

Seminário Euro-Mediterrânico
Forum UNESCO – Universidade Lusíada
Lisboa, 20, 21, 22 de Junho, 2002

Tema: B. Ciência

Título: Reabilitação e Reforço de Estruturas Património Nacional;
Experiência da FEUP

João Guedes, Aníbal Costa, António Arêde, Esmeralda Paupério

DECivil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
R. Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto

RESUMO

Intervir numa estrutura implica a realização de uma análise prévia do estado do edifício que permita a detecção de elementos a reforçar ou substituir e, conseqüentemente, a apresentação de propostas de reforço ou reparação, finalizadas na forma de relatórios descritivos e justificativos das medidas a adoptar.

Toda esta análise deve ser sistematizada através da imposição de um conjunto de procedimentos que permitam a realização de inspecções detalhadas da estrutura, idealmente organizados sob a forma de um guião, que possibilite o diagnóstico do seu real estado e, quando necessário, sustente o conjunto de medidas de reforço a adoptar. A Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) tem actuado sobre um número significativo de estruturas património nacional, nomeadamente através de um Protocolo de Colaboração com a Direcção Geral de Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN) para o estabelecimento de “*Metodologias de Análise e Critérios de Segurança a Adoptar na Conservação, Reabilitação e Reforço de Monumentos*”. Fazendo uso desta experiência, este trabalho pretende descrever procedimentos gerais de actuação e descrever de modo sumário alguns casos práticos de intervenção de reabilitação e reforço que resultaram dessa acção.

1 INTRODUÇÃO

O Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto tem desenvolvido nos últimos anos uma actividade regular de reabilitação e reforço de estruturas, quer por interesse próprio, quer por interesse e solicitação de várias entidades gestoras de Património Nacional: Câmaras Municipais, Ordens religiosas, Fundações e outras entidades públicas, tais com a DGEMN, e privadas. Estas solicitações têm-se reflectido num vasto campo de intervenção em edifícios de diferentes características estruturais, donde se realçam pontes, muralhas, torres, igrejas, mosteiros, palácios e casas senhoriais.

A diversidade e o estudo das diversas intervenções em que se tem envolvido tem permitido ao Núcleo de Conservação e Reabilitação de Edifícios e Património (NCREP) adquirir experiência e conhecimento na área da reabilitação e reforço de estruturas. Esse estudo encontra-se sistematizado numa metodologia desenvolvida e aperfeiçoada como resultado da experiência adquirida ao longo dos anos e que tem permitido sustentar e apoiar devidamente as soluções de intervenção desenvolvidas nas diversas obras.

2 ASPECTOS GERAIS

A intervenção ao nível da reabilitação e reforço estrutural tem por objectivo último a estabilização da estrutura de modo a preservá-la intacta salvaguardando quer o seu espólio arquitectónico e estrutural, quer o seu espólio iconográfico e/ou decorativo.

A intervenção em estruturas de valor patrimonial reconhecido envolve preocupações que noutra tipo de estruturas poderá assumir um papel secundário; o respeito pelos materiais e elementos existentes deve ser uma constante, permitindo que a estrutura reabilitada/reforçada mantenha o seu «carácter». No entanto, estas preocupações não são de todo objectivas e o seu peso depende do tipo de intervenção, quantas vezes resultado do próprio estado da estrutura e ou das alterações preconizadas pelo dono de obra. Intervir num edifício antigo é uma tarefa difícil, sujeita a diferentes abordagens e opiniões críticas que, no entanto, não devem ser por si só castradoras dessas intervenções. Note-se que a intervenção é um processo criador de aprendizagem constante resultado da própria experiência.

Desta última frase ressaltam dois aspectos importantes que não podemos deixar de referir. Em primeiro lugar a necessidade de acompanhar as estruturas para além da implementação das soluções; se intervir resulta de um processo de aprendizagem, então retiremos da sua acção lições para futuras intervenções. Aliás, as estruturas são o nosso melhor campo de ensaio. Em segundo lugar, devem procurar-se soluções reversíveis de modo a permitir no futuro, e sempre que se encontrem soluções mais eficientes, a sua substituição com danos mínimos para a estrutura.

Por outro lado, intervir numa estrutura construída exige um conhecimento adequado da história do objecto da intervenção, elemento que lhe confere um carácter único que deverá ser respeitado. As intervenções devem por isso ser acompanhadas de um levantamento histórico que permita datar a estrutura, compreender a sua trajectória, as alterações e outras intervenções sofridas no tempo, de modo a, inclusivamente, melhor compreender o seu estado actual. Esse levantamento inclui visitas ao local, conversas com os proprietários e ou pessoas ligadas ao objecto de intervenção, recolha de elementos históricos escritos ou fotográficos, consultoria a especialistas.

3 METODOLOGIA DE ABORDAGEM

O grau de intervenção estrutural, quando solicitada, depende não só do estado da estrutura mas também do interesse do dono de obra e das alterações que pretenda efectuar na sua estrutura ou divisão de espaços. No caso dos edifícios verifica-se frequentemente em operações ditas de reabilitação, a manutenção apenas das fachadas exteriores acompanhada pela esventramento completo e arbitrário do seu interior, como se reabilitar significasse apenas respeitar uma fachada. Não vamos no entanto referir esse «tipo de intervenção».

A intervenção numa estrutura apela a um conjunto de procedimentos que permite verificar o estado da estrutura nas suas várias componentes de modo a proceder ao seu correcto reconhecimento e análise. Esse reconhecimento não se restringe ao estado da estrutura mas, como já foi referido, envolve ainda o seu enquadramento histórico, já que a estrutura não se poderá dissociar da época e das sucessivas intervenções a que esteve sujeita. Esse levantamento histórico permite explicar o desaparecimento de determinados elementos ou estruturas co-laterais, a ocorrência de danos resultantes de acções perfeitamente definidas no tempo, a existência de elementos estruturais de épocas diferentes resultantes de intervenções passadas e que nalgumas situações foram geradoras das patologias hoje observadas. Por exemplo, a substituição de elementos estruturais em madeira por elementos mais pesados em betão armado, política largamente seguida em projectos de reabilitação e reforço de estruturas, quando aplicada de modo arbitrário foi/é nalguns casos potenciadora de danos estruturais importantes. Um segundo exemplo refere-

se à alteração das condições do terreno envolvente que, quer por alteração das suas condições de compactação, quer por alteração das suas condições de permeabilidade, modifica as condições de equilíbrio da estrutura pela alteração das características do terreno de fundação.

Passando agora para a análise puramente estrutural, decrete-se em seguida a sequência de procedimentos a adoptar num caso concreto de intervenção. Em primeiro lugar é fundamental uma visita ao local para um reconhecimento do estado do objecto de intervenção e da sua envolvente. Nessa(s) visita(s) procura-se contactar as pessoas que habitam ou melhor conhecem o local de intervenção de modo a recolher informação sobre a evolução recente da estrutura até à situação actual, de acontecimentos importantes que possam ter marcado ou despolotado essa evolução e das medidas interventivas até aí adoptadas. Durante a visita é recolhido o maior número de informação possível, em especial através de registos fotográficos dos danos e do seu enquadramento e mesmo de outros elementos que não estando directamente ligados às patologias observadas poderão ter interesse em estudos futuros. A compilação de toda a informação relativa aos danos observados, assim como aos materiais e ao seu estado geral, irá figurar num documento intitulado Relatório de Inspeção. Na maioria dos casos encontra-se sistematizada em Mapas de Danos aonde para além do registo dos danos observados se apresentam causas possíveis e medidas de prevenção e de reparação a adoptar, tal como se refere no ponto 4.

Este levantamento prévio permite concluir, em primeira análise, sobre a urgência ou não de uma intervenção rápida. No caso da existência de danos graves que envolvam de algum modo o perigo de colapso, propõe-se o escoramento da estrutura como forma de obviar qualquer movimento anormal do edifício que possa por em risco bens e pessoas. Por outro lado, este levantamento permite detectar a existência de materiais/elementos a substituir ou, quando possível, a reabilitar permitindo a sua reposição na situação normal.

Realizada esta primeira etapa, com os elementos disponíveis estudam-se os meios de prevenção ou reparação dos danos. Esta fase pode ter que ser acompanhada pela colocação de equipamento de controlo que permita aferir das condições actuais da estrutura: se os danos se apresentam estáveis ou se pelo contrário se apresentam activos progredindo no tempo. Uma solução de reforço estrutural para ser efectiva terá que ter em conta o estado de actividade do dano, já que um dano activo exige antes de mais um estudo sobre a sua ocorrência e o modo de interromper a sua progressão, estabilizando-o. Em caso extremo, poderá mesmo ser necessário a realização de ensaios "in situ" e ou em laboratório sobre carotes/amostras de material que permitam aferir do real estado dos elementos estruturais.

Nesta fase e sempre que se julgue necessário, as soluções de reparação/reforço estrutural são testadas e analisadas através de testes em laboratório e ou de simulações numéricas em computador antes de serem implementadas. Embora dispendiosos, existem diversos exemplos de ensaios em laboratório, estando o grupo da FEUP neste momento a preparar o teste de um arco da Igreja do Terceiros em Braga, construído à escala 1:2 (ver Figura 1:). No entanto, são as simulações numéricas, depois de devidamente calibradas com resultados experimentais, as mais utilizadas. Este tipo de simulação permite estudar o funcionamento das estruturas primeiro no seu estado natural, verificando o seu funcionamento, e depois com a solução de reforço implementada, aferindo da sua eficácia. Apresentam-se dois exemplos de estruturas analisadas através de modelos numéricos: a ponte da Lagoncinha em Lousado, Famalicão [1], e a fachada da Igreja das Bandeiras na ilha do Pico, Açores [2]. No primeiro caso, Figura 3:, apresenta-se a indicação das fissuras existentes nas paredes de alvenaria exteriores do edifício sobrepostas à distribuição de tensões na estrutura como forma de aferir o comportamento do modelo. No segundo caso, Figura 2:, apresentam-se os principais modos de vibração da ponte, elementos que serviram para a identificação das suas propriedades materiais.



Figura 1: Modelo à escala 1:2 de um elemento estrutural em arco da Igreja dos Terceiros.

Se necessário, é então realizado o projecto de reabilitação e ou reforço da estrutura, devidamente acompanhado por um relatório descritivo, ilustrativo e justificativo da solução e do processo construtivo a adoptar. A melhor solução considera-se ser aquela que sendo eficaz seja a menos interventiva ou melhor respeite o valor e interesse da estrutura, i.e. o seu peso patrimonial e histórico. Sendo estes factores subjectivos, existirão porventura opiniões que farão valer soluções antagónicas. Por esse motivo, as soluções encontradas deverão ser devidamente justificadas. O acompanhamento da obra é fundamental, de modo a garantir uma execução correcta das soluções preconizadas. É também fundamental o acompanhamento das soluções implementadas muito para além da conclusão da obra de modo a julgar da sua eficácia a longo prazo, permitindo, quando necessário, corrigir ou melhorar as técnicas adoptadas para aplicação em situações futuras de carácter idêntico. De facto, as estruturas são o melhor campo de ensaio científico.

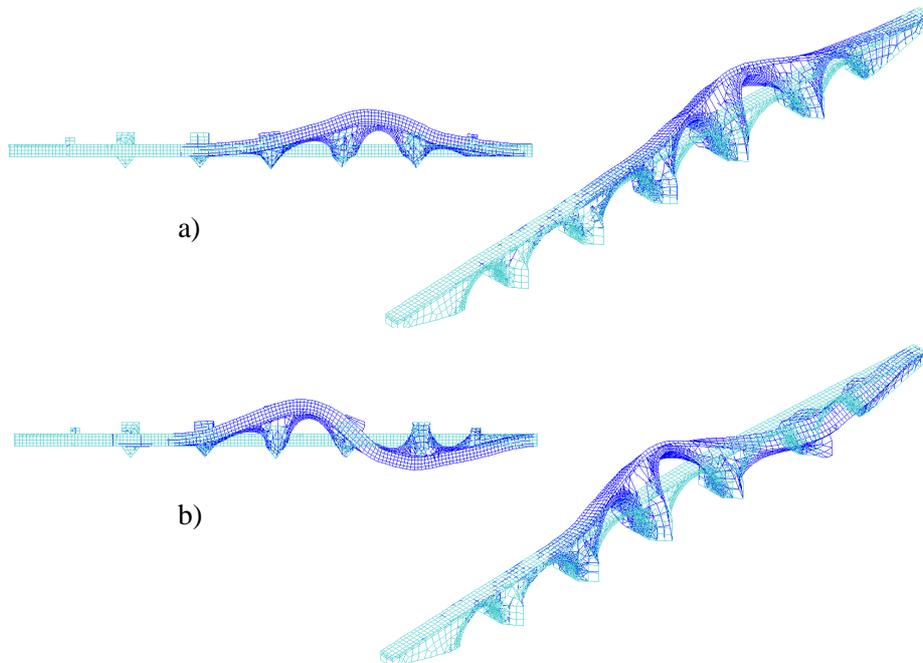


Figura 2: Modos de vibração calculados com base num modelo numérico: a) 1º modo de vibração transversal ($f=3.941\text{Hz}$), b) 2º modo de vibração transversal ($f=4.696$).

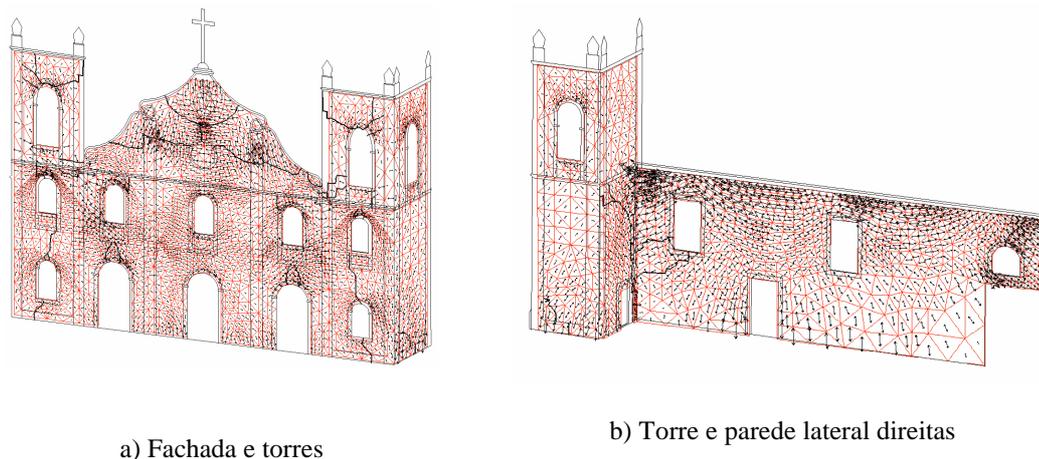


Figura 3: Tensões principais de tracção e padrão de fendilhação observado.

4 MAPAS DE DANOS

Um Mapa de Danos de uma estrutura corresponde a um documento de registo sistematizado da informação técnica relativa aos danos observados, às causas e às medidas de prevenção e reparação preconizadas. O levantamento fotográfico da estrutura a par com o levantamento histórico, são elementos importantes no estudo das construções e na elaboração destes mapas que são peças fundamentais do Relatório de Inspeção de uma estrutura.

A sua elaboração passa antes de mais pela localização dos danos em fotografias, plantas e alçados. Dependendo do tipo de estrutura ou de zonas localizadas da estrutura aonde se verificam possíveis anomalias estruturais, são definidos diferentes elementos estruturais designados pela letra E associada a um índice $i = 1, 2, \dots, n$. Em contrapartida, os danos são designados pela letra D, estando associados a um índice $j = 1, 2, \dots, n$. Embora se proceda também à identificação de danos não estruturais, como são os de origem química, física e biológica e que de alguma forma afectem a estrutura, sempre que se afigure necessário estudá-los em detalhe, esse estudo é encaminhado para entidades com competência nessas áreas.

Para cada dano é então elaborada uma ficha onde se regista o tipo de dano e os elementos estruturais por ele afectados. Faz-se ainda uma descrição sumária do tipo de dano, das suas causas sugerindo-se procedimentos de prevenção e de reparação para o tipo de dano a tratar. Em casos especiais em que as medidas de prevenção e reparação não possam ser tratadas isoladamente dano a dano por exigirem uma acção conjunta, remetem-se os procedimentos de reparação ou consolidação estrutural para capítulo próprio do Relatório de Inspeção. Apresenta-se na Figura 4: como exemplo uma ficha tipo de um Mapa de Danos elaborado para a estrutura da ponte medieval de Ázere em Arcos de Valdevez [3], com um tabuleiro horizontal com cerca de 4,20m de largura sobre dois arcos de volta perfeita. O Dano descrito correspondeu ao colapso do contraforte central da ponte.

Nos pontos seguintes encontram-se sistematizados os factores de dano estrutural e os danos mais vulgarmente encontrados nas estruturas e que lhe correspondem.

MAPA DE DANOS		TIPO:	D1
TIPO DE DANO: Ruína			
Localização dos danos:		Elementos Estruturais:	
 <p>Vista de montante- Esquemática dos elementos</p>		E2 E3 E4 E6	
Descrição:		Registo fotográfico:	
<p>A ponte encontra-se em risco de ruína, resultado do desmoronamento a montante do contraforte central sobre o seu lado direito que arrastou consigo parte do arranque do arco norte (E4) e parte do tabuleiro da ponte (E6) sobre o contraforte.</p>		 <p>Fig. 1 – Ruína parcial do tabuleiro.</p>	
Causas:		 <p>Fig. 6 – Ruína parcial a montante do contraforte.</p>	
<p>Sabe-se que, em Setembro de 1999, uma enxurrada violenta provocou a destruição parcial do contraforte e, conseqüentemente, de parte das aduelas dos arcos e do tabuleiro. Este tipo de construção baseia-se num aparelho de granito talhado (<i>opus quadratum</i>) que, além da sua função estrutural (no arco, essencialmente) materializa também uma cofragem perdida cheia de um aglomerado (<i>opus caementicium</i>) constituído por pedra miúda e argamassa. Poder-se-á considerar que este interior tem a dupla função de enchimento e de elemento estrutural, transmitindo as cargas do pavimento para os arcos e contrafortes. A infiltração das águas ao longo do tempo deverá ter provocado a lavagem daquele aglomerado, aumentando o índice de vazios com a conseqüente redução das suas características resistentes.</p> <p>A falta de argamassa nas juntas do silhar de granito foi também responsável pelo arrastamento deste primeiro elemento na enxurrada que ao desmoronar-se deixou a estrutura, já de si débil, à mercê das águas.</p>		 <p>Fig. 7 – Pormenor do contraforte.</p>	
Prevenção:		 <p>Fig. 8 – Arco norte parcialmente destruído.</p>	
Reparação:			

Figura 4: Ficha tipo de um Mapa de Danos.

4.1 Factores de Dano Estrutural

Em termos estruturais, os factores de dano mais importantes que ocorrem nas estruturas e com os quais o grupo de trabalho se tem vindo a defrontar, tipificam-se nos seguintes pontos:

- 1) Degradação dos materiais. Esta degradação pode ser natural, provocada pelas condições normais de utilização e pelas acções atmosféricas: vento, chuva, humidade, calor, frio, ou pode ser forçada por agentes externos às condições anteriores ditas naturais, como por exemplo a aplicação de rebocos de cimento sobre paredes de pedra que por cristalização dos sais que migram do reboco aceleram a degradação do suporte de pedra;
- 2) Acção da água. Esta acção pode ser directa resultante da acção da chuva sobre as fachadas e a cobertura, da fuga de água através de canalizações rotas ou em mau estado, ou pode ainda ser indirecta através da subida da água do terreno por capilaridade nas paredes, por exemplo;
- 3) Cedência do terreno de fundação ou das fundações. A alteração das condições do terreno de fundação da estrutura ou da sua envolvente pode provocar movimentos nas estruturas que as obrigue a modificar as condições de equilíbrio provocando roturas nos painéis de alvenaria. Enquadra-se também neste ponto a lavagem do leito dos rios com a correspondente modificação das condições de apoio das fundações dos pilares/arcs das pontes;
- 4) Actividade biológica. Esta acção corresponde, fundamentalmente, ao desenvolvimento de vegetação nas juntas das paredes exteriores de alvenaria e de fungos na superfície das pedras expostas a condições agrestes de temperatura e humidade, e ainda à deposição de excrementos, substância altamente «corrosiva» para o material pedra;
- 5) Alteração das características estruturais e funcionais das estruturas. Entende-se neste ponto, por um lado a alteração da forma interna/externa das estruturas, muitas vezes efectuada de modo arbitrário e pouco cuidado, e por outro o tipo de ocupação, por outras palavras, ao valor das sobrecargas actuantes sobre a estrutura. Também neste ponto se pode referir como exemplo a estrutura das pontes que ao longo do tempo têm vindo a ser sobrecarregadas com acções para as quais não foram concebidas;
- 6) Acções de carácter especial. Neste ponto incluem-se os acontecimentos naturais mas de carácter de ocorrência excepcional, tais como: sismos, tornados, inundações, etc. Note-se que este factor pode ainda ser potenciador do factor **3**).

4.2 Danos Estruturais mais Frequentes

Referidos os factores de dano, interessa agora descrever os danos estruturais mais frequentes associados a esses factores. Para isso, foram tipificados nos seguintes pontos:

- Abertura de fissuras em paredes de alvenaria de pedra. Estas fissuras apresentam padrões de distribuição que em geral acompanham as juntas das paredes, fracturando pontualmente alguns elementos de pedra. Frequentemente ocorre a fractura de elementos com funções particulares; tal é o caso das vigas padieiras de portas e janelas que, pela história de acções e de degradação material a que estiveram sujeitas, apresentam fracturas extensas ou mesmo rotura total que não se reflecte da mesma maneira em elementos

superiores. Note-se que qualquer um dos factores anteriores é potenciador deste tipo de dano;

- Destacamento de grandes elementos estruturais em relação ao volume remanescente da estrutura. Neste tipo de dano encontram-se os movimentos observados nos cunhais e nas fachadas das estruturas que tendem a destacar-se apresentando grandes aberturas de fendas ao longo de grandes extensões. Inclui-se também neste ponto a abertura das paredes de alvenaria em altura resultado do não travamento das paredes de alvenaria quer ao nível da cobertura, quer ao nível dos pisos ou do aumento de carga não previsto. Refere-se também o caso de elementos que apresentando características de rigidez diferente não se encontram ligados, destacando-se; tal é o caso do movimento observado das torres em relação ao restante corpo do edifício e com o qual confinam. Este tipo de dano associa-se, principalmente, aos factores **3) e 5) e**, por associação, ao factor **6)**.
- Rotura de elementos portantes. A formação de rótulas em elementos em arco é elucidativa deste tipo de dano. Nestes elementos a formação das rótulas acontece na zona de fecho e/ou junto à zona de transição entre os elementos verticais de apoio e a curva do arco. Este tipo de dano está normalmente associado a movimentos dos elementos laterais que lhe servem de apoio e que lhe retiram a capacidade de funcionamento como estrutura portante. Tal dano está associado, principalmente, aos factores **3) e 5) e**, por associação, ao factor **6)**.
- Alteração das características resistentes de elementos portantes. Embora associado ao ponto anterior, inclui-se neste ponto apenas o dano correspondente às alterações ocorridas nas características resistentes dos elementos portantes, nomeadamente das paredes de alvenaria. Em particular, nas paredes de alvenaria constituídas por dois panos de parede preenchidos por material mais fraco, a entrada de humidade altera o material de enchimento, provocando um aumento de volume da parede e reduzindo a sua capacidade resistente. O factor **2)** é claramente aquele que mais activamente contribui para a ocorrência deste tipo de dano. No entanto, a entrada de água pode ainda estar associada aos pontos **1) e 5)**.
- Alteração das características dos materiais. A ocorrência de eflorescências, cripto-eflorescências, ecrans negros, escorrimentos, etc., são danos que embora não estruturais, aceleram a degradação dos materiais provocando a longo prazo a degradação estrutural dos elementos. São por isso ser danos a evitar devendo-se prevenir a sua ocorrência. Neste ponto, os factores **2) e 4)** são os dominantes.

5 EXEMPLO DE INTERVENÇÃO

Em termos de soluções de reparação e reforço, o estudo é em geral dirigido para uma estrutura em concreto e não para as estruturas em geral. Tal como já foi referido anteriormente, cada estrutura é um caso. No entanto, algumas equipas de investigação têm desenvolvido técnicas gerais de reforço de estruturas que, no entanto, não devem ser aplicadas de forma cega mas criteriosa adaptando-as devidamente ao objecto em estudo. Apresenta-se em seguida um exemplo de intervenção do NCREP: reforço de elementos portantes de estrutura em arco da zona do coro da Igreja do Póculo em Braga. Os textos que se seguem foram retirados do Relatório de Inspeção e de Reforço realizado [4].

5.1 Apresentação do Caso de Intervenção

A estrutura de suporte do coro da Igreja do Pópulo em Braga é constituída por três arcos abatidos principais, dispostos transversalmente ao desenvolvimento da Igreja, e por arcos abatidos secundários que se dispõem ortogonalmente aos primeiros. Estes arcos apresentavam deformações acentuadas com larguras de fendas elevadas nas juntas dos elementos pedras que os compõem. A Figura 5: apresenta a planta do piso 0 da Igreja do Pópulo, referindo-se a disposição dos arcos referidos.

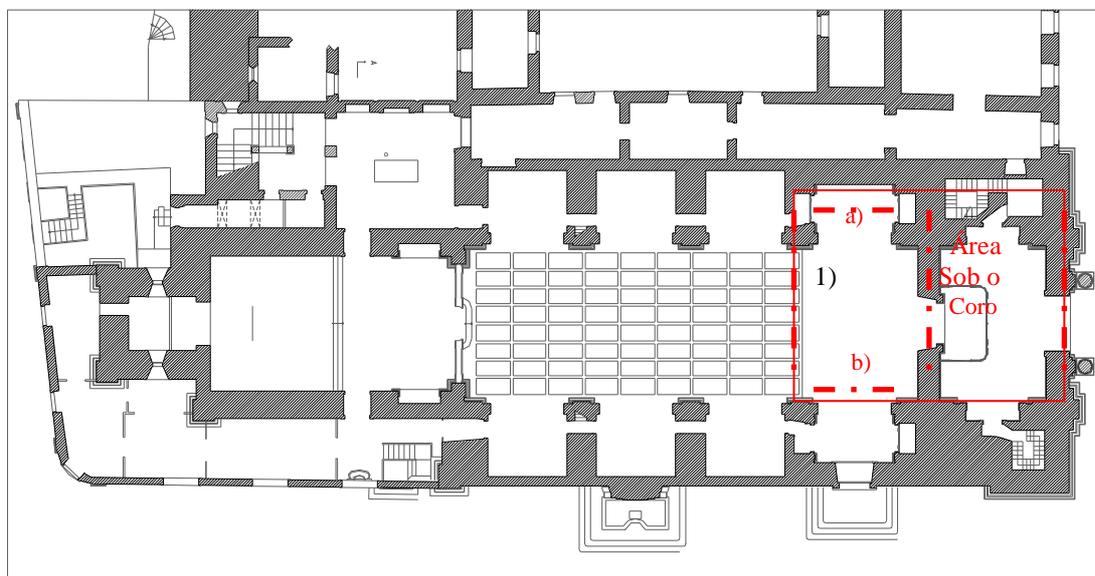


Figura 5: Planta do piso 0 da Igreja do Pópulo. 1) Arco transversal de suporte do coro. a) e b) Arcos secundários, dispostos paralelamente ao desenvolvimento da nave.

Os arcos secundários, apresentavam deformações consideráveis e por conseguinte as juntas das pedras encontravam-se abertas, com larguras de fendas importantes nas fibras tracionadas, quer junto aos apoios quer a meio vão do arco. Estes arcos encontravam-se escorados por um perfil metálico, tal como é ilustrado na Figura 6: referente ao arco referenciado por a) na Figura 5:.

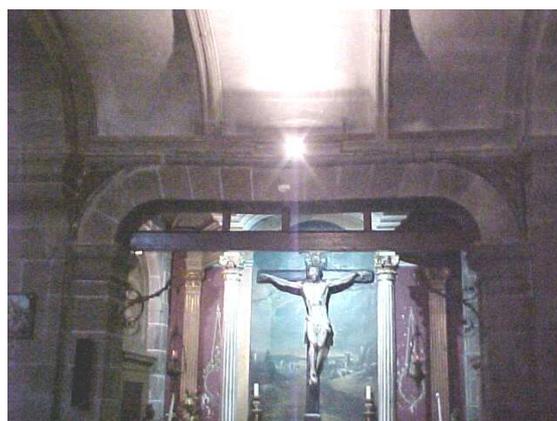


Figura 6: Vista geral sobre o arco abatido secundário de suporte do coro. Sistema de escoramento constituído por perfis metálicos.

O outro arco secundário, referido na planta da Figura 5: com a letra b), mostrava anomalias semelhantes ao anterior, exibindo deformação e juntas abertas com expressões consideráveis.

Também este arco estava escorado por um sistema de perfis metálicos. Nas juntas dos arcos principais, dispostos na direcção transversal à nave principal da Igreja, registavam-se igualmente fendas com dimensões apreciáveis, originadas por deformação do vão, mas com expressão inferior às registadas nos dois arcos secundários.

5.2 Solução de Reforço

Como resultado do diagnóstico para avaliação da segurança do estado actual da estrutura tomou-se a decisão de propor uma solução de reforço visando melhorar as condições de segurança do arco.

A solução de reforço resultou do tipo de materiais, do comportamento estrutural e das acções que afectavam a construção. Critérios económicos, de exequibilidade e de compatibilidade com técnicas e materiais usadas na construção do monumento atendendo à concepção original e ao valor histórico do monumento, foram também factores determinantes na escolha do tipo de reforço. Os monumentos históricos são estruturas de valor patrimonial e por isso as intervenções necessárias devem alterá-las o menos possível. Não obstante, em certos casos a necessidade de garantir segurança do património histórico obriga a alterações por vezes em aparente contradição esse princípio.

Na solução de reforço adoptada utilizaram-se técnicas e soluções de reforço simples no que respeita à sua exequibilidade. A solução de reforço consistiu na inserção de uma estrutura constituída por perfis metálicos apoiados nas colunas principais da estrutura e que permitisse o aumento da capacidade resistente da zona a reforçar através do encaminhando dos esforços para os apoios. Complementarmente, e no sentido de travar a deformação do arco abatido, as pedras do arco foram suportadas com varões de aço, fixos mecanicamente ao perfil por intermédio de buchas químicas às pedras.

Procuraram-se perfis com secções transversais de dimensões consistentes com a sua colocação em obra. Assim optou-se por executar duas sub-estruturas paralelas constituídas por perfis metálicos HEB100 e HEB160, uma em cada face da parede, que se apoiaram nos arcos principais em dois níveis distintos (Figura 7:). A parede Pa1 foi apoiada em dois perfis horizontais HEB100 materializando um par de vigas de reforço Vr1. Estes perfis transmitem parte das acções da parede para os contrafortes Ap e parte somar-se-á à acção na restante estrutura metálica. A viga Vr2 (HEB160) para além de resistir às cargas originadas pela sustentação do arco A1, resiste também à parcela das acções que provêm dos tectos sobre as áreas adjacentes ao mesmo. Os tirantes de apoio dos elementos de pedra do arco foram dimensionados de modo a reduzir-se o seu alongamento a um valor praticamente nulo. As acções que os tirantes resistem correspondem ao peso das pedras do arco que sustêm e à parcela da parede entre a viga Vr2 e as pedras do arco A1.

Com a implementação da solução de reforço obteve-se um aumento efectivo da resistência do conjunto estrutural. A estrutura de reforço suporta as cargas que lhe são transmitidas e encaminha as acções que solicitam os arcos danificados para os arcos principais da estrutura, aliviando as acções que sobre eles actuam. Ao mesmo tempo, a estrutura de reforço sustem o aparelho de pedras que constitui o arco. Esta solução favoreceu toda a zona a reparar. A opção de transmitir as acções sobre os arcos secundários para os arcos principais da estrutura é viável uma vez que se apresentam sãos e sem problemas estruturais.

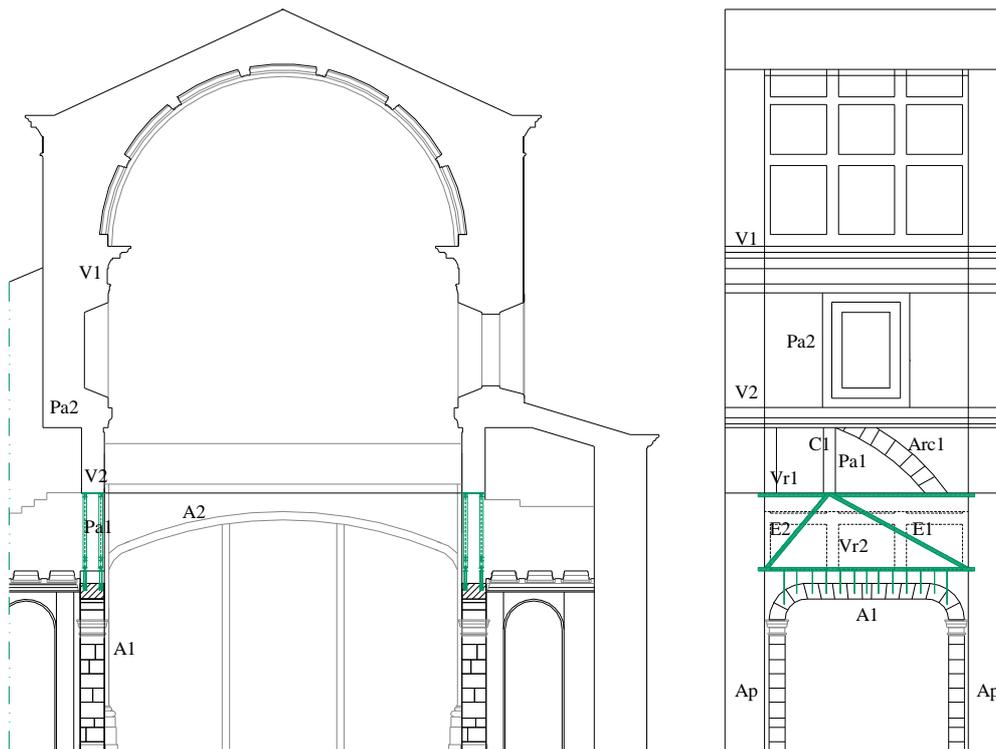


Figura 7: Estrutura de reforço do arco da Igreja do Pópulo.

6 CONCLUSÕES

Intervir nas estruturas, reabilitando-as e reforçando-as, é um acto complexo que na maioria dos casos resulta de uma necessidade. Intervir em estruturas Património, é um acto ainda mais complexo pela importância do objecto de intervenção, devendo por isso envolver cuidados redobrados. O respeito pelo Património deve estar sempre presente sem contudo impedir que se actue sobre as estruturas salvaguardando-as. A decisão da melhor solução envolve opções tantas vezes subjectivas e por isso sujeitas a crítica. A salvaguarda das nossas opções passa pelo estudo sistemático dos problemas que permita sustentar as decisões, dando-lhes consistência e enquadramento. A realização de Relatórios de Inspeção e de Reforço e ou Reabilitação funciona com elemento de trabalho fundamental para essa salvaguarda.

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] Costa, Cristina, 2002. "Análise do Comportamento da Ponte da Lagoncinha sob Acção de Tráfego Rodoviário", Tese de Mestrado (em conclusão) em Estruturas pela FEUP, Porto
- [2] Neves, Nuno & D. Moreira, A. Arêde, A. Costa, 2001. "Análise Sísmica da Igreja das Bandeiras na Ilha do Pico", 5º Encontro Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica, 24-27 Outubro, pp. 678-690, Ponta Delgada - Açores
- [3] Costa, Aníbal; Arêde, António; Paupério, Esmeralda, 2001. "Ponte de Ázere", Relatório de Inspeção, NCREP, FEUP, Porto
- [4] Costa, Cristina; Arêde, António; Costa, Aníbal, 2000. "Igreja do Pópulo", Relatório de Inspeção, NCREP, FEUP, Porto