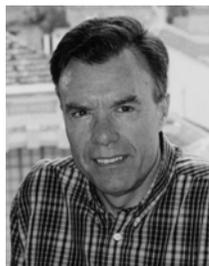


QUALIFICAÇÃO DOS AGENTES E METODOLOGIAS DE INSPECÇÃO E ENSAIO DE ESTRUTURAS DE BETÃO



C. MESQUITA
Director Técnico
Oz, Lda
Lisboa



V. CÓIAS e SILVA
Gerente
Oz, Lda
Lisboa

SUMÁRIO

Descrevem-se alguns aspectos importantes a ter em conta na selecção e na execução de ensaios não destrutivos “in-situ”, face ao objectivo em vista, bem como possíveis abordagens de tratamento dos resultados para caracterização de determinadas propriedades ou anomalias. Analisa-se o significado da Qualidade, apontando-se a necessidade dos fornecedores deste tipo de serviço estabelecerem Sistemas de Garantia da Qualidade, segundo as NP EN ISO 9000.

1. INTRODUÇÃO

Apesar do reconhecimento generalizado da importância que as inspecções e ensaios têm na manutenção e conservação das construções, em geral, verifica-se que os técnicos dos diferentes intervenientes do processo não possuem formação específica nesta área e noutras que lhe estão directamente relacionadas como, por exemplo, a reabilitação e reforço estrutural.

Poder-se-á apontar como uma das causas principais a inexistência de um perfil específico na licenciatura de Engenharia Civil, conforme se poderá facilmente constatar através do curriculum actual das universidades portuguesas, pelo que tem sido basicamente o mercado a “formar” os técnicos, à medida das suas necessidades. Esta importante lacuna origina que as intervenções de manutenção e conservação sejam, muitas vezes, desajustadas das reais necessidades, obrigando a curto prazo a novas intervenções correctivas, com os consequentes prejuízos daí decorrentes.

Julga-se, que a referida formação deveria estar presente nas diferentes fases que compõem um processo de intervenção, nomeadamente, a fase do projecto, a fase da construção e a fase da manutenção e conservação.

1.1. Fase do projecto

Esta é, reconhecidamente, a fase mais importante por condicionar, no futuro, as restantes. Se for bem conduzida, as restantes fases terão uma maior probabilidade de sucesso. No caso da obra nova, o projectista deve ter presente que, a estrutura deve ser concebida de modo a serem garantidas as exigências estruturais e funcionais durante o período de vida útil. Por exemplo, do ponto de vista da durabilidade, sabe-se que a corrosão de armaduras é um dos mecanismos principais de deterioração, pelo que é fundamental dotar a estrutura e seus componentes de uma geometria regular, de modo a ser possível garantir boas condições de betonagem, elementos com densidade de armaduras equilibrada, espessuras adequadas de recobrimento das armaduras para a sua protecção, etc.. Também, a escolha dos tipos e quantidades de ligante do betão [1] deve ser cuidadosamente observada, bem como devem ser, claramente, especificados todos os requisitos relacionados com os restantes materiais a empregar e a sua colocação em obra, de modo a que a execução seja levada a cabo de forma perfeitamente controlada. Ainda, questões como, por exemplo, a inspecção de aparelhos de apoio e sua substituição, bem como das armaduras de pré-esforço devem, igualmente, ser tidas em conta na fase de projecto.

Caso a importância da obra o justifique, o projecto poderá especificar a monitoragem de certos parâmetros chaves como, por exemplo, deformações, temperatura, corrosão das armaduras, fluência do betão, relaxação das armaduras de pré-esforço, vibrações (comportamento dinâmico), etc..

O projecto deverá, também, incluir o programa de manutenção/conservação da obra, onde deve ser definida a periodicidade das inspecções, quer as de rotina, quer as mais completas, os ensaios a realizar, as medidas correctivas a implementar quando se verificarem certos parâmetros previstos, bem como os prazos para a substituição dos diversos componentes, quer os estruturais, quer os não estruturais.

Recentemente, no caso das Obras-de-Arte, têm vindo a ser desenvolvidos sistemas de gestão, normalmente, constituídos por bases de dados, onde é possível guardar toda a informação referente às obras, nomeadamente, a do projecto, a da construção, a das inspecções, a da exploração e conservação, etc.. Estes sistemas são fundamentais para a tomada de decisões quantos às acções a implementar ao longo da vida útil da obra.

1.2. Fase da construção

Durante esta fase, a fiscalização assume um papel muito importante, pois faz o controlo dos requisitos prescritos no projecto. Verifica-se, no entanto, que esse controlo incide, basicamente, sobre as características dos materiais a quando da sua recepção e não após a sua aplicação, como acontece, por exemplo, com a resistência do betão. Caso a betonagem de um elemento estrutural seja deficientemente executada (condições atmosféricas adversas, fraca compactação, etc.), não é costume a realização de ensaios complementares, a não ser que existam evidências claras.

Encontram-se disponíveis, há já alguns anos, ensaios simples que deveriam ser utilizados para reforçar o controlo da execução das obras. Por exemplo, a evolução da resistência do betão moldado poderá ser indirectamente aferida através de ensaios esclerométricos (surpreendentemente caiu em desuso), de ensaios de ultra-sons, de ensaios de arrancamento, etc.. Outro exemplo, consiste na medição da espessura de recobrimento das armaduras, com um pacómetro, para verificação do seu posicionamento na secção após a betonagem.

1.3. Fase da manutenção e conservação

Das 3 fases, é nesta que se verificam as maiores lacunas, nomeadamente, a quase ausência generalizada de uma política/estratégia de manutenção/conservação das infra-estruturas existentes. Motivo pelo qual não existem praticamente técnicos com formação específica na área do diagnóstico e observação de estruturas. Desde o técnico que elabora os planos de inspecção e ensaios aos técnicos operacionais.

Felizmente, verifica-se, actualmente, uma tendência positiva na área da reparação e reforço estrutural, onde começa a haver alguma experiência fruto, talvez, da necessidade de intervenção nas obras mais antigas, que se encontram deterioradas e, onde a sua funcionalidade está em causa. Mesmo assim, estas intervenções são levadas a cabo sem uma informação de suporte adequada o que faz com que passado pouco tempo seja necessário voltar intervir.

2. METODOLOGIAS DE INSPECÇÃO E ENSAIO

Descrevem-se, resumidamente, a seguir algumas metodologias de inspecção e ensaio segundo os objectivos a atingir.

2.1. Levantamento estrutural (exaustivo ou por amostragem)

O levantamento estrutural surge quando se pretende levar a cabo uma remodelação importante numa dada obra da qual não se encontra disponível qualquer informação sobre a estrutura ou, caso exista, torna-se necessário validar (verificação da conformidade do projecto com o construído).

Poder-se-á indicar, como primeira tarefa, a definição/verificação da geometria da estrutura, levada a cabo, por exemplo, através de técnicas de topografia. A seguir, a caracterização dos materiais estruturais, que no caso das estruturas de betão armado consiste na definição/verificação da pormenorização da secção dos elementos estruturais (pacómetro, raios-X, radar, etc.). Ainda, dentro da caracterização dos materiais estruturais, torna-se necessário avaliar a sua resistência ou outras propriedades mecânicas, podendo ser feito através de ensaios de rotura à compressão sobre carotes e de ensaios de rotura à tracção de amostras de varões. Nas estruturas de betão armado pré-esforçado poderá, ainda, ser necessário proceder à medição da tensão dos cabos de pré-esforço [2], tarefa essa complexa e algo arriscada.

Outras tarefas, incluídas no levantamento estrutural, consistem na caracterização das cargas correspondentes aos materiais de revestimento e na caracterização do solo de fundação. Esta última, importante no caso do reforço das fundações.

2.2. Caracterização do estado de conservação de estruturas de betão armado

Este objectivo é importante, para a tomada de decisão, quanto à necessidade das acções de manutenção/conservação numa dada estrutura existente, nomeadamente, a natureza das medidas correctivas, o modo da sua implementação e quando.

A importância da corrosão das armaduras pode ser avaliada, numa primeira abordagem, através da confrontação de 3 parâmetros: a espessura de recobrimento das armaduras (medida com o pacómetro), a profundidade de carbonatação do betão (determinada com uma solução alcoólica de fenoltaleína) e o teor de cloretos no betão a várias profundidades (eléctrodo de cloretos).

A fig. 1, a seguir, ilustra a confrontação dos resultados da medição do recobrimento das armaduras com a profundidade de carbonatação do betão [3], em várias zonas de ensaios (vigas, pilares, lajes, etc.). Por exemplo, na zona 1, é possível verificar que a frente de carbonatação (PH1), encontra-se, ainda, muito afastada das armaduras, significando uma folga substancial até que ocorra a sua despassivação. Este tipo de representação permite, ainda, por exemplo, constatar a percentagem dos valores de recobrimento, medidos numa dada zona de ensaios, inferiores ao recobrimento mínimo regulamentar (c mín).

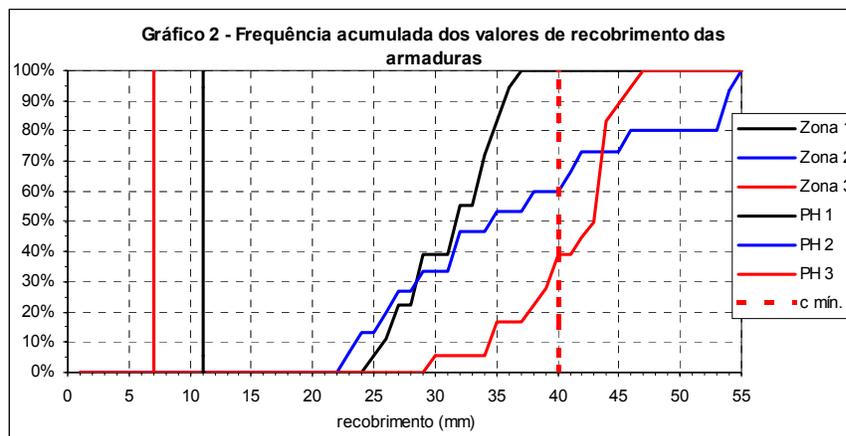


Fig. 1 - Representação gráfica da frequência acumulada do valores de recobrimento, medidos com o pacómetro, da profundidade de carbonatação e do recobrimento mínimo regulamentar.

Outro dado importante, que se pode inferir a partir do recobrimento das armaduras e da profundidade de carbonatação do betão, é a previsão do tempo que falta para ocorrer a despassivação das armaduras [3], através da fórmula (1):

$$x = k \times \sqrt{t} \quad (1)$$

em que: x - profundidade de carbonatação (mm); k - constante e t - idade do betão (anos).

A despassivação das armaduras devida à presença de cloretos em excesso no betão [4] pode, também, ser aferida através da sua determinação a diferentes profundidades (perfis de cloretos). Feita periodicamente permite, também, prever quando ocorrerá a despassivação, bem como validar eventuais modelos de previsão, adoptados no projecto.

Quando se pretende conhecer com maior rigor a importância da corrosão das armaduras pode-se, através da técnica da resistência de polarização [5], medir a intensidade de corrosão das armaduras em conjunto com outros parâmetros como, por exemplo, o potencial eléctrico das armaduras, a resistividade eléctrica do betão, a humidade relativa e temperatura ambientes.

A fig. 2, a seguir, ilustra a confrontação entre os resultados da intensidade de corrosão e potencial eléctrico das armaduras, medidos em diferentes zonas de ensaios de uma estrutura exposta a um ambiente marítimo. Analisando-a, é possível constatar que a avaliação da importância da corrosão apenas com os resultados da medição do potencial eléctrico pode ser sobre-valorizada, resultando, portanto numa avaliação incorrecta.

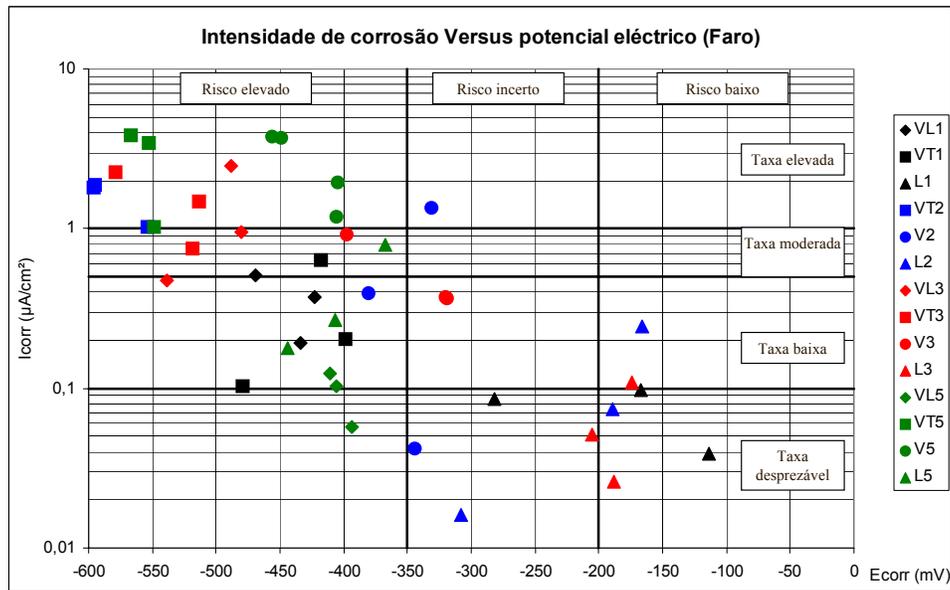


Fig. 2 - Confrontação dos resultados da intensidade de corrosão face aos do potencial eléctrico das armaduras.

Ainda, no âmbito da caracterização do estado de conservação das estruturas de betão armado, têm lugar outras tarefas de inspecção e ensaios como, por exemplo a detecção e avaliação da importância de descontinuidades superficiais, por percussão ou através do arrastamento de correntes (delaminação do betão), a detecção de descontinuidades no interior da secção dos elementos estruturais através de ensaios de ultra-sons, de impacto-eco ou de radar (vazios importantes, reacções expansivas, etc.). Estes últimos permitem, também, a detecção de vazios no interior das bainhas dos cabos de pré-esforço (deficiências da operação da injeção da calda).

A caracterização da fissuração do betão, nomeadamente, a abertura das fissuras pode ser medida, com grande rigor, através de uma luneta graduada e a profundidade que atingem na secção pode ser medida através de ensaios de ultra-sons ou de impacto-eco. Pode, ainda, ter interesse acompanhar a evolução da fissuração através da monitoragem da disposição e da abertura das fissuras (ver ponto 2.8).

Quando existem suspeitas de reacções expansivas no betão [6] (reacções álcalis-agregado e reacções sulfáticas internas), pode-se proceder à caracterização da micro-estrutura do betão, através de ensaios laboratoriais sobre amostras retiradas da estrutura, nomeadamente, a análise petrográfica, a observação ao microscópio electrónico de varrimento, etc..

Para se completar a caracterização do estado de conservação das estruturas de betão armado, pode ser necessário, também, avaliar a importância de eventuais deformações dos seus elementos através de técnicas de topografia (medição de flechas e medição de desaprumos ou de assentamentos diferenciais). Estes parâmetros são muito importantes para o projectista poder avaliar o desempenho estrutural.

2.3. Levantamento das anomalias visíveis

Este objectivo é, em certa medida, complementar do anterior, devendo, normalmente, precedê-lo. Visa a identificação das anomalias visíveis, a sua disposição e extensão nos elementos estruturais, através de referência em desenhos. No caso das estruturas de betão destacam-se a fissuração, outras descontinuidades e deformações aparentes.

2.3.1. Anomalias de índole estrutural

Têm especial relevância na medida em que denunciam um comportamento deficiente da estrutura ou seus componentes, pelo que a sua detecção atempada é fundamental para a tomada de decisão quanto à implementação de medidas correctivas urgentes. Os sintomas mais correntes são as fissuras com orientação bem definida, associadas, normalmente a deformações aparentes dos elementos estruturais. Como causas principais, podem apontar-se, por exemplo, esforços de flexão exagerados, devidos a solicitações superiores às consideradas no projecto,

esforços de corte resultantes de cargas concentradas, ou assentamentos diferenciais dos apoios, ou, ainda, outras solicitações acidentais (incêndio, embate de viaturas, sismos, etc.).

2.3.2. Anomalias de índole não estrutural

Neste caso, não está, tanto, em causa a segurança actual da estrutura ou dos seus componentes, mas sim outras exigências funcionais que comprometem a sua normal utilização durante o restante período de vida útil. No entanto, caso não sejam implementadas, atempadamente, medidas correctivas pode o desempenho estrutural vir a ser seriamente afectado. Pode-se apontar, como exemplo mais comum, nas estruturas de betão armado a corrosão das armaduras, cujos sintomas característicos, são zonas com manchas de óxido, fissuras alinhadas com as armaduras, zonas com delaminação do betão, zonas com armaduras expostas, eventualmente, com redução significativa da secção.

Para além das fissuras devidas à corrosão das armaduras podem-se, também, apontar outras causas como, por exemplo, assentamento plástico do betão sobre as armaduras, ou por variação da espessura da secção, fenómenos de retracção (durante a fase plástica ou de secagem a longo prazo), variações de temperatura importantes, contracção do betão devido ao calor de hidratação, reacções expansivas, etc.. A caracterização correcta das fissuras (disposição, abertura e actividade), é fundamental para o seu diagnóstico e, conseqüentemente, para a definição das medidas correctivas.

Ainda, há a referir outras descontinuidades superficiais como, por exemplo, a segregação do betão, erosão, esfoliação, desagregação, alterações cromáticas, corrosão do betão (ataque químico), etc..

2.4. Controlo de qualidade em obra durante a construção

Para além dos habituais ensaios de recepção dos materiais (ver ponto 1.2), podem ser executados outros ensaios "in-situ", nomeadamente, na estrutura ou seus componentes, visando o controlo da sua execução. Por exemplo, o controlo da espessura de recobrimento das armaduras pode ser feito, conforme atrás referido, com o pacómetro, a evolução da resistência do betão moldado na estrutura (importante para antecipar a desmoldagem), pode ser avaliada através de ensaios de arrancamento de pequenas ancoragens colocadas com o betão fresco (muito utilizado no estrangeiro). A capacidade resistente de elementos pré-fabricados pode ser avaliada experimentalmente através da realização de ensaios de carga.

Do ponto de vista da durabilidade das estruturas de betão armado, em particular, as expostas a ambiente marítimo, podem também ser realizados ensaios "in-situ" ou em laboratório como, por exemplo, avaliação da permeabilidade ao ar e água do betão, avaliação da absorção do betão por imersão ou por acção da capilaridade sobre carotes, determinação do coeficiente de difusão de cloretos, etc..

2.5. Controlo de qualidade de intervenções de reparação ou reforço estrutural

Neste caso a norma europeia [7], a EN 1504 "Produtos e sistemas para a protecção e reparação das estruturas de betão", representa um salto qualitativo muito importante no âmbito da reabilitação das estruturas de betão, visto que especifica todos os passos necessários da intervenção, desde o diagnóstico das anomalias, técnicas de protecção e reparação, requisitos dos materiais a utilizar, sistemas de verificação de conformidade, até ao controlo de qualidade da aplicação.

Actualmente, os ensaios mais utilizados, para controlo das intervenções de reabilitação estrutural, são os ensaios de arrancamento para aferição da tensão de aderência entre o material de reparação e o material existente ou da tensão de aderência de elementos de reforço colados ao betão (chapas metálicas ou materiais compósitos), os ensaios de resistência de argamassas de reparação ou de resinas epoxídicas, os ensaios de dureza superficial de resinas, etc.. Para detecção de deficiências podem ser utilizados alguns dos ensaios mencionados no ponto 2.2.

2.6. Monitoragem da corrosão das armaduras

A monitoragem da corrosão das armaduras numa dada estrutura visa o acompanhamento da evolução da corrosão ao longo do tempo, permitindo a tomada de decisão atempada quanto às medidas correctivas a implementar. Normalmente, é utilizada em estruturas importantes, que se encontram expostas a ambientes agressivos (marítimo ou industrial). Os parâmetros que são monitorados, através de diferentes dispositivos colocados na secção dos elementos estruturais, costumam ser o potencial eléctrico e a velocidade de corrosão das armaduras, a carbonatação do betão, o teor de cloretos, a resistividade eléctrica do betão, a temperatura e humidade.

2.7. Monitoragem do comportamento dinâmico das estruturas

É uma ferramenta de diagnóstico recente [8], destinada, essencialmente, a obras importantes, que permite detectar a ocorrência de desvios importantes no comportamento dinâmico global da estrutura ou dos seus componentes. Pode ser levada a cabo nas diferentes fases da obra, a quando da recepção, a quando das intervenções de reabilitação ou mesmo durante a vida útil prevista (ainda pouco desenvolvida).

Utilizando diversos dispositivos, tais como acelerómetros e extensómetros dinâmicos, ligados a um sistema de aquisição de dados e software de processamento e análise dos registos obtidos, é possível identificar e controlar os parâmetros dinâmicos da estrutura ou seus componentes, nomeadamente, frequências naturais, modos de vibração, coeficientes de amortecimento, etc..

Um estudo desta natureza tem que ser, necessariamente, desenvolvido por técnicos com formação específica na área da dinâmica de estruturas, que estejam, também, familiarizados com os diferentes mecanismos de deterioração, que possam condicionar o comportamento dinâmico das construções em análise.

2.8. Monitoragem da abertura de fissuras

Esta ferramenta de diagnóstico, que pode ser utilizada sobre todo o tipo de estruturas, é muito importante para se avaliar a evolução da abertura de fissuras, nomeadamente, se estão estáveis ou se estando activas qual a variação da abertura. Só assim, poderão ser definidas medidas correctivas plenamente eficazes.

A escolha dos dispositivos de medição como, por exemplo, fissurómetros tell-tale (resolução de 0,5 mm), fissurómetros de corda vibrante ou deflectómetros (resolução de 0,01 mm), ou alongâmetro com bases metálicas (resolução de 0,002 mm) e a definição da periodicidade das sessões de leitura e a duração da monitoragem deve ser feita em função do tipo de estrutura e do tipo de causas que estão na origem das fissuras.

A monitoragem pode, também, incluir o levantamento periódico da disposição das fissuras a fim de se detectar o surgimento de novas fissuras ou o aumento do seu desenvolvimento, bem como a utilização de outros dispositivos de medição de outros parâmetros relevantes como, por exemplo, a temperatura, desvios angulares, etc..

3. QUALIFICAÇÃO DOS AGENTES

Para se atingirem e manterem os objectivos no âmbito da Qualidade, de forma consistente e durável, a via actual, a seguir é o estabelecimento dum Sistema de Garantia da Qualidade (SGQ), de acordo com as normas ISO 9000. A sua implementação na actividade da inspecção e ensaios coloca algumas questões, que a seguir se destacam.

- Os Planos Anuais de Formação envolvem todos os colaboradores e prevêm acções internas e externas. Concretamente, as internas incidem sobre o SGQ e sobre as Técnicas de Observação e Ensaio, incluindo o período de aprendizagem teórica e prática e, posteriormente, o período de avaliação. A definição da formação interna é definida, assim, técnica a técnica e está descrita num procedimento específico.

- Todo o SGQ está suportado documentalmente através do Manual da Qualidade, Procedimentos Funcionais e Instruções Detalhadas e é divulgado através da distribuição desta documentação e em acções de formação aos colaboradores.

- O equipamento de inspecção, medição e ensaios foi previamente identificado e, técnica a técnica, foi definida a exactidão necessária para cumprir com as especificações em termos de rigor das leituras obtidas (critério de aceitação).

- O Plano da Qualidade descreve “como”, “quando”, “onde”, “o quê” e “quem”, no ciclo do serviço, tem de comprovar a conformidade das diferentes operações com os requisitos aplicáveis.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E378 - *Betões - Guia para a utilização de ligante hidráulicos*, LNEC, Maio de 1993.
- [2] Gupta, P. *et al.* - "Non-destructive evaluation of in-situ prestress in unbonded slabs" em *7th International Conference on Inspection, Appraisal, Repairs & Maintenance of Buildings & Structures*, Nottingham, Setembro de 2001, p. 375-382.
- [3] Bulletin 243 - *Strategies for testing and assessment of concrete structures*, CEB, Maio de 1998.
- [4] EN206 - *Betão. Comportamento, produção, colocação e critérios de conformidade*, IPQ.
- [5] Andrade, C. - "Corrosion rate monitoring in the laboratory and on-site" em *Inspecção e reparação de estruturas de betão armado com corrosão*, LNEC, Lisboa, Julho de 1998, p. 117-130.
- [6] Silva, A.; Reis, M. - "Metodologia de diagnóstico da ocorrência de reacções expansivas de origem interna em estrut. de betão", *REPAR2000*, LNEC, Lisboa, Junho de 2000. p. 335-343.
- [7] Catarino, J. - EN1504 - "Normalização Europeia no âmbito da reparação" em *Inspecção e reparação de estruturas de betão armado com corrosão*, LNEC, Lisboa, Julho de 1998, p. 161-175.
- [8] Costa, A.; Rodrigues, J. - "Structural health assessment of bridges by monitoring their dynamic characteristics" em *Segurança e reabilitação das pontes em Portugal*, FEUP, Porto, Julho de 2001. p. 243-260.