

Jéssica César Nunes

Graduada em Engenharia Civil (UNISUAM).

Karen de Castro Damasceno

Graduada em Engenharia Civil (UNISUAM).

Leonardo Amorim do Amaral

Mestre em Engenharia Nuclear (COPPE/UFRJ);

Professor universitário (UNISUAM).

Rachel Cristina Santos Pires

Mestre em Desenvolvimento Local (UNISUAM);

Professora universitária (UNISUAM).

RESUMO

As estruturas de concreto armado, mais especificamente as pontes de concreto armado em ambientes marinhos, apresentam uma pré-disposição natural à deterioração principalmente por corrosão das armaduras devido ao elevado nível de concentração de sais na água do mar, que tornam o ambiente em que se encontra extremamente agressivo, e também por diversas outras ações, tais como: abrasão, erosão e cavitação no concreto. A avaliação técnica periódica destas estruturas é de extrema importância para a prevenção, identificação de patologias e prováveis manutenções necessárias nas estruturas em si. Os métodos de ensaios não destrutivos aparecem como grandes aliados nestas análises, já que os métodos tradicionais de inspeção quando aplicados de forma isolada mostram-se limitados. O principal objetivo deste artigo é apresentar de forma breve o que é e para que serve um ensaio não destrutivo, e com base em um estudo bibliográfico, apresentar mais detalhadamente dois dos principais ensaios não destrutivos utilizados para estruturas de concreto armado e a importância destes para uma análise mais eficaz dessas estruturas.

Palavras-chave: concreto armado; patologias; ambiente marinho; ensaios não destrutivos; avaliação técnica.

INTRODUÇÃO

A relação dada entre o aumento proporcional da população urbana em relação à população rural denomina-se Urbanização. O Brasil pôde ser considerado urbano somente após a segunda metade do século XX, quando o percentual de pessoas residindo em cidades ultrapassou os 50% da população do país. A urbanização no Brasil tornou-se demasiadamente acelerada sobretudo após a Revolução Industrial que trouxe consigo a necessidade de grande quantidade de mão de obra para trabalhar nas

fábricas e comércios. Apenas 70 anos foram suficientes para alterar os índices de população rural e urbana. Um crescimento rápido em tão curto tempo não acontece sem que apareçam diversos problemas a serem solucionados (MIRANDA, Site Educação Uol).

Segundo dados do IBGE, a população continua crescendo, na cidade do Rio de Janeiro, por exemplo, a população calculada no último censo (2010) era de 6.320.446 pessoas, tendo uma estimativa de crescimento de aproximadamente 6,3% da população para o ano de 2019.

Um destes problemas é a necessidade de vias de ligação para que as pessoas possam se locomover de uma cidade a outra, ou de um ponto a outro da cidade, por vezes necessitando transpor obstáculos como: rios, braços de mar, outras vias e etc. Observa-se que há uma dependência crescente da sociedade em sistemas de infraestrutura, por isso é extremamente importante, um projeto adequado e o monitoramento e manutenção periódicos.

As pontes ou viadutos (também denominadas como obra de arte especial), são obras que tem por finalidade transpor estes obstáculos. No entanto, sabe-se que toda estrutura possui uma vida útil, e que passados alguns anos estas se deterioram, muitas vezes sem que seja perceptível aos olhos humanos. Além disso, outros fatores como a negligência, o uso excessivo da estrutura e a falta de inspeção e monitoramento destas pontes levam-nas à deterioração acelerada e talvez até precoce. Mas então, como garantir que tal estrutura ainda permaneça apta a sua finalidade após passado um determinado período de tempo, ou se precisa de reparos devido a deterioração, para que assim possa continuar cumprindo sua função?

Com base neste questionamento, este trabalho busca, através de um estudo bibliográfico, observar se o uso da tecnologia (ensaios não destrutivos) aliado aos métodos tradicionais de avaliação de estruturas, contribuem ou não para uma melhor análise técnica de pontes em ambientes marinhos, conseqüentemente favorecendo uma tomada de decisão mais assertiva em relação a necessidade, ou não, de reparos nestas pontes.

Este estudo justifica-se pela quantidade de acidentes fatais ocorridos com pontes e viadutos nos últimos anos. Segundo o jornal online O Estadão Internacional, em reportagem exibida em agosto de 2018, pelo menos treze acidentes fatais ocorreram nos últimos vinte anos; além disso, segundo a Folha de São Paulo, uma em cada cinco pontes ou viadutos sob jurisdição federal necessita de intervenções. Vale ressaltar também que a análise técnica serve não só para avaliar manifestações patológicas e propor reparos, como também para indicar se há necessidade de reforço na estrutura, que as vezes pode ser necessário independente das manutenções.

A metodologia será através de pesquisa bibliográfica, foi feita uma avaliação qualitativa sobre a importância do uso de ensaios não destrutivos na averiguação de pontes em ambientes marítimos. Foram levantados dados sobre os principais ensaios utilizados para uma análise preliminar de estruturas de concreto, e com base em estudos de caso apresentados por Choquepuma Sahuinco (2011), Costa (2017) e Ayswarya K.S (2016) sobre a

utilização destes ensaios, foi comparado com avaliação visual isolada e apresentada a relevância da utilização destes métodos.

O objetivo geral deste artigo é apresentar as principais patologias encontradas em pontes de concreto armado e os principais ensaios utilizados para avaliação destas. O objetivo específico é traçar uma análise comparativa entre a avaliação técnica tradicional (visual) e a avaliação utilizando ensaios não destrutivos, visando ressaltar a importância da utilização destes ensaios.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Pontes – Aspectos Técnicos

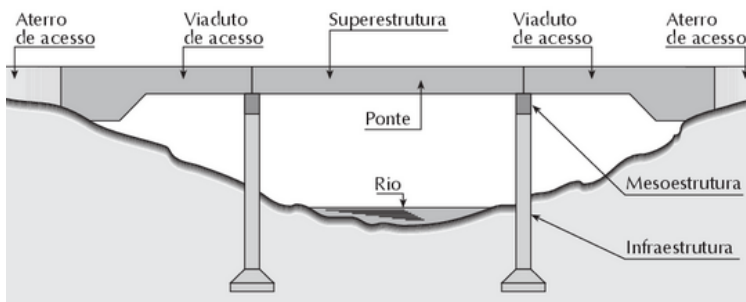
Ponte é a obra que tem por propósito dar continuidade a uma via qualquer, interligando dois pontos separados por obstáculos, como por exemplo em cursos d'água, vales, braços de mar, outras vias, etc. Caso o elemento a ser transportado seja um vale ou outra via, denomina-se Viaduto (MARCHETTI, 2007).

As pontes podem ser classificadas segundo sua extensão de vão total, durabilidade, natureza de tráfego e entre outros aspectos (MARCHETTI, 2007).

Neste artigo, trabalharemos especificamente com pontes (vão maior que 10m) ou pontilhões (vão entre 2m e 10m) permanentes de tráfego rodoviário em concreto armado que transpõe cursos de água marinho.

As pontes de concreto armado são basicamente formadas por Superestrutura; Mesoestrutura e Infraestrutura, como demonstrado na Figura 1 (MARCHETTI, 2007).

Figura 1: Estruturas de uma ponte



Fonte: MARCHETTI, 2007

A infraestrutura é constituída por elementos que se destinam a apoiar no terreno, sendo rocha ou solo, os esforços vindos da superestrutura para mesoestrutura. Já a mesoestrutura é constituída pelos pilares que recebem os esforços da superestrutura. Logo, a superestrutura é formada pelas vigas e lajes de suporte do estrado por onde se trafega, sendo assim a parte útil da ponte (MARCHETTI, 2007).

Os requisitos principais de uma ponte são a funcionalidade, a segurança, a estética, economia e durabilidade (MARCHETTI, 2007).

Existem quatro tipos de superestruturas: In loco, pré-moldada, em balanço sucessivo e em aduelas ou segmentos. A primeira é executada na posição definitiva, apoiando-se diretamente nos pilares sobre escoramento apropriado; a segunda é o contrário da primeira, os elementos são executados fora do local definitivo (na própria obra, em canteiro apropriado ou em usinas). Esse processo é muito usual em pontes de concreto protendido. Porém a pré-moldagem, em geral não é completa, são pré-moldados somente os elementos do sistema principal e vigas principais o restante é executado “In loco”. A terceira tem como vantagem de processo construtivo quase sempre a eliminação total dos escoramentos intermediários, eliminando os cimbramentos, treliças e etc. Trata-se de uma execução in loco, porém ela é executada progressivamente apoiando cada nova superestrutura em balanço nos pilares já prontos em concreto armado. Já a quarta é bem semelhante ao processo de balanço sucessivo, diferenciam-se pelas aduelas serem colocadas em balanço e apoiadas em trechos já finalizados em pré-moldados (MARCHETTI, 2007).

Para cálculos da infraestrutura são levadas em consideração as forças acidentais ou adicionais, como por exemplo o empuxo de água de regime torrencial ou de inundação; um dos mais frequentes é a determinação do empuxo diferencial causado pela carga móvel sobre o aterro em uma das extremidades da ponte (MARCHETTI, 2007).

Mecanismo de deterioração do concreto armado em ambiente marinho: Principal Patologia

Estruturas de concreto possuem durabilidade, ou seja, durante uma vida útil ou um período específico, devem continuar exercendo suas funções, como por exemplo manter a resistência técnica e a condição de utilização. No entanto, a durabilidade não é eterna, nem o concreto é resistente a qualquer tipo de ação (NEVILLE, 2016).

“O concreto só é considerado durável quando for capaz de suportar o processo de deterioração a que está exposto” (NEVILLE, 2016).

A homogeneidade e a compacidade¹ do concreto armado estão intimamente relacionadas com as resistências mecânicas, a estabilidade e a durabilidade deste concreto, e essas duas características dependem da qualidade da dosagem do concreto e da adequada tecnologia aplicada em sua fabricação e manuseio. (CÁNOVAS, 1988)

O concreto quando é submetido à água marinha está sujeito a diversas ações físicas e principalmente químicas, dentre as que se destacam, estão a corrosão de armadura por ação de cloretos, ataque por gelo e degelo, desgaste por ação do sal e abrasão pela areia em suspensão. Estas ações

¹ Qualidade ou estado daquilo que é compacto. A compacidade do concreto depende da relação agregado/cimento, da dosagem do cimento e da relação água

geram efeitos que geralmente não são considerados para efeito de cálculo no projeto estrutural, o que mostra que os métodos tradicionais de segurança podem não ser suficientes para assegurar a sua durabilidade (NEVILLE, 2016).

Por este motivo, é importante a avaliação periódica das estruturas de concreto e muitas vezes são necessários a manutenção e o reparo destas.

Sem dúvida, a principal patologia que surge mais comumente no concreto armado sujeito a ambiente marinho é a corrosão do concreto ou de suas armaduras.

Corrosão do concreto ou de suas armaduras

Segundo Helene, 1986, a corrosão pode ser definida como “a interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química ou eletroquímica” (HELENE, 1986).

As três principais causas de corrosão química do concreto são: o efeito de gases presentes na atmosfera, ação de águas, sejam elas, puras, marinhas, ácidas, entre outras; e ações devido a óleos, gorduras e combustíveis (CÁNOVAS, 1988).

Durante a fase de cura a água é uma ótima aliada do concreto, no entanto quando é pura ou contém substâncias nocivas torna-se seu maior inimigo (CÁNOVAS, 1988).

O processo corrosivo das armaduras do concreto armado produz a desagregação no concreto e diminui a seção resistente das barras. Esta deterioração se manifesta através de expansão, fissuração, formação de lascas, e desprendimento do revestimento da estrutura (CÁNOVAS, 1988; KOPSCH, 2001).

Para que haja a formação de ferrugem é necessário que haja oxigênio, portanto, a parte da estrutura que se encontra completamente submersa praticamente não é alvo desta já que há pequena concentração de oxigênio na água e a difusão é lenta em concretos saturados (KOPSCH, 2001).

“O ingresso da água do mar em si no concreto não influencia no pH da água dos poros da pasta de cimento endurecido. Já a grande quantidade de sulfatos na água do mar pode levar a expectativa de ataques por sulfatos” (NEVILLE, 2016).

“Quando o concreto é repetidamente molhado pela água do mar, com períodos alternados de secagem, durante a evaporação da água, parte dos sais dissolvidos é deixada na forma de cristais, principalmente os sulfatos” (NEVILLE, 2016).

Por isso, a zona de respingos e atmosféricas são as de maior risco, seguido da zona de variação das marés (KOPSCH, 2001).

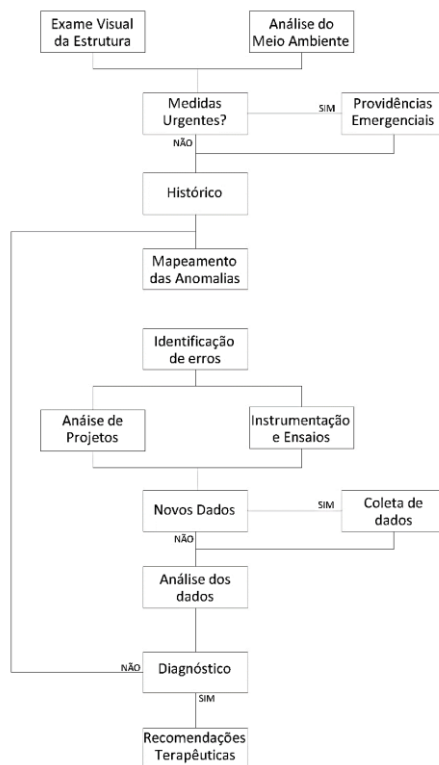
Avaliação Técnica em estruturas

A avaliação a ser feita em uma estrutura pode ser apenas visual, que é o método mais comum de inspeção, ou com auxílio de ensaios, de preferência não destrutivos, pois estes danificam menos ou até mesmo não danificam as estruturas e permitem que novos ensaios sejam feitos no mesmo lugar ou próximo a este, possibilitando o monitoramento das alterações da estrutura com o passar do tempo (NEVILLE, 2016).

Quando se nota que há uma “enfermidade” em uma estrutura, ou seja, que apresenta problemas patológicos, é necessário efetuar uma vistoria detalhada e cuidadosamente planejada para que se possa determinar as reais condições da estrutura, e desta forma poder avaliar as anomalias existentes, bem como as suas causas e as providências a serem tomadas para a recuperação ou o reforço (MAZER, 2012).

A Figura 2 mostra genericamente o método para a inspeção de estruturas convencionais, dividida em três etapas básicas: levantamento dos dados, análise e diagnóstico (MAZER, 2012).

Figura 2: Fluxograma – Inspeção Visual de Estruturas



Fonte: Adaptado de MAZER, 2012

A inspeção visual é o método mais empregado por ser o mais singelo. “O simples fato de observar as condições superficiais de uma estrutura de concreto pode fornecer a um profissional experiente, conclusões sobre o estado desta estrutura” (MAZER, 2012).

As principais características deste método são a facilidade de realização e o baixo custo operacional, mas que mesmo assim requer uma técnica apurada, obedecendo a sólidos requisitos básicos que devem ser conhecidos e corretamente aplicados.

Para se realizar o ensaio de inspeção visual é necessário ter alguns equipamentos básicos como escada, lupa ou binóculo, fissurômetro, trena, máquina fotográfica, EPI e entre outros.

“Outro aspecto importante durante a inspeção visual de uma obra consiste na análise dos projetos e na obtenção de informações sobre a obra, tais como: época de construção, qualidade da mão de obra, utilização da edificação, ambiente inserido, etc. Também é importante mapear e quantificar todas as patologias encontradas. Para a obtenção destas informações, sugere-se a utilização de um questionário” (MAZER, 2012).

No entanto, a inspeção visual não nos dá informações úteis até que defeitos visíveis comecem a surgir na estrutura. Danos internos da estrutura, que não são visíveis, são difíceis de identificar (K.S et al., 2016).

Principais Ensaios não destrutivos

“Ensaios não destrutivos são constituídos por um conjunto amplo de técnicas de testes que não destroem o objeto ensaiado e que são utilizadas na ciência e na indústria para avaliar as propriedades de um material, componente ou sistema” (EQUIPE TÉCNICA SGS, 2018).

Eles avaliam a resistência do concreto endurecido e outras características como vazios, falhas, fissuras e deterioração do mesmo.

Os mais conhecidos são: ensaio visual e dimensional, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrassom, radiografia (Raios X e Gama), análise de vibrações, emissão acústica, estanqueidade, pacômetria, resistividade elétrica, esclerometria, entre outros (EQUIPE TÉCNICA SGS, 2018; MAZER, 2012).

Neste artigo serão apresentados dois dos principais ensaios para avaliar a condição de pontes em ambientes marinhos; o primeiro é o Ensaio de resistividade elétrica que avalia o nível de corrosão das armaduras e o segundo a resistência superficial do concreto endurecido (Método do Esclerômetro).

Ensaio de Resistividade Elétrica

A resistividade elétrica é dada pela propriedade que a estrutura tem de se opor a passagem de corrente elétrica e está ligada a evolução do processo de corrosão das armaduras (COSTA, 2017).

“A resistência elétrica do material é a relação entre a tensão aplicada e a corrente medida” (COSTA, 2017).

Para o ensaio é necessário que o concreto esteja limpo, seja de superfície uniforme e esteja umedecido; quatro eletrodos são posicionados em contato com o concreto, alinhados e com distâncias iguais um do outro. Um impulso elétrico é emitido e a resistividade é aferida por um medidor de resistividade como mostrado na Figura 3, através da leitura da corrente elétrica gerada por uma diferença de potencial aplicada entre eletrodos. Este ensaio pode ser realizado tanto no laboratório quanto diretamente no local da estrutura (COSTA, 2017).

Figura 3: Medidor de resistividade elétrica superficial da PROCEQ



Fonte: Costa, 2017

Segundo Costa (2017), o quadro a seguir apresenta uma análise da possibilidade de corrosão em função dos valores da resistividade elétrica:

Quadro 1: Relação – Corrosão x Resistividade elétrica

Resistividade do concreto (Ohms.m)	Risco de corrosão
< 100	Alto
100 – 500	Moderado
500 – 1000	Médio
> 1000	Desprezível

Fonte: Costa, 2017

A resistividade elétrica do concreto é um ensaio não destrutivo que permite avaliar a resistência do concreto à penetração de íons cloreto. As altas taxas de corrosão, ou seja, o aumento do teor de cloretos no interior do concreto influencia significativamente na queda da resistividade elétrica do concreto, quanto maior é a penetração da água, maior é o grau de umidade

do concreto e menor será a sua resistividade elétrica, tornando mais fácil o fluxo da corrente elétrica (COSTA, 2017).

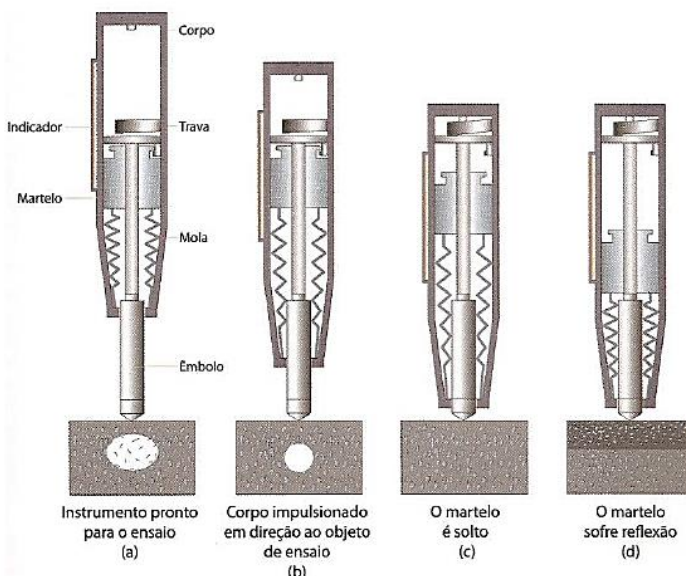
“A técnica dos quatro eletrodos que utiliza o método de Wenner vem sendo utilizada como parâmetro para a previsão da vida útil da estrutura e está relacionada ao processo de deslocamento dos agentes agressivos no interior do concreto” (COSTA, 2017).

Método do Esclerômetro

Este método de ensaio é bastante difundido e antigo, ele permite medir a dureza superficial do concreto, determinando a sua qualidade e sua resistência à compressão. O aparelho desenvolvido pelo engenheiro Ernst Schmidt, conhecido como Rebound Schmidt Hammer, ou simplesmente esclerômetro (Figura 4), é o aparelho utilizado para a realização do ensaio (MAZER, 2012; FERREIRA, 2011; CHOQUEPUMA SAHUINCO, 2011).

O método é um processo simples que consiste fundamentalmente de um martelo controlado por mola que transmite uma carga a um êmbolo; este impacta em uma superfície de concreto com uma determinada energia, parte dela é conservada elasticamente, dando fim ao impacto, e então é medido o retorno ou rebote do martelo. Este ensaio é normatizado pela NBR- 7584 (MAZER, 2012; FERREIRA, 2011; CHOQUEPUMA SAHUINCO, 2011).

Figura 4: Esclerômetro - Esquema



Fonte: FERREIRA, 2011

“O aparelho deve ser aplicado preferencialmente na posição horizontal e conseqüentemente sobre superfícies verticais. Sendo necessário aplicar em posições diversas, o índice esclerométrico deve ser corrigido com os coeficientes fornecidos pelo fabricante do aparelho. Esses coeficientes levam em consideração a ação da gravidade e são variáveis para cada tipo de aparelho” (CHOQUEPUMA SAHUINCO, 2011).

Para a realização desse ensaio, as superfícies do concreto devem ser secas ao ar, limpas e preferencialmente planas. Superfícies irregulares influenciam na absorção da energia podendo sugerir um resultado de resistência falso (MAZER, 2012; FERREIRA, 2011; CHOQUEPUMA SAHUINCO, 2011).

Superfícies úmidas ou carbonatadas também devem ser evitadas, no entanto, caso queira ensaiá-las, estas devem ser preparadas, e se necessário, aplicados coeficientes de correção, a serem declarados na apresentação dos resultados (MAZER, 2012; FERREIRA, 2011; CHOQUEPUMA SAHUINCO, 2011).

Vários fatores podem influenciar os resultados do ensaio de esclerometria, dentre eles: o tipo de cimento, tipo de agregados, condições de umidade da superfície, idade da estrutura, entre outros. Todos os fatores são prescritos pela NBR 7584:1995, portanto é importante avaliar todos esses fatores ao realizar o ensaio para obter uma melhor leitura do resultado obtido (FERREIRA, 2011).

Segundo Ferreira (2011), devido as influências que atuam sobre o ensaio, não é possível definir uma correlação única entre a resistência à compressão e o índice esclerométrico, por isso a resistência do concreto é estimada através de curvas de calibração.

Em geral, o número de rebote cresce à medida que a resistência aumenta, além disso, o índice esclerométrico é indicativo de resistência à compressão do concreto somente até uma profundidade limitada da superfície pois as rachaduras internas, falhas ou heterogeneidade presentes na seção transversal da estrutura não serão indicadas pelo método. Devido as condições indicadas, este método não pode ser considerado muito preciso (K.S et al., 2016).

Com um esclerômetro (Figura 5) devidamente calibrado, a precisão na estimativa da resistência do concreto é de $\pm 15\%$ a 20% quando ensaiados em laboratório, e de $\pm 25\%$ quando realizado em uma estrutura de concreto (FERREIRA, 2011).

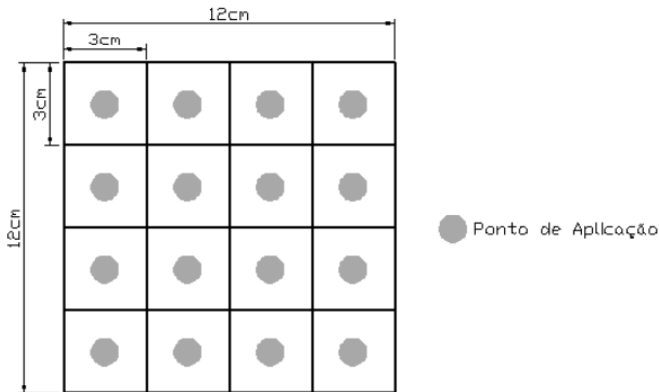
Figura 5 - Esclerômetro



Fonte: FACIR PISOS

O índice esclerométrico é calculado pela média aritmética dos valores individuais encontrados. Em uma única área de ensaio são obtidos de 9 a 16 valores individuais (Figura 6) (FERREIRA, 2011).

Figura 6: Pontos de Aplicação do esclerômetro



Fonte: SOUZA et Al; 2015

Este ensaio, além de avaliar a provável resistência à compressão do concreto com a ajuda de correlações adequadas entre o índice de esclerométrico e a resistência à compressão, pode ser usado também para avaliar a uniformidade do concreto, avaliar a qualidade do concreto em relação a requisitos padrão e avaliar a qualidade de um elemento do concreto em relação a outro (K.S et al., 2016).

O baixo custo, a agilidade de execução do ensaio e a facilidade de execução são vantagens de se utilizar o método. Entre as desvantagens está o fato de não ser recomendável a sua aplicação isoladamente, portanto sugere-se realizar pelo menos dois ensaios para a determinação da

resistência do concreto, sendo a esclerometria auxiliar de avaliação (CHOQUEPUMA SAHUINCO, 2011).

RESULTADOS DO ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

Análise comparativa entre a inspeção visual e a inspeção com auxílio de ensaios não destrutivos

As estruturas das pontes necessitam de inspeção periódica para detectar falhas estruturais e riscos à segurança, além de determinar as necessidades de manutenção e reparo. Geralmente, o método mais usado é a inspeção visual e os programas de manutenção são preparados com base nos resultados dessas inspeções. No entanto esse método identifica apenas os danos macroscópicos como já dito anteriormente (K.S et al., 2016).

Isso nos mostra que há uma ampla demanda por métodos de avaliação que estabeleçam a condição das estruturas antes que ocorram danos graves (K.S et al., 2016).

Os métodos de ensaios não destrutivos podem fornecer um meio relativamente rápido e barato para estabelecer se uma estrutura ainda está em condições de manutenção ou não pois os resultados desses testes melhoram a qualidade da informação, além de ser particularmente útil para avaliar pontes em funcionamento, uma vez que as pontes podem permanecer intactas e abertas ao tráfego durante o período de inspeção (K.S et al., 2016).

K.S et al. (2016) apresenta dois estudos de caso relevantes para a análise da importância e validação das inspeções com auxílio dos ensaios não destrutíveis. Em ambos os estudos foi utilizado o ensaio do esclerômetro. O primeiro estudo apresentado foi realizado na Índia, onde foi avaliada a resistência de uma ponte de viga em “T” construída sobre um rio; e o segundo estudo foi realizado na Malásia, onde 75 pontes de concreto da estrada federal no estado de Johor (Malásia) foram escolhidas como amostras de pesquisa; e realizados os testes no convés, no píer e no pilar destas.

Avaliação da resistência de uma ponte de viga “T” construída sobre um rio da Índia

Os testes realizados na ponte em questão confrontaram as observações obtidas nos ensaios de esclerometria e ultrassom, este último não abordado neste artigo, com os dados obtidos através do teste de resistência à compressão realizado em três testemunhos extraídos do local através de ensaio que é considerado destrutível (K.S et al., 2016).

As amostras extraídas foram coletadas após os testes não destrutivos. Todos os ensaios foram realizados na presença de equipe da engenharia (K.S et al., 2016).

Os resultados obtidos pelo ensaio de resistência a compressão dos testemunhos indicaram resistência média do concreto de 32,90Mpa; observou-se ainda que os valores individuais encontrados, que estão dentro

de $\pm 20\%$ do valor médio, estão todos acima de 20Mpa, portanto, cumprem o requisito de resistência requerida (acima de 20Mpa) para um concreto de classe M20; enquanto os resultados obtidos pelo ensaio de esclerometria indicaram uma resistência de 24,865Mpa, que também cumpre a exigência para um concreto de classe M20, valor obtido através da interpretação dos valores de rebote, sendo o valor médio de recuperação 34,58 e a variação dos valores individuais de $\pm 10\%$ (K.S et al., 2016).

Avaliação do desempenho de pontes de concreto na Malásia

Foram realizados ensaios não destrutivos no convés, no píer e no pilar de 75 pontes do estado de Johor; o método utilizado na pesquisa foi a Esclerometria, com base na especificação padrão descrita na norma britânica BS 1881: Parte 202. As conclusões destes testes foram correlacionadas indiretamente com a resistência geral das pontes (K.S et al., 2016).

A amostra de ponte foi dividida em dois tipos principais: ponte simples suportada e contínua, e o deck para as amostras de pontes foram categorizados em dois grupos: pré-fabricado (viga I e viga V invertida) e concretado in loco (Viga RC e Laje RC) (K.S et al., 2016).

Todos os testes foram realizados em superfícies lisas e limpas, já que uma superfície rugosa não forneceria resultados confiáveis. Foram realizadas doze leituras, confinadas a uma área não superior a 300mm x 300mm, em cada local. O valor médio de recuperação obtido na pesquisa citada tem precisão de $\pm 4,3\%$ com 95% de confiança (K.S et al., 2016).

Para as pontes com deck feito in loco obteve-se os números de rebote de 15 a 50 na escala do martelo, com uma média de cerca de 36 e um desvio de $\pm 6,4$ para vigas RC, enquanto na laje RC o valor de rebote variou de 26 a 60, com média de 42 e desvio de $\pm 5,92$. A análise deste resultado mostrou que a qualidade do concreto não é uniforme (K.S et al., 2016).

Em relação às pontes com deck pré-fabricado, os números de rebote foram 41 a 55 para a viga I e 31 a 55 para a viga T invertida, com média de 49 e 46, e desvios iguais a $\pm 3,16$ e $\pm 4,83$, respectivamente. As análises destes resultados também indicaram não uniformidade na qualidade do concreto (K.S et al., 2016).

O resultado de deck pré-fabricado mostra números de rebote maiores e desvio menor em comparação com o resultado de deck feito in loco (K.S et al., 2016).

Foi avaliada a resistência do concreto ao longo do tempo em ambos os tipos de ponte, para o convés e o pilar. Verificou-se que para uma ponte simples suportada a resistência do concreto foi maior no convés do que no pilar, e a partir dos 7 anos de idade a resistência começou a diminuir. O mesmo comportamento ocorreu na ponte contínua (K.S et al., 2016).

Após a obtenção de todos os resultados foi feita uma comparação entre a resistência do concreto obtida no ensaio de esclerometria e a classificação visual atribuída aos trechos da ponte durante uma inspeção,

para assim avaliar a semelhança entre esses os dois métodos (K.S et al., 2016).

As classificações visuais usadas na pesquisa foram baseadas na classificação atribuída pelo inspetor para o ano de 2005 (K.S et al., 2016).

Segundo K.S et al (2016) a comparação realizada mostrou que para pontes simples suportada a classificação visual tende a não mudar com o tempo, enquanto a resistência do concreto tende a diminuir gradativamente com o tempo. Neste caso, o uso do ensaio não destrutivo tem extrema relevância já que a não utilização dele acarretaria não verificação desta diminuição de resistência, podendo trazer danos futuros a estrutura.

Já para amostras de pontes contínuas, a correlação entre a classificação visual e a resistência do concreto é mais comparável: a resistência do concreto diminui com o tempo, enquanto a classificação visual aumenta, o que indica a presença de sinais visíveis de defeitos na estrutura. Uma classificação visual mais alta representa uma condição ruim (K.S et al., 2016).

Neste último caso o comparativo teve maior equivalência pois a ponte chegou a um estágio mais crítico onde já havia a presença de danos detectáveis pelo método de inspeção visual.

Análise comparativa qualitativa

Após o levantamento bibliográfico apresentado, foi possível verificar que a inspeção visual, quando aplicada de forma isolada, é limitada se comparada a outros métodos, já que necessita que o avaliador tenha vasta experiência sobre o problema a ser avaliado, e também que a patologia presente na estrutura esteja visível, o que nem sempre ocorre.

A utilização dos métodos de ensaios não destrutivos para avaliação destas estruturas, se aplicados isoladamente, dão uma melhor perspectiva do problema, no entanto também não são conclusivos por si só.

Enquanto a avaliação visual é um método puramente qualitativo e subjetivo, os ensaios são métodos quantitativos, por isso para uma maior precisão na avaliação e na determinação da solução a ser adotada para o problema é interessante que seja utilizada uma mescla de ambos os métodos de avaliação.

CONCLUSÃO

Frequentemente a falta de monitoramento periódico das estruturas faz com que as patologias destas sejam detectadas apenas em estágios avançados, onde os custos de reparo se tornam bem mais elevados devido a situação crítica.

O monitoramento contínuo da saúde dessas estruturas permite a avaliação precoce de patologias e uma restauração mais rápida e possivelmente mais econômica.

Os ensaios não destrutivos quando realizados de maneira correta permitem localizar e caracterizar condições do material que podem não ser visíveis na superfície, mas que afetam a sua durabilidade ou o seu desempenho estrutural. Estes ensaios podem reduzir o número de pontes defeituosas e em estado crítico, permitindo aos avaliadores obter uma visão mais precisa das condições de uma ponte e localizando os danos mais cedo (K.S et al., 2016).

O ensaio de esclerometria é um método relativamente acessível economicamente, simples e rápido de obter uma indicação da resistência do concreto, no entanto por não ser tão preciso é recomendado que seja utilizado juntamente a outros métodos, entretanto, tem um grande potencial para ser utilizado como uma avaliação preliminar em pontes (K.S et al., 2016).

O ensaio de resistividade elétrica também é rápido e relativamente barato, e fornece informações importantes sobre o estágio de corrosão em que se encontram as armaduras do elemento estrutural, o que permite reparos que evitem maiores danos devido a esta corrosão, principalmente se detectada a “enfermidade” no estágio inicial.

Os estudos bibliográficos apresentados neste artigo, mostraram que a esclerometria e o ensaio de resistividade elétrica são eficazes na avaliação da condição de pontes.

O estudo de caso na Índia mostrou que existe uma correlação entre os resultados de métodos de teste destrutivos e não destrutivos, validando então a utilização desses; já o estudo das pontes na Malásia indicou uma boa correspondência entre a classificação visual e a esclerometria, no entanto indicou também que a presença da utilização de ensaios não destrutivos em avaliações periódicas traz dados importantes sobre a evolução da estrutura que não são detectáveis apenas pela inspeção visual, ao menos não até que os danos comecem a se tornar visíveis.

A pesquisa apresentada e discutida neste artigo mostrou que os métodos de ensaio não destrutivos são extremamente importantes para uma melhor análise técnica de problemas patológicos em pontes de concreto armado em ambiente marítimo, pois atribuem uma validação quantitativa à análise visual, além de averiguar a necessidade de reparos e ações de manutenção de forma mais precoce.

O emprego destes ensaios em avaliações periódicas onde não há manifestação patológica visual pode contribuir para a prevenção de maiores danos a estrutura, solucionando seus problemas de forma mais simples e econômica, e evitando assim, colapsos precoces da mesma, e permitindo também que os recursos disponíveis sejam direcionados às pontes que se encontrem em situação mais críticas.

REFERÊNCIAS

CÁNOVAS, Manoel F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo, PINI. 1988

CHOQUEPUMA SAHUINCO, Melquiades Hermógenes. **Utilização de métodos não destrutivos e semi destrutivos na avaliação de pontes de concreto.** São Paulo. 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-01112011-123905/publico/Dissertacao_Melquiades.pdf> Acesso em 18 de novembro de 2019.

COSTA, Josiane Moraes; ET AL. **Análise Patológica através do ensaio não destrutivo utilizando resistividade elétrica superficial de concreto.** 2017. Disponível em: <<http://www.fumec.br/revistas/construindo/article/download/5662/2955>> Acesso em 18 de novembro de 2019.

EDUCAÇÃO UOL. **Urbanização do brasil: consequências e características das cidades.** Disponível em: <<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/urbanizacao-do-brasil-consequencias-e-caracteristicas-das-cidades.htm> > Acesso em 18 de novembro de 2019.

EQUIPE TÉCNICA SGS. **Ensaio não destrutivo. O que é preciso Saber?** Abril 2018. Disponível em: <<https://www.sgsgroup.com.br/-/media/local/brazil/documents/white-papers/industrial/sgs-ind-non-destructive-testing-pt-brazil.pdf>> Acesso em 18 de novembro de 2019.

ESTADÃO INTERNACIONAL. **Os acidentes com pontes com mais mortes nos últimos 20 anos.** Disponível em: <<https://internacional.estadao.com.br/noticias/geral,os-acidentes-com-pontes-com-mais-mortes-nos-ultimos-20-anos,70002451009>> Acesso em 18 de novembro de 2019.

FACIR PISOS. **Controle tecnológico de materiais/serviços.** Disponível em: <<http://www.facir.com.br/produtos-e-servicos/control-tecnologico-de-materiaisservicos/>> Acesso em 23 de março de 2020.

FERREIRA, Gucindo. **Estudo sobre fatores influentes nos resultados de ensaios não destrutivos em concreto endurecido.** Uberlândia. 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14156/1/d.pdf>> Acesso em 18 de novembro de 2019.

FOLHA. **1 em 5 pontes ou viadutos precisa de reforma.** Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/08/1-em-5-pontes-ou-viadutos-precisa-de-reforma-veja-regras-para-manutencao.shtml>> Acesso em 18 de novembro de 2019.

HELENE, Paulo. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo, PINI. 1986

IBGE. **Panorâma – Rio de Janeiro**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-de-janeiro/panorama>> Acesso em 18 de novembro de 2019.

KOPSCH, Wilson. **Durabilidade de estruturas de concreto armado em ambiente marinho**. 2001. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/30360994.pdf> > Acesso em 18 de novembro de 2019.

K.S, Ayswarya; Johnson, Ann Maria; Chaithanya; Prasad, Devika; Krishnan R., Dhanya; N.J., Radhika Nair. **Evolution of Bridge Performance Using Non – Destructive Testing – A Review**. 2016. Disponível em: <<https://iarjset.com/upload/2016/si/nCORETech-16/nCORETech%202.pdf> > Acesso em 23 de março de 2020.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de concreto armado** 1ª ed. São Paulo, Blucher. 2007

MAZER, Wellington. **Inspeção e ensaios em estrutura de concreto**. 2012. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/wmazer/especializacao-em-patologia-das-construcoes/Notas_de_Aula_Ensaio.pdf/at_download/file> Acesso em 18 de novembro de 2019.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5ª ed. Porto Alegre, Bookman. 2016

SOUZA, Diego Jesus; TORRE, Eduardo Muñoz de La; KOSLOSKI, Flávia; SILVESTRO, Laura; LEME, Lucas Budel Paes; MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias. **Obtenção da resistência à compressão do concreto de viadutos localizados na região de Curitiba por métodos de ensaios não destrutíveis: Esclerometria e Ultrassom**. 2015. Disponível em: <http://sinicesp.org.br/44rapv/trabalhos/TrabalhoFinal_189.pdf> Acesso em 23 de março de 2020.