



Rogério Manuel Ferreira Pinto de Queirós

ESTRATÉGIAS PARA A REABILITAÇÃO E REFORÇO SÍSMICO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

STRATEGIES FOR THE REHABILITATION AND SEISMIC REINFORCEMENT OF ANCIENT
BUILDINGS

Relatório para Dissertação de Mestrado em Reabilitação Estrutural I, na área de Especialização em reabilitação de edifícios,
orientada pelo Professor Doutor Tiago Miguel dos Santos Ferreira e pelo Professor Doutor Romeu da Silva Vicente

Coimbra, 20 de Julho de 2018



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Rogério Manuel Ferreira Pinto de Queirós

ESTRATÉGIAS PARA A REABILITAÇÃO E REFORÇO SÍSMICO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

STRATEGIES FOR THE REHABILITATION AND SEISMIC REINFORCEMENT OF ANCIENT BUILDINGS

Relatório para Dissertação de Mestrado em Reabilitação Estrutural I, na área de Especialização em reabilitação de edifícios,
orientada pelo Professor Doutor Tiago Miguel dos Santos Ferreira e pelo Professor Doutor Romeu da Silva Vicente

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer
responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões
que possa conter.

Coimbra, 20 de Julho de 2018

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1 ENQUADRAMENTO | 1 |
| 2 MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS | 3 |
| 3 APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO | 5 |
| 4 METODOLOGIA..... | 7 |
| 5 PLANO DE TRABALHOS | 8 |
| 6 PRINCIPAIS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 9 |
| 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 12 |

1 ENQUADRAMENTO

Tendo sempre presente, como princípio profissional que, a engenharia civil deverá estar em primeiro ao serviço das pessoas, tendo como primeira razão fundamental a salvaguarda de pessoas e bens, sempre, primeiro as pessoas e depois os bens. Com base nestas premissas, com naturalidade o desafio de poder contribuir de alguma forma na vertente da prevenção sísmica, é algo que realiza a consciência ética e moral de qualquer profissional de engenharia civil que tenha estes princípios como base fundamental da sua conduta profissional. Os sismos são dos fenómenos naturais mais devastadores existentes na natureza, é um dos fenómenos mais exigentes à segurança das nossas estruturas, dos que mais danos humanos e materiais causa, por imposição de deformações às estruturas para as quais grande parte não estão preparadas. Causando o seu colapso total ou parcial, potenciando os efeitos nefastos de muitas perdas de vidas humanas e de bens materiais, efeitos que bem conhecemos por desastres que vão com alguma frequência acontecendo em todo o mundo.

Como técnicos, temos a consciência que os sismos são fenómenos cíclicos, imprevisíveis na exatidão do seu acontecimento, mas cíclicos. Não sabemos quando, mas sabemos que vão acontecer. Portanto resta-nos prepararmo-nos para o seu acontecimento, prepararmos as nossas infraestruturas para lhe resistir.

O território nacional apresenta uma perigosidade sísmica, moderada a elevada (Lopes, 2017). Esta perigosidade é um dos fatores que contribui para o risco sísmico de Portugal, embora a avaliação do risco sísmico nas diferentes regiões seja condicionada de forma decisiva por outros fatores fundamentais, nomeadamente os elementos expostos do parque edificado e a sua vulnerabilidade.

A sociedade portuguesa de engenharia sísmica vem defendendo que em Portugal num cenário sísmico podem morrer 20 a 30 mil pessoas, podendo os prejuízos ser na ordem de grandeza do PIB (Lopes, 2017).

Desde 1958, primeiro com o (Regulamento da Segurança das Construções contra os Sismos, 1958), posteriormente na década de 80 com o (RSA, 1983) e mais recentemente no novo milénio com o euro (Eurocódigo 8, 2004), que Portugal possui legislação técnica que obriga ao cálculo sísmico em novos edifícios. No entanto, como defende a sociedade portuguesa de engenharia sísmica, na prática não têm existido mecanismos eficazes de fiscalização na sua aplicação.

Quando o assunto é reabilitação, a situação torna-se bem mais grave, a não existência de regulamentação sísmica para reabilitação proporciona a legalidade da intervenção num edifício não contemplar reforço sísmico. Embora a legislação diga que a intervenção ao

edifício não pode reduzir a sua resistência sísmica, na verdade, se o edifício não a tiver, após a intervenção irá continuar a não ter!

Nos últimos tempos em Portugal, o motor de crescimento do sector da construção tem-se alavancado na reabilitação, as políticas e incentivos, seja de índole fiscal ou de apoio financeiro canalizados às obras de reabilitação, leva a que hoje, sobretudo nas principais cidades do país as obras de reabilitação estejam com uma dinâmica sem precedentes.

Contudo, o grave da questão é que em grande parte das obras de reabilitação, seja por questões de capacidade técnica de quem projeta e/ou de quem executa, por deficiência da legislação, pela inoperância de uma fiscalização efetiva, ou por questões financeiras, a reabilitação sísmica não é levada em conta. Reabilitamos as nossas cidades, mas a vulnerabilidade sísmica do parque edificado continua elevada. Pela sua exposição e densidade populacional, o risco sísmico, nas regiões de Lisboa, Vale do Tejo e Algarve, são particularmente sensíveis e preocupantes.

Em boa verdade, muitos alertas têm sido dados pelas principais entidades técnicas. No entanto a nível político muito pouco tem sido feito para efetivar as medidas recomendadas, mantendo-se a inoperância promotora da insegurança.

Perante esta inoperância governativa, a esperança reside no bom senso ético e moral e no conhecimento da comunidade técnica envolvida nos projetos e na sua execução, bem como na sensibilização, dos donos de obra.

Se em dono da verdade, de maneira geral os engenheiros projetistas foram preparados academicamente para projetar edifícios novos resistentes sísmicamente, o mesmo não se pode dizer para reabilitar os existentes, dotando-os de capacidade e competência para resistir a abalos sísmicos. Menos ainda quando falamos em edifícios anteriores ao século XX, caracteristicamente construídos em alvenaria resistente (normalmente de pedra) e pisos e coberturas em madeira, numa época em que, exceção feita aos edifícios pombalinos na baixa pombalina não existia preocupação sísmica nem legislação sísmica, em vigor.

No seguimento desta linha de raciocínio, este trabalho surge com a finalidade de apoiar os projetistas e os executantes a dotar os edifícios caracteristicamente construídos em alvenaria de pedra, pisos e coberturas em madeira, de capacidade para resistir a um abalo sísmico regulamentar.

2 MOTIVAÇÃO E OBJECTIVOS

O trabalho a desenvolver não pretende abranger todas as fases de um projeto de reabilitação sísmica, o que necessitaria de um estudo mais amplo e extensivo. Cenário não pretendido para um documento desta natureza.

Não será abordada a fase preliminar exigida a um projeto desta natureza, como sejam a consulta de documentação existente do edifício a intervir, como projetos, memórias descritivas, regulamentação em vigor à data da construção, etc. O levantamento arquitetónico e estrutural do edifício, identificação e análise de patologias, prescrição e análise de ensaios, modelação numérica e sua análise.

Naturalmente que são processo imprescindíveis e sequencias que um projeto de reabilitação deve respeitar. Contudo, este trabalho centrar-se-á na fase seguinte ao atrás sequenciado, centrando-se na elaboração da solução para reforço estrutural, especificamente reforço sísmico de edificios tradicionais, anteriores ao século XX, constituídos por alvenaria de pedra, pisos e cobertura em madeira.

A abordagem pretende ser de índole marcadamente prática, abordando soluções concretas de reabilitação sísmica, procurando constituir-se como uma ferramenta de apoio efetiva para quem pretende projetar e/ou executar soluções desta natureza.

Tendo em conta fatores de simplicidade de projeto, facilidade de oferta para execução no mercado e economia de execução, será estudado de forma detalhada um exemplo de uma solução de reforço sísmico de:

- Fundações em alvenaria resistente de pedra;
- Alvenaria resistente de pedra;
- Pisos de madeira;
- Coberturas de madeira.

Tendo em conta elementos supra enunciados, serão abordadas as seguintes soluções de reforço sísmico:

- Reforço sísmico de fundações de alvenaria de pedra através de microestacas;
- Reforço sísmico de alvenaria de pedra através de tirantes;
- Reforço sísmico de pavimentos de madeira com melhoramento do comportamento de diafragma através de tarugamento e reforço das ligações viga-parede;
- Reforço sísmico de coberturas de madeira através de uso de tirantes e perfis metálicos.

Para cada uma das referidas soluções pretende-se fazer uma abordagem pela seguinte ordem:

- Contexto de aplicabilidade da solução;
- Metodologia e critério de dimensionamento da solução;
- Critério e metodologia de execução da solução;
- Ficha de custos de execução da solução.

Pretende-se dedicar um capítulo a cada elemento e técnica de reforço do elemento, e um subcapítulo a cada ponto abordado do reforço.

É objetivo que deste trabalho resulte um documento de fácil consulta e leitura, de aplicabilidade prática em contexto real de projeto, orçamento e execução de obra. Pretende-se que este trabalho se assuma ainda como uma ferramenta válida, de base científica, no apoio efetivo aos executantes e consequentemente à reabilitação sísmica do nosso edificado.

3 APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Como caso de estudo será utilizado um edifício localizado na Rua Alvares Cabral, nº 177, Porto, e cujo alvará destinado a obras de ampliação / alteração, apresenta as seguintes características para a intervenção:

- Área total do prédio: 336,50 m²;
- Área total de construção: 534,64 m², sendo 18 m² relativos a ampliação e 516,63 m² relativos a alteração;
- Área bruta de construção 512 m², sendo relativos a alteração;
- Volume de construção: 1873,30 m³;
- Índice de construção: 1,52;
- Área de implantação: 136,50 m²;
- Índice de impermeabilização: 0,47;
- Nº de pisos abaixo da cota de soleira: 1;
- Nº de pisos acima da cota de soleira: 3;
- Cércea: 14,80 m;
- Número total de fogos

A empreitada tem início no próximo dia 9 de Julho de 2018, e um prazo contratual de execução de 7 meses. O projeto de arquitetura é da autoria do gabinete de arquitetura “FLORET – OFICINA DE ARQUITECTURA” e o projeto de estabilidade da autoria do gabinete “NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda.”.

O edifício de características tradicionais constituído por alvenaria resistente de pedra, pisos e cobertura em madeira. É um edifício do início do século XX, e será alvo de uma intervenção de reabilitação arquitetónica e estrutural. Por não se encontrar em zona de elevada perigosidade sísmica, não será alvo de intervenção de reforço sísmico.

O que se propõe com este caso de estudo, é analisar os métodos propostos no capítulo anterior, seguindo o método descrito. No final espera-se fazer uma análise detalhada do custo acrescido que uma intervenção de reforço sísmico representa num caso concreto em comparação com uma reabilitação real sem reforço sísmico.



Figura 1- Fachada do Edifício

4 METODOLOGIA

Em termos metodológicos, a dissertação será desenvolvida com base no tratamento e análise criteriosa de casos de estudo. Pretende-se abordar situações concretas de reforço sísmico em contexto real, de edifícios de alvenaria resistente de pedra, pisos e coberturas de madeira.

Para o efeito, analisar-se-ão exemplos de reforço de fundações através de microestacas, de reforço de alvenaria através de tirantes, de reforço de pavimentos através de tarugamento e ligadores e de reforço de coberturas através de tirantes e perfis metálicos. Para cada exemplo, será analisado o contexto da aplicabilidade da solução, o dimensionamento, os processos de execução e a avaliação de custos.

As técnicas metodológicas a utilizar para a elaboração do trabalho são:

- Análise documental: que consiste na recolha e análise de bibliografia relacionada com a área de investigação, sejam, livros da especialidade, regulamentos, normas, artigos disponíveis científicos, etc;
- Consulta de empresas especialistas na execução dos exemplos de reforço abordados para recolha de elementos de métodos de execução e obtenção de custos;
- Validação e sistematização da informação recolhida;
- Redação do documento final.

A metodologia de execução será constituída por três etapas fundamentais: recolha e análise de informação, síntese da informação validada, redação da dissertação.

6 PRINCIPAIS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Com base na pesquisa bibliográfica preliminar realizada, foi possível constatar que existe pouca informação bibliográfica disponível que possa servir de apoio ao desenvolvimento do tema proposto. Ainda assim, em Português foi possível destacar os seguintes documentos:

- **Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e Tecnologias de Intervenção da autoria de João Appleton**

Nesta obra o autor faz uma abordagem transversal ao panorama da reabilitação de edifícios antigos, desde a sua caracterização construtiva, técnicas e materiais utilizados, as anomalias construtivas características e patologias identificadas. Análise e caracterização das soluções de reabilitação, por fim a obra tem conjunto de anexos com elevada informação, desde a transcrição de algumas cartas e convenções a um exemplo de intervenção em que foi feito o dimensionamento de soluções de reforço sísmico.

- **Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos – Alvenaria | Madeira – Técnicas Pouco Intrusivas da autoria de Vítor Córias**

A abordagem alargada e até exaustiva que o autor faz à reabilitação estrutural, torna esta obra uma ferramenta fundamental para a abordagem às técnicas existentes no âmbito da reabilitação estrutural, passando pela anatomia dos materiais e processos construtivos, patologias estruturais, levantamento, caracterização e diagnóstico, conceção e projeto das intervenções de reabilitação estrutural, reabilitação da superestrutura, reabilitação das fundações, materiais para a reabilitação estrutural de construções antigas, análise estrutural e verificação da segurança, são abordagens que o autor faz tendo sempre presente a condicionante sísmica.

- **Manual de Apoio ao Projeto de Reabilitação de Edifícios Antigos com a coordenação de Vasco Peixoto de Freitas**

Este livro tem a finalidade de ser um guia geral de apoio ao projeto de reabilitação, passando pela caracterização e tipificação construtiva de edifícios antigos, como sendo as suas fundações, paredes, pavimentos, coberturas, etc, diagnóstico e metodologias de intervenção, abordando técnicas de reforço, comportamento de estruturas em madeira,

comportamento higrotérmico, sistemas de ventilação, sistemas prediais de abastecimento e drenagem de águas, projeto de reabilitação. Embora não aborde de forma tão aprofundada as questões estruturais, nomeadamente o reforço sísmico como os livros anteriores, faz uma síntese de regulamentos e normas aplicados à reabilitação que serve de importante apoio no conhecimento da legislação que deverá ser consultada.

- **A Reabilitação Estrutural do Património Construído – Aspetos básicos, do autor Pompeu dos Santos**

O autor aborda de forma sintética as principais atenções a ter na reabilitação estrutural, como estratégias de intervenção, informação documental sobre a construção, levantamento da situação existente na construção, realização de ensaios e elaboração do diagnóstico, avaliação estrutural, soluções de reparação e reforço onde aborda especificamente intervenções para melhoria da segurança contra a ação dos sismos.

- **Conservação e Reabilitação de Estruturas – Reabilitar 2010**

Aqui são expostos exemplos práticos, artigos, palestras desde anomalias dos materiais e das estruturas, a técnicas de inspeção e diagnósticos, modelação e segurança de estruturas existentes, técnicas de conservação e reabilitação, projetos realizados, etc. Os temas, exemplos práticos, palestras, etc, são proferidos por vários especialistas de renome na área.

Na pesquisa de bibliografia estrangeira, referente ao tema, dá-se principal destaque à seguinte:

- **Guide de la réhabilitation avec l'acier à l'usage des architectes et des ingénieurs, do autor Pierre Engel**

O autor através de numerosos exemplos, cria um guia prático com as informações necessárias para o uso do aço na reabilitação de edifícios.

- **Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings da autoria da FEMA (Federal Emergency Management Agency)**

Os Estados Unidos, muito por força da elevada sismicidade do seu território, sobretudo na costa oeste Californiana, que cedo se prepararam para o fenómeno, com o FEMA a ter um papel de elevadíssimo destaque, existindo um alargado leque de material bibliográfico sobre o tema, muito dele editorado pelo FEMA. Este extenso

documento aborda desde a vulnerabilidade sísmica, passando evidentemente pela reabilitação sísmica, classe de reabilitação, técnicas a considerar, custo, performance sísmica, modelos de edifícios, as suas características sísmicas e descrição de técnicas adequadas de reforço a cada modelo. É feita uma abordagem exaustiva às técnicas de reabilitação sísmica dos diferentes elementos estruturais dos edifícios existentes. Será, portanto, um importante auxílio no desenvolvimento da dissertação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APPLETON, João (2011). “Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e Tecnologias de Intervenção”. Edições Orion, Amadora.
- CÓIAS, Vítor, (2007). “Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos – Alvenaria | Madeira – Técnicas Pouco Intrusivas”. ARGUMENTUM, GECORPA, Lisboa.
- FREITAS, Vasco Peixoto de, Vários (2012). “Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos”. Ordem dos Engenheiros da Região Norte, Porto.
- SANTOS, Pompeu dos, (2008). “A Reabilitação Estrutural do Património Construído – Aspectos Básicos”. LNEC, Lisboa
- Vários, (2010). “REABILITAR 2010 - Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas”. LNEC, Lisboa
- ENGEL, Pierre, (2011). “Guide de la réhabilitation avec l'acier à l'usage des architectes et des ingénieurs”. ConstruirAcier, ArcelorMittal, Paris
- Federal Emergency Management Agency, (2006). “Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings”. FEMA, Washington, D.C., EUA
- EN 1998-1:2004 – “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings”. CEN, Brussels
- Decreto-Lei nº 235/83, de 31 de Maio. “Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes”, Governo de Portugal, Lisboa
- LOPES, Mário, (2017), in Diário de Notícias, Lisboa