadas algumas manifestações patológicas como manchas, corrosão da armadura e bolor. E os índices esclerométricos obtidos estão de acordo com o esperado.

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada através da coleta de dados acerca da dureza superficial do concreto e das manifestações patológicas, por meio de análises feitas a partir da inspeção visual, inerentes aos pilares da estrutura de concreto armado da Biblioteca Central da Universidade Federal do Maranhão, em construção, para averiguação das reais condições técnicas dos elementos estruturais objetos de estudo, a fim de contribuir com as possíveis soluções para os problemas encontrados.

A inspeção visual e o ensaio de dureza superficial foram realizados “in loco” em oito pilares do 1º pavimento da Biblioteca Central da UFMA, pois são os pilares que mais se encontram expostos a intempéries. O esclerômetro utilizado foi o martelo integrado HT-225D de Digita Schmidt com *microprinter* opcional com energia de impacto de 2,25N.m. Todas as áreas de ensaio foram regularizadas com a utilização do *carborundum* para tornar as superfícies de aplicação mais uniformes e “limpas”, aplicando-se 16 impactos em cada. O cálculo da média aritmética foi realizado com os 16 (n) valores individuais dos índices esclerométricos correspondentes a cada área de ensaio:

De acordo com a NBR 7584:2012, que regulamenta o ensaio de esclerometria, foi desprezado todo o índice esclerométrico individual que está afastado de mais ou menos 10% do valor médio obtido. E, após, foi calculado uma nova e definitiva média aritmética com os índices (n’) que estavam de acordo com o que regulamenta a norma, caso necessário.

Para a análise das anomalias e manifestações patológicas observadas, utilizou-se o método de GUT, ferramenta utilizada para definir níveis de prioridades, onde a classificação foi por ordem de priorização, através de um ranking com os resultados obtidos através de uma matriz de GUT (BRITO, 2017). O cálculo desses resultados é feito pela multiplicação das notas atribuídas de 1 a 5, de acordo com as características de cada problema, com base nos parâmetros propostos pelo método.

DESENVOLVIMENTO

As manifestações patológicas normalmente apresentam características externas a partir das quais se pode conhecer sua origem, natureza e os mecanismos dos acontecimentos envolvidos. Dependendo do caso, há a possibilidade de realizar o diagnóstico das patologias somente pela visualização da construção, mas quando é um caso mais complexo, se faz necessário verificar todos os precedentes, o projeto, as cargas as quais a estrutura foi submetida, análise da forma como a obra foi executada, entre outros (HELENE, 1992).

No Brasil, as principais causas das patologias são originadas na etapa de execução com 51% de ocorrência. Seguido pela etapa de projetos, com 18% das ocorrências, devido à má avaliação de cargas, deficiência no detalhamento de armaduras, erros de nos modelos estruturais. Além destas, 13% refere-se à utilização, 7% a materiais, 6% a fortuitas, 3% a manutenção e 2% a outras (PIANCASTELLI, 2016).

Helene (2001) afirma que os problemas mais significativos nas estruturas de concreto armado e que requerem atenção por trazer eminente risco a integridade da estrutura, são a corrosão da armadura do concreto, as flechas excessivas e as fissuras patológicas de peças estruturais. O autor ainda relata que a correta análise acerca dos problemas, é que permite determinar a origem, causas, consequências e o melhor método de intervir.

A corrosão da armadura é um processo eletroquímico, que pode ser agravado por agentes agressivos externos e internos, incorporados ao concreto ou gerados pelo meio. E que para a ocorrência da corrosão é necessário a presença de oxigênio e umidade e surgimento de uma célula eletroquímica (MARCELLI, 2007). Os principais agentes agressivos que promovem a despassivação das armaduras presente no concreto são a carbonatação e a presença de íon de cloreto, embora existam outros mecanismos que possam atuar para a corrosão da armadura, como os fungos, fuligem, fissuras, reações com sulfatos, entre outros (ANDRADE, 1992).

As fissuras são sintomas patológicos que se manifestam nas estruturas de concreto armado quando não há controle sobre ela e são as que mais geram pânico nos usuários, pois, na maioria dos casos, elas estão diretamente ligadas ao rompimento das estruturas (ANGELO, 2004). As patologias da umidade, como as manchas e bolor, são prejudiciais aos elementos de qualquer obra, pois afeta o desempenho esperado da edificação. Estes problemas estão ligados

a ineficiência de projeto, materiais de péssima, má execução e a utilização de forma indevida das edificações pelos usuários (RAMALHO, 2014).

A inspeção, avaliação e diagnóstico das patologias da construção são atividades que devem ser desenvolvidas com frequência, garantido que os resultados e as ações das manutenções ou medidas corretivas devam garantir o sucesso com a reabilitação da construção, sempre que houver necessidade (GRANATO, 2002). Segundo Shelman et al (2017), técnicas não destrutivas viabilizam avaliar a resistência, a qualidade do concreto e da estrutura, obtendo diagnósticos sem o comprometido da construção, como ensaio de dureza superficial.

A avaliação da dureza superficial do concreto pelo esclerômetro de reflexão é prescrita pela NBR 7584 (ABNT, 2012). Sendo aplicável na verificação da uniformidade e na estimativa da resistência à compressão do concreto onde retorna um valor chamado de índice esclerométrico, que fornece informações referentes a dureza superficial do concreto. E as correlações desse índice com as propriedades do concreto são definidas de forma empírica ou experimentalmente (ISAIA, 2005). Relaciona-se o índice esclerométrico médio com a qualidade da cobertura do concreto, como demonstra a tabela 1.

Tabela 1 - IE ante a qualidade da cobertura do Concreto

Índice esclerômetro médio	Qualidade da cobertura do concreto
> 40	Boa, superfície dura
Entre 30 - 40	Satisfatória
Entre 20 - 30	Ruim
< 20	Fissuras/concreto solto junto à superfície

Fonte: Evangelista, 2002 apud Moraes Filho, 2013.

Além da qualidade de cobertura, relaciona-se em função do índice esclerométrico à tensão de ruptura a compressão do concreto, de acordo com a tabela 2.

Tabela 2 – Relação entre à tensão de ruptura a compressão do concreto em função do índice esclerométrico

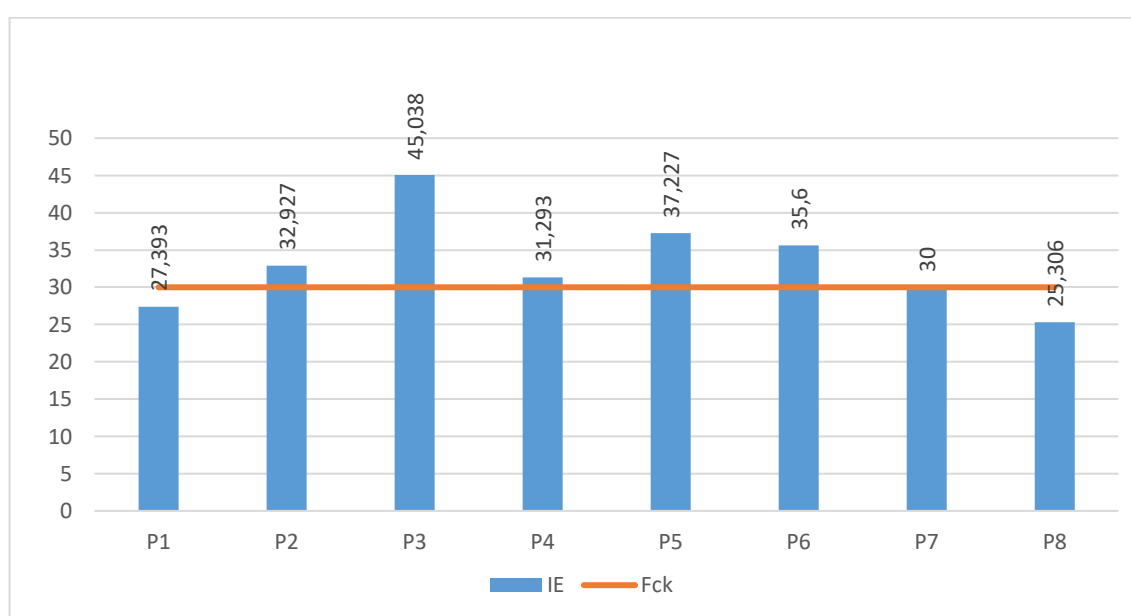
Índices esclerômetros	Resistência à compressão (kgf/cm²)
< 20	< 100
20 a 30	100 a 200
30 a 40	200 a 350
40 a 50	350 a 500
> 50	> 500

Fonte: Fonte: Evangelista, 2002 apud Moraes Filho, 2013.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices esclerométricos obtidos dos oito pilares foram: Pilar 1 = 27,393; Pilar 2 = 32,927; Pilar 3 = 45,038; Pilar 4 = 30,815; Pilar 5 = 37,227; Pilar 6 = 35,600; Pilar 7 = 30,000; Pilar 8 = 25,306. O gráfico 1 traz a relação entre a média de final do índice esclerométrico de cada pilar e o fck de projeto.

Gráfico 1 - Comparativo dos Índices Esclerométricos com o fck em projeto



Fonte: Autor, 2019.

A maioria dos pilares apresentaram o índice esclerométrico efetivo acima do fck do projeto, que é 30 MPa, garantido que a resistência superficial do concreto desses pilares está de acordo com o esperado, exceto o pilar P1 que apresentou IE efetivo de 27,393 e o P8 com IE efetivo de 25,306. Ou seja, 75% dos pilares ensaiados, estão em boas condições quanto à dureza superficial.

Deve-se atentar aos fatores que influenciam o resultado do ensaio, de acordo com a NBR 7584:2012. Diante disso, pode-se salientar, que o pilar 3, por se encontrar mais próximo da avenida e o valor de seu índice esclerométrico aproximadamente 51% maior que o fck em projeto, ele está mais susceptível a carbonatação, pois a norma relata que a influência desta promove a superestimação da resistência.

De acordo com a qualidade da cobertura do concreto, os pilares apresentaram as seguintes correlações com a tabela 1, que estão descritos na tabela 3.

Tabela 3 – Relação dos pilares com a qualidade da cobertura do concreto

Pilar	Qualidade da cobertura do concreto
P1	Ruim
P8	
P2	Satisfatória
P4	
P5	
P6	
P7	
P3	Boa, superfície dura

Fonte: Autor, 2019.

De acordo com os resultados para os pilares ensaiados têm-se a relação dos pilares com a resistência à compressão, apresentados na tabela 4.

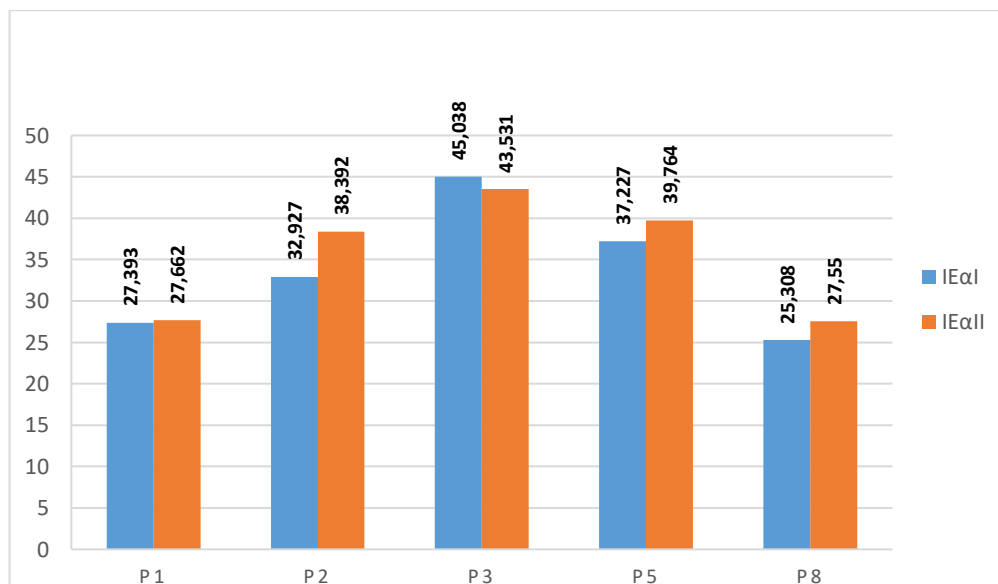
Tabela 4 – Relação dos pilares com a resistência à compressão

Pilar	Resistência à compressão (kgf/cm²)
P1	100 a 200
P8	
P2	200 a 350
P4	
P5	
P6	
P7	
P3	350 a 500

Fonte: Autor, 2019.

Após a realização do primeiro ensaio, houve a necessidade de realizá-lo novamente em dias posteriores, devido às anomalias aparentes detectadas nos pilares P1, P2, P3, P5 e P8, como armaduras expostas, manchas de umidade e bolor, para aferir se essas manifestações influenciariam nos resultados do ensaio de dureza superficial. Os ensaios foram realizados nos pontos próximos as anomalias presentes e feitos de acordo com o que a NBR 7584:2012. O gráfico 2 demonstra a comparação do primeiro ensaio realizado com o segundo ensaio realizado nos pilares que contêm manifestação patológica aparente.

Gráfico 2 - Comparativo entre Índices Esclerométricos Médios dos pilares em que há presença de manifestações patológicas



Fonte: Autor, 2019.

Para o pilar 1, houve um aumento de 0,98%; pilar 2, um aumento de 16,6%; pilar 3 houve um decréscimo de 3,35%; pilar 5, aumento de 6,81%; pilar 8, aumento de 8,86%. Analisando pilar por pilar de acordo com o gráfico 3, evidencia-se que a maioria dos valores, dos dois ensaios realizados, são próximos e que não há alteração devido a presença de uma manifestação patológica.

Exceto o pilar 2, no qual houve um aumento do índice esclerométrico em mais de 16% em relação ao índice do primeiro ensaio, é importante frisar que esse pilar apresenta, em sua base, armadura exposta e em processo de corrosão. Pode-se supor que esse pilar possa estar sofrendo despassivação da sua armadura devido à carbonatação, por ação dos íons de cloreto, pois houve um aumento do seu índice esclerométrico.

Através da matriz apresentada na tabela 5, classificou-se os problemas detectados no estudo de caso por meio das variáveis da matriz de GUT. Os produtos obtidos por meio da utilização do método demonstram a problemática de cada pilar, levando-se em consideração em seus parâmetros as patologias detectadas e os valores dos índices esclerométricos efetivos (IEα), ocasionando na seguinte ordem de priorização:

Tabela 5 - Matriz de aplicação do método GUT

Pilar	G	U	T	GUT	Grau de priorização
Pilar 01	5	4	2	40	2°
Pilar 02	5	5	4	100	1°
Pilar 03	4	3	3	36	3°
Pilar 04	1	1	1	1	5°
Pilar 05	3	3	3	27	4°
Pilar 06	1	1	1	1	5°
Pilar 07	1	1	1	1	5°
Pilar 08	5	5	4	100	1°

Fonte: adaptado de Brito, 2017.

Os resultados obtidos por meio do método demonstram que alguns pilares possuem o mesmo grau de priorização. Para melhor compreensão, a tabela 6 ordena de forma crescente o grau de priorização em suas resoluções, agrupando os pilares que apresentam a mesma pontuação, além de expor os pilares e seus respectivos diagnósticos.

Tabela 6 - Priorização para resolução das manifestações patológicas

Grau de priorização	Pilar	Diagnóstico
1°	Pilar 02	Corrosão de armadura
	Pilar 08	Corrosão de armadura
2°	Pilar 01	Manchas de umidade
3°	Pilar 03	Manchas de umidade e bolor
4°	Pilar 05	Manchas de umidade
5°	Pilar 04	Arestas quebradiças
	Pilar 06	Arestas quebradiças
	Pilar 07	Arestas quebradiças

Fonte: adaptado de Brito, 2017.

Como observado na tabela 6, os diagnósticos referentes a corrosão de armadura, que correspondem a 22% das patologias, são prioritários por afetarem diretamente o aço das estruturas. As manchas de umidade são as mais incidentes, junto com as arestas quebradas, porém pela primeira se tratar de uma manifestação patológica, se torna mais necessária e urgente sua correção. Mesmo o pilar 03 possuindo aparentemente mais manifestações patológicas (mancha de umidade, 34%; bolor, 11%), que o pilar 01, o último torna-se prioritário, devido ao ser IE α , que é de 27,393MPa, ser abaixo do fck estabelecido em projeto que é 30MPa, ou seja, sua resistência superficial é inferior a resistência esperada.

CONCLUSÃO

O ensaio de esclerometria realizado neste estudo possuiu o intuito de analisar e verificar a dureza superficial do concreto endurecido com a utilização do Esclerômetro de Reflexão. Os valores obtidos, em sua maioria, corresponderam ao que é esperado da resistência a compressão do concreto que é 30 MPa.

Observou-se que 34% das manifestações patológicas identificadas nos pilares referem-se as manchas de umidade proveniente das intempéries, 11% a bolor também advindas das intempéries e 22% refere-se a corrosão de armadura que, pelas características apresentadas como a armadura exposta, pode-se supor que essa despassivação da armadura ocorreu através da carbonatação, sendo possível determinar se houve mesmo a ocorrência deste fenômeno através de ensaios específicos.

Em relação a utilização do Método GUT para estabelecer a ordem de priorização de intervenção entre os problemas encontrados, tornou-se possível hierarquizar os riscos relativos às anomalias avaliadas em conjunto com os índices esclerométricos efetivos calculados. Os graus de priorização abrangeram as mesmas anomalias e índices esclerométricos próximos como seus resultados, pois apresentaram semelhanças em suas causas, diagnósticos, e até mesmo, no nível de degradação da estrutura. Com os resultados desses procedimentos, o intuito é poder auxiliar o setor da instituição responsável pelas manutenções no estabelecimento das melhorias e intervenções.

REFERÊNCIAS

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

ABNT_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: PINI, 1992. 104p.

ANGELO, Ana Margarida Vieira. **Análise das patologias das Estruturas em Concreto Armado do Estádio Magalhães Pinto – Mineirão**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2004.

BRITO, Thaís Farias De. **Análise de Manifestações Patológicas na Construção Civil pelo Método GUT**: estudo de caso em uma instituição pública de ensino superior. João Pessoa, 2017.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de edificações habitacionais**: Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. 2ª ed. Brasília, Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 2002, 219-f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

GAKLIK, É.S. **Jardim histórico do Palacete Dr. Astrogildo de Azevedo**: mapeamento de manifestações patológicas e métodos de limpeza. 2012. 185f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

GRANATO, J. E. **Apostila**: Patologia das construções. São Paulo, 2002.

HELENE, P. R. L. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. São Paulo, Pini, 1992.

HELENE, P. **Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto NB/2001**. Workshop sobre durabilidade das construções. São José dos Campos. Novembro, 2001.

ISAIA, G.C. **CONCRETO**: Ensino, Pesquisa e Realizações. Ed. Geraldo Cechella Isaia- São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, v.1, 2005. P. 45 a 74.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil**. São Paulo: Editora PINI, 2007. 260 p. ISBN 978-85-7266-178-2.

PIANCASTELLI, Élvio Mosci. **Patologias do concreto: Das manifestações às causas, as patologias do concreto exigem análise cuidadosa antes da escolha do tratamento ideal**. Minas Gerais, 2016. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/patologias-do-concreto_6160_10_0>. Acesso em: 14/07/2019.

SANTOS, A. G. F. S. et al. **Levantamento das manifestações patológicas de uma ponte de concreto armado junto as suas possíveis técnicas de recuperação.** CONPAR2017 – Conferência Nacional de Patologia e Recuperação das Estruturas. Recife, 2017.

SHELMAN, Carolinne *et al.* **A Importância dos Ensaios Não Destrutivos para Diagnóstico de Corrosão nas Estruturas de Concreto Armado.** CONPAR2017- Recife, agosto, 2017.