

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

A NOVA PEDRA TERMOMOLDÁVEL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM
ENGENHARIA CIVIL

BRUNO JOSÉ GONÇALVES CARVALHO

Orientador: Professora Doutora Architecta Maria Eunice da Costa Salavessa

Co-orientador: Professor Doutor Engenheiro António Malheiro Vasconcelos Lima



UTAD

Vila Real – 2009

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

A NOVA PEDRA TERMOMOLDÁVEL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

MATERIAIS ECO-EFICIENTES E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL DA
CONSTRUÇÃO

BRUNO JOSÉ GONÇALVES CARVALHO

Orientador: Professora Doutora Architecta Maria Eunice da Costa Salavessa

Co-orientador: Professor Doutor Engenheiro António Malheiro Vasconcelos Lima



UTAD

Vila Real – 2009

Índice

Índice	i
Índice de figuras	iii
Índice de fotografias	iv
Índice de tabelas	v
Índice de Gráficos	vi
Resumo do trabalho	vii
Abstract	viii
Agradecimentos	ix
Simbologia	xi
1. Introdução	6
1.1. Introdução	6
1.2. Objectivos	7
1.3. Metodologia	7
2. Revisão Bibliográfica	10
2.1. Enquadramento	10
2.1.1. Conservação e reabilitação de edifícios e critérios de intervenção	10
2.1.2. A resina acrílica em intervenções de reparação da pedra em edifícios históricos ...	12
2.1.3 Os agentes de deterioração de alvenarias	15
2.2. Referências Bibliográficas	18
3. Diagnóstico e técnicas de controlo da ascensão de águas do terreno, de infiltrações de águas pluviais e da presença da humidade nas alvenarias	20
3.1. Formas de manifestação da humidade	21
3.1.1. Humidade de construção, descrição do fenómeno, causas do seu aparecimento e manifestações, medidas preventivas e correcções	21

3.1.2. Humidade devida à higroscopicidade, descrição do fenómeno, causas do seu aparecimento e manifestações, medidas preventivas e correcções	22
3.1.3. Humidade de condensação, descrição do fenómeno, causas do seu aparecimento, manifestações, medidas preventivas e correcções	24
3.1.4. Humidade devido a causas fortuitas, descrição do fenómeno, causas do seu aparecimento, manifestações, medidas preventivas e correcções	29
3.1.5. Humidade do solo, descrição do fenómeno, causas do seu aparecimento, manifestações, medidas preventivas e correcções	29
3.1.6. Humidade de precipitação, descrição do fenómeno, causas do seu aparecimento, manifestações, medidas preventivas e correcções	34
3.2. Métodos de diagnóstico	36
3.3. Testes destrutivos para avaliação do teor de água em alvenarias	39
3.4. Medição de humidade superficial em alvenarias	40
3.5. Testes não-destrutivos para o diagnóstico de anomalias da humidade	40
3.6. Soluções para evitar o contacto das alvenarias com a humidade do terreno	41
3.7. Desumidificação	44
3.8. Referências bibliográficas	44
4. Metodologia	46
4.1. Caracterização dos materiais	46
4.1.1. Resina	46
4.1.2. Solvente	47
4.1.3. Diluente	47
4.1.4. Inerte	48
4.2. Processamento do material	50
4.2.1. Descrição do ligante	50
4.2.2. Composição da argamassa	51
4.3. Técnica de moldagem e materiais utilizados	53
4.4. Referências bibliográficas	54

5. Análises e ensaios laboratoriais para determinação das propriedades da pedra termomoldável.....	56
5.1. Análise microscópica e química das cargas e dos compósitos	56
5.2. Determinação da resistência ao desgaste físico	62
5.3. Ensaio de absorção de água.....	66
5.4. Massa volúmica.....	69
5.5. Resistência aos produtos químicos	71
5.6. Resistência à flexão	73
5.7. Resistência à tracção.....	78
5.8. Ensaio esclerométrico	82
5.9. Modos de fixação dos painéis e lajetas	86
5.10. Discussão de resultados	88
5.11. Referências bibliográficas.....	89
6. Conclusões Finais	92
7. Bibliografia Geral	93
ANEXOS	96

Índice de figuras

Figura 3.1 - a) Humidificador; b) Desumidificador	23
Figura 3.2 - Diagrama Psicrométrico	25
Figura 3.3 - Manifestação de humidade do solo	30
Figura 3.4 - Dreno de Knapen	32
Figura 3.5 - Funcionamento do processo electro-osmose	33
Figura 3.6 - Injecção de impermeabilizante por gravidade	34
Figura 3.7 - Humidade de precipitação	35
Figura 3.8. Vala periférica com enchimento, afastada da parede	42
Figura 3.9. Vala periférica sem enchimento	43
Figura 3.10. Vala periférica com enchimento	43
Figura. 5.6.1 - Geometria do ensaio de flexão 3P	74
Figura 5.9.1 - Modos de fixação dos painéis em fachadas por gatos ou estrutura metálica	87
Figura 5.9.2 - Fixação do tipo oculta, exemplo de tipo “rolha de champanhe”	88

Índice de fotografias

Fotografia 3.1 - Exemplo de condensação em casas de banho	25
Fotografia 3.2 - Dois exemplos de formação de bolores devido à condensação no paramento interior de paredes exteriores, principalmente em zonas de pontes térmicas e nos ângulos com o tecto	26
Fotografia 3.3 - Formação de bolores devido à condensação	26
Fotografia 3.4 - Abertura circular de entrada de ar colocada na zona inferior da parede.	27
Fotografia 3.5 - Abertura circular de extracção de ar colocada na zona superior da parede.	28
Fotografia 3.6 - Injecção de impermeabilizante com recurso a uma bomba injectora. .	33
Fotografia 4.1 - Resina PLEXIGLAS® 8N	47
Fotografia 4.2 - Inertes usados	48
Fotografia 4.3 - a) Moinho b) Agitador magnético	51
Fotografia 5.1.1 - Amostra do tipo 1 (100x)	58
Fotografia 5.1.2.- Amostra do tipo 2 (100x)	59
Fotografia 5.1.3 - Amostra do tipo 3 (100x)	60
Fotografia 5.1.4 - Amostra do tipo 4 (100x)	61
Fotografia 5.2.1 - Exemplo de provete utilizado neste ensaio	63
Fotografia 5.6.1 - Fotografia de um ensaio de flexão	74
Fotografia 5.7.1 - a) Fotografia de um ensaio de tracção b) Proвете fracturado	79
Fotografia 5.8.1 - Fotografias do ensaio de esclerómetro	84

Índice de tabelas

Tabela 4.1 - Composição do inerte de menor granulometria (grão 1)	49
Tabela 4.2 – Composição dos inertes	50
Tabela 5.1.1 - Composição química dos materiais	62
Tabela 5.2.1 - Ensaio de desgaste por abrasão. Massas dos provetes durante os períodos de ensaio	65
Tabela 5.3.1 - Ensaio de absorção. Massas das amostras por tempo de imersão	67
Tabela 5.4.1 - Ensaio de massa volúmica. Massas das amostras por tempo de imersão	70
Tabela 4.4.5 - Ensaio de desgaste químico. Massas das amostras inicial e após colocação em imersão em hidróxido de sódio	72
Tabela 5.6.1 - Resultados dos ensaios de flexão	77
Tabela 5.7.1 - Tabela de resultados dos ensaios de tracção	82
Tabela 5.8.1 - Tabela de resultados do ensaio do esclerómetro no material do tipo 1 ..	84
Tabela 5.8.2 - Tabela de resultados do ensaio do esclerómetro no material do tipo 2 ..	85
Tabela 5.8.3 - Tabela de resultados do ensaio do esclerómetro no material do tipo 3 ..	85
Tabela 5.8.4 - Tabela de resultados do ensaio do esclerómetro no material do tipo 4 ..	86

Índice de Gráficos

Gráfico 4. 1 - Curva granulométrica do inerte de menor dimensão	49
Gráfico 5.1.1- Análise qualitativa dos constituintes da amostra do tipo 1	58
Gráfico 5.1.2 - Análise qualitativa dos constituintes da amostra do tipo 2	59
Gráfico 5.1.3 - Análise qualitativa dos constituintes da amostra do tipo 3	60
Gráfico 5.1.4 - Análise qualitativa dos constituintes da amostra do tipo 4	61
Gráfico 5.2.1 - Curvas da massa perdida em função do tempo de desgaste para os quatro tipos de material	65
Gráfico 5.3.1 - Ensaio de absorção. Variação do aumento de massa em função do tempo de imersão	68
Gráfico 5.6.1 - Curvas tensão/deformação em flexão do material tipo 1	75
Gráfico 5.6.2 - Curvas tensão/deformação em flexão do material tipo 2	75
Gráfico 5.6.3 - Curvas tensão/deformação em flexão do material tipo 3	75
Gráfico 5.6.4 - Curvas tensão/deformação em flexão do material tipo 4	76
Gráfico 5.7.1 - Curvas tensão/deformação em tracção do material tipo 1	80
Gráfico 5.7.2 - Curvas tensão/deformação em tracção do material tipo 2	80
Gráfico 5.7.3 - Curvas tensão/deformação em tracção do material tipo 3	81
Gráfico 5.7.4 - Curvas tensão/deformação em tracção do material tipo 4	81

Resumo do trabalho

A tese, intitulada *A nova pedra termo-moldável* incide, essencialmente, sobre as propriedades básicas de materiais constituídos essencialmente por um componente inorgânico e um polímero acrílico, que têm sido utilizados pelos conservadores de monumentos na reparação superficial, em pequena escala, de cantarias e no enchimento de fissuras, fendas e juntas (mais do que no reforço da integridade estrutural do objecto de reparação) e, por outro lado, no fabrico de laminados plásticos decorativos, para revestimentos interiores e exteriores ou para acabamento superficial.

O material foi submetido por microscopia electrónica a uma análise estrutural e química, foram ainda caracterizadas a sua resistência ao desgaste por abrasão, e ao desgaste por acção química, à absorção de água, à fissuração, ao impacto por esclerómetro, à flexão, à tracção e ainda a sua massa volúmica.

Ao longo do trabalho, foram também desenvolvidos estudos sobre os agentes de deterioração das alvenarias, sistemas de controlo da circulação de água no seu interior, sistemas de fixação de placas de revestimento em alvenarias, e sobre os requisitos ambientais, éticos e estéticos do material utilizado na reparação lítica e nos revestimentos constituídos por este material.

Abstract

This thesis, entitled “*The new thermo-moldable stone*”, focuses on the basic properties of materials consisting of an inorganic component and an acrylic polymer, which have been used by conservatives in the superficial small-scale repair of monuments, the stone and filling from cracks, crevices and joints (rather than strengthening the structural integrity of the object of repair), and second in the manufacture of decorative plastic laminates for interior and exterior coatings or surface finish. The material was subjected to analysis by electron microscopy and chemistry, were tested the characteristics of high resistance to abrasion, water absorption, the chemical action, to cracking, impact, flexural, traction, and its density. Throughout the work, were also developed studies on the agents of deterioration of masonry, systems for monitoring the movement of water inside, of mounting signs of a coating on masonry, and on environmental requirements, ethical and aesthetic of the material used lytic in the repair and coatings made of this material.

Agradecimentos

Aos meus pais,
pela educação e pelos valores que me transmitiram,
à minha irmã, Patrícia, pela pessoa que é para mim
o que me permitiu
tornar na pessoa que sou

Na elaboração deste trabalho recebi apoio de várias pessoas, às quais quero deixar aqui os meus sinceros agradecimentos:

Aos meus pais e irmã, pela estabilidade pessoal, apoio e incentivo que me deram;

À minha madrinha, Elvira, minha segunda mãe;

Ao meu tio Almor, pelo apoio e fabrico de um dos moldes;

A toda a minha família por todo o apoio que me deu;

À Daniela por todo o suporte, carinho e leitura do trabalho;

Aos meus orientadores, a Professora Eunice Salavessa e o Professor António Lima, por toda a sua disponibilidade, apoio, compreensão e incentivo que sempre me transmitiram;

Ao Eng. Cristóvão Santos da oficina de mecânica, ao Ricardo Cardão, técnico do laboratório de materiais e solos, e ao Joaquim Maeiro do laboratório de ensaios mecânicos, por todo o apoio e pela prontidão que demonstraram, ao longo do trabalho;

A todos os meus amigos pela paciência e solidariedade manifestada durante estes anos

Simbologia

Abreviaturas

PMMA - Polimetil-metacrilato

kN – Quilo newton

MPa – Mega Pascal

kg/m³ - Quilograma por metro cúbico

g - Grama

°C – Graus Célsius

° - Grau

% - Percentagem

cm – Centímetro

Rpm – Rotações por minuto

N – Newton

mm - Milímetro

UTAD – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

UME – Unidade de Microscopia Electrónica

min - Minuto

h - Hora

kV – Quilovolt

mbar – Milibar

ASTM - American Society for Testing and Materials

NP – Norma Portuguesa

Letras Gregas

γ - Gama

Fórmulas químicas

(Ca (OH)₂) - Fórmula química do hidróxido de cálcio

(NaOH) - Fórmula química do hidróxido sódio

(CH₃ (CO) CH₃) - Fórmula química da acetona

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

1. Introdução

1.1. Introdução

As empresas que exploram e comercializam pedras ornamentais, como o granito, enfrentam dificuldades no aproveitamento de 100% da sua matéria-prima, sendo certa percentagem rejeitada e utilizada em aterros. A indústria dos materiais poliméricos tem procurado valorizar os seus produtos e apresentar alternativas inovadoras para o fabrico de produtos acabados. A junção de materiais poliméricos e minerais possibilitam o uso das características intrínsecas dos polímeros que permitem a incorporação de cargas inorgânicas, proporcionando a obtenção de produtos acabados com características diferentes, como a elevada resistência mecânica.

Esta tese tem como tema a *nova pedra termomoldável*, que consiste num material que conjuga partículas minerais no interior de um polímero acrílico, com características muito próximas do granito e de um normal termoplástico, a utilizar como revestimento de paredes exteriores, assim como enchimento para reparação de superfícies de cantaria dos monumentos.

É moldável por acção do calor, impermeável e lavável. Tratando-se de um material particular, apresenta características de base que garantem elevadas resistências mecânicas e químicas, fácil manipulação a altas temperaturas e tempo suficiente de presa. Do ponto de vista ambiental, é um material completamente inerte e totalmente reciclável. Resulta numa combinação sustentável e realista da protecção do ambiente com a exigência produtiva.

A presente tese contém ensaios e análises efectuados nos Laboratórios de Engenharia Civil e Engenharia Mecânica, bem como na Unidade de Microscopia Electrónica da UTAD. Assinala-se que, apesar dos limitados recursos laboratoriais, e embora não tenham sido proporcionadas as condições necessárias para a conclusão dos ensaios, foram cumpridos os objectivos fulcrais, pelo que o trabalho, pioneiro na UTAD, em domínios de interesses inerentes às áreas da Conservação e Restauro do

Património Cultural e dos Materiais Eco-eficientes, pretende ser um incentivo a trabalhos de investigação em curso e futuros.

1.2. Objectivos

O objectivo principal deste trabalho consiste em estudar: um produto eco-compatível, reciclável, impermeável e decorativo, a aplicar na construção de raiz ou na reparação de cantarias históricas; o desempenho de materiais compósitos; os efeitos das condições de cura na temperatura de transição vítrea, na sensibilidade da ligação polimérica aos factores ambientais, como a humidade e a temperatura, e nas propriedades mecânicas do adesivo acrílico, essenciais para a integridade e segurança da estrutura reparada e construída de raiz.

1.3. Metodologia

O trabalho dividiu-se em várias etapas de estudo:

- Para o estudo da evolução do tema, foi necessário aceder aos seguintes elementos: sobre a história da construção de edifícios (tipologias, materiais e tecnologias); legislação internacional e nacional aplicável à reparação de edifícios de interesse histórico e arquitectónico; sobre o fenómeno da humidade do terreno, de humidade por infiltrações de águas pluviais, de humidade por condensação que ocorre em alvenarias, e técnicas de controlo correspondentes; estudo sobre os materiais e técnicas usadas pelos conservadores de monumentos, à base de resinas sintéticas; estudo sobre diversos tipos de assentamento em obra dos painéis de revestimento; recolha de documentação e normas para a determinação das características que deve apresentar a pedra termomoldável;
- Fabrico em laboratório do material;
- Determinação da resistência ao desgaste, capilaridade e coeficiente de absorção, massa volúmica, à humidade, resistência aos produtos químicos, módulo

elástico, resistência à ruptura por flexão e por tracção; modo de fixação dos painéis e lajetas.

CAPITULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Enquadramento

2.1.1. Conservação e reabilitação de edifícios e critérios de intervenção

(1, 2)

A conservação e reabilitação de edifícios têm assumido um papel cada vez mais importante nos dias que decorrem, quer a nível arquitectónico onde o objectivo consiste em manter os testemunhos deixados pelos nossos antepassados, quer a nível dos edifícios mais recentes que necessitam também de obras de manutenção e reabilitação. Com o intuito de regulamentar este tipo de intervenção foram criados vários documentos como a carta de Veneza, a carta de Cracóvia e o documento de Nara.

A carta de Veneza surgiu depois da carta de Atenas, que em 1931 foi o primeiro documento regulador na defesa dos monumentos. Tem como principais objectivos, estabelecer métodos para o restauro, valorizar a envolvente dos monumentos e questionar a utilização dos monumentos, usos perigosos para a sua segurança e usos incompatíveis com o seu valor artístico ou histórico. As conclusões retiradas deste documento são basicamente: o respeito pelo valor monumental; o interesse colectivo sobrepõe-se ao privado; respeito pela imagem do monumento e quando o restauro é a única hipótese de salvaguarda do edifício, deve-se ter em conta as características históricas do monumento em causa; estabelecer uma “aliança” mundial com o objectivo de salvaguardar os monumentos de modo a sensibilizar os jovens para a importância da conservação destes.

Posteriormente, em 1964, surgiu a carta de Veneza com a necessidade de resolver problemas mais complexos e factores com maior sensibilidade. Este documento, relativamente ao anterior, passa a englobar não só a vertente monumental

isolada como os conjuntos rurais ou urbanos representativos de civilizações antepassadas ou de um acontecimento histórico. Como princípios, o restauro deve ser sempre posterior a uma investigação aprofundada do elemento histórico em que se vai intervir; qualquer elemento que se venha a colocar em substituição de outros, destruídos ou já inexistentes, devem ficar em harmonia com o monumento, sendo que este se deve distinguir das partes originais; todas as contribuições de épocas diferentes do monumento devem ser respeitadas.

Em 1994 surge o Documento de Nara sobre a Autenticidade, elaborado a partir da carta de Veneza de 1964 acrescentando-a de modo a conseguir dar resposta às crescentes preocupações da actualidade.

A Carta de Cracóvia para a Conservação e o restauro do Património Construído surgiu em 2000, dando seguimento aos documentos antecessores. Com o alargamento da comunidade europeia e consequente aumento nas diferenças culturais foi necessário implementar uma aproximação de interesses e respeito entre elas. A cada comunidade é imputada a gestão dos seus valores culturais e materiais.

A forma mais fácil de preservar um edifício é manter o seu uso, manter a sua ocupação e funcionalidade original, pois mantendo o uso original são menores as intervenções a efectuar.

Para uma boa e completa intervenção é necessário fazer um diagnóstico das situações patológicas construtivas e estado estrutural do edifício. No seguimento deste diagnóstico as intervenções de reabilitação são divididas por níveis, de acordo com a profundidade dos trabalhos a efectuar. Existem, por conseguinte, quatro níveis de reabilitação: a ligeira, a média, a profunda e a excepcional.

- *Reabilitação ligeira*: este tipo de reabilitação engloba apenas a substituição de instalações ou equipamentos;
- *Reabilitação média*: obriga, além dos trabalhos mencionados na alínea anterior, a uma intervenção mais profunda como a substituição de caixilharias, revestimentos, redes de drenagem e abastecimento de águas, redes eléctricas e reforço estrutural;

- *Reabilitação profunda*: este grau de intervenção, além das operações mencionadas anteriormente, engloba a redistribuição dos espaços, demolições e reconstruções significativas.
- *Reabilitação excepcional*: compreende em muitos casos a total reabilitação do edifício, havendo construção de elementos estruturais de raiz.

Quando se trata de edifícios com características de valor que se pretendem e devem preservar, como o caso das cantarias de granito antigas, caso existam peças em avançado estado de deterioração é necessário efectuar a substituição destas. Caso seja possível a colocação de pedras naturais com a mesma tonalidade e origem, este processo é facilitado, mas caso não seja possível é com a colocação de pedras artificiais que se conseguem tonalidades muito parecidas e resistências superiores. Casos de padieiras, de apilarados ou de peças que estejam em contacto com ambientes mais agressivos onde estes materiais artificiais conseguem suportar mais e melhor sem a necessidade de recorrer a protecções químicas, como a aplicação de produtos hifrófugos.

2.1.2. A resina acrílica em intervenções de reparação da pedra em edifícios históricos ⁽³⁾

Discussões recentes foram lançadas entre conservadores, sobre os requisitos dos materiais utilizados no preenchimento de juntas e vazios de monumentos e edifícios tradicionais, de pedra, em ambientes de poluição atmosférica e climas muito frios. Têm sido feitos alguns estudos sobre materiais de enchimento de substratos translúcidos, incluindo os de mármore, mas verifica-se uma carência de relatórios qualitativos que indiquem o que os conservadores estão a usar actualmente.

Os enchimentos são executados por razões estéticas e de conservação, como por exemplo, para evitar que as fissuras da pedra constituam pontos de acumulação de partículas aéreas de poluição ou de infiltrações de água. São também utilizados na reconstituição de pormenores escultóricos ou construtivos que se perderam ou estão em

falta, apesar de em certos países, como em Inglaterra, se defender que se deve manter essas perdas de material ou de pormenores escultóricos como parte integrante da história do objecto. Em contrapartida, outros conservadores de monumentos são de opinião que em caso de perda de formas óbvias, não conjecturais, a sua reconstituição através de enchimento que reproduza o material na sua forma original tem grande importância no restauro e reintegração funcional do objecto danificado.

Os vazios variam em grandeza e escala e o seu tamanho determina a decisão na selecção do material de substituição ou enchimento. No entanto, a execução destas “reparações plásticas” ou substituições exigem, igualmente, agentes de ligação de inertes de enchimento. Muitas vezes, os materiais de enchimento são simultaneamente materiais adesivos, para evitar qualquer remoção do substrato. De qualquer modo, em restauro escultórico ou arquitectónico, o substrato deve ser estável e o material friável deve ser consolidado ou removido de forma adequada. As interfaces devem ser bem limpas, e todo o material de enchimento anterior deve ser removido até à profundidade máxima para impedir qualquer incompatibilidade entre o antigo material e o novo enchimento.

Os materiais de enchimento devem, portanto, ter as seguintes características:

- Serem reversíveis, ou seja, podem ser removidos sem adicionar ou remover material do substrato;
- Ligarem ou aderirem ao substrato, embora de forma mais fraca, e serem materiais de sacrifício;
- Serem inertes ou compatíveis com o substrato, e portanto, não devem incluir sais solúveis, nem materiais fortemente alcalinos ou ácidos, nem transmitir esforços mecânicos;
- Terem capacidade para serem coloridos de modo a reproduzir mimeticamente o aspecto visual do material da pedra;
- Não prejudicarem o ambiente e serem aplicados de forma segura;
- Serem economicamente viáveis.

Os enchimentos das peças exteriores devem especialmente apresentar as seguintes características:

- Estabilidade aos raios ultravioletas;

- Serem duráveis, resistindo aos agentes climáticos incluindo os ciclos gelo/degelo e flutuações térmicas (diárias e anuais);
- Terem um comportamento físico semelhante ao do substrato, de modo a que as propriedades como o coeficiente de dilatação térmica, as velocidades de fusão e contração, a permeabilidade ao vapor de água, a porosidade, a absorção de água, o módulo de elasticidade, sejam próximas dos parâmetros do substrato.

As resinas sintéticas (principalmente as resinas de poliéster e epóxido) são vistas como inadequadas para uso externo, pois são materiais incompatíveis com pedras, como o mármore, que se deterioram facilmente, em superfícies exteriores, mesmo quando protegidos com filtros de ultra violetas. É por isso que há uma maior tendência para utilizar materiais inorgânicos em superfícies exteriores, como enchimentos à base de hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), pozolanas, cal hidráulica, e ainda preparados especiais à base de misturas de silicatos, carbonatos e óxidos de ferro. No entanto, utiliza-se em argamassas à base de cal, ou argamassas constituídas de cal, pó de mármore e areia fina siliciosa, na incorporação de uma pequena percentagem de resina acrílica para obter uma pasta de acabamento brilhante.

A resina acrílica B72 tem sido utilizada no enchimento de fissuras externas nas quais, devido ao seu reduzido tamanho, abertura ou profundidade, não é adequada a aplicação de argamassa inorgânica. As resinas de poliéster e epóxido têm sido usadas em enchimentos mas, primeiro deve-se selar as interfaces da pedra danificada com resina acrílica, Paraloid B72 (um etil-metacrilato co-polimérico, designado também de Acrilóide B72, nos Estados Unidos da América). É utilizada como barreira, possibilitando a reversibilidade dos poliésteres e epóxidos, e para limitar a sua migração para o substrato, em juntas.

Alguns conservadores, segundo Jonatham Kemp, têm utilizado em juntas estruturais, a combinação da resina epóxido com a resina acrílica, com bons resultados práticos, embora admitam que apesar do elevado módulo de elasticidade da resina acrílica, não é possível evitar a ondulação da resina em condições adversas. A aplicação inicial de 10-15% de B72 em acetona nos vazios, promove a adesão da última camada de enchimento. A própria argamassa de enchimento consiste usualmente em cerca de 25% de B72 em acetona e IMS que é uma mistura de micro-esferas de vidro, hidróxido

de alumínio e pó de mármore, à qual se juntam pigmentos de terra. A utilização de B72 é controversa em enchimentos de grandes dimensões devido à sua permeabilidade relativa e pequena durabilidade. No entanto, tem sido utilizada, tal como as argamassas de cal, para revestimento de vazios maiores, preenchendo com resina poliéster ou epóxido, para reduzir os efeitos das radiações ultra-violetas, por exemplo. Por outro lado, a resina acrílica tem tido largo utilização em superfícies interiores das cantarias. A sua preferência em enchimentos médios deve-se à sua fácil reversibilidade. Uma mistura de 15% de Paraloid B72 em solução de acetona e a mistura da combinação de pó de mármore, micro-esferas de vidro, hidróxido de alumínio e pigmentos de terra tem tido a preferência por parte de alguns conservadores.

José Delgado Rodrigues e João Manuel Mimoso ⁽⁵⁾, produziram uma pedra artificial, onde utilizaram dois produtos diferentes na sua consolidação, o primeiro foi uma dispersão aquosa de polímeros acrílicos enquanto que a segunda consolidação foi baseada em silicato de etilo. Os resultados obtidos na pedra artificial com consolidantes, quando comparados com os valores das pedras naturais, podem ser positivos, sendo que deverão ser testados, em obra, a uma pequena escala.

Foram feitos estudos e ensaios para determinação de várias características mecânicas, como porosidade, capilaridade, resistência à flexão e módulo de Young, tendo sido conseguidos bons resultados ultrapassando, no entanto, o factor limite aceitável de variação de cor ($\Delta \geq 5$).

2.1.3 Os agentes de deterioração de alvenarias ⁽⁴⁾

As alvenarias que têm maior risco de deterioração são as exteriores, como elementos em contacto com condições mais adversas, a acção humana ou as condições ambientais a que estas estão constantemente sujeitas.

A nível ambiental e climático podemos enumerar vários tipos de factores:

- Climas simultaneamente quentes e húmidos, propiciam o aparecimento de microrganismos;

- Climas quentes e secos, onde existem elevadas amplitudes térmicas face às quais os materiais deverão ter propriedades que permitam a sua dilatação sem que ocorra degradação;
- Em climas frios, o aparecimento de condensações nos materiais devido às diferenças de temperatura verificadas entre dois espaços separados pelo mesmo elemento, o fenómeno gelo/degelo que leva à formação e alargamento de fendas.

A radiação solar e a água são, portanto, dois dos agentes que mais contribuem para a degradação das alvenarias. As radiações ultravioletas que deixam os materiais ressequidos e quebradiços, a temperatura causada pela incidência destes provoca dilatação e retracção originando a diminuição da plasticidade dos materiais e consequente fissuração. As alvenarias quando constituídas por materiais muito diferentes no que diz respeito ao seu comportamento relativamente à acção da temperatura, dilatação/retracção, são também vulneráveis ao aparecimento de fissuras. A água neste contexto aparece de muitas e variadas formas: por capilaridade com a água a migrar pelos poros do material estando as alvenarias em contacto com elementos húmidos, águas provenientes dos lençóis freáticos que por falta de impermeabilização das fundações facilita a sua passagem através das alvenarias aparecendo manchas de humidade nas zonas inferiores destas; infiltração e absorção das águas das chuvas que se torna mais gravosa com a incidência em simultâneo de ventos; condensações devido à elevada diferença de temperaturas entre ambientes separados pela mesma alvenaria; a humidade dos materiais de construção que é a parte da água utilizada na confecção das argamassas que não teve tempo para se evaporar; e a humidade devido a causas fortuitas como o rompimento de tubagens. Qualquer um destes tipos de humidades pode ser causados por má construção do edifício. Este tema será tratado de forma mais aprofundada no capítulo 3. O vento constitui também uma origem de degradação das fachadas exteriores, quer em conjunto com a chuva fazendo com que esta incida com maior velocidade na fachada, quer isoladamente. O vento transporta consigo, para além das substâncias próprias da sua composição, outras devidas à acção humana. Dos constituintes do ar encontram-se várias substâncias:

- Óxido de enxofre, que ataca as alvenarias, quer sejam de granito ou metal;
- Cloretos, abundantes no litoral e que contaminam as fachadas;

- Grãos de pó que podem manchar permanentemente.

Os agentes biológicos, que provocam alterações nas propriedades dos materiais devido à acção de microrganismos, são as bactérias, algas, líquenes ou fungos. Este tipo de ataque é encontrado principalmente na madeira, onde os fungos se instalam provocando manchas e levando à degradação da mesma. A vegetação acelera também a degradação das fachadas, vegetação que cresce entranhada no edifício devido à acumulação de pó e sementes nele existente vindo a provocar a degradação do revestimento e abrindo caminho à passagem de humidade, a vegetação de grande porte pelas folhas que caem provocando entupimentos nos sistemas de drenagem e as raízes que podem afectar a estrutura do edifício.

Os insectos, como as formigas ou as larvas, são também causadores de degradação, que para subsistirem tentam instalar-se nos edifícios, normalmente os de maior idade, onde têm maior facilidade de penetração.

Os animais como ratos ou aves, que bloqueiam caleiros, deslocam telhas e em zonas com elevado número de aves, os excrementos destas sujam as fachadas causando reacções químicas que mancham de forma permanente a fachada.

Fenómenos acidentais da natureza, como sismos, avalanches ou inundações, são situações que podem provocar não só a degradação da fachada como a possível ruína do edifício.

Por último, é também um factor importante de degradação de fachadas, a acção humana.

- Vandalismo sob forma de pinturas ou, de uma forma extrema, a provocação de incêndios;
- Desgaste devido ao uso;
- Falta de conservação ou até mesmo intervenções mal efectuadas;
- Desenvolvimento urbano que, por exemplo, com o aumento de trânsito, aumenta também as vibrações.

2.2. Referências Bibliográficas

(1) - Lopes, F. e Correia, M. - *Património Arquitectónico e Arqueológico* - Editora Livros Horizonte; Lisboa 2004; pp. 43 até pp. 47, pp.103 até pp. 107, pp. 125 até pp. 139, pp. 155 até pp. 159, pp. 245 até pp. 250, pp. 289 até pp. 295.

(2) - Pimentel, A. e Martins, J. - *Reabilitação de edifícios tradicionais* - série REABILITAÇÃO, 1ª edição/2005 - “<http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Reabilitacao/Reabilitacao%20de%20edificios%20tradicionais.pdf>”; pp. 13 até pp. 22.

(3) - Kemp, Jonatham - “*Fills for the Repair of Marble-a Brief Survey*”, in «*Journal of Architectural Conservation*», Donhead Published, United Kingdom, 2009; pp. 59 até pp. 78.

(4) - Rosa, C. e Martins, J. - *Reabilitação da Envolvente Vertical Opaca de Edifícios* - série REABILITAÇÃO, 1ª edição/2005 - “<http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Reabilitacao/Reabilitacao%20da%20envolvente%20vertical%20opaca.pdf>”; pp. 41 até pp. 44.

(5) - Rodrigues, J. e Mimoso, J. - “*Proceedings of the international Symposium*” - “*Stone consolidation cultural heritage, research and practice*”, LNEC, Lisbon, 6-7 May, 2008. Pp. 169 a 191.

CAPITULO 3

DESENVOLVIMENTO DO TEMA

DIAGNÓSTICO E TÉCNICAS DE CONTROLO DA HUMIDADE

3. Diagnóstico e técnicas de controlo da ascensão de águas do terreno, de infiltrações de águas pluviais e da presença da humidade nas alvenarias

A problemática da água e da sua infiltração nos edifícios têm uma enorme importância na actualidade da construção e reabilitação de edifícios.

As suas mais variadas formas de manifestação e mesmo a sua proveniência resultam numa das maiores problemáticas a nível do bom funcionamento dos edifícios, sejam eles edifícios novos ou antigos. Problemas estes, que afectam em muito as condições de salubridade, bastante significativos para os seus utilizadores, a presença de água acelera, de um modo significativo, o processo de deterioração dos materiais dos quais é constituído o edifício, podendo nesta vertente afectar o bom funcionamento dos elementos de revestimento, numa primeira fase, e posteriormente, numa segunda fase, pode afectar os elementos estruturais e diminuir a sua capacidade de resistência ficando, portanto, o edifício mais vulnerável.

Para uma melhor compreensão deste fenómeno é necessário uma boa identificação e descrição das formas de manifestação para que assim se possa chegar a um diagnóstico preciso, que nos permitirá descobrir as causas e assim se poder propor soluções para a sua reparação. Neste sentido, e para facilitar a sua compreensão, podemos dividir os vários tipos de manifestação da humidade em vários grupos: ^{6, 8, 9}.

- Humidade de construção;
- Humidade devida a fenómenos de higroscopicidade;
- Humidade de condensação;
- Humidade devido a causas fortuitas;
- Humidade do solo;
- Humidade de precipitação.

A reparação para as anomalias descritas assenta em 6 grupos: ^(6, 8, 9)

➤ *Eliminação das anomalias;*

É exemplo a remoção de bolores; esta medida não é definitiva, pelo que as anomalias voltarão a aparecer.

- *Substituição dos elementos afectados;*

A remoção dos materiais só será uma medida eficaz se a causa da anomalia for tratada.

- *Ocultação das anomalias;*

A aplicação de painéis a esconder as patologias é uma das formas de ocultação de anomalias. A patologia não é tratada, ficará apenas ocultada pelo novo material.

- *Protecção contra agentes agressivos;*

É um exemplo de impedimento do progresso da humidade, a criação de barreiras estanques.

- *Eliminação das causas das anomalias;*

Bastante eficaz, a drenagem do terreno é uma medida que elimina as causas das anomalias.

- *Reforço das características funcionais;*

O principal objectivo desta medida é fazer com que os materiais sofram um reforço das suas características de forma a ter um melhor comportamento em meios adversos.

3.1. Formas de manifestação da humidade

3.1.1. Humidade de construção, descrição do fenómeno, causas do seu aparecimento e manifestações, medidas preventivas e correcções ⁽⁶⁾

Este tipo de humidade resulta da humidade existente na maioria dos materiais utilizados na construção de um edifício, pois estes necessitam de água para a sua preparação, durante a fase de construção do edifício, e com os materiais sujeitos às águas das chuvas, estes ficam com um teor em água superior bastante significativo, onde grande parte desta água, constituída pela humidade que os materiais retêm no seu interior, tem um tempo de evaporação demorado, ao contrário da humidade superficial que rapidamente se evapora.

Como medida preventiva é essencial garantir ao máximo que, a aplicação dos materiais seja feita com condições atmosféricas ideais (ausência de precipitação) e que

seja evitado ao máximo, em caso de existência de precipitação, o seu contacto com as águas pluviais.

Como medida de correcção à existência deste tipo de humidades, é necessário criar condições ambientais que favoreçam a sua secagem.

Medidas como:

- Ventilação dos ambientes, pode ser efectuado unicamente pela abertura de janelas;
- Aumento da temperatura no interior dos edificios com o auxílio de aquecedores, faz diminuir a humidade relativa. Esta medida, em conjunto com a ventilação melhora as condições de secagem das superficies.

3.1.2. Humidade devida à higroscopicidade, descrição do fenómeno, causas do seu aparecimento e manifestações, medidas preventivas e correcções ⁽⁶⁾

Este tipo de humidade é devido à existência de sais solúveis na constituição da maioria dos materiais aplicados na construção de edificios, que em presença da humidade existente nos materiais, e com a circulação da água no seu interior, estes mesmos minerais são dissolvidos, indo cristalizar à superfície sob forma de eflorescências e criptoflorescências.

Estes minerais depois de aflorarem à superfície e em condições de humidade ideais, podem absorver a humidade, o que provoca o humedecimento da superfície e o aumento de volume que é acompanhado pelas consecutivas fases de cristalização/dissolução, factos estes que podem provocar anomalias consideráveis, como a degradação do revestimento das paredes. Os minerais mais associados a este fenómeno são os sulfatos, os carbonatos, os cloretos, os nitritos e os nitratos.

Como medida preventiva, surge a necessidade de garantir que a humidade relativa nunca atinja o intervalo (65-75%), considerado como o intervalo em que estes minerais são susceptíveis de gerar problemas. Podemos, então, tentar que a humidade relativa esteja a um nível superior ou inferior. O controlo de humidade pode ser

efectuado recorrendo a dispositivos mecânicos, tanto de humedificação (Figura 3.1 a)), como de desumidificação (Figura 3.1 b)).



Figura 3.1 - a) Humidificador; b) Desumidificador

Fonte: a) http://www.tigex.com/images_upload/humihygro_rvb_436.jpg

b) http://user.img.todaoferta.uol.com.br/7/N/MM/BRQ73D/1227227919192_bigPhoto_0.jpg

Como medidas correctivas para reparação deste tipo de anomalias, sendo estas de difícil remoção, pode optar-se pela manutenção do material existente ou pela remoção dos sais higroscópicos.

- Optando pela manutenção do material existente ou tratando-se de um edifício histórico, a única opção será a remoção dos sais higroscópicos, utilizando-se materiais absorventes, como o algodão, embebidos em água destilada e colocados nas zonas afectadas, o que faz com que os sais sejam absorvidos pelos materiais absorventes e a sua concentração na parede diminua substancialmente. Esta operação deve ser repetida até que não se verifique qualquer tipo de eflorescências na parede.
- Sendo possível a substituição, este tipo de operações é mais facilitado em edifícios mais recentes pelo menor valor histórico que representam. Nesta operação os materiais afectados são substituídos por outros materiais, idênticos e impermeáveis, sendo necessário assegurar que não fiquem em contacto com as zonas afectadas.
- Este tipo de anomalia pode também ser ocultado pela construção de outra parede, pelo interior e afastada da existente. Podem também ser aplicados revestimentos com características especiais.

3.1.3. Humidade de condensação, descrição do fenómeno, causas do seu aparecimento, manifestações, medidas preventivas e correcções ^(6, 7, 9)

A condensação é o fenómeno de humidificação dos materiais, mais comum em edifícios actuais, devido a factores como o aumento da estanqueidade e impermeabilidade; é exemplo disso a aplicação de caixilharias com vidro duplo, que ocasiona uma menor ventilação e maior capacidade de reter a temperatura interior, o que leva ao aumento da condensação noutras superfícies. A caixilharia de vidro duplo, consegue fazer com que as superfícies interior e exterior estejam a temperaturas muito diferentes, diminuindo assim a condensação nos envidraçados. Uma vez que o vapor de água é o mesmo, este vai condensar de modo mais intenso nas outras superfícies.

Sendo o ar constituído por gases e vapor de água, a quantidade máxima de vapor de água, limite de saturação, é consequência da temperatura do meio. O limite de saturação aumenta se a temperatura também aumentar e diminui se a temperatura também diminuir.

Verifica-se que nos edifícios em que a superfície interior apresenta uma temperatura inferior, comparativamente à temperatura ambiente, este fenómeno é mais frequente no período de inverno, uma vez que é necessário que se estabeleça uma temperatura ambiente confortável com o mínimo de perdas possível (baixa ventilação).

As condensações podem ser superficiais ou internas. As condensações superficiais podem ocorrer sempre que surja um arrefecimento de uma massa de ar e seja atingido o limite de saturação correspondente a uma determinada temperatura.

As condensações internas verificam-se quando num ponto da parede, a pressão parcial do vapor de água que atravessa a parede por difusão iguala a pressão de saturação correspondente à temperatura nesse ponto. Estes factores são condicionados pelos elementos constituintes da parede e pelas suas propriedades térmicas.

É através do diagrama psicrométrico (Figura 3.2) que se obtém a humidade absoluta, cruzando a temperatura ambiente com a humidade relativa.

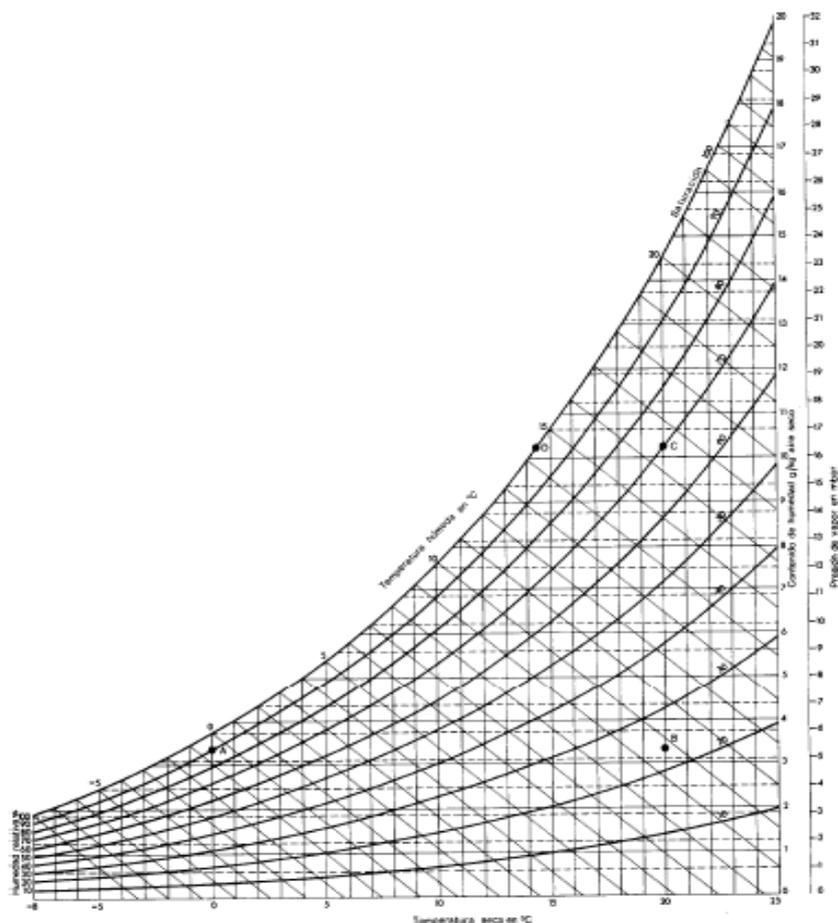


Figura 3.2 - Diagrama Psicrométrico.

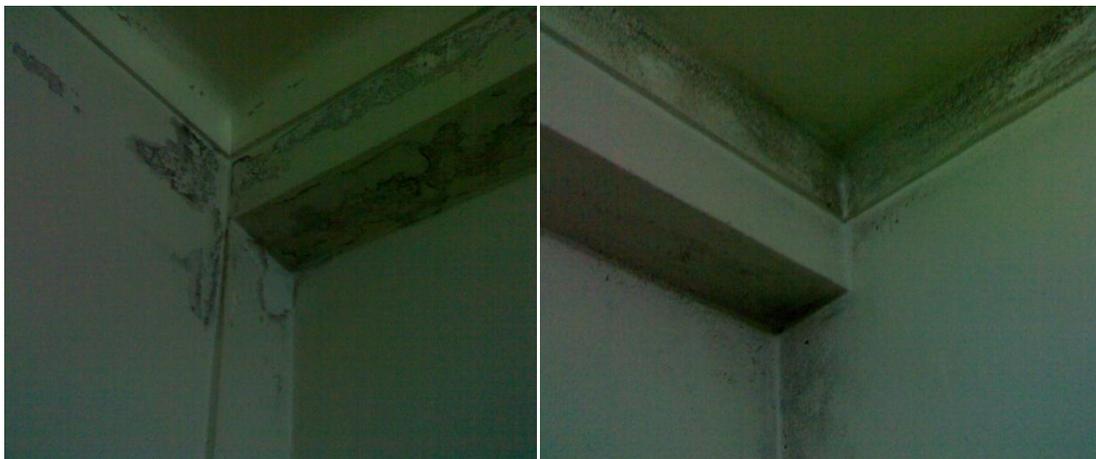
Fonte: <http://www.dilasoft.com.ar/abaco%20psicrometrico.gif>

As zonas de uma habitação onde é mais predominante este tipo de patologias são as cozinhas e as casas de banho, locais onde é maior a formação de vapor de água.



Fotografia 3.1 - Exemplo de condensação em casas de banho
(Carvalho, B. 2009).

As patologias verificadas após a condensação são o aparecimento de manchas de humidade e de bolores, normalmente localizadas nas paredes exteriores, nas zonas das pontes térmicas, fenómeno este que se pode também verificar nas paredes interiores, nas paredes de casas de banho e cozinhas, zonas produtoras de vapor de água.



Fotografia 3.2 - Dois exemplos de formação de bolores devido à condensação no paramento interior de paredes exteriores, principalmente em zonas de pontes térmicas e nos ângulos com o tecto (Carvalho, B. 2009).



Fotografia 3.3 - Formação de bolores devido à condensação.

Fonte: <http://www.futuratintas.com.br/img/superficies/fungos.jpg>

As causas destas patologias dependem essencialmente:

- Da ocupação humana do espaço, dado que varia a produção de vapor de água;
- Da eficácia da ventilação dos espaços;
- Da temperatura ambiente;

- Do isolamento térmico das paredes que separam compartimentos com temperaturas muito diferentes.

Como prevenção a estas formas de manifestação, para que não ocorram condensações é necessário que se possam garantir as seguintes condições:

- Uma melhoria da ventilação para que o vapor de água existente possa ser removido e ao mesmo tempo que as superfícies com condensação sejam secas.

Neste ponto é essencial que a ventilação de um edifício seja efectuada tendo em conta o tipo de ocupação e o volume do compartimento;

- Um acréscimo da temperatura ambiente, com recurso a dispositivos de aquecimento;
- Uma melhoria dos resultados a nível do isolamento térmico.

Entre as medidas de correcção mais importantes e eficazes são a ventilação eficaz do edifício e a renovação e substituição do ar interior húmido por ar seco. A possibilidade de facilitar a secagem das superfícies é uma medida muito valiosa no combate à condensação.

Para uma ventilação mais eficaz devemos optar pela abertura de orifícios, devidamente calculados, de entrada e de saída de ar.



Fotografia 3.4 - Abertura circular de entrada de ar colocada na zona inferior da parede.

Fonte: http://www.epul.pt/manualtxxi/TXXIPRESS_2/APARTAMENTOS/VENTILACAO_fieiros/image006.jpg.



Fotografia 3.5 - Abertura circular de extracção de ar colocada na zona superior da parede.

Fonte: http://www.epul.pt/manualtxxi/TXXIPRESS_2/APARTAMENTOS/VENTILAC_AO_ficheiros/image008.jpg.

- Optar por sistemas de ventilação mecânica normalmente utilizados nas cozinhas;
- Optar por janelas com dispositivos especiais de ventilação;
- Aumento do isolamento térmico, pelo exterior ou pelo interior;

O isolamento térmico pelo interior, tem a vantagem de poder corrigir as superfícies afectadas ao mesmo tempo que se efectuar o adequado isolamento. As desvantagens são a conseqüente diminuição da área útil, a dificuldade nos acabamentos nas caixilharias e portas, recolocação de todos os dispositivos anteriormente colocados no interior da parede, incomodo de obras no interior da habitação e impossibilidade de ocultar algumas pontes térmicas.

Pelo exterior, a aplicação de materiais de isolamento térmico, traz-nos as vantagens de corrigir as pontes térmicas, manutenção das áreas úteis do edifício, menor incómodo durante as obras e conseqüente melhoria da parede a fim de resistir à penetração da chuva.

- Optar por aparelhos desumidificadores;

3.1.4. Humidade devido a causas fortuitas, descrição do fenómeno, causas do seu aparecimento, manifestações, medidas preventivas e correcções ^(6, 8)

Este tipo de humidade ocorre nos edifícios devido, na maior parte dos casos, a falhas humanas ou falha dos equipamentos, quer por falta de manutenção, quer por simples ruptura accidental das instalações existentes.

É exemplo deste tipo de anomalia, a ruptura de canalizações de abastecimento de água de águas pluviais e residuais. Pode ocorrer, também, devido à má impermeabilização da cobertura ou à falta de manutenção e limpeza da mesma, o que pode provocar entupimentos nas caleiras ou nos algerozes e tubos de queda. O mau acabamento de zonas de encontro entre elementos verticais e elementos horizontais pode também originar infiltrações.

A manifestação destas patologias está muitas vezes associada a períodos de precipitação, em que o seu aparecimento será notado com maior gravidade, havendo ruptura de canalizações. Quando está associada a fugas que ocorrem na rede de drenagem de águas pluviais, estas patologias notar-se-ão de uma forma mais permanente, e a identificação da causa e do local de origem da infiltração, será de mais difícil detecção, uma vez que estas águas poderão migrar aparecendo, muitas vezes, a distâncias consideráveis do local de origem da infiltração.

Como forma de evitar este tipo de patologias pode e deverá ser efectuada a limpeza das coberturas, caleiros e tubos de queda, uma inspecção periódica e visual das canalizações de abastecimento e de drenagem de águas para identificação de eventuais fugas, e para que assim possa surgir uma reparação antes do seu alastramento.

3.1.5. Humidade do solo, descrição do fenómeno, causas do seu aparecimento, manifestações, medidas preventivas e correcções ^(6, 8)

Este tipo de patologias faz-se sentir, essencialmente, ao nível dos pisos e nas alvenarias que se encontram em contacto com o solo e quando este tem um elevado teor de humidade. É em função do tipo de material existente na edificação que teremos uma maior ou menor manifestação da humidade.

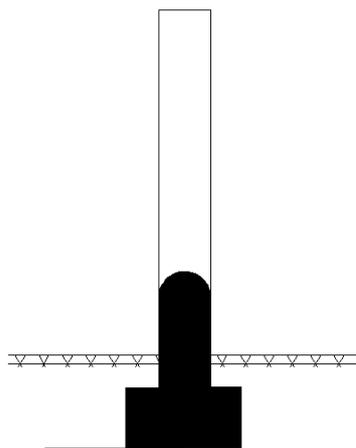


Figura 3.3 - Manifestação de humidade do solo
(Carvalho, B. 2009).

De salientar que a alimentação da água tem origem em duas fontes, as águas superficiais e os lençóis freáticos.

No caso das águas superficiais, as infiltrações resultam do facto de o solo ser pouco permeável, sendo as águas transportadas até ao edifício, ficando em contacto com este, acentuadamente. Os fenómenos causados por estas águas, aparecem de forma irregular, mais acentuadamente no inverno, variando a sua gravidade de acordo com a abundância da água.

Este fenómeno pode ocorrer devido à alteração da cota do terreno, com solos pouco permeáveis. Depois de construído o edifício, as águas superficiais ficam em contacto com a parede, que muitas vezes não foi concebida para enfrentar tais condições; o mesmo se pode verificar quando os tubos de queda descarregam directamente no solo.

No caso de águas resultantes dos lençóis freáticos, a humidade do terreno é directamente influenciada pelos seguintes factores:

- Existência de elementos em contacto com o solo e o teor de humidade nele existente. Quanto maior for a porosidade do material e o teor de humidade mais facilmente subirá a água, e maior será a incidência da patologia, em presença da fonte de água;
- Capacidade dos materiais em transportar a água, sua maior ou menor capilaridade, em elementos verticais ou horizontais facilita a passagem de água através deles;

- Dimensão, época de construção e orientação das paredes, quanto maior for a espessura da parede e com a sua orientação a norte, mais gravosa será a ascensão da água. A antiguidade da parede, tem influência na medida em que os materiais aplicados estão envelhecidos, embora sejam duráveis, e as dimensões correntes da época podem contribuir para o bom ou mau desempenho do edifício;
- A falta de barreiras físicas com o intuito de impedir a passagem da água;

No entanto, outros factores influenciam a altura atingida pela água numa parede, tais como a capacidade de evaporação do elemento, caso o elemento esteja revestido com um material impermeável numa das faces; nesse caso a altura a que a água sobe vai aumentar comparativamente com o mesmo elemento sem impermeabilizações.

Outras formas de manifestação são as *eflorescências* e as *criptoflorescências*, causadas pela passagem da água pelo interior das paredes até à sua evaporação, originando a cristalização dos sais. Se ocorrerem à superfície, chamam-se *eflorescências*, se ocorrem abaixo da superfície, chamam-se *criptoflorescências*. Estas cristalizações são acompanhadas de um aumento de volume dos cristais o que danificará o elemento em questão. Uma vez que o trajecto da água é ascensional, é normal existir um maior teor de água na zona inferior do elemento, onde poderão aparecer e permanecer as manchas de humidade.

Como prevenção a este tipo de humidades podemos adoptar algumas das medidas seguintes:

- Numa fase inicial à construção, caso seja possível, optar por construir em solos que não estejam saturados de água;
- Caso a primeira opção não seja possível, teremos que garantir uma boa drenagem ao nível das fundações, fazendo com que as águas não venham a estar em contacto com as fundações;
- Optar pela aplicação de materiais o mais impermeáveis possível para evitar a passagem da água por capilaridade;
- Utilização de revestimentos impermeáveis;
- No caso de existência de caves abaixo do nível freático, podemos efectuar a construção de valas para efectuar o transporte da água.

Este tema será tratado mais aprofundadamente em 3.6.

Como correcção, o mais corrente, nos casos em que a humidade é proveniente das águas superficiais, é efectuar a reparação das patologias causadas, devendo-se tomar todas as necessárias precauções para que não seja necessário repetir a intervenção de reparação.

Tratando-se de patologias causadas pela água dos lençóis freáticos, podemos optar por várias medidas:

- Drenagem do terreno, evitando o contacto da água com o edifício;
- Aplicação de técnicas de secagem do elemento.

No segundo caso há várias medidas, entre as quais aquela que se baseia no princípio de Knapen, que consiste na abertura de furos na parede com inclinações na ordem dos 30° para aumentar a ventilação e a conseqüentemente diminuição do teor de humidade da parede.

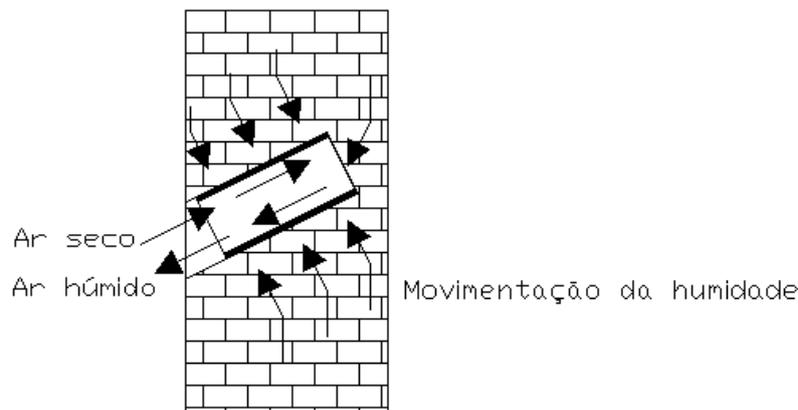


Figura 3.4 - Dreno de Knapen

(Carvalho, B. 2009)

Podemos também optar pelo método da electro-osmose, que se baseia na criação de uma diferença de potencial criada entre os dois eléctrodos, um inserido no elemento húmido e o outro enterrado no solo. Com isto invertemos a tensão que é criada por humidificação do elemento pelo terreno.

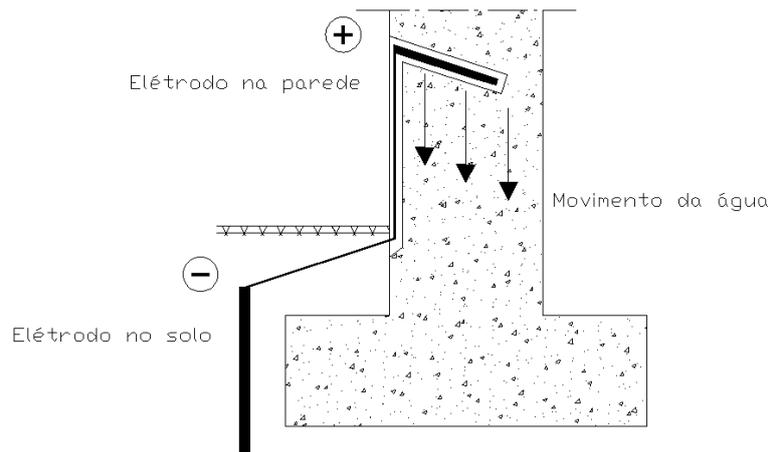


Figura 3.5 - Funcionamento do processo electro-osmose
(Carvalho, B. 2009)

- Criação de barreiras químicas que impeçam o contacto da humidade com o elemento do edifício;

Injecção de produtos impermeabilizantes, ao longo da parede, criando assim uma barreira estanque.



Fotografia 3.6 - Injecção de impermeabilizante com recurso a uma bomba injectora.

Fonte: <http://www.dryzone.eu/media/img/old-damp-proofing.jpg>

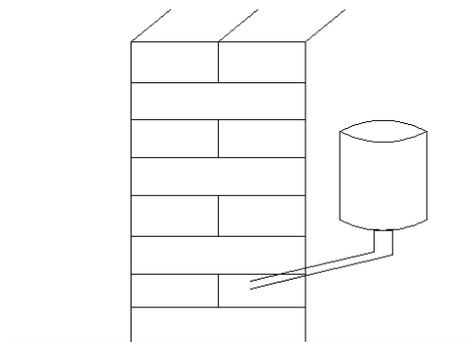


Figura 3.6 - Injecção de impermeabilizante por gravidade
(Carvalho, B. 2009).

➤ Colocação de barreiras estanques.

Por substituição de elementos de alvenaria e colocação de materiais impermeáveis, por colocação de membranas betuminosas, placas de chumbo, folhas de polietileno, etc.

Introdução de materiais metálicos, colocados por recurso a martelos mecânicos, derivando desta medida alguns problemas de instabilidade estrutural.

Podemos também recorrer à ocultação de anomalias, apesar desta medida não impedir que a humidade deixe de se manifestar novamente. A execução de uma parede nova pelo interior, afastada da existente, que irá trazer inconvenientes como a redução do espaço útil e o transporte de todos os dispositivos colocados na parede inicial. Finalmente, podem-se aplicar novos revestimentos impermeáveis e/ou descontínuos.

3.1.6. Humidade de precipitação, descrição do fenómeno, causas do seu aparecimento, manifestações, medidas preventivas e correcções ^(6,8)

A chuva, juntamente com o vento, é a principal fonte do aparecimento de humidade nas paredes exteriores quando os elementos constituintes dessa parede não possuem as características necessárias para resistir a este tipo de acção. Não basta unicamente que os materiais tenham tais características, é necessária também a boa execução e aplicação dos mesmos, caso contrário, é muito provável a infiltração das águas das chuvas e o conseqüente aparecimento de patologias. O seu aparecimento é

mais frequente em altura de chuvas e ventos fortes. A acentuação destes fenómenos tem como consequência directa o aumento do efeito.

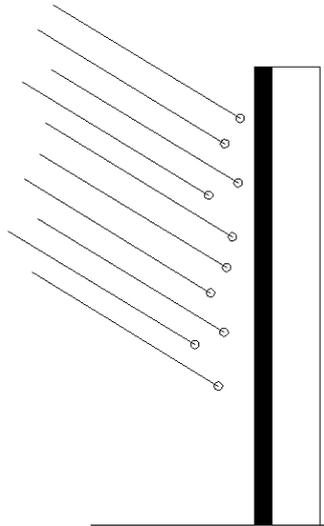


Figura 3.7 - Humidade de precipitação
(Carvalho, B. 2009)

Esta água que se infiltra do exterior para o interior, através das paredes e dos elementos que a constituem, pode fazer com que estes deixem de desempenhar a sua função como elemento estrutural ou estético.

O percurso natural da água é feito através de zonas mais vulneráveis localizadas nos edifícios e onde o seu percurso é feito com maior facilidade sendo necessário haver uma maior preocupação na sua concepção.

São zonas como:

- A argamassa de assentamento das alvenarias;
- Ligações das alvenarias com os elementos estruturais;
- Pelas fendas, caso existam, dos rebocos ou revestimentos;
- Nas juntas inferiores de elementos impermeabilizados.

As manifestações são normalmente identificadas a olho nu, como as eflorescências, criptoflorescências, o aparecimento de bolores, humidades e, nos casos mais gravosos, será visível o escoamento de água. Estas manifestações têm tendência a diminuir ou mesmo desaparecer com a falta de precipitação, esgotando a causa o seu efeito não ocorrerá. No entanto, ficam os elementos que serviram de elemento condutor da água mais vulneráveis no que toca a resistir a uma futura passagem desta.

Como medidas preventivas, um dos métodos mais usuais para evitar este tipo de problemas é a impermeabilização do pano exterior do edifício, sendo necessário ter especial atenção em várias zonas, como as ligações dos elementos verticais com os horizontais e junto às caixilharias.

A impermeabilização tem como principio criar uma barreira no paramento do pano exterior que impede a passagem da água através dele. Esta técnica tem, no entanto, um problema, pois ao aplicarmos a impermeabilização estamos a criar uma barreira que vai impedir que a parede liberte o teor de humidade que possui.

Podemos também, recorrer à hidrofugação que é um processo que permite à parede libertar o seu teor de humidade, tornando-se permeável ao vapor de água.

Existe também a possibilidade de criar meios físicos que irão impedir a acção directa das chuvas sobre as paredes, como a utilização de palas.

Das medidas de reparação deste tipo de anomalias, opta-se quase sempre por efectuar obras de reparação no paramento do pano exterior, uma vez que é por aqui que se inicia o transporte da água. A aplicação de novos revestimentos, a hidrofugação do pano e a constituição de fachadas ventiladas, que incluem um espaço por onde é efectuada, permitem que estas permaneçam com as superfícies mais secas. Estas são algumas das obras de reparação possíveis, sempre com a remoção dos elementos danificados.

3.2. Métodos de diagnóstico ⁽⁶⁾

As intervenções de reabilitação ou restauro devem ser alvo de estudos preliminares minuciosos, quer no caso dos monumentos, quer dos conjuntos arquitectónicos ou lugares de interesse público, histórico, arqueológico e científico.

Nestas intervenções deve-se ter em conta um vasto leque de especialidades como a história, topografia, geologia, física, química, arquitectura, engenharia, urbanismo, paisagismo entre muitos outros factores.

Para os seis diferentes tipos de humidade devemos efectuar o diagnóstico de acordo com a fonte de humidade.

De um modo geral, no diagnóstico devem constar os seguintes procedimentos:

➤ Análise documental do edifício.

Onde deverá estar reunida toda a informação do edifício e sua envolvente, clima e região, constituição dos elementos construtivos, ocupação dos espaços, redes de drenagem e abastecimento de águas, todas as reparações a que o edifício foi sujeito e todas as informações que se considerem relevantes.

➤ Inspecção visual.

Deve ser efectuado um diagnóstico visual às patologias e aos locais onde estas se manifestaram. Neste ponto, a experiência do técnico que faz a inspecção visual é muito importante no sentido em que pode de imediato detectar uma provável causa da patologia.

➤ Análise não-destrutiva.

É efectuado um estudo ao elemento afectado e ao ambiente que o rodeia.

- *Determinação das condições termo-higrométricas do ar.*

A efectuar nos ambientes interior e exterior com os devidos equipamentos.

- *Determinação das temperaturas superficiais da parede.*

A medição das temperaturas superficiais pode permitir detectar eventuais situações de condensação.

- *Determinação da presença de sais solúveis.*

A eventual presença de sais solúveis pode ser justificada pelo fenómeno de higroscopicidade.

- *Determinação das zonas de humedecimento das paredes.*

Este tipo de tarefa tem que ser efectuada com o objectivo de conhecer o padrão de humidade, através do padrão podem ser excluídos alguns tipos de humidade ao mesmo tempo que pode ser detectada a origem da patologia. É exemplo a humidade por capilaridade, em que a zona humedecida é a parte inferior da parede ou a humidade por precipitação que a humidade é mais incidente no pano exterior da alvenaria.

➤ Análise destrutiva.

A recolha das amostras é efectuada depois de serem conhecidas as zonas húmidas e secas da parede, estas amostras são essenciais para uma melhor compreensão do fenómeno.

- *Recolha de amostras para determinação do teor de humidade.*

Normalmente a recolha de amostras para determinação do teor de humidade são feitas com recurso a berbequins de baixa rotação de forma a evitar um aquecimento e consequentemente viciação da amostra. Estas amostras devem ser recolhidas, em profundidade, à superfície e a 15-20 cm de profundidade, caso a parede tenha uma elevada espessura deverá ser recolhida outra amostra. Em altura, a recolha das amostras deve ser efectuada a três alturas diferentes. A carotagem pode também ser utilizada, este procedimento permite a recolha de uma amostra, intacta do elemento em estudo.

- *Recolha de amostras para determinação de higroscopicidade.*

As amostras já recolhidas servem também, para a determinação dos fenómenos de higroscopicidade.

- *Recolha de amostras para ensaio de sais.*

Na eventual presença de sais, podem ser utilizadas as amostras recolhidas para a verificação dos factores já falados, assim como deve ser feita a recolha de amostras superficiais.

- *Determinação do teor de água das amostras.*

A determinação do teor de água de uma amostra é efectuada através da pesagem da amostra original e seca, a diferença das massas é a quantidade de humidade que a amostra possuía.

- *Determinação da higroscopicidade dos materiais.*

Esta determinação é feita através da pesagem da amostra antes e depois de sujeita a temperaturas e teores de humidade previamente estabelecidos.

- *Verificação de existência de sais solúveis.*

Esta verificação tem como objectivo a verificação de sais solúveis, como os nitratos, os nitritos, os sulfatos e os cloretos. A presença destes sais pode ser verificada, de uma forma rápida com recurso a papéis selectivos colorimétricos.

- *Anotação e análise dos dados obtidos.*

Por fim, a reunião de todos os dados recolhidos, a análise e compreensão atenta de forma a compreender as anomalias, assim como a sua ou as suas causas, visto que podem ocorrer em simultâneo várias causas e várias anomalias. Assim sendo fica completo um levantamento que servirá como auxiliar ao diagnóstico.

3.3. Testes destrutivos para avaliação do teor de água em alvenarias ⁽⁶⁾

A aplicação de um método destrutivo na avaliação do teor de água em alvenarias pressupõe que seja efectuada uma furação no elemento em causa.

➤ Método ponderal.

Neste método é retirado da alvenaria uma amostra com recurso a berbequins de baixa rotação para que não sejam geradas temperaturas que possam fazer com que parte da água existente na amostra se evapore.

Após a recolha da amostra, em laboratório é efectuada a sua pesagem no estado em que se encontrava na parede, posteriormente, depois de seca, é submetida a nova pesagem. O teor de água é obtido através do quociente da diferença das duas massas referidas anteriormente com a massa da amostra no estado seco.

➤ Aparelhos baseados na medição da pressão de acetileno.

Este método permite efectuar com rapidez a medição de teor de água sem a obrigatoriedade de recorrer ao laboratório.

O princípio base deste método é a reacção da água com o carboneto de cálcio, que produz o mesmo volume em acetileno, num recipiente estanque com um manómetro calibrado que nos dá o teor de humidade em função da pressão de acetileno.

➤ Método do núcleo independente.

Só podemos aplicar este método quando temos movimentos de humidade horizontais e no próprio local de estudo.

Este método consiste em retirar da parede uma amostra por carotagem (25mm), colocação de dois tubos (22 mm de diâmetro interno, 3 mm de espessura e 20 mm de comprimento) nas extremidades, o provete é recolocado na parede e permite-nos encontrar o teor de humidade ao longo do tempo através da pesagem da amostra intacta e seca.

3.4. Medição de humidade superficial em alvenarias ⁽⁶⁾

A medição de teor de humidade de uma alvenaria permite-nos averiguar a existência de condensações na mesma. A tecnologia tem tido uma boa evolução no que diz respeito a este tipo de equipamentos, que utilizam métodos electro-químicos.

Existem vários tipos de instrumentos que nos podem indicar a existência de condensação e alertar para uma possível ocorrência. São dispositivos que são colocados na parede e fazem a leitura das temperaturas do ambiente e da parede. Os dispositivos de detecção de condensação podem ser colocados em superfícies e ocasiões em que é difícil detectar este tipo de humidade. Os dispositivos de detecção de risco de ocorrência de condensação têm como finalidade a análise da temperatura superficial do elemento e, no ambiente, a análise da humidade relativa do ar e da temperatura, e com estes dados transmite a maior ou menor possibilidade de ocorrência de condensação. É com a ajuda deste tipo de aparelhos que podemos agir antes que as anomalias sejam demasiado graves.

3.5. Testes não-destrutivos para o diagnóstico de anomalias da humidade ^(6,10)

Para o diagnóstico das anomalias devidas á humidade é necessário que o técnico que o efectua possua um bom e vasto conhecimento deste fenómeno.

Existem várias medidas que são diariamente adoptadas para o conhecimento da evolução das anomalias. A nível visual, é detectável o levantamento das pinturas e dos revestimentos cerâmicos. Uma técnica utilizada com frequência é o batimento com um metal no elemento previsivelmente afectado, o som emitido por este varia com o seu estado de ligação ao suporte, permitindo verificar se este está em boas condições ou se é necessário efectuar trabalhos de reparação.

Avaliação da porosidade pelo ensaio de Karsten, permite avaliar a porosidade superficial de um elemento. Consiste na colocação de um tubo, tubo de Karsten, cheio de água no elemento a testar e através do abaixamento do nível da água é possível verificar a maior ou menor porosidade do elemento.

A termografia pode também ser usada na detecção de anomalias de humidade. Este processo, rápido, tem como base a análise dos padrões de temperatura de um edifício, todos os materiais emitem energia (calor), assim sendo a utilização deste método na análise de um edifício pode denunciar variações de temperatura o que indica a existência de problemas anormais. Rupturas de canalizações e deficiência ou ausência de isolamento térmico. A existência de colónias de insectos e detecção dos elementos estruturais escondidos são outras das capacidades de detecção deste método.

3.6. Soluções para evitar o contacto das alvenarias com a humidade do terreno ^(6, 8)

A humidade do solo, uma das origens das patologias anteriormente referidas, é a humidade existente no solo e em contacto com as alvenarias. Evitar este mesmo contacto fará com que este tipo de humidade se deixe de verificar.

São várias as formas de impedir o contacto das alvenarias com a humidade do solo:

- Secagem da fonte de alimentação.

Este processo pode ser utilizado quando a localização da fonte de alimentação é conhecida, quando se trata, por exemplo, de ruptura de canalizações.

➤ Drenagem do terreno.

A drenagem do terreno terá que ser efectuada com o intuito de transportar e redireccionar as águas superficiais para os devidos locais, sistemas prediais de recolha de águas, evitando por isso a infiltração destas no solo e conseqüente contacto com os elementos do edifício, quer sejam sapatas como alvenarias de pisos situados abaixo da cota do terreno.

Na execução deste processo são utilizadas tubagens perfuradas e drenos em toda a envolvente do edifício.

➤ Execução de valas periféricas.

A execução de valas periféricas trazem bons resultados no afastamento das águas dos edifícios, estas podem ser com ou sem enchimento.

As valas com enchimento são constituídas por uma tubagem perfurada e por várias camadas com diferentes granulometrias, aumentando esta em profundidade. Podem ter localização próxima (Figura 3.10) ou afastada (Figura 3.8) das paredes. No primeiro caso, a profundidade da vala deverá estar ao nível das fundações e no segundo a base da vala deverá estar condicionada com o tipo de solo. Sendo assim, caso seja um solo pouco permeável, como argilas, a base desta deverá estar numa direcção que faça com a base da fundação um ângulo de aproximadamente 30°, mas se o solo for permeável este mesmo ângulo deverá ter perto de 15°.

As valas sem enchimento (Figura 3.9) localizadas junto das paredes afectadas, devem ser ventiladas e conter uma caleira na base para recolha das águas. Este tipo de valas permite a libertação da água absorvida pela parede que pode ser facilitada retirando o revestimento desta.

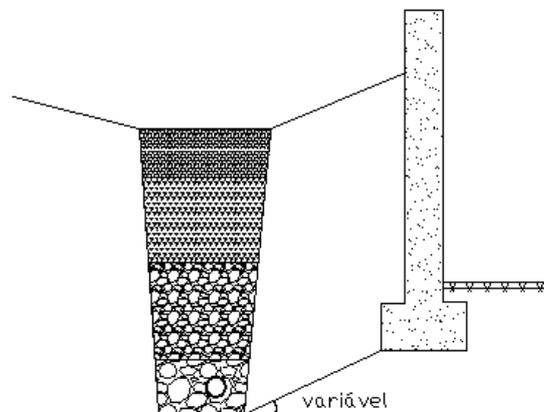


Figura 3.8. Vala periférica com enchimento, afastada da parede
(Carvalho, B. 2009).

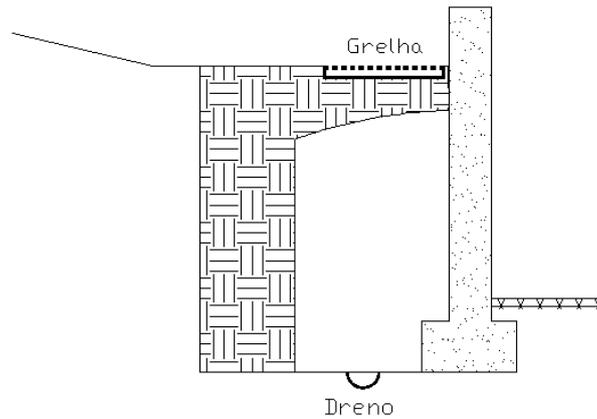


Figura 3.9. Vala periférica sem enchimento
(Carvalho, B. 2009).

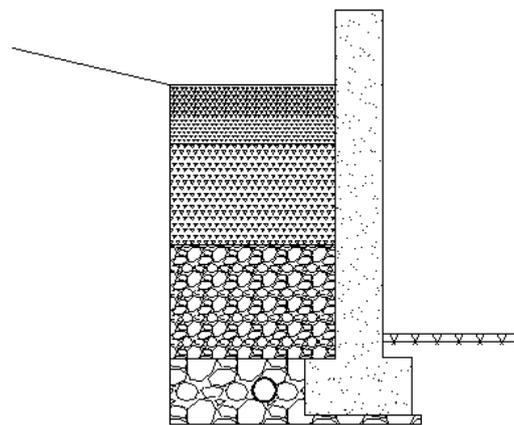


Figura 3.10. Vala periférica com enchimento.
(Carvalho, B. 2009)

➤ Rebaixamento do nível freático.

O rebaixamento do nível freático é obtido pela execução de drenos verticais distanciados de forma a garantir a descida adequada. Esta opção, a ser tomada, deverá ser cuidadosa, uma vez que o abaixamento do nível freático vai provocar assentamentos e, caso estes sejam diferenciais, poderão formar-se no edifício outro tipo de patologias.

➤ Tratamento superficial do terreno.

O tratamento superficial do terreno consiste em garantir que as águas não entrem em contacto directo com as paredes e que não se infiltrem no solo. A impermeabilização

do terreno, a execução de caleiras e a diminuição do declive são algumas das formas de tratamento superficial do terreno.

3.7. Desumidificação ⁽⁶⁾

A desumidificação consiste na diminuição da humidade relativa do ar; esta diminuição pode ser efectuada com o recurso a dispositivos mecânicos, desumidificadores (figura 4.2.1 a)). A utilização simultânea de aquecedores otimiza a eficácia destes aparelhos. Este processo, como já foi referido anteriormente permite evitar o aparecimento de várias patologias, como as manchas de bolores e fungos originados pelas condensações e eflorescências ou criptoflorescências originados pela humidade devido a fenómenos de higroscopicidade.

3.8. Referências bibliográficas

(6) - Henriques, F. (2001). Humidade em paredes. LNEC. Lisboa.

(7) - International Symposium on Moisture Problems in Building Walls, Humidade em paredes, Porto, Portugal, 11-13 de Setembro de 1995. Editado por: Vasco Peixoto de Freitas e Vítor Abrantes.

(8) - Jâcome, C. e Martins, J. Identificação de tratamento de patologias em edifícios – série Reabilitação, 1ª edição/2005, acedido via internet no site: “<http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Reabilitacao/Identificacao%20e%20tratamento%20de%20patologias%20em%20edificios.pdf>” ;Pp 58 até pp 92, no dia 15 de Novembro de 2009.

(9) - Mendonça, L. Condensações em edifícios, publicado na revista, *Arquitectura e vida* nº 63, Setembro de 2005, acedido via internet no site: <http://www.spybuilding.com/downloads/CondensacoesEmEdificios.pdf>, no dia 17 de Novembro de 2008.

(10) – MRA instrumentação, acedido pelo site: http://www.mra.pt/ALAVA/prod_Termo grafia_sec0300_niv2.html, no dia 12 de Abril de 2009.

CAPITULO 4

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4. Metodologia.

Na componente laboratorial deste trabalho é de salientar que o fabrico das placas de onde se retiraram os provetes, para posterior análise das suas propriedades, foi bastante artesanal, justificado pela falta de condições laboratoriais para este tipo de trabalhos.

4.1. Caracterização dos materiais

4.1.1. Resina ^(11, 13)

A resina escolhida para realização deste trabalho foi a PLEXIGLAS[®] 8N, nome pelo qual é comercializada. Dentro da gama PLEXIGLAS[®] existem outras gamas, 6N, 7N e 8N, e derivantes destas, existem também as versões “H” e a “M”. Foi escolhida a 8N por possuir melhores propriedades mecânicas e térmicas. É uma resina termoplástica, rígida e transparente sendo a sua composição baseada em polimetacrilato de metilo (PMMA), totalmente reciclável, física e quimicamente. É muito utilizada na indústria de iluminação e automóvel, sendo fabricada por injeção/ moldação, injeção sopro e extrusão, permitindo uma elevada transmissão da luz, cerca de 93%.

Tem também como propriedades uma elevada resistência às agressões ambientais e ao envelhecimento, a nível mecânico esta resina atinge altas resistências, dureza superficial, resistência a abrasão e as acções meteorológicas.

Comercializada na forma sólida, em grãos transparentes, (Fotografia 4.1), incolores e inodoros, o seu processamento pode ser por intermédio da temperatura ou por dissolução num solvente. A temperatura de fusão varia entre 220°C e 250°C, amolece aproximadamente a 108°C e para temperaturas superiores a 400°C entra em ignição. Para aplicações no estado líquido, pode dissolver-se em ésteres, cetonas, e hidrocarbonetos clorados.



Fotografia 4.1 - Resina PLEXIGLAS® 8N
(Carvalho, B. 2009).

4.1.2. Solvente ⁽¹²⁾

Um solvente é um produto que permite a passagem de outra matéria, designada por soluto, para o seu meio, designando-se por dissolução o processo de misturar o soluto e o solvente.

O solvente mais usual é a água, utilizamo-la no quotidiano para dissolver, por exemplo, o açúcar e o sal. A maioria dos solventes usados na indústria evaporam-se e inflamam-se facilmente, daí a necessidade de ter alguns cuidados no seu manuseamento.

Neste estudo o solvente escolhido foi a acetona, um dos recomendados pelo fabricante da resina escolhida, embora existam solventes mais rápidos como o tuluol e o xilol. Estes não foram utilizados por serem mais poluentes e mais tóxicos. A acetona é uma substância orgânica líquida, volátil e inflamável, o seu uso é bastante frequente como solvente na indústria da construção civil sendo usado como solvente e como produto de limpeza de colas e óleos, por exemplo, sendo portando de fácil obtenção no mercado.

Quimicamente é conhecida como propanona ou dimetilcetona e tem como fórmula química $\text{CH}_3 (\text{CO}) \text{CH}_3$.

4.1.3. Diluente ⁽¹²⁾

É função do diluente diluir, isto é, reduzir a viscosidade de um material tornando-o mais trabalhável e menos viscoso. É também muito usado na indústria da

construção civil, mais propriamente na fase de acabamentos, como em vernizes ou tintas, e tem como objectivo aumentar a fluidez do verniz e a penetração em superfícies mais porosas.

Deve evaporar-se totalmente e de uma forma uniforme, não deve alterar os materiais quimicamente, deve ser completamente misturável com os outros ingredientes que se usam e em qualquer proporção e os seus vapores não devem ser nocivos para a saúde, sendo que o odor deve desaparecer totalmente.

Neste trabalho foi utilizado um diluente sintético, por não ser tão nocivo quando comparado com o diluente celuloso.

4.1.4. Inerte ⁽¹⁴⁾

O inerte utilizado na mistura é o denominado, comercialmente, pó de pedra, sendo basicamente constituído por resíduos de pedreira.

Para um maior controlo dimensional e conhecimento do produto final foi feita uma peneiração e separação das diferentes granulometrias. Foram usadas quatro granulometrias diferentes, Fotografia 4.2, todas abaixo de 4 milímetros: os grãos de maior dimensão têm entre dois e quatro milímetros (grão 4), outra com dimensões entre 1 e 2 milímetros (grão 3), outra entre 0.5 e 1 milímetros (grão 2), por último com dimensão inferior a 0.5 milímetros (grão 1).



Fotografia 4.2 - Inertes usados
(Carvalho; B. 2009)

Esta última amostra foi de novo peneirada para uma melhor classificação, foi então retirada uma amostra de duzentas gramas e peneirada com os peneiros 0,25; 0,125 e 0,063 milímetros, Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Composição do inerte de menor granulometria (grão 1)
(Carvalho, B. 2009).

Massa seca total: M_1 (g) 200,0

Peneiro (mm)	Material retido			
	R_i (g)	Acumulado (g)	Acumulado (%)	Passado Acumulado (%)
0,5	0,0	0,0	0	100,0
0,25	60,1	60,1	30	70,0
0,125	64,24	124,3	62	37,8
0,063	60,75	185,1	93	7,5
Fundo: P	13,95	199,0	100	0,5
Total	199,04 g			

No Gráfico 4.1 está representada a curva granulométrica que define o inerte, segundo a dimensão dos seus constituintes.

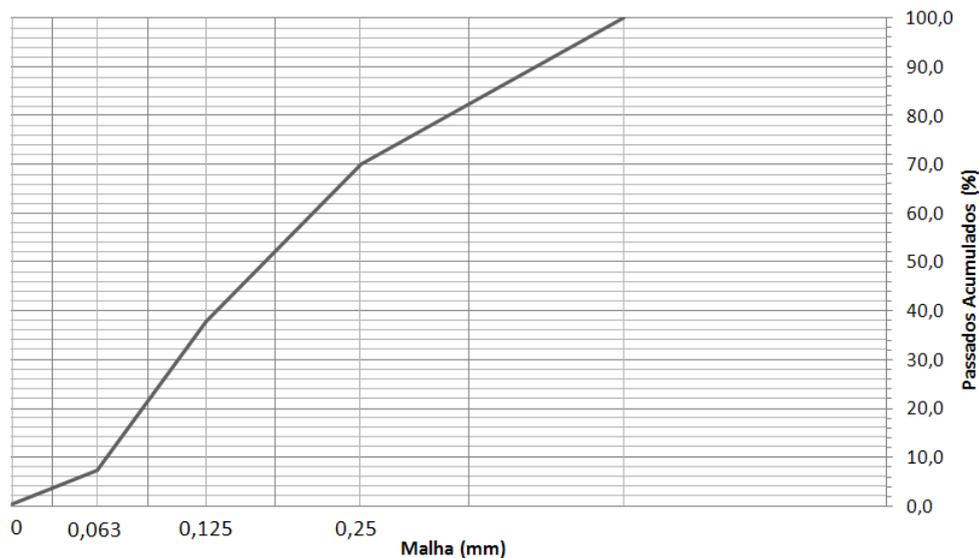


Gráfico 4. 1 - Curva granulométrica do inerte de menor dimensão
(Carvalho, B. 2009).

Na Tabela 4.2 está representada a composição química dos inertes usados neste trabalho.

Tabela 4.2 – Composição dos inertes (Carvalho, B. 2009).

Elementos (%)	Grão 1	Grão 2	Grão 3	Grão 4
Na ₂ O	2.79	1.94	2.43	2.67
MgO	1.42	1.07	1.26	0.84
Al ₂ O ₃	17.56	17.55	17.46	17.73
SiO ₂	65.65	68.22	67.54	67.20
Cl ₂ O	0.06	0.09	0.07	0.09
K ₂ O	5.95	6.79	5.22	5.76
CaO	1.40	0.63	0.91	1.30
TiO ₂	0.72	0.61	0.55	0.84
Fe ₂ O ₂	4.44	3.10	4.56	3.57

Como seria de esperar, a composição dos grãos é muito semelhante.

4.2. Processamento do material

4.2.1. Descrição do ligante ⁽¹³⁾

Ligante, como o próprio nome indica, é o elemento que tem como função ligar todas as partículas que compõem a mistura. Neste trabalho o ligante escolhido foi a resina PLEXIGLAS[®] 8N. Esta resina comercial foi obtida no mercado e apresenta-se no estado sólido. O método de obtenção de peças e placas com base nesta resina, vulgarmente conhecidas por acrílicos, é através de pressão e temperatura ou por dissolução.

Optou-se pelo método da dissolução em acetona, uma vez não existirem meios que permitissem trabalhar em simultâneo com temperatura e pressão. Foi testado inicialmente, a dissolução da resina em grão, tal como comercializada, mas o processo demonstrou-se lento e incapaz de, com pouca acetona, dissolver a totalidade da resina. Decidiu-se então, diminuir a granulometria da resina aumentando-se assim a velocidade

de dissolução e diminuindo ao mesmo tempo a quantidade de acetona, e tornando possível, numa primeira fase, trabalhar a resina a frio. Para diminuição da granulometria a resina foi moída num moinho, Fotografia 4.3 a), devidamente limpo para evitar contaminação da resina e após obtido uma grão inferior a 1 mm, foi então diluída, em acetona. Numa primeira fase a resina foi dissolvida numa pequena quantidade de acetona, numa proporção de uma 1 de acetona para 1,5 de resina e homogeneizada num agitador magnético, Fotografia 4.3 b). Numa segunda fase foi adicionado diluente com o objectivo de tornar o ligante mais fluido e, assim, completar a mistura. A quantidade de diluente misturado aumentou com a diminuição da granulometria do inerte.



a)

b)

Fotografia 4. 3 - a) Moinho b) Agitador magnético

(Carvalho, B. 2009).

4.2.2. Composição da argamassa ⁽¹³⁾

A argamassa é constituída pela mistura da resina no estado líquido com os inertes foi feita manualmente com recurso a espátula, tendo sido pesados em primeiro lugar os inertes e logo de seguida a resina líquida. De salientar que todos os provetes foram feitos da mesma forma e em condições de temperatura ambiente idênticas.

Material do tipo 1:

Inerte:

- 300g de pó de pedra, passados no peneiro 0,5 mm.

Resina líquida:

- 176g de pó de resina.
- 117,3g de acetona.
- 30g de diluente.

Mistura:

- 300g de inerte.
- 180g de resina líquida.

Material do tipo 2:

Inerte:

- 150g de pó de pedra, passados no peneiro 0,5 mm.
- 150g de pó de pedra, passados no peneiro 1 mm.

Resina líquida:

- 170g de pó de resina.
- 113,3g de acetona.
- 25g de diluente.

Mistura:

- 300g inerte.
- 180g de resina líquida.

Material do tipo 3:

Inerte:

- 100g de pó de pedra, passados no peneiro 0,5 mm.
- 100g de pó de pedra passados no peneiro 1 mm.
- 100g de pó de pedra, passados no peneiro 2 mm.

Resina líquida:

- 170g de pó de resina.

- 113,3g de acetona.
- 20g de diluente.

Mistura:

- 300g inerte.
- 180g de resina líquida.

Material do tipo 4:

Inerte:

- 75g de pó de pedra, passados no peneiro 0,5 mm.
- 75g de pó de pedra, passados no peneiro 1 mm.
- 75g de pó de pedra, passados no peneiro 2 mm.
- 75g de pó de pedra, passados no peneiro 4 mm.

Resina líquida:

- 170g de pó de resina.
- 113,3g de acetona.
- 15g de diluente.

Mistura:

- 300g inerte.
- 180g de resina líquida.

4.3. Técnica de moldagem e materiais utilizados ⁽¹³⁾

Nesta secção descrevem-se os vários métodos de moldagem experimentados, assim como as várias formas de endurecimento das placas até encontrar a técnica mais eficaz.

Foram testadas várias técnicas e que se descrevem de seguida.

- 1- Molde cilíndrico em plástico e pressão exercida por um grampo de aperto. Revelou-se ineficaz por dificultar a evaporação do solvente e criar muitos vazios. Resultados idênticos à temperatura ambiente e a 50°C.

- 2- Molde rectangular em madeira e pressão exercida por colocação de um peso, 9kg, à temperatura ambiente e a 90°C. Solução também ineficaz por dificultar a evaporação do solvente. Impossível aumentar à temperatura por limitações do molde.

- 3- Molde metálico rectangular e acção simultânea de pressão e temperatura. Pressão de 0,03 MPa e temperatura máxima de 250 °C. O molde, 16 x 14 cm, com a argamassa, foi colocado na estufa durante 15 minutos, até à evaporação completa do solvente. De seguida o peso foi colocado sobre o molde dentro da estufa durante 1 hora. Finalmente o conjunto molde/ peso foi retirado da estufa e arrefecido lentamente até à temperatura ambiente.
Esta técnica revelou-se eficaz produzindo placas com poucas porosidades e bastante homogéneas

4.4. Referências bibliográficas.

(11) - Ficha técnica da resina PLEXIGLAS® 8N;

(12) - Wikipédia, acedido no site:”http://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1gina_principal” no dia 15 de Abril de 2009;

(13) - Tese de doutoramento, predebón, I. “Posibilidades plásticas del polímero acrílico paraloid B-72 utilizado como aglutinante pictórico”, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Bellas Artes, Departamento de Pintura, Madrid 2005”.

(14) - NP EN 933 2000 - “ Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - parte 1 - Método de peneiração

CAPITULO 5

ESTUDO EXPERIMENTAL

5. Análises e ensaios laboratoriais para determinação das propriedades da pedra termomoldável.

5.1. Análise microscópica e química das cargas e dos compósitos

5.1.1. Objectivo

É objectivo deste parágrafo fazer a caracterização química e microestrutural do material.

5.1.2. Referência

Este estudo foi efectuado na Unidade de Microscopia Electrónica da UTAD.

5.1.3. Definição

Este estudo é baseado na condutibilidade dos materiais, efectuado sob pressão e tensão o que permite uma melhor análise de composição química sobre os constituintes de cada amostra e a captação de fotografias microscópicas.

5.1.4. Equipamento

Suportes de alumínio;
Fita-cola de carbono;
Microscópio electrónico.

5.1.5. Provetes

Foram usadas pequenas amostras das placas de forma aproximadamente quadrada, com cerca de 0,5 cm de lado e com a face que serviu para análise, polida.

5.1.6. Procedimento

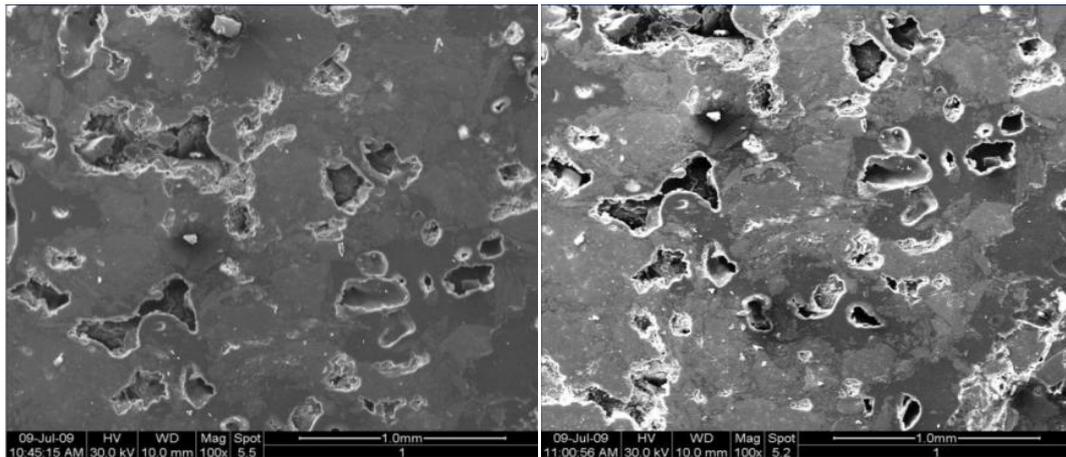
O estudo foi efectuado no microscópio electrónico de varrimento (Scanning Electron Microscopy, SEM/ESEM FEI QUANTA - 400) por difracção de raios X, da Unidade de Microscopia Electrónica da UTAD.

Foram preparadas amostras das placas, de reduzida dimensão e com a face em análise polida e colocadas posteriormente em suportes de alumínio e fixos com fita-cola de carbono. De seguida, e através do método de “sputtering”, por deposição de ouro/paládio, tornaram-se as amostras condutoras. A análise foi feita em modo Alto Vácuo, com uma pressão parcial no interior da câmara de 1,33 mbar e uma tensão de aceleração de 30KV.

Obteve-se uma imagem geral de cada amostra, com ampliação de 100x e efectuou-se a análise da composição química por EDS (Energy Dispersive Spectroscopy), sendo igual para todas as amostras. O tempo de aquisição e a área onde os espectros foram adquiridos foram iguais para todas as amostras.

5.1.7. Resultados

Para cada tipo de provete foram obtidas duas fotografias com a mesma resolução, mas em zonas diferentes onde se podem ver e identificar os espaços vazios, inertes e ligante. Nos Gráficos 5.1.1 a 5.1.4 e nas fotografias 5.1.1 a 5.1.4 estão representados os espectros dos quatro tipos de materiais em estudo.



Fotografias 5.1.1 - Amostra do tipo 1 (100x)
(UME, UTAD).

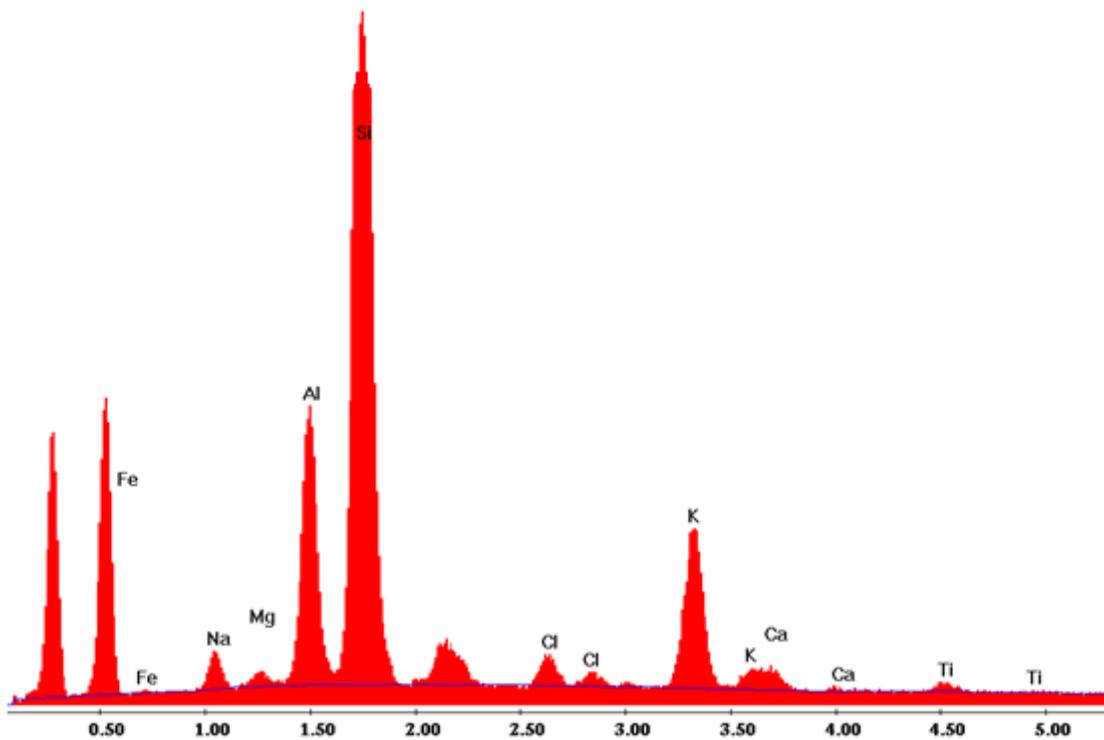
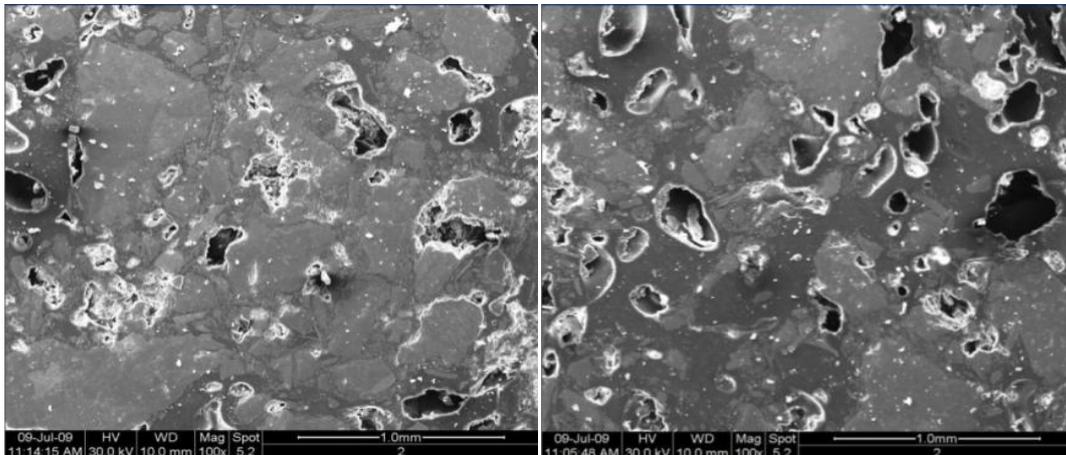


Gráfico 5.1.1. Análise qualitativa dos constituintes da amostra do tipo 1
(UME, UTAD).



Fotografia 5.1.2. Amostra do tipo 2 (100x)
(UME, UTAD).

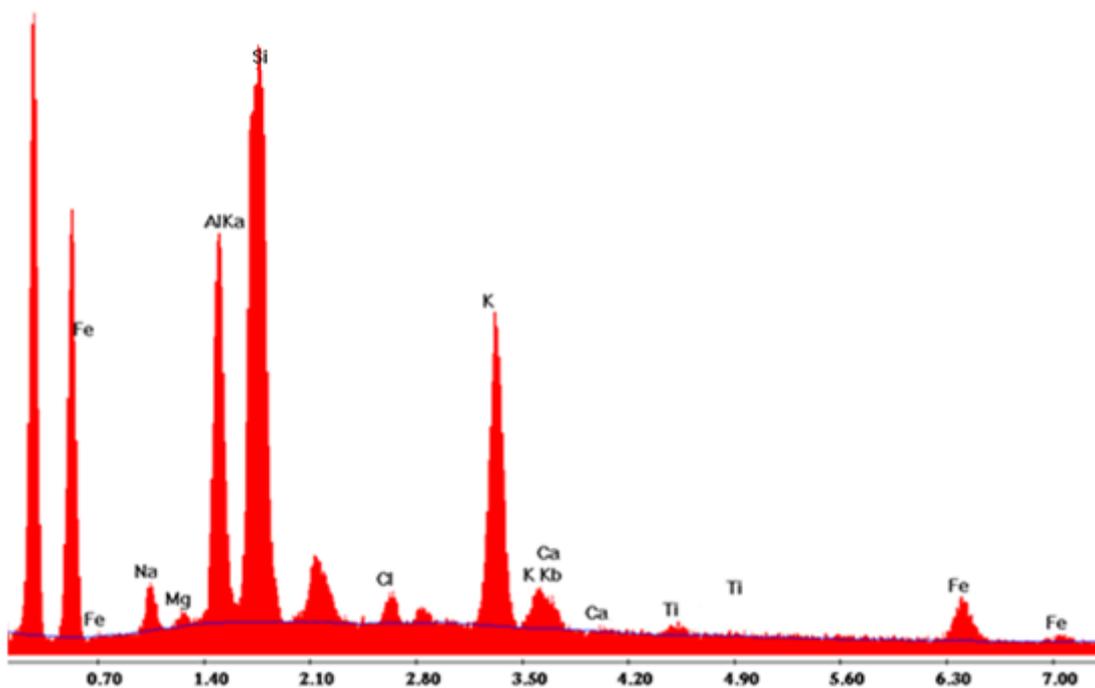
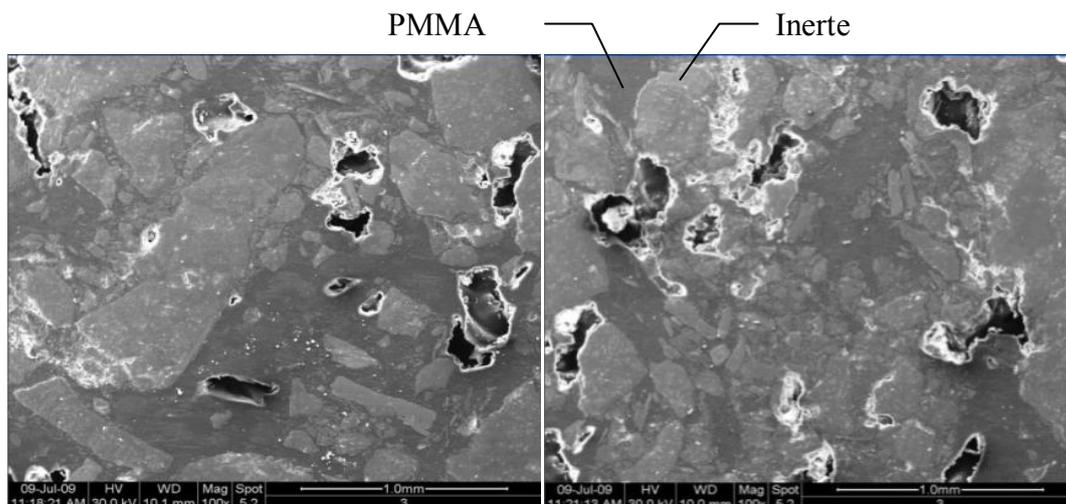


Gráfico 5.1.2 - Análise qualitativa dos constituintes da amostra do tipo 2
(UME, UTAD).



Fotografia 5.1.3 - Amostra do tipo 3 (100x)
(UME, UTAD).

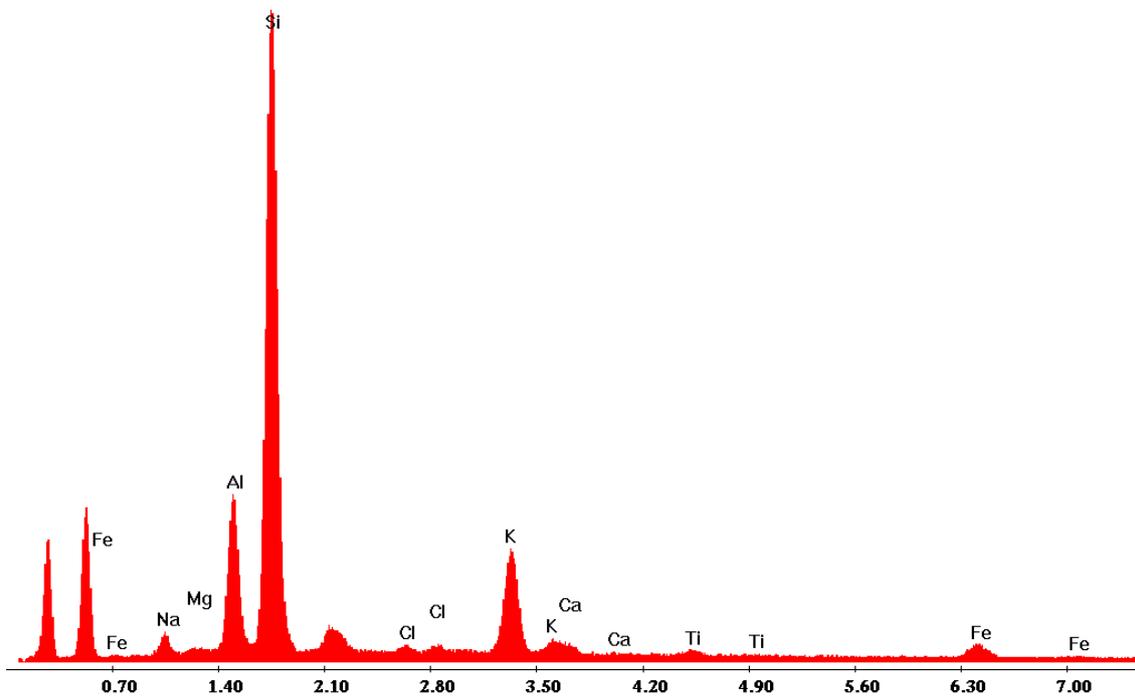
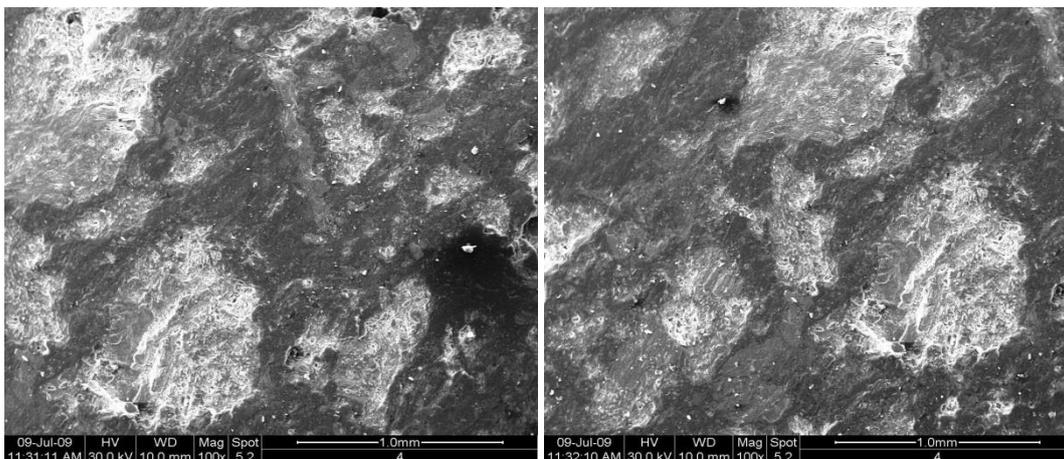


Gráfico 5.1.3 - Análise qualitativa dos constituintes da amostra do tipo 3
(UME, UTAD).



Fotografia 5.1.4 - Amostra do tipo 4 (100x)
(UME, UTAD).

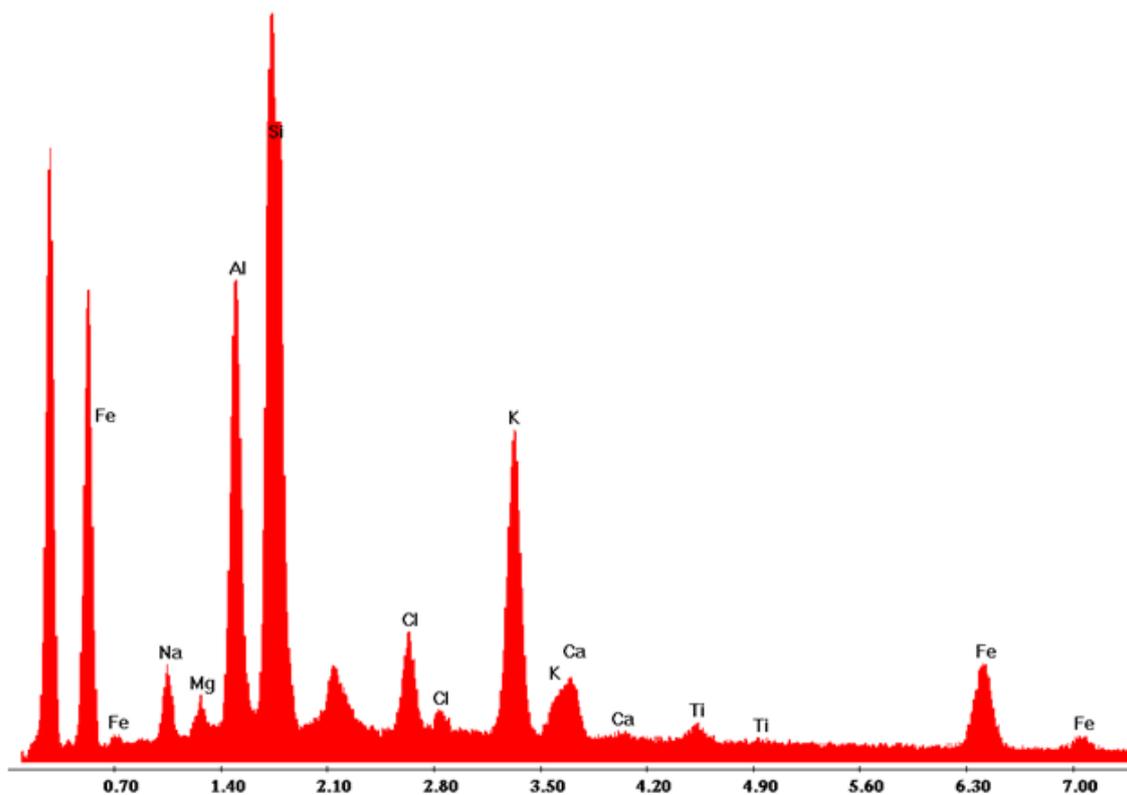


Gráfico 5.1.4 - Análise qualitativa dos constituintes da amostra do tipo 4
(UME, UTAD).

Na Tabela 5.1.1 apresenta-se a composição química de cada material

Tabela 5.1.1 - Composição química dos materiais (UME, UTAD).

Elementos (%)	Material			
	1	2	3	4
Na ₂ O	2.65	2.62	2.63	3.39
MgO	0.98	0.69	0.79	1.53
Al ₂ O ₃	14.02	15.42	13.86	16.31
SiO ₂	70.32	67.46	72.88	61.56
Cl ₂ O	1.19	0.93	0.53	2.44
K ₂ O	5.91	8.74	5.86	7.46
CaO	0.8	0.83	0.91	1.69
TiO ₂	0.65	0.57	0.41	0.71
Fe ₂ O ₂	3.49	2.74	2.12	4.91

Pode verificar-se que a composição química dos vários tipos de materiais não apresenta variações significativas entre si. É de sublinhar, contudo, que o material 4 apresenta um teor de SiO₂ bastante inferior quando comparado com o material 3.

5.2. Determinação da resistência ao desgaste físico

5.2.1. Objectivo

A resistência ao desgaste físico caracteriza-se pela capacidade que um material tem em resistir a uma acção física mais agressiva. Este ensaio consiste em sujeitar uma amostra do material a uma acção física de desgaste e assim retirar conclusões quanto à resistência deste a ambientes físicos mais agressivos.

5.2.2. Referência

Os ensaios de desgaste basearam-se nas normas ASTM C 779/C 779M-00 e ASTM C 944-99.

5.2.3. Definição

A resistência ao desgaste físico é quantificada pela diminuição percentual da massa do provete, após a sujeição deste à abrasão mecânica.

5.2.4. Equipamento

Foi utilizado para realização destes ensaios o seguinte equipamento:

Balança de alta precisão;

Máquina de polimento de amostras com controlo de força constante e de tempo de abrasão;

Lixa de granulometria P220.

5.2.5. Provetes

Os provetes têm a forma prismática com dimensões nominais de 5,5 x 5,5 x 1.1 cm



Fotografia 5.2.1 - Exemplo de provete utilizado neste ensaio
(Carvalho, B. 2009).

5.2.6. Procedimento

Para fixação dos provetes na máquina foi necessário efectuar três furos de 6mm de diâmetro, como se observa na Fotografia 5.2.1 As características da máquina de polimento, não eram as mais adequadas para os ensaios em causa, mas era a máquina disponível, não respeitando, de todo, as características indicadas nas normas que serviram de referência. O elemento abrasivo foi uma lixa circular de granulometria P220 e foi colocada na mesa circular da máquina. O provete foi colocado na cabeça da máquina tendo, também, um movimento giratório em sentido oposto ao da mesa. Foi aplicada uma força constante de 30 N exercida, por um sistema pneumático, pela cabeça. Tanto a mesa com a cabeça rodavam a 300 rpm.

Após a leitura da massa inicial dos provetes, estes foram desgastados na máquina de polimento por períodos de 1, 3, 6, 9, 12 e 42 minutos. Após cada um dos períodos de desgaste, os provetes foram limpos com ar comprimido e foi a medida a sua massa actual.

5.2.7. Resultados

Os resultados finais estão expressos em percentagem de massa perdida durante o ensaio e estão apresentados na Tabela 5.2.1. No Gráfico 5.2.1 estão representadas as curvas de massa perdida percentual em função do tempo, para os três materiais.

Tabela 5.2.1 - Ensaio de desgaste por abrasão. Massas dos provetes durante os períodos de ensaio (Carvalho, B. 2009).

Provete 1		Provete 2		Provete 3		Provete 4	
Tempo (min.)	Massa (g)	Tempo (min.)	Massa (g)	Tempo (min)	Massa (g)	Tempo (min)	Massa (g)
0	56.97	0	52.58	0	59.79	0	54.9
1	56.64	1	52.23	1	59.6	1	54.84
3	56.57	3	52.01	3	59.54	3	54.8
6	56.54	6	51.96	6	59.54	6	54.77
9	56.42	9	51.92	9	59.49	9	54.74
12	56.35	12	51.84	12	59.47	12	54.71
42	56.19	42	51.75	42	59.21	42	54.62

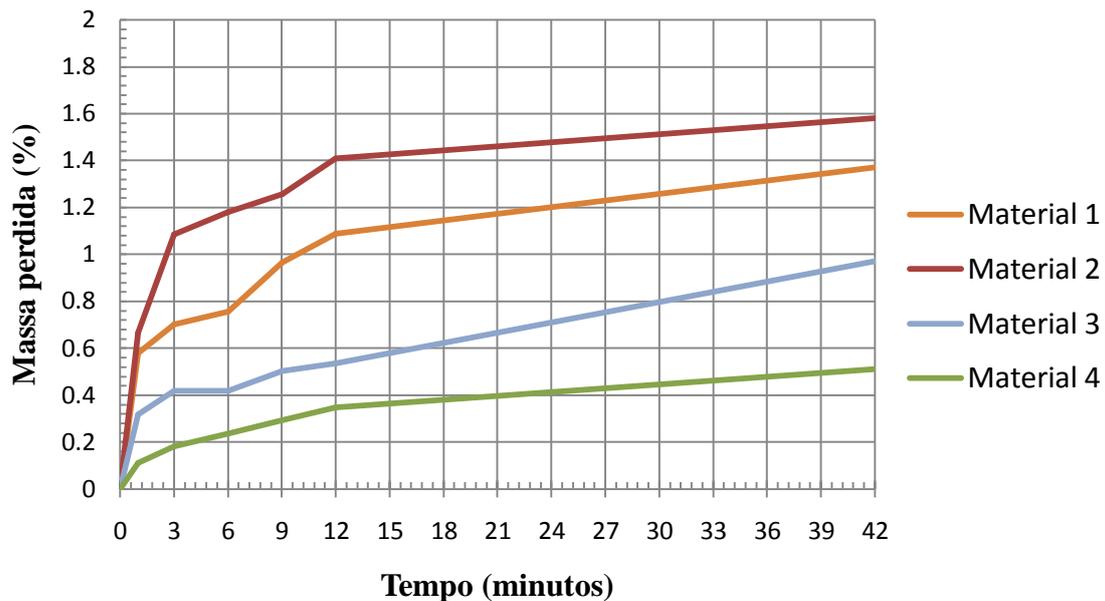


Gráfico 5.2.1 - Curvas da massa perdida em função do tempo de desgaste para os quatro tipos de material (Carvalho, B. 2009).

Pode verificar-se que o desgaste é mais rápido no primeiro minuto de ensaio sendo mais elevado nos materiais 1 e 2 correspondendo aos agregados com menor granulometria. O desgaste tende para uma estabilização após cerca de 12 minutos em todas as amostras. Pode, assim, concluir-se que quanto maior a granulometria maior será a resistência do material ao desgaste físico.

5.3. Ensaio de absorção de água

5.3.1. Objectivo

A absorção de água caracteriza-se pela quantidade de água que um certo material consegue reter no seu interior. Para a sua caracterização recorre-se a um ensaio que consiste na imersão de um provete num meio líquido e, conhecendo as massas, inicial, após duas horas e final obtém-se o aumento percentual de massa na amostra.

5.3.2. Referência

Na ausência de normas adequadas a este tipo de materiais, recorreu-se a uma norma ASTM aplicável a materiais plásticos, ASTM, D 570 – 98, já que a matriz do agregado em estudo era de natureza polimérica.

5.3.3. Definição

A absorção de água por imersão consiste no relacionamento das massas, seca e molhada do provete.

5.3.4. Equipamento

Foi utilizado para a realização deste ensaio o seguinte equipamento:

Estufa, regulada para uma temperatura de 50° C;

Balança de precisão;

Água destilada;

Recipiente plástico para colocação do provete imerso;

Cronómetro.

5.3.5. Provetes

Os provetes têm a forma prismática com dimensões nominais de 2,5 x 7,5 x 1.1 cm.

5.3.6. Procedimento

O provete é colocado 24 horas numa estufa a 50° C para que fique com massa constante completamente seca. Posteriormente, é imerso em água destilada durante 2 horas, retirada e anotada a sua massa. De seguida, é novamente colocada no banho de imersão durante mais 24 horas e 48 horas sendo novamente pesada após cada período de imersão. A cada pesagem a superfície do provete é limpa com um pano seco para eliminar a água superficial.

5.3.7. Resultados

Os resultados finais estão expressos em massa total para os diferentes tempos de imersão e estão representados na Tabela 5.3.1 e em percentagem de água absorvida, no Gráfico 5.3.1.

Tabela 5.3.1 - Ensaio de absorção. Massas das amostras por tempo de imersão (Carvalho, B. 2009).

Material	Massas			
	1	2	3	4
Seco (g)	30.07	30.73	27.41	27.49
Após 2h de imersão (g)	30.11	30.78	27.45	27.56
Após 26h de imersão (g)	30.21	30.9	27.56	27.66
Após 92h de imersão (g)	30.34	31.01	27.67	27.78
Saturado, 200h (g)	30.37	31.02	27.68	27.81

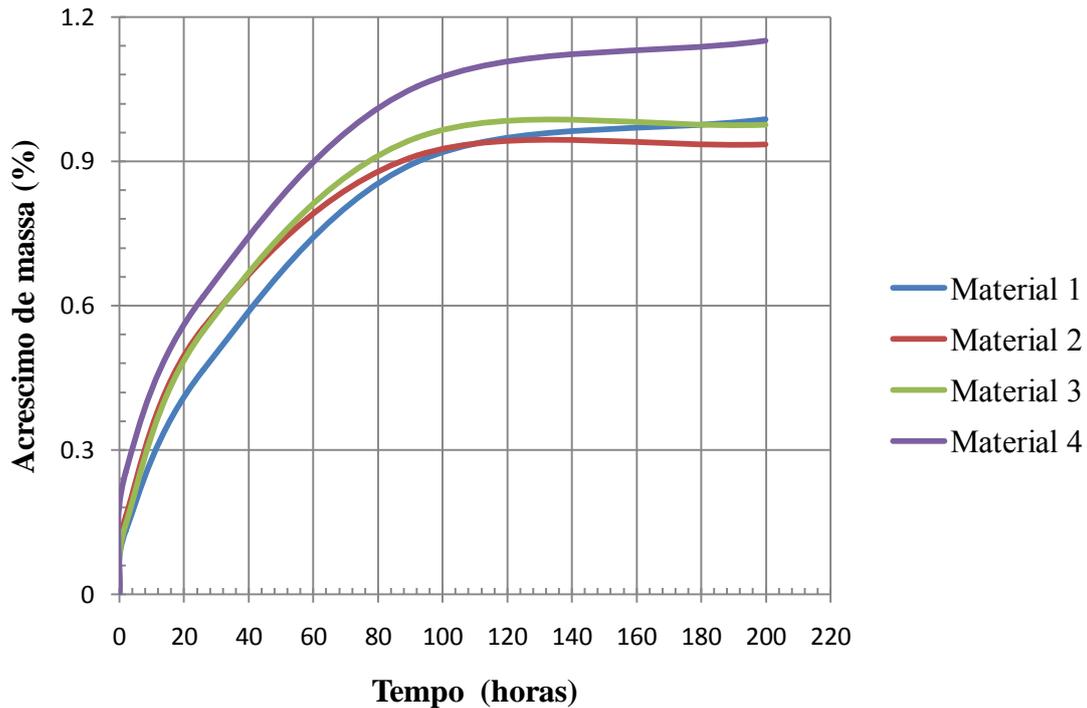


Gráfico 5.3.1 - Ensaio de absorção. Variação do aumento de massa em função do tempo de imersão (Carvalho, B. 2009).

A análise deste gráfico permite concluir que a absorção de água se processa rapidamente nas primeiras horas de imersão estabilizando a taxa de absorção aproximadamente após 100 horas de imersão. Como se previa, os materiais tiveram comportamentos diferentes em função da granulometria e como consequência do teor de vazios. As amostras dos materiais 1, 2 e 3 foram os que menos água absorveram, já que eram constituídos por inertes de menores dimensão e, portanto, tinham, em princípio menor teor de vazios. Têm um comportamento muito semelhante, embora diferenciado em função da granulometria dos inertes. O material 4, o de maior granulometria é também o que absorve maior quantidade de água. Podemos assim concluir que quanto menor for a granulometria dos inertes, menor será a quantidade de água absorvida pelo material. Comparativamente com outros materiais, como calcários sedimentares, o Vidraço de Molianos ou o Moca Creme, que absorvem na ordem dos 1,7% e 2.3% respectivamente, este material consegue ter um bom comportamento no que diz respeito à absorção de água.

5.4. Massa volúmica

5.4.1. Objectivo

A massa volúmica mede o grau de concentração de massa num determinado volume.

5.4.2. Referência

Serviu como referência a norma portuguesa NP EN 1097 – 6.

5.4.3. Definição

Foi encontrada a massa volúmica dos materiais por pesagem das massas, seca e saturada ao ar e pesagem hidrostática.

5.4.4. Equipamento

Estufa;
Balança de precisão;
Recipiente plástico para pesagens hidrostáticas;
Água;
Cronómetro.

5.4.5. Provetes

Os provetes têm a forma paralelepípedica com as dimensões nominais de 2,5 x 7,5 x 1.1 cm.

5.4.6. Procedimento

Para o cálculo da massa volúmica, foram também utilizados 4 provetes, um para cada tipo de agregado. Os provetes foram condicionados numa estufa à temperatura de

50°C até estarem completamente secos, isentos de qualquer impureza e até se obter massa constante. De seguida, foram anotadas as suas massas, secas e saturadas ao ar com a superfície seca, por último foi efectuada uma pesagem hidrostática para cada tipo de provete.

5.4.7. Resultados

Os resultados experimentais obtidos estão representados na Tabela 5.4.1 seguinte

Tabela 5.4.1 - Ensaio de massa volúmica. Massas das amostras por tempo de imersão
(Carvalho, B. 2009)

	M₁ (g)	M₂ (g)	M₃ (g)	M₄ (g)	Massa volúmica (kg/m³)
Amostra 1	30.34	671.10	659.5	30.07	1606.30
Amostra 2	31.01	671.83	659.5	30.73	1646.84
Amostra 3	27.67	671.32	659.5	27.41	1731.52
Amostra 4	27.78	670.79	659.5	27.49	1669.10

Onde:

M₁ é a massa da amostra saturada com a superfície seca;

M₂ a massa da amostra com cesto dentro de água;

M₃ a massa do cesto dentro de água;

M₄ a massa do provete seco.

Aplicando a seguinte formula encontramos o valor da massa volúmica γ para cada um dos materiais.

$$\gamma = \frac{M_4 * \rho_w}{M_1 - M_2 + M_3}$$

Nesta equação ρ_w representa a massa volúmica da água.

A massa volúmica é directamente influenciada pela quantidade de vazios existente no material.

5.5. Resistência aos produtos químicos

5.5.1. Objectivo

A utilização de um material em ambientes mais agressivos pode tornar instável o seu desempenho. É essencial que tenham características que lhe permitam resistir a condições mais desfavoráveis sob o ponto de vista ambiental.

5.5.2. Referência

Serviu como referência a norma ASTM D 543 – 95 de resistência de plásticos a reagentes químicos.

5.5.3. Definição

A resistência ao desgaste químico é encontrada através da quantidade de massa perdida pelo material quando sujeito à abrasão química.

5.5.4. Equipamento

Hidróxido de sódio (NaOH);

Água;

Recipiente plástico para colocação da solução.

5.5.5. Provetes

Os provetes têm a forma placas rectangulares com dimensões nominais 7,5 x 0,25 cm e 1 cm de espessura.

5.5.6. Procedimento

Foram colocados duas amostras de cada tipo de material imersas numa solução aquosa com 60 % de hidróxido de sódio durante 7 dias. Foram obtidas as suas massas iniciais e no fim daquele tempo será registada as perdas de massa por acção do hidróxido de sódio.

5.5.7. Resultados

Os resultados obtidos estão representados na Tabela 4.4.5 seguinte.

Tabela 4.4.5 - Ensaio de desgaste químico. Massas das amostras inicial e após colocação em imersão em hidróxido de sódio (Carvalho, B. 2009).

Material	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Massa perdida (%)	Média de massa perdida (%)
1	17.26	17.25	0.06	0.20
	26.05	25.96	0.35	
2	28.35	28.33	0.07	0.46
	24.47	24.26	0.86	
3	25.06	24.79	1.08	0.86
	23.37	23.22	0.64	
4	22.46	22.28	0.80	0.43
	17.85	17.84	0.06	
			Média final	0.49

A dispersão de resultados numa amostra tão pequena torna difícil comparar o comportamento entre si dos quatro tipos de material, no entanto globalmente podemos concluir que para este tipo de material o desgaste é relativamente pequeno para o tipo de reagente usado, com uma perda média de cerca de 0.5% em relação à sua massa inicial.

5.6. Resistência à flexão

5.6.1. Objectivo

A solicitação de flexão é, provavelmente a que melhor traduz a realidade relativamente às condições de funcionamento estrutural para a generalidade dos materiais e em particular para este tipo de material.

5.6.2. Referência

Estes ensaios foram baseados segundo a norma ASTM D 790 - 03 para plásticos.

5.6.3. Definição

Este ensaio tem por objectivo determinar a resistência de um material a um esforço de flexão. O provete é apoiado em dois apoios afastados, e é aplicada uma força na secção central. O ensaio é designado por flexão 3P.

5.6.4. Equipamento

Máquina de ensaio Instron 1125;

Parquímetro digital;

Micrómetro digital.

5.6.5. Provetes

Os provetes têm secção transversal rectangular com dimensões nominais 160 x 25 x 11 mm.

5.6.6. Procedimento

Foram ensaiados três provetes de cada tipo de material. Na Figura 5.6.1 está representada a geometria do ensaio e na fotografia 5.6.1 de um ensaio. A distância entre apoios é de 150 mm e o diâmetro dos cilindros de apoio e de aplicação da carga foi de 10 mm. O ensaio foi conduzido à velocidade de 3mm/min e até se atingir a ruptura do provete que, em geral ocorre na zona da secção central.

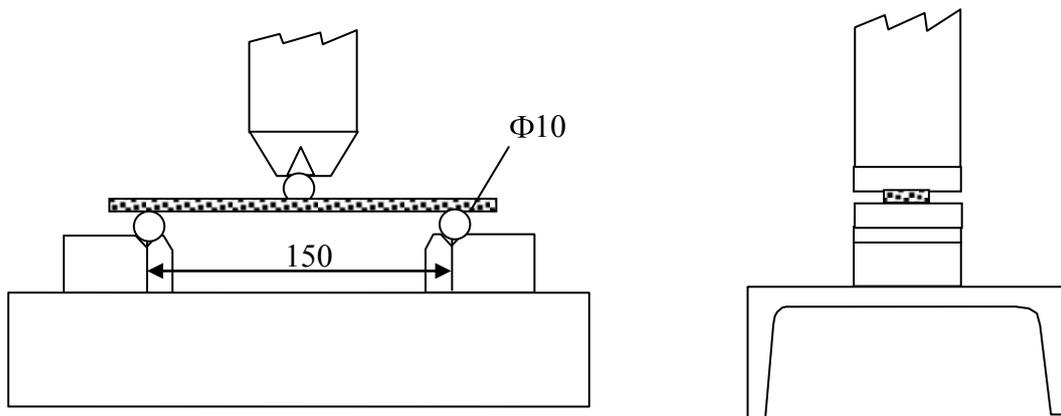


Figura. 5.6.1 - Geometria do ensaio de flexão 3P.

(Lima, A. M. V. 2005)



Fotografia 5.6.1 - Fotografia de um ensaio de flexão

(Carvalho, B. 2009)

5.6.7. Resultados

Nos gráficos 5.6.1 a 5.6.4 estão representadas as curvas tensão/deformação para os quatro tipos de material ensaiados.

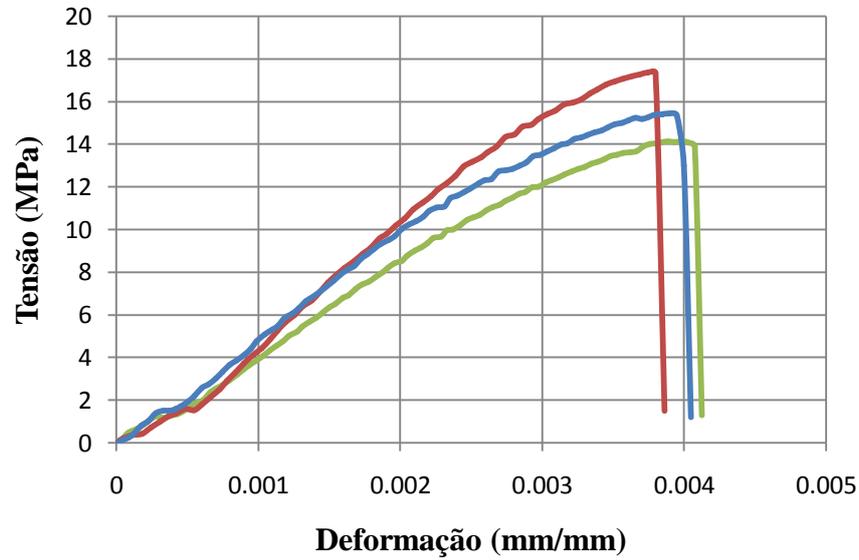


Gráfico 5.6.1 - Curvas tensão/deformação em flexão do material tipo 1
(Carvalho, B. 2009).

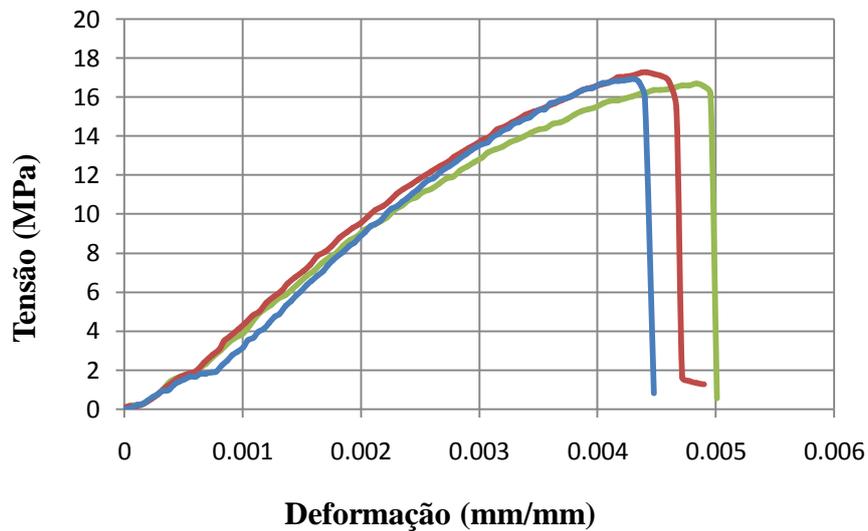


Gráfico 5.6.2 - Curvas tensão/deformação em flexão do material tipo 2
(Carvalho, B. 2009).

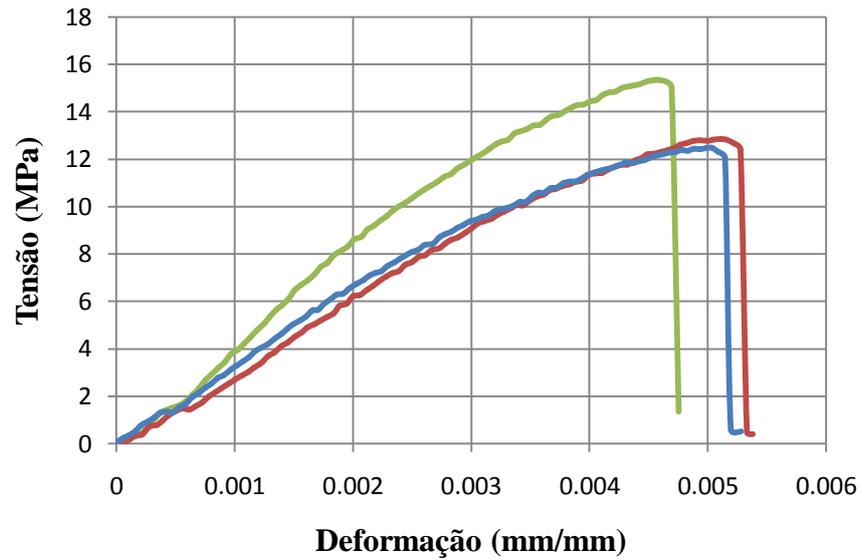


Gráfico 5.6.3 - Curvas tensão/deformação em flexão do material tipo 3
(Carvalho, B. 2009).

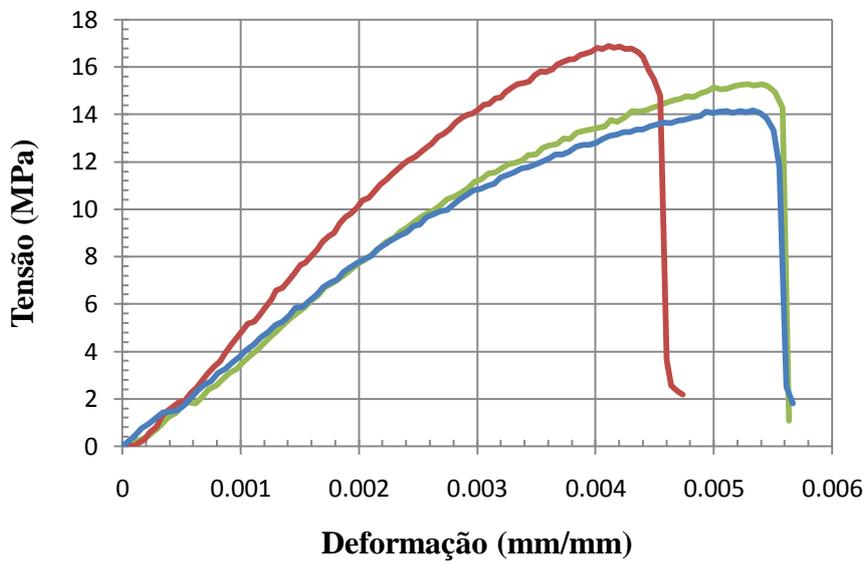


Gráfico 5.6.4 - Curvas tensão/deformação em flexão do material tipo 4
(Carvalho, B. 2009).

Na Tabela 5.6.1 seguinte estão apresentados os resultados obtidos para todos os tipos de materiais.

A tensão de ruptura corresponde à tensão máxima obtida no ensaio. O módulo de Young corresponde ao declive na zona linear elástica da curva tensão/deformação e foi obtida com um valor de $R^2=0.999$.

Tabela 5.6.1 - Resultados dos ensaios de flexão
(Carvalho, B. 2009).

Material	Dimensão (mm) (Espessura x largura)	Tensão de ruptura (MPa)	Deformação de ruptura (%)	Módulo de Young (MPa)
1	11.3 x 23.5	14.1	0.42	3411
	10.5 x 24	17.4	0.56	5928
	10.6 x 23	15.4	0.46	4098
Média		15.6	0.48	4479
2	10.12 x 24.5	16.7	0.59	4594
	10.3 x 25.1	17.3	0.55	4937
	10.24 x 25.1	16.9	0.43	5297
Média		17.0	0.52	4943
3	10.53 x 24.5	15.3	0.52	3659
	10.5 x 25	12.8	0.52	2647
	10.5 x 25	12.5	0.50	2140
Média		13.6	0.51	2815
4	95 x 25	15.3	0.54	5565
	73.3 x 25	16.9	0.41	5565
	99 x 24	14.2	0.53	5565
Média		15.4	0.50	5565

Da análise da Tabela podemos concluir que o material do tipo 3 é o que apresenta menor tensão de ruptura e menor módulo de Young, enquanto o material 2 é o que apresenta maior tensão de ruptura.

5.7. Resistência à tracção

5.7.1. Objectivo

Este tipo de ensaio é o mais universal para caracterização mecânica dos materiais, pelo facto do provete estar sujeito a um estado de tensão uniaxial e de ser mais simples a interpretação dos resultados.

5.7.2. Referência

O ensaio de flexão foi baseado na Norma NP EN 10 002 – 1.

5.7.3. Definição

O ensaio de tracção tem por objectivo obter as propriedades mecânicas dos materiais quando solicitados axialmente.

5.7.4. Equipamento

Máquina de ensaio Instron 880 servohidráulica, célula de carga de 100KN;

Parquímetro digital;

Micrómetro digital.

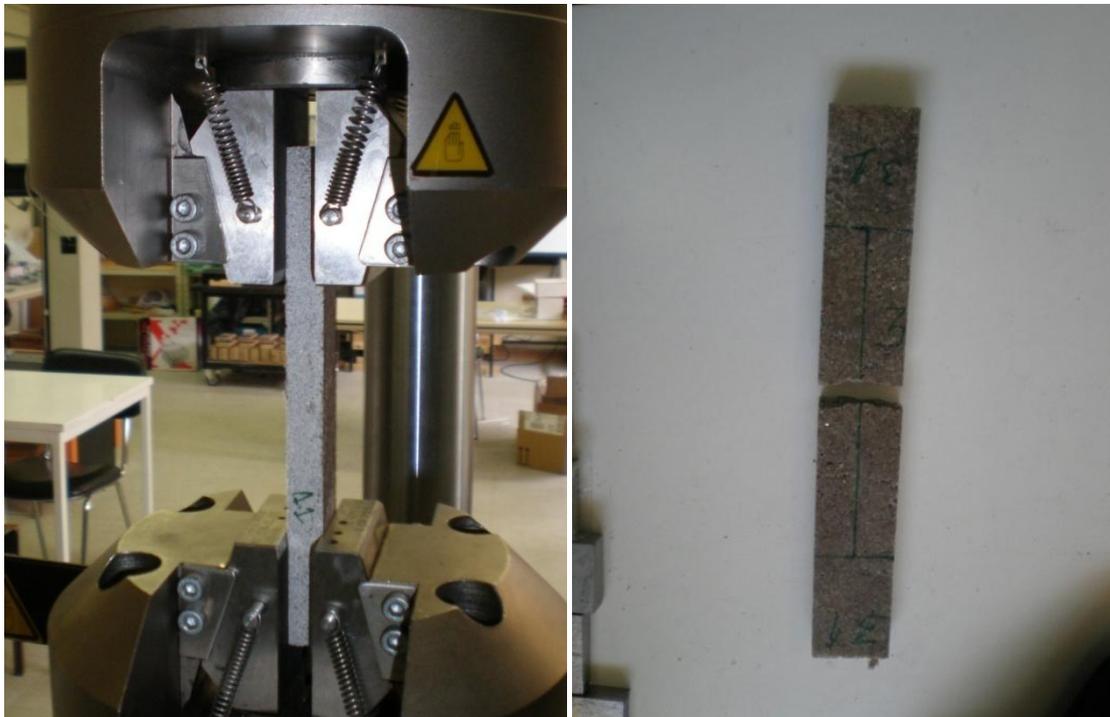
5.7.5. Provetes

Os provetes de secção rectangular têm como dimensões nominais 160 x 25 x 11 mm.

5.7.6. Procedimento

Foram ensaiados apenas três provetes de cada tipo de material. Os provetes são colocados na máquina de ensaio, e solicitados por tracção simples à velocidade de 0.03mm/segundo. Devido à forma dos provetes a sua ruptura ocorreu preferencialmente próximo das amarras, de modo que os resultados obtidos podem ser demasiados conservadores. As deformações foram obtidas através do deslocamento do travessão da máquina e com base num comprimento de referência de 80 mm.

Nas Fotografias 5.7.1 a) e b) estão representados um ensaio de tracção e um provete fracturado, respectivamente.



a)

b)

Fotografias 5.7.1 - a) Fotografia de um ensaio de tracção b) Provete fracturado

(Carvalho, B. 2009).

5.7.7. Resultados

Nos Gráficos 5.7.1 a 5.7.4 estão representadas as curvas tensão/deformação para os quatro tipos de material ensaiados.

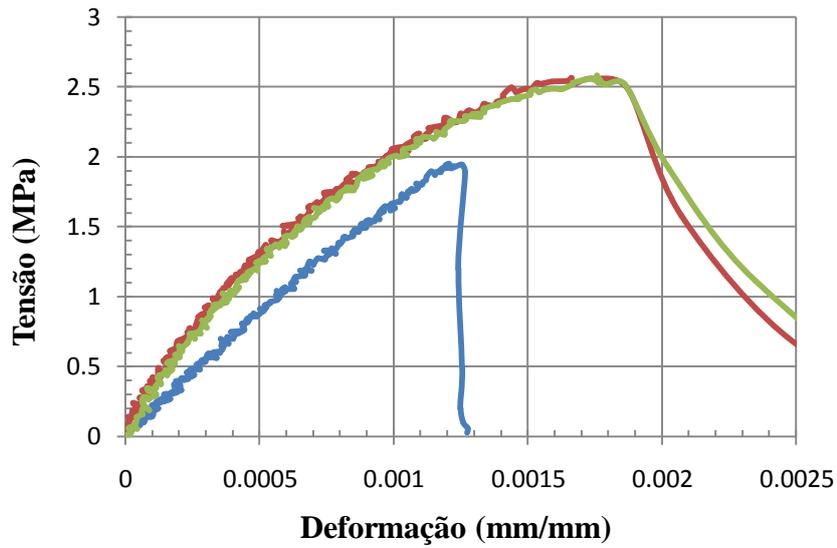


Gráfico 5.7.1 - Curvas tensão/deformação em tracção do material tipo 1
(Carvalho, B. 2009).

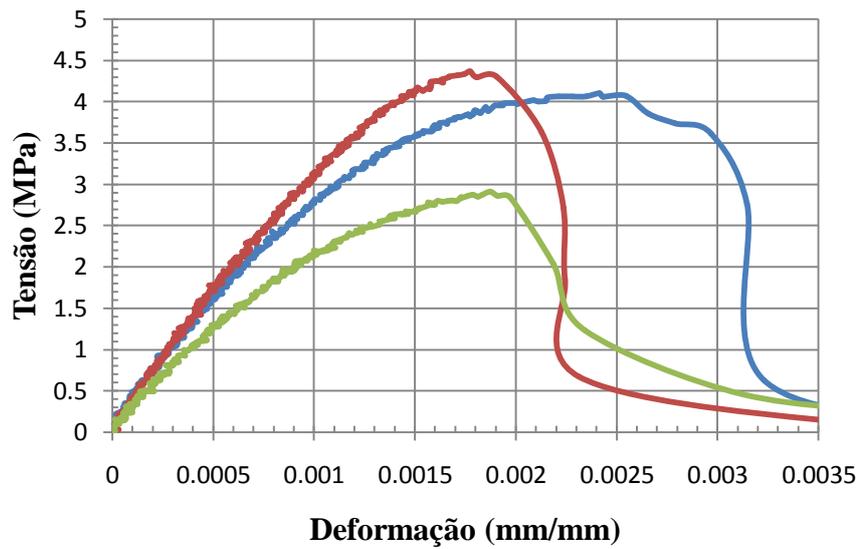


Gráfico 5.7.2 - Curvas tensão/deformação em tracção do material tipo 2
(Carvalho, B. 2009).

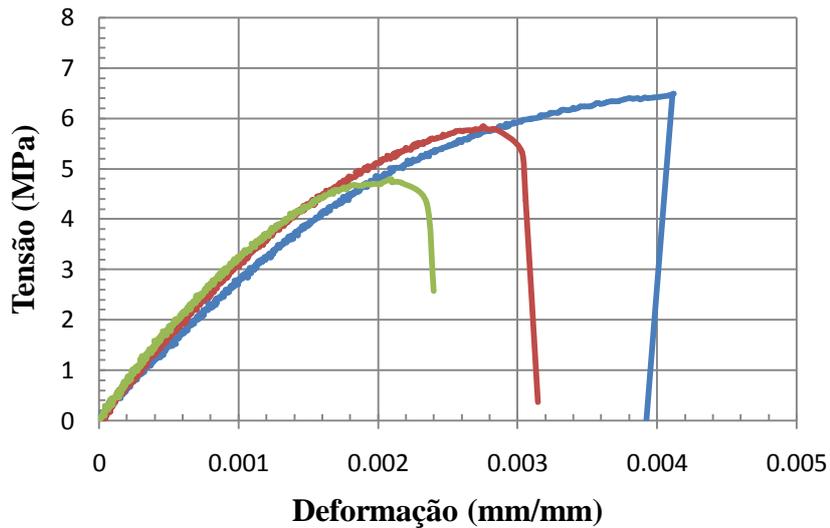


Gráfico 5.7.3 - Curvas tensão/deformação em tracção do material tipo 3
(Carvalho, B. 2009).

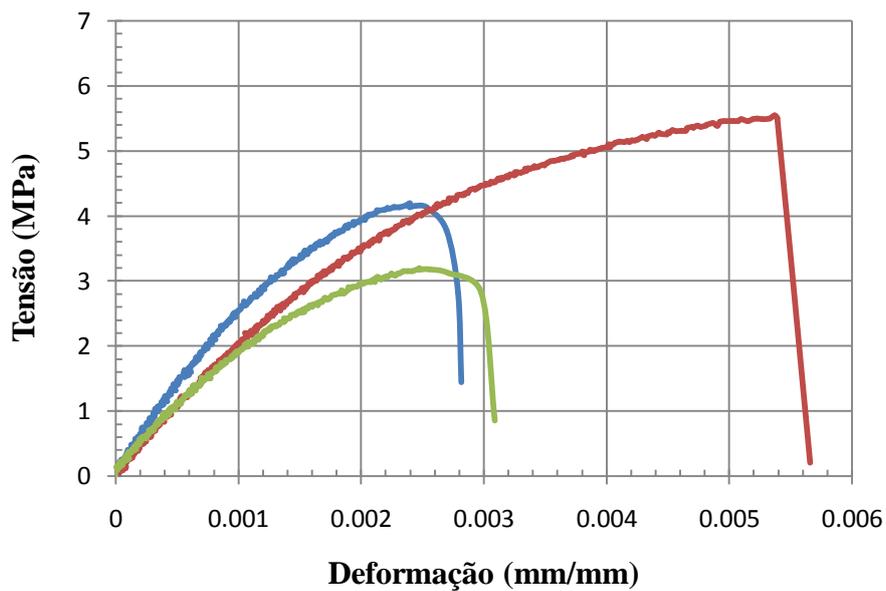


Gráfico 5.7.4 - Curvas tensão/deformação em tracção do material tipo 4
(Carvalho, B. 2009).

Na Tabela 5.7.1 estão apresentados os resultados para todos os tipos de materiais. O módulo de Young em tracção foi obtido do mesmo modo que em flexão através do declive da zona linear inicial da curva tensão/deformação.

Tabela 5.7.1 - Tabela de resultados dos ensaios de tracção
(Carvalho, B. 2009).

Material	Dimensões (mm)	Tensão de ruptura (MPa)	Deformação de ruptura (%)	Módulo de Young (MPa)
1	160 x 23.98 x 12.01	2.0	0.12	1684
	160 x 18.85 x 11.61	2.6	0.17	2555
	160 x 19,27x 12,29	2.6	0.18	2142
	Média	2.4	0.15	2127
2	160 x 21.30 x 11.72	4.1	0.24	2910
	160 x 21.50 x 11.32	4.4	0.18	3276
	160 x 22.38 x 11.79	2.9	0.19	2151
	Média	3.8	0.20	2779
3	160 x 21.80 x 11.76	6.5	0.41	2573
	160 x 20.98 x 10.56	5.8	0.28	3067
	160 x 21.06 x 11.27	4.8	0.21	3230
	Média	5.7	0.30	2957
4	160 x 21.28 x 11.49	4.2	0.24	2519
	160 x 21.53 x 11.88	5.5	0.54	1949
	160 x 21.55 x 11.76	3.2	0.25	1731
	Média	4.3	0.34	2066

Da análise dos resultados obtidos podemos verificar a tendência para aumentar a tensão de ruptura com o aumento da granulometria do material.

5.8. Ensaio esclerométrico

5.8.1. Objectivo

O comportamento de um material quando sujeito a uma força de compressão é vital para que o seu desempenho preencha todos os requisitos para o qual foi concebido.

5.8.2. Referência

Serviu como referência a norma NP EN 12504-2.

5.8.3. Definição

O ensaio de esclerómetro é normalmente usado *in situ* para estimar a resistência superficial à compressão de um material até uma profundidade de 5 cm.

5.8.4. Equipamento

Esclerómetro;
Silicone.

5.8.5. Provetes

Os provetes com a forma rectangular têm como dimensões nominais 100 x 25 e 11 mm de espessura.

5.8.6. Procedimento

Os provetes, um de cada tipo de material, foram fixados com silicone num elemento vertical de grande rigidez. O esclerómetro foi colocado na posição perpendicular ao provete e empurrado contra o material até ouvir o impacto no aparelho. Foram registados o maior número de dados possíveis de cada provete, e foram feitos no mínimo seis ensaios também em cada provete.



Fotografia 5.8.1 - Fotografias do ensaio de esclerómetro
(Carvalho, B. 2009).

5.8.7. Resultados

Para cada valor lido no picnómetro foram registados numa tabela as tensões máxima e mínima e calculada a média.

Nas Tabelas 5.8.1 a 5.8.4 estão representados os valores obtidos para os quatro materiais ensaiados.

Tabela 5.8.1 - Tabela de resultados do ensaio do esclerómetro no material do tipo 1
(Carvalho, B. 2009).

Leitura	Tensão mínima (MPa)	Tensão máxima (MPa)	Média (MPa)
40	33.4	40.5	36.95
41	35.2	42.4	38.80
39	31.8	38.7	35.25
40	33.4	40.5	36.95
40	33.4	40.5	36.95
39	31.8	38.7	35.25
Média final			36.69

Tabela 5.8.2 - Tabela de resultados do ensaio do esclerómetro no material do tipo 2
(Carvalho, B. 2009).

Leitura	Tensão mínima (MPa)	Tensão máxima (MPa)	Média (MPa)
44	40.6	47.9	44.25
45	42.4	49.7	46.05
45	42.4	49.7	46.05
45	42.4	49.7	46.05
46	44.2	51.6	47.9
46	44.2	51.6	47.9
43	38.7	46	42.35
Média final			45.79

Tabela 5.8.3 - Tabela de resultados do ensaio do esclerómetro no material do tipo 3
(Carvalho, B. 2009).

Leitura	Tensão mínima (MPa)	Tensão máxima (MPa)	Média (MPa)
48	48	55.4	51.7
50	51.7	59.2	55.45
49	49.8	57.3	53.55
46	44.2	51.6	47.9
46	44.2	51.6	47.9
44	40.6	47.9	44.25
46	44.2	51.6	47.9
Média final			49.81

Tabela 5.8.4 - Tabela de resultados do ensaio do esclerómetro no material do tipo 4
(Carvalho, B. 2009).

Leitura	Tensão mínima (MPa)	Tensão máxima (MPa)	Média
43	38.7	46	42.35
45	42.4	49.7	46.05
45	42.4	49.7	46.05
44	40.6	47.9	44.25
44	40.6	47.9	44.25
46	44.2	51.6	47.9
45	42.4	49.7	46.05
46	44.2	51.6	47.9
Média final			45.60

O valor médio neste material é de 45,60 MPa.

De salientar que este ensaio não substitui o ensaio de compressão. Optou-se por este ensaio por ser de mais fácil execução e também pelo facto de não dispormos de material com as dimensões adequadas para o ensaio de compressão Assim, o material que possui maior resistência à compressão superficial obtido através do ensaio com o esclerómetro foi o material do tipo 3 com uma tensão de ruptura de cerca de 50 MPa. O material do tipo 1, com a menor granulometria é o que apresenta menor resistência com cerca de 37 MPa. Torna-se evidente que o tipo de inerte tem forte influência na resistência à compressão superficial.

5.9. Modos de fixação dos painéis e lajetas ⁽¹⁵⁾

Como modos de fixação, podem ser adoptadas várias soluções, por colagem directa, fixação com gatos, fixação por discos e fixação oculta.

Por colagem directa, o processo será idêntico ao da colocação de materiais cerâmicos onde é necessário que a base, onde o revestimento vai ser aplicado, seja à base de cimento, sólida, limpa seca, plana e livre de impurezas, capaz de suportar o revestimento e as acções exteriores a que este ficará sujeito. Na colagem o produto que irá fazer a ligação deverá ser espalhado uniformemente na base e regularizar a espessura

com um pente ou talocha denteada, de seguida colocar as peças fazendo a pressão necessária até ao nivelamento dos sulcos de cola.

A fixação dos gatos, pode ser feita de várias formas: cravados directamente na fachada ou numa estrutura metálica, aparafusados ou soldados. Por fixação directa é essencial garantir que o gato fique bem cravado na fachada, sendo que esta deverá ter a resistência necessária para resistir ao esforço transmitido pelas placas aos gatos.

Por outro lado, a fixação com recurso a uma estrutura metálica é mais dispendiosa mas oferece uma maior estabilidade ao revestimento, uma vez que fará com que o revestimento total de uma fachada se comporte como um só.

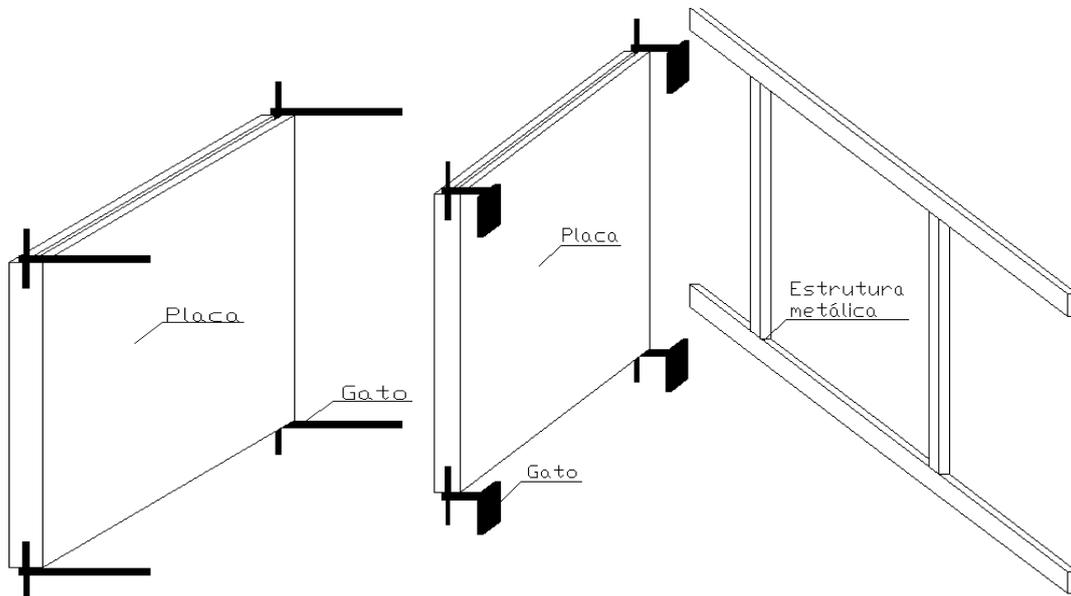


Figura 5.9.1 - Modos de fixação dos painéis em fachadas por gatos ou estrutura metálica.

(Carvalho, B. 2009).

A fixação por discos, pouco utilizada nestes trabalhos, é semelhante ao método de fixação por pernos e cavilhas, sendo que, neste caso, o disco confere maior força de ancoragem, sendo assim mais eficaz para casos em que as placas a aplicar sejam de maior dimensão.

A fixação oculta é mais utilizada nas situações onde se pretende que não sejam visíveis os elementos de fixação. Um exemplo, é a abertura de um buraco com maquinaria apropriada que alarga mais o furo na zona mais profunda da placa onde depois encaixa o suporte ligado à fachada (Figura 5.9.2). Podem também, neste tipo de

fixação, ser aplicadas anilhas roscadas interiormente que quando recebem o parafuso exercem força na parede do furo.



Figura 5.9.2 – Fixação do tipo oculta, exemplo de tipo “rolha de champanhe”
(Carvalho, B. 2009).

5.10. Discussão de resultados ⁽¹⁶⁾

Da análise dos resultados obtidos para a caracterização de algumas das suas propriedades físicas e mecânicas podemos concluir que se trata de um material resistente ao desgaste físico, já que em 42 min apenas perdeu, no máximo 1,6% da sua massa (material do tipo 2) e no mínimo cerca de 0.5% (no material do tipo 4). A maior granulometria dos inertes confere maior resistência ao desgaste por abrasão,

A capacidade de absorção de água caracteriza a maior ou menor capacidade do material resistir à penetração da água. Da análise dos resultados podemos verificar que o material do tipo 4, com maior granulometria dos inertes foi o que apresentou maior capacidade de absorção, isto é, cerca de 1,2 %, sendo um valor relativamente baixo quando comparado com algumas rochas naturais, como calcários sedimentares, o Vidraço de Molianos ou o Moca Creme.

A massa volúmica deste material é também relativamente baixa, com um valor médio de cerca de 1663 kg/m³, quando comparado com a maioria das rochas naturais, que têm valores na ordem dos 2700 kg/m³, Aquele valor é conferido ao material devido à baixa massa volúmica do PMMA, é muito menos denso o que representa uma grande vantagem com vista ao dimensionamento.

A caracterização da resistência mecânica, permitiu obter tensões de ruptura em flexão a variarem entre 13,5 e 15,5 MPa, e em tracção entre 2,4 e 5,7 MPa. Estes

valores são cerca de 50% superiores aos do granito amarelo que possui resistência à flexão de 6,6 MPa.

Quanto à resistência à compressão superficial, obtida através do ensaio de esclerómetro, foram obtidos valores entre 36.7 MPa e cerca de 49.8 MPa, Comparando estes valores com os do granito amarelo, são cerca de 50% inferiores já que este tem uma resistência à compressão de aproximadamente 84,7 MPa. O betão com resistência mínima característica em cubos, idêntica ao da conseguida neste material será o C40/50.

5.11. Referências bibliográficas

(15) - Oliveira, Maria de Fátima Teixeira da Silva. – *Revestimentos de Fachadas de Edifícios em Pedra Natural, Fixada Mecanicamente*; Dissertação para obtenção do grau Mestre em Georrecursos, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Abril 2008;

(16) Brás e Ferreira, granitos lda, acedido via internet no site: <http://www.brasferreira.com/granitos.html>, no dia 27 de Julho de 2009.

ASTM C 944-99, “Standard Test Method for Abrasion Resistance of Mortar Surfaces by the Rotating- Cutter Method”;

ASTM C 779/C 779M-00, “Standard Test Method for Abrasion Resistance Surfaces”;

ASTM D570 - 98, “Standard Test Method for Water Absorption of Plastics”;

NP EN 1097 – 6, “Agregados finos e grossos de densidade normal. Massa volúmica e absorção de água”;

ASTM D 543 – 95, “Standard Practices for Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical Reagents”;

ASTM D 790 – 03; “Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials”;

NP EN 10 002 – 1 NP EN 10 002-1: Materiais Metálicos. Ensaio de Tracção. Parte 1: Método de Ensaio (à temperatura ambiente), Instituto Português da Qualidade (1990);

NP EN 12504-2, “ Ensaio de betão nas estruturas, Parte 2: Ensaio não destrutivo, Determinação do índice esclerométrico”.

CAPITULO 6

CONCLUSÃO FINAL

6. Conclusões Finais.

O material obtido é uma mistura de um polímero termoplástico PMMA e de um inerte, numa proporção mínima de PMMA, nas condições existentes de laboratório.

É um produto que ajudará na minoração dos impactos ambientais causados pela exploração de rochas naturais, uma vez que os inertes utilizados neste material são os resíduos que resultam da exploração desse tipo de rochas; neste caso os inertes utilizados foram de granito Azul do distrito de Vila Real. Trata-se de um material totalmente reciclável, com baixa densidade, com boa resistência mecânica e que possui um bom comportamento quando sujeito à acção da água e ao desgaste.

Este material apresenta massa volúmica relativamente baixa se comparado com a maioria das rochas ornamentais, maior resistência à flexão que o granito amarelo, embora possua menor resistência à compressão superficial

Pode ser aplicado em obra de várias formas, colado ou formando fachadas ventiladas, neste caso fixo por gatos; a única problemática na colocação em obra será a colmatação das juntas, problema que também afecta outros materiais de revestimento, mas com a diversidade de argamassas de colmatação de juntas que existe no mercado também será possível resolver este problema.

Não é possível a aplicação deste material em locais em que se estime a existência de temperaturas altas, na ordem dos 200 °C, já que, para temperaturas um pouco superiores, este material entra em amolecimento.

7. Bibliografia Geral

LOPES, F. e Correia, M. - *Património Arquitectónico e Arqueológico* - Editora Livros Horizonte; Lisboa 2004;

Pimentel, A. e Martins, J. - *Reabilitação de edifícios tradicionais* - série REABILITAÇÃO, 1ª edição/2005, acedido no site: “<http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Reabilitação/Reabilitacao%20de%20edificios%20tradicionais.pdf>”; no dia 12 de Junho de 2009;

Kemp, Jonatham- *Fills for the Repair of Marble - a brief Survey*, in «Journal of Architectural Conservation», Donhead Published, United Kingdom, 2009;

Rosa, C. e Martins, J. - *Reabilitação da Envolvente Vertical Opaca de Edifícios* - série REABILITAÇÃO, 1ª edição/2005, acedido no site: [http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Reabilitacao/](http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Reabilitacao/Reabilitacao%20da%20envolvente%20vertical%20opaca.pdf) “[Reabilitacao%20da%20envolvente%20vertical%20opaca.pdf](http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Reabilitacao/Reabilitacao%20da%20envolvente%20vertical%20opaca.pdf)”, no dia 12 de Junho de 2009;

Henriques, F. - *Humidade em paredes*, LNEC. Lisboa, 2001.

Peixoto, V e Abrantes, V. *International Symposium on Moisture Problems in Building Walls*, humidade em paredes, Porto, Portugal, 11-13 de Setembro de 1995.

Jâcome, C. e Martins, J. - *Identificação de tratamento de patologias em edifícios* – série Reabilitação, 1ª edição/2005, acedido no site: “<http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Reabilitacao/Identificacao%20e%20tratamento%20de%20patologias%20em%20edificios.pdf>” no dia 15 de Novembro de 2008;

Mendonça, L. - *Condensações em edifícios*, publicado na revista, *Arquitectura e vida* nº 63, Setembro de 2005, acedido no site: <http://www.spybuilding.com/downloads/CondensacoesEmEdificios.pdf>”, no dia 17 de Novembro de 2008;

MRA instrumentação, acessido pelo site: “http://www.mra.pt/ALAVA/prod_Termografia_sec0300_niv2.html”, no dia 12 de Abril de 2009;

Ficha técnica da resina PLEXIGLAS® 8N;

Wikipédia, http://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1gina_principal”;

PREDEBÓN, L. - *Posibilidades plásticas del polímero acrílico paraloid b-72 utilizado como aglutinante pictórico*; Tese de Doutoramento, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Bellas Artes, Departamento de Pintura, Madrid 2005;

NP EN 933 2000 - “*Ensaios das propriedades geométricas dos agregados - parte 1 - Método de peneiração*”;

Oliveira, Maria de Fátima Teixeira da Silva. – *Revestimentos de Fachadas de Edifícios em Pedra Natural, Fixada Mecanicamente*; Dissertação para obtenção do grau Mestre em Georrecursos, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Abril 2008

Brás e Ferreira, granitos lda, acessido via internet no site: <http://www.brasferreira.com/granitos.html>, no dia 27 de Julho de 2009”;

ASTM C 944-99, “*Standard Test Method for Abrasion Resistance of Mortar Surfaces by the Rotating- Cutter Method*”;

ASTM C 779/C 779M-00, “*Standard Test Method for Abrasion Resistance Surfaces*”;

ASTM D570 - 98, “*Standard Test Method for Water Absorption of Plastics*”;

NP EN 1097 – 6, “*Agregados finos e grossos de densidade normal. Massa volúmica e absorção de água*”;

ASTM D 543 – 95, “*Standard Practices for Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical Reagents*”;

ASTM D 790 – 03; “Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials”;

NP EN 10 002 – 1 NP EN 10 002-1: Materiais Metálicos. Ensaio de Tracção. Parte 1: Método de Ensaio (à temperatura ambiente), Instituto Português da Qualidade (1990);

NP EN 12504-2, “ Ensaio de betão nas estruturas, Parte 2: Ensaio não destrutivo, Determinação do índice esclerométrico”;

Oliveira, Maria de Fátima Teixeira da silva. - Revestimentos de Fachadas de Edifícios em Pedra Natural Fixada Mecanicamente; Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Georrecursos, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Abril 2008;

SALAVESSA, M. E. C. – Rochas de construção: análises, técnicas laboratoriais e técnicas de inspecção; Série Didáctica, Ciências Aplicadas, nº 274, UTAD, Vila Real, 2005;

Lima, A. V. «Ensaio e propriedades dos materiais» in Ciência E Tecnologia Dos Materiais, Vila Real, UTAD Pp. 13 a 70, 1988.

Lima, A. V. «Caracterização à fadiga em flexão de materiais compósitos», Tese de Doutoramento, UTAD, 2005.

ANEXOS

Anexo 1: Ficha técnica da resina *Plexiglas 8N*

To: +351227537490

From: Faxserver Roehm

Fax: #XCCT-FAX#

at: 17-NOV-2006-01:05 Doc: 732 Page: 013

CCT-FAX

Ficha de dados de segurança CE

Estado: 23.10.2006

Versão: 3.1

degussa.*creating essentials***PLEXIGLAS® - Massa refractária 8 N 01010 - 99999**

Página 1 de 5

1. Identificação da substância/preparação e da sociedade/empresa**PLEXIGLAS® - Massa refractária 8 N 01010 - 99999****Finalidade(s) de utilização recomendada(s):**

massa de moldagem por injeção e extrusão

Röhm GmbH
64275 Darmstadt
Alemanha
+49 6151 18 01

Secção de informação +49 6151 18 49 72
Número de emergência +49 6151 18 43 42

2. Composição/informação sobre os componentes

Polímero acrílico à base de metacrilato de metilo

3. Identificação de perigos

Desconhecem-se riscos especiais.

4. Primeiros socorros**Após contacto com os olhos**

Na irritação mecânica dos olhos, lavá-los minuciosamente com bastante água e consultar o médico nas irritações mais prolongadas.

Após contacto com a pele

Após contacto com o produto fundido, arrefecer rapidamente a zona afectada com água fria. Providenciar tratamento médico.

5. Medidas de combate a incêndios**Todos os meios adequados de extinção**

dióxido de carbono, pó extintor, jacto de pulverização de água, espuma

Todos os meios de extinção que não devam ser utilizados por razões de segurança

jacto de água

Todo o equipamento especial de protecção para o pessoal destacado para o combate ao fogo

Utilizar aparelho de protecção respiratória independente (aparelho de isolamento).

6. Medidas a tomar em caso de fugas acidentais**Métodos de limpeza**

Recolher mecanicamente. Eliminar corretamente.

Tempo de recepção 16. Nov. 23:56

Ficha de dados de segurança CE Estado: 23.10.2006 Versão: 3.1 PLEXIGLAS® - Massa refractária 8 N 01010 - 99999	degussa. <i>creating essentials</i> Página 2 de 5
---	--

7. Manuseamento e armazenagem

Manuseamento

Indicações para uma manipulação segura

Evitar a formação de pó. No processamento termoplástico formam-se vapores de produtos de decomposição, tecnicamente inevitáveis, mencionados sob ponto 10 (obedecer os valores MAK). Em caso de processamento térmico e/ou sob tensão são necessárias medidas de exaustão nas máquinas de processamento.

Indicações para protecção contra incêndio e explosão

Tomar medidas contra carga electrostática. Esfriar com água o produto em perigo no caso de incêndio.

Armazenagem

Concepção de espaços e contentores para armazenagem

Armazenamento: seco.

8. Controlo da exposição/protecção individual

Componentes ou produtos de decomposição de acordo com o ponto 10, com vigilância dos valores limite relativos ao local de trabalho

metacrilato de metilo 80-62-6	
VLE-MP 2006	50 ppm
Sensibilizador	
VLE-CM 2006	100 ppm
Sensibilizador	

Controlo da exposição

Processo de monitorização e observação, veja p.ex. "Empfohlene Analysenverfahren für Arbeitsplatzmessungen" (Procedimento de análise recomendado para medições do posto de trabalho), publicação da Entidade Federal para a protecção laboral e "NIOSH Manual of Analytical Methods", National Institute for Occupational Safety and Health

Protecção individual

Medidas gerais de protecção

Não inalar o pó.

Medidas sanitárias

Observar as medidas de higiene profissional usual. Depois do trabalho, limpar e tratar bem da pele.

Protecção respiratória

protecção respiratória na formação de pó, aparelho de filtro a curto tempo, filtro P1

Protecção das mãos

Luvas protectoras contra riscos mecânicos de acordo com EN 388

Indicações gerais

Deve-se substituir periodicamente as luvas de protecção, especialmente após contacto intensivo com o produto. É necessário escolher um tipo de luvas adequado para cada local de trabalho.

Protecção dos olhos

óculos de protecção

9. Propriedades físicas e químicas

Aspecto

Forma :	granulado
Cor :	variável, conforme a coloração
Odor :	inodoro

Tempo de recepção 16. Nov. 23:56

Ficha de dados de segurança CEEstado: 23.10.2006
Versão: 3.1**degussa.**

creating essentials

PLEXIGLAS® - Massa refractária 8 N 01010 - 99999

Página 3 de 5

Dados relevantes para a segurança**Alterações do estado**

Temperatura de amolecimento	cerca 108 °C
Ponto de inflamação	> 250 °C (ASTM D1929-68)
Temperatura de ignição	> 400 °C (ASTM D1929-68)
Auto-inflamação	não determinado
Limite inferior de explosão	não se aplica
Limite superior de explosão	não se aplica
Pressão de vapor	não se aplica
Densidade	1,18 g/cm ³ aos 20 °C
Densidade aparente	cerca 700 kg/m ³
Hidrossolubilidade	insolúvel
Solubilidade (qualitativa)	em, por exemplo, ésteres, cetonas e hidrocarbonetos clorados: facilmente solúvel
Viscosidade (dinâmico)	não se aplica
Outros dados	Com produtos orgânicos poeirentos, geralmente deve-se contar com a possibilidade de explosões de pó.

10. Estabilidade a reactividade**Decomposição térmica**

> 250 °C

Reações perigosas

Não são conhecidas reações perigosas.

Produtos de decomposição perigosos

Durante a decomposição térmica formam-se vapores inflamáveis, que irritam os olhos e os órgãos respiratórios, e que são predominantemente constituídos por: metacrilato de metilo

11. Informação toxicológica**Dados gerais**

Não foi feito um controle toxicológico do produto. De acordo com pesquisas feitas em produtos equivalentes e conforme experiência prática, o produto não tem efeitos nocivos à saúde, se for tratado adequadamente e usado segundo as especificações.

12. Informação ecológica**Dados gerais**

Não foi feito um controle eco-toxicológico do produto. Devido à consistência, bem como à baixa solubilidade do produto na água, não é provável haver biodisponibilidade. Pesquisas feitas em produtos de composição semelhante confirmam esta suposição.

Tempo de recepção 16. Nov. 23:56

Ficha de dados de segurança CEEstado: 23.10.2006
Versão: 3.1**degussa.**

creating essentials

PLEXIGLAS® - Massa refractária 8 N 01010 - 99999

Página 4 de 5

13. Questões relativas à eliminação**Produto**

Os detritos não são perigosos. A sua eliminação deve obedecer às regras previstas e ser efectuada numa instalação adequada e indicada para esse fim, depois de consultar a autoridade local responsável e a pessoa encarregue da eliminação.

Embalagem suja

Esvaziar as embalagens contaminadas que, após limpeza especializada, podem voltar a ser utilizadas. As embalagens não contaminadas podem ser recicladas. As embalagens não susceptíveis de limpeza devem ser eliminadas de acordo com as normas.

Código de resíduo CER

07 02 13

resíduos do fabrico, formulação, distribuição e utilização (FFDU) deplásticos, borracha e fibras sintéticas - resíduos de plásticos

Por favor, verifique na sua empresa o número do código de resíduos conforme o campo de origem.

14. Informações relativas ao transporte**Outros dados**

Não é carga perigosa no sentido dos regulamentos de transporte.

15. Informação sobre regulamentação**Rotulagem de acordo com directiva 1999/45/CE**

identificação não obrigatória

Outros dados referentes à identificação

Em virtude dos conhecimentos actuais em termos de toxicologia e ecotoxicologia nos produtos análogos não se efectua a marcação segundo da norma da CE 1999/45/CE

Situação de registo

EINECS (UE) em lista ou excluído

16. Outras informações**Outros dados**

nenhuma

Fontes

manuais e publicações em referência
pesquisas feitas por nós
estudos toxicológicos e ecotoxicológicos feitos por nós
estudos toxicológicos e ecotoxicológicos feitos por outros produtores
SIAR
OECD-SIDS
RTK public files

As passagens marcadas com || foram modificadas em relação à última versão.

Esta informação e todos os dados técnicos adicionais estão baseados em nosso conhecimento e experiência atuais. Entretanto, isto não gera obrigações ou quaisquer outras responsabilidades legais de nossa parte, incluindo qualquer referência à existência de direitos de propriedade intelectual de terceiros, especialmente, direitos de patente. Em particular, nenhuma garantia, explícita ou implícita, ou garantia de propriedade de produto, no sentido jurídico, é expressa ou implícita. Nos reservamos o direito de fazer quaisquer alterações conforme o progresso tecnológico ou futuros desenvolvimentos. O Cliente não está dispensado de suas obrigações de conduzir inspeção cuidadosa e testes quando da chegada dos bens. O desempenho do produto descrito aqui deve ser verificado por

Tempo de recepção 16. Nov. 23:56

To: +351227537490

From: Faxserver Roehm

Fax: **CCT-FAX**

at: 17-NOV-2006-01:05 Doc: 732 Page: 017

CCT-FAX

Ficha de dados de segurança CE

Estado: 23.10.2006
Versão: 3.1

degussa.

creating essentials

PLEXIGLAS® - Massa refractária 8 N 01010 - 99999

Página 5 de 5

testes, que devem ser somente realizados por técnicos qualificados sob total responsabilidade do Cliente. Referência a nomes comerciais usados por outras empresas não é uma recomendação, e não significa que produtos similares não podem ser usados.

Data de estampa : 17.11.2006

Tempo de recepção 16. Nov. 23:56
