

INSTITUTO POLITÉCNICO DO PORTO

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

Curso de Mestrado em
ENGENHARIA CIVIL - CONSTRUÇÕES

Relatório de Estágio

AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE FACHADAS E ENSAIOS DE
ARRANCAMENTO DE ELEMENTOS EM AÇO DE PRÉ-ESFORÇO COLADOS COM
RESINA EPOXY A PROVETES DE PEDRA NATURAL

Eng.º Paulo Guedes

Eng.ª Cláudia Gomes

Joana Almeida, n.º 1060922

Novembro de 2012

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Agradecimentos

Agradeço a todos os que permitiram a realização deste trabalho, nomeadamente:

À Sika® Portugal S.A., pelo estabelecimento do protocolo a par da realização do estágio profissional e pelos materiais e equipamentos fornecidos para estudo apresentado, à Engenheira Cláudia Gomes, co-orientadora do estágio e pelo apoio constante durante o trabalho desenvolvido ao longo do período de estágio; ao Prof. Doutor Rui Camposinhos, orientador do estágio, do estudo e dos ensaios desenvolvidos no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; à Patrícia Pereira e outros colaboradores do LMC pela disponibilidade para a realização dos ensaios; aos Engenheiros Ricardo Santos, José Lello e José Carlos Campeão pela disponibilidade, correcções ao relatório e sugestões apresentadas; à minha família e amigos por fazerem parte de todos os meus projectos.

Agradeço ainda ao Instituto Superior de Engenharia do Porto pelo percurso académico proporcionado e os conhecimentos, disciplina e rigor transmitidos, que acrescentam valor a todos os trabalhos realizados.

A todos, agradeço a disponibilidade, o incentivo, o conhecimento transmitido e o apoio prestado sem as quais não seria possível a realização deste trabalho.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Palavras-Chave

Reabilitação, Inovação, Sustentabilidade

Resumo

O ingresso no mercado de trabalho e primeiro contacto com a realidade na construção em Portugal motivaram a realização deste relatório.

O qual tem como base o estágio realizado na Sika® Portugal Produtos da Construção e Indústria, S.A. como elemento do Departamento Técnico.

O trabalho desenvolvido incide sobre a escolha de soluções de reabilitação e na avaliação preliminar do estado de conservação dos edifícios outrora reabilitados com soluções Sika®.

A primeira parte deste relatório descreve a adaptação do método de avaliação do estado de conservação de edifícios (MAEC) de forma a realizar esta avaliação apenas no sistema construtivo que compõe a fachada, aplicado num estudo desenvolvido para 100 obras de reabilitação em edifícios distribuídos no território nacional.

Numa segunda parte do relatório são apresentados documentos desenvolvidos durante a actividade profissional aquando de visitas às obras e respectivas análises preliminares e especificações técnicas. Nesta segunda parte do relatório mais relacionada com as actividades diárias são ainda apresentados documentos técnicos de apoio a tecnologias e ou selecção de soluções mais adequadas às exigências e necessidades de comportamento dos materiais. É ainda abordado o tema sustentabilidade que actualmente é uma das preocupações nas escolhas e tomadas de decisão de soluções para a reabilitação e construção nova.

Apresenta-se ainda um estudo realizado em laboratório que visa determinar o comprimento de amarração de fios ou cordões de pré-esforço colados com resina *epoxy* a provetes de diferentes tipos de pedra natural.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Keywords

Rehabilitation, Innovation, Sustainability

Abstract

The opportunities to get a foothold in the labour market and to get a first contact with the construction reality in Portugal were the main motives of the realization of this report.

This report was developed during the internship conducted at Sika® Portugal Produtos da Construção e Indústria, S.A. working as a member of the Technical Department. The work consisted on the choice of rehabilitation solutions and preliminary evaluations of the conservation state of buildings formerly rehabilitated with Sika® solutions.

This report also describes the adaptation of the method of evaluation of the conservation state of buildings (MAEC) on the evaluation of façade elements, applied to the study of 100 rehabilitation cases distributed in the national territory.

On the second part of this report documents developed during visits to work sites are presented, along with their respective preliminary analysis and technical specifications, as part of the professional activity of the internship.

On this second part of the report, focused on daily activities, technical support documents are also presented, with the selection criteria of the most adequate solutions to the demands and necessities of the behaviour of the materials.

On the last part of this report the construction sustainability theme is addressed. This theme is nowadays one of the main concerns when choosing and deciding which are the best solutions for either for rehabilitation or new construction.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Siglas

ADI – Agência de Inovação

AECOPS – Associação de Empresas de Construção, Obras Públicas e Serviços

CIMI - Código do Imposto Municipal Sobre Imóveis

COMPETE – Programa Operacional Factores de Desenvolvimento

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

EEC – Ensaio exploratório com cordões

EEV – Ensaio exploratório com fios

EOTA – *European Organization for Technical Approvals*

ETA – *European Technical Approval*

ETAG – *Guideline for European Technical Approval*

FIEC - Federação da Indústria Europeia da Construção

Habitação a custos controlados - Avaliação do estado de conservação de edifícios de habitação a custos controlados

ITE – Informação Técnica

MAEC – Método de Avaliação do Estado de Conservação dos Imóveis

MANR - Método de Avaliação das Necessidades de Reabilitação

MCH - Metodologia de Certificação das Condições Mínimas de Habitabilidade

MEXREB - Metodologia de diagnóstico exigencial de apoio à reabilitação de edifícios de habitação

QREN - Quadro de Referência Estratégico Nacional

Rendas Condicionadas - Avaliação do estado de conservação de imóveis com rendas condicionadas

TR – *Technical Report*

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Índice:

1	Avaliação do estado de conservação de fachadas	4
1.1	Paradigma da Reabilitação em Portugal.....	4
1.2	Métodos de Avaliação em Portugal	6
1.3	Método de Avaliação do Estado de Conservação de Edifícios - MAEC	7
1.4	Âmbito do estudo.....	8
1.5	Evolução na concepção de fachadas em Portugal.....	8
1.6	Adaptação do método	9
1.6.1	Instrução para a aplicação e ficha de avaliação	11
1.6.2	Âmbito de aplicação.....	11
1.6.3	Limitação da responsabilidade	11
1.6.4	Procedimento de vistoria	12
1.6.5	Critérios de avaliação	13
1.6.6	Método de síntese de resultados	14
1.6.7	Cálculo do Índice de Anomalias	16
1.7	Propostas de melhoria.....	17
1.8	Exemplos de aplicação – Caso prático.....	18
2	Durabilidade dos materiais e das intervenções.....	24
3	Documentos desenvolvidos no âmbito do estágio.....	32
3.1	Relatório técnico.....	32
3.1.1	Avaliação da fissuração em elementos estruturais - pilares.....	32
3.1.2	Ensaio realizado no local.....	36
3.2	Ensaio laboratorial.....	43
3.2.1	Objectivo	43
3.2.2	Enquadramento normativo:.....	43
3.2.3	Processo de Mistura.....	44
3.2.4	Composições	44
3.2.5	Ensaio <i>Slump</i>	44
3.2.6	Análise crítica.....	45
3.3	Relatório de visita a Central de Betão.....	46

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

3.3.1	Motivo da visita.....	46
3.3.2	Requisitos iniciais.....	46
3.3.3	Ensaio – composições realizadas <i>in situ</i>	47
3.3.4	Descrição.....	48
3.3.5	Determinação da percentagem de adjuvante.....	49
3.3.6	Conclusão.....	49
3.4	Informações técnicas (ITE) - Ancoragens estruturais com <i>Sika® AnchorFix 3+</i> (ETAG 001 e TR 029).....	50
3.4.1	Conceito de segurança.....	50
3.4.2	Métodos de cálculo.....	50
3.4.3	Disposições construtivas.....	51
3.4.4	Verificações de Segurança:.....	51
3.4.5	Considerações.....	51
3.4.6	Tabelas de apoio.....	56
3.4.7	Considerações finais.....	59
3.5	Comunicação Técnica.....	60
3.5.1	Motivação.....	60
3.5.2	Escolha de cimentos-cola (EN NP 12004:2008).....	60
4	Ensaio de arrancamento em Pedra Natural.....	66
4.1	Introdução.....	66
4.1.1	Aderência por adesão.....	67
4.1.2	Aderência por atrito.....	68
4.1.3	Aderência mecânica.....	68
4.2	Utilização de Pedra natural em fachadas.....	69
4.3	Caracterização dos materiais.....	70
4.3.1	Calcário.....	70
4.3.2	Granito.....	70
4.3.3	Mármore.....	70
4.3.4	Resina <i>epoxy</i>	71
4.3.5	Fios e cordões de aço.....	72

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

4.4	Princípios e considerações	73
4.5	Ensaio com fios e fichas de ensaio.....	75
4.5.1	Ensaio com cordões	80
4.6	Análise crítica e conclusões	91
5	Análise Crítica e Conclusões	100

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Índice de figuras:

Figura 1 - Peso da Reabilitação Residencial na Produção Total da Construção (%) , 2009 Fonte;FIEC, AECOPS.....	4
Figura 2 - Variação média anual da Construção Total e Reabilitação Residencial (%), entre 2006 e 2009; Fonte: FIEC, AECOPS	5
Figura 4 - Igreja da Foz do Douro (Foz Velha).....	19
Figura 5 - Imagem elucidativa da anomalia verificada em remates	19
Figura 6 - Imagem elucidativa de anomalia verificada em zona de ligação.....	19
Figura 7 - Esquema ilustrativo “ <i>Cradle to cradle</i> ”	24
Figura n.º 8 – Esquema ilustrativo “ <i>Cradle to grave</i> ”.....	25
Figura 9 - Relação de qualidade entre intervenientes na construção.....	28
Figura n.º 10 - Identificação do local e condições ambientais.....	32
Figura 11 - Temperatura do Ar (Instantâneo), Instituto de Meteorologia de Portugal.....	33
Figura 12 - Humidade Relativa (Instantâneo), Instituto de Meteorologia de Portugal	33
Figura 13 - Intensidade do Vento (Instantâneo), Instituto de Meteorologia de Portugal	33
Figura 14.....	37
Figura 15.....	37
Figura 16.....	37
Figura 17 - Negativo 1	38
Figura 18 - Negativo 2	38
Figura 19 - Negativo 3	38
Figura 20 - Negativo 4	38
Figura 21 - Negativo 5	38
Figura 22 - Negativo 6	38
Figura 23 - Negativo 7	39
Figura 24 - Negativo 8	39
Figura 25 - Identificação e zoneamento de carotes executadas.....	39
Figura 26 - Ponte onde ocorreram betonagens após realização da composição de betão.....	46
Figura 27 - Introdução de adjuvante na Central.....	48
Figura 28 - Ensaio <i>slump</i> realizado em obra – controlo de qualidade.....	48
Figura 29 - Betonagem, vibração e pulverização de membrana de cura	49
Figura 30 - Disposições construtivas, ETAG001 anexo C	51
Figura 31Principio do teste de arrancamento segundo a EN 10080	66
Figura 32 - Aderência por adesão.....	67
Figura 33 - Aderência por atrito.....	68
Figura 34 - aderência mecânica.....	68
Figura 35 - Homogeneidade da pedra.....	71
Figura 36 - Sika® Pistola AnchorFix® -3.....	72

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Índice de tabelas:

Tabela 1 - Anomalias correntes em elementos de fachadas.....	10
Tabela 2 - Classificação de anomalias	13
Tabela 3 - Classificação de Índice de Anomalias e Nível de Conservação	14
Tabela 4 - Registo da Avaliação de fissuras	34
Tabela 5 - Constituintes da composição de betão	44
Tabela 6 - Classificação dos resultados no ensaio de <i>slump</i>	45
Tabela 7 - Composições de betão realizadas na Central.....	47
Tabela 8 - Composição de betão final	47
Tabela 9 - Ajuste da concentração dos adjuvantes na composição realizada	49
Tabela 10 - Factores parciais de segurança.....	50
Tabela 11 - Factores que influenciam o comportamento das ancoragens	52
Tabela 12 - Factores e correlação com casos de rotura.....	53
Tabela 13 - Resistência a esforços de tracção para fios isolados	56
Tabela 14 - Resistência a esforços de tracção para ancoragem com 2 fios	56
Tabela 15 - Resistência a esforços de tracção para ancoragem em grupos.....	56
Tabela 16 - Resistência a esforços de corte para fios isolados	57
Tabela 17 - Resistência a esforços de corte para ancoragens com 2 fios.....	57
Tabela 18 - Resistência a esforços de corte para ancoragem em grupo	57
Tabela 19 - Resistência a esforços de corte para fios isolados	58
Tabela 20 - Resistência a esforços de corte para ancoragens com 2 fios.....	58
Tabela 21 - Resistência a esforços de corte para ancoragem em grupos.....	58
Tabela 22 - Caracterização técnica de cimentos-cola.....	61
Tabela 23 - Caracterização comercial de cimentos-cola	62
Tabela 24 - Velocidade de cura de Sika® Anchorfix 3+	71
Tabela 25 - Resistência à compressão segundo ASTM D695-96	72
Tabela 26 - Tensões de aderência.....	74
Tabela 27 - Casos de rotura e condições limite	75
Tabela 28 - Quadro resumo dos resultados obtidos [Força em KN e Deslocamento em mm]	94
Tabela 29 - Tensão de aderência mínima resina-aço para que ocorra falha coesiva do aço	96
Tabela 30 - Tensão de aderência mínima resina-pedra para que ocorra falha coesiva do aço	96
Tabela 31 - Comprimento mínimo de amarração.....	97

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Índice de gráficos:

Gráfico 1 - Força de arrancamento – ensaio EEV1.....	76
Gráfico 2 - Força de arrancamento – ensaio EEV2.....	78
Gráfico 3 - Força de arrancamento – ensaio EEV3.....	79
Gráfico 4 - Força de arrancamento – ensaio EEC1.G.....	80
Gráfico 5 - Força de arrancamento – ensaio EEC2.G.....	82
Gráfico 6 - Força de arrancamento – ensaio EEC1.M.....	83
Gráfico 7 - Força de arrancamento – ensaio EEC2.M.....	84
Gráfico 8 - Força de arrancamento – ensaio EEC5.M.....	85
Gráfico 9 - Força de arrancamento – ensaio EEC1.C.....	86
Gráfico 10 - Força de arrancamento – ensaio EEC2.C.....	87
Gráfico 11 - Força de arrancamento – ensaio EEC3.C.....	88
Gráfico 12 - Força de arrancamento – ensaio EEC4.M.....	89
Gráfico 13 - Força de arrancamento – ensaio EEC5.M.....	90
Gráfico 14 - Provetes de pedra calcária, com furo 12mm e diferentes comprimentos de amarração.....	92
Gráfico 15 - Provetes de pedra mármore, com furo 12mm e diferentes comprimentos de amarração.....	92
Gráfico 16 - Comparação dos resultados obtidos com cordões.....	94

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em
Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em
Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em
Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

1 Introdução

1.1 Apresentação de Sika®

A história da Sika começa em 1910, com a electrificação do túnel ferroviário de Gottard nos Alpes Suíços, e a necessidade de um sistema de impermeabilização seguro.

Kaspar Winkler foi quem desenvolveu e forneceu uma solução completamente inovadora para impermeabilizar quimicamente argamassas de cimento e betões, o que originou a fundação da Sika e a criação do logotipo mundialmente conhecido.

A presença global Sika é considerado um dos factores estratégicos de sucesso e mantendo o contacto directo com todos os clientes e parceiros. A Sika está presente nos 5 continentes, implantada em mais de 70 países e com mais de 90 unidades de produção e marketing totalizando cerca de 12000 funcionários; motivados para garantir o melhor serviço aos clientes Sika.

A Sika é uma empresa de origem Suíça, líder global em produtos químicos para a Construção e Indústria.

A Sika dedica-se ao fabrico de materiais utilizados na selagem, colagem, insonorização, reforço e protecção de estruturas na Construção e Indústria. Sika fornece soluções inteligentes com as mais avançadas tecnologias, através dos seus serviços, vasta experiência e mestria única.

Tendo inúmeras referências de sucesso um pouco por todo o mundo, Sika é reconhecida pela fiabilidade e elevada qualidade das suas soluções para a construção, que cumprem as últimas normas e regulamentações.

O Departamento de Operações da Sika gere a extensa rede global de fornecimento, que inclui a procura das melhores matérias-primas disponíveis, aos preços mais competitivos, e a produção segundo as normas mais exigentes. Ainda desenvolve embalagens inovadoras, sistemas de armazenagem seguros e soluções fiáveis de aprovisionamento para todos os clientes locais em todo o mundo.

Sika, fornecedor de uma gama completa de soluções para a construção, considera os seus clientes como parceiros de negócio, incluindo donos de obra, arquitectos e engenheiros, aplicadores e distribuidores.

No sentido de ajudar os seus clientes na procura do sucesso, Sika tem por objectivo criar valor para ambas as partes ao longo de toda a cadeia do projecto, desde a fase de *design* até à eventual manutenção.

As equipas técnicas e de vendas da Sika estão disponíveis para apoiar o cliente ao longo de cada fase do processo de construção: consultoria inicial, planeamento, *design*, implementação, controlo de qualidade e entrega final.

Sika também oferece soluções customizadas ao nível da manutenção futura, para uma tranquilidade acrescida. Está bem posicionada e tem o *know-how* e recursos necessários para oferecer estes serviços adicionais aos seus clientes.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Dispõe de uma vertente na área de investigação e desenvolvimento que garante a constante e elevada qualidade das soluções, assim como o permanente desenvolvimento e inovação na gama de produtos que disponibiliza. Os departamentos de Investigação e Desenvolvimento da Sika são uma rede de instalações centrais e regionais, espalhadas por todo o mundo. Centralmente, Sika Technology AG lidera os programas de investigação a longo prazo para o Grupo Sika.

Estes inovadores programas de investigação estão alinhados com as competências principais da Sika e focados em soluções para a produção de betão, impermeabilização, cobertura, pavimentos, selagem, colagem, grouting, reforço, reparação estrutural e protecção, em conjunto com inovações na colagem de metais e de fachadas em vidro.

O desenvolvimento destas inovações, no seguimento dos programas de investigação, é da responsabilidade dos onze Centros Tecnológicos Regionais, localizados na Europa, América e Ásia. Alguns produtos e sistemas são desenvolvidos para responder às necessidades dos mercados e a solicitações específicas. O desenvolvimento de produto num dado país é levado a cabo pela companhia Sika local nos seus laboratórios. Estes produtos estão adaptados de forma a cumprir as condições locais, regulamentos e produção. Este processo facilita a optimização dos custos e uma abordagem efectiva aos preços do mercado.

Sustentabilidade e um melhor ambiente são sempre focos chave na inovadora investigação e desenvolvimento de tecnologia da Sika. Alguns exemplos são o contributo para o desenvolvimento de coberturas ajardinadas e as soluções com baixo teor de compostos orgânicos voláteis - COV para pavimentos e revestimentos.

Para além disso, os sistemas de colagem Sika para painéis solares e aerogeradores estão a contribuir para ajudar a produzir uma energia limpa, e os adjuvantes para betão reduzem o consumo de água e as emissões de CO₂. Sika é membro de várias organizações ambientais, tais como a UNEP (United Nations Environment Programme) e a SBCI (Sustainable Buildings and Construction Initiative).

Sika também apoia diferentes projectos “verdes” globais, tais como a rede internacional de lagos *Living Lakes*, organizada pela *Global Nature Fund*.

Sika segue e promove activamente as mais exigentes normas de higiene e segurança, quer relativamente aos seus colaboradores quer aos seus clientes. Sika está envolvida no programa Chemical Industry's Responsible Care desde 1992 e também contribui localmente para muitos programas sociais. A Fundação *Romuald Burkard* foi constituída em 2005 pela maioria dos sócios familiares, descendentes de Kaspar Winkler, para providenciar apoio directo a projectos seleccionados nos âmbitos social e ecológico, em países emergentes.

Em 1957 foi criada em Portugal a Sika Portugal S.A., estando presente em todo o país e contando com três delegações de apoio – com sede em Vila Nova de Gaia, serviços técnico-comerciais em Lisboa e a unidade produtiva e logística em Ovar.

A Sika Portugal S.A., reconhece a importância da Qualidade nos seus produtos e serviços. Como empresa orientada por uma boa conduta de sustentabilidade e responsabilidade social, demonstra a sua preocupação com o meio ambiente na participação activa em vários compromissos ambientais. Apresentam-se a seguir as áreas em que a Sika desenvolve a sua actividade.

1.1.1 Produção de betão

Onde quer que um edifício ou uma estrutura de engenharia civil esteja a ser construída com recurso a betão, Sika tem um comprovado registo de sucesso. Com adjuvantes inovadores e aditivos para melhorar a qualidade e a trabalhabilidade do betão e cimento, Sika possui uma extensa gama de produtos para soluções aprovadas e rentáveis.

Sika é também um parceiro de confiança no sector do betão pronto, na área da prefabricação e no betão feito em obra.

Desde 1910, Sika esteve sempre na vanguarda da qualidade relativamente aos adjuvantes e aditivos para betão e argamassas.

Como líder tecnológico nas soluções para betão e cimento, Sika concentra os seus esforços na satisfação das novas necessidades do mercado e no cumprimento das novas regulamentações e exigências ecológicas.

A tecnologia Viscocrete® foi um dos últimos desenvolvimentos de sucesso da Sika, uma solução que melhora o desempenho quer do betão fresco quer do betão endurecido.

1.1.2 Impermeabilização

Sika é sinónimo de soluções comprovadas e económicas para impermeabilização, mesmo para os requisitos mais desafiadores. Sika leva em consideração todo o processo de impermeabilização, até ao último detalhe.

As solicitações de impermeabilização mais comuns são as referentes a estruturas abaixo da linha do solo de edifícios, túneis e outras obras de engenharia civil. Sika também disponibiliza soluções para reservatórios de água potável, assim como de estações de tratamento de águas residuais. Sika oferece uma gama única de produtos e sistemas completos, baseada numa extensa experiência, e dá apoio a donos de obra, engenheiros e construtores desde o projecto à construção.

Sika, o líder mundial em impermeabilização, começou a produzir soluções de impermeabilização inovadoras e de elevada qualidade desde 1910.

As tecnologias de impermeabilização Sika incluem:

- o conceito de “caixa-branca”, que combina um betão impermeável com juntas estanques;
- membranas de PVC e FPO, flexíveis e de elevada qualidade;
- revestimentos de poliureia, poliuretano e *epoxy*;
- sistemas de injeção completos;
- argamassas e outras soluções.

Grande parte destas soluções cumprem os mais exigentes requisitos para água potável.

1.1.3 Pavimentos e revestimentos

Sika possui uma longa experiência e uma posição de liderança mundial no fornecimento de soluções para pavimentos, revestimentos e colagem de pavimentos de madeira.

As soluções Sika vão ao encontro das necessidades dos seus clientes e cumprem uma vasta gama de solicitações de acordo com os campos de aplicação: pavimentos Industriais com resistência química e mecânica, especificações para ambientes clean room, espaços comerciais/residenciais com requisitos estéticos elevados e baixa emissão de COV, colagem elástica de pavimentos de madeira para uma acústica melhorada, etc.

As soluções Sika em pavimentos e revestimentos estão baseadas em muitas tecnologias, tais como: resinas de *epoxy*, PUR e PMMA; combinações de diferentes tecnologias de ligantes como o PU e cimento e EP e cimento, para soluções que cobrem todos os tipos de requisitos para aplicações Industriais e comerciais. Os produtos de elevada qualidade Sika são projectados em função das últimas tendências e requisitos, e cumprem com todas as regulamentações e normas.

1.1.4 Protecção anticorrosiva e contra o fogo

Sika dispõe de soluções fiáveis, duráveis e económicas para protecção de estruturas de aço contra a corrosão e fogo. Os produtos Sika também resistem aos efeitos das condições atmosféricas extremas, abrasão mecânica e ataque químico.

Adicionalmente, as soluções Sika apresentam como vantagem a sua longa vida, baixo teor de compostos orgânicos voláteis (COV) e estética.

Sika atingiu sucesso mundialmente na protecção de diversos tipos de edificações, tais como instalações Industriais, infra-estruturas, centrais energéticas, aerogeradores, instalações petroquímicas, etc.

As soluções Sika são baseadas em *epoxy*, poliuretano e outras resinas modificadas, incluindo muitos produtos especializados tais como sistemas com baixo teor de compostos orgânicos voláteis e sistemas de espessura elevada, para reduzir os custos de aplicação.

Os revestimentos de protecção anti-fogo para o aço podem também ser aplicados noutros materiais, tais como betão armado e estruturas de madeira. Estes revestimentos intumescentes expandem em situações de incêndio para criar uma camada de isolamento contra as altas temperaturas. As soluções de elevada qualidade Sika cumprem os mais exigentes requisitos normativos, quer nacionais quer internacionais, incluindo a ISO EN 12944.

1.1.5 Reparação, protecção e reforço de betão

Desde a fundação da companhia, Sika foi sempre associada à reabilitação do betão, tendo desenvolvido procedimentos fundamentais e soluções pioneiras para reparação e protecção permanente de betão enfraquecido ou danificado.

Sika foi o primeiro fabricante a desenvolver e introduzir no mercado mundial a fibra de carbono para reforço das estruturas de betão. As suas competências para produzir soluções inovadoras como esta significam que, actualmente, Sika é um líder de mercado na área da manutenção e reabilitação do betão.

Sika produz soluções para reparação de betão que podem ser usadas mundialmente, uma vez que cumprem todas as normas relevantes, orientações, requisitos locais e outras recomendações. A Sika sabe que os seus clientes procuram produtos simples de utilizar mas com valor acrescentado, pelo que desenvolve internamente testes e procedimentos para melhor controlar o desempenho prático e a qualidade dos seus produtos.

Sika é um líder mundial em argamassas de reparação e revestimentos de protecção para betão, argamassas especiais para aplicações extremas ou muito exigentes e sistemas de reforço estrutural com recurso a fibras de carbono.

1.1.6 Colagem estrutural e vazamento (grouting)

Já nos anos 60 a Sika estava activamente envolvida na produção de soluções para a colagem de elementos de pontes em betão pré-esforçado. Esta experiência pioneira na tecnologia de colagem é ainda hoje amplamente usada mundialmente. As colas Sika são usadas em diferentes áreas da construção e edificação, assim como em aplicações Industriais e fabris.

Sika oferece uma vasta gama de argamassas fluidas de base cimentosa ou à base de resinas sintéticas. Estas argamassas, que podem ser vazadas ou injectadas, são usadas para fixar elementos prefabricados ou para o enchimento de placas-base e de maciços para maquinaria. As características fluidas das argamassas de *grouting* são ideais para o enchimento de pequenas aberturas e espaços ociosos, assim como para proteger os cabos de pré-esforço nas bainhas ou nos pontos de ancoragem.

Procedimentos únicos de controlo de qualidade permitem à Sika produzir soluções por todo o mundo com a mesma qualidade e desempenho. Os produtos com mercado global têm a sua origem num departamento de investigação e desenvolvimento centralizado, complementado com competentes centros de pesquisa regionais para introdução nos mercados locais. Estes centros testam e adaptam os produtos por forma a que sirvam requisitos locais específicos.

Os últimos desenvolvimentos Sika incluem colas à base de polímeros, grouts cimentosos ou à base de polímeros, colas com efeito de amortecimento para carris e grouts de injeção para estruturas pós-tensionadas.

1.1.7 Selagem de juntas

Sika disponibiliza uma gama completa de selantes de juntas elásticos, para edificações e outras estruturas de engenharia civil. A gama actual de produtos foi adaptada para uma variedade de situações baseadas em mais de 60 anos de experiência. Sika fornece não só soluções para selagem de juntas com elevada capacidade de movimento em fachadas, mas também soluções para pavimentos em zonas de elevado tráfego com resistência química e mecânica. Sika dispõe também

de uma vasta experiência em juntas de selagem para sistemas de esgotos, que necessitam de ser especialmente formulados para uma máxima resistência a químicos, microrganismos, pressão mecânica, abrasão, etc.

Selantes para diques e bacias de retenção para contaminantes são também uma especialidade da Sika.

Sika desenvolve, produz e fornece globalmente todos os diferentes tipos de soluções de selagem de elevada qualidade, e é reconhecida como um líder global de mercado e tecnologia em selantes elásticos de poliuretano. Sika disponibiliza sistemas baseados em poliuretano (PU), híbridos de poliuretano (AT), silicone e acrílicos, assim como todos os produtos auxiliares necessários, tais como primários e agentes de limpeza.

Com o suporte local da Sika, é oferecida a solução mais fiável, eficiente e económica para cada requisito de selagem e exigência normativa.

1.1.8 Fachadas de vidro e aço

Sika fornece soluções económicas, sustentáveis e de elevado desempenho para impermeabilização, selagem e colagem de fachadas.

Os produtos Sika cumprem diversos critérios relativamente ao projecto e desempenho das fachadas, incluindo normativas ecológicas para o controle de temperatura interior e consumo de energia. Sika oferece soluções mesmo para as situações mais complexas, e trabalha de perto com os projectistas, construtores e aplicadores na optimização da escolha do produto. Sika é o líder global e parceiro ideal para o sector das fachadas e do vidro.

Sika é o líder tecnológico global no desenvolvimento de soluções para a colagem estrutural de janelas, em cooperação com os fabricantes de sistemas de janelas e os fabricantes de maquinaria para o sector. Sika fornece uma gama de produtos de elevada qualidade composta por cola e selantes para janelas e vidro estrutural, assim como juntas primárias de butil e selantes secundários de silicone e poliuretano para vidro duplo.

Sustentada por equipas de serviço técnico fiáveis e bem fundamentadas, Sika tem o sistema ideal que vai ao encontro das necessidades dos clientes.

1.1.9 Coberturas

As soluções Sika impermeabilizam as coberturas e cumprem outros requisitos adicionais, tais como resistência mecânica e aos raios UV, flexibilidade com o frio e estabilidade com tempo quente, resistência à força do vento, etc. Com experiência e sucesso em todo o tipo de aplicações e tipologia de edifícios, as soluções Sika para coberturas são adequadas para aplicação na maioria dos substratos e formas de telhado (plano, curvo, em patamares). Competentes no fornecimento de soluções comprovadas a longo prazo para coberturas com as mais diversas utilizações, coberturas com requisitos estéticos especiais e coberturas solares, sendo também especialistas comprovados em todo o tipo de reabilitação de coberturas.

Sika é claramente o nº1 a nível mundial ao nível da tecnologia para material de cobertura, incluindo membranas flexíveis de elevada qualidade (PVC e FPO) que podem ser fixadas mecanicamente, coladas ou flutuantes e membranas líquidas baseadas na tecnologia de poliuretano monocomponente de elevado desempenho, permitindo uma fácil aplicação de forma mecânica ou manual, dependendo da configuração do telhado e dos detalhes existentes. (Sika, 2010).

1.2 Apresentação do estágio

O estágio desenvolvido na Sika Portugal, S.A., foi de carácter profissional, fruto do prémio atribuído como 1ª classificada no Concurso Nacional Sika Academy – Soluções de Reabilitação e Responsabilidade Social, que propunha aos concorrentes a escolha de uma IPSS enquadrada e listada pela Sika para desenvolver, numa fase inicial, um projecto preliminar e numa segunda fase a elaboração de um projecto de reabilitação para a IPSS escolhida.

O estágio teve uma duração máxima de 9 meses e a vencedora foi integrada no Departamento Técnico e de Marketing (DTM) onde foram desenvolvidos trabalhos de carácter técnico como a especificação técnica, desenvolvimento de estudos e realização de ensaios. Acompanhamento de obras de pequena e grande dimensão, esclarecimento de dúvidas e formação aos clientes. Actualização de informação técnica e desenvolvimento de outras para apoio aos técnico-comerciais da Sika. Todas estas actividades incidiram nas várias áreas que a Sika dispõe permitindo o desenvolvimento de capacidades muito alargadas e com componente científica.

1.3 Apresentação do ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

Foi fundado em 1852, no período de ascensão do liberalismo português, pela força de uma ideia de progresso: Portugal, país com uma estrutura predominantemente rural e de serviços, precisava de dar um passo em frente. Foi Fontes Pereira de Melo, ministro das Obras Públicas, do Comércio e da Indústria, quem lançou o primeiro sistema público de ensino Industrial, assente na ideia de educação para o desenvolvimento, onde a nossa matriz, a Escola Industrial do Porto foi uma das duas primeiras, em confronto com a Academia Politécnica, cuja referência era o modelo elitista, acadêmico e retórico da Universidade de Coimbra que, incapaz de responder às necessidades emergentes, vinha sendo contestado pelos intelectuais mais esclarecidos.

Em 1864, sob a égide do Ministro Conselheiro João Chrysostomo de Abreu e Sousa, efectua-se uma ampla reforma e expansão do ensino Industrial. O ensino "superior" Industrial é, então, dividido em duas partes: a primeira, incluía formação geral comum a todas as artes, ofícios e profissões Industriais, integrando duas componentes: o ensino teórico, ministrado na Escola, e o ensino prático, ministrado nas oficinas do Estado ou, sob acordo, em fábricas particulares; a segunda incluía o ensino especializado de certas artes e ofícios, e também de diversos serviços públicos tais como obras públicas, minas e telégrafos.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

No âmbito desta reforma a Escola Industrial passa a Instituto Industrial do Porto , formando "mestres", "condutores" e "directores de fábrica".

Em 1881, durante a visita ao Porto do Rei D. Luís, o então Ministro do Reino Tomás Ribeiro, e o Ministro das Obras Públicas Rodrigues de Freitas, propuseram a fusão das duas escolas de topo do ensino Industrial - a Academia Polytechnica do Porto e o Instituto Industrial do Porto - numa só, denominada Instituto Polytechnico do Porto.

O Conselho Escolar, considerando que tal projecto era contrário ao seu percurso histórico - recusa o projecto de fusão com a Academia Polytechnica, assim dando corpo a uma cultura institucional que perdura até hoje: ensinar, não só, o saber conhecer, mas, também, o saber fazer.

Durante todo o período da I República discutiu-se se Portugal deveria ser, essencialmente, um país de indústrias ou um país agrícola, diluindo-se nesta indecisão a definição de uma política Industrial que se ia afirmando no exterior. E o advento do Estado Novo não altera significativamente o *status quo*. Mantém-se assim uma situação de grande indefinição, que há-de perdurar até quase aos nossos tempos.

A estrutura do ensino Industrial reflectirá isso mesmo: só entre 1947 e 1950 se redefine o papel dos Institutos Industriais no âmbito de uma reformulação do ensino Industrial, colocando-os no vértice da estrutura de ensino Industrial, classificando o seu ensino de "técnico médio no ramo Industrial", tendo como objectivo a formação de agentes técnicos de engenharia em todas as especialidades clássicas, dotados de um perfil que lhes possibilita a entrada directa no sistema produtivo no desempenho das funções operacionais de topo necessárias ao nascente desenvolvimento Industrial.

Em 1974, através do decreto-lei 830/74 de 31 de Dezembro converteram-se os Institutos Industriais em Institutos Superiores de Engenharia.

No preâmbulo deste decreto-lei reconhece-se que "os Institutos Industriais são escolas com um longo passado que formaram gerações de profissionais que, indiscutivelmente, deram um fundamental contributo para o desenvolvimento da indústria portuguesa".

É pois no âmbito deste reconhecimento que os Institutos são inseridos na estrutura do ensino superior, como Escolas independentes dotadas de personalidade jurídica e autonomia administrativa, convertendo-se o Instituto Industrial do Porto no actual Instituto Superior de Engenharia do Porto, habilitado à concessão, entre outros, dos graus de bacharel e de licenciado em engenharia, a que correspondem os títulos profissionais de engenheiro técnico e engenheiro. Em 1989 o Instituto Superior de Engenharia do Porto é integrado no subsistema de Ensino Superior Politécnico, passando o seu modelo de formação a integrar dois cursos distintos: o bacharelato, com a duração de três anos, e os Cursos de Estudos Superiores Especializados, com a duração de dois anos e acesso por concurso documental, que, em conjunto com um bacharelato com ele coerente, conferia o diploma de licenciatura.

Em 1998, no âmbito de uma nova reforma do ensino superior politécnico, o ISEP passa a ministrar as actuais licenciaturas bietápicas, caracterizadas pela sua estruturação em dois ciclos - o

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

bacharelato com a duração de três anos - o que possibilita a inserção no mercado de trabalho, seguido de um segundo ciclo de dois anos - frequentado essencialmente em regime pós-laboral - para a obtenção da licenciatura.

Em 2006, por força da adesão de Portugal à Declaração de Bolonha, o ISEP disponibilizará um novo Plano de Estudos, constituído por licenciaturas e mestrados nas diversas áreas da Engenharia, assim iniciando um novo ciclo da sua já longa história.

Em 2008, Aníbal Cavaco Silva, Presidente da República Portuguesa, enaltece a qualidade do trabalho desenvolvido no ISEP, durante o Roteiro para a Ciência. A passagem pelo ISEP constitui a primeira visita oficial de um chefe de Estado português a um instituto politécnico. O ISEP atribui o primeiro grau de mestre pós-Bolonha. Perpetua-se o lema "Saber Fazer". (ISEP, 2012)

Nesta Instituição de Ensino Superior foram aprendidos e desenvolvidos conhecimentos científicos, foi recebida preparação para o mercado de trabalho e atribuídos graus de conhecimento. Uma Instituição de Ensino irá reflectir-se em cada aprendiz, além dos conhecimentos científicos, a disciplina e rigor serão ferramentas que ao longo dos percursos académicos são recebidos e desenvolvidos para que sejam aplicados nas áreas para que somos formados.

1.4 Justificação dos estudos apresentados

Neste relatório são apresentados dois estudos, um relativo à avaliação do estado de conservação de fachadas no território nacional com recurso ao Método de Avaliação do Estado de Conservação de Imóveis (adaptado) e ainda o estudo do comportamento ao arrancamento de elementos de aço colados com resina *epoxy* a provetes de pedra natural.

A avaliação do estado de conservação de fachadas desenvolveu-se no âmbito do estágio profissional na Sika Portugal S.A., com vista a conhecer o comportamento das soluções anteriormente preconizadas e verificar a adequabilidade destas às condições ambientais a que se encontram expostas, à funcionalidade pretendida, cumprimentos das exigências funcionais das fachadas e verificar ainda se os problemas apresentados foram resolvidos com a solução aplicada.

Foram seleccionadas 100 obras reabilitadas com produtos Sika® e foi adaptado o Método de Avaliação do Estado de Conservação de Imóveis às fachadas. Procurou-se enquadrar o mesmo método de análise e cálculo daquele método mas com as condições relevantes identificadas para as fachadas, conforme demonstrado adiante neste relatório.

Quanto ao estudo da aderência entre superfícies de pedra natural e resina *epoxy* e elementos de aço e resina *epoxy*, foi realizada uma campanha de ensaios no Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Estes ensaios consistiram em avaliar comportamento ao arrancamento de elementos de aço colados com resina *epoxy* a provetes de pedra natural no âmbito do projecto «Presstone» recentemente iniciado com financiamento da

ADI (QREN), coordenado por Prof. Eng.º Doutor Rui de Sousa Camposinhos, com vista ao desenvolvimento de um protótipo «Sistemas de Fachada em Pedra Natural Pré-esforçada».

“O sistema resulta da fabricação e da pré-montagem de painéis em pedra natural previamente serrados. O pré-esforço é aplicado concentricamente através de varões ou parafusos de alta resistência em aço inox.

Pretende-se que os painéis tenham espessura adequada para que possam ser facilmente elevados sem auxílio de meios mecânicos especiais. Os painéis ao serem pré-esforçados unem-se por compressão nos bordos formando um sistema composto de comportamento monolítico. A sua resistência é controlada para suportar as acções horizontais e possuem rigidez/ massa para que as vibrações induzidas pelo vento ou outros agentes não produzam efeitos de ressonância e estejam dentro de limites internacionalmente aceites.

A definição e escolha do tipo de pedra, as técnicas de execução, a modulação dimensional, o método de fixação e instalação dos respectivos componentes fizeram parte das actividades de investigação e desenvolvimento. As peças e elementos foram dimensionados de acordo com as capacidades e limitações do tipo de pedra. Os métodos e técnicas de fixação são concebidos de forma a resistir a todas as acções a que o conjunto estará sujeito ao longo do período de vida útil dos edifícios.” (COMPETE, 2012)

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Capítulo 2 – Avaliação do Estado de Conservação de Fachadas

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

1 Avaliação do estado de conservação de fachadas

1.1 Paradigma da Reabilitação em Portugal

Na Europa ⁽¹⁾ foi avaliado o volume de produção dos trabalhos de reabilitação de edifícios residenciais. Verifica-se que o valor terá rondado os 263 mil milhões de euros no ano de 2009, tendo tido na Alemanha a maior expressão com cerca de 76 mil milhões de euros, segundo o relatório da FIEC, 2009 (Federação da Indústria Europeia da Construção).

À Alemanha juntam-se a Itália, Espanha, França e Reino Unido que são responsáveis por 82% da produção de trabalhos de reabilitação e com 68% da população Europeia ².

Do grupo atrás referido, 23% dos trabalhos de construção são de reabilitação de edifícios residenciais, observando-se que entre todos os países Europeus existe alguma discrepância relativa à realidade do sector, como se pode observar no gráfico que se segue:

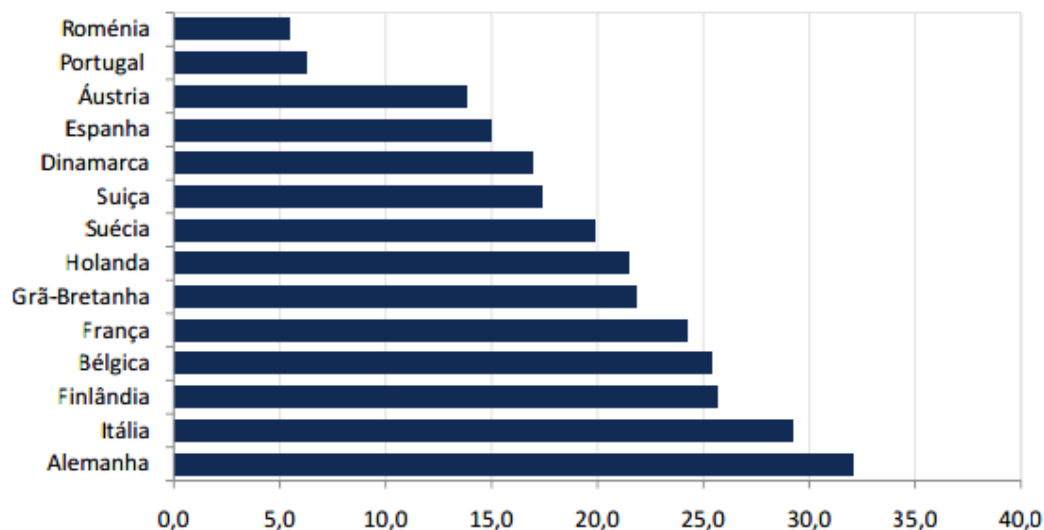


Figura 1 - Peso da Reabilitação Residencial na Produção Total da Construção (%), 2009 Fonte;FIEC, AECOPS

De acordo com o gráfico, que representa a quantidade de intervenções de reabilitação realizadas face à construção nova, verifica-se que em Portugal a expressão dos trabalhos de reabilitação de edifícios residenciais é muito reduzida quando comparada com a Alemanha que, do grupo de países referidos, apresenta a maior percentagem de trabalhos de reabilitação de edifícios residenciais.

De salientar será a alteração da taxa de variação média anual da produção da construção para o ano em questão que estará em 0,3% em Portugal. No mesmo ano assistiu-se à quebra acentuada na construção nova de edifícios residenciais.

A reter será o facto de países como a Alemanha e Itália que, apesar de apresentarem valores entre 27% e 33% no peso da reabilitação na produção total da construção conclui-se que a variação

¹ Os países considerados para a apresentação dos dados foram: Alemanha, Espanha, Grã-Bretanha, França, Itália, Holanda, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Finlândia, Suécia, Portugal, Roménia e Suíça.

² O mesmo grupo referido na nota (1)

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provets De Pedra Natural

média anual da construção total e reabilitação residencial decresceu, ou seja, o mercado da construção nestes países é sustentado pelas obras de reabilitação que ali se desenvolvem.

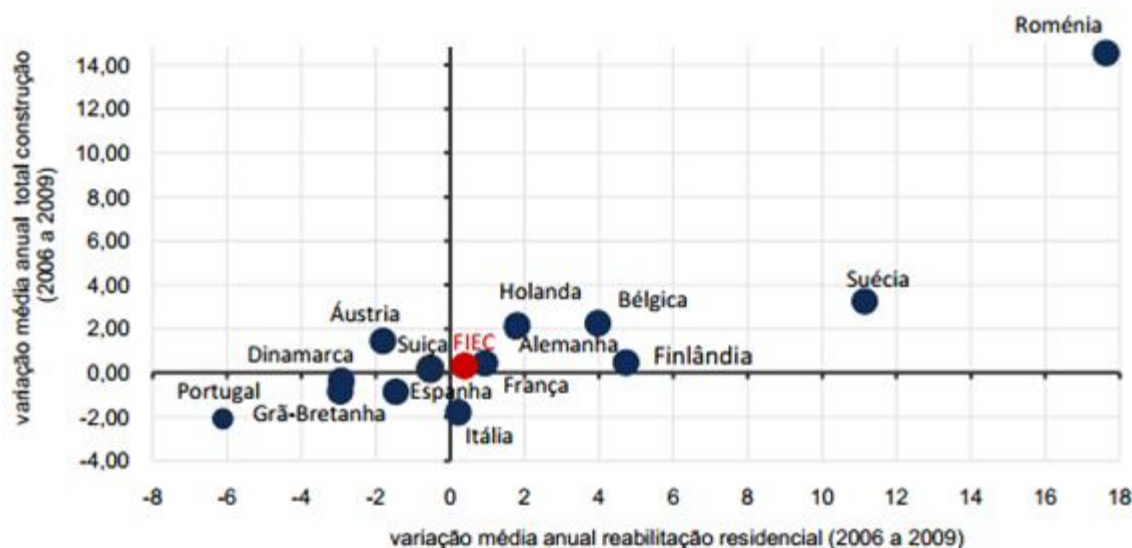


Figura 2 - Variação média anual da Construção Total e Reabilitação Residencial (%), entre 2006 e 2009; Fonte: FIEC, AECOPS

Em Portugal verifica-se o decréscimo do desempenho económico em trabalhos de reabilitação (reparação e manutenção) devido à falta de investimento. De acordo com os dados fornecidos pelo INE verifica-se que os trabalhos de reparação e manutenção têm pouca relevância quando comparados com o total dos trabalhos da construção. Ainda se constrói mais em Portugal do que se reabilita.

A inexistência de um mercado de arrendamento eficaz resultado do congelamento de rendas que se verificou durante décadas em Portugal, bem como os regimes jurídicos até então aplicados explica parte da degradação dos edifícios pela mobilidade dos cidadãos e das empresas, aumentando assim a necessidade de construção nova ao invés da reabilitação das habitações existentes.

O alargamento à banca comercial do financiamento à aquisição de habitação e pelos valores baixos da taxa de juros levaram à situação insustentável que atravessamos actualmente no mercado da construção, onde existe uma percentagem elevada de proprietários mas sem desenvolvimento económico e viável para a necessidade de reabilitação. Com estas medidas verificou-se o acentuado crescimento da produção de novos fogos habitacionais e, dada a rapidez com que se construiu, verificou-se a longo prazo a existência de deficiências e a rápida necessidade de realizar intervenções de reparação e manutenção nos edifícios. No entanto, a conjuntura e recessão económica não permitem que existam formas de investimento para a realização destas intervenções.

Coloca-se assim em questão a segurança e bem-estar quando não é garantida a manutenção e estado de conservação dos edifícios e infra-estruturas.

1.2 Métodos de Avaliação em Portugal

As metodologias para a determinação do estado de conservação de edifícios normalmente definem procedimentos para a verificação de anomalias nos elementos funcionais constituintes, bem como os equipamentos que dele façam parte. Partindo-se para uma análise sistemática, permitem determinar qual o estado de conservação de acordo com as características atuais quando comparadas com as características do edifício aquando a construção e tendo sempre em linha de conta as exigências funcionais dos elementos na actualidade.

Os resultados obtidos nesta análise permitem identificar a urgência da intervenção bem como a técnica mais adequada para a reparação. Em alguns métodos é ainda possível estimar os custos associados a estas reparações ou ainda a renda associada (máxima ou não) caso se proceda à reparação.

Em Portugal propõem-se os seguintes métodos para esta análise:

- Método de Avaliação do Estado de Conservações de Imóveis (MAEC);
- Avaliação do estado de conservação de imóveis com rendas condicionadas (Rendas Condicionadas);
- Definição do estado de conservação de imóveis no âmbito do Código do Imposto Municipal Sobre Imóveis (CIMI);
- Metodologia de Certificação das Condições Mínimas de Habitabilidade (MCH);
- Metodologia de diagnóstico exigencial de apoio à reabilitação de edifícios de habitação (MEXREB);
- Método de Avaliação das Necessidades de Reabilitação (MANR);
- Avaliação do estado de conservação de edifícios de habitação a custos controlados (Habitação a custos controlados).

Nos métodos atrás referidos, apesar de todos eles visarem a avaliação do estado de conservação, os resultados finais e objectivos são distintos, assim como os campos de aplicação.

O MANR distingue-se dos restantes métodos pelo seu âmbito – edifícios de génese ilegal; todos os outros métodos têm como âmbito de aplicação edifícios habitacionais podendo ser o campo mais restrito ou alargado. A título de exemplo o MAEC é aplicado a locados habitacionais e não habitacionais, o método Rendas condicionadas aplica-se a locados habitacionais com rendas condicionadas; CIMI aplica-se a prédios urbanos destinados a habitação, comércio, indústria e serviços; o MCH a locados habitacionais; o MEXREB a edifícios habitacionais recentes (5-25 anos); habitação a custos controlados aplica-se a edifícios habitacionais de custos controlados arrendados. Pode-se dizer que a inspecção visual e as ponderações são transversais a todos os métodos bem como a avaliação de elementos construtivos e equipamentos, distinguindo-se entre os métodos a subdivisão dos níveis de degradação e os critérios de avaliação. Nos restantes métodos os resultados apresentados são com base numa média ponderada das avaliações aos elementos construtivos por sua vez o MAEC recorre à média ponderada com regras de correcção de desvios excessivos.

1.3 Método de Avaliação do Estado de Conservação de Edifícios - MAEC

O Método de Avaliação do Estado de Conservação de Edifícios – MAEC, avalia o estado de conservação do imóvel e verifica a existência de infra-estruturas básicas. Para determinar o estado de conservação do edifício são comparadas as condições dos elementos funcionais do edifício aquando da inspeção visual e as condições que poderia proporcionar aquando da sua construção ou última intervenção sofrida.

O desenvolvimento deste método visou a possibilidade de:

1. Determinar o estado de conservação de imóveis habitacionais e não-habitacionais e a existência de infra-estruturas básicas numa escala de cinco níveis;
2. Apresentar resultados que traduzam com rigor o estado de conservação do imóvel e sejam tão independentes quanto possível do técnico avaliador;
3. Avaliar a generalidade dos tipos de imóveis independentemente do uso, da data de construção, dos processos construtivos, da localização, do custo, das dimensões, etc.;
4. Ser aceite pelos intervenientes no sector do arrendamento;
5. Ser aplicado por Arquitectos ou Engenheiros que participem em acções de formação de curta duração;
6. Garantir que os resultados a atingir e a forma como foram obtidos são facilmente compreendidos;
7. Constituir um encargo socialmente aceitável.

Este método considera uma escala de ponderações de acordo com a importância do elemento para o funcionamento do edifício. Da análise de uma ficha de avaliação, rapidamente se compreende que o elemento funcional estrutura é o único que na escala de ponderação considerada pelo método é classificado com valor 6, isto pela importância que estes elementos representam relativamente à segurança dos utentes do edifício, e os restantes elementos funcionais.

Na prossecução de uma maior eficiência, procura-se com este método que a avaliação resultante não seja influenciada pelo técnico avaliador.

A estrutura de uma ficha de avaliação é a seguinte:

A – Identificação;

B – Caracterização;

C – Anomalias de elementos funcionais;

D – Determinação do Índice de anomalias;

E – Descrição de sintomas que motivam a atribuição de níveis de anomalias “graves” e/ou “muito graves”;

F – Avaliação;

G – Observações;

H – Técnico.

O MAEC está subdividido em 3 partes principais (edifícios, outras partes comuns, e locado), num total de 37 elementos funcionais, com ponderações que variam entre 1 e 6, correspondendo o valor

6 a elementos funcionais muito importantes (exemplo: estruturas) e o valor 1 a elementos funcionais pouco importantes (exemplo: instalação de evacuação de lixo).

1.4 Âmbito do estudo

O estudo desenvolvido contempla a avaliação de fachadas de edifícios que tenham sofrido intervenções de reabilitação no período entre os anos 2000 e 2007, e onde tenham sido aplicadas soluções Sika® para protecção e/ou impermeabilização de fachadas. O objecto visa a determinação da adequabilidade das soluções preconizadas tendo em conta parâmetros como sejam as condições ambientais locais na aplicação até à actualidade, características físicas, químicas e mecânicas dos materiais aplicados, qualidade do processo de aplicação, estrutura do sistema, entre outros factores que possam afectar o desempenho e durabilidade das soluções.

Foram seleccionadas, de acordo com os requisitos acima citados, 100 obras onde tenham ocorrido intervenções a nível das fachadas e tendo-se procurado encontrar intervenções que tenham ocorrido em diferentes regiões do País para que fosse possível avaliar os efeitos do meio ambiente em função do tempo nas soluções Sika®, bem como a adequabilidade e durabilidade das soluções tendo em conta a região.

1.5 Evolução na concepção de fachadas em Portugal

As tecnologias de fachadas de edifícios têm vindo a sofrer evoluções significativas nas últimas décadas por forma a responderem às diferentes exigências ao longo das épocas. Até aos anos 40 do século passado as fachadas eram construídas em blocos de pedra. A partir dos anos 50 começaram a surgir as paredes duplas constituídas por um pano em blocos de pedra de menor espessura e outro pano em tijolo de barro vermelho. Nos anos 60 começaram a aparecer alguns movimentos modernos de pré-fabricação. Pela sua leveza e rapidez na montagem, as fachadas passaram a ser constituídas por paredes duplas em tijolo vazado, tendo o pano exterior maior espessura que o pano interior. Nos anos 70 a espessura do pano exterior terá sofrido uma redução na sua espessura.

Nos anos 80, devido às novas exigências energéticas, iniciou-se a utilização de isolamento térmico nas caixas-de-ar entre os panos interior e exterior das fachadas. No entanto, os problemas térmicos estavam longe de ser resolvidos uma vez que o isolamento efectuado até à data referida existia apenas nas zonas de alvenaria, não existindo qualquer isolamento na estrutura e nas ligações entre os panos e a estrutura, dando origem a problemas com as pontes térmicas.

No início dos anos 90, com a entrada em vigor do RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios, surgiram diversas soluções construtivas para a resolução/diminuição destas questões térmicas – pontes térmicas. No entanto, devido à complexidade de execução de fachadas de alvenaria dupla com isolamento na caixa de ar, deu-se início a sistemas de isolamento pelo exterior – ETIC de modo a ser possível atingir níveis de

qualidade aceitáveis, ou ainda a construção de fachadas com apenas um pano e com isolamento pelo interior verificando-se neste casos que a eficiência energética não superava o isolamento pelo exterior, apresentando para todos os efeitos maior durabilidade da solução uma vez que o isolamento térmico não estava exposto a condições ambientais agressivas.

1.6 Adaptação do método

O estudo desenvolvido incide sobre as fachadas, um dos elementos funcionais considerados pelo método (MAEC). Foi necessário adaptar a ficha de avaliação proposta pelo método de acordo com as necessidades. Tendo em conta que apenas um elemento funcional está a ser avaliado foi abandonada a utilização do coeficiente de ponderação relativa a elementos funcionais dos edifícios, que deixaria de fazer sentido. A ponderação é agora feita considerando diferentes elementos que compõem o sistema de fachada e outros elementos que nela sejam incorporados como caixilhos e juntas de dilatação.

De acordo com os pressupostos do estudo os edifícios seleccionados para este estudo terão sido reabilitados num período entre o ano de 2000 e 2007 com produtos e soluções Sika®, sendo o principal objectivo avaliar o estado de conservação dos produtos e soluções, assim como a adaptabilidade dos produtos e soluções à época da intervenção.

Procurou-se nesta adaptação realizar uma análise matemática e encadeada como propõe o método MAEC, tendo sido considerados tipos de anomalias susceptíveis de se verificar e atribuídas classificações de acordo com o grau de deterioração e comprometimento do desempenho da fachada, conforme se apresenta na seguinte tabela:

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* A Provetes De Pedra Natural

Tabela 1 - Anomalias correntes em elementos de fachadas

Zona do edifício	Elemento	Componente	Deterioração	Causa/Manifestação	Cód.
Exterior	Parede exterior	Suporte	Deformação	deslocamentos estruturais	S.1
				carga excessiva	S.2
				concentração de tensões	S.3
			Fissuração	incorrecta ligação entre suporte e elementos estruturais	S.4
				deformação	S.5
				desadequação dos materiais	S.6
			Erro	incorrecta execução das juntas de assentamento	S.7
				deficiente verticalidade	S.8
				outro:	S.9
		Revestimento	Fissuração	assentamento diferencial de fundações	P.1
				concentração de cargas	P.2
				variação do teor de água dos elementos de construção	P.3
				variação da temperatura dos materiais ou elementos de construção	P.4
				deformação excessiva do suporte	P.5
				outro:	P.6
			Deterioração	perda de aderência ao suporte	P.7
				perda de coesão ou desagregação	P.8
				erosão	P.9
				biodeterioração	P.10
			Erro	eflorescência/escorrência	P.11
				outro:	P.12
				desadequação dos materiais	P.13
				outro:	P.14
		Acabamento	Fissuração	variação de humidade ou temperatura	R.1
ascensional	R.2				
infiltração em zona corrente	R.3				
condensação	R.4				
de construção	R.5				
infiltração fortuita	R.6				
infiltração em pontos singulares	R.7				
outro:	R.8				
Deterioração	manchas de sujidade		R.9		
	eflorescência/escorrência		R.10		
	empolamento/descolamento		R.11		
	destacamento/escamação/delaminação		R.12		
	quebra		R.13		
	vandalismo		R.14		
Erro	má utilização/falta de manutenção		R.15		
	outro:		R.16		
	erro de execução		R.17		
	outro:		R.18		
Junta de dilatação	Deterioração	mau dimensionamento da junta	C.1		
		falta de aderência ao suporte	C.2		
		ausência do cordão de fundo de junta	C.3		
		enchimento de junta inadequado às condições locais	C.4		
	Erro	outro:	C.5		
		erro de execução	C.6		
		outro:	C.7		
Caixilho	Humidade	infiltração em zona corrente	C.8		
		condensação	C.9		
		infiltração em pontos singulares	C.10		
		outro:	C.11		
		assentamento diferencial de fundações	C.12		
	Fissuração	deslocamentos estruturais	C.13		
		concentração de tensões nos bordos	C.14		
		erros de execução	C.15		
		outro:	C.16		

Nota: onde se lê outro, o avaliador deve considerar além de outras situações o estado das zonas de ligação entre os diferentes elementos aqui considerados.

1.6.1 Instrução para a aplicação e ficha de avaliação

O “Método de avaliação do estado da conservação de edifícios” (MAEC) visa a determinação objectiva e rigorosa do estado de conservação de edifícios e a existência de infra-estruturas básicas.

O método avalia o estado de conservação relativo às condições que o edifício proporciona aquando da construção ou da última intervenção profunda sofrida, não sendo avaliado o nível de qualidade tendo em conta as actuais exigências.

É rigoroso na medida em que são avaliadas com pormenor as condições dos edifícios durante a vistoria, é objectivo pela insensibilidade que o método apresenta à opinião do avaliador e pelas regras claras e pré-definidas, e é transparente pela fácil compreensão para todos os intervenientes. Pretende-se aplicar às fachadas as mesmas considerações efectuadas na avaliação de edifícios pelo método de avaliação do estado da conservação de edifícios. Para tal, são consideradas possíveis anomalias classificadas com o mesmo critério de avaliação de anomalias utilizado no MAEC, entre muito ligeiras e muito graves que tem uma correspondência numa escala de 1 a 5 valores, de acordo com os critérios definidos na tabela 2 – Classificação de anomalias.

1.6.2 Âmbito de aplicação

A ficha de avaliação destina-se a avaliar o estado de conservação de fachadas, ou seja, o sistema que compõe as fachadas desde o estado do revestimento, que constitui a primeira protecção contra o meio ambiente até ao suporte que garante a sua verticalidade e resistência mecânica.

1.6.3 Limitação da responsabilidade

No MAEC, o estado de conservação é determinado com base na inspecção das anomalias visíveis à data da vistoria ao locado e de acordo com os critérios e regras definidos.

- 1) a avaliação baseia-se na apreciação de um auditor perante as condições observadas no momento da vistoria, admitindo-se que essas condições se podem alterar num curto período de tempo em virtude do modo de utilização dos locados;
- 2) a avaliação baseia-se na observação das condições gerais da fachada de um edifício, admitindo-se que possam existir anomalias prejudiciais ao seu estado de conservação em locados não vistoriados;
- 3) a avaliação não constitui uma garantia da manutenção do estado de conservação do elemento inspeccionado, nem garante que todas as anomalias potencialmente existentes na fachada tenham sido detectadas no decorrer da vistoria e registadas na respectiva ficha de avaliação;
- 4) a avaliação não assegura a satisfação do disposto na regulamentação e na normativa em vigor;
- 5) a avaliação não permite garantir todas as condições mínimas de habitabilidade do locado nem qualificar as condições de conforto, de uso, de aspecto ou de economia, visto que pretende apenas avaliar o estado de conservação do elemento funcional, a fachada.

1.6.4 Procedimento de vistoria

Antes da vistoria

Antes da vistoria, deve ser lida atentamente a ficha de avaliação e as instruções de aplicação. Caso existam dúvidas sobre o procedimento de vistoria ou na interpretação da ficha de avaliação devem ser solicitados esclarecimento.

Durante a vistoria

Durante a vistoria o avaliador deve reunir toda a informação possível de forma a responder objectivamente a todas as questões existentes na ficha de avaliação, deve realizar testes não destrutivos e destrutivos, quando necessário, e no segundo tipo de testes deve solicitar a permissão aos proprietários, deve ainda realizar um registo fotográfico em todas as vistorias, especialmente quando as anomalias sejam classificadas como “graves” ou “muito graves”.

O avaliador pode registar as observações feitas na visita noutro documento que não a ficha de avaliação, ou fazer o preenchimento directo da versão final da ficha de avaliação. Pode também, a propósito desta avaliação e sempre que julgue pertinente, aceder a informações relevantes que se encontrem no projecto, relatórios de inspecção e outros documentos como registos de reparações, ampliações, alterações, entre outros.

No preenchimento da ficha de avaliação

A ficha definitiva pode ser preenchida durante a vistoria ou posteriormente. No preenchimento da ficha definitiva de avaliação, o técnico deve:

- Preencher o cabeçalho da ficha e a identificação do locado;
- Indicar para todos os elementos funcionais um nível de anomalia ou "não se aplica";
- Determinar o índice de anomalias;

Para os elementos funcionais em que for indicado existirem anomalias "graves" ou "muito graves", relatar com precisão os sintomas que motivam essa avaliação e ilustrar o relato com fotografias;

- Aplicar o critério de síntese de resultados;
- Assinar e datar a ficha de avaliação;

Em alguns casos mais relevantes, o técnico deve descrever sucintamente o que foi observado de modo a melhor justificar a classificação atribuída.

No preenchimento da ficha definitiva, o técnico não pode alterar a redacção da ficha de avaliação; responder para além do que é explicitamente exigido na ficha ou rasurar as respostas indicadas na ficha. Após a conclusão do preenchimento, o técnico não pode rasurar, alterar ou acrescentar qualquer informação à ficha definitiva.

1.6.5 Critérios de avaliação

A avaliação das anomalias nas fachadas deve ser realizada de acordo com quatro critérios gerais:

- 1) Consequência da anomalia na satisfação das exigências funcionais;
- 2) Tipo e extensão dos trabalhos necessários para a correção da anomalia;
- 3) Relevância dos elementos da fachada afectados pela anomalia;
- 4) Existência de alternativa para os espaços ou equipamento afectados.

Os dois primeiros critérios referem-se à gravidade da anomalia, e sendo a atribuição da gravidade relacionada aos níveis de anomalia da seguinte forma:

Tabela 2 - Classificação de anomalias

Muito Ligeiras	Ligeiras	Médias	Graves	Muito Graves
Ausência de anomalias ou anomalias sem significado	Anomalias que prejudicam o aspecto , e que requerem trabalhos de fácil execução	Anomalias que prejudicam o aspecto , e que requerem trabalhos de difícil execução		
		Anomalias que prejudicam o uso e conforto e requerem trabalhos de limpeza, substituição ou reparação de fácil execução	Anomalias que prejudicam o uso e conforto e requerem trabalhos de limpeza, substituição ou reparação de difícil execução	
			Anomalias que colocam em risco e saúde e/ou a segurança , podendo motivar acidentes sem gravidade (1), e que requerem trabalhos de fácil execução	Anomalias que colocam em risco a saúde e/ou a segurança , podendo motivar acidentes sem gravidade, e que requerem trabalhos de difícil execução
				Anomalias que colocam em risco a saúde e/ou segurança , podendo motivar acidentes graves ou muito graves (2)

(1) - acidentes sem gravidade são aqueles de que resultem ferimentos ligeiros para as pessoas ou danifiquem bens.

(2) - acidentes graves ou muito graves são aqueles de que resultem ferimentos severos para as pessoas ou coloquem a sua vida em risco.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

O terceiro e quarto critérios referem-se aos elementos da fachada que foram afectados pela anomalia, devendo ser aplicados do seguinte modo:

- relevância do elemento da fachada afectado pela anomalia:
 - se as anomalias mais graves afectarem parte principal do elemento de fachada deve prevalecer esse nível de anomalia
 - se as anomalias mais graves afectarem parte secundária do elemento de fachada, deve ser calculada uma média entre o nível de anomalia da parte principal e da parte secundária, atribuindo menor importância à secundária

Partes principais dos elementos de fachada são considerados:

- Elementos estruturais
- Suporte
- Revestimento
- Acabamento

Partes secundárias dos elementos de fachada são considerados:

- Caixilhos
- Elementos salientes
- Juntas de dilatação

1.6.6 Método de síntese de resultados

Regras

A determinação do estado de conservação do elemento fachada deve ser realizado de acordo com as seguintes regras:

- Deve ser tida em conta a seguinte escala na determinação do estado de classificação do elemento fachada

Tabela 3 - Classificação de Índice de Anomalias e Nível de Conservação

Nível da anomalia	Muito ligeiras	Ligeiras	Médias	Graves	Muito graves
Índice de anomalia	$5,00 \geq IA \geq 4,50$	$4,50 > IA \geq 3,50$	$3,50 > IA \geq 2,50$	$2,50 > IA \geq 1,50$	$1,50 > IA \geq 1,00$
Estado de conservação	Excelente	Bom	Médio	Mau	Péssimo
Nível de conservação	5	4	3	2	1

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

- Não devem existir elementos funcionais de ponderação três, quatro, cinco ou seis cujo estado de conservação, determinado aplicando o respectivo nível de anomalia à escala utilizada na 1.^a regra, seja inferior em mais de uma unidade ao estado de conservação do locado. Caso esta condição não seja satisfeita, o estado de conservação do locado deve ser reduzido para o nível imediatamente superior ao estado de conservação do elemento funcional de ponderação três, quatro, cinco ou seis em pior estado.
- Não devem existir elementos funcionais de ponderação 1 ou 2 cujo estado de conservação, determinado aplicando o respectivo nível de anomalia à escala utilizada na 1.^a regra, seja inferior em mais de duas unidades ao estado de conservação do locado. Caso esta condição não seja satisfeita, o estado de conservação do locado deve ser reduzido para o nível superior em duas unidades ao estado de conservação do elemento funcional de ponderação um ou dois em pior estado.

Cada elemento terá uma ponderação associada e as regras acima descritas devem ser consideradas.

Os elementos considerados para a avaliação do estado de conservação de fachadas são:

- Elementos estruturais
- Suporte
- Revestimento
- Acabamento
- Juntas
- Caixilho
- Elementos salientes

À semelhança do MAEC, aqui são também consideradas ponderações em função de cada um destes elementos constituintes das fachadas, de acordo com a importância que cada um apresenta para o seu bom desempenho e cumprimento de exigências.

As ponderações consideradas, tal como no MAEC, variam entre 1 e 6:

- Elementos funcionais muito importantes – ponderação 5 ou 6;
- Elementos funcionais importantes – ponderação 3 ou 4;
- Elementos funcionais pouco importantes – ponderação 1 ou 2.

No MAEC, apenas os elementos com função estrutural têm classificação 6. Nesta adaptação consideraram-se também os elementos estruturais uma vez que o comportamento e desempenho destes elementos podem afectar as fachadas. Aos elementos em contacto com o exterior é atribuída a classificação 5. Para que se distinga a influência de cada um dos elementos referidos face às exigências funcionais da fachada, nesta adaptação atribuiu-se a cada um dos elementos considerados as seguintes ponderações:

- Elementos estruturais – 6
- Suporte – 4
- Revestimento – 4
- Acabamento – 5

- Juntas – 3
- Caixilho – 3
- Elementos salientes – 3

O **acabamento** de protecção é dos elementos constituintes com maior importância. Este elemento constitui a primeira barreira com o exterior e o desempenho dos restantes elementos está intimamente relacionado com o desempenho deste atribui-se, em consequência uma classificação de 5 a este tipo de elementos.

O **revestimento** representa os materiais de construção que vão receber o revestimento de protecção, como por exemplo, argamassas com características adicionais ou não, cimentos cola, ou outros materiais de acordo com os sistemas de construção encontrado no local que variam em função do suporte e do tipo de revestimento que vão ligar.

Do suporte fazem parte os materiais que contribuem para a planimetria e conferem resistência mecânica ao elemento.

Dos elementos estruturais fazem parte os pilares, as vigas e a ligação com as lajes; estes podem sofrer deslocamentos que afectam gravemente as fachadas originando, por exemplo, ocorrência de fissuração por excesso de carga no suporte da fachada. Bem como nas zonas de ligação entre elementos estruturais e o suporte de fachada que constituem pontos onde normalmente se verificam, por exemplo, infiltrações.

Dos elementos salientes fazem parte lajes de varandas, palas, e outros que sejam avançados relativamente ao plano da fachada, susceptíveis de criar pontos fracos nas zonas de ligação ou possibilitando potenciais pontos de infiltração e sucessiva degradação dos materiais.

Aos caixilhos é atribuída uma ponderação de 3 valores atendendo à importância destes sistemas face ao desempenho da fachada.

1.6.7 Cálculo do Índice de Anomalias

O Índice de Anomalias – IA, é determinado após a inspecção visual e averiguação de todas as possíveis anomalias e gravidade com que estas afectam o elemento para que sejam classificadas de acordo com os critérios e regras indicados nos pontos anteriores.

Este índice é determinado pelo somatório das multiplicações dos critérios associados à gravidade das anomalias pela ponderação correspondente ao elemento, dividindo esse resultado pela soma das ponderações associadas aos elementos considerados na avaliação, de acordo com a seguinte expressão:

$$IA = \frac{\sum(\text{ponderação} * \text{critério})}{\text{ponderação}}$$

O resultado, ou seja, o Índice de Anomalia irá traduzir o estado de conservação do elemento, de acordo com a tabela 3.

1.7 Propostas de melhoria

Para a avaliação apenas de um elemento funcional seria conveniente estudar quais os sistemas de revestimentos de fachadas existentes e determinar qual o tipo de anomalia susceptível de afectar do maior ao menor grau o desempenho da fachada, em função da sua época de construção, condições de exposição, tipologia construtiva e outras definições que alterem a forma de degradação dos materiais.

1.8 Exemplos de aplicação – Caso prático

Ficha de avaliação do nível de conservação de edifícios

___5005___ | ___19___
código do técnico n.º da ficha

A. IDENTIFICAÇÃO

Rua/Av./Pc.: Igreja Foz Velha – Largo da Igreja

Núm /Andar: Localidade: Porto Código postal: 4150 -400.....

Distrito: Porto Concelho: Porto Freguesia: Foz do Douro

Dono de obra: Padre Joaquim Projetista: Empreiteiro:

Contactos:

B. CARACTERIZAÇÃO

N.º de pisos do edifício	N.º de unidades do edifício	Época de construção	Tipologia estrutural	N.º de divisões do locado
0 2	_ _	__Séc. XVIII__	_____	_ _

C. CLASSIFICAÇÃO ELEMENTOS

FUNCIONAIS (INTERVENZIONADOS)

Elemento - Fachada	Intervenções					Não se aplica	Ponderação	Pontuação	
	Muito ligeiras (5)	Ligeiras (4)	Médias (3)	Graves (2)	Muito graves (1)				
1. Elementos estruturais	×	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 6 =	__30__	
2. Suporte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	×	x 4 =	_____	
3. Revestimento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	×	x 4 =	_____	
4. Acabamento	<input type="checkbox"/>	×	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x 5 =	__20__	
5. Juntas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	×	x 3 =	_____	
6. Caixilho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	×	x 3 =	_____	
7. Elementos saliente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	×	x 3 =	_____	
Total das pontuações									50
Total das pontuações atribuídas aos elementos funcionais aplicáveis							11		
Índice de anomalias									4,54(54)

D. ESTADO ATUAL DOS ELEMENTOS FUNCIONAIS

Número do elemento funcional	Descrição:	Identificação das fotografias ilustrativas
------------------------------	------------	--

4	<p>As fachadas do edifício são rebocadas e pintadas, tendo-se verificado a interposição de rede de fibra de vidro na argamassa (não estava preconizado) e pintura texturada. Após 8 anos de exposição severa dada a proximidade do mar verifica-se ainda a acção da impregnação hidrofóbica aplicada.</p>	_1_
-----	---	-----



Figura 3 - Igreja da Foz do Douro (Foz Velha)

5	<p>Os remates e ligações entre elementos e fachada não foram devidamente executados permitindo infiltração de água por estes pontos. Junto ao pavimento, observa-se armadura à vista (fibra de vidro) não existindo qualquer elemento que assegure a impermeabilização e protecção da fachada.</p>	_2_
-----	--	-----

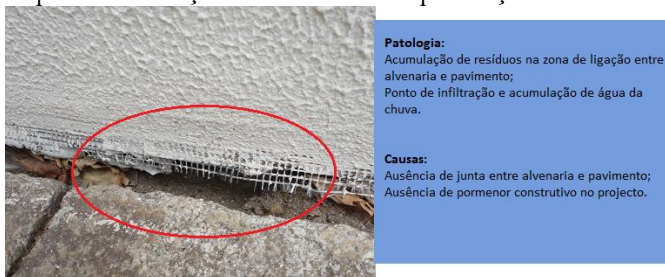


Figura 4 - Imagem elucidativa da anomalia verificada em remates



Figura 5 - Imagem elucidativa de anomalia verificada em zona de ligação

5	<p>O refechamento das juntas com argamassa aditivada com Sika®latex</p>	_3_
-----	---	-----

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

apresenta bom estado de conservação e capacidade de impermeabilização.....

E. AVALIAÇÃO

Com base na observação das condições presentes e visíveis no momento da visita declaro que:

O estado de conservação (após intervenção):

Excelente ×

Bom Médio Mau Péssimo

Existem situações que constituem grave risco para a segurança e saúde públicas e/ou dos residentes:

Sim

Não ×

F. OBSERVAÇÕES

Fez-se pequeno teste para verificar a aplicação de Sikagard® 700 S, verificou-se o escorrimento de água na superfície dos blocos em pedra e alvenaria pintada. Na alvenaria não se verifica a formação de película à superfície podendo ter um efeito mais duradouro neste elemento, uma vez que a profundidade de penetração é superior que nos blocos de pedra.

No interior verifica-se o aparecimento de humidade junto à cobertura principalmente em vãos extremos e na ligação de vãos.

Conclusão: Foram seguidas as condições de aplicação definidas na especificação técnica e fichas de produto, excepto na ligação entre a alvenaria e outros elementos. Todos os pontos intervencionados apresentam excelente estado de conservação mesmo face às condições marítimas agressivas. Tendo em conta outras avaliações realizadas conclui-se que a aplicação especializada tem grande influência na durabilidade das soluções aplicadas.

Anexos: Fotografias.....

G. TÉCNICO

Nome do técnico: Joana Almeida.....

Data de visita:

Assinatura: _2012_|_08_|_30_

Proposta de melhoria: para o caso apresentado, especificamente na zona de ligação entre o revestimento de alvenaria e os blocos de pedra deveria ter-se realizado uma pequena junta, recorrendo a um mastique com resistência aos UV, sais, rasgo e com características de resistência mecânica que absorvessem os movimentos provocados pelos diferentes coeficientes de dilatação da argamassa de revestimento e da pedra. Com este pormenor técnico seria evitada a infiltração de água nestes pontos melhorando o comportamento e aumentando a durabilidade da fachada.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Capítulo 3 – Durabilidade dos materiais e das intervenções

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

2 Durabilidade dos materiais e das intervenções

A durabilidade dos materiais aplicados na construção civil depende de vários factores que determinam o seu comportamento e posteriormente o seu estado de conservação. Assim, caracteriza-se a durabilidade dos materiais como a capacidade destes manterem determinado desempenho ao longo do tempo e em função da utilização preconizada. Encontram-se aqui intimamente ligados os conceitos de funcionalidade e ciclo de vida dos materiais. A funcionalidade abarca as características de resistência mecânica, física, química, entre outros; por sua vez o ciclo de vida útil caracteriza-se pelo tempo durante o qual os materiais desempenham as suas funções. Estes conceitos implicam maior ou menor durabilidade das soluções, um material que não apresente características para desempenhar determinada função pode colocar em causa a durabilidade do sistema construtivo, com consequente redução do ciclo de vida útil.

O ciclo de vida de um produto tem em conta várias fases que vão desde a extracção e o processamento de matérias-primas, o fabrico, o transporte e a distribuição, o uso, a aplicação do produto, a manutenção, a reciclagem, a reutilização e a disposição final. Quando da análise do ciclo de vida útil faz parte a reciclagem e reutilização estamos perante uma análise *'cradle-to-cradle'*; caso contrário a análise de ciclo de vida útil é uma análise *'cradle-to-grave'*.

Por definição *'cradle-to-cradle'*, é a redução do consumo de materiais, estimulação da reciclagem e minimização da quantidade de energia incorporada no ciclo de vida dos produtos. A análise do ciclo de vida considera todas as fases e constitui um ciclo fechado de análise que se distingue do *'cradle-to-grave'* por daquela análise fazer parte a reciclagem e a incorporação dos resultados da reciclagem nas matérias primas para novos produtos. Ou seja, no *'cradle-to-grave'* considera-se que os materiais ou produtos, quando atingem o seu fim de vida útil, não sofrem reutilização, sendo acumulados em vazadouros e/ou incinerados.

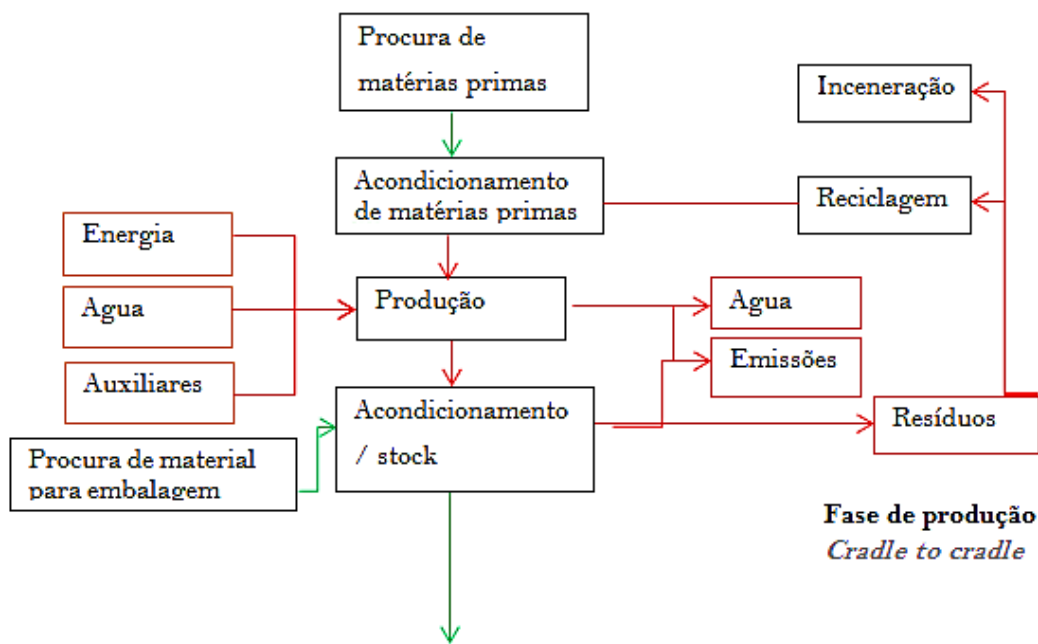


Figura 7 - Esquema ilustrativo "Cradle to cradle"

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* A Provetes De Pedra Natural

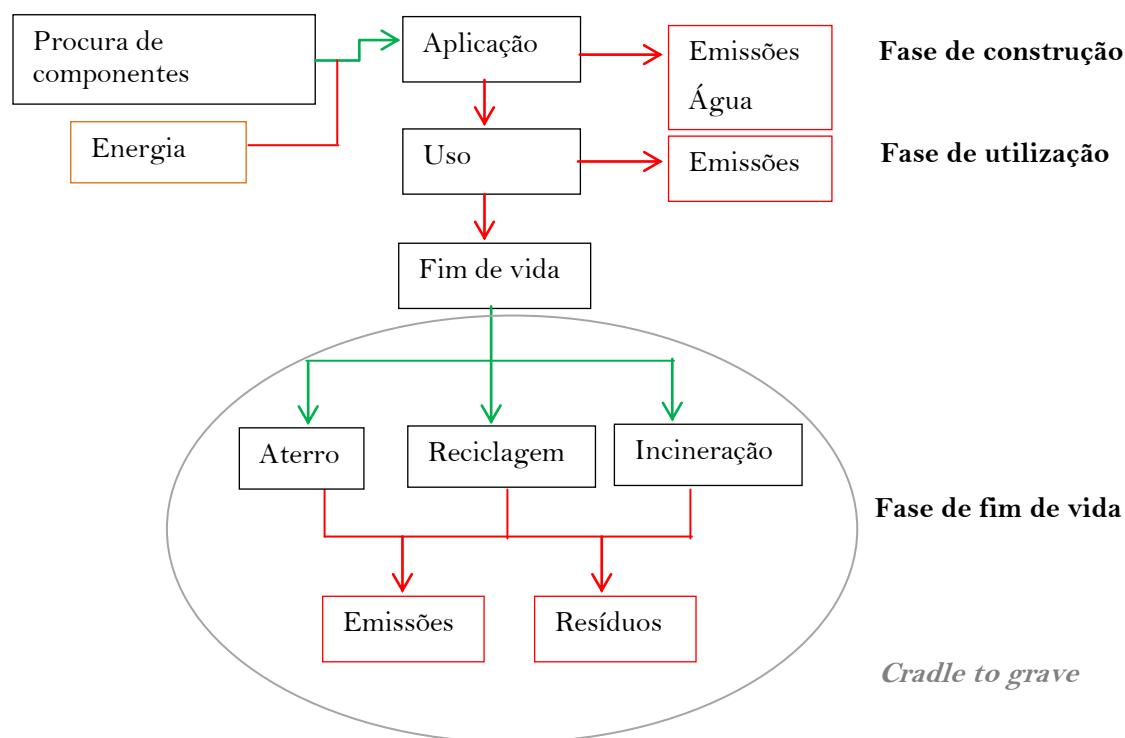


Figura n.º 8 – Esquema ilustrativo “Cradle to grave”

Estamos perante uma análise do ciclo de vida que se aplica como uma ferramenta para a demonstração do cumprimento dos desafios da Sustentabilidade que são as preocupações ambientais, de segurança e responsabilidade social. Entre outras que possam ser consideradas. O desenvolvimento dos materiais pode ser realizado de acordo com os principais desafios globais como a limitação do consumo de energia e matérias-primas, a gestão de emissões de carbono face às alterações climáticas, a diminuição do consumo de água e má qualidade da água e a alteração de redes de infra-estruturas devido ao crescimento populacional e da urbanização. Nesta medida, é objectivo para o alcance da Sustentabilidade o desenvolvimento de produtos e serviços que tenham em conta estes desafios globais para a produção de materiais de construção eficientes e sustentáveis.

Abordando agora questões como a adequabilidade das soluções apercebemo-nos que na escolha dos materiais devem ser tidos em consideração factores como, a envolvente onde se implanta o edifício, quem o constrói, o ambiente a que estará sujeito, a utilização do edifício, aspectos arquitectónicos, entre outros. Estes são factores muito importantes para prevenir o envelhecimento dos materiais e a posterior perda de funcionalidade; por exemplo, em locais em que se verifiquem gradientes térmicos elevados é considerada uma péssima solução a utilização de revestimentos que não permitam trocas gasosas, uma vez que, e no caso das argamassas esses gradientes potenciam o arrastamento de sais que se traduzem em manchas inestéticas e que poderão alterar as características da argamassa, desde a coesão à resistência mecânica, favorecendo o aparecimento de fissuras e infiltração de água com posterior aparecimento de humidade no interior. Pode também ser uma consequência grave, ambientes com elevada higrometria, que

potenciam desenvolvimento de condensações internas que aceleram a degradação e envelhecimento dos materiais. Os elementos como coberturas, paredes exteriores e elementos enterrados fazem parte de um grupo a que se deve dar especial atenção. Estes elementos são a primeira barreira ao meio exterior, devendo garantir economia energética, conforto suficiente, salubridade adequada e resistência a vários níveis, principalmente os regulamentados.

A envolvente exterior dos edifícios é tanto mais eficaz quanto melhor enquadrada estiver nos processos de construção utilizados em cada caso e no meio ambiente em que se insere (Peguicho).

Já na fase de aplicação dos produtos, há que ter em conta a adequabilidade da solução preconizada para que a durabilidade seja a máxima possível; e para garantir a adequabilidade das soluções é necessário avaliar factores ambientais, utilização, protecção e técnicas de execução. A eficácia destes elementos depende ainda da correcta execução, da qualidade dos materiais utilizados, dos estudos que decorram na fase de análise e elaboração dos projectos de especialidades bem como, e muito importante, dos cuidados de manutenção e pequenas intervenções de reparação susceptíveis de acontecerem durante o período de vida útil de todo o sistema.

A propósito das manutenções a realizar num edifício, estas distinguem-se entre acções de manutenção preventivas ou correctivas, sendo as primeiras normalmente de carácter não urgente, podendo ser sistemáticas ou condicionadas; e as correctivas de carácter urgente ou não, de pequenas ou grandes dimensões. A importância da definição do tipo de intervenção de manutenção a realizar prende-se com a evolução do estado de degradação e os custos associados à recuperação, sendo, do ponto de vista geral, a melhor solução a conjugação dos dois tipos, de forma coordenada e estudada para que ambos os indicadores acima referidos sejam minimizados.³

As construções próximas de zonas marítimas incorrem num nível de degradação acelerado quando comparadas com as construções protegidas desse meio. Aquelas construções estão sujeitas a erosão potenciada pela acção dos ventos, transporte aéreo de água do mar que tem um efeito muito nocivo para os materiais de construção e efeito abrasivo de areias nas superfícies dos revestimentos de fachadas, entre outros. Realça-se novamente a importância das técnicas construtivas, das escolhas dos materiais e ainda a periodicidade e qualidade das manutenções a realizar, sejam estas de carácter preventivo, como uma manutenção onde se realiza a limpeza da superfície; ou de carácter correctivo, como uma reparação de betão.

Muito importante ainda é o estudo dos materiais, que pode ser efectuado em laboratório através de vários ensaios das características mecânicas, físicas e químicas, ou estudando a sua durabilidade, análise do ciclo de vida e previsão do comportamento através de ensaios de envelhecimento acelerado. O estudo dos materiais pode ainda ser avaliado através da análise, após aplicação em função do tempo, de forma a determinar a adequabilidade da solução, das anomalias mais

³ Para compreensão dos significados de manutenção preventiva sistemática e condicionada e manutenção correctiva grande e pequena aconselha-se a breve leitura dos apontamentos da disciplina de Conservação e Reabilitação de Edifícios do 1º ano do Curso de Mestrado de Tecnologia e Gestão da Construção, da autoria do Eng.º Rui Pessanha Araújo Taborda.

frequentes e durabilidade, entre outros. Pode-se, através dos resultados obtidos nestes estudos, desenvolver novas soluções e técnicas de acordo com as necessidades.

O betão em função de determinadas exigências para o seu desempenho e condições de aplicação podem ser alteradas as quantidades dos seus componentes ou adicionados adjuvantes para melhorar, por exemplo, as suas resistências iniciais e finais, as características de impermeabilização, o aspecto estético, entre outros. Os betões são conhecidos por apresentar fraca resistência a ataques químicos resultantes da acção de sulfatos, cloretos e outros sais ou ácidos agressivos além da fraca resistência a esforços de tracção que se tenta “compensar” com a introdução de armaduras de aço no betão armado.

Nos últimos anos utilizou-se correntemente a tecnologia do betão armado, principalmente para a construção de elementos estruturais, tendo-se verificado que, não só mas também, era fundamental proteger as superfícies destes elementos, caso contrário seriam encontradas patologias como a delaminação do betão por oxidação das armaduras e consequente perda de capacidade de carga dos elementos; a carbonatação do betão por reacção química entre a cal presente no betão e a água proveniente de chuvas (por exemplo), podendo ocorrer perda de coesão do betão; o fenómeno de etringite, que ocorre no betão devido à reacção entre o gesso adicionado na fabricação de cimento que reage com aluminato de cálcio do cimento, nas primeiras horas após a adição de água, desenvolve-se e vai-se depositar nas microfissuras do betão e difunde-se em ambientes húmidos, provocando fissuração no interior do betão e perda de resistências iniciais; a reacção alcalis-silica que ocorre quando se verifica a existência de três elementos – sílica reactiva, alcalis e humidade – a sílica reactiva encontra-se nos agregados, a alcalis provem do cimento e a humidade que resulta do meio ambiente, quando combinados provocam ataques químicos no interior do betão, não visíveis mas extremamente agressivos. Podem ocorrer outros fenómenos que provocam a degradação do betão, como os ciclos de gelo-degelo, a abrasão, cavitação, entre outros; por todos os motivos deve proceder-se à protecção das superfícies dos materiais ou elementos construtivos, prevendo os fenómenos que poderão ocorrer para se aplicar a melhor solução possível. De referir será o facto de não se verificar ciclos de gelo-degelo em Portugal, no entanto a resolução poderia passar pela utilização de Sika Era 5 para introduzir microbolhas de ar (espaços vazios) para que as moléculas de água se depositem na forma líquida e quando passem ao estado sólidos tenham espaço suficiente, não existindo ou sendo muito reduzida a pressão intersticial que poderia provocar a microfissuração interna do betão. Quanto à abrasão que estes elementos podem sofrer, pode-se recorrer a betões com classe de resistência elevada e protecção da superfície com pinturas *epoxy* ou argamassas resistentes.

Ultrapassadas as questões relacionadas com a composição e características dos materiais versus fenómenos que comprometam o comportamento do betão, é fundamental definir técnicas de execução relativas à colocação, compactação e cura do betão especialmente em retomas de betonagem. Nas retomas de betonagem existem técnicas muito utilizadas, como a picagem do betão já endurecido que irá estar em contacto com a nova betonagem, permitindo tornar a

superfície mais rugosa com conseqüente aumento da aderência entre esta e o betão fresco. No entanto esta técnica implica a formação de microfissuras que, a longo prazo, obrigarão a intervenções morosas e dispendiosas, podendo ainda comprometer o comportamento do elemento. Outra solução poderá ser a aplicação de um retardador de superfície, como Rugasol 2 Líquido, que vai retardar a presa à superfície da 1ª betonagem, aquando da 2ª betonagem, basta lavar com pressão o local e a superfície estará irregular o suficiente para garantir a aderência para receber o novo betão. Mesmo com recurso a diversas técnicas e procedimentos construtivos, obriga ainda à definição de procedimentos de aplicação, regras e práticas quanto ao manuseamento dos materiais, consumos e dosagens adequadas, preparação das bases, mistura, *pot-life*, intervalo de tempo entre camadas, a aplicação de materiais complementares para a protecção e outros sistemas que possam vir a ser incorporados para o aumento da durabilidade.

Existem dois grandes grupos de causas associados às anomalias e redução da durabilidade nomeadamente as que dependem exclusivamente da aplicação dos materiais como a qualidade da base, técnicas construtivas, utilização e manutenção, adequabilidade das soluções; e as que variam com as condições ambientais, composições dos materiais, compatibilidade dos materiais, entre outros. Existem ainda três grandes intervenientes responsáveis por garantir a durabilidade dos materiais e das intervenções, sendo eles o fabricante, o aplicador e o projectista; o fabricante deverá garantir o fornecimento e desenvolvimento de materiais que cumpram as exigências essenciais e funcionais de cada material; o aplicador é responsável pelo correcto cumprimento das prescrições realizadas pelo fabricante, de acordo com o definido pelo projectista, considerando as melhores práticas construtivas; por último, o projectista é o responsável pela escolha de materiais e soluções adequadas às necessidades do dono de obra.

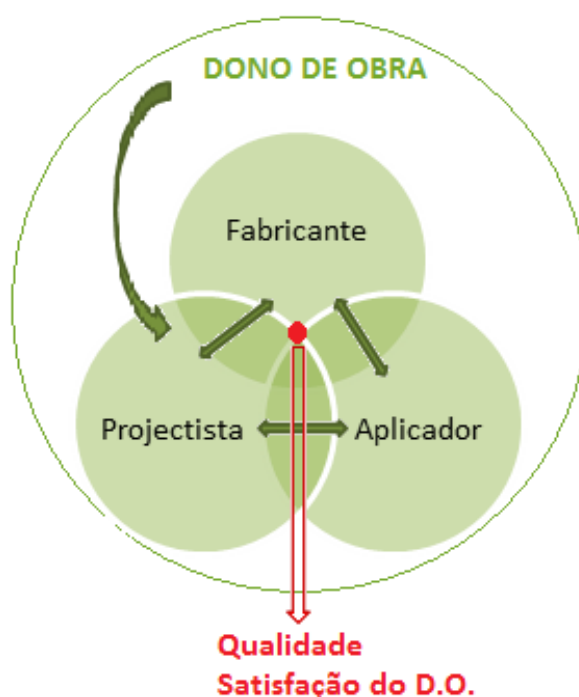


Figura 9 - Relação de qualidade entre intervenientes na construção

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Considerando todos os pressupostos neste texto, conclui-se que há que considerar e realizar, cada vez mais, análises preliminares para detecção de anomalias e patologias, bem como a fase de estudo de soluções considerando sempre todos os factores que possam influenciar o processo de decisão, para que se encontre a solução mais sensata e razoável para o problema em questão. Ou seja, analisar as condições ambientais, o comportamento dos materiais e o seu comportamento no conjunto, a durabilidade pretendida, o tipo de utilização, os riscos na execução dos trabalhos de construção, entre outros que terão sido abordados acima e que possam comprometer a qualidade final.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Capítulo 4 – Documentos desenvolvidos no âmbito do estágio

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

3 Documentos desenvolvidos no âmbito do estágio

No âmbito do estágio profissional foram desenvolvidos vários documentos de ordem técnica para apoio na escolha de tecnologias, soluções, ou justificação de anomalias.

Neste capítulo são apresentados alguns documentos como relatório técnico, especificação técnica, relatório de visita, relatório de ensaio, informação técnica, comunicação técnica.

3.1 Relatório técnico

3.1.1 Avaliação da fissuração em elementos estruturais - pilares.

Objecto: Avaliação de fissuras em pilares

Local:

Data: __/__/____



Figura n.º 10 - Identificação do local e condições ambientais

Objectivo

Foi objectivo desta visita avaliar as anomalias e as suas possíveis causas em pilares de um pavilhão Industrial localizado no Mercado Abastecedor do Porto.

Descrição

Verificou-se que em todos os pilares existem fissuras e em algumas delas 'babamento' da argamassa para o exterior – eflorescência.

As fissuras são igualmente distribuídas, aparecendo a meio vão em todos os pilares.

Sabe-se que a estrutura do edifício não tem travamento permitindo que aconteçam deslocamentos e conseqüente aparecimento ou agravamento de fissuras.

É na fachada orientada a Sul que se verifica o aparecimento de fissuras com maior intensidade.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

O edifício localiza-se no distrito do Porto e neste distrito por norma verificam-se as seguintes condições atmosféricas:

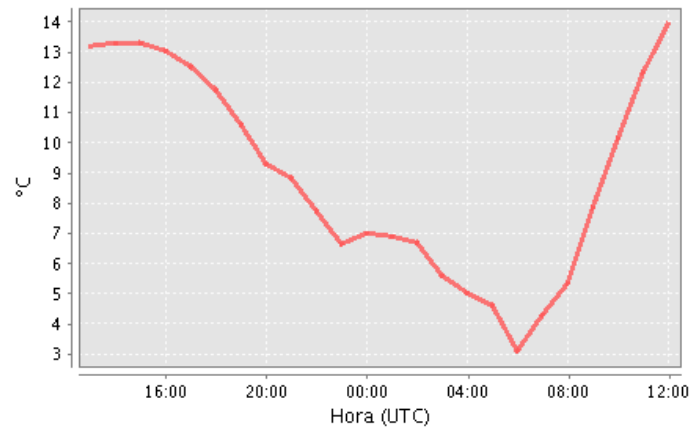


Figura 11 - Temperatura do Ar (Instantâneo), Instituto de Meteorologia de Portugal

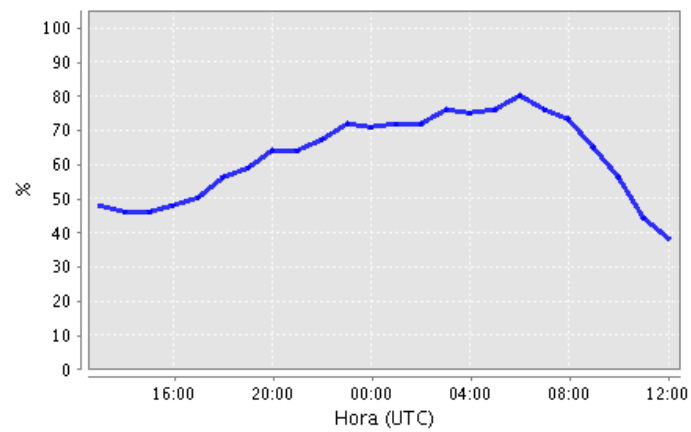


Figura 12 - Humidade Relativa (Instantâneo), Instituto de Meteorologia de Portugal

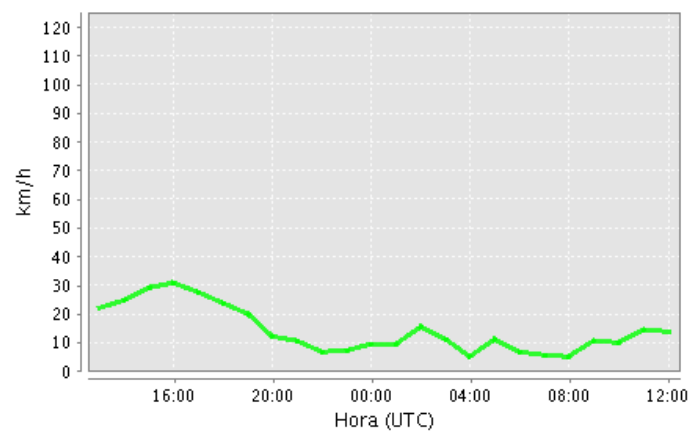


Figura 13 - Intensidade do Vento (Instantâneo), Instituto de Meteorologia de Portugal

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Deve-se então definir as melhores horas de trabalho tendo em conta o efeito que elevadas temperaturas ou a humidade relativa do ar podem ter no processo de cura e tendo em conta as especificações para aplicação dos materiais constantes nas respectivas fichas do produto.

Análise crítica

Pela observação podiam-se avançar que as fissuras existentes são superficiais, isto é, não afectam o elemento estrutural. Poder-se-ia colocar testemunhos de gesso para verificar se as fissuras são activas ou passivas, e realizar carotes para determinar qual o desenvolvimento das fissuras, a espessura das camadas de primário, argamassa e revestimento por forma a determinar se a anterior aplicação do sistema cumpre com as regras especificadas e definidas na ficha de produto.

Pode-se avançar que estas fissuras serão consequência da retracção da argamassa, ou porque foi colocada muita água na amassadura ou porque aquando da aplicação as temperaturas seriam elevadas. O ‘babamento’ da argamassa para o exterior do revestimento confirma a presença/excesso de água na amassadura. A água presente ou em excesso infiltra-se pelas pequenas fissuras existentes encontrando entre elas um ‘caminho’ para o exterior. Pode ainda estar associado o fenómeno de arrastamento de sais da argamassa para a superfície, neste caso, numa primeira fase a humidade do ar penetra os poros da argamassa verificando-se a diluição dos sais, e seguidamente com o aumento da temperatura na superfície estes sais não só serão arrastados para a superfície como irão cristalizar e depositar-se neste local, dando lugar a eflorescências.

Tabela 4 - Registo da Avaliação de fissuras

Avaliação de fissuras	
Questões	Registo
Qual foi o produto utilizado, nº de lote, quantidades, etc.?	Sika® MonoTop 910 S, Sika® MonoTop 612 e Sika® MonoTop 620
O produto provém de outro local?	Não
Notava-se um fluxo de água durante a realização do trabalho?	Sem indicação
O que é o acabamento da superfície?	Revestimento fino - Sika® MonoTop 620
Como foi levado a cabo o acabamento da superfície?	Sem indicação
Qual foi o regime de cura?	-
Quanto tempo depois da aplicação foi efectuada a cura?	Não cumpriu requisitos
Qual era a temperatura do ar e do betão, a humidade e a velocidade do vento?	Apresentado no relatório
Quando se começou a notar a fissuração (horas, dias)?	Mais de um mês

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Questões	Registo
A fissuração ocorre em todo o lado?	Repetida nos elementos, à mesma altura
Em caso negativo, quais as zonas diferentes?	-
Qual é o padrão das fissuras?	Horizontais, a meia altura de todos os pilares
Qual é a largura das fissuras?	-
Quão profundas são as fissuras?	É necessário realizar carotes para determinar a profundidade
A largura das fissuras diminui com a profundidade?	Possivelmente, necessário realizar carotes
A fissura está activa?	Necessário realizar testemunhos de gesso
A fissura desloca-se a temperaturas diferentes?	Sem indicação
A fissuração é estrutural ou não estrutural?	Em princípio não estrutural, confirmar com carote
A fissura está coberta por uma camada de sujidade?	Sim
A fissura está seca ou húmida?	Seca
Os depósitos de cálcio são notáveis na superfície da fissura?	Não
As fissuras são esteticamente inaceitáveis?	Não
As fissuras afectam a durabilidade do betão?	Poderão afectar se não forem tratadas
Qual é a percepção do cliente/empreiteiro sobre a ocorrência das fissuras?	Que devem ser corrigidas o mais rápido possível
Nota-se a presença de corrosão através de manchas de ferrugem?	Não, mas verifica-se o babamento da argamassa para o exterior
As fotografias e os diagramas serão úteis para avaliar o problema?	Sempre que possível devem existir
O que foi feito de forma diferente nas zonas que contêm fissuras e nas que não contêm?	Nada, todo o edifício está revestido com o mesmo esquema e soluções Sika®
Onde se situa a armadura relativamente à fissuração?	Necessário realizar carotes para verificar
Qual a profundidade de cobertura da armadura nas zonas onde ocorre a fissuração?	Necessário realizar carotes para verificar
Qual a profundidade de cobertura da armadura nas zonas onde não ocorre a fissuração?	Necessário realizar carotes para verificar
Quaisquer outras perguntas que considere oportunas na altura.	-
Registado por: Joana Almeida	Data : _8_/5/_2012_

Solução

Após remoção com jacto de água, voltar a aplicar os seguintes produtos, segundo as recomendações e nas horas mais indicadas.

- Sika® MonoTop 910 S – camada de aderência
- Sika® MonoTop 612 – argamassa de reparação tixotrópica
- Sika® MonoTop 620 – revestimento fino

Esta solução é viável quando as fissuras que se encontra não são estruturais e as anomalias encontradas são superficiais.

Conclusão

Desta visita conclui-se que será necessário proceder a ensaios destrutivos para analisar a profundidade das fissuras, o estado dos materiais, e se na aplicação destes foram cumpridas as indicações definidas na ficha do produto ou especificação técnica.

A selecção de técnicas e dos materiais a utilizar para o caso depende do comprimento das fissuras, da sua densidade e das condições de exposição. Sempre que existam dúvidas quanto à aplicação dos produtos deve-se consultar as respectivas fichas do produto ou contactar o departamento técnico.

3.1.2 Ensaio realizado no local

Objecto: Execução de carotes para determinar causa de fissuração

Data:

Local: Porto – Mercado Abastecedor

14/_05_/_2012_

Objecto de intervenção

Pavilhão localizado no Mercado Abastecedor, alvo de intervenção em 2006 através de esquema de reparação e protecção de betão armado especificado pela Sika®.

Observa-se nos pilares deste pavilhão o aparecimento de micro-fissuras, todas de espessura inferior a 0,3mm e aparentemente superficiais. Ainda se verifica em algumas destas fissuras o aparecimento de “babados” de cor clara.

Podendo a origem destas fissuras ter início nas camadas de enchimento ou no próprio betão, foi solicitado um ensaio que determinasse a profundidade e natureza das fissuras observadas, assim como a especificidade da zona onde estas se evidenciam.

Pretende-se ainda verificar se estas fissuras comprometem a protecção que o sistema de reparação proporciona à estrutura.

Procedimentos de ensaio

De acordo com o solicitado, foi efectuado um ensaio de corte na superfície da estrutura de forma a efectuar-se a extracção de negativos, o que permite observar as distintas camadas da área cortada, assim como a profundidade e desenvolvimento das fissuras.

Para o efeito foi utilizada uma caroteadora, que permitiu a execução de um corte a água com um diâmetro de 50 mm. A profundidade do corte efectuado foi entre aprox. 2 cm a 4cm.

Material utilizado:



Figura 14



Figura 15



Figura 16

14) Nivelador por vácuo, caroteadora de corte a água, bilha de água, estojo de apoio

15) Nivelador por vácuo

16) Nivelador por vácuo e caroteadora de corte a água.

Observações

Durante a execução do ensaio não foi detectada qualquer irregularidade, quer ao nível do corte quer no que respeita à aderência entre as diferentes camadas cortadas.

Após execução do corte foi necessário proceder ao destacamento do negativo.

A profundidade dos negativos varia entre 2 cm e 4 cm abrangendo em algumas situações a base (betão), camadas de reparação/enchimento, camada superficial e revestimento (pintura), e noutros apenas base e camada superficial e revestimento. Estas camadas estão bem aderentes entre si, sendo que a camada mais profunda corresponde a betão ou a um possível enchimento com Sika® MonoTop® 612, a camada intermédia corresponde à camada superficial com Sika® MonoTop® 620 e o revestimento à pintura com Sika®gard® 680 S .

Em negativos mais profundos encontra-se armadura incorporada.

As fissuras observadas prolongam-se até à camada de reparação existindo apenas uma situação em que a fissura se desenvolve até à armadura, podendo ter sido causada pelo corte da caroteadora.

Descrição dos negativos



Figura 17 - Negativo 1

Composição: Camada de reparação Sika® Monotop 612 e Camada superficial fina de Sika® Monotop 620.



Figura 18 - Negativo 2

Composição: Camada de betão (base), Camada de reparação/enchimento Sika® Monotop 612 e Camada superficial fina Sika® Monotop 620.

Nota: Neste caso, verifica-se que o enchimento não tem a mesma espessura em todo o pilar.

Fachada orientada a Sul



Figura 19 - Negativo 3

Composição: Camada de betão (base), Camada de reparação/enchimento Sika® Monotop 612 e Camada superficial fina de Sika® Monotop 620.

Nota: Neste caso, verifica-se que o enchimento não tem a mesma espessura em todo o pilar.

Fachada orientada a Sul



Figura 21 - Negativo 5

Composição: Camada de betão (base), Camada de reparação/enchimento Sika® Monotop 612 e Camada superficial fina de Sika® Monotop 620.

Nota: Neste caso, verifica-se que o enchimento não tem a mesma espessura em todo o pilar.

Fachada orientada a Sul

Fachada orientada a Sul



Figura 20 - Negativo 4

Composição: Camada de betão (base) e Camada superficial fina de Sika® Monotop 620.

Fachada orientada a Sul



Figura 22 - Negativo 6

Composição: Camada de reparação Sika® Monotop 612 e Camada superficial fina de Sika® Monotop 620.

Nota: Armadura próxima da superfície com recobrimento < 3 cm, armadura não se encontra oxidada.

Fachada orientada a Sul

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural



Figura 23 - Negativo 7

Composição: Camada de betão (base), Camada de reparação/enchimento Sika® Monotop 612 e Camada superficial fina de Sika® Monotop 620.

Nota: Neste caso, verifica-se que o enchimento não tem a mesma espessura em todo o pilar.

Fachada orientada a Este



Figura 24 - Negativo 8

Composição: Camada de reparação Sika® Monotop 612 e Camada superficial fina de Sika® Monotop 620.

Fachada orientada a Este

* todos os negativos têm revestimento (pintura de acordo com especificação técnica realizada).

Análise dos resultados e proposta de reparação

Através das observações efectuadas quanto à natureza das fissuras, sua distribuição na estrutura, largura e profundidade, poderemos supor que a origem desta micro-fissuração estará relacionada com o diferente comportamento dos materiais de reparação e a base em betão.

Pode-se afirmar que os diferentes coeficientes de dilatação térmica dos materiais provocam pequenos aumentos de volume, aumentando a pressão e tensões entre as diferentes camadas (base e camada de reparação) resultando em micro-fissuração, fenómeno mais evidente na fachada a Sul onde os coeficientes de dilatação térmica são mais evidentes.

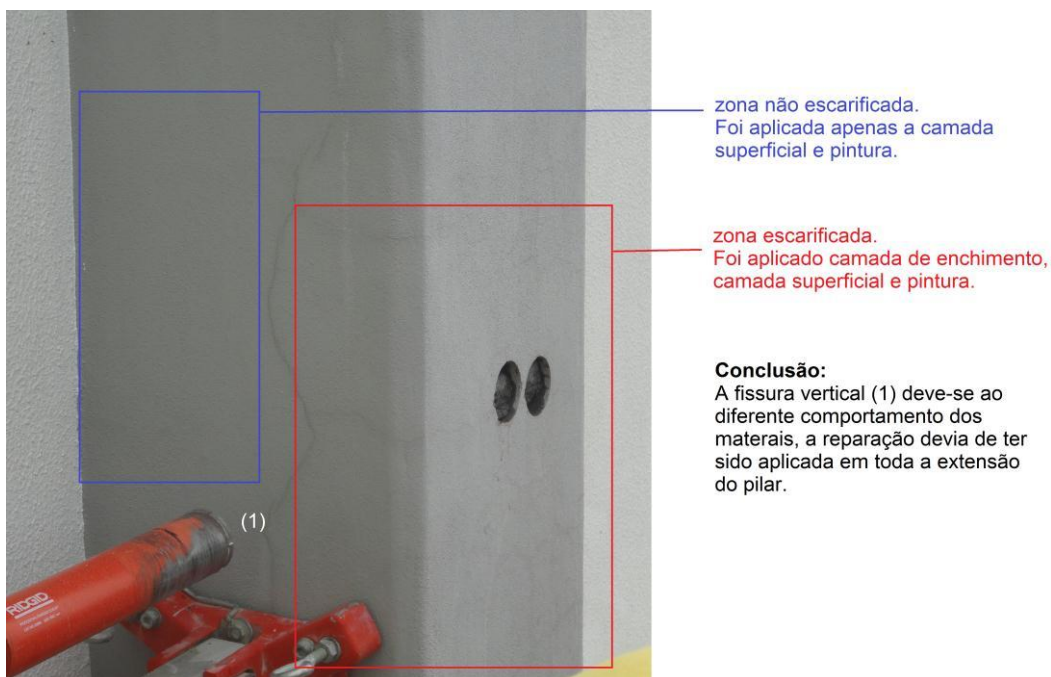


Figura 65 - Identificação e zoneamento de carotes executadas

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Este fenómeno verifica-se na fachada a Sul com maior intensidade devido ao elevado gradiente térmico. Estas fissuras não são de causa única mas de uma panóplia de causas sendo elas:

- Diferentes coeficientes térmicos dos materiais;
- Grandes amplitudes térmicas;
- Movimentos estruturais devido à falta de contraventamento/travamento;
- Reparação aplicada apenas numa zona do pilar – descontinuidade;
- Adaptação do novo material;
- Outras causas de momento não identificáveis.

A existência destas micro-fissuras pode ter alguma influência na eficácia do sistema de reparação de betão, tendo ainda uma influência negativa bastante significativa na componente estética da estrutura.

Nada se pode concluir acerca do aparecimento ou não de nova fissuração de origem semelhante.

Os “babados” de cor clara são resultado da lavagem da superfície de betão que se vai produzindo entre as fissuras e que são conduzidas até ao exterior.

Quanto aos negativos em que se atravessou a armadura verifica-se que estas não estão oxidadas, ou seja, a acção de Sika® Ferrogard® 903 foi eficiente quanto à protecção de armaduras contra a corrosão.

Noutras situações, aquando da execução do barramento com Sika® MonoTop® 620 em duas camadas, tem sido proposta a interposição de uma rede de fibra de vidro anti-alkalina, o que permite absorver estes pequenos movimentos ou esforços que se produzem no barramento e que podem originar este tipo de fissuração.

Actualmente, a resolução das anomalias verificadas devem ser tratadas da seguinte forma:

1. Fissuras superficiais:

Remover revestimento da superfície e pintar com Sika®gard® 680 S em duas demãos.

Tendo em conta que estas fissuras são superficiais e não afectam as camadas de reparação.

2. Fissuras na camada de enchimento:

Nas áreas em que se verifica que a fissuração se prolonga até à camada de enchimento é necessário remover a camada superficial e camada de enchimento.

Escarificar a área a tratar com jacto abrasivo de forma a sanear a base de betão para garantir a rugosidade para melhor aderência.

Atenção: No caso de se atingirem as armaduras deve-se aplicar Sika®Top®Armaterc® -110 EpoCem® não só na própria armadura como na base de betão. Este produto quando aplicado na base de betão funcionará como agente que promove a aderência entre a base e a argamassa de enchimento. Quando não sejam atingidas armaduras deve-se aplicar Sika®Top®Armaterc® -110 EpoCem® na base de betão pelos mesmos motivos referidos.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Para executar o reperfilamento do betão a argamassa de enchimento deverá ser aplicada sobre Sika® Top Armatec 110 EpoCem enquanto este se mantém colativo (período variável conforme a temperatura).

Atenção: De modo a restituir a forma original do betão escarificado torna-se necessário efectuar o reperfilamento das áreas intervencionadas com argamassas de elevada resistência (classificada como R3) e bom comportamento em termos de aderência ao betão e retracção plástica que pode ser provocada pelo incorrecto doseamento de água na mistura.

Para tal propõe-se, de acordo com as condicionantes de aplicação, a utilização da argamassa Sika® MonoTop® 612 que deverá ser aplicada segundo métodos tradicionais ou mecânicos. Pode ser misturada manualmente, desde que se garanta uma mistura homogénea. Para tal, deve ser vazada a quantidade de água indicada num recipiente de mistura, procedendo-se à lenta adição do pó. Deve fazê-lo durante 3 minutos de forma cuidada até obter a consistência desejada. Pode-se também recorrer a um misturador manual eléctrico (<500 rpm) quando se pretenda misturar mais que 2 sacos simultaneamente.

Quando for necessária a aplicação de um primário de aderência, assegurar que este se encontra colativo (colagem fresco sobre fresco). Quando for aplicada manualmente a argamassa de reparação deverá ser cuidadosamente pressionada sobre a base. O acabamento pode fazer-se com uma esponja humedecida, talocha de madeira ou talocha de poliestireno expandido, a partir do momento em que inicia a presa da argamassa. Quando for necessário proceder à aplicação em mais do que uma camada, deve-se verificar o endurecimento da camada anterior.

Para protecção do betão (impregnação inibidora da corrosão), de forma a prevenir, retardar ou limitar o desenvolvimento do processo corrosivo, aconselha-se a aplicação de uma protecção superficial da camada de argamassa com o produto Sika® Ferrogard® -903.

A aplicação deverá ser efectuada por impregnação à superfície do betão em toda a superfície da estrutura (face inferior e superior), Sika® Ferrogard® -903 é uma protecção superficial de elevada resistência química, que é atraída para as armaduras e formará em torno destas uma película passivante (protectora).

O procedimento de aplicação do produto encontra-se descrito na respectiva ficha de produto, sendo recomendável a aplicação de pelo menos 4 demãos.

Dois dias após a aplicação da última demão de Sika® Ferrogard®-903 a base deve ser lavada uma ou duas vezes com água limpa. Deverá deixar secar pelo menos durante 7 dias e proceder a lavagem com jacto de água (100 – 150 bar) e deixar secar novamente pelo menos 3 dias antes de revestir.

Para regularização da superfície, de forma a uniformizar o aspecto geral das fachadas propõe-se um barramento geral das fachadas com a argamassa de reparação Sika® MonoTop® 620, aplicada numa espessura total de cerca de 5 mm.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* e Provetes De Pedra Natural

Nesta camada de regularização deve ser incorporada uma armadura de fibra de vidro anti alcalina por forma a conferir um aspecto uniforme e texturado, e permitir o acompanhamento de pequenos movimentos que possam ocorrer na estrutura.

Finalmente para selagem e protecção final, tendo em conta a exposição atmosférica a que a estrutura se encontra sujeita, propõe-se uma pintura geral das superfícies de betão com a tinta acrílica anti-carbonatação Sika®gard® 680-S, de elevada resistência ao envelhecimento.

Esta tinta apresenta (para uma espessura seca de 130 μm) uma resistência à difusão do vapor de água equivalente a uma camada de ar de 2.2 m, inferior ao máximo exigido pela norma (4 m).

Relativamente à difusão de dióxido de carbono (para uma espessura seca de 130 μm) a resistência é equivalente a uma camada de ar de 420 m, bastante acima do limite mínimo normativo (50 m).

A aplicação de Sika®gard® 680-S deverá ser efectuada em duas demãos (com um consumo de 2 x 0.145 l/m²) para se obter a espessura de 130 μm . O início da pintura das superfícies deverá ocorrer apenas quando se verifique uma secagem suficiente do barramento de protecção (dependente da temperatura e condições atmosféricas).

É muito importante verificar a temperatura, humidade e velocidade do vento no momento da aplicação dos materiais de reparação para garantir a aderência à base e respeitar os tempos de cura dos materiais que constituem o sistema de reparação. Assim como as disposições definidas nas Fichas de Produto.

3.2 Ensaio laboratorial

3.2.1 Objectivo

O objectivo deste estudo foi determinar as principais características técnicas que diferenciam as diferentes composições do betão. Neste estudo realizaram-se ensaios às características mais importantes, que ajudam a avaliar de forma qualitativa o efeito de determinados adjuvantes no betão.

Os adjuvantes definidos para o estudo foram os seguintes:

- Sika ViscoCrete 3002 HE
- Watertight Concrete Powder

*as quantidades tidas em conta encontram-se definidas nas fichas de registo em anexo para as diferentes composições.

Na realização deste estudo, houve a necessidade de efectuar alguns ensaios comparativos para verificar a trabalhabilidade e consistência em função dos adjuvantes.






3.2.2 Enquadramento normativo:

- Regras gerais para produtos prefabricados de betão: NP EN 13369
- Ensaio do betão fresco: NP EN 12350
- Ensaio do betão endurecido: NP EN 12390
- Betão: NP EN 206-1
- Cimento: NP EN 197
- Cinzas volantes: NP EN 450
- Sílica de fumo: NP EN 13263
- Adjuvantes: NP EN 934-2
- Agregados: NP EN 12620
- Agregados leves: NP EN 13055-1
- Água de amassadura: NP EN 1008
- Pigmentos: NP EN 12878

3.2.3 Processo de Mistura

Da composição analisada fazem parte os seguintes constituintes:

Tabela 5 – Constituintes da composição de betão

	Sílica de fumo		Adjuvante Sika ViscoCrete 3002 HE – Superplastificante e redutor de água
	Cimento		
	Agregados grossos e finos		Watertigth Concrete Powder – hidrófugo
	Água da amassadura		

*as quantidades tidas em conta encontram-se definidas nas fichas de registo em anexo para as diferentes composições.

- Colocação de agregados grossos e finos, cimento e pouca água na misturadora
- Adicionar sílica de fumo
- Adicionar água aos poucos
- Quando se verificar que existe alguma ligação, adicionar os adjuvantes
- Se necessário, adicionar gradualmente pequenas quantidades de água.

3.2.4 Composições

Nos ensaios realizados foram adicionados os seguintes adjuvantes:

Composição A: Agregados finos e grossos, cimento, sílica de fumo, adjuvante Sika ViscoCrete 3002 HE e Sika Watertigth Concrete Powder;

Composição B: Agregados finos e grossos, cimento, sílica de fumo, adjuvante Sika Watertigth Concrete Powder;

Assim foi possível verificar a alteração do comportamento das composições em função do adjuvante na composição de betão.

3.2.5 Ensaio *Slump*

Pretende-se determinar com este ensaio a consistência do betão fresco de forma a que seja trabalhável sem segregação e permitindo que seja possível a sua compactação nas condições locais. Segundo NP EN 206 define-se as classes de abaixamento de acordo com o quadro que se segue:

Tabela 6 – Classificação dos resultados no ensaio de *slump*

Classe	Abaixamento (mm)
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	≥ 160

O abaixamento medido deve ser arredondado para os 10mm mais próximos.

3.2.6 Análise crítica

O ensaio realizado não é suficiente para caracterizar o comportamento da composição, outros ensaios como o ensaio de espalhamento, teor de ar e ensaio à compressão serão importantes para que a análise seja mais concreta.

Com base no ensaio *slump* pode-se apenas concluir qual a consistência da composição.

Analisando os resultados das diferentes composições face ao ensaio *slump* verifica-se que na primeira composição o abaixamento foi inferior pela presença do Sika ViscoCrete 3002 HE que como superplastificante permite que a composição de betão inicie o seu processo de presa mais cedo que o betão padrão.

Concluiu-se ainda que a primeira composição é adequada para a utilização na pré-fabricação, tendo em conta a rapidez com que inicia o processo de presa e fim de cura, ideal para a necessidade de rapidez na execução de peças modelares – moldagem, betonagem e desmoldagem.

Quanto à interferência do Sika Watertigth Concrete Powder verifica-se que a absorção de água no processo de mistura é menor e isso comprova-se pela necessidade de a quantidade de água na segunda composição (Sika Watertigth Concrete Powder) ser 3,06 + 0,5 kg e na primeira composição (Sika ViscoCrete 3002 HE + Sika Watertigth Concrete Powder) ser 2,55 + 0,1 kg.

Conclui-se ainda que na primeira composição o abaixamento aos 12min ser 100mm e aos 30min 90mm e na segunda composição aos 12min 140mm e aos 3min 100mm esta diferença deve-se à presença do adjuvante Sika ViscoCrete 3002 HE que irá acelerar o início do processo de presa quando comparado com o betão padrão. E ainda se conclui que quanto maior for a proximidade dos ensaios melhor será a trabalhabilidade da composição de betão, logo a composição A além de mais consistente terá melhor trabalhabilidade.

Quanto à classe de consistência ambas as composições atingiram a classe S3 pelo que este será uma exigência a verificar consoante a necessidade do requerente.

Em nenhuma das composições se verificou exsudação que justificasse a alteração da composição.

No entanto como já foi referido não é possível prever-se qual o comportamento que cada composição poderá ter no local uma vez que apenas se realizou o ensaio *slump*.

3.3 Relatório de visita a Central de Betão



Figura 26 - Ponte onde ocorreram betonagens após realização da composição de betão

3.3.1 Motivo da visita

Procedeu-se à visita para realizar ensaios ao betão com adjuvantes Sika® para verificar a sua trabalhabilidade e coesão. Após definição da composição realizou-se deslocação à obra para betonagem *in situ* e verificação do cumprimento de requisitos.

Características do betão: C35/45 S4

3.3.2 Requisitos iniciais

Para estar de acordo com as exigências, o betão necessita de ter um abaixamento de 200mm no ensaio *slump*. Outras exigências são as resistências iniciais elevadas uma vez que será para executar tabuleiros de uma ponte, ensaios que serão realizados às 48 horas, 7 dias e 28 dias.

3.3.3 Ensaio – composições realizadas *in situ*

De acordo com o 1º relatório, apesar de se verificar o cumprimento do requisito de abaixamento de 200 mm no ensaio de *slump* realizado *in situ* foram propostas melhorias conforme apresentado no quadro abaixo:

Tabela 7 - Composições de betão realizadas na Central

	Composição 1	Composição 2	Possibilidade de melhoria
Meia Areia	365	392	392
Brita 1	523	540	540
Areia fina	444	390	400
Brita 2	505	515	505
Cinzas	100	100	100
CEM II A	200	200	200
Água 1	0	0	0
Água 2	135	135	135
Adjuvante 1	0,45%	0,45%	0,45%
Adjuvante 2	0,8%	0,8%	0,8%

No quadro que se segue pode-se consultar a composição final.

Esta composição de betão foi aplicada no tabuleiro da ponte a betonar.

Tabela 8 - Composição de betão final

Composição Final	
Meia Areia	392
Brita 1	540
Areia fina	400
Brita 2	505
Cinzas	100
CEM II A	260
Água 1	0
Água 2	135
Adjuvante 1	0,45%
Adjuvante 2	0,8%

3.3.4 Descrição

Iniciou-se a mistura/composição às 9h35m da manhã de 6 de Julho de 2012.

Às 9h50m foi realizado um ensaio de *slump* tendo-se verificado um abaixamento de 210mm.

Às 10h30m repetiu-se o mesmo ensaio para a mesma composição, com igual resultado.



Figura 27 - Introdução de adjuvante na Central

Verificada a estabilidade no comportamento da mistura foram enchidos provetes com dimensão 15x15x15 cm³ para futura execução de ensaios de resistência à compressão às 48 horas, 7 dias e 28 dias.

Durante a vibração do betão inserido nos provetes acrescentou-se mistura não vibrada para se obter uma distribuição homogénea de agregados.

Fez-se acompanhamento de pesagem de adjuvantes, controlo de composição na central e aplicação dos adjuvantes na mistura.

Após a mistura a equipa dirigiu-se ao local da obra para executar a betonagem.

Na obra, por questões de fiscalização e controlo de qualidade, foi necessário realizar novo ensaio de *slump* para verificar o comportamento da composição tendo-se obtido o mesmo resultado.

Abaixamento de 210 mm após 1 hora (ver em pormenor a seguinte imagem)



Figura 28 - Ensaio *slump* realizado em obra – controlo de qualidade

Deu-se início à betonagem tendo-se verificado o seguinte:

A betonagem foi realizada por meio de mangueira ligada ao camião, com imediata vibração do betão.

Passagem de sacho na superfície e logo após passagem de talocha lisa para acabamento liso.

Finalmente procedeu-se à aplicação da membrana de cura para evitar a fissuração do betão devido à evaporação prematura da água do betão. Não houve qualquer problema na bombagem do betão para o tabuleiro, sem qualquer tipo de exsudação/segregação.



Figura 29 - Betonagem, vibração e pulverização de membrana de cura

3.3.5 Determinação da percentagem de adjuvante

$$ligante = cimento + cinza$$

$$ligante = 260 + 100 = 360 \text{ Kg/m}^3$$

Segundo a guia de remessa entregue pela central de betão foi introduzido 1,5 Kg de Adjuvante 1 e 2,9 Kg de Adjuvante 2.

$$360 \text{ Kg} \text{ ---} \rightarrow 100\% \text{ mistura}$$

$$1,5 \text{ Kg} \text{ ---} \rightarrow x\%$$

Ou seja, foram introduzidos 0,41% de Adjuvante 1 na composição.

$$360 \text{ Kg} \text{ ---} \rightarrow 100\% \text{ mistura}$$

$$2,9 \text{ Kg} \text{ ---} \rightarrow x\%$$

Ou seja, foram introduzidos 0,81% de Adjuvante 2 na composição.

Tabela 9 - Ajuste da concentração dos adjuvantes na composição realizada

Composição Final

Meia Areia	392
Brita 1	540
Areia fina	400
Brita 2	505
Cinzas	100
CEM II A	260
Água 1	0
Água 2	135
Adjuvante 1	0,41%
Adjuvante 2	0,81%

3.3.6 Conclusão

Conseguiu-se definir uma composição de betão com introdução de adjuvantes Sika®, tendo sido necessário realizar uma sinergia com 2 adjuvantes com finalidades diferentes para que este betão se mantivesse trabalhável sem aumentar a quantidade de água que viria a reduzir as resistência

inicial do betão à compressão. Com esta sinergia foi possível também manter o betão coeso, outra forma de garantir a sua resistência pela redução de poros no betão.

3.4 Informações técnicas (ITE) - Ancoragens estruturais com *Sika® AnchorFix 3⁺* (ETAG 001 e TR 029)

3.4.1 Conceito de segurança

Para fixações em estruturas de betão deve-se aplicar o conceito de factor de segurança parcial de acordo com os Guias de Aprovação Técnica Europeia ETAG 001. Para que se garanta que as acções solicitadoras não ultrapassem os limites de resistência tem que se verificar:

$$S_d \leq R_d$$

O valor de R_d é determinado de acordo com o estabelecido em EN 1991.

Neste documento as expressões que permitem determinar os valores resistentes estão de acordo com os valores mínimos aceitáveis ou os mais conservativos.

Factores parciais de segurança

A ETAG 001, TR 029 e ETA relevante devem ser sempre consultadas para aplicação de factores parciais de segurança, contudo o seguinte quadro pode ser tido em conta para o método de cálculo aplicado:

Tabela 10 - Factores parciais de segurança

γ_{xx}	Tipo de rotura	Valor do factor parcial de segurança
γ_{Ms}	Aço à tração	$\gamma_{Ms} = \frac{1,2}{f_{yk}/f_{uk}} \geq 1,4$
γ_{Ms}	Aço ao corte	$\gamma_{Ms} = \frac{1,0}{f_{yk}/f_{uk}} \geq 1,25; \text{ quando } \left[f_{uk} \leq 800\text{MPa e } f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8 \right]$ $\gamma_{Ms} = \frac{1,0}{f_{yk}/f_{uk}} \geq 1,5; \text{ quando } \left[f_{uk} > 800\text{MPa e } f_{yk}/f_{uk} > 0,8 \right]$
γ_{Mc}	Destacamento de betão por cone de rotura	1,80 (Esforços de corte)
γ_{Msp}	Rotura por separação (splitting) do betão	2,16 (Esforços de tração)
γ_{Mp}	Rotura por arrancamento	

3.4.2 Métodos de cálculo

Os métodos de cálculo para fixações químicas a instalar em betão encontram-se descritos e regulamentados no Anexo C do Guia de Aprovação Técnica Europeia ETAG 001 e no Relatório Técnico TR 029 da EOTA.

Os cálculos de acordo com esta ITE são simplificados e conduzem a resultados conservativos, estando sempre pelo lado da segurança.

3.4.3 Disposições construtivas

Foram consideradas as disposições construtivas apresentadas na ETA relevante para o caso que se aplica aos produtos e soluções Sika®.

Para a aplicação dos valores definidos nas tabelas é necessário respeitar as seguintes disposições construtivas (ETAG 001):

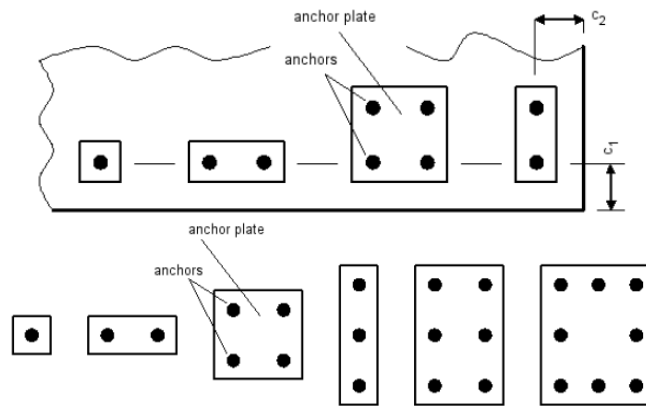


Figura 30 - Disposições construtivas, ETAG001 anexo C

3.4.4 Verificações de Segurança:

Resistência à tracção

- Rotura do aço
- Rotura por arrancamento
- Rotura por destacamento do cone de betão
- Rotura por separação do betão

Nota: Os elementos de fixação que se encontram na zona de compressão não contribuem para a transmissão de esforços de tracção.

Resistência ao corte

- Rotura do aço
- Rotura por destacamento
- Rotura pelo bordo de betão

Resistência de corte e tracção combinada

3.4.5 Considerações

Na aplicação das tabelas em anexo há que ter em conta o seguinte:

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

- Betão não fissurado;
- Excentricidade da carga aplicada é nula; caso contrário os valores tabelados devem ser multiplicados pelo factor que introduz esta variável ($\Psi_{ec,V}$);
- **Caso de rotura condicionante;**

O cálculo de $A_{x,N}$ e $A_{x,N}^0$ deve-se considerar as dimensões de $s_{cr,N}$ e $c_{cr,N}$ de acordo com o caso de rotura em análise.

A tabela a seguir apresentada é meramente orientadora e indica quais os factores tidos em conta para os casos de rotura analisados, assim como os seus limites físicos.

Tabela 11 - Factores que influenciam o comportamento das ancoragens

Ψ_x	Expressão
Ψ_s	$0,7 + 0,3 \cdot \frac{c_{min}}{c_{cr,Np}} \leq 1$
Ψ_g	$\psi_{g,Np}^0 - \left(\frac{s_{min}}{s_{cr,Np}}\right)^{0,5} \cdot (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1$
Tracção Ψ_{ec}	$\frac{1}{1 + 2eN/s_{cr,Np}} \leq 1$
Ψ_{re}	$0,5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1$
Ψ_h	$1 \leq \left(\frac{h_{ef}}{h_{min}}\right)^{2/3} \leq \left(\frac{2 \cdot h_{ef}}{h_{min}}\right)^{2/3}$
$\Psi_{s,V}$	$0,7 + 0,3 \cdot \frac{c_{min}}{1,5 \cdot c_{min}} \leq 1$
Corte $\Psi_{ec,V}$	$\frac{1}{1 + 2eV/3 \cdot c_{min}} \leq 1$
$\Psi_{re,V}$	1 – Betão não fissurado
$\Psi_{h,V}$	$1 \leq \left(\frac{1,5 \cdot c_{min}}{h_{min}}\right)^{1/2}$
$\Psi_{\alpha,V}$	$\sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha)^2 + \left(\frac{\sin \alpha}{2,5}\right)^2}} \geq 1$

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Tabela 12 - Factores e correlação com casos de rotura

Esforço	Caso de rotura	Ψ_s	Ψ_g	Ψ_{ec}	Ψ_{re}	Ψ_h	Ψ_a	Simpl.
Tracção	Rotura por arrancamento	x	x	x	x			Ψ_{N1}
	Rotura por destacamento do cone de betão	x		x	x			Ψ_{N2}
	Rotura por separação do betão	x		x	x	x		Ψ_{N3}
Corte	Rotura por destacamento	x		x	x	x		Ψ_{V1}
	Rotura do betão pelo bordo	x		x	x	x	x	Ψ_{V2}
Limites		≤ 1	≥ 1	≤ 1	≤ 1	≥ 1	≥ 1	
Ψ_{Nx} e Ψ_{Vx} representam a multiplicação dos vários factores para o caso de rotura						$\leq (2 \cdot h_{ef} / h_{min})^{(2/3)}$		

Segundo ETAG 001 e TR029

Verificações de Segurança

Resistência à tracção

(é dada pelo menor dos seguintes valores):

- **Rotura do aço**

$$N_{Rk,s} = A_s * f_{u_k} [N]$$

- **Rotura por arrancamento**

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{er,Np} \cdot \psi_{ec,Np} \cdot \psi_c$$

$$N_{Rk,p}^0 = \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot \tau_{rk}$$

- **Rotura por destacamento do cone de betão**

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{er,N} \cdot \psi_{ec,N}$$

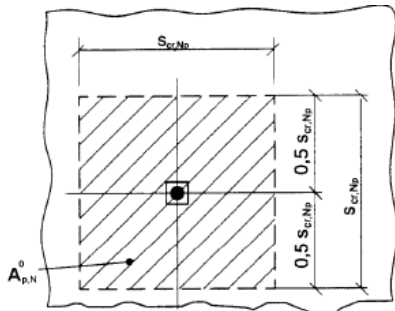
$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5}$$

$$\langle f_{ck,cube} [N/mm^2] | h_{ef} [mm] \rangle$$

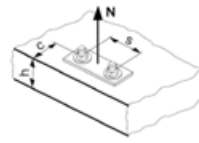
- **Rotura por separação do betão**

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,sp} \cdot \psi_{er,sp} \cdot \psi_{ec,sp} \cdot \psi_{h,sp} \cdot N_{Rk,c}^0$$

$$= k_1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5}$$



Método de cálculo simplificado



N - Força de tracção
c - distância ao bordo
s - distância entre ancoragem
h - profundidade de embutimento

- **Rotura do aço**

$$N_{Rk,s} = A_s * f_{u_k} [N]$$

- **Rotura por arrancamento**

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \cdot \psi_{N1}$$

$$N_{Rk,p}^0 = \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot \tau_{rk}$$

- **Rotura por destacamento do cone de betão**

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{N2}$$

$$N_{Rk,c}^0 = 10,1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5}$$

- **Rotura por separação do betão**

Não se aplica quando:

$$c_1 \geq 2 \cdot h_{ef} \text{ ancoragem individual}$$

$$c_1 \geq 3 \cdot h_{ef} \text{ grupo de ancoragens}$$

Caso contrário:

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{N3}$$

$$N_{Rk,c}^0 = 10,1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5}$$

Em suma:

$$N_{rk} = \min\{N_1, N_2, N_3, N_4\}$$

Segundo ETAG 001 e TR029

Verificações de Segurança

Resistência ao corte

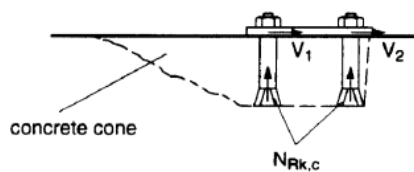
(é dada pelo menor dos seguintes valores)

• Rotura do aço

$$V_{Rk,s} = 0,5 \cdot A_s \cdot f_{uk}$$

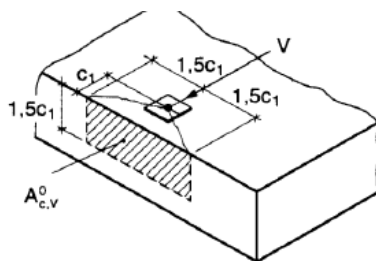
• Rotura por destacamento

$$V_{Rk,sp} = \min \left\{ \begin{matrix} k \cdot N_{Rk,p} \\ k \cdot N_{Rk,c} \end{matrix} \right\}$$



• Rotura de betão pelo bordo

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot \psi_{A,V} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{er,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{\alpha,V}$$



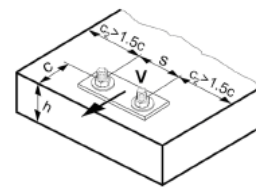
• Resistência combinada de corte e tração

$$\beta_N \leq 1$$

$$\beta_V \leq 1$$

$$\beta_N + \beta_V \leq 1,2$$

Método de cálculo



V - Força de corte
c - distância ao bordo
s - distância entre ancoragem
h - profundidade de embutimento

• Rotura do aço

$$V_1 = 0,5 \cdot N_1 \text{ --- ancoragem isolada}$$

$$V_1 = 0,4 \cdot N_1 \text{ --- grupo de ancoragens}$$

• Rotura por destacamento

$$V_{Rk,sp} = \min \left\{ \begin{matrix} 2 \cdot N_{Rk,p} \\ 2 \cdot N_{Rk,c} \end{matrix} \right\}; \text{ para } h_{ef} \geq 60mm$$

$$V_{Rk,sp} = \min \left\{ \begin{matrix} N_{Rk,p} \\ N_{Rk,c} \end{matrix} \right\}; \text{ para } h_{ef} < 60mm$$

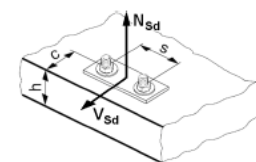
• Rotura de betão pelo bordo

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,v}}{A_{c,v}^0} \cdot \psi_{V2}$$

Em suma:

$$V_{rk} = \min \{ V_{Rk,s}, V_{Rk,sp}, V_{Rk,c} \}$$

• Resistência combinada de corte e tração



N_{s,d} - Força de cálculo de tração
V_{s,d} - Força de cálculo de corte
c - distância ao bordo
s - distância entre ancoragem
h - profundidade de embutimento

$$\beta_N = \frac{N_{sd}}{\min(N_{Rk,s}, N_{Rk,p}, N_{Rk,c}, N_{Rk,sp})}$$

$$\beta_V = \frac{V_{sd}}{\min(V_{Rk,s}, V_{Rk,sp}, V_{Rk,c})}$$

$$\beta_N + \beta_V \leq 1,2$$

3.4.6 Tabelas de apoio

- Resistência à Tracção

Tabela 13 - Resistência a esforços de tracção para fios isolados

d	N_{rk} isoladas [KN]						
	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C50/55	C50/60
8	9	10	11	13	14	14	15
10	15	17	19	21	23	24	25
12	23	26	30	33	36	41	42
16	33	39	44	49	54	61	62
20	46	53	60	67	73	83	85
24	60	68	78	87	95	108	109
27	74	85	96	107	117	132	134
30	84	97	110	122	133	151	153



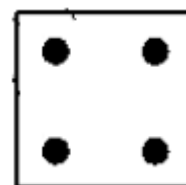
Tabela 14 - Resistência a esforços de tracção para ancoragem com 2 fios

d	N_{rk} - 2 fios [KN]						
	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C50/55	C50/60
8	11	12	14	16	17	20	20
10	15	17	20	22	24	28	28
12	23	26	30	33	36	41	42
16	33	39	44	49	54	61	62
20	46	53	60	67	73	83	85
24	60	68	78	87	95	108	109
27	74	85	96	107	117	132	134
30	84	97	110	122	133	151	153



Tabela 15 - Resistência a esforços de tracção para ancoragem em grupos

d	N_{rk} - grupo (4) [KN]						
	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C50/55	C50/60
8	4	4	5	6	6	6	7
10	7	8	9	10	11	12	12
12	13	15	17	19	21	22	23
16	27	30	34	39	42	44	47
20	36	40	45	51	55	58	62
24	46	51	58	65	70	74	78
27	56	62	71	80	86	91	96
30	62	68	78	88	94	100	105



Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

- Resistência ao Corte

➤ $H_{ef} \geq 60$ mm

Tabela 16 - Resistência a esforços de corte para fios isolados

V _{rk} isoladas para hef > 60mm [KN]							
d	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C50/55	C50/60
8	8	9	10	11	11	13	13
10	11	12	13	14	15	17	17
12	16	18	20	21	23	26	26
16	22	24	27	29	31	35	35
20	35	39	43	46	50	55	55
24	50	56	61	66	71	79	79
27	67	75	82	89	95	106	106
30	81	91	99	107	115	129	129



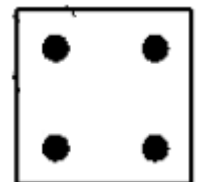
Tabela 17 - Resistência a esforços de corte para ancoragens com 2 fios

V _{rk} 2 fios para hef > 60mm [KN]							
d	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C50/55	C50/60
8	10	11	12	13	14	16	16
10	13	14	16	17	18	21	21
12	19	22	24	26	27	31	31
16	26	29	32	35	37	42	42
20	42	47	52	56	60	67	67
24	60	67	74	80	85	95	95
27	80	90	98	106	114	127	127
30	97	109	119	129	138	154	154



Tabela 18 - Resistência a esforços de corte para ancoragem em grupo

V _{rk} grupo para hef > 60mm [KN]							
d	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C50/55	C50/60
8	10	11	12	13	14	16	16
10	13	14	16	17	18	21	21
12	19	22	24	26	27	31	31
16	26	29	32	35	37	42	42
20	42	47	52	56	60	67	67
24	60	67	74	80	85	95	95
27	80	90	98	106	114	127	127
30	97	109	119	129	138	154	154



Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

➤ $H_{ef} < 60 \text{ mm}$

Tabela 19 - Resistência a esforços de corte para fios isolados

V_{rk} isoladas para hef < 60mm							
[KN]							
d	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C50/55	C50/60
8	4	4	5	6	6	6	7
10	7	8	9	10	11	12	12
12	13	15	17	19	21	22	23
16	22	24	27	29	31	35	35
20	35	39	43	46	50	55	55
24	46	51	58	65	70	74	78
27	56	62	71	80	86	91	96
30	62	68	78	88	94	100	105



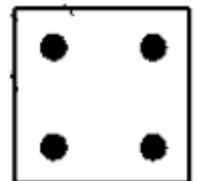
Tabela 20 - Resistência a esforços de corte para ancoragens com 2 fios

V_{rk} 2 fios para hef < 60mm							
[KN]							
d	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C50/55	C50/60
8	7	8	9	10	11	11	12
10	12	14	16	17	18	20	21
12	19	22	24	26	27	31	31
16	26	29	32	35	37	42	42
20	42	47	52	56	60	67	67
24	60	67	74	80	85	95	95
27	78	90	98	106	114	127	127
30	87	101	117	129	138	154	154



Tabela 21 - Resistência a esforços de corte para ancoragem em grupos

V_{rk} grupo para hef < 60mm [KN]							
d	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C50/55	C50/60
8	9	10	11	13	14	14	15
10	13	14	16	17	18	21	21
12	19	22	24	26	27	31	31
16	26	29	32	35	37	42	42
20	42	47	52	56	60	67	67
24	60	67	74	80	85	95	95
27	74	85	96	106	114	127	127
30	84	97	110	122	133	151	153



3.4.7 Considerações finais

Para o desenvolvimento deste documento foram tidos em conta os valores mínimos quanto às características geométricas, foram respeitados todos os limites impostos pela regulamentação entretanto referida.

Os valores apresentados não são majorados e para a sua determinação foram feitas considerações que levariam a valores de resistências inferiores, salvaguarda-se que a utilização destas tabelas é meramente orientadora e para este tipo de problemas deverão ser realizados todos os cálculos apresentados, conhecidas e analisadas as condições de execução e solução construtiva.

Para a execução de ancoragens em betão fissurado, as tabelas desenvolvidas não são aplicáveis.

Outras considerações devem ser realizadas como a aderência entre as superfícies em contacto, para tal deve ser realizados o estudo apresentado no capítulo 5. No caso de serem conhecidas as tensões de aderência entre as superfícies de contacto dos materiais é introduzida mais uma condição para a verificação de segurança de ancoragens.

3.5 Comunicação Técnica

Uma comunicação técnica tem como objectivo informar todos os utilizadores de um material ou tecnologia acerca do comportamento, aplicação e limitações, legislação aplicável e outras informações relevantes para a utilização adequada e segura.

3.5.1 Motivação

Os revestimentos cerâmicos eram utilizados apenas como elemento decorativo nas paredes e pavimentos de algumas divisões das habitações e no exterior. Actualmente, este revestimento é cada vez mais visto como protecção dos elementos principais. Nos últimos anos, a tendência voltou-se para a utilização de peças cerâmicas com maior dimensão e redução das juntas entre elas, assim revela-se muito importante a correcta selecção do cimento cola a aplicar para a fixação dos cerâmicos, principalmente em elementos verticais, sendo mais específico quando aplicado no exterior onde se verificam fortes agressões das condições ambientais

3.5.2 Escolha de cimentos-cola (EN NP 12004:2008)

Para a correcta escolha da utilização de cimentos cola deve ser seguido o disposto na Norma Europeia EN NP 12004:2008.

Da análise das características definidas nesta norma conclui-se que os cimentos-cola que cumpram os requisitos mínimos relativos à aderência após imersão em água e aderência após exposição ao calor poderão ser aplicados no exterior, uma vez que terão a capacidade de resistir às acções aí verificadas – acção das águas das chuvas e calor.

Notas importantes:

Para a correcta selecção do cimento cola a utilizar procure na Declaração de Marcação CE / Embalagem / Ficha Técnica as seguintes *designações*:

NP EN 12004:2008

C1 – cimento cola de presa normal

C2 – cimento cola melhorado

Os Cimentos-cola que na Marcação CE mencionam DND (Desempenho Não Determinado) para o envelhecimento por acção climática/calor e/ou por ciclos de gelo-degelo, ou quando o valor declarado não preenche o requisito da Norma, nas utilizações finais deve dizer “não apropriado para usos exteriores”.

- colagem de cerâmicos para pavimentos ou revestimentos é considerada porosa quando o grau de absorção de água é superior a 6% ($E > 6\%$).

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Não esquecer de verificar:

Aderência após exposição ao calor

Aderência após acção gelo-degelo



Aplicação no interior e exterior	Aplicação no interior
----------------------------------	-----------------------

Abaixo é apresentada a análise de características de alguns cimentos-cola disponíveis na Sika® e atribuição da respectiva classificação e definição de possíveis utilizações.

Tabela 22 - Caracterização técnica de cimentos-cola

CIMENTOS-COLA DE PRESA NORMAL (1)			Sika Ceram 104		Sika Ceram 114		Sika Ceram 204		Sika Minipack Argamassa de colagem
Características	Requisito	Método de ensaio	Cinza	Branco	Cinza	Branco	Cinza	Branco	
Aderência inicial	≥ 0,5 N/mm ²	8.2 da EN 1348:2007	0,6 N/mm ²	0,7 N/mm ²	1,5 N/mm ²	1,3 N/mm ²	1,6 N/mm ²	1,5 N/mm ²	cumpre
Aderência após imersão em água	≥ 0,5 N/mm ²	8.3 da EN 1348:2007	1 N/mm ²	1,1 N/mm ²	0,8 N/mm ²	0,5 N/mm ²	1,2 N/mm ²	1,1 N/mm ²	cumpre
Aderência após exposição ao calor	≥ 0,5 N/mm ²	8.4 da EN 1348:2007			0,8 N/mm ²	0,9 N/mm ²	1,3 N/mm ²	1,2 N/mm ²	cumpre
Aderência após acção gelo-degelo	≥ 0,5 N/mm ²	8.5 da EN 1348:2007			0,8 N/mm ²	0,6 N/mm ²	1,4 N/mm ²	1,6 N/mm ²	cumpre
Tempo aberto: aderência	≥ 0,5 N/mm ² após pelo menos 20 min.	EN 1346			0,8 N/mm ²	0,8 N/mm ²	0,8 N/mm ²	0,9 N/mm ²	cumpre
CARACTERÍSTICAS ESPECIAIS									
Deslizamento (T)	≤ 0,5 mm	EN 1308			0,3 mm	0,3 mm	0,3 mm	0,3 mm	
Tempo aberto prolongado (E)	≥ 0,5 N/mm ² após não menos de 30 min	EN 1346			0,8 N/mm ²	0,8 N/mm ²	0,8 N/mm ²	0,9 N/mm ²	
CARACTERÍSTICAS ADICIONAIS (2)									
Elevada tensão de aderência inicial à tracção	≥ 1 N/mm ²	8.2 da EN 1348:2007			1,5 N/mm ²	1,3 N/mm ²	1,6 N/mm ²	1,5 N/mm ²	
Elevada aderência inicial à tracção após imersão em água	≥ 1 N/mm ²	8.3 da EN 1348:2007					1,2 N/mm ²	1,1 N/mm ²	
Elevada tensão de aderência à tracção após acção do calor	≥ 1 N/mm ²	8.4 da EN 1348:2007					1,3 N/mm ²	1,2 N/mm ²	
Elevada aderência à tracção após ciclos de gelo-degelo	≥ 1 N/mm ²	8.5 da EN 1348:2007					1,4 N/mm ²	1,6 N/mm ²	
Classificação			C1		C2TE		C2TE		C1
Aplicação			Interior		Interior e Exterior		Interior e Exterior		Interior e Exterior

A tabela 22 apresenta os resultados dos ensaios efectuados aos cimentos cola referidos. A tabela 23 demonstra como devem ser apresentados os resultados para os utilizadores que não dominem a matéria, assim reduzem-se erros na escolha e na aplicação de cimentos cola.

Consulte as Gamas Sika®:

Tabela 23 – Caracterização comercial de cimentos-cola

CIMENTOS-COLA DE PRESA NORMAL (1)			Sika Ceram 104		Sika Ceram 114		Sika Ceram 204		Sika Minipack Argamassa de colagem	
Características	Requisito	Método de ensaio	Cinza	Branco	Cinza	Branco	Cinza	Branco		
Aderência inicial	≥ 0,5 N/mm ²	8.2 da EN 1348:2007	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Aderência após imersão em água	≥ 0,5 N/mm ²	8.3 da EN 1348:2007	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Aderência após exposição ao calor	≥ 0,5 N/mm ²	8.4 da EN 1348:2007			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Aderência após acção gelo-degelo	≥ 0,5 N/mm ²	8.5 da EN 1348:2007			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Tempo aberto: aderência	≥ 0,5 N/mm ² após pelo menos 20 min.	EN 1346			✓	✓	✓	✓	✓	✓
CARACTERÍSTICAS ESPECIAIS										
Deslizamento (T)	≤ 0,5 mm	EN 1308			✓	✓	✓	✓		
Tempo aberto prolongado (E): tensão de aderência à tracção	≥ 0,5 N/mm ² após não menos de 30 min	EN 1346			✓	✓	✓	✓		
CARACTERÍSTICAS ADICIONAIS (2)										
Elevada tensão de aderência inicial à	≥ 1 N/mm ²	8.2 da EN 1348:2007			✓	✓	✓	✓		
Elevada aderência inicial à tracção após	≥ 1 N/mm ²	8.3 da EN 1348:2007					✓	✓		
Elevada tensão de aderência à tracção	≥ 1 N/mm ²	8.4 da EN 1348:2007					✓	✓		
Elevada aderência à tracção após ciclos de	≥ 1 N/mm ²	8.5 da EN 1348:2007					✓	✓		
Classificação			C1		C2TE		C2TE		C1	
Aplicação			Interior		Interior e Exterior		Interior e Exterior		Interior e Exterior	

A partir deste documento é possível identificar qual o cimento cola a utilizar para colagem de cerâmicos, em função da utilização pretendida e local a aplicar, diminuindo o aparecimento de anomalias pela aplicação de materiais não adequados para o fim a que se destinam.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

4 Ensaio de arrancamento em Pedra Natural

4.1 Introdução

O estágio profissional desenvolvido na Sika proporcionou a possibilidade de trabalhar com resinas *epoxy* que foram aplicadas numa investigação levada a cabo pelo Sr. Professor Doutor Rui de Sousa Camposinhos, onde foi dada a oportunidade de realizar, acompanhar, interpretar e estudar o comportamento ao arrancamento de fios ou cordões de pré-esforço colados com resina *epoxy* a provetes de diferentes tipos de pedra natural.

Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, com uma máquina para ensaios de arrancamento com limitação de carga aos 100 kN, com frequência de 5 Hz e com pré-carga de 2 kN. Estes testes foram realizados de acordo com a norma EN 10080 que determina a relação tensão de aderência – escorregamento para comprimentos rectos de amarração. Como não existe norma que especifique o tipo de ensaios realizados seguiu-se as indicações supracitadas.

O princípio do teste é carregar um varão agregado a um bloco de betão, ao longo de um comprimento de amarração estabelecido, por uma força de tracção. A outra extremidade do elemento de aço permanece sem tensão. A relação entre a força de tracção e o escorregamento (ou seja, o deslocamento relativo entre o aço e a pedra) é medido até à rotura. A força é aumentada até a rotura da aderência ou até à rotura do aço. A montagem do ensaio é ilustrada na figura seguinte:

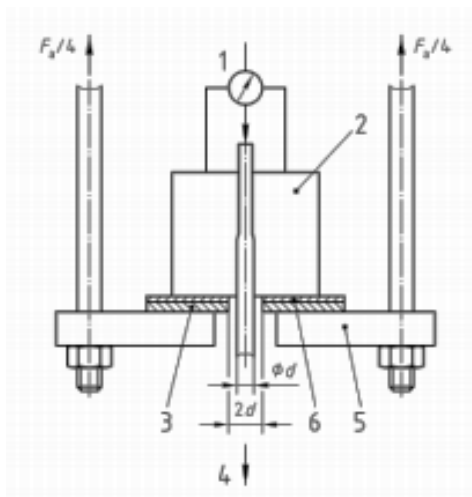


Figura 31 Princípio do teste de arrancamento segundo a EN 10080

Onde:

- 1 – LVDT
- 2 – Provete
- 3 - Chapa de aço com 10 mm de espessura
- 4 – Força de tracção aplicada durante o ensaio
- 5 – Chapa de suporte com 30 mm de espessura
- 6 – Chapa de suporte de borracha com 5 mm de espessura.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Quaisquer que sejam os materiais utilizados em ensaios de arrancamento é necessário considerar quais os possíveis casos de rotura, que podem ocorrer.

No caso de arrancamento de elementos de aço colados com resina *epoxy* em furações cilíndricas realizadas em provetes de pedra natural, a rotura ou cedência da amarração pode ocorrer numa das seguintes formas:

- Por deslizamento entre a superfície de pedra e a resina (quando a tensão de rotura por aderência é atingida)
- Por deslizamento entre a superfície da resina e o elemento de aço (quando a tensão de rotura por aderência é atingida)
- Por rotura da pedra natural (formação do cone de rotura)
- Por rotura do tirante de aço (quando a tensão de rotura é atingida)
- Por corte interno da resina (quando as tensões tangenciais de corte são atingidas no interior da resina).

O corte interno da resina não foi verificado e poderia acontecer caso a diferença entre o diâmetro do furo e do elemento de aço fosse excessivamente grande.

Quanto à aderência propriamente dita, considera-se que a resistência ao arrancamento é dada pela soma dos seguintes tipos de aderência entre superfícies em contacto:

- Adesão
- Atrito
- Mecânica

4.1.1 Aderência por adesão

A aderência por adesão é a parcela de aderência que se verifica pela resistência à separação entre dois materiais, quando sujeito a esforços que possam provocar a separação entre as superfícies de contacto. É a resistência da reacção química que liga os dois materiais.

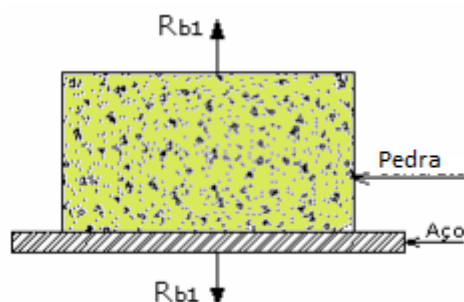


Figura 32 - Aderência por adesão

Nota: A ligação entre o aço e a pedra é feita pela injeção de resina *epoxy*, pelo que o mesmo princípio se aplica a cada uma das superfícies de contacto:

- Ligação pedra-resina
- Ligação resina-aço

4.1.2 Aderência por atrito

A aderência por atrito processa-se devido ao desenvolvimento de forças de atrito entre duas superfícies de materiais distintos. Estas forças podem variar de acordo com os coeficientes de atrito dos materiais (ver ligações), que são função das respectivas rugosidades superficiais e resultam da pressão transversal exercida pela pedra sobre a resina e da resina sobre o aço. O aço reduz parcialmente as deformações por retracção da pedra, recebendo assim as pressões transversais, provocando um acréscimo na aderência.

Quando se utilizam cabos (conjunto de cordões em hélice) estas pressões de contacto são muito superiores, aumentando a aderência por atrito obtendo-se uma solidarização dos materiais mais eficaz.

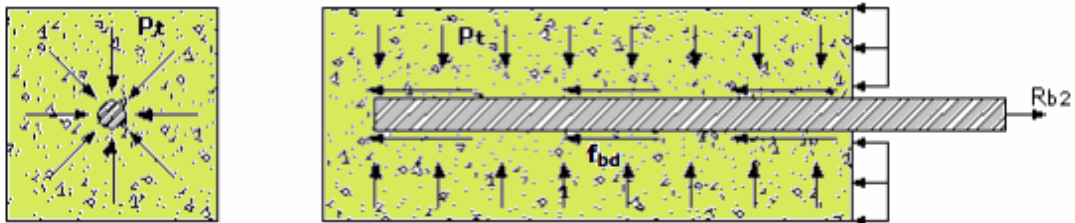


Figura 33 - Aderência por atrito

4.1.3 Aderência mecânica

A aderência mecânica desenvolve-se quando existem saliências numa ou em ambas as superfícies de contacto. As saliências funcionam como apoios e mobilizam as tensões de compressão da pedra e do aço, vindo-se a verificar a cedência pelo material com menor resistência.

Quando se utilizam tirantes indentados, as variações geométricas longitudinais ao longo do tirante promovem a aderência mecânica entre as superfícies de contacto dos diferentes materiais.

Embora os efeitos de aderência mecânica sejam muito superiores em superfícies onde existam saliências, este efeito também é considerado quando se trata de fios lisos, devido às imperfeições/irregularidades inerentes do processo de laminação. Em fios lisos a aderência mecânica e aderência por atrito são facilmente confundidas.

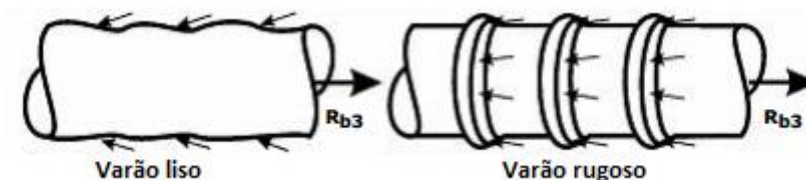


Figura 34 - aderência mecânica

A aderência determinada através de ensaios é função da aderência por adesão, atrito e mecânica, não sendo possível obter o seu valor isoladamente.

Deve ainda analisar-se a fluência, retracção e fissuração da pedra uma vez que estes factores também influenciam a aderência, tendo em conta que estes fenómenos provocam variações geométricas nos materiais.

Aderência não é apenas função da mobilização de tensões tangenciais, mas sim do equilíbrio estabelecido aquando da formação de bielas de compressão e tensões tangenciais de tracção.

4.2 Utilização de Pedra natural em fachadas

A pedra natural é um material que ao longo dos tempos foi aplicado para os mais diversos fins, devido às suas características de robustez, durabilidade e disponibilidade. Caiu em desuso a utilização de pedra natural como elemento estrutural e único elemento da fachada, verificando-se na actualidade a sua utilização apenas como revestimento de fachadas.

No entanto, continuaram a existir condicionantes a esta utilização, como a dimensão das peças de pedra ou os sistemas de fixação, entre outros. Os estudos realizados no sentido de encontrar soluções para a aplicação de pedra natural em fachadas permitiram aumentar a competitividade económica deste sistema, com a descoberta de tecnologias que permitem a fixação de peças com maior dimensão e menor espessura.

Para que não se verifique o desprendimento e acidentes graves pelo destacamento e queda de elementos de pedra, o desenvolvimento de sistemas em pedra natural para fachadas passou a responder a novas exigências relativas à resistência a acções, como o vento e sismos e/ou de segurança do sistema de fixação.

É portanto necessário realizar o correcto dimensionamento estrutural para garantir a segurança na sua utilização.

Dada a inexistência de regulamentação de estruturas para o dimensionamento deste tipo de elementos, impõe-se a adaptação de princípios regulamentares existentes na regulamentação europeia de estruturas – eurocódigos.

A par destes princípios regulamentares impõem-se ainda ensaios laboratoriais que permitam conhecer o comportamento dos materiais.

Para este estudo foram realizados ensaios em tipos de pedra distintos, como o calcário, o granito e o mármore estremo.

4.3 Caracterização dos materiais

4.3.1 Calcário

As rochas sedimentares formam-se pela deposição e consolidação por acção da gravidade e peso das sucessivas deposições que ocorrem, compactando as camadas inferiores ligando-as entre si. Inicialmente verifica-se a erosão de rocha preexistente, que é transportada e depositada ou precipitada em diferentes ambientes à superfície. Para classificar um rocha sedimentar é necessário considerar factores como o ambiente, o tipo de sedimentação, a constituição mineralógica e a dimensão das partículas. Desta forma, as rochas sedimentares são subdivididas em clásticas, químicas e orgânicas.

O calcário é uma rocha sedimentar química, pois resulta da precipitação de solutos, da diminuição de solubilidade, da precipitação pelo aumento de temperatura e conseqüente diminuição de gás carbónico que é responsável pela solubilidade dos carbonatos que constituem os calcários.

O calcário apresenta alguma resistência aos ciclos de gelo e degelo, tendo como principais características a densidade de cerca de 2,8; a tensão média de rotura cerca de 50 e 60 MPa; a tensão de rotura à compressão de cerca de 5 MPa, com coeficiente de dilatação entre 4 a 6×10^{-6} °C e o módulo de elasticidade entre 10 e 80 GPa.

4.3.2 Granito

A classificação das rochas depende fundamentalmente do seu processo de formação. Os 3 tipos de pedra utilizados para a realização dos ensaios têm diferentes processos de formação. O granito é uma rocha ígnea que se classifica de acordo com a profundidade a que se verifica a sua consolidação. Esta rocha solidifica a grande profundidade com um processo lento de arrefecimento e por isso verifica-se a cristalização de todos os seus minerais, sendo classificada como uma rocha plutónica granular e com textura granulosa. O granito normalmente apresenta elevada resistência aos ciclos de gelo e degelo e as principais características físicas e mecânicas são o coeficiente de dilatação térmica linear que varia entre $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ e $16 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$; a densidade de aproximadamente 2,6; a tensão média de rotura à tracção e por flexão na ordem dos 100 MPa. Quanto aos valores médios dos módulos de elasticidade variam entre 20GPa e 60 GPa.

4.3.3 Mármore

O mármore é uma rocha metamórfica que se forma a partir de rochas preexistentes, desde que estas tenham atingido profundidades consideráveis onde estejam sujeitas a elevadas temperaturas e pressões, durante um período de tempo suficientemente longo que permita que se desenvolvam as transformações metamórficas. As elevadas temperaturas permitem a recristalização dos minerais e as elevadas pressões exercem acções de compactação.

A designação mármore é comercialmente utilizada como referência a qualquer tipo de rocha com carbonato de cálcio na constituição, não confundindo este tipo de rocha com calcário, mas

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

assumindo que da descida do calcário por deposição de camadas até que ele atinja profundidade suficiente para que se inicie os processos de metamorfismos, dando origem a mármore.

As principais características dos mármore são a densidade de 2,6; a tensão média de rotura à compressão entre 50 e 90 MPa; o valor médio de tensão de rotura à tracção por flexão aproximadamente 7 MPa; o coeficiente de dilatação térmica entre 7 e 22 x 10⁻⁶°C e o módulo de elasticidade médio entre 40 a 80 GPa.

Analisando de uma forma simplificada o comportamento destas rochas pode-se admitir que são geralmente mais fidedignos os resultados obtidos em rochas ígneas (granito), pela homogeneidade que as rochas apresentam na sua constituição.

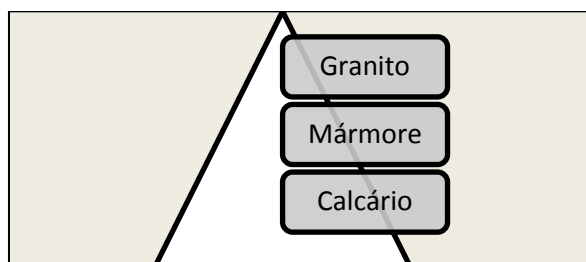


Figura 35 - Homogeneidade da pedra

4.3.4 Resina *epoxy*

As resinas *epoxy* são obtidas pela mistura de componentes: a resina propriamente dita ou base, um endurecedor e uma carga mineral, calcária ou siliciosa. A resina e o endurecedor quando se encontram separados são estáveis, e normalmente líquidos podendo apresentar maior ou menor viscosidade. Da sua mistura resulta uma reacção exotérmica. Quando se conclui o processo de cura a mistura apresenta-se no estado sólido com elevada resistência mecânica. A adição de cargas poderá provocar alterações quanto às propriedades físicas e químicas (não endurecida) e das propriedades mecânicas (endurecido).

Sika® Anchorfix® 3+ é uma resina *epoxy* bicomponente, tixotrópica, de acordo com NP EN 1504-6, ETAG001 e NF. As suas características encontram-se detalhadas nas tabelas 21 – Velocidade de cura de Sika Anchorfix 3+ e tabela 22 – Resistência à compressão segundo ASTM D695-96.

Tabela 24 - Velocidade de cura de Sika® Anchorfix 3+

Velocidade de cura (temperatura mínima do cartucho para aplicação: +5°C)		
Temperatura	Tempo Aberto	Endurecimento
>+40°C	10. min.	7 horas
+20°C a +35°C	15 min	14 horas
+10°C a +20°C	35 min.	30 horas
+5°C a +10°C	75 min.	45 horas

Tabela 25 - Resistência à compressão segundo ASTM D695-96

Resistência à compressão segundo ASTM D695-96			
Tempo de cura	+5°C	+23°C	+40°C
16 horas	11 MPa	94 MPa	108 MPa
1 dia	17 MPa	104 MPa	115 MPa
3 dias	86 MPa	112 MPa	123 MPa
7 dias	89 MPa	114 MPa	127 MPa

A aplicação desta resina é feita com recurso a Sika® Pistola AnchorFix®-3 metálica, pistola bicorpo.

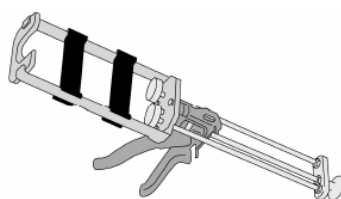


Figura 36 - Sika® Pistola AnchorFix® -3

4.3.5 Fios e cordões de aço

As armaduras de pré-esforço são caracterizadas pelo seu processo de fabrico, pela sua constituição e pelas suas propriedades mecânicas e de aderência.

Fios:

Os fios de pré-esforço utilizados têm diâmetros 5 e 7mm e apresentam uma tensão de rotura de 1760 MPa, o que implica uma força de rotura do aço de 34,56 kN e 67,73 kN respectivamente. É necessário garantir que o comprimento de amarração escolhido permita que a tensão tangencial desenvolvida ao longo das paredes do fio seja inferior à tensão de rotura por aderência entre os materiais, caso contrário ocorrerá o deslizamento e consequente arrancamento.

Cordões:

De acordo com o fornecedor dos cordões de pré-esforço, são cumpridas as directrizes da Norma Brasileira ABNT NBR 7483 que fixa os requisitos exigidos para o fabrico, encomenda, fornecimento e recepção de cordões de aço de alta resistência de 3 e 7 fios, destinados a armaduras de pré-esforço, sabe-se que os cordões utilizados são designados por CP 190 RB 3 x 4,0 com uma carga mínima de rotura de 70,1 kN.

Na mesma Norma é referido que o módulo de elasticidade do aço utilizado é de 200 GPa.

4.4 Princípios e considerações

Neste estudo pretendeu-se determinar o comprimento de amarração de elementos em aço de pré-esforço (fio ou cordão) colados com resina *epoxy* a provetes de pedra natural. Para tal foram escolhidos fios de pré-esforço de 5 e 7 mm, e ainda cordões de pré-esforço CP190 RB 3 x 4,0.

Para os cordões de pré-esforço é conhecido o diâmetro do cordão e o furo, valor máximo de resistência à tracção, e força mínima de rotura segundo ABNT NBR 7483. Os provetes são de 3 tipos diferentes de pedra (mármore, granito e calcário) com dimensão de 200 x 200 x 300 mm³. O comprimento do furo estabelece o comprimento de amarração máximo possível neste ensaio, 300 mm. O diâmetro dos furos realizados na pedra natural são de 10 ou 12 mm e o cordão escolhido tem 8,8 mm de diâmetro.

Com estas condições procurou-se determinar qual o comprimento de amarração mínimo para que se verifique o arrancamento pela rotura do tirante de aço. Nos cordões de pré-esforço o valor mínimo de resistência à tracção é de 70,1 KN. Este valor permite estabelecer o comprimento mínimo de amarração desde que seja garantido que não ocorre perda de aderência entre as superfícies de contacto.

Nos ensaios procurou-se ainda avaliar as tensões de aderência entre as superfícies aço-resina e resina-pedra para que não ocorresse arrancamento pelo deslizamento entre superfícies.

Obtiveram-se as seguintes condições:

- Comprimento de amarração máximo: 300 mm
- Diâmetro dos cordões: 8,8 mm
- Diâmetro dos furos: 10 ou 12 mm
- Comprimento mínimo de amarração: função:
 - Tensão de aderência entre o elemento de aço e a resina *epoxy*
 - Tensão de aderência entre resina *epoxy* e pedra natural
 - Tensão de rotura do aço
- Resistência dos materiais

A expressão que caracteriza a tensão de aderência é dada por:

$$\tau_{aderência} = \frac{F}{l \ x \ d \ x \ \pi}$$

Sendo:

F - força de arrancamento [N]

l – comprimento de amarração [mm]

d – diâmetro do elemento considerado (furo ou elemento de aço) [mm]

τ – tensão de aderência ou tensão tangencial no plano longitudinal [MPa ou N/mm²]

Quanto maior for o diâmetro maior será a resistência ao arrancamento porque a superfície de contacto é superior, diminuindo a possibilidade de perda de aderência com o aumento do diâmetro do fio ou cordão. O mesmo se verifica quando se aumenta o comprimento de amarração.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Para se encontrar o valor da força de rotura do aço deve verificar-se a seguinte condição, que caracteriza a tensão de rotura do aço à tracção:

$$\tau_{rotura\ do\ aço} = \frac{F}{\frac{d^2 \times \pi}{4}}$$

Sendo:

F - força de rotura do aço [N]

d – diâmetro do elemento de aço [mm]

τ – tensão de resistência à tracção [MPa ou N/mm²]

A tensão de aderência considerada é a menor obtida entre as superfícies aço-resina e resina-pedra, valores que podem ser obtidos através de ensaios de arrancamento por tracção de elementos de aço colados com resina *epoxy* a pedra natural.

Pode-se então estabelecer uma relação entre estas duas condições, determinando qual o comprimento de amarração necessário para que sejam tidas em conta as tensões de aderência e a tensão de rotura do aço.

Como já foi referido anteriormente, com a realização destes ensaios pretende-se determinar qual o comprimento de amarração para o qual se verifica a rotura por esgotamento da capacidade resistente à tracção do aço. A partir da força de arrancamento determinada nos ensaios para os vários tipos de soluções construtivas é possível determinar esse comprimento de amarração, da seguinte forma:

- Considerando uma distribuição linear de tensões ao longo do comprimento de amarração;
- Conhecendo o comportamento para pelo menos 2 comprimentos de amarração distintos.

Os cordões CP 190 RB 3 x 4,0, como já foi referido, apresentam uma carga mínima de rotura de 70,1 kN. Caso este valor seja ultrapassado verifica-se o esgotamento da capacidade resistente do aço. A partir das seguintes expressões é possível determinar as tensões de aderência mínimas entre a resina-aço e pedra-resina para que não ocorra deslizamento entre superfícies.

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{aderência\ da\ resina-pedra} = \frac{70,1}{l_1 \times d_0 \times \pi}; \\ \tau_{aderência\ do\ aço-resina} = \frac{70,1}{l_2 \times d \times \pi}; \end{array} \right. \quad l \leq (l_1; l_2)$$

Com recurso às expressões anteriores, apresenta-se abaixo a tabela 26 que demonstra os valores mínimos da tensão de aderência entre as superfícies em contacto quando é aplicada uma força de 70,1 kN.

Tabela 26 - Tensões de aderência

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

	$\tau_{\text{aderência pedra-resina}} \text{ [MPa]}$		$\tau_{\text{aderência resina-aço}} \text{ [MPa]}$
$l \text{ [mm]}$	$d_0 \text{ [mm]}$		$d \text{ [mm]}$
	10	12	8,8
150	14,88	12,40	16,90
200	11,16	9,30	12,68
250	8,93	7,44	10,14
300	7,44	6,20	8,45

Assim são satisfeitas as condições de resistência mecânica da pedra, do aço, da resina e está garantido que não ocorrerá deslizamento entre as superfícies pedra-resina e resina-aço (através do controlo de tensões).

Quando seja possível fixar um valor para a aderência entre as superfícies de contacto é possível determinar quais as condições geométricas a definir para a solicitação desejada, bem como determinar qual o caso de rotura que poderá ser verificado.

Tabela 27 - Casos de rotura e condições limite

Caso de rotura	Condição limite
Deslizamento entre a superfície de pedra e a resina	$\tau_{\text{aderência}} < \frac{F}{l \times d_0 \times \pi}$ d_0 – diâmetro do furo da pedra [mm]
Deslizamento entre a superfície da resina e o elemento de aço	$\tau_{\text{aderência}} < \frac{F}{l \times d \times \pi}$ d – diâmetro do elemento de aço [mm]
Rotura da pedra natural (formação do cone de rotura)	$\tau_{\text{aderência}} < \tau_{\text{pedra}}$ Após o ensaio, à superfície do provete no plano da furação verifica-se a formação de um cone de rotura com destacamento da pedra
Rotura do tirante de aço	$\tau_{\text{rotura}} < \frac{F}{\frac{d^2 \times \pi}{4}}$ d – diâmetro do elemento de aço [mm]
Corte interno da resina	Não caracterizado neste trabalho.

4.5 Ensaio com fios e fichas de ensaio

Inicialmente foram realizados ensaios exploratórios para se compreender o comportamento da ligação entre os diferentes materiais. Ensaio de Arrancamento em provetes de Pedra natural.

Local: Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia do Porto

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Identificação do ensaio: EEV1

Tipo de pedra: **Granito**

Dados: $l = 300 \text{ mm}$ $d_0 = 10 \text{ mm}$ $d = 5 \text{ mm}$

Registo
fotográfico antes
da rotura



Registo
fotográfico após
rotura



Gráfico Força-
deslocamento

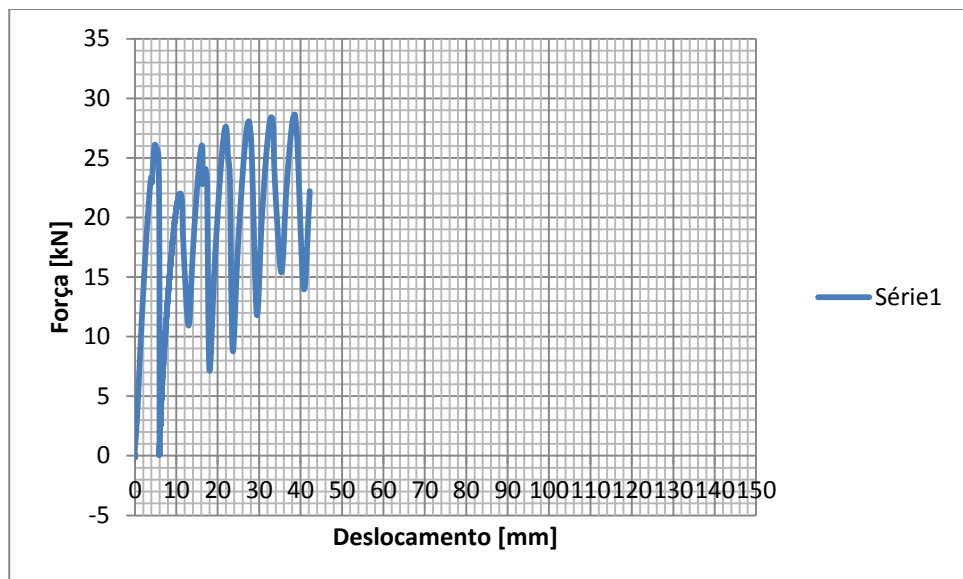


Gráfico 1 - Força de arrancamento – ensaio EEV1

Resultados do ensaio

Força máxima 28,86 KN

Deslocamento máximo 36,63 mm

Tensão média de aderência na superfície de pedra

$$\tau_1 = \frac{F}{d_0 \times l \times \pi} = \frac{28,86}{0,010 \times 0,3 \times \pi} = 3,063 \text{ MPa}$$

Tensão média de aderência na superfície do aço

$$\tau_2 = \frac{F}{d \times l \times \pi} = \frac{28,86}{0,005 \times 0,3 \times \pi} = 6,125 \text{ MPa}$$

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Conclusões: Não foi atingido o valor limite de resistência à tracção do aço.

O comprimento de amarração é máximo com 300 mm, não sendo possível aumentar este comprimento não será possível verificar-se a rotura do aço. Estamos perante o caso de deslizamento entre as superfícies de resina *epoxy* e o provete de granito.

Em ensaios futuros poder-se-á utilizar diâmetro do furo superior a 12 mm.

Ensaios de Arrancamento em provetes de Pedra natural

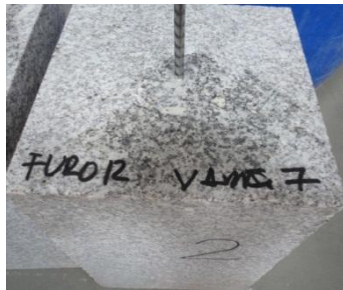
Local: Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia do Porto

Identificação do ensaio: EEV2

Tipo de pedra: Granito

Dados: $l = 300 \text{ mm}$ $d_o = 12 \text{ mm}$ $d = 7 \text{ mm}$

Registo
fotográfico antes
da rotura



Registo
fotográfico após
rotura

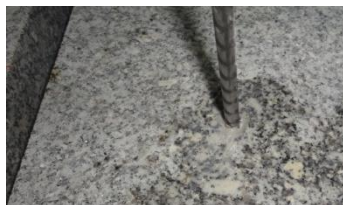
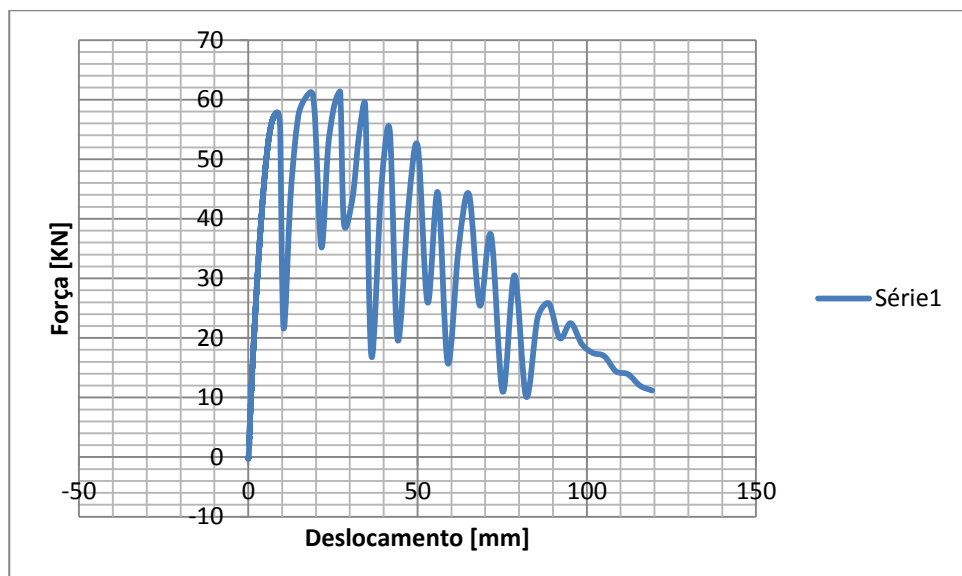


Gráfico Força-
deslocamento



Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Gráfico 2 - Força de arrancamento – ensaio EEV2

Resultados do ensaio

Força máxima 61,2824 KN com deslocamento associado de 18,52 mm

Deslocamento 119,37 mm

máximo

Tensão média de aderência na superfície de pedra

$$\tau_1 = \frac{F}{d_0 \times l \times \pi} = \frac{61,2824}{0,012 \times 0,3 \times \pi} = 5,419 \text{ MPa}$$

Tensão média de aderência na superfície do aço

$$\tau_2 = \frac{F}{d \times l \times \pi} = \frac{61,2824}{0,007 \times 0,3 \times \pi} = 9,289 \text{ MPa}$$

Conclusões: Verificou-se o arrancamento do fio de aço para uma força de 61,28 kN. Considerando as tensões médias de aderência obtidas, estamos perante o caso de deslizamento entre as superfícies de aço e a resina ou resina *epoxy* e provete de granito.

O comprimento de amarração é máximo com 300 mm, não sendo possível aumentar este comprimento não será possível verificar-se a rotura do aço.

Em ensaios futuros poder-se-á utilizar fios de aço com diâmetro superior.

Ensaio de Arrancamento em provetes de Pedra natural

Local: Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia do Porto

Identificação do ensaio: EEV3

Tipo de pedra: Granito

Dados: l = 300 mm

do = 12 mm

d = 5 mm

Registo fotográfico antes da rotura



Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Registo
fotográfico após
rotura



Gráfico Força-
deslocamento

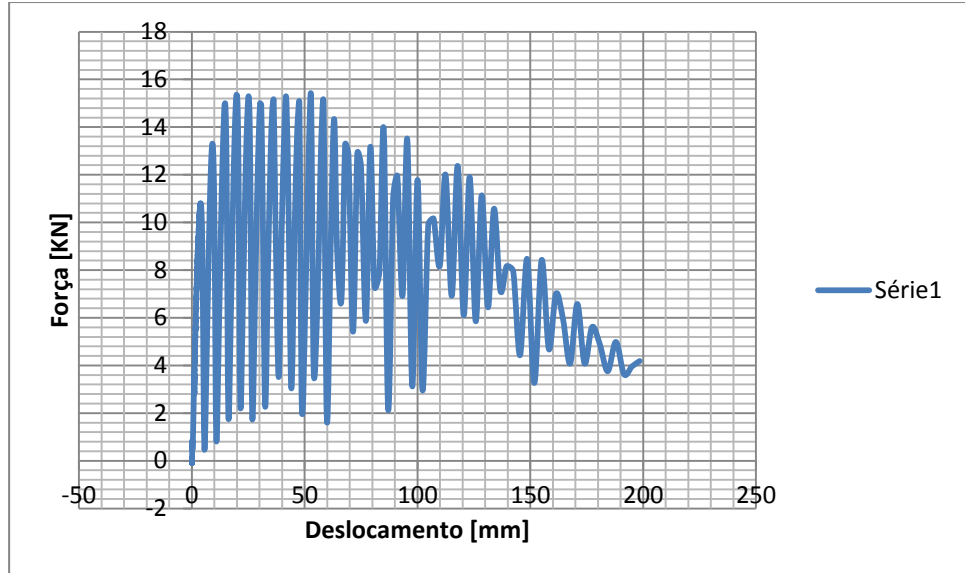


Gráfico 3 - Força de arrancamento – ensaio EEV3

Resultados do ensaio

Força máxima 15,35 KN com deslocamento associado de 19,695 mm

Deslocamento máximo 198,41 mm

Tensão média de aderência na superfície de pedra

$$\tau_1 = \frac{F}{d_0 x l x \pi} = \frac{15,35}{0,012 x 0,3 x \pi} = 1,35 \text{ MPa}$$

Tensão média de aderência na superfície do aço

$$\tau_2 = \frac{F}{d x l x \pi} = \frac{15,35}{0,005 x 0,3 x \pi} = 3,26 \text{ MPa}$$

Conclusões: Não foi atingido o valor limite de resistência à tracção do aço.

O comprimento de amarração é máximo com 300 mm, não sendo possível aumentar este comprimento não será possível verificar-se a rotura do aço. O resultado deste ensaio é anormal pelo que deverá ser justificado pelo deficiente preenchimento da resina *epóxi* ou formação de bolhas de ar que provocaram a perda de aderência inesperada.

Após a realização dos ensaios exploratórios (EEV1 e EEV2), verificou-se que para furos de 10mm e 12mm com fios de 5mm e 7mm, respectivamente, não é possível verificar-se a rotura do aço. Para o comprimento máximo de amarração possível, 300 mm, obteve-se uma força máxima de arrancamento de 61,28 KN, sendo assim abandonada a hipótese de utilizar fios de aço passando a realizar-se estes ensaios com recursos a cordões de pré-esforço.

4.5.1 Ensaio com cordões

Com o reduzido aumento do diâmetro do elemento de aço, consegue-se com a utilização de cordões aumentar substancialmente a superfície de contacto e diminuir conseqüentemente a possibilidade de perda de aderência entre as superfícies de aço e resina pelo que, e por esse motivo passaram a ser utilizados cordões de pré-esforço nos ensaios de arrancamento. Com a utilização de cordões de pré-esforço verifica-se o desenvolvimento de efeito de resistência de parede que aumenta a aderência por atrito entre as superfícies de contacto.

Para tal, recorreu-se à utilização de cordões de pré-esforço com 3 fios e com diâmetro nominal de 8,8mm, tendo-se obtido os seguintes resultados:

Ensaio de Arrancamento em provetes de Pedra natural

Local: Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia do Porto

Identificação do ensaio: EEC1.G

Tipo de pedra: Granito

Dados: $l = 300 \text{ mm}$ $d_0 = 10 \text{ mm}$ $d = 8,8 \text{ mm}$

Registo ND

fotográfico antes da rotura

Registo ND

fotográfico após rotura

Gráfico Força-deslocamento

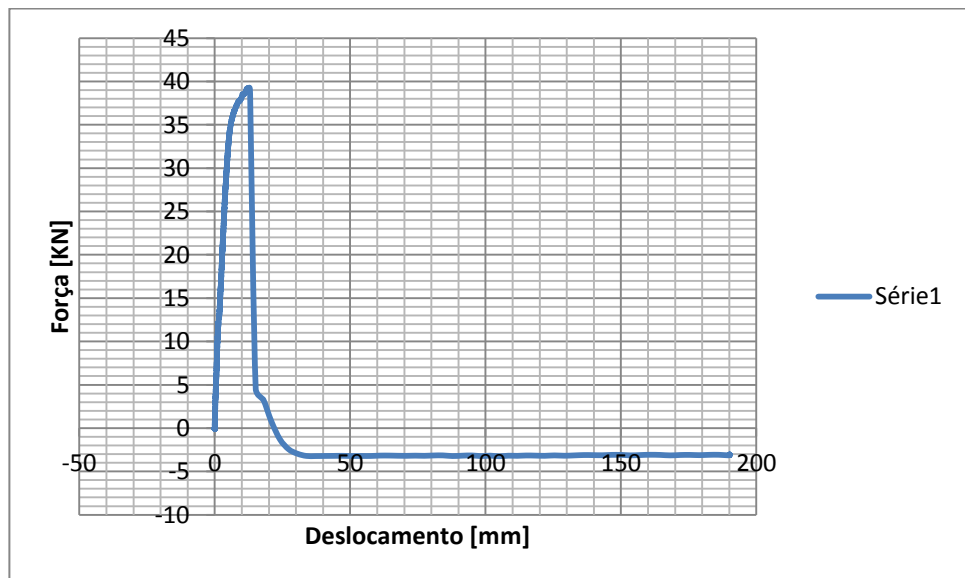


Gráfico 4 - Força de arrancamento – ensaio EEC1.G

Resultados do ensaio

Força máxima 39,29 KN com deslocamento associado de 12,841 mm

Deslocamento máximo 190,093 mm

Tensão média de aderência na

$$\tau_1 = \frac{F}{d_0 \times l \times \pi} = \frac{39,29}{0,012 \times 0,3 \times \pi} = 4,168 \text{ MPa}$$

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

superfície de
pedra

Tensão média de
aderência na
superfície do aço

$$\tau_2 = \frac{F}{d \times l \times \pi} = \frac{39,29}{0,0088 \times 0,3 \times \pi} = 4,737 \text{ MPa}$$

Como seria de esperar, quanto mais próximo for o diâmetro do furo e do fio mais próximas serão as tensões médias de aderência, uma vez que se relacionam com a geometria da superfície de contacto.

Pela mesma razão apontada acima, poder-se-á ter verificado o arrancamento prematuro devido ao deslizamento entre superfícies.

Ensaios de Arrancamento em provetes de Pedra natural

Local: Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia do Porto

Identificação do ensaio: EEC2.G

Tipo de pedra: Granito

Dados: **l = 300 mm** **do = 12 mm** **d = 8,8 mm**

Registo ND
fotográfico antes
da rotura

Registo ND
fotográfico após
rotura

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Gráfico Força-deslocamento

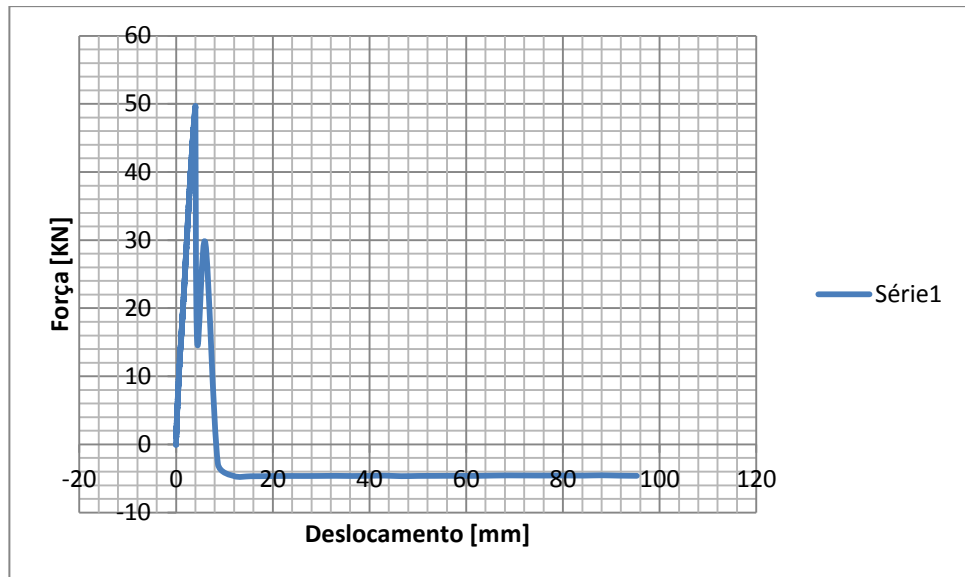


Gráfico 5 - Força de arrancamento – ensaio EEC2.G

Força máxima 49,73 KN com deslocamento associado de 4,004 mm

Deslocamento máximo 95,27 mm

Tensão média de aderência na superfície de pedra

$$\tau_1 = \frac{F}{d_0 \times l \times \pi} = \frac{49,75}{0,012 \times 0,3 \times \pi} = 4,34 \text{ MPa}$$

Tensão média de aderência na superfície do aço

$$\tau_2 = \frac{F}{d \times l \times \pi} = \frac{49,75}{0,0088 \times 0,3 \times \pi} = 5,99 \text{ MPa}$$

Conclusões: Como já se tinha verificado, para provetes de granito verifica-se a perda de aderência entre superfície de pedra e a resina *epoxy*. É normalmente para valores acima de 4 MPa que ocorre a falha de aderência, podendo ser esta a condição mais relevante neste tipo de pedra.

Os ensaios realizados em provetes de pedra de mármore apresentaram os seguintes resultados

Ensaio de Arrancamento em provetes de Pedra natural

Local: Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia do Porto

Identificação do ensaio: EEC1.M

Tipo de pedra: Mármore

Dados: $l = 200 \text{ mm}$ $d_0 = 12 \text{ mm}$ $d = 8,8 \text{ mm}$

Registo ND

fotográfico antes da rotura

Registo ND

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

fotográfico após
rotura

Gráfico Força-
deslocamento

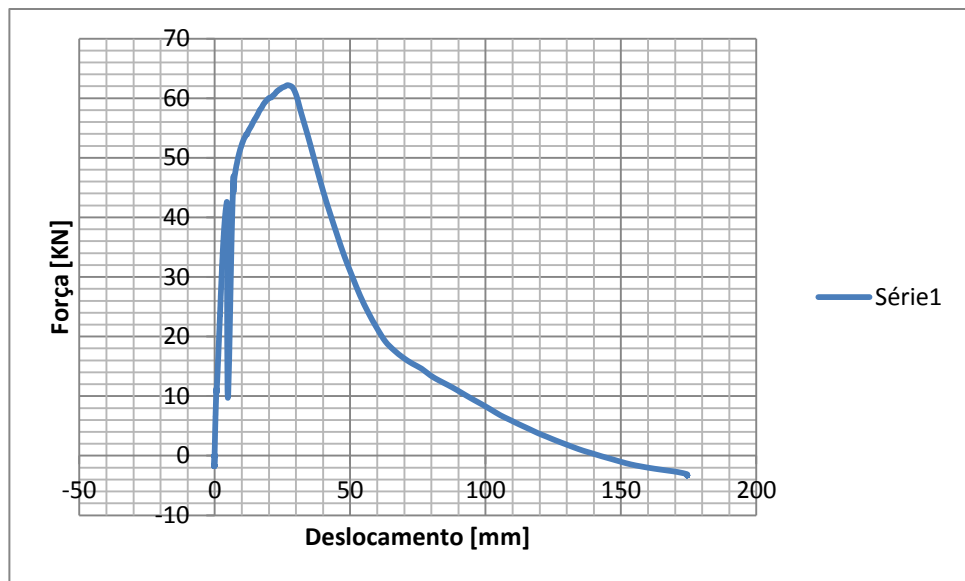


Gráfico 6 - Força de arrancamento – ensaio EEC1.M

Resultados do ensaio

Força máxima 62,21 KN com deslocamento associado de 27,001 mm

Deslocamento máximo 174,471 mm

Tensão média de aderência na superfície de pedra

$$\tau_1 = \frac{F}{d_0 \times l \times \pi} = \frac{62,21}{0,012 \times 0,2 \times \pi} = 8,25 \text{ MPa}$$

Tensão média de aderência na superfície do aço

$$\tau_2 = \frac{F}{d \times l \times \pi} = \frac{62,21}{0,0088 \times 0,2 \times \pi} = 11,25 \text{ MPa}$$

Ensaio de Arrancamento em provetes de Pedra natural

Local: Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia do Porto

Identificação do ensaio: EEC2.M

Tipo de pedra: Mármore

Dados: $l = 200 \text{ mm}$ $d_0 = 12 \text{ mm}$ $d = 8,8 \text{ mm}$

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Gráfico Força-
deslocamento

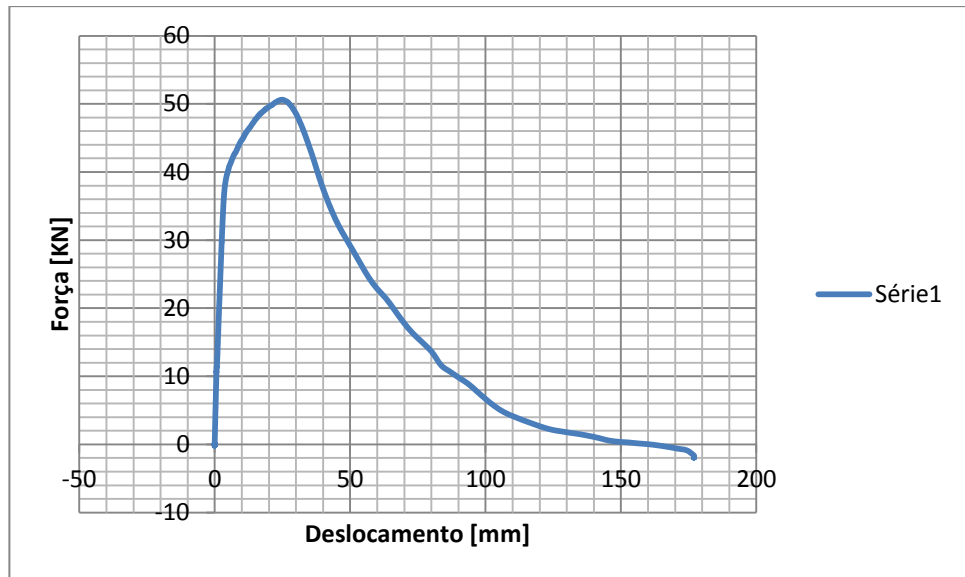


Gráfico 7 - Força de arrancamento – ensaio EEC2.M

Resultados do ensaio:

Força máxima 50,63 KN com deslocamento associado de 25,068 mm

Deslocamento máximo 176,94 mm

Tensão média de aderência na superfície de pedra

$$\tau_1 = \frac{F}{d_0 \times l \times \pi} = \frac{50,63}{0,012 \times 0,2 \times \pi} = 6,72 \text{ MPa}$$

Tensão medida de aderência na superfície do aço

$$\tau_2 = \frac{F}{d \times l \times \pi} = \frac{50,63}{0,0088 \times 0,2 \times \pi} = 9,16 \text{ MPa}$$

Conclusões: Em ambos os ensaios verificou-se a perda de aderência entre a superfície do provete de pedra e a resina *epoxy*.

Ensaio de Arrancamento em provetes de Pedra natural

Local: Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia do Porto

Identificação do ensaio:EEC3.M

Tipo de pedra: Mármore

Dados: $l = 150 \text{ mm}$ $d_0 = 12 \text{ mm}$ $d = 8,8 \text{ mm}$

Registo ND

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

fotográfico antes da rotura

Registo ND

fotográfico após rotura

Gráfico Força-deslocamento

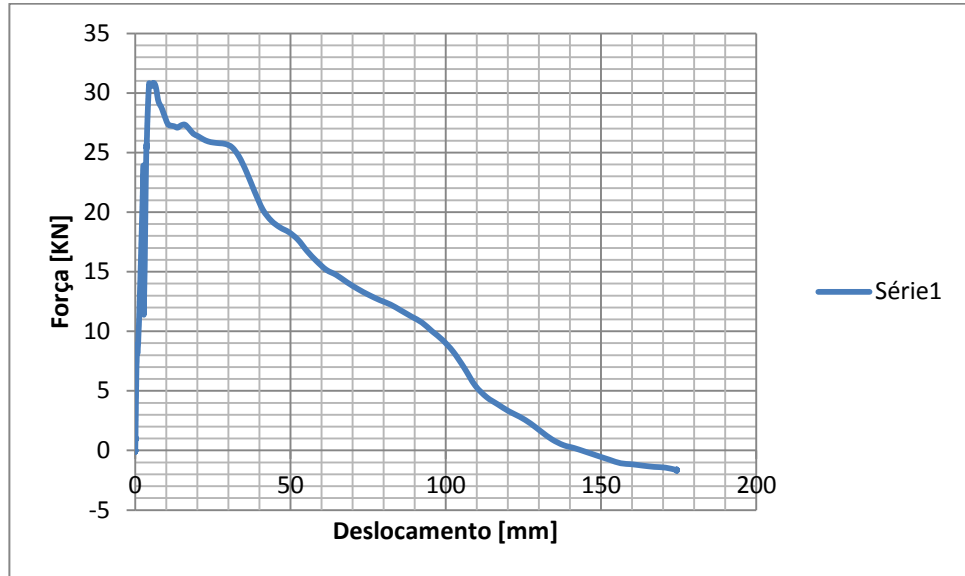


Gráfico 8 - Força de arrancamento – ensaio EEC5.M

Resultados do ensaio

Força máxima 30,83 KN com deslocamento associado de 6,021 mm

Deslocamento máximo 174,379 mm

Tensão média de aderência na superfície de pedra

$$\tau_1 = \frac{F}{d_0 \times l \times \pi} = \frac{30,83}{0,012 \times 0,15 \times \pi} = 5,45 \text{ MPa}$$

Tensão média de aderência na superfície do aço

$$\tau_2 = \frac{F}{d \times l \times \pi} = \frac{30,83}{0,0088 \times 0,15 \times \pi} = 7,44 \text{ MPa}$$

Conclusões: Verificou-se a perda de aderência entre a superfície do provete de pedra e a resina *epoxy* para uma força de 30,83 kN.

Após a realização dos ensaios acima apresentados iniciou-se o ensaio em pedra de calcário branco real para as mesmas condições, conforme apresentado na ficha de relatório.

Ensaio de Arrancamento em provetes de Pedra natural

Local: Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia do Porto

Identificação do ensaio: EEC1.C

Tipo de pedra: Calcário

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Dados: $l = 200 \text{ mm}$ $d_o = 12 \text{ mm}$ $d = 8,8 \text{ mm}$

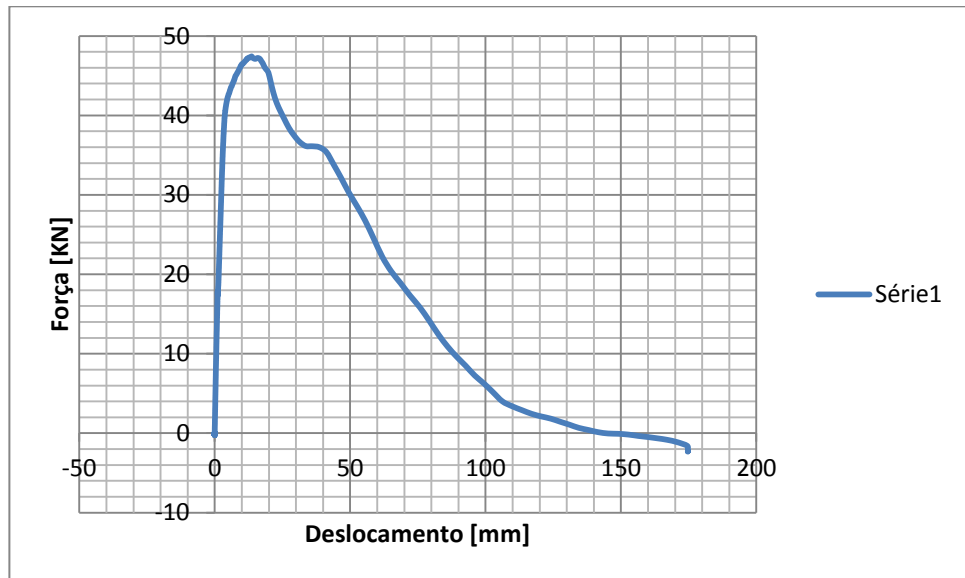


Gráfico 9 - Força de arrancamento – ensaio EEC1.C

Força máxima 47,45 KN com deslocamento associado de 13,657 mm

Deslocamento máximo 174,729 mm

Tensão média de aderência na superfície de pedra

$$\tau_1 = \frac{F}{d_o \times l \times \pi} = \frac{47,45}{0,012 \times 0,2 \times \pi} = 6,29 \text{ MPa}$$

Tensão medida de aderência na superfície do aço

$$\tau_2 = \frac{F}{d \times l \times \pi} = \frac{47,45}{0,0088 \times 0,2 \times \pi} = 8,58 \text{ MPa}$$

Ensaios de Arrancamento em provetes de Pedra natural

Local: Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia do Porto

Identificação do ensaio: EEC2.C

Tipo de pedra: Calcário

Dados: $l = 200 \text{ mm}$ $d_o = 12 \text{ mm}$ $d = 8,8 \text{ mm}$

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

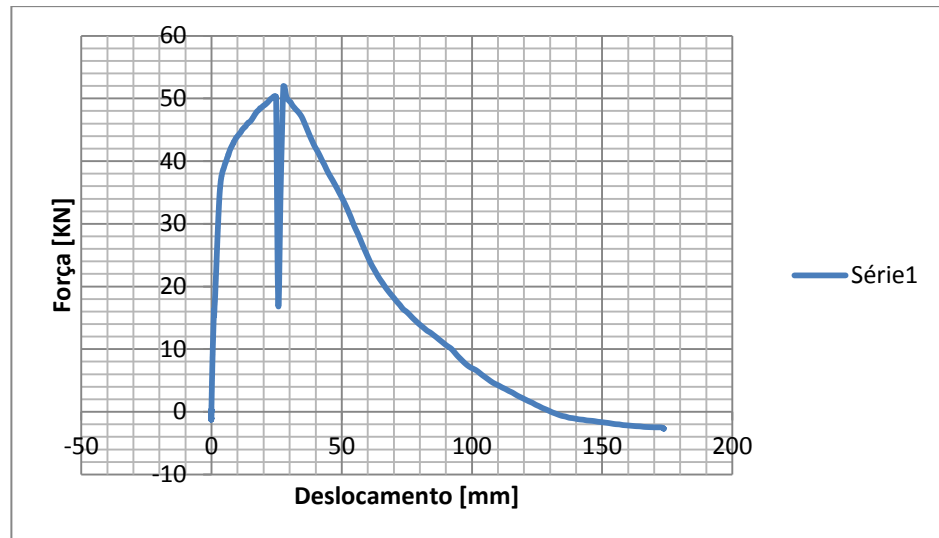


Gráfico 10 - Força de arrancamento – ensaio EEC2.C

Força máxima 51,95 KN com deslocamento associado de 27,623 mm

Deslocamento máximo 173,68 mm

Tensão média de aderência na superfície de pedra

$$\tau_1 = \frac{F}{d_0 \times l \times \pi} = \frac{51,93}{0,012 \times 0,2 \times \pi} = 6,89 \text{ MPa}$$

Tensão média de aderência na superfície do aço

$$\tau_2 = \frac{F}{d \times l \times \pi} = \frac{51,93}{0,0088 \times 0,2 \times \pi} = 9,39 \text{ MPa}$$

Conclusões: Verificou-se nestes ensaios o arrancamento do cordão de aço com formação do cone de rotura, ou seja, foi ultrapassado o limite de resistência à tracção de pedra.

Conclui-se que para um comprimento de amarração de 300mm (valor máximo possível) não será possível observar-se o caso de rotura pela falha coesiva do aço (atingir o limite de rotura do aço).

Ensaio de Arrancamento em provetes de Pedra natural

Local: Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia do Porto

Identificação do ensaio: EEC3.C

Tipo de pedra: Calcário

Dados: $l = 150 \text{ mm}$ $d_0 = 12 \text{ mm}$ $d = 8,8 \text{ mm}$

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Registo ND
fotográfico antes da rotura

Registo ND
fotográfico após rotura

Gráfico Força-deslocamento

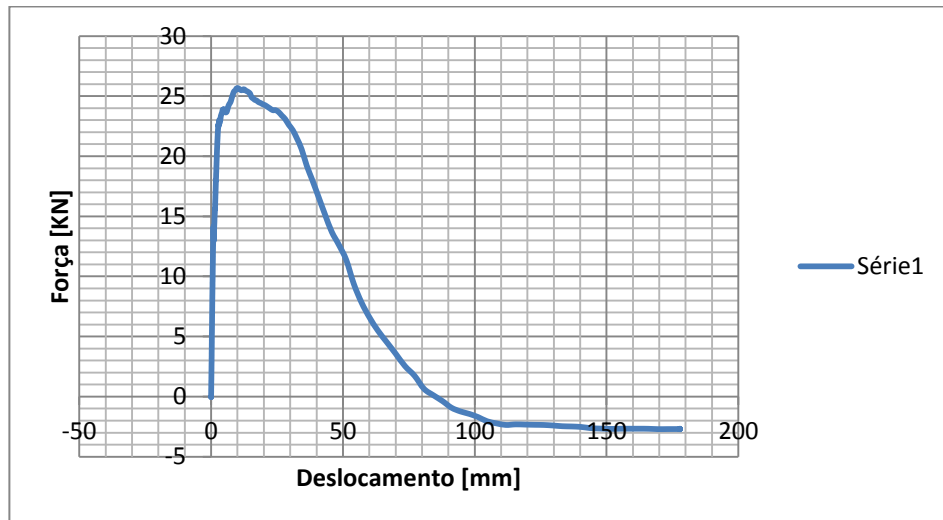


Gráfico 11 - Força de arrancamento – ensaio EEC3.C

Resultados do ensaio

Força máxima 25,67 KN com deslocamento associado de 10,246 mm

Deslocamento máximo 177,878 mm

Tensão média de aderência na superfície de pedra

$$\tau_1 = \frac{F}{d_0 \times l \times \pi} = \frac{25,67}{0,012 \times 0,15 \times \pi} = 4,54 \text{ MPa}$$

Tensão medida de aderência na superfície do aço

$$\tau_2 = \frac{F}{d \times l \times \pi} = \frac{25,67}{0,0088 \times 0,15 \times \pi} = 6,19 \text{ MPa}$$

Conclusões: Verificou-se o deslizamento entre a superfície de contacto. Nos ensaios EEC.1C e EEC.2C verificou-se o arrancamento por formação do cone de rotura pela falha coesiva da pedra de calcário, neste ensaio não se observou o mesmo talvez pela diminuição do comprimento de amarração.

Ensaio de Arrancamento em provetes de Pedra natural

Local: Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia do Porto

Identificação do ensaio: EEC4.M

Tipo de pedra: Mármore

Dados: $l = 250 \text{ mm}$ $d_0 = 12 \text{ mm}$ $d = 8,8 \text{ mm}$

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Registo
fotográfico antes
da rotura



Registo
fotográfico após
rotura



Gráfico Força-
deslocamento

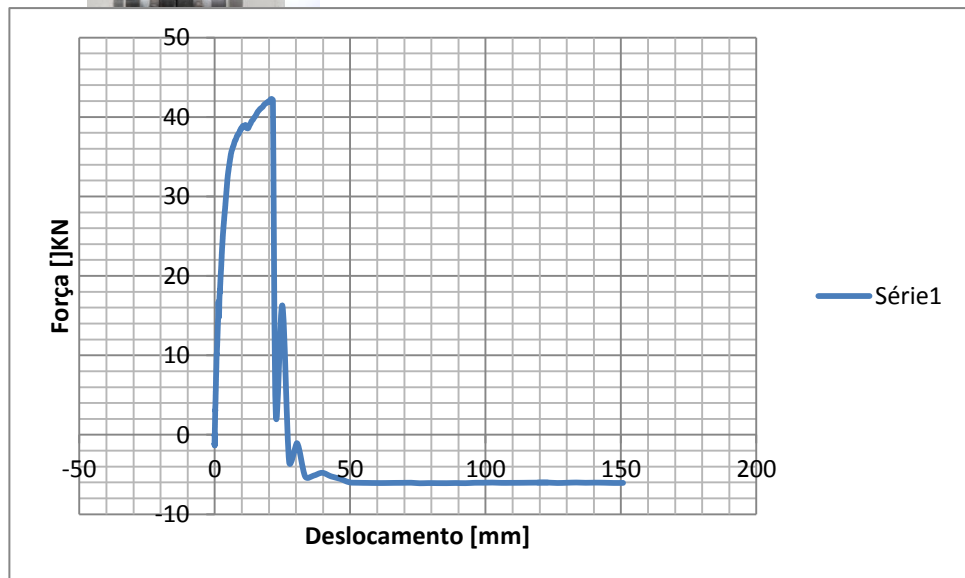


Gráfico 12 - Força de arrancamento – ensaio EEC4.M

Resultados do ensaio

Força máxima 42,27 KN com deslocamento associado de 20,64 mm

Deslocamento ND
máximo

Tensão média de
aderência na
superfície de
pedra

$$\tau_1 = \frac{F}{d_0 \times l \times \pi} = \frac{42,27}{0,012 \times 0,25 \times \pi} = 4,48 \text{ MPa}$$

Tensão medida
de aderência na
superfície do aço

$$\tau_2 = \frac{F}{d \times l \times \pi} = \frac{42,27}{0,0088 \times 0,25 \times \pi} = 6,12 \text{ MPa}$$

Conclusões: Verificou-se o escorregamento entre o cordão preso na maxila, não sendo portanto verificado nenhum dos casos de rotura previstos.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Ensaio de Arrancamento em provetes de Pedra natural

Local: Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia do Porto

Identificação do ensaio: EEC5.M

Tipo de pedra: Mármore

Dados: $l = 250 \text{ mm}$ $d_o = 12 \text{ mm}$ $d = 8,8 \text{ mm}$

Registo
fotográfico
antes da
rotura



Registo
fotográfico
após rotura



Gráfico Força-
deslocamento

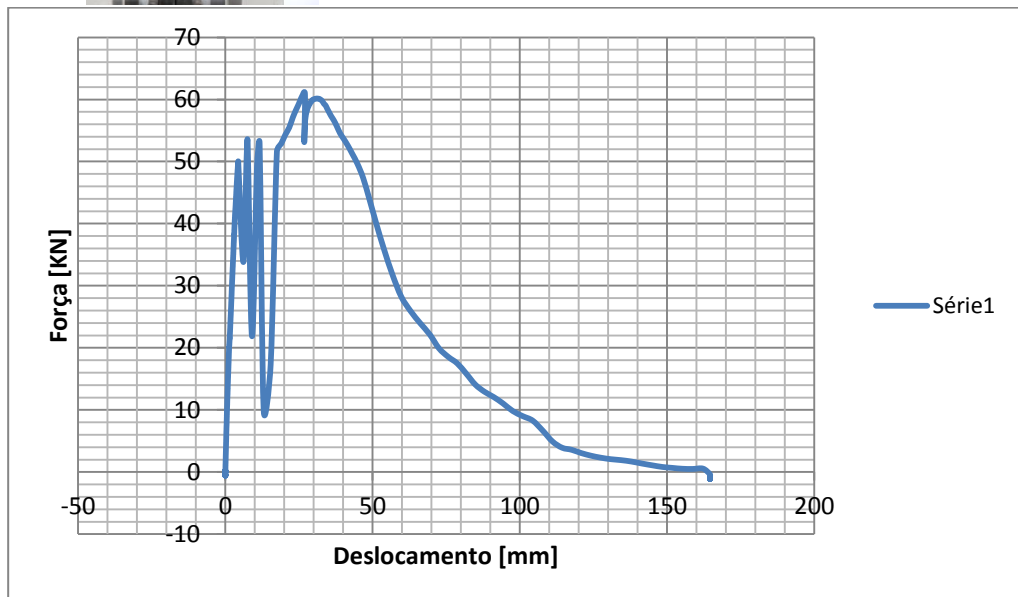


Gráfico 13 - Força de arrancamento – ensaio EEC5.M

Resultados do ensaio

Força máxima 61,17 kN com deslocamento associado de 26,90 mm

Deslocamento máximo mm

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Tensão média
de aderência
na superfície
de pedra

$$\tau_1 = \frac{F}{d_0 \times l \times \pi} = \frac{61,17}{0,012 \times 0,25 \times \pi} = 6,49 \text{ MPa}$$

Tensão
medida de
aderência na
superfície do
aço

$$\tau_2 = \frac{F}{d \times l \times \pi} = \frac{61,17}{0,0088 \times 0,25 \times \pi} = 8,85 \text{ MPa}$$

Conclusões: Verificou-se a perda de aderência entre a superfície do provete de pedra e a resina *epoxy* para uma força de arrancamento de 61,17 kN, ou deslizamento entre a superfície do cordão de aço e resina *epoxy* tendo em conta que a tensão verificada é 8 MPa.

4.6 Análise crítica e conclusões

Em ensaios de arrancamento de fios ou cordões de pré-esforço colados com resina *epoxy* a provetes de diferentes tipos de pedra natural, a quantificação de tensões produzidas entre as superfícies de contacto e da resistência máxima de rotura de cada material é fundamental para a determinação do comprimento de amarração para que não se verifique o arrancamento.

Tendo em conta que a campanha de ensaios foi curta, seria necessário realizar mais ensaios para avaliar o exacto comportamento deste tipo de ligações, e portanto as conclusões são apenas indicativas. No entanto, foi possível analisar o comportamento deste sistema pela comparação entre as diferentes condições dos ensaios, dos resultados obtidos em cada um deles e assim determinar a tensão média de aderência entre o aço e a resina, entre a resina e os diferentes tipos de pedra e as condições geométricas para que se verifique a tensão limite de rotura do aço sem que ocorra deslizamento entre as superfícies de contacto.

De uma forma generalizada verificou-se o arrancamento por perda de aderência entre as superfícies de contacto, excepto em alguns ensaios com os provetes de calcário onde se observou o arrancamento por formação do cone de rotura por falha coesiva do elemento de pedra.

Nos provetes calcários com comprimento de amarração de 200 mm observou-se o destacamento de pequenos pedaços de pedra e formação do cone de rotura em torno do furo devido à concentração de tensões. Deste resultado é possível determinar a tensão tangencial máxima a que

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

estes provetes de calcário podem estar sujeitos e em futuros ensaios, por exemplo, aumentar o diâmetro do furo. No entanto para o mesmo tipo de pedra e com comprimento de amarração de 150 mm verificou-se a perda de aderência entre superfícies de contacto.

Avaliando as forças obtidas para os comprimentos de amarração referidos (150 e 200 mm) observa-se que para um aumento de 50 mm no comprimento de amarração é lida cerca do dobro da força para se verificar o arrancamento, conforme demonstrado no gráfico 15.

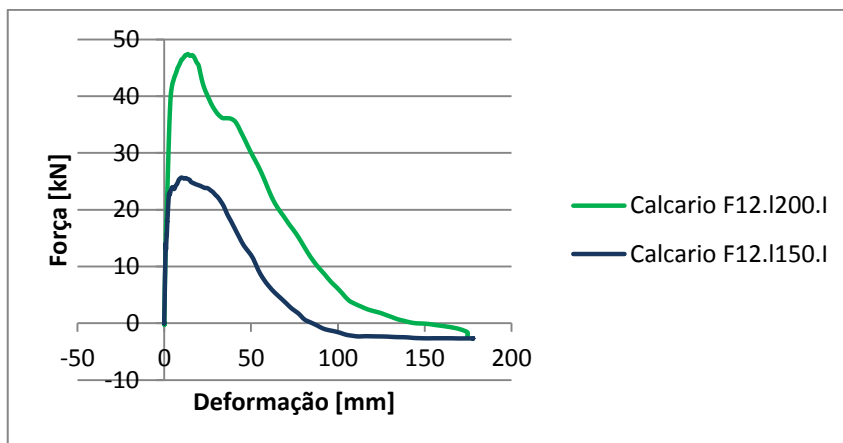


Gráfico 14 - Provete de pedra calcária, com furo 12mm e diferentes comprimentos de amarração

Portanto, no provete calcário com comprimento de amarração de 150 mm terá sido condicionante a perda de aderência entre a superfície de pedra e a resina.

Nos provetes de granito, tendo em conta os resultados para ensaios com comprimento de amarração máximo de 300 mm, com furos de 10 e 12 mm não será possível vir-se a observar o arrancamento por esgotamento da resistência à tracção do aço. Nestes provetes ocorreu o deslizamento entre a superfície de pedra e resina.

Nos provetes de mármore para que se verifique a rotura do aço preconiza-se a utilização de agentes de aderência na superfície da pedra e no cordão de pré-esforço. Esta conclusão foi obtida tendo como base nos resultados obtidos dos ensaios EEC.1M e EEC5.M, conforme se apresenta no gráfico seguinte:

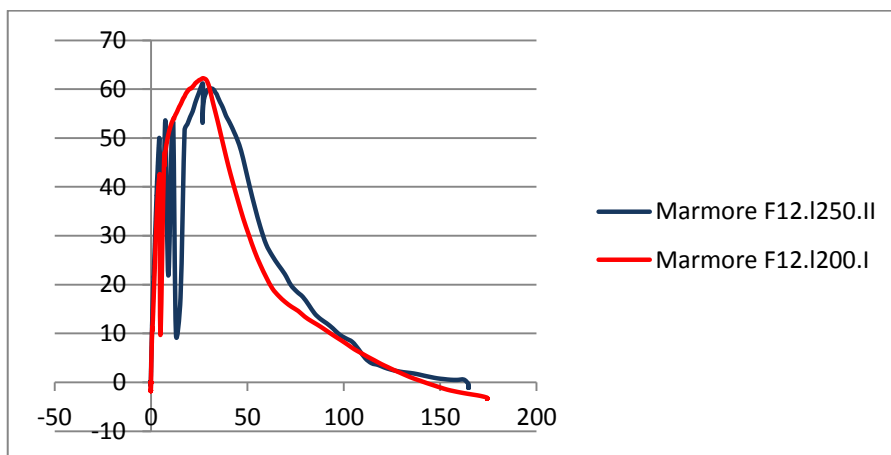


Gráfico 15 - Provete de pedra mármore, com furo 12mm e diferentes comprimentos de amarração

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Atendendo a que a força limite para a rotura do aço é de 70,1 kN e que nos ensaios em provetes de mármore com o comprimento de amarração de 200 mm, se verificou o arrancamento para uma carga de 62,21kN, foi aumentado o comprimento de amarração tendo-se obtido uma carga última de 61,17 kN. Em função destes resultados, conclui-se que terá sido atingida a tensão de aderência limite entre a superfície aço-resina.

Com a utilização de agentes de aderência no elemento de aço ou tratamento da superfície do furo do provete de pedra para aumentar a rugosidade, pode vir-se a verificar a rotura do elemento de aço que é a principal condição neste tipo de ligações.

Da análise de todos os resultados obtidos nos ensaios realizados conclui-se que:

- A tensão de aderência registada entre a resina *epoxy* e pedra granito é inferior à tensão de aderência entre a resina *epoxy* e o mármore;
- A tensão média de aderência entre a resina *epoxy* e aço é de 8 MPa;
- A tensão de aderência máxima registada entre a resina *epoxy* e mármore é de 11,3 MPa, sendo este o valor máximo obtido;
- A tensão de aderência entre resina *epoxy* e mármore é cerca de 8 MPa, tendo sido excluídos os valores máximo e mínimo verificados;
- A tensão de aderência máxima registada entre resina *epoxy* e o granito foi de 5,3 MPa.

A tabela e gráfico seguinte apresentam a comparação entre todos os resultados obtidos em ensaios realizados com cordões.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Tabela 28 - Quadro resumo dos resultados obtidos [Força em KN e Deslocamento em mm]

Mármore										Calcário						Granito			
d12.200.1		d12.200.2		d12.150		d12.250.1		d12.250.2		d12.200.1		d12.200.2		d12.150		d12.300		d10.300	
DESL	FORÇA	DESL	FORÇA	DESL	FORÇA	DESL	FORÇA	DESL	FORÇA	DESL	FORÇA	DESL	FORÇA	DESL	FORÇA	DESL	FORÇA	DESL	FORÇA
27,002	62,21	25,068	50,64	6,016	30,83	21,192	42,27	26,91	61,17	13,658	47,45	27,623	51,95	10,246	25,67	12,842	39,29	4,004	49,73

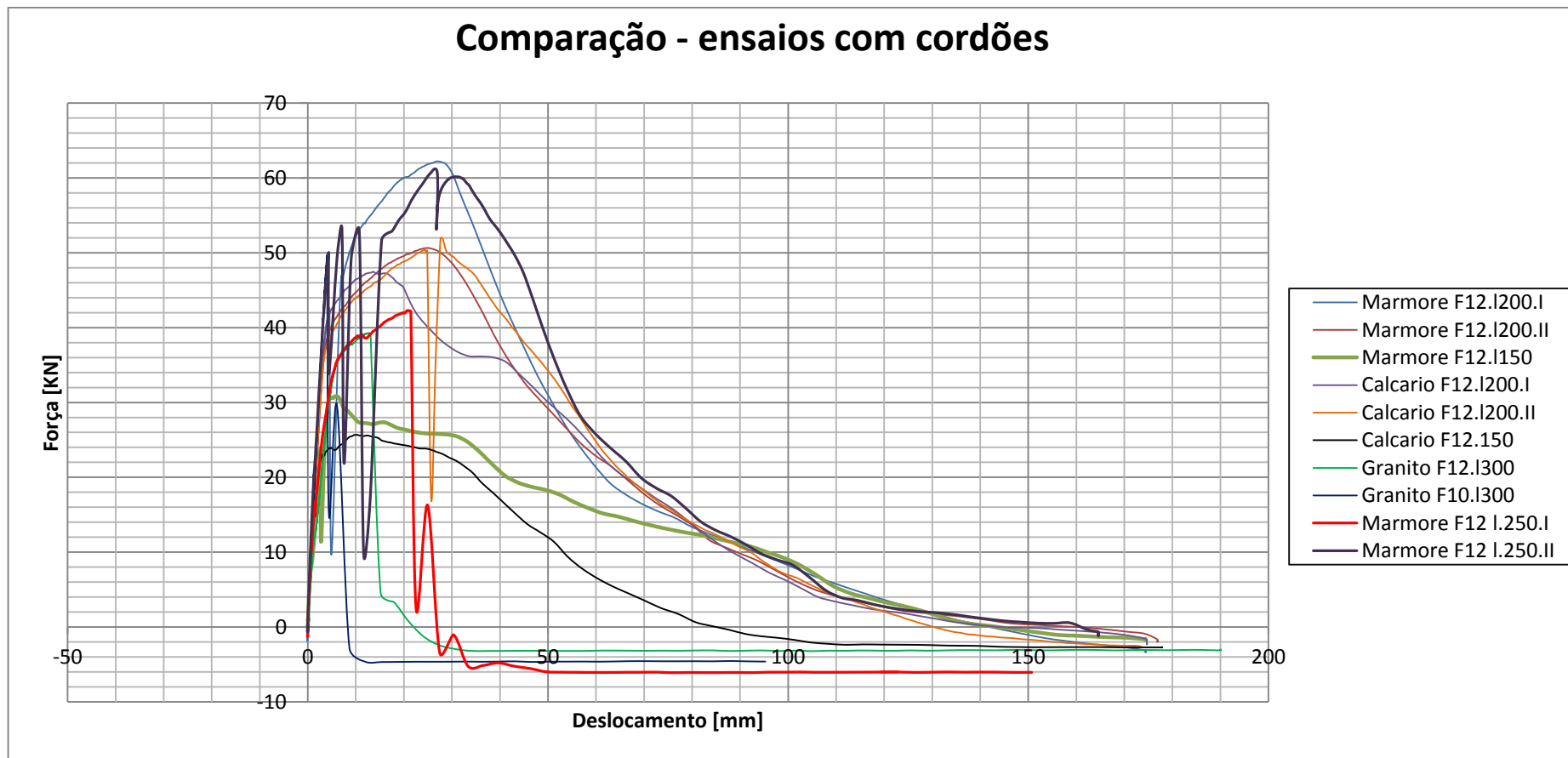


Gráfico 14 - Comparação dos resultados obtidos com cordões

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Analisando o gráfico 16, apresentado acima, onde são comparados os resultados de todos os ensaios realizados com cordões, pode-se afirmar que em nenhum dos casos se observou a rotura do aço e que, de todos os ensaios, o que mais se aproximou desse valor foi o ensaio realizado com provetes de mármore com um furo de diâmetro de 12 mm e comprimento de amarração de 200mm e 250 mm. Como já foi referido, este resultado estará relacionado com a própria constituição da pedra, bem como a homogeneidade e coesão que apresenta.

Não são apresentados no gráfico 16 os resultados de ensaios realizados em provetes de granito porque nos ensaios exploratórios verificou-se que para um comprimento de amarração de 300 mm não era atingida a carga mínima de rotura do aço, por essa razão não foram realizados mais ensaios com estes provetes.

Conclui-se então que os melhores resultados serão observados em provetes de mármore, tendo em conta que serão sempre iguais os diâmetros dos fios, dos furos na pedra e os comprimentos de amarração.

O trajecto ao longo dos ensaios realizados foi o seguinte:

1. Realização de ensaios exploratórios com provetes de pedra de granito com diâmetro do furo de 10 e 12mm, fios de aço pré-esforço de 5 e 7 mm e comprimento de amarração de 300 mm.

Resultado: não se verificou a rotura do aço, mas sim deslizamento entre superfícies. Tendo em conta que o comprimento de amarração era máximo, abandonou-se esta hipótese e optou-se por utilizar cordões de pré-esforço.

2. Realização de ensaios exploratórios com provetes de pedra de granito com diâmetro do furo de 10 e 12mm, cordão de pré-esforço com 8,8 mm e comprimento de amarração de 300mm.

Resultado: Não se verificou a rotura do aço, mas sim deslizamento entre superfícies. Tendo em conta que o comprimento de amarração era máximo, abandonou-se a hipótese de utilizar provetes de pedra de granito.

3. Realização de ensaios exploratórios com provetes de pedra de mármore e calcário com diâmetro do furo de 10 e 12 mm e cordão de pré-esforço de 8,8mm de diâmetro com comprimento de amarração de 200mm e 150 mm.

Resultado: Observou-se um aumento de resistência à carga de tracção, no entanto insuficiente para se verificar a rotura do aço. Analisou-se os resultados e foram realizadas colagens com comprimento de amarração de 250 mm – valor calculado para que verifique a rotura do aço.

4. Realização de ensaios com provetes de mármore e calcário com diâmetro do furo de 10 e 12 mm e cordão de pré-esforço de 8,8mm de diâmetro com comprimento de amarração de 250 mm.

Resultado: Verificou-se a perda de aderência entre superfícies para uma força de arrancamento de 61,27 KN para o provete de pedra de mármore (força máxima obtida nesta fase).

Após todos os ensaios realizados conclui-se que para valores entre os 60 e 65 KN a rotura no mármore se dá por perda de aderência.

No calcário verifica-se o cone de arrancamento, e conseqüentemente a rotura dá-se por esgotamento da resistência da própria pedra e portanto não é possível para o cordão utilizado verificar-se a rotura do aço.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Quanto à diferença de resultados que as variações geométricas podem conduzir conclui-se que quanto maior for o diâmetro do furo, do elemento de aço e o comprimento de amarração, maior será a tensão de aderência, logo teremos maior resistência ao arrancamento.

E para os cordões de pré-esforço utilizados, para que ocorra a falha coesiva do aço é necessário obter-se uma força de arrancamento superior a 70,1 kN, para tal as tensões de aderência mínimas entre a superfície aço e resina *epoxy* são as seguintes:

Tabela 29 - Tensão de aderência mínima resina-aço para que ocorra falha coesiva do aço

ϕ [mm]	l [mm]	τ aderência min. [MPa]
8,8	150	16,90
	200	12,68
	250	10,14
	300	8,45

Tendo em conta que a tensão média de aderência entre a resina *epoxy* e o elemento de aço é cerca de 8 MPa, para o cordão de 8,8 mm será necessário um comprimento de amarração de 300 mm para que se possa vir a verificar a falha coesiva do elemento de aço.

Quanto à tensão de aderência mínima entre a superfície resina *epoxy* e pedra, na tabela seguinte apresentam-se os valores mínimos para que seja possível verificar a falha coesiva do elemento de aço.

Tabela 30 - Tensão de aderência mínima resina-pedra para que ocorra falha coesiva do aço

ϕ [mm]	l [mm]	τ aderência min. [MPa]
10	150	14,88
	200	11,16
	250	8,93
	300	7,44
12	150	12,40
	200	9,30
	250	7,44
	300	6,20

Os valores apresentados nas tabelas anteriores estão condicionados pelo limite máximo de resistência à tracção do aço para os cordões de pré-esforço utilizados nos ensaios e condições geométricas (comprimento de amarração, diâmetro do cordão de pré-esforço e do furo), podendo fazer-se o mesmo exercício para outros cordões de aço.

Com base nos resultados obtidos nos ensaios e nas características dos fios e cordões de pré-esforço, apresenta-se na tabela 31 os comprimentos mínimos de amarração tendo em conta a tensão média de aderência entre o elemento de aço e resina *epoxy* e a tensão de rotura do aço à tracção.

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

Tabela 31 – Comprimento mínimo de amarração

d [mm]	l _{min} [mm]	Força de rotura à tracção do aço [kN]	Tensão de rotura à tracção [MPa]	Tensão de aderência resina-aço [MPa]
5	275	34,6	1760	8
7	385	67,7	1760	8
8,8	317	70,1	1860	8

No entanto, só é possível escolher uma solução se forem conhecidas as tensões de aderência entre as superfícies de contacto. Assim é justificada a necessidade de serem estudadas as tensões de aderência entre resina *epóxi* e diferentes tipos de pedra, para que seja possível utilizar-se este tipo de sistema construtivo de forma controlada e segura.

Capítulo 6 – Análise Crítica e Conclusões

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

5 Análise Crítica e Conclusões

Na reabilitação é muito importante a realização da avaliação preliminar visto que com esta ferramenta é possível avaliar o estado actual dos elementos, e assim determinar qual a causa ou causas para a anomalia verificada e proceder à escolha de materiais e técnicas construtivas mais adequadas.

As coberturas, fachadas e elementos enterrados em contacto com o solo, condicionam o comportamento de todo o edifício. Sendo estes elementos devidamente executados e protegidos, dificilmente serão encontradas anomalias associadas às variações do meio ambiente, à agressividade do meio e fenómenos como erosão e contacto com a água.

Da análise realizada às fachadas de edifícios reabilitados anteriormente com materiais Sika, verifica-se que as manifestações presentes se repetem de acordo com o revestimento que apresentam.

Ou seja, em revestimento por pintura verificou-se que a anomalia mais corrente eram as manchas, principalmente em pontos de ligação e elementos salientes, como os peitoris que permitem a acumulação de sujidade que, por meio das águas da chuva, acabará por ser transportada para a superfície da fachada. Ainda em revestimento por pintura observou-se que era comum o aparecimento de fissuras, principalmente em fachadas orientadas a Sul onde são experimentadas as maiores variações térmicas, nas fachadas a Norte é mais comum o desenvolvimento de fungos e manchas de humidade, principalmente em ambientes com elevada higrotermia.

Quanto às fachadas revestidas a cerâmico, a anomalia mais corrente é o destacamento e queda de alguns cerâmicos que pode estar associada à incorrecta escolha do cimento cola utilizado, ou ausência de impermeabilização das juntas entre cerâmicos que permite entrada de água e degradação dos materiais subjacentes; pela deformação no suporte não compensada pelas juntas entre cerâmicos ou arrastamento dos sais constituintes da argamassa de reboco para a superfície e fragilização do reboco.

Outra causa muito corrente para a degradação de fachadas é a ausência de pormenores construtivos, técnicos e funcionais dos materiais, como especificações, testes e técnicas de execução e consequentemente a incorrecta execução. No exemplo apresentado é focado o tema selagem de juntas entre diferentes materiais, como o caso do revestimento de fachada e os elementos estruturais da Igreja da Foz Velha.

A ausência de manutenção é mais uma razão para se verificar a degradação acentuada de algumas fachadas, independentemente da época construtiva. A repetição de anomalias em algumas fachadas revela que aquando do aparecimento de anomalias precoces e todas as outras que se esperam ao longo do tempo, não foram tomadas medidas para reduzir a velocidade de degradação, nem para colmatar pequenos defeitos que pudessem ter sido identificados.

Para que seja possível reduzir o aparecimento deste tipo de anomalias em construções novas é muito importante desenvolver estudos na fase de projecto avaliando as condições ambientais, a adequabilidade dos materiais, funcionalidade dos materiais, dando especial atenção ao pontos

singulares como remates, juntas, aberturas e outros pontos onde se verifique a fragilização da fachada. Caso contrário a fachada será, por exemplo, completamente impermeável pela aplicação de uma tinta muito boa, mas com imensos pontos de infiltração pela falta de atenção dada a estes pontos singulares.

Cada vez mais os projectos apresentados devem ser vistos como documentos que traduzem a qualidade da construção que representa e que nele estejam contidos aspectos técnicos relativos aos materiais e às soluções construtivas, por exemplo, apresentação de certificados de durabilidade, marcação CE (obrigatório), análise do ciclo de vida, declaração ambiental do produto, entre outros; sendo considerados os aspectos económicos, como os custos associados aos materiais escolhidos, à mão de obra, equipamentos, entre outros; e ainda aspectos funcionais que se relacionam com a utilização e manutenção. No fundo o que se pretende é que sejam agregadas questões económicas, sociais e ambientais. Pretende-se então que sejamos Sustentáveis, e desta forma seja possível corresponder às exigências dos utilizadores, dos mercados e da natureza.

Quanto à durabilidade das intervenções, este é um tema muito vasto e ambíguo que se desmultiplica em causas e efeitos, que varia de acordo com as condições ambientais, agressividade do meio, características dos materiais, utilização, composição dos sistemas construtivos, da qualidade da execução que poderá, ou não, ser controlada e ainda de manutenções que possam ser realizadas.

No decorrer da actividade profissional foram elaborados diversos documentos de carácter técnico. Neste relatório são apresentados 5 tipos de documentos técnicos distintos, com diferentes objectivos e campos de aplicação, sendo eles: relatório técnico, relatório de ensaio laboratorial, relatório de ensaios *in situ*, informação técnica e comunicação técnica.

O relatório técnico revela-se fundamental para a caracterização das anomalias encontradas, para a compreensão das causas ou fontes dessas anomalias e definição da solução mais adequada face ao exposto. Do relatório técnico, fazem parte a avaliação e caracterização das anomalias, descrição da visita ao local e ensaios desenvolvidos, destrutivos ou não, para determinar as causas da falha e por fim a especificação técnica que engloba a descrição da solução a adoptar, bem como procedimento de aplicação, pormenores construtivos, limitações e cuidados na aplicação. Como já foi referido anteriormente nesta conclusão, a elaboração destes documentos técnicos permite prevenir situações de *repatologia* ou realizar intervenções correctivas, devendo para todos os efeitos ser salvaguardada a necessidade de manutenção.

Quanto aos ensaios laboratoriais, estes permitem conhecer o comportamento dos materiais ou produtos incorporados nos sistemas construtivos, sendo o resultado deste tipo de exercícios a correcta especificação técnica acima referida.

Por sua vez, os ensaios *in situ* permitem conhecer o comportamento dos materiais mas de acordo com as condições de aplicação. No caso apresentado, que se refere à realização de composições de betão na central de produção de betão, pode-se concluir que os resultados obtidos são díspares dos resultados obtidos em laboratório, por diversas razões. Quando se realizam composições de betão

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

em laboratório os agregados não apresentam a mesma humidade que os agregados na central de produção de betão; as dosagens são muito inferiores nos ensaios em laboratório, as condições atmosféricas são também distintas e por estes e outros motivos são obtidos resultados distintos.

Quanto à informação técnica apresentada neste relatório, este documento visa o estudo e apresentação do funcionamento de tecnologias, incluindo aspectos normativos e regulamentares, caracterização física e mecânica, análise do comportamento dos materiais constituintes do sistema e limitações para que seja possível informar os utilizadores e simplificar a sua aplicação.

Por fim, neste grupo de documentos técnicos é apresentada uma comunicação técnica, que se assemelha à informação técnica quanto à análise dos aspectos normativos e regulamentares a serem cumpridos, no entanto é mais voltada para a apresentação de aspectos condicionantes na escolha da solução adequada.

Quanto aos ensaios de arrancamento de fios ou cordões de pré-esforço colados com resina *epoxy* a provetes de diferentes tipos de pedra natural, as conclusões relativas aos ensaios encontram-se no ponto 5.6 deste relatório.

No entanto, é importante referir que a melhor relação capacidade resistente da pedra e tensão de aderência entre superfícies de contacto se verificou para a pedra mármore. Em pedra calcária, para um comprimento de amarração de 200 mm, verificou-se o arrancamento por formação do cone de rotura. Já em provetes de granito, apesar da boa capacidade resistente desta pedra, a tensão de aderência da resina *epoxy* ao granito é inferior aos restantes tipos de pedra analisados.

Ou seja, para sistemas de fachadas que possam vir a ser desenvolvidos com pedra calcária é condicionante a capacidade resistente da pedra, devendo para estes casos ser utilizados diâmetros de furo superiores a 12 mm.

Para a utilização de pedra granítica neste tipo de sistemas, seria necessário aumentar a rugosidade das superfícies do furo no provete de pedra, aumentando a aderência por atrito, uma vez que a aderência por adesão não é suficiente para resistir a esforços superiores a cerca de 45 kN.

Finalmente a utilização de pedra mármore constitui a melhor solução, de entre as estudadas. Neste tipo de pedra verificaram-se os melhores resultados, tendo sido ultrapassada a tensão de aderência entre a superfície de pedra e resina *epoxy*. No entanto, neste caso é ainda possível aumentar o comprimento de amarração, podendo vir-se a verificar o esgotamento da resistência à tracção do elemento de aço.

Será necessário realizar outros ensaios, com outras condições geométricas e talvez com outros tipos de fios e cordões. A campanha de ensaios realizada foi curta e permitiu apenas tirar conclusões orientativas.

Da análise e determinação das tensões de aderência entre superfícies em contacto é possível viabilizar o funcionamento das ligações do “Sistema de Fachada em Pedra Natural Pré-esforçada”, assegurando que para a carga de solicitação esperada, o caso de rotura que se irá verificar será o esgotamento da resistência à tracção do aço. Sendo sempre esta a condição limite para a falha do sistema, ou seja, as tensões tangenciais produzidas ao longo da superfície do elemento de aço e

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaio De Arrancamento De Elementos
Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

elemento de pedra deverão ser inferiores às tensões máximas de aderência, respectivamente, para uma solicitação igual ou superior ao limite de resistência à tracção do aço.

Caso as notas conclusivas aqui inseridas se revelem insuficientes para a compreensão dos resultados, deve ser lido o ponto 5.6, onde são apresentadas as conclusões relativas aos ensaios realizados.

A realização deste estágio e dos estudos apresentados foram fundamentais para o desenvolvimento de competências e sentido crítico, contribuindo para a aprendizagem e contacto com novas técnicas e tecnologias que no futuro serão ferramentas muito úteis.

Referencias Bibliográficas

- ABNT NBR 7483; Steel strand for structures prestressed concrete – Specification
- Aguiar, José; Veiga, Maria do Rosário; Silva, António Santos Silva; Carvalho, Fernanda – “Conservação e Renovação de Revestimentos de Paredes de Edifícios Antigos” – LNEC, edição 2004.
- APFCA, Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Conservação – “Monografia APFAC sobre Argamassas de Conservação”, Lisboa (45 páginas).
- Appleton, João Guilherme. – “Reabilitação de Edifícios “Gaioleiros””, 1ª edição, Maio 2005
- Camposinhos, Rui de Sousa - Revestimentos em Pedra Natural com fixação Mecânica, dimensionamento em Projecto
- Coias, Vítor – Inspeções e Ensaio na Reabilitação de Edifícios. Editora IST Press. Lisboa. 2006.
- EN 10080; Steel for the reinforcement of concrete; Maio de 2006
- EN 12878:2005 - Pigmentos para a coloração de materiais de construção à base de cimento e/ou de cal – Especificações e métodos de ensaio
- ETAG001; Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for use in Concrete – annex C.
- FIEC,2009; Federação da Indústria Europeia da Construção
- Freitas, Vasco Peixoto de Freitas; Torres, Maria Isabel; Guimarães, Ana Sofia. – “Humidade Ascensional” – FEUP edições, 1ª edição 2008.
- Freitas, Vasco Peixoto de; SOUSA, Augusto Vaz Serra e; SILVA, J. A. Raimundo Mendes da – Manual de Aplicação de Revestimentos Cerâmicos.COIMBRA. 2003.
- Libânio M. Pinheiro, C. D. M. (2003). "Aderência e Ancoragem."
- Lucas, J. Carvalho – Revestimentos Cerâmicos - Curso de Especialização Sobre Revestimentos de Paredes. LNEC. LISBOA. 1995.
- Marques, Isabel Eusébio; RODRIGUES, M. Paula - Revestimentos por Pintura para a Construção Civil. Preparação de Superfícies. LNEC. LISBOA.2002.
- MOPTC (2006). Método de Avaliação do Estado de Conservação de Imóveis. Instruções de Aplicação. Lisboa, MOPTC e LNEC, junho.
- NP EN 1008: 2003 — Água de Amassadura para Betão — Especificações para a amostragem, ensaio e avaliação da aptidão da água, incluindo água recuperada nos processos da Indústria de betão, para o fabrico de betão.
- NP EN 12004:2008 - Colas para ladrilhos. Requisitos, avaliação da conformidade, classificação e designação
- NP EN 12350:2009 — Ensaio do betão fresco
- NP EN 12390:2009 — Ensaio do betão endurecido

Avaliação Do Estado De Conservação De Fachadas E Ensaios De Arrancamento De Elementos Em Aço De Pré-Esforço Colados Com Resina *Epoxy* a Provetes De Pedra Natural

- NP EN 12620:2002:2002/A1:2012 - Agregados para betão
- NP EN 13055-1:2005 e NP EN 13055-1:2005/AC:2010 - Agregados leves. Parte 1: Agregados leves para betão, argamassas e caldas de injeção
- NP EN 13263-1:2005/A1:2009 - Sílica de fumo para betão – Parte 1: Definições, requisitos e critérios de conformidade
- NP EN 13369:2009 - Regras gerais para produtos prefabricados de betão
- NP EN 197-1:2001/A1:2005 - Cimento - Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes.
- NP EN 206-1:2007 - Betão - Parte1: Especificação, desempenho, produção e conformidade
- NP EN 450-1:2005/A1:2008 - Cinzas volantes para betão - Parte 1: Definição, especificações e critérios de conformidade.
- NP EN 934-2:2009 - Adjuvantes para betão, argamassa e caldas de injeção - Parte 2: Adjuvantes para betão. Definições, requisitos, conformidade, marcação e etiquetagem
- Santos, Pedro Henriques Coelho Filho, António Freitas Silva – “Eflorescências: Causas e Consequências”, Brasil (16 páginas).
- Silva, J. Mendes – “Alvenarias não estruturais, Patologias e Estratégias de Reabilitação” – Seminário sobre Paredes de Alvenaria, P.B. Lourenço & H. Sousa (Eds.). Porto, 2002 (20 páginas)
- Vasconcelo, Paiva – Enquadramento Legal da Actividade de Conservação e Reabilitação de Edifícios. Curso sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios Recentes. LNEC. Lisboa. 2002.
- Veiga, M. Rosário – Revestimentos de Ligantes Sintéticos para Paramentos Exteriores de Paredes – Curso de Especialização Sobre Revestimentos de Paredes. LNEC. Lisboa. 1995.
- Vilhena, António; Tese de doutoramento em Método de Avaliação do Estado de Conservação de Edifícios