

## **Levantamento de anomalias para a reabilitação estrutural e funcional de edifícios de betão armado**

**José Miranda  
Dias<sup>1</sup>**

**António José  
Santos<sup>2</sup>**

**Armando dos  
Santos Pinto<sup>3</sup>**

**António  
Leça  
Coelho<sup>4</sup>**

**Luís  
Matias<sup>5</sup>**

**Teresa O.  
Santos<sup>6</sup>**

### **RESUMO**

No contexto da preservação do património edificado nacional tem-se destacado, gradualmente, o construído no século XX. Este património tem exigido intervenções de conservação e reabilitação, devido à degradação dos elementos construtivos e à necessidade de garantir níveis funcionais adequados às atuais exigências de utilização e segurança.

Esta comunicação centra a análise nos edifícios de betão armado classificados como património de interesse cultural e em edifícios que, embora não enquadrados nessa classificação, têm valor cultural, histórico ou utilidade pública. A escolha de soluções corretivas das anomalias ou limitações existentes deve ser suportada por um diagnóstico adequado das causas das reais condições dos edifícios, após a sua prévia identificação e caracterização. No contexto da escolha de soluções integradas de reabilitação, apontam-se algumas interações ou incompatibilidades existentes entre diferentes exigências funcionais na avaliação das necessidades de reabilitação estrutural e funcional de edifícios de betão armado.

**Palavras-chave:** Anomalias estruturais; Anomalias funcionais; levantamento das anomalias

### **1. INTRODUÇÃO**

No contexto da preservação do património edificado nacional tem-se destacado, gradualmente, pela importância cultural, histórica ou de utilidade pública, o construído no século XX. Este património tem exigido intervenções de conservação e reabilitação, devido à degradação dos elementos construtivos e à necessidade de garantir níveis funcionais adequados às atuais exigências de utilização e segurança.

Esta comunicação centra a análise nos edifícios de betão armado classificados como património de interesse cultural e em edifícios que, embora não enquadrados nessa classificação, têm valor cultural, histórico ou utilidade pública, são designados por “edifícios de valor patrimonial ou ”EVPba”.

As operações de renovação e reabilitação de muitos destes edifícios deverão conferir uma adequada segurança estrutural, nomeadamente face às ações sísmicas, assim como uma adequada segurança contra incêndio e, ainda, melhorar a funcionalidade dos edifícios, com destaque para as condições de utilização, o conforto global (térmico, acústico, visual e qualidade do ar), bem como a eficiência energética. Dada a diversidade, complexidade e interação das questões envolvidas, são necessárias soluções integradas que impliquem o conhecimento em diversos domínios, a fim de considerar, de forma interdisciplinar e multidisciplinar, as novas exigências pretendidas [15], [16]. A escolha de soluções

<sup>1</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Edifícios, Lisboa, Portugal. [mirandadias@lnec.pt](mailto:mirandadias@lnec.pt)

<sup>2</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Edifícios, Lisboa, Portugal. [asantos@lnec.pt](mailto:asantos@lnec.pt)

<sup>3</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Edifícios, Lisboa, Portugal. [apinto@lnec.pt](mailto:apinto@lnec.pt)

<sup>4</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Edifícios, Lisboa, Portugal. [alcoelho@lnec.pt](mailto:alcoelho@lnec.pt)

<sup>5</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Edifícios, Lisboa, Portugal. [lmurias@lnec.pt](mailto:lmurias@lnec.pt)

<sup>6</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Lisboa, Portugal. [tosantos@lnec.pt](mailto:tosantos@lnec.pt)

corretivas das anomalias ou limitações existentes deve ser suportada por um diagnóstico adequado das causas das reais condições dos edifícios, após a sua prévia identificação e caracterização.

Nesta comunicação são analisados aspetos relevantes no levantamento das anomalias ou limitações de desempenho existentes, cuja identificação e caracterização implica uma inspeção visual ao edifício, para identificar os aspetos condicionantes às exigências pretendidas e por forma a escolher as técnicas de inspeção e diagnóstico mais adequadas. No contexto da escolha de soluções integradas de reabilitação, apontam-se algumas interações ou incompatibilidades existentes entre diferentes exigências funcionais na avaliação das necessidades de reabilitação estrutural e funcional de edifícios de betão armado. A reabilitação funcional de um edifício “EVPba” é aqui considerada como a forma de intervenção destinada a conferir adequadas características de desempenho e de segurança funcional e estrutural ao edifício, ou a conceder-lhes novas aptidões funcionais, com vista a permitir novos usos ou o mesmo uso com padrões de desempenho mais elevados (ver definição de reabilitação de edifício no RJRU: Decreto-Lei n.º 306/2009 de 23 de Outubro).

Na definição das ações de conservação e de reabilitação a empreender em edifícios existentes é necessário ter em conta a significativa evolução processada, nas últimas décadas, em vários aspetos funcionais dos edifícios, fruto do progresso e da inovação, quer ao nível dos materiais e técnicas de construção, quer ao nível das suas instalações e sistemas técnicos. Essa evolução é especialmente notória e desafiante em edifícios de valor patrimonial relevante, dada a complexidade das questões envolvidas na sua reabilitação construtiva e funcional.

No final, efetua-se uma avaliação do desempenho de uma solução construtiva de paredes de alvenaria de fachada de edifícios existentes, bastante utilizada no passado recente, face aos requisitos básicos e ao que é exigido no atual enquadramento legal.

## **2. ASPETOS PRÉVIOS A CONSIDERAR SOBRE OS EDIFÍCIOS “EVPBA” EXISTENTES**

Os edifícios de valor patrimonial “EVPba” terão sido projetados no sentido de satisfazer as finalidades definidas pelos seus promotores. Com o passar do tempo, esses edifícios foram passando por várias vicissitudes, parte delas relacionadas com a alteração do tipo de utilização. Com o desenvolvimento tecnológico entretanto ocorrido pode ser possível dar resposta às novas necessidades de segurança, de conforto térmico e acústico, e de eficiência energética. Porém, as soluções mais adequadas para dar resposta a cada um desses aspetos podem não ser compatíveis entre si, pelo que a solução global tem que resultar de um compromisso entre as diferentes necessidades.

No âmbito do Censos 2011 [1], constatou-se que uma parcela considerável de edifícios do parque edificado nacional construída no século passado, que inclui elementos estruturais de betão armado, necessita de obras de conservação e de reabilitação. Nesse sentido, pretende-se analisar aspetos relevantes no levantamento das anomalias ou limitações de desempenho existentes nos edifícios “EVPba”. Nessa análise são apresentadas as principais características do comportamento a avaliar, no âmbito do levantamento do edifício, face aos diferentes requisitos básicos aplicáveis das obras e a outras exigências funcionais. Em causa estão as exigências funcionais que obrigam a que os elementos construtivos assegurem a realização das atividades e funções relevantes previstas para esses edifícios, minimizando os custos associados. Esses requisitos básicos especificam as funções essenciais, em termos de propriedades ou de comportamento, que o edifício deve assegurar, que, a par de outras exigências funcionais supletivas que poderá ser de interesse satisfazer num edifício (em particular para permitir a realização de determinadas atividades no edifício), são traduzidas em especificações técnicas incluídas nos elementos de projeto desse edifício (a construir de raiz ou no âmbito da sua reabilitação) que, se forem adequadas para o efeito, o respetivo cumprimento permite que os elementos construtivos do edifício assegurem a realização das funções relevantes e atividades previstas para esse edifício, minimizando os custos associados.

Identificando as principais características desses edifícios, poderão ser mais facilmente equacionados os aspetos relevantes para a avaliação do seu estado de conservação, quer em termos construtivos, quer em

termos funcionais. Do ponto de vista funcional, aspeto especialmente focado nesta comunicação, procura-se avaliar os desvios do nível de desempenho pretendido face ao desempenho original do edifício e também face ao quadro regulamentar atual.

Para analisar apropriadamente o desempenho funcional dos edifícios “EVPba”, importa dividi-los em grandes grupos de características similares, tendo em conta a sua relevância e as diferentes funções requeridas. Para tal recorreu-se a uma classificação baseada no Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios (SCIE), o qual estabelece, no Artigo 8º, a caracterização dos edifícios e recintos através de utilizações tipo, tendo-se optado por agrupar algumas utilizações-tipo, para melhor atender ao tipo de edifícios “EVPba” em análise (Quadro 1). Saliente-se que a normalização europeia e a regulamentação nacional aplicável, em alguns aspetos, estabelecem exigências significativamente diferenciadas a cada um desses grupos-tipo, no tocante aos requisitos básicos (no Regulamento dos Produtos da Construção (RPC) [2] estão previstos sete requisitos básicos das obras de construção – Quadro 2).

Quadro 1. – Tipo de edifícios “EVPba” em análise

Tipo de edifícios “EVPba”	
a) habitacionais	h) hoteleiros e de restauração
b) administrativos (escritórios, tribunais)	i) comerciais
c) escolares	j) gares de transporte
d) hospitalares	k) museus, galerias de arte, bibliotecas e arquivos
e) de espetáculos	l) industriais, oficinas e armazéns
f) desportivos	m) agrícolas
g) religiosos	n) multifuncionais

Quadro 2. – Requisitos básicos da construção, segundo o RPC [2]

Requisitos básicos	
RBC <sub>1</sub> - Resistência mecânica e estabilidade;	RBC <sub>2</sub> - Segurança contra incêndio;
RBC <sub>3</sub> - Higiene, saúde e ambiente;	RBC <sub>4</sub> - Segurança e acessibilidade na utilização;
RBC <sub>5</sub> - Proteção contra o ruído;	RBC <sub>6</sub> - Economia de energia e isolamento térmico;
RBC <sub>7</sub> - Utilização sustentável dos recursos naturais, em edifícios	

O conjunto de edifícios “EVPba” abrange edifícios com caráter de utilização pública e de utilização privada. Da parcela de edifícios de utilização pública, a qual interessa em especial aqui analisar, em grande parte Estado é seu ocupante; trata-se sobretudo de edifícios do tipo b), c), d), f), j) e k).

A intervenção sobre um edifício “EVPba” requer o estudo da conceção do edifício, das soluções construtivas utilizadas, e o historial do edifício relativo ao período de exploração, em particular os aspetos que se relacionam com as alterações construtivas e com os danos ocorridos no edifício.

De seguida são apresentadas as características do comportamento a avaliar no âmbito do levantamento do edifício com vista a ações de melhoria do desempenho dos edifícios (reparação/reabilitação). Essas características têm que ver com principais aspetos condicionantes do desempenho global dos referidos edifícios de “valor patrimonial”, em particular das suas paredes e elementos confinantes, relativamente aos diferentes requisitos básicos das obras de construção e a outras exigências funcionais.

### 3. PRINCIPAIS ASPETOS CONDICIONANTES E CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO NO LEVANTAMENTO DE EDIFÍCIOS “EVPBA” EXISTENTES

#### 3.1 Resistência mecânica e estabilidade (RBC<sub>1</sub>)

A avaliação da segurança estrutural dos edifícios “EVPba” e o seu eventual reforço estrutural reveste-se, em geral, de alguma complexidade dada a necessidade de preservar a sua importância cultural, histórica ou utilidade pública, podendo ser necessário adotar metodologias distintas das que são utilizadas na abordagem dos edifícios construídos de raiz. Note-se que a intervenção estrutural a realizar nestes edifícios poderá variar entre uma manutenção simples a uma reabilitação profunda.

O levantamento das condições de estabilidade e de resistência mecânica dos elementos estruturais pode ser muito difícil se não existir informação suficiente sobre a construção original ou sobre as posteriores alterações ou caso os edifícios apresentem uma estrutura irregular.

A deteção dos problemas estruturais de um edifício “EVPba” requer uma atenção especial, dado que, por vezes, uma observação visual pode indiciar que a estrutura se encontra em boas condições, havendo, porém, deficiências de segurança. Assim, além de verificar se ocorrem danos na estrutura, importa conhecer a geometria e condições fronteira da estrutura, as características mecânicas dos elementos estruturais e avaliar, se possível, as alterações das seções e das características mecânicas ocorridas desde a sua construção.

Para a avaliação da segurança estrutural dos edifícios face à ação dos sismos, a norma EN 1998-3: 2005 (Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of buildings) [7] determina, em função nível de conhecimento do edifício, os métodos de análise admissíveis e valores a adotar para os fatores de confiança. Na norma estão definidos três níveis de conhecimento: *KL1 - Conhecimento limitado*; *KL2 - Conhecimento normal*; *KL3 - Conhecimento integral*.

A Norma NP EN 1504 [8], relativa aos Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão, apresenta aspetos relevantes a considerar na solução de reparação a implementar, designadamente: avaliação do estado em que a estrutura se encontra; identificação das causas de deterioração; determinação dos objetivos a atingir com a proteção e reparação; escolha de princípios e métodos de reparação e proteção apropriados; definição dos requisitos mínimos dos materiais e sistemas; especificação do processo de manutenção que deve proceder a intervenção de reparação.

Para a avaliação de defeitos e suas causas e da capacidade da estrutura de betão desempenhar a sua função, o item 4.3 da parte 9 da norma estabelece que, no mínimo, é necessário incluir: estado visível da estrutura; ensaios para determinar o estado do betão e das armaduras; conceção original do projeto; ambiente de exposição, história da estrutura, incluindo a da exposição ambiental; condições de utilização (p. ex., cargas ou outras ações; requisitos para utilizações futuras).

O Anexo A da parte 9 da norma fornece orientação e informação de base sobre o texto normativo, definindo “os princípios para a proteção e reparação de estruturas de betão armado que tenham sofrido danos ou deteriorações, fornecendo orientações sobre a intervenção efetiva destinada a reduzir o risco de futura, significativa e não planeada deterioração” e “fornece orientações para a seleção de produtos e sistemas apropriados à utilização pretendida”.

### **3.2 Segurança contra incêndio (RBC<sub>2</sub>)**

A segurança contra incêndio dos edifícios “EVPba” foi sendo melhorada ao longo do tempo à medida que se introduzia regulamentação e normalização aplicável aos edifícios a construir. Atualmente a verificação da segurança contra incêndio dos edifícios deve ter em conta as exigências regulamentares nacionais e europeias aplicáveis; no que se refere à regulamentação nacional, a verificação da segurança em caso de incêndio do edifício deve ser feita de acordo com o Regime Jurídico de Segurança contra Incêndios em Edifícios (SCIE - Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de novembro [3], revisto pelo Decreto-Lei n.º 22/2015), e com o Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndios em Edifícios, o qual estabelece as condições técnicas gerais e específicas do SCIE (Portaria 1532/2008, de 29 de dezembro). A aplicação da referida legislação aos edifícios existentes e, com particular destaque aos edifícios “EVPba”, veio evidenciar o desajustamento entre as medidas de segurança exigidas por essa legislação e a possibilidade da sua implementação em edifícios que já existem. É importante, relativamente a esta matéria, encontrar alternativas à atual legislação de modo a encontrar soluções de projeto que sejam mais racionais e que sejam possíveis de implementar.

Nos edifícios “EVPba” sujeitos a operações de renovação, para aproximação ao nível de exigências atuais, a melhoria das condições de segurança contra incêndios envolve, em particular, a análise, face à

utilização prevista, das classificações obtidas segundo as normas europeias (normas do CEN) para: a reação ao fogo dos materiais existentes; e a resistência ao fogo dos elementos da construção existentes com função exclusiva de suporte, de suporte e compartimentação ou, somente de compartimentação.

### **3.3 Higiene, saúde e ambiente (RBC<sub>3</sub>)**

No que se refere a este requisito de higiene, saúde e ambiente, uma das características relevantes a avaliar está relacionada com o desempenho do edifício “EVPba” face ao risco de infiltração de água da chuva e de ocorrência de manchas de humidade nos paramentos interiores, de fenómenos de condensação superficial ou condensação interna, de formação de bolores e de criação de deficientes condições de ambiente interior nos edifícios. Assim, importa avaliar a estanquidade da envolvente exterior, em particular a resistência à penetração de água da chuva, bem como verificar o cumprimento da legislação europeia e nacional relativa a substâncias perigosas nos materiais constituintes dos elementos e componentes dos edifícios “EVPba”.

Note-se que a presença de humidade no interior das paredes de fachada dos edifícios “EVPba” potencia a degradação dos elementos isolantes, a corrosão de elementos metálicos existentes no seu interior e a consequente fendilhação dos elementos envolventes; no caso em que a humidade atinge os paramentos interiores das paredes de fachada, podem aparecer manchas de humidade e bolores nessas faces e haver uma degradação progressiva dos materiais, incluindo os revestimentos interiores.

### **3.4 Segurança e acessibilidade na utilização (RBC<sub>4</sub>)**

Relativamente a este requisito básico de segurança e acessibilidade na utilização, os edifícios “EVPba” devem apresentar características tais que não envolvam riscos inaceitáveis de acidentes ou danos durante a sua utilização e funcionamento, como, por exemplo, escorregamento, queda, colisão, queimadura, electrocussão e lesões provocadas por explosão e roubo. Devem ainda que ter em conta a acessibilidade e a utilização por pessoas com deficiência.

As ações devido a cargas permanentes e acidentais fixadas em paredes, em particular, as ações acidentais de choque resultantes de queda ou projeção de pessoas e objetos, ou as cargas excêntricas associadas à suspensão ou fixação de equipamento ou mobiliário em paredes, podem gerar esforços significativos, pelo que essas paredes têm que ter suficiente resistência mecânica e adequadas características de estabilidade para não colocar em risco a segurança de pessoas, ou provocar deformações excessivas dos elementos de construção com todos os inconvenientes que daí advêm. Estas características devem ser asseguradas pela definição da dimensão máxima das paredes entre elementos de travamento, de forma a limitar esbeltez da parede, isto é, minimizando a relação entre a dimensão na vertical da parede e a respetiva espessura.

### **3.5 Proteção contra o ruído (RBC<sub>5</sub>)**

A nível da regulamentação nacional, as exigências acústicas relativas aos edifícios encontram-se definidas no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [4].

No caso dos edifícios habitacionais e mistos, e unidade hoteleiras, escolares e similares, e de investigação e hospitalares e similares (artigos 5.º, 7.º e 8.º do RRAE), o isolamento a sons aéreos das paredes exteriores é caracterizado pelo índice  $D_{2m,nT,w}$  que deve satisfazer as condições indicadas no RRAE, função da classificação das zonas conforme o Regulamento Geral do Ruído (RGR) [5]. A classificação de “zona mista” ou “zona sensível” assenta na afetação das zonas a determinado tipo de usos, existentes ou previstos, e é da competência das câmaras municipais. Os valores limite dos níveis de ruído, impostos para cada uma destas zonas, encontram-se regulados nas alíneas a) e b) do n.º 1 do artigo 11.º do RGR. Convirá por último referir que, caso se esteja a recuperar ou renovar um espaço dedicado ao uso da palavra (Auditórios ou Salas), o isolamento sonoro proporcionado pelas fachadas deverá ser tal que o ruído estabelecido no interior seja menor ou igual a 30 dB(A).

No caso de edifícios “EVPba” sujeitos a operações de renovação, no sentido de aproximação ao nível de exigências atuais, e para efeitos de verificação da sua correta integração ambiental (ambiente exterior), deverá em primeiro lugar ser necessário quantificar o isolamento sonoro de fachada existente, recorrendo a metodologias de estimação apropriadas, ou à realização de ensaios acústicos, os quais deverão ser efetuados de acordo com a EN ISO 16283-3 [10], sendo o índice de isolamento sonoro aos sons de condução aérea  $D_{2m,nT,w}$ , determinado de acordo com a NP EN ISO 717-1: 2013 [9]. Só após esta verificação é que será possível quantificar e/ou propor as soluções adequadas de melhoria do isolamento sonoro. De referir que num elemento de fachada o isolamento sonoro depende, de forma ponderada, da componente opaca e da componente envidraçada, sendo esta última determinante no valor do índice  $D_{2m,nT,w}$ . O isolamento sonoro da componente envidraçada é função da área da janela, do tipo de abertura, do tipo e espessura do vidro.

Relativamente a outros aspetos que possam ser considerados relevantes, consoante o caso em análise, como sejam os associados ao isolamento sonoro a sons aéreos ( $D_{nT,w}$ ) ou a sons de percussão ( $L'_{nT,w}$ ) entre determinados espaços de utilização interior, o procedimento a seguir deverá ser idêntico ao referido para as fachadas, assentando numa verificação do existente e das necessidades daí decorrentes em termos de reforço ou melhoria do isolamento sonoro entre os espaços em questão. Não sendo, por norma, os edifícios “EVPba” vocacionados para habitação, as exigências funcionais que se relacionem com o conforto acústico, poderão não decorrer de tradução regulamentar, mas tão só assentarem em objetivos de natureza programática, em conformidade com cada caso especial em apreço. No que se refere à absorção sonora, embora seja pouco relevante a sua quantificação no caso de edifícios de habitação e mistos e unidades hoteleiras, mas se aplicável, ela pode ser relevante em situações particulares de outras funcionalidades em edifícios “EVPba”, que sejam sujeitos a operações de renovação. Analogamente ao referido para os outros parâmetros (exigências funcionais), nos processos de renovação, deve ser feita a caracterização inicial do espaço interior em termos dos seus tempos de reverberação preconizados e, em função de tal informação, providenciarem-se as soluções corretivas complementares, adequadas e necessárias para uma boa qualidade e funcionalidade do espaço fechado em causa.

### **3.6 Economia de energia e isolamento térmico (RBC<sub>6</sub>)**

Relativamente a este requisito básico de Economia de Energia e Isolamento Térmico, os edifícios “EVPba” e as suas instalações de aquecimento, arrefecimento, iluminação e ventilação devem ter características tais que a quantidade de energia necessária para a sua utilização seja baixa, tendo em conta os ocupantes e as condições climáticas do local. Os edifícios devem também ser eficientes em termos energéticos e utilizar o mínimo de energia possível durante a construção e desmontagem.

As disposições regulamentares nacionais relacionadas com desempenho térmico dos edifícios (residenciais e serviços) sujeitos a grandes intervenções na envolvente ou nos sistemas estão definidas no Decreto-Lei n.º 118/2013 [6]. Este documento define os requisitos para os referidos edifícios, bem como os parâmetros e metodologias para caracterizar o desempenho energético dos edifícios e das suas instalações técnicas, a fim de melhorar o conforto térmico dos ocupantes.

Atualmente existe ainda um regime excecional (RERU) e temporário (até 2021) aplicável à reabilitação de edifícios ou de frações, cuja construção tenha sido concluída há pelo menos 30 anos ou localizados em áreas de reabilitação urbana, sempre que se destinem a ser afetos total ou predominantemente ao uso habitacional. O RERU dispensa do cumprimento de requisitos mínimos de eficiência energética e de qualidade térmica especificada no DL 118/2013, nas situações em que existam incompatibilidades de ordem técnica, funcional ou de valor arquitetónico, desde que justificadas mediante termo de responsabilidade subscrito pelo técnico autor do projeto.

A análise do estado de conservação e do potencial de reabilitação deve incorporar na tomada de decisão o impacto dos vãos envidraçados na satisfação das exigências de conforto térmico, isolamento sonoro, qualidade do ar, conforto visual (iluminância e vista). Atualmente a regulamentação de eficiência energética de edifícios, sempre que aplicável impõe limites ao isolamento térmico dos vãos envidraçados e noutros casos podem ser aplicáveis as exigências de proteção solar e de integração no sistema de ventilação do edifício. O valor patrimonial do edifício e a necessidade de preservar aspeto e materiais

pode condicionar a adequada reabilitação das janelas. Na análise do edifício deve ser identificado o valor patrimonial do vão, a vista exterior e interior que se pode alterar e a possibilidade de alterar por exemplo: as dimensões dos vãos, composição, o tipo de folhas, o tipo de vidros, perfis, ferragens e soluções de proteção solar. A inspeção visual é uma ferramenta que, complementada com a literatura e ferramentas de cálculo, permite identificar o isolamento térmico dos vãos envidraçados, a sua permeabilidade ao ar e a proteção solar. Caso se justifique, podem ser realizados ensaios *in situ* para estimar essas características de desempenho térmico dos vãos.

Os edifícios têm de estar dotados de sistemas de ventilação natural, mista ou mecânica para assegurar a qualidade do ar interior através da renovação do ar interior e a extração localizada de poluentes. A regulamentação de eficiência energética de edifícios requer caudais mínimos de ventilação para assegurar a qualidade do ar interior, existindo normalização e regulamentação específica para alguns tipos de espaços ou de equipamentos existentes no interior dos edifícios.

Relativamente ao conforto visual, dois aspetos devem ser abordados: iluminação natural e iluminação artificial. O principal objetivo da iluminação natural em edifícios é fornecer um ambiente visual interior que garanta as condições luminosas mais adequadas para o desempenho das tarefas visuais. Os principais requisitos para iluminação em edifícios podem ser encontrados em duas normas internacionais (EN 12464-1 [14] e EN 15193 [13]) e também em [17]. Estes documentos incluem os parâmetros mais relevantes e respetivos valores-objetivos (target values) e metodologias para garantir condições de conforto visual adequado para seus ocupantes, mantendo bons níveis de eficiência energética.

### **3.7 Utilização sustentável dos recursos naturais (RBC<sub>7</sub>)**

A deterioração ao longo do tempo de vida útil dos materiais e componentes, provocada pelos agentes físicos, biológicos e químicos, por vezes afeta significativamente o desempenho da construção, designadamente no que se refere à satisfação destes requisitos básicos nos edifícios EVPba.

No âmbito do levantamento das condições existentes interessa avaliar aspetos relacionados com a proteção contra a corrosão em perfis e armaduras de aço integradas no betão; a aplicação de revestimentos de proteção das paredes da fachada.

### **3.8 Avaliação global do edifício “EVPba” com base nos resultados do levantamento**

Tendo sido apresentadas as características do comportamento a avaliar no âmbito do levantamento de edifícios “EVPba” e identificados os principais aspetos condicionantes ao desempenho global face aos diferentes requisitos básicos das obras e a outras exigências funcionais aplicáveis, apresenta-se, seguidamente, uma metodologia de avaliação global do edifício com base nos resultados do levantamento realizado. A metodologia baseia-se na quantificação da redução no desempenho inicial dos edifícios “EVPba” [18]. A redução do desempenho ocorre de forma distinta, sendo, em geral, mais acentuada com o aumento da idade dos edifícios, embora dependente do tipo e da periodicidade das ações de manutenção e conservação a que foram sujeitos durante o período de exploração. Nalguns casos de redução do desempenho dos elementos estruturais, pode pôr em causa a segurança estrutural dos edifícios “EVPba”, condicionando a viabilidade da sua utilização.

Na metodologia de avaliação global de um edifício “EVPba” com base nos resultados do levantamento que aqui se propõe, definem-se índices que globalmente traduzam o peso relativo que as diferentes situações de deficiência de comportamento apresentam, considera-se que apenas os elementos primários e secundários do edifício (excluem-se as instalações), são de forma direta ou indireta responsáveis pela redução de desempenho do edifício associados ao incumprimento de um ou mais requisitos básicos das obras de construção. Trata-se de situações em que as obras de construção, no seu todo e nas partes separadas de que se compõem, não se encontram aptas para o uso a que se destinam, tendo em conta, nomeadamente, a saúde e a segurança das pessoas nelas envolvidas durante todo o ciclo de vida da obra; ou seja, os edifícios não satisfazem, em condições normais de manutenção, os requisitos básicos durante um período de vida útil economicamente razoável. Nessas condições, propõe-se uma metodologia de

classificação do grau de gravidade de uma situação de deficiência em edifício “EVPba”, em que não é satisfeito um ou mais requisitos básicos (ver Quadro 3), havendo redução do desempenho respetivo, sendo esse grau de gravidade ( $gRBC_i$ ) relativo ao requisito básico  $RBC_i$  ( $i$  de 1 a 7) estabelecido da seguinte forma:

$$gRBC_i = \left[ \sum_{k=1}^5 G_i \cdot \alpha_i \right] / \left[ \sum_{k=1}^5 G_i \right] \quad (1)$$

Sendo:  $\alpha_i$  fatores de ponderação para ter em conta a extensão da intervenção necessária, sugerindo-se um possível conjunto de valores com base em estudo de casos, em que  $gRBC_i$  poderá ter valores entre 0,05 e 0,5, os quais poderão ser modificados em função do tipo construtivo do edifício “EVPba”:

$$\alpha_1=0,05; \quad \alpha_2=0,10; \quad \alpha_3=0,15; \quad \alpha_4=0,20; \quad \alpha_5=0,50$$

E sendo:  $G_i$  o número de elementos primários e secundários ou componentes do edifício, considerados significativos em termos funcionais, que contribuem para o incumprimento do requisito básico  $RBC_i$ , e que deverão ser intervencionados (intervenção que poderá variar entre a reparação e a demolição/reconstrução):

$G_1$  - Reparação ligeira;                       $G_2$  - Reparação média;                       $G_3$  - Grande reparação;

$G_4$  - Renovação ou reabilitação;       $G_5$  - Demolição e reconstrução

Exemplo para  $RBC_1$ : para  $G_1=2$ ;  $G_2=3$   $G_3=2$ ;  $G_4=5$ ;  $G_5=3 \rightarrow gRBC_1 = 3,20/15=0,21$

Passando para a escala geral do edifício, o grau de gravidade global do edifício seria definido por:

$$gRBC = \left[ \sum_{k=1}^7 \beta_i \cdot gRBC_i \right] \quad (2)$$

Sendo:  $\beta_i$  fatores de ponderação para ter em conta o impacto negativo, sobre a durabilidade e vida útil da construção, do incumprimento do requisito básico  $RBC_i$ , sugerindo-se um possível conjunto de valores com base em estudo de casos, os quais poderão ser modificados em função, por exemplo, do local geográfico de implantação e do tipo específico de utilização do edifício:

$\beta_1=0,25$  - Resistência mecânica e estabilidade ( $RBC_1$ );

$\beta_2=0,20$  - Segurança contra incêndio ( $RBC_2$ );

$\beta_3=0,10$  - Higiene, saúde e ambiente ( $RBC_3$ );

$\beta_4=0,15$  - Segurança na utilização e acessibilidade ( $RBC_4$ );

$\beta_5=0,10$  - Proteção contra o ruído ( $RBC_5$ );

$\beta_6=0,10$  - Economia de energia e isolamento térmico ( $RBC_6$ ).

$\beta_7=0,10$  - Utilização sustentável dos recursos naturais ( $RBC_7$ )

A gravidade global do edifício  $gRBC$  poderá ter valores entre 0,05 e 0,5; convencionalmente, pode-se considerar a situação de deficiência no edifício como de gravidade ligeira, média e elevada, respetivamente, para os valores de  $gRBC$  entre 0,05-0,15; 0,15-0,40; e 0,4-0,5.

Quadro 3. – Requisitos básicos das obras de construção ( $RBC_i$ ) – Exemplos de possíveis situações de incumprimento do requisito básico  $RBC_1$  em edifícios “EVPba”

Requisito Básico	Descrição de possíveis situações de incumprimento dos requisitos básicos
Resistência mecânica e estabilidade ( $RBC_1$ )	As obras de construção foram deficientemente concebidas e/ou construídas de modo a que as ações a que ficaram sujeitas durante a construção e a utilização causaram: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desabamento total ou parcial da obra;</li> <li>• Deformações importantes que atingiram um grau inadmissível;</li> <li>• Danos em outras partes da obra de construção ou das instalações ou do equipamento instalado como resultado de deformações importantes das estruturas de suporte de carga;</li> <li>• Danos desproporcionados relativamente ao facto que lhes deu origem.</li> </ul>

## **4. INTERAÇÕES OU INCOMPATIBILIDADES ENTRE EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS NA AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES DE REABILITAÇÃO ESTRUTURAL E FUNCIONAL DE EDIFÍCIOS “EVPBA”**

### **4.1 Generalidades**

No contexto da escolha de soluções integradas de reabilitação estrutural e funcional, apontam-se algumas interações ou incompatibilidades entre diferentes exigências de edifícios de betão armado. Para o efeito, relativamente a soluções funcionais concretas dos edifícios “EVPba”, exemplifica-se no ponto seguinte uma situação de avaliação do desempenho de uma solução construtiva de paredes de alvenaria



de fachada de edifícios existentes face a alguns requisitos básicos (RBC<sub>5</sub> e RBC<sub>6</sub>) e ao seu atual enquadramento legal (Quadro 4).

Quadro 4. Avaliação do desempenho de uma solução construtiva de paredes duplas de fachada, com ou sem isolamento térmico, com os dois panos de tijolo furado - caso de edifício administrativo (tipo II) com estrutura reticulada de betão armado

FACHADA		RBC <sub>6</sub> – Economia de Energia e Isolamento Térmico			RBC <sub>5</sub> - Proteção Contra o Ruído
		Coeficiente Transmissão térmica, U		Avaliação / Observações	Isolamento sonoro a sons de condução aérea
Solução de parede	ELEMENTO	U <sub>cor</sub>	U <sub>ptp</sub>	U <sub>w</sub>	<p><b>Portaria n.º 379-A/2015</b> (U<sub>cor</sub> &lt; 0,5 W/m.ºC; I1 e 0,35 W/m.ºC; I3) (U<sub>ptp</sub> &lt; 0,9 W/m.ºC e U<sub>ptp</sub> &lt; 2 x U<sub>cor</sub>)</p> <p><b>Nota:</b> O isolamento sonoro a sons de condução aérea de uma fachada é regulado atualmente pelo Decreto-Lei n.º 96/2008, de 9 de junho, com base no parâmetro D<sub>2m,nT,w</sub>, o qual contempla o desempenho acústico ponderado da parta opaca, conforme o anteriormente exposto, e da parte envidraçada (janelas e portas), assim como eventuais aberturas de ventilação, a definir consoante cada caso específico.</p>
Parede dupla de tijolo (11 + 11)	Isolante térmico (40 mm EPS)	Sem	1,1		<p><b>Não cumpre</b> os requisitos térmicos mínimos para a envolvente (U<sub>max</sub> = 0,5 W/m.ºC; I1 e 0,35 W/m.ºC; I3) (<b>88 mm de EPS</b>)</p> <p><b>Não cumpre</b> os requisitos térmicos mínimos para a envolvente (U<sub>max</sub> = 2,8 W/m.ºC; I1 e 2,2 W/m.ºC; I3) (<b>Janela dupla, vidro simples / caixilho PVC</b>)</p>
		Preenchimento total	0,57	1,9	
		Preenchimento parcial	0,52		
	Vão envidraçado	Caixilho met. c/ vidro simples			
Caixilho met. c/ vidro duplo				3,5	
Parede dupla de tijolo (15 + 15)	Isolante térmico (40 mm EPS)	Sem	0,86		<p><b>Não cumpre</b> os requisitos térmicos mínimos para a envolvente (U<sub>max</sub> = 0,5 W/m.ºC; I1 e 0,35 W/m.ºC; I3)</p> <p><b>Cumpre</b> os requisitos térmicos mínimos para a envolvente <b>apenas na zona II</b>. <b>Não cumpre</b> (U<sub>ptp</sub> &gt; 0,9)</p>
		Preenchimento total	0,50	1,6	
		Preenchimento parcial	0,46		
	Vão envidraçado	Caixilho met. c/ vidro simples			
Caixilho met. c/ vidro duplo				3,5	

#### 4.2 Avaliação do levantamento de um edifício - uma solução concreta das paredes da envolvente

Admite-se a situação hipotética do levantamento de um edifício com estrutura de betão armado, que deverá ser estruturalmente reforçada, e paredes de preenchimento com base numa solução comum de "Paredes duplas de fachada com ou sem isolamento térmico", com os dois panos de tijolo furado (solução prevista na ITE 50 - "Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios" de 2009: pano duplo de tijolo furado (0,11 + 0,11; 0,11 + 0,15; 0,15 + 0,15)). As paredes de fachada incluem vãos envidraçados que deverão ser reparados, com vista à melhoria da sua estanquidade ao ar e à água da chuva, bem como das condições de iluminação natural. Na avaliação do respetivo desempenho, contemplou-se em particular as exigências relativas ao isolamento térmico e ao isolamento acústico. Assim a solução construtiva refere-se a edifícios de tipo administrativo (tipo II) com estrutura reticulada de betão armado e fachada de parede dupla de alvenaria de tijolo.

#### 5. CONCLUSÕES

Nesta comunicação foram analisados aspetos relevantes no levantamento das anomalias ou limitações de desempenho existentes em edifícios de betão armado classificados como património de interesse cultural e em edifícios que, embora não enquadrados nessa classificação, têm valor cultural, histórico ou utilidade pública, designados por "EVPba". A sua identificação e caracterização implica inicialmente uma inspeção visual ao edifício, para identificar os aspetos condicionantes às exigências pretendidas e por forma a escolher as técnicas de inspeção e diagnósticas mais adequadas. Abordaram-se questões gerais sobre o desempenho de soluções construtivas de paredes de alvenaria de fachada de edifícios

“EVPba” existentes, considerando a inter-relação entre os diferentes requisitos básicos. Apresentou-se uma metodologia de avaliação global do edifício. No final efetuou-se uma avaliação parcial do desempenho de uma solução construtiva de paredes de alvenaria de fachada de edifícios existentes, face aos requisitos básicos e ao que é exigido no atual enquadramento legal.

### AGRADECIMENTOS

Esta comunicação foi elaborada no âmbito do projeto de investigação P2I “COREAP” – Vida útil, conservação e reabilitação de paredes de edifícios de valor patrimonial” o qual está integrado no Plano de Investigação e Inovação 2013-2020 (P2I 2013-2020) do LNEC. Agradece-se a colaboração na revisão desta comunicação do Investigador Principal c/ Habilitação do LNEC Jorge Viçoso Patrício.

### REFERÊNCIAS

- [1] INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (2013). O Parque habitacional e a sua reabilitação - análise e evolução 2001-2011. Lisboa.
- [2] Regulamento dos Produtos de Construção (2011). Regulamento (UE) n.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho de 9 de Março de 2011. PT 4.4.2011 Jornal Oficial da União Europeia L 88/33.
- [3] IPI - Leis, decretos, etc. – Regime jurídico da segurança contra incêndios em edifícios (SCIE). Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro. Lisboa, INCM, 2008.
- [4] IPI - Leis e Decretos, etc. - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). Decreto-Lei n.º 129/2002, de 11 de Maio, alterado pelo Decreto-Lei n.º 96/2008, de 9 Junho. Lisboa, INCM, 2008.
- [5] IPI - Leis e Decretos, etc. Regulamento Geral do Ruído (RGR). Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de janeiro. Lisboa, INCM, 2008.
- [6] IPI - Leis e Decretos, etc. - Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto. Lisboa, INCM, 2013.
- [7] EN 1998-3 (2005). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of buildings. Brussels: CEN
- [8] NP EN 1504-9:2009, Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão - Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 9: Princípios gerais para a utilização de produtos e sistemas. Lisboa: IPQ.
- [9] NP EN ISO 717-1: 2013 - Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Determinação do índice de isolamento sonoro a sons aéreos. Lisboa: IPQ.
- [10] EN ISO 16283-3:2017 - Acústica Medição *in situ* do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 3: Isolamento sonoro de fachadas. Lisboa: IPQ.
- [11] CEN (2005). Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria (ISO 7730:2005). EN ISO 7730:2005.
- [12] CEN (2007). Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings-addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. EN 15251:2007.
- [13] CEN (2005). Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting: Lighting energy estimation. Brussels: CEN, 2005. EN 15193:2005.
- [14] CEN (2011). Light and lighting - lighting of work places - Part 1: indoor work places. Brussels: CEN, 2011. EN 12464-1:2011.
- [15] António Santos, Armando Pinto, Jorge Patrício, Jorge Saraiva, Leça Coelho, Miranda Dias, Pina dos Santos (2010). Definição de metodologias gerais para a reabilitação funcional de edifícios recentes. Cadernos Edifícios nº 5 (CAD5), Lisboa, LNEC.
- [16] José Miranda Dias, António José Santos, Armando dos Santos Pinto, Luís Manuel Matias, Teresa O. Santos (2017). Functional rehabilitation of heritage buildings based on reinforced concrete structural elements. Cultural/historic values and public utility to consider. Intangibility Matters: International Conference on the values of tangible heritage, Lisboa, LNEC.
- [17] Santos, A. J. (2014). A iluminação natural nos edifícios. Uma perspetiva no âmbito do conforto ambiental e da eficiência energética". ICT. Lisboa: LNEC, ITE 57
- [18] José Miranda Dias (2007). Edifícios com base em estrutura reticulada metálica. Comunicação ao VI Congresso de Construção Metálica e Mista, Porto.