



CATÓLICA
ESCOLA DAS ARTES

PORTO

**ESTUDO DA ARGAMASSA BETUMINOSA UTILIZADA COMO CORTE HÍDRICO
NAS EDIFICAÇÕES TRADICIONAIS PORTUENSES ENTRE OS SÉCULOS XIX E XX.
ESTUDO ANALÍTICO NO CONTEXTO DA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO
URBANO.**

Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa
para obtenção do grau de Mestre em Conservação e Restauro de Bens Culturais.

Andrea Carvalho Lier-Kluge

Porto, julho de 2018.



CATÓLICA
ESCOLA DAS ARTES

PORTO

**ESTUDO DA ARGAMASSA BETUMINOSA UTILIZADA COMO CORTE HÍDRICO
NAS EDIFICAÇÕES TRADICIONAIS PORTUENSES ENTRE OS SÉCULOS XIX E XX.
ESTUDO ANALÍTICO NO CONTEXTO DA REABILITAÇÃO DO EDIFICADO
URBANO.**

Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa
para obtenção do grau de Mestre em Conservação e Restauro de Bens Culturais.

Património Integrado

Andrea Carvalho Lier-Kluge

Trabalho efetuado sob a orientação de Prof^a Doutora Eduarda Vieira

Coorientadores: Prof. Doutor José Carlos Frade

Prof. Doutor João Paulo Miranda Guedes

Porto, julho de 2018.

Texto escrito segundo a Norma da APA.
Texto escrito conforme o acordo ortográfico.

Agradecimentos

Os meus sinceros agradecimentos a todos os colaboradores da Escola das Artes, Universidade Católica Portuguesa, campus da Foz, que de alguma maneira contribuíram para a minha formação e para a realização deste trabalho;

À minha orientadora Prof^a. Doutora Eduarda Vieira, pela proposta do tema e aos meus coorientadores Prof. Doutor José Carlos Frade pela sugestão e realização das análises químicas e ao Prof. João Paulo Miranda Guedes da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto que esteve diretamente envolvido no trabalho, supervisionando os exames físicos e hídricos que contribuíram para o sucesso deste trabalho.

Ao Prof. Doutor Vasco Peixoto Freitas que permitiu a realização dos ensaios no Laboratório de Física das Construções na FEUP, disponibilizando o espaço e os materiais necessários para a realização dos ensaios físico-hídricos;

À Engenheira Cláudia Ferreira, pela orientação e acompanhamento dos ensaios durante o período que estive presente no Laboratório de Física das Construções na FEUP;

À Engenheira Joana Maia, por tornar possível a realização dos ensaios de emissividade térmica.

À Doutora Teresa Freire, do LNEC, pelas ideias para a recolha das amostras e adaptação às normas.

Ao Prof. António Candeias, diretor do Laboratório Hércules da Universidade de Évora e coordenador científico do Laboratório José Figueiredo, em Lisboa, pela realização das análises químicas.

Quero ainda agradecer ao meu marido Marcelo, minha irmã Cristina, minha mãe Maria Augusta e aos meus amigos por toda paciência, apoio incondicional e acima de tudo por partilhar comigo os meus sonhos, me apoiando e incentivando durante esta jornada, para concluir este trabalho de investigação.

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

Resumo

Sob o acabamento final das paredes dos edifícios do século XIX e XX do Norte de Portugal, nomeadamente na cidade do Porto, é comum encontrar-se uma camada constituída por uma argamassa de coloração negra que, aparentemente, tinha por finalidade melhorar o desempenho das paredes perante a ação da água, promovendo um corte hídrico. Este material é constituído por um aglutinante – um betume – e por cargas (agregados), tais como a areia, argila, saibro, ou terra comum peneirada. Atualmente, na reabilitação de edifícios antigos onde se encontra este material, designado comumente por argamassa betuminosa, é prática corrente a remoção destes revestimentos, mesmo quando se encontram em bom estado de conservação. Este trabalho apresenta um estudo sobre a composição química desta argamassa e sobre o seu comportamento como impermeabilizante através de ensaios de capilaridade, teor de saturação e permeabilidade à água, utilizando casos de estudo selecionados. Procurou-se, por um lado, esclarecer a denominação imprecisa acerca do sinónimo de betume e identificar a sua natureza e possíveis origens do material; por outro lado, pretendeu-se avaliar as qualidades higroscópicas destas argamassas e verificar se cumprem a função de camada impermeabilizante, que lhe é comumente atribuída. Finalmente, com os resultados obtidos espera-se poder contribuir para uma melhor tomada de decisão relativamente à sua remoção, ou conservação, promovendo práticas interventivas mais sustentáveis a médio prazo, no contexto das intervenções de reabilitação.

Palavras-chave

Argamassas betuminosas, betume, micro-FTIR, Py-GC-MS, capilaridade, saturação, permeabilidade, conservação e reabilitação.

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

Abstract

Under the finishing layer of the walls of the traditional buildings of the north of Portugal, namely in the city of Oporto, it is usual to find a waterproofing layer of black colour, known as bituminous mortar. Its purpose was to improve the building's constructive performance against the action of humidity by forming a water barrier. This waterproofing -layer consists of a binder - a bitumen - and aggregates such as sand, clay, gravel or common sifted earth. Within the rehabilitation of these old buildings, s it is a current practice to remove the bituminous coatings, even when they are still in good condition. In this dissertation, we present a chemical study of this bituminous coatings, in an attempt to clarify the composition, and the nature and possible origins of the bitumen employed in the formulation of bituminous mortars. The behaviour as waterproofing coating was also carried out throughout by capillarity performance, water saturation content and permeability tests. Based on the results obtained, it is intended to evaluate if these bituminous mortars still fulfil their function as waterproofing layers, in order to help the decision making regarding its removal or conservation with the purpose of promoting more sustainable rehabilitation practices.

Keywords

Bituminous mortar, bitumen, micro-FTIR, Py-GC-MS, capillarity, saturation, permeability, conservation and rehabilitation.

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

Índice

Índice de Figuras	5
Índice de Tabelas	9
Índice de Fichas	11
Lista de Abreviaturas, Acrónimos e Símbolos:	13
Capítulo I - Introdução	15
1.1 Enquadramento	15
1.2 Organização e estrutura da dissertação	17
1.3 Objetivos e metodologia	17
Capítulo II – Argamassa Betuminosa	19
2.1 Contextualização Histórica	19
2.2 Composição da argamassa betuminosa	19
2.2.1 Petróleo ou crude	21
2.2.2 Hulha.....	22
2.2.3 Resinas vegetais.....	23
2.3 Preparação e aplicação de argamassa betuminosa	23
2.4 Síntese do Capítulo	24
Capítulo III – Casos de Estudo	27
3.1 Seleção dos potenciais casos de estudo	27
3.2 Apresentação dos casos de estudo	28
3.2.1 Caso de estudo nº 01.....	28
3.1.2 Caso de estudo nº 02.....	30
3.1.3 Caso de estudo nº 03.....	32
3.1.4 Caso de estudo nº 04.....	33
3.1.5 Caso de estudo nº 05.....	34
3.1.6 Caso de estudo nº 06.....	36
3.1.8 Caso de estudo nº 08.....	40
3.1.9 Caso de estudo nº 09.....	42
3.1.10 Caso de estudo nº 10.....	43
3.2 Síntese do capítulo	44
Capítulo IV – Caracterização Química de Argamassa Betuminosa	45
4.0 Introdução às análises químicas	45

4.1 Micro-espectroscopia de refletância total atenuada (micro-FTIR).....	45
4.2 Pirólise seguida de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (Py-GC-MS)	46
4.3 Metodologia utilizada para as análises por micro-FTIR e Py-GC-MS.....	48
4.4 Apresentação dos resultados obtidos por micro-FTIR.....	50
4.5 Apresentação dos Resultados Obtidos por Py-GC-MS.....	70
4.6 Síntese do Capítulo	78
Capítulo V – Caracterização Hídrica da Argamassa Betuminosa.....	81
5.1 Considerações iniciais	81
5.2 A humidade nas construções	81
5.3 Condições laboratoriais e equipamento utilizado	82
5.4 Preparação das amostras	84
5.5 Coeficiente de absorção capilar	85
5.5.1 Apresentação dos resultados obtidos.....	86
5.6 Teor de humidade de saturação	90
5.6.1 Apresentação dos resultados obtidos para o teor de humidade de saturação	90
5.7 Avaliação da permeabilidade à água	92
5.7.1 Apresentação dos resultados obtidos por permeabilidade à água	93
5.8 Ensaio de caracterização térmica	93
5.8.1 Procedimento adotado para a medição de emissividade na amostra de manta asfáltica de argamassa betuminosa	94
5.8.2 Apresentação dos resultados obtidos por emissividade	95
5.9 Síntese do capítulo	96
6. Conclusão.....	97
7. Bibliografia.....	99
Fontes Computadorizadas	99
Fontes Impressas.....	100
Normas Técnicas	103
Anexos	105
1. Desenho da caldeira.....	107
2. Construção executada antes de 1951, data da entrada em vigor do RGEU - Regulamento Geral das Edificações Urbanas, aprovado pelo DL 38382 de 07/08/1951.	108

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

3. Relação de documentos – Rua da Torrinha (licença de obra nº 176/1907). 109
4. Relação de documentos – Rua José Falcão (Licença de obra n.º: 75/1913). 111

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

Índice de Figuras

Figura 01 – Imagem ilustrativa para exemplificar as diferentes camadas entre o suporte e o acabamento final.....	15
Figura 02 – Esquema ilustrativo do corte em perspetiva das sucessivas camadas principais de acabamento de uma parede de alvenaria de pedra com argamassa betuminosa.	16
Figura 03 - Exemplo da estrutura química de alguns compostos aromáticos.	21
Figura 04 - <i>Bituminous coal</i> (hulha). Amostra 169 - Coleção de minerais da Ward's Natural ScienceMorgantown, West Virginia, USA).	23
Figura 05 – Vista panorâmica do edifício.	29
Figura 06 - Vista da torre, local de recolha da amostra.	30
Figura 07 – Pormenor do local onde a amostra foi removida.....	30
Figura 08 - Face da amostra voltada ao exterior.....	30
Figura 09 - Face da amostra voltada ao interior.	30
Figura 10 – Vista panorâmica do edifício.	31
Figura 11 – Demolição do edifício / indicação do local de recolha da amostra.....	31
Figura 12 - Nova edificação, em fase de construção.....	31
Figura 13 – Nova edificação, após a conclusão das obras.....	31
Figura 14 - Face da amostra voltada ao exterior.....	31
Figura 15 - Face da amostra voltada ao interior.	31
Figura 16 – Vista panorâmica do edifício.	32
Figura 17 - Pormenor da argamassa betuminosa.	33
Figura 18 - Face da amostra voltada ao exterior.....	33
Figura 19 - Face da amostra voltada ao interior.	33
Figura 20 – Vista panorâmica do edifício.	33
Figura 21 - Pormenor do local de recolha da amostra.....	34
Figura 22 - Face da amostra voltada ao exterior.....	34
Figura 23 - Face da amostra voltada ao interior.	34
Figura 24 – Vista do edifício.	34
Figura 25 - Imagem do edifício.....	34
Figura 26 - Fachada frontal antes da intervenção.....	35
Figura 27 - Vista da parede interna da fachada frontal.....	35
Figura 28 - Pormenor do local da recolha da amostra.	35
Figura 29 - Face da amostra voltada ao exterior.....	35
Figura 30 - Face da amostra voltada ao interior.	35
Figura 31 - Fachada frontal.....	37
Figura 32 - Pormenor do local de recolha da amostra (patamar intermédio).....	37
Figura 33 - Face da argamassa voltada ao exterior.....	37
Figura 34 - Face da argamassa voltada ao interior.....	37
Figura 35 - Pormenor do local de recolha da amostra, cota inferior do R/C.....	38
Figura 36 - Remoção da argamassa.....	38
Figura 37 - Face da argamassa voltada ao exterior.....	38
Figura 38 - Face da argamassa voltada ao interior.....	38

Figura 39 - Pormenor da parede de meeira - divisão do mezanino.	38
Figura 40 - Face da amostra voltada ao exterior.	38
Figura 41 - Face da amostra voltada ao interior.	38
Figura 42 - Pormenor da parede de meeira próximo à escada em caracol.....	39
Figura 43 - Face da amostra voltada ao exterior.	39
Figura 44 - Face da amostra voltada ao interior.....	39
Figura 45 - Segunda camada da argamassa betuminosa.....	39
Figura 46 - Fachada frontal do edifício.	39
Figura 47 - Pormenor da argamassa betuminosa. Nota-se que a argamassa está a enrolar..	40
Figura 48 - Pormenor do revestimento final.	40
Figura 49 - Face da argamassa voltada ao exterior.	40
Figura 50 - Face da argamassa voltada ao interior.	40
Figura 51 - Fachada frontal do edifício.	41
Figura 52 - Pormenor do local de recolha da amostra.	41
Figura 53 - Face da argamassa voltada ao exterior.	41
Figura 54 - Face da argamassa voltada ao interior.	41
Figura 55 - Pormenor do local de recolha da amostra.	42
Figura 56 - Face da argamassa voltada ao exterior.	42
Figura 57 - Face da argamassa voltada ao interior.	42
Figura 58 - Vista da fachada lateral do edifício.....	42
Figura 59 - Pormenor do local da amostra.	43
Figura 60 - Face da amostra voltada ao exterior.	43
Figura 61 - Face da argamassa voltada ao interior.	43
Figura 62 - Fachada frontal do edifício.	43
Figura 63 - Pormenor do local da recolha da amostra.	44
Figura 64 - Face da amostra voltada ao exterior.	44
Figura 65 - Face da amostra voltada ao interior.....	44
Figura 66 - Estrutura química do gamacerano.....	47
Figura 67 - Equipamento e microscópio de infravermelho, <i>Bruker Hyperion 3000</i>	50
Figura 68 - Equipamento de Py-GC-MS, <i>Agilent</i>	50
Figura 69 - Espectro de IV da amostra 01.	53
Figura 70 - Espectro de IV da amostra 02.	54
Figura 71 - Espectro de IV da amostra 02.	54
Figura 72 - Espectro de IV da amostra 03.	55
Figura 73 - Espectro de IV da amostra 04.	56
Figura 74 - Espectro de IV da amostra 05.	57
Figura 75 - Espectro de IV da amostra 06.	58
Figura 76 - Espectro de IV da amostra 07.	60
Figura 77 - Espectro de IV da amostra 07.	60
Figura 78 - Espectro de IV da amostra 08.	62
Figura 79 - Espectro de IV da amostra 12.	63
Figura 80 - Espectro de IV da amostra 09.	64

Figura 81 - Espectro de IV da amostra 10.....	65
Figura 82 - Espectro de IV da amostra 11.....	66
Figura 83 - Espectro de IV da amostra 13.....	67
Figura 84 - Espectro de IV da amostra 14.....	68
Figura 85 - Espectro de IV da amostra 169 - <i>bituminous coal</i>	69
Figura 86 - Pirograma da amostra nº 01.	71
Figura 87 - Pirograma da amostra nº 02.	71
Figura 88 - Pirograma da amostra nº 03.	72
Figura 89 - Pirograma da amostra nº 05.	72
Figura 90 - Pirograma da amostra nº 06.	72
Figura 91 - Pirograma da amostra nº 07.	72
Figura 92 - Pirograma da amostra nº 08.	73
Figura 93 - Pirograma da amostra nº 09.	73
Figura 94 - Pirograma da amostra nº 10.	73
Figura 95 - Pirograma da amostra nº 11.	73
Figura 96 - Pirograma da amostra nº 12.	74
Figura 97 - Pirograma da amostra nº 13.	74
Figura 98 - Pirograma da amostra de referência de carvão betuminoso.	74
Figura 99 – <i>Datalogger</i>	82
Figura 100 – Gráfico de temperatura humidade relativa.....	82
Figura 101 – Amostra utilizada como teste, antes de ser colocada na estufa.....	83
Figura 102 – Estufa ventilada.	83
Figura 103 – Amostra ao ser colocada na estufa.	83
Figura 104 – Amostra ao ser retirada da estufa.	83
Figura 105 – Balança de precisão.	83
Figura 106 – Paquímetro.	83
Figura 107 – Tina acrílica com grelha metálica.	83
Figura 108 - Escova com cerdas de aço.	83
Figura 109 – Recipiente plástico.....	83
Figura 110 - Copo de vidro com água.....	83
Figura 111 - Limpeza mecânica, para a remoção da argamassa tradicional.....	86
Figura 112 - Adição de água na tina de acrílico.....	86
Figura 113 – Imersão parcial das amostras.	86
Figura 114 - Remoção do excesso de água com o auxílio de um pano absorvente, antes da pesagem.....	86
Figura 115 - Gráfico da absorção de água referente ao grupo de amostras JF.I. com a indicação da reta de tendência.....	87
Figura 116 - Gráfico da absorção de água referente ao grupo de amostras PCL.E. com indicação da reta de tendência.....	88
Figura 117 - Gráfico de absorção de água referente ao grupo de amostras JF.F. com indicação da reta de tendência.....	88
Figura 118 - Ensaio para determinação do teor de saturação.	90

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

Figura 119 - Aplicação do selante Cola e Veda.	92
Figura 120 - União entre os materiais.....	92
Figura 121 – Fissuras detetadas na amostra PCL.A.	92
Figura 122 - Grupo de imagens referente a amostra - PLC.A.	92
Figura 123 - Grupo de imagens referente a amostra - PCL.B.	93
Figura 124 - Grupo de imagens referente a amostra – EXTRA.	93
Figura 125 - Partes constituintes do emissómetro.....	94
Figura 126 - Calibração do equipamento.....	95
Figura 127 - Leitura do padrão de referência em 0.88.	95
Figura 128 – Utilização do ventilador para igualar a temperatura do dissipador e da amostra de manta asfáltica.....	95
Figura 129 - Medição da emissividade da manta asfáltica.	95
Figura 130 - Utilização do ventilador para igualar a temperatura do dissipador e da amostra de argamassa betuminosa.	95
Figura 131 - Medição da emissividade da argamassa betuminosa.	95
Figura 132 – Ilustração da caldeira utilizada. Fonte: ADP-GCP.....	107

Índice de Tabelas

Tabela 01 - Casos de estudos selecionados e breve descrição das amostras recolhidas.	27
Tabela 02 - Amostras analisadas por micro-FTIR e por Py-GC-MS.....	48
Tabela 03 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 01.	53
Tabela 04 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 02.	54
Tabela 05 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 03.	55
Tabela 06 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 04.	56
Tabela 07 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 05.	57
Tabela 08 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 06.	59
Tabela 09 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 07.	61
Tabela 10 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 08.	62
Tabela 11 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 12.	63
Tabela 12 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 09.	64
Tabela 13 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 10.	65
Tabela 14 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 11.	66
Tabela 15 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 13.	67
Tabela 16 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 14.	68
Tabela 17 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 169.	69
Tabela 18 - Compostos identificados nas amostras de argamassa betuminosa, analisadas por Py-GC-MS.	75
Tabela 19 - Principais compostos identificados na análise por Py-GC-MS da referência de carvão betuminoso – 169. <i>Bituminous coal</i>	78
Tabela 20 – Valores mínimos médios e máximos da temperatura e da humidade relativa no laboratório.	82
Tabela 21 – Amostras utilizadas no ensaio para determinação do coeficiente de absorção capilar, após remoção da argamassa tradicional.	84
Tabela 22 – Amostras utilizadas no ensaio para determinação do teor de humidade de saturação após a remoção da argamassa tradicional.	85
Tabela 23 – Valores obtidos no decorrer da pesagem.....	87
Tabela 24 - Valores obtidos nas amostras JF.I.....	89
Tabela 25 - Valores obtidos nas amostras PCL.E.	89
Tabela 26 - Valores obtidos nas amostras JF.F.	89
Tabela 27 – Coeficiente de absorção (Aw):	90
Tabela 28 – Valores obtidos no decorrer da pesagem.....	91
Tabela 29 – Valores obtidos para os três grupos de amostras	91
Tabela 30 - Valores de emissividade de alguns materiais	96

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

Índice de Fichas

Caso de Estudo nº 01.....	29
Caso de Estudo nº 02.....	31
Caso de Estudo nº 03.....	32
Caso de Estudo nº 04.....	33
Caso de Estudo nº 05.....	35
Caso de Estudo nº 06.....	37
Caso de Estudo nº 07.....	39
Caso de Estudo nº 08.....	41
Caso de Estudo nº 09.....	42
Caso de Estudo nº 10.....	43

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

Lista de Abreviaturas, Acrónimos e Símbolos:

A	Área;
Abs	Absorvância;
Aw	Coeficiente de absorção;
cm	Centímetro;
DL	Decreto-Lei;
DMAG	Direção Municipal de Arquivo Geral - Câmara do Porto;
DMAH	Direção Municipal de Arquivo Histórico - Câmara do Porto;
EI	Ionização eletrónica ou eletroionização;
eV	Eletrão-Volt;
f	Folha;
FTIR	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (<i>Fourier transform infrared spectroscopy</i>);
g	Grama;
h	Hora;
HR	Humidade Relativa
IIP	Imóvel de Interesse Público;
ISO	International Organization for Standardization;
kg	Quilograma;
m	Massa;
<i>mi</i>	Massa inicial;
min	Minuto;
<i>mf</i>	Massa final;
Micro-FTIR	Microespectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier;
mL	Mililitro;
mm	Milímetro;
MS	Espectrometria de massa;
NCREP	Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda.
Py-GC-MS	Pirólise seguida de Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massa;
RGEU	Regulamento Geral das Edificações Urbanas;

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

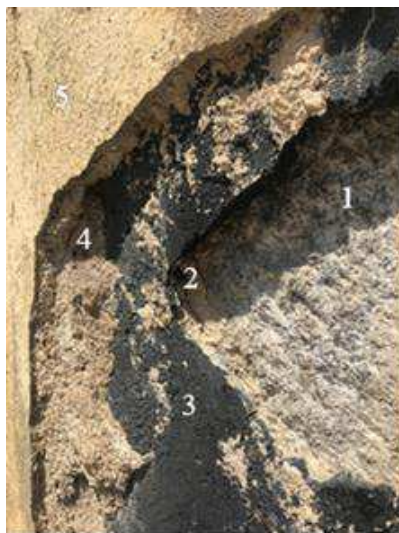
s	Segundo;
t	Tempo;
T	Temperatura;
Tr	Tempo de retenção;
u	Teor de humidade;
Δt	Variação do tempo;
ϵ	Emissividade;
μg	Micrograma;
μm	Micrómetro;
v	Vibração de alongação ou estiramento;
δ	Vibração de deformação;
δ_{fdp}	Vibração de deformação fora-do-plano;
$^{\circ}C$	Graus Celcius;
\sqrt{t}	Raiz quadrada do tempo.

Capítulo I - Introdução

1.1 Enquadramento

Com o crescimento do turismo, a reabilitação de edifícios antigos assumiu uma grande importância nos últimos anos, em Portugal. No entanto, grande parte destas intervenções não contempla a manutenção dos interiores dos edifícios, que são demolidos parcialmente, ou mesmo na sua totalidade, valorizando apenas as fachadas que são preservadas. Mas, mesmo nestes casos, a grande maioria das fachadas acaba por sofrer intervenções importantes com alterações dos vãos e a remoção e substituição dos revestimentos exteriores originais. Apenas a estrutura portante de alvenaria é mantida, perdendo-se materiais e técnicas construtivas, e o valor histórico de construção dos edifícios. Segundo José Aguiar¹, destas intervenções resultam “... edifícios antigos que já não têm o seu corpo e onde agora surge um corpo novo que não tem direito a uma face contemporânea”.

Para além dos materiais de época que se perdem neste tipo de intervenções, desaparecem ainda elementos estruturais das paredes, pavimentos e coberturas, e os elementos decorativos e funcionais das portas, guarnições, rodapés e tetos. Dentre eles, com um olhar mais apurado nas paredes de pedra de muitos edifícios construídos entre o século XIX e XX, no Centro e Norte do país, em particular na cidade do Porto, constata-se a existência um revestimento de coloração negra (argamassa betuminosa) que se supõe ter por finalidade melhorar o desempenho destas paredes perante a ação da água, sob a forma líquida ou de vapor, promovendo o corte hídrico. Esta camada era aplicada entre o suporte pétreo e o reboco, que era posteriormente caiado/pintado ou ainda revestido com azulejos (Freitas, 2012).



Legenda:

1. Alvenaria de pedra;
2. Argamassa de refechamento de juntas e regularização;
3. Argamassa betuminosa;
4. Reboco;
5. Acabamento final (pintura).

Figura 01 – Imagem ilustrativa para exemplificar as diferentes camadas entre o suporte e o acabamento final ©.

¹ Segundo texto do jornal “DN” de 21 de novembro de 2017, o Porto património mundial corre riscos sérios no tocante ao seu património classificado (<https://www.dn.pt/lusa/interior/fachadismo-pode-prejudicar-porto-patrimonio-mundial----vice-presidente-do-icomos-8933706.html>).

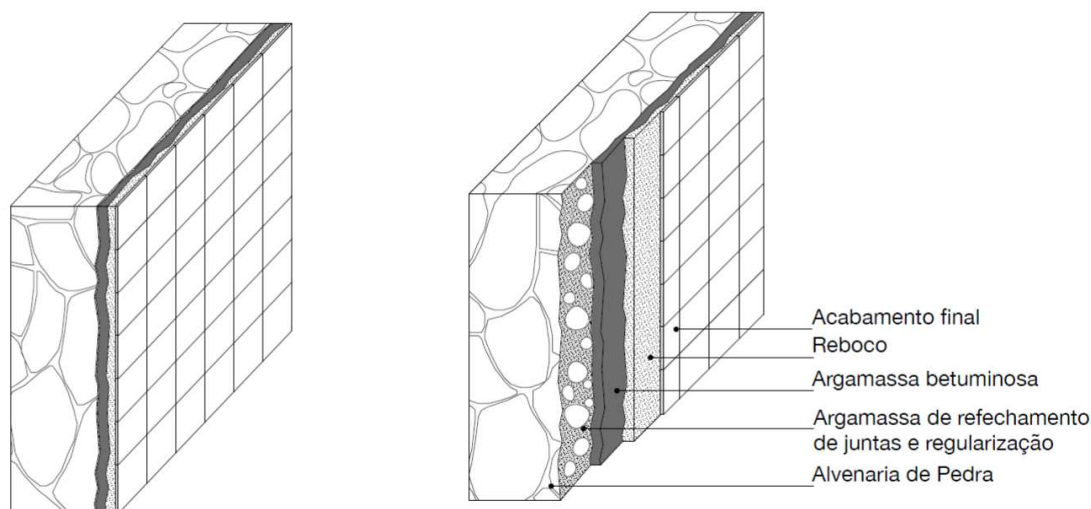


Figura 02 – Esquema² ilustrativo do corte em perspectiva das sucessivas camadas principais de acabamento de uma parede de alvenaria de pedra com argamassa betuminosa©.

A utilização de materiais impermeabilizantes é uma técnica recorrente na tentativa de travar um dos grandes problemas dos edifícios - a presença de humidade, quer de ascensão capilar, quer de condensação, infiltração ou mesmo por rutura de tubulação. A presença da água, seja qual for o seu estado físico, é considerada um dos principais agentes de deterioração dos materiais e elementos construtivos (estruturais e decorativos), promovendo a colonização biológica de macro e microrganismos e o desconforto dos utilizadores dos espaços (Cóias, 2006).

Estudos realizados por Ferreira e Coroado (2004) mostram que esta argamassa betuminosa se caracteriza principalmente por ser um material dúctil, hidrófobo, de coloração negra que, ao ser submetido ao calor, liberta um fumo esbranquiçado e um odor característico (Teixeira, 2004 / Ferreira; Coroado, 2004). Em termos de composição, é constituído por um aglutinante que pode ser composto por alcatrão, resina colofónia, breu, entre outros materiais com propriedades semelhantes, e por cargas (agregados) tais como a areia branca do mar ou do rio, argila, saibro, ou terra comum peneirada (Ferreira; Coroado, 2004). As fontes literárias revelam que, para a sua elaboração, era utilizado um betume obtido a partir do alcatrão, ou da sua destilação, ou ainda da destilação da colofónia (Leitão, 1896). No entanto, as referências relativas à natureza do aglutinante são imprecisas, havendo alguma confusão na terminologia utilizada para designar o betume, ou os materiais a partir dos quais este é obtido (Ferreira, 2006). Desconhece-se, portanto, a composição exata do aglutinante utilizado nas argamassas aplicadas na cidade do Porto e concelhos limítrofes, não havendo certezas sobre se a argamassa betuminosa aplicada seria a mesma em todos os edifícios, ou se diferentes tipos foram utilizados durante o período considerado (Mariz, 2016) e se o material realmente cumpre a sua função enquanto material impermeabilizante, sendo objetivo desta dissertação clarificar estes dois aspetos: determinar a sua composição química e verificar a sua eficácia

² Perspetiva desenhada com auxílio do software Archicad 20.

como material hidrófugo, através de uma campanha de ensaios experimentais realizados em amostras retiradas de edifícios antigos da cidade do Porto.

1.2 Organização e estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se dividida em quatro capítulos. A introdução enquadra o trabalho da tese na área de conservação e restauro aplicada à reabilitação. Apresenta o seu interesse e objetivo no âmbito da reabilitação de edificado antigo.

O segundo capítulo consiste numa contextualização histórica da argamassa betuminosa, da sua composição e da forma de preparação e aplicação. Aborda ainda a variação encontrada na designação do material consoante a localização geográfica e a imprecisa denominação usada frequentemente como sinónimo de betume.

No terceiro capítulo, apresentam-se os casos de estudo, nomeadamente através da descrição quer dos edifícios onde foram recolhidas as amostras que foram utilizadas nas campanhas experimentais realizadas, quer das amostras retiradas de cada caso de estudo.

O quarto capítulo é dedicado à caracterização química das argamassas betuminosas, realizada através das técnicas de microespectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier e pirólise, seguida de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa. Neste capítulo, apresenta-se um pequeno enquadramento sobre cada técnica analítica, seguindo-se a descrição das condições analíticas e a apresentação/interpretação dos resultados obtidos com cada uma.

O quinto capítulo descreve as análises hídricas e de emissividade térmica realizadas e apresenta os protocolos seguidos nestas análises, bem como os resultados obtidos.

O trabalho termina com a apresentação das conclusões gerais obtidas nesta investigação e propostas de novos caminhos para a continuação do estudo desta argamassa; inclui-se ainda a bibliografia consultada e referida ao longo do texto, um apêndice onde se encontram documentos relacionados com os edifícios em estudo e um anexo que remete aos cálculos realizados.

1.3 Objetivos e metodologia

O estudo da argamassa betuminosa constitui na realização de ensaios laboratoriais sobre um conjunto de amostras recolhidas de dez edifícios correntes, de uso civil, com mais de cem anos que continham a argamassa de coloração negra em estudo, situados no Norte de Portugal, nomeadamente na cidade do Porto. O número de casos de estudo que integram esta pesquisa foi definido em função das autorizações concedidas pelos respetivos proprietários e a acessibilidade para a recolha do material, bem como do tempo disponível para realizar esta investigação.

Tal como referido, subsistem lacunas de informação sobre a natureza deste material, que só podem ser esclarecidas através da realização de análises químicas mais detalhadas nomeadamente de técnicas cromatográficas e espectroscópicas, tais como a pirólise seguida de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (Py-GC-MS) e a microespectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (micro-FTIR). Neste

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

estudo, pretende-se através destas técnicas identificar os compostos que constituem o aglutinante deste material impermeabilizante e, se possível, estabelecer grupos relacionados com a origem do mesmo, com base no perfil dos espectros de infravermelho e dos cromatogramas obtidos com os casos de estudo selecionados para esta dissertação.

De forma a se entender a eficácia atual desta camada impermeabilizante, nas amostras retiradas dos edifícios selecionados, foram também realizadas análises hídricas para verificar características do material face à transferência de água líquida, ao teor de humidade de saturação e ao coeficiente de absorção capilar. Estes ensaios tiveram como intuito determinar se o material cumpre, ou não a sua função de revestimento impermeabilizante.

Para além de nova e relevante informação sobre este material, pretende-se auxiliar os técnicos a sustentar a tomada de decisão relativamente à manutenção, ou não desta argamassa em futuros trabalhos de intervenção em edificado antigo, contribuindo para a promoção de práticas mais sustentáveis a médio prazo nas intervenções de reabilitação efetuadas nos edifícios desta época, e procurando contrariar a opção atual de remoção e substituição imponderada destas argamassas por materiais modernos, mesmo quando o revestimento se encontra em bom estado de conservação.

Capítulo II – Argamassa Betuminosa

2.1 Contextualização Histórica

Em Portugal, Luiz Mariz (2006), aponta para o uso de pedra calcária impregnada de petróleo, no Sul do país, e, na região Norte, indica o uso da argamassa betuminosa como material impermeabilizante.

A aplicação desta argamassa dá-se na primeira metade do século XIX, porém subsistem dúvidas em relação à data de início da sua aplicação corrente. O material começou a ser substituído por técnicas mais modernas a partir de 1950.

Para a elaboração desta camada, que era aplicada entre a parede de pedra/tabique/tijolos e o reboco, seria utilizado um material betuminoso de origem incerta, proveniente do alcatrão ou breu (resina residual obtida na destilação de resinas vegetais ou na destilação do alcatrão), apesar de existir uma certa confusão na designação do material aglutinante, a sua composição é conhecida.

2.2 Composição da argamassa betuminosa

De acordo com Luís Ferreira e João Coroado (2004), a argamassa de coloração negra é composta por um aglutinante e por uma carga, são eles:

- **Cargas** – terra comum ou saibrosa; areia branca do mar ou do rio; argila; e pó (provavelmente seria o estado pulverizado de um dos materiais citados). Tanto a terra como a areia deveriam ser peneiradas³;
- **Aglutinante (ligante)** – são várias as designações sob as quais o aglutinante usado na formulação das argamassas betuminosas era mencionado na época e na documentação coeva, entre as quais encontram-se “alcatrão”, “alcatrão mineral”, “breu”, “breu negro”, “piche”, “piche coaltar”, “verniz” e “verniz de gás” (Ferreira e Coroado, 2004). Estas designações eram muitas vezes utilizadas de forma discricionária, sem o rigor com que hoje são utilizadas (Freitas, 2012).

O termo *piche*, empregue na época, no contexto da produção de argamassa betuminosa, poderá corresponder àquilo que atualmente se designa por *pez* ou *pitch*, em inglês. A similaridade sonora de “*piche*” e “*pitch*” parece evidente, sugerindo-se assim que o termo *piche* se referira ao *pez*.

Pez é um material líquido, negro e viscoso que pode ter diferentes origens. Pode ser considerado o resíduo obtido na destilação de resinas vegetais, na destilação do petróleo ou de hulha (carvão betuminoso). *Pez* é um sinónimo frequente de colofónia, o resíduo sólido da destilação da resina de pinheiro, que não apresenta as características descritas, mas sim o aspeto gomoso de uma resina vegetal de coloração laranja-claro (Gettens & Stout, 1966; Mills & White, 1987).

Quando o *pez* é obtido da hulha tem também o nome de alcatrão de hulha, que em inglês se escreve *coal tar*. O alcatrão de hulha (*coal tar*) é um subproduto da produção de coque (*coke*),

³ A carga era peneirada para eliminar matérias estranhas e granulometria superior às desejadas.

que é um combustível líquido, e também um subproduto da produção de gás de carvão (*coal gas*) que é um tipo de combustível gasoso (Beychok, 1974 / Beychok, 1975)

Deste modo, pela proximidade sonora, coloca-se a hipótese de que a referência “*piche coaltar*”, que surge na literatura (Ferreira; Coroado, 2004) seja um aportuguesamento de *pitch coal tar*, identificando-se o material como o pez que é obtido na produção de gás de carvão – o alcatrão de hulha.

O termo “verniz”, que é por vezes mencionado na época, é também muito vago no que respeita à natureza do material utilizado como aglutinante na argamassa betuminosa. Contudo, o fato de também ser utilizada a designação verniz de gás poderá ajudar a elucidar sobre este aspeto (Ferreira, 2006).

Tendo em conta o que foi mencionado anteriormente, “verniz de gás” deverá corresponder ao verniz obtido na produção de gás, ou seja, a alcatrão de hulha. Desta forma, se “verniz de gás” é o pez obtido na produção de gás, então a referência simples a “verniz” deverá querer referir-se o pez, sendo deste modo um sinónimo de “piche” (Ferreira, 2006).

Quanto a “breu” e “breu negro” há alguma incerteza sobre a que se referem estes materiais. Se, por um lado, breu se pode associar a um destilado da hulha (provavelmente na obtenção de coque) ou do petróleo, este é comumente considerado como um destilado do alcatrão vegetal, que por sua vez se produz através da destilação da madeira de diversas espécies de resinosas (Langenheim, 2003).

São, portanto, usadas frequentemente denominações imprecisas como sinónimo de betume, ou seja, do ligante utilizado na argamassa betuminosa, tal como alcatrão é sinónimo de betume (Ferreira, 2006). Importa assim, no contexto desta dissertação, esclarecer a real natureza e possíveis origens deste material.

A utilização de materiais betuminosos pelo Homem data do período Paleolítico (38.000 a.C.). principalmente como adesivo, agente impermeabilizante, combustível para iluminação e aquecimento, e posteriormente em épocas históricas com fins bélicos, ou medicinais e para embalsamento. Muitas de suas aplicações acabaram por desaparecer ao longo da história surgindo, entretanto, outras (Languri, 2004).

O betume é um material que é designado de diversas formas dependendo da localização geográfica. Na Europa, é empregue o termo betume, enquanto na América, particularmente nos Estados Unidos e no Brasil, é vulgarmente denominado como asfalto. (Brown, 2016). Ao longo desta dissertação ambas as designações – betume e asfalto – serão utilizadas como sinónimos.

“O asfalto usa-se em pavimentos, mas também em revestimentos externos ou internos sob as camadas de argamassa com o intuito de isolar as casas da humidade do ar transmitidas com facilidade pelo granito higrométrico” (Wampler, 2007).

O asfalto, segundo a classificação que se encontra descrita na “*Encyclopaedia of polymer science and Engineering*” (Yenn, 1990 / Languri, 2004), pode ser dividido em asfalto natural e em asfalto artificial. O natural tem uma origem sedimentar rochosa, enquanto o asfalto artificial é obtido a partir do petróleo, do gás natural, ou da hulha (Languri, 2004).

Os asfaltos ou betumes naturais apresentam uma composição relativamente diversificada dependendo da sua origem geológica, sendo emulsões de hidrocarbonetos aromáticos

policíclicos e alifáticos heterocíclicos, “dispersos” numa mistura de hidrocarbonetos alifáticos cíclicos e acíclicos (de baixa massa molecular), contendo ainda hopanos⁴ e esteroides aromáticos. Para além disto, o betume natural ainda contém compostos de enxofre, presentes em maior ou menor grau, que estabelecem ligações de enxofre⁵ com a rede polimérica, que constitui este tipo de material. Os compostos aromáticos policíclicos e alifáticos heterocíclicos constituem uma fração denominada como asfaltenos e os hidrocarbonetos de menor massa molecular é fração designada de maltenos (Languri, 2004).

Os hidrocarbonetos alifáticos apresentam cadeias que variam de dois a quarenta átomos de carbono e são os principais responsáveis pelo estabelecimento de ligações entre os compostos aromáticos, contribuindo assim para o estabelecimento da rede polimérica (Languri, 2004).

O asfalto artificial é produzido a partir da destilação de materiais sedimentares, como o petróleo e a hulha, ou da destilação de matéria vegetal, como as resinas vegetais ou a madeira de determinadas espécies de árvores (Languri, 2004 / Moldoveanu, 1998 / Brown, 2016).

2.2.1 Petróleo ou crude

O petróleo ou crude é constituído por uma complexa mistura de hidrocarbonetos alifáticos (alcanos, alcenos e alcinos), alcanos cíclicos, hidrocarbonetos aromáticos, incluindo aromáticos policíclicos e metais como o vanádio, ferro ou o níquel (Brown, 2016). Alcanos são hidrocarbonetos alifáticos em que as ligações entre os átomos de carbono são ligações simples, enquanto nos alcenos e alcinos há pelo menos uma ligação dupla e tripla, respetivamente. Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos são compostos aromáticos que contêm mais do que um anel benzénico ou aromático na sua estrutura química. Na figura seguinte, apresenta-se como exemplo a estrutura de um hidrocarboneto aromático simples, o benzeno, e de alguns compostos aromáticos policíclicos (Chang & Goldsby, 2013).

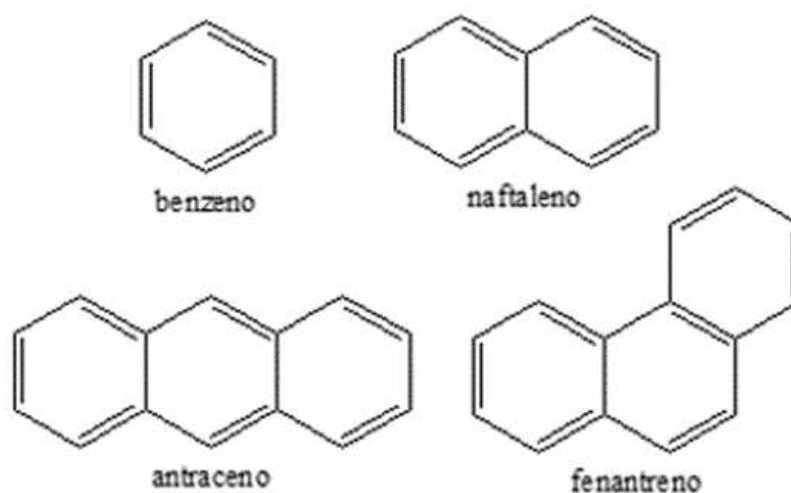


Figura 03 - Exemplo da estrutura química de alguns compostos aromáticos⁶ ©José Carlos Frade.

⁴ Os hopanos ou hopanóides são triterpenos com uma estrutura pentacíclica baseada na do hopano. É assim uma classe de compostos diversificada que se encontra nas resinas triterpénicas, como damar, mástique e elemis (Mills & White, 1987 / Chang & Goldsby, 2013).

⁵ Ligações ou pontes de enxofre são ligações intermoleculares que se estabelecem entre átomos de enxofre (S) e de hidrogênio (H).

⁶ Estrutura desenhada com o software ChemDraw Ultra 8.0.

A composição do petróleo varia quantitativamente em termos destes compostos, tendo em conta o depósito de crude de onde este é extraído, e conseqüentemente o betume ou asfalto produzido a partir do petróleo varia também quantitativamente em termos destes compostos. Portanto, a composição de um betume artificial depende diretamente da composição original do petróleo com que foi produzido. Por outro lado, dependendo do processo de produção, podem obter-se betumes com características físicas bastante diferentes, mas com composição química igual e relacionável com o petróleo original. A manufatura não tem, assim, um papel influente na composição do asfalto ou betume, apenas nas características físicas que definem a suas potenciais aplicações e usos. De uma forma geral, é raro que dois asfaltos sejam exatamente iguais do ponto de vista da composição química, contudo em termos da sua composição elementar é possível estabelecer que estes são constituídos por 79-88 % de carbono, 7-13 % de hidrogénio, de vestígios até 8 % de enxofre, 2-8 % de oxigénio e de vestígios a 3 % de azoto (Brown, 2016 / Speight, 1992).

2.2.2 Hulha

A hulha é a forma mais comum do carvão mineral, designando-se por vezes também como carvão betuminoso. A sua formação decorre de um processo geológico durante o qual a pressão elevada transforma gradualmente matéria orgânica vegetal, primeiramente, em substâncias húmicas, como a turfa, seguindo-se a linhite, o carvão sub-betuminoso, o carvão betuminoso, a antracite e, finalmente, a grafite (Languri, 2004 / Moldoveanu, 1998).

A hulha é um material rochoso que se encontra com relativa abundância na crosta terrestre. Apresenta-se sob a forma de uma rocha sedimentar, em que é reconhecível uma estrutura laminar onde se intercalam camadas ou lâminas finas com outras mais espessas constituídas por diferentes tipos de matéria orgânica, cuja composição e natureza é variável dependendo da origem. Com uma estrutura macromolecular não uniforme e ainda apenas parcialmente conhecida, é um polímero constituído maioritariamente por aromáticos e alifáticos cíclicos ligados através de cadeias alifáticas. (Languri, 2004 / Moldoveanu, 1998). Através da sua destilação é possível obter vários produtos, entre os quais coque (*coke*) e gás. Durante a produção destes forma-se um material líquido e negro, que tem por nome alcatrão de hulha (*coal tar*) e cujo fracionamento permite ainda a obtenção de diversos solventes (Gettens & Stout, 1966).



Figura 04 - *Bituminous coal* (hulha). Amostra 169 - Coleção de minerais da Ward's Natural Science (Morgantown, West Virginia, USA) © Coleção do Laboratório de Biologia da EA/UCP.

2.2.3 Resinas vegetais

As resinas vegetais são constituídas por uma mistura complexa de terpenos, podendo estas dividir-se em dois grandes grupos considerando a sua composição química. Deste modo, têm-se as resinas diterpénicas constituídas principalmente por diterpenos, que são compostos terpenóides⁷ com uma estrutura baseada em 20 átomos de carbono, enquanto as resinas triterpénicas são constituídas por terpenos de 30 átomos de carbono, os triterpenos. Dentro das resinas diterpénicas encontram-se a resina de pinheiro, a resina colofónia (também designada de pez), a sandaraca, os vários tipos de copal, entre outras. No que diz respeito às triterpénicas, as principais resinas utilizadas pelo Homem são a resina mástique, a resina elemis e a resina damar, que pode ter origem em diversas espécies vegetais. A destilação de resinas vegetais produz resíduos cuja composição é relacionável com a resina original. Veja-se o caso da colofónia, que o resíduo sólido obtido na destilação da resina de pinheiro, na qual se obtém também a essência de terebintina ou aguarás (Mills & White, 1987). Portanto, apesar de se poderem formar outro tipo de compostos durante a produção de um alcatrão ou betume a partir de uma resina vegetal, será expectável a presença significativa de alguns terpenos originais da resina ou de seus produtos de oxidação, tal como sucede no caso da destilação da madeira de espécies do género *Juniperus*⁸ e *Cupressus*⁹ para a obtenção de resíduos betuminosos ou óleo de cedro, cuja composição contém percentagens significativas de sesquiterpenos (terpenos com 15 átomos de carbono) (Langenheim, 2003).

2.3 Preparação e aplicação de argamassa betuminosa

Luís Mariz e João Coroado (2004), principais fontes para este tema, apontam uma escassez de elementos que permitam conhecer a sua correta formulação bem como a forma de preparação. Os autores consideram que a carga seria peneirada para a exclusão de impurezas

⁷ Terpenóides ou terpenos são uma classe de compostos orgânicos que derivam do isopreno, podendo ser considerados polímeros do isopreno.

⁸ *Juniperos* é um género de coníferas pertencente à família Cupressaceae, ou seja, família botânica onde se inserem os ciprestes e árvores similares.

⁹ *Cupressus* é um género de conífera pertencente à família Cupressaceae.

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

e volumetrias superiores às desejadas. A preparação do betume seria realizada em uma caldeira de metal, com uma abertura na parte superior e uma válvula junto à base, que seria disposta sobre o lume. O aglutinante (ligante) era aquecido até atingir o ponto de ebulição para a evaporação dos componentes voláteis. Somente após a obtenção da consistência pretendida, viscosa, ou seja, o desprendimento do material do fundo da caldeira, as cargas seriam incorporadas. A mistura deveria ser mantida quente até chegar à obra.

Estes autores especificam que o material impermeabilizante seria mantido à temperatura adequada em obra até o momento de sua aplicação, bem como à temperatura e à consistência adequadas do material impermeabilizante (certamente compreendida entre 90 e 150° C). Se a temperatura de aplicação fosse excessiva, a aplicação ao suporte seria difícil porque o betume escorreria e poderia ainda fendilhar devido a um arrefecimento demasiado rápido. Para além destes parâmetros, a fissuração dependia da elasticidade do betume (composição e formulação).

De uma forma sucinta, os autores especificam que tanto a preparação como a aplicação desta mistura, seriam realizadas por mestres *asphaltadores*. Em 1881, a cidade do Porto, contava seis mestres asfaltadores que globalmente empregavam cerca de trinta homens (Mariz e Coroado, 2004).

As condições climatéricas influenciavam a realização do trabalho; o material impermeabilizante não deveria ser aplicado em dias de chuva, pois o suporte deveria estar seco, ou seja, com teor de humidade relativamente baixo; a temperatura ambiente não poderia ser excessivamente baixa, pois acarretaria num menor tempo de trabalho e poderia ainda representar uma maior tendência à fissuração devido ao choque térmico. O vento também seria um fator a considerar, pois poderia influenciar no seu rápido arrefecimento.

O material era aplicado com auxílio de uma colher de pedreiro, com espaçamentos de 7 a 10 cm em áreas previamente estabelecidas, de modo a que o trabalho fosse executado numa só jornada de trabalho. Na impossibilidade de realizar a aplicação de uma só vez, as áreas de transição deveriam apresentar espessuras mais reduzidas para que ao receber uma sobreposição não produzissem uma espessura muito maior que as demais.

O objetivo da aplicação não era obter uma superfície plana e regular, porém não deveria conter espessuras muito distintas, apenas o suficiente para criar pontos de ancoragem para receber a camada de regularização e revestimento final.

2.4 Síntese do Capítulo

Apesar da relativa proximidade cronológica, é quase inacreditável que a argamassa betuminosa não tenha subsistido. De fato, são muitas as questões e dúvidas ainda existentes e, considerando as imprecisões associadas à nomenclatura da época, é bem provável que ainda se tenha que percorrer um longo caminho até que se consiga chegar a uma caracterização razoável deste material, das suas propriedades e composição. Adicionalmente, tem-se o problema da sua completa destruição nas ações de reabilitação praticadas atualmente, por desconhecimento e/ou desvalorização da função original e de sua composição, que contribuem, em ritmo acelerado, para o esquecimento de um material outrora utilizado na edificação, que deve ter igualmente o seu lugar na história da construção,

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

tal como outros o têm. Urge, portanto, que se tenha uma atitude mais proativa na preservação e valorização deste tipo de património, sendo a investigação científica uma das melhores formas de o conseguir, pois apenas através do conhecimento é possível defendê-lo e argumentar contra práticas menos sustentáveis e pouco esclarecidas, regidas principalmente desconhecimento, ou por questões economicistas impostas por contextos momentâneos e poucos sustentados.

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

Capítulo III – Casos de Estudo

3.1 Seleção dos potenciais casos de estudo

No contexto desta investigação, foram inicialmente selecionados 40 casos de estudo, que englobam habitações nobres¹⁰ e correntes¹¹ (Freitas, 2012). Contudo o número de casos reduziu-se significativamente devido à difícil acessibilidade e à dificuldade em obterem-se autorizações para a recolha das amostras. Conseguimos autorizações em 10 edifícios, que serão apresentados neste capítulo, perfazendo um total de 14 locais de recolha de amostras de argamassa betuminosa (tabela 01). Em dois casos conseguimos recolher amostras em mais de um local, são eles:

- Um edifício situado na Rua Padre Luís Cabral, em que as amostras foram recolhidas do exterior e interior - em áreas sãs e áreas expostas;

- Um segundo edifício localiza-se na Rua José Falcão, onde se conseguiram amostras do interior que foram recolhidas da cota inferior do rés-do-chão, do patamar intermédio da escada e de duas zonas do *mezanino*. As amostras deste edifício foram recolhidas de áreas de janelas de sondagens, abertas pela empresa NCREP - Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda. com o intuito criar condições para elaborar um Relatório de Inspeção e Diagnóstico estrutural¹² (RID), para além de uma janela de sondagem que foi aberta propositadamente para este estudo.

Também foi possível estudar uma amostra com referência de hulha (carvão betuminoso). Esta referência é proveniente dos Estados Unidos e pertence a uma coleção de minerais da Ward's Natural Science (169. *Bituminous coal* – Morgantown, West Virginia, USA), que pertence ao laboratório de biologia da Escola das Artes da Universidade Católica Portuguesa.

Tabela 01 - Casos de estudos selecionados e breve descrição das amostras recolhidas.

Caso de estudo nº	Localização do edifício	Nº da amostra	Descrição da amostra
1	Rua do Passeio Alegre nº 494	01	Fachada lateral Área exposta ¹³
2	Rua Senhora da Luz nº 246/248	02	Parede de meeira Exposta devido a demolição do edifício
3	Rua Francisco da Rocha Soares nº 33	03	Fachada frontal Área exposta
4	Rua das Taipas nº 74	04	Fachada frontal Área exposta

¹⁰ Habitações nobres – palácios, solares, etc.

¹¹ Habitações correntes – são aquelas que se integram no vasto conjunto de habitações que, embora marcando épocas construtivas, não contêm elementos de valor particular que se destacam de outras construções urbanas.

¹² Este relatório tem como objetivo identificar os elementos estruturais do edifício, determinar as suas características geométricas e materiais e estimar o seu estado de conservação. Este servirá como apoio ao projeto de arquitetura e de estabilidade que serão desenvolvidos no âmbito da intervenção de reabilitação do edifício.

¹³ Área exposta – o edifício encontra-se degradado, apresentando-se a argamassa betuminosa exposta.

5	Largo do Moinho de Vento nº 1	05	Parede interior da fachada frontal Área exposta
6	Rua José Falcão nº 144	06	Parede interior: área de janela de sondagem (patamar intermédio)
		07	Piso interior: cota abaixo do rés-do-chão
		08	Parede interior: janela de sondagem aberta no mezanino
		12	Parede interior: abertura de uma nova janela de sondagem (próximo à escada em caracol)
7	Rua João Grave nº 74	09	Fachada frontal Área exposta
8	Rua Padre Luís Cabral nº 1016	10	Fachada lateral área exposta
		11	Parede interna - área exposta
9	Rua da Torrinha nº 64	13	Fachada lateral Área exposta
10	Rua Fonte da Luz nº 22	14	Fachada frontal Área exposta

3.2 Apresentação dos casos de estudo

Os casos selecionados para estudo, no âmbito desta dissertação, perfazem um total de dez edifícios, situados na cidade do Porto, localizados entre o centro da cidade e a foz do Douro. Cada caso de estudo encontra-se descrito apresentando-se toda a informação que foi possível reunir de cada edifício, nas deslocações ao mesmo, na Divisão Municipal do Arquivo Histórico (DMAH)¹⁴, na Divisão Municipal do Arquivo Geral (DMAG)¹⁵ e em entrevistas com os respetivos proprietários.

É de se realçar que até 07 de agosto de 1951, os municípios não tinham a obrigação de possuir registo das construções existentes, o que implica nem sempre haver em arquivo documentos que comprovem a data de construção de edifícios anteriores a essa data., Assim, em alguns casos, podemos encontrar documentos com pedido de licença para a obras só após esta data, uma vez que só com a entrada em vigor do Regulamento Geral das Edificações Urbanas¹⁶, os municípios passaram a exigir as licenças de utilização e construção dos edifícios.

3.2.1 Caso de estudo nº 01

O primeiro caso consiste na torre localizada na rua do Passeio Alegre anexa ao edifício nº 494, Foz do Douro, em frente à Capela Nossa Senhora da Lapa, na freguesia da Foz do Douro. Trata-se de um edifício que foi classificado em 1951 como Imóvel de Interesse Público (IIP). O

¹⁴ Encontram-se documentos físicos relacionados com edifícios cujos pedidos de licença são anteriores a 1948.

¹⁵ Encontram-se documentos físicos relacionados aos edifícios cujos pedidos de licença são posteriores a 1949.

¹⁶ Confrontar em anexos (http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1217&tabela=leis (01/09/2017 às 13h45)).

conjunto da edificação é conhecido como Torre, Capela ou Ermida de São Miguel-O-Anjo¹⁷ edificado entre 1527 e 1546 e projetado por Francisco da Cremona, mestre pedreiro discípulo de Rafael que trabalharia em exclusivo para o futuro bispo de Viseu em terras lusas (Moura, 2009). O conjunto integra a capela de São Miguel-o-Anjo, construída como um "torreão", sendo coberta por cúpula oitavada onde foi então edificado o farol¹⁸, já destruído. Apresenta uma inscrição latina incrustada na parede voltada para o rio, que traduzida diz: "Miguel da Silva, bispo eleito de Viseu, mandou construir esta torre para dirigir a navegação, ele mesmo deu e consignou campos comprados com o seu dinheiro, com o rendimento dos quais foram acesos fogos de noite perpetuamente na torre, no ano de 1527". Em 1841, foi construído um edifício anexo¹⁹ à Capela-Farol, para aí instalar um posto da Guarda-Fiscal e, finalmente, em 1852 ergueu-se uma torre²⁰ em cantaria de granito, revestida por azulejos, distribuída ao longo do rés-do-chão e mais dois pavimentos onde outrora funcionava uma estação telegráfica.

A amostra foi recolhida da fachada lateral da torre por um funcionário da empresa LUSOCOL – Reabilitações de Edifícios Antigos e Monumentos Lda., que, gentilmente cedeu uma amostra que estava solta. Esta apresenta uma coloração negra, com odor característico ao alcatrão e apresenta vestígios de pequenos fragmentos de pedra e argamassa de assentamento. Não foi possível obter mais amostras, uma vez que o responsável pela obra não autorizou a recolha de mais de um exemplar para não danificar ainda mais o edifício que necessita de conservação.


Caso de Estudo nº 01	
Proprietário: Público.	
Localização: Rua do Passeio Alegre nº 494.	
Freguesia: Foz do Douro.	
Ponto de Referência: Capela Nossa Senhora da Lapa.	
Classificação do Imóvel: IIP – Imóvel de Interesse Público.	
Afetação: serviços.	
Ano de Construção: 1852 (torre).	
Número de Pavimentos: R/C e mais 2 pavimentos.	
Revestimento exterior da fachada: Azulejo.	
Estado de conservação do edifício: Parcialmente degradado com lacunas nas camadas que antecedem a argamassa betuminosa.	
Amostra nº 01	
Local de recolha da amostra: fachada exterior.	
Grau de Dificuldade na Remoção da Amostra A amostra já estava destacada do suporte.	
Data da Recolha da Amostra: 15/11/2016.	




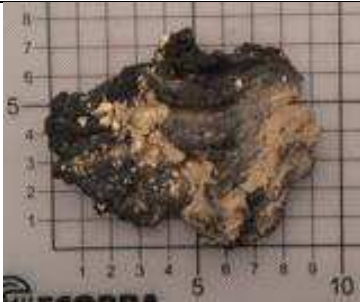
Figura 05 – Vista panorâmica do edifício ©.

¹⁷ DMAH, cota: F-NP/CMP/7/2378; F-NP/CMP/7/2379; F-P/CMP/9/108(40).

¹⁸ DMAH, cota: F-NV/CMP/6/54.

¹⁹ DMAH, cota: F-NP/CMP/7/1601; F-NP/CMP/7/1606.

²⁰ DMAH, cota: D-CDT/C4-19.

Número de amostras obtidas: 01.	
Espessura: A espessura da amostra obtida varia entre 1,6mm à 2,8mm.	
Imagens do local de recolha e das amostras:	
	
Figura 06 - Vista da torre, local de recolha da amostra ©.	Figura 07 – Pormenor do local onde a amostra foi removida ©.
	
Figura 08 - Face da amostra voltada ao exterior ©.	Figura 09 - Face da amostra voltada ao interior ©.

3.1.2 Caso de estudo nº 02







Edifício localizado na Rua Senhora da Luz nº 248/246, Foz do Douro, Porto, esquina com a Rua dos Cadouços, na freguesia da Foz do Douro. Trata-se de um edifício corrente, construído em pedra (granito), de planta aproximadamente retangular distribuída ao longo do rés-do-chão. Não se sabe a data de arranque da sua construção, cuja afetação seria comercial, por se tratar de um edifício construído em data anterior a 1951. Na Divisão Municipal do Arquivo Histórico encontramos dois registos, um pedido de licença para a colocação de azulejos na fachada datado de 1834 e outro para construção de divisórias datado de 1950²¹.

O edifício em questão foi demolido, para dar lugar a um edifício de afetação comercial e habitacional, com uma área total de 2.707 m² e volumetria de 4.820 m³, distribuídos ao longo de 6 pavimentos, sendo dois abaixo da linha do rés-do-chão. A recolha das amostras foi efetuada durante o processo de demolição. O prédio está descrito na Conservatória de Registo Predial do Porto sob o n.º 1404/20080805 e inscrito na matriz sob o artigo 623 e 435, da freguesia² da Foz do Douro.

A amostra foi removida da parede meeira do edifício adjacente, com auxílio de ferramentas e apresenta uma coloração negra, com odor característico ao alcatrão em ambas as faces da amostra apresenta reboco. Verificou-se em obra uma segunda camada de argamassa betuminosa no local de recolha da amostra. Não foi possível fotografar, pois apesar de

²¹ DMAH, cota: PT-CMP-AM/PUB/CMPRT/DMU/202/677.1950.

gentilmente o engenheiro responsável permitir a entrada na obra e a recolha do material, contudo não autorizou que fossem capturadas imagens do interior.

<p>Caso de Estudo nº 02</p> <p>Proprietário: Privado.</p> <p>Localização: Rua Senhora da Luz nº 246/248.</p> <p>Freguesia: Foz do Douro</p> <p>Ponto de Referência: Esquina com a Rua dos Cadouços-</p> <p>Classificação do Imóvel: Habitação corrente.</p> <p>Afetação: Comércio.</p> <p>Ano de Construção: Posterior a 1834.</p> <p>Número de Pavimentos: R/C.</p> <p>Revestimento exterior da fachada: Azulejo.</p> <p>Estado de conservação do edifício: Demolido.</p>	 <p>Figura 10 – Vista panorâmica do edifício²² © Google Maps.</p>	
<p>Amostra nº 02</p>		
<p>Local de recolha da amostra: Parede de meeira.</p>		
<p>Grau de Dificuldade na Remoção da Amostra: A amostra foi removida com ferramentas, apresentou muita resistência na remoção.</p>		
<p>Data da Recolha da Amostra: 16/11/2016.</p>		
<p>Número de Amostras: 02.</p>		
<p>Espessura: A espessura das amostras obtidas varia entre 2mm e 12mm.</p>		
<p>Obs* Não foi permitido fotografar dentro da obra. Durante a recolha da amostra verificou-se a presença de uma segunda camada de argamassa betuminosa.</p>		
<p>Imagens do local de recolha e das amostras:</p>		
 <p>Figura 11 – Demolição do edifício / indicação do local de recolha da amostra ©.</p>	 <p>Figura 12 - Nova edificação, em fase de construção ©.</p>	 <p>Figura 13 – Nova edificação, após a conclusão das obras ©.</p>
 <p>Figura 14 - Face da amostra voltada ao exterior ©.</p>		 <p>Figura 15 - Face da amostra voltada ao interior ©.</p>

²²https://www.google.pt/maps/@41.1511389,-8.6766152,3a,75y,18.18h,90t/data=!3m6!1e1!3m4!1s21kvf_7JScFZjgi-HYSLdw!2e0!7i13312!8i6656 (29/09/2017 às 14h45)

3.1.3 Caso de estudo nº 03

Trata-se de um edifício localizado na Rua Francisco da Rocha Soares nº 33, na freguesia de Miragaia, Porto, próximo a Rua de Tomás Gonzaga. Trata-se de um edifício corrente, construído em pedra (granito), com uma planta aproximadamente retangular, e que conta com uma cave, rés-do-chão e mais dois pavimentos. Nos Arquivos da Cidade do Porto não existem dados suficientes quanto à sua construção. O atual proprietário permitiu a leitura da caderneta predial do edifício onde encontramos no ano de construção a seguinte referência: construção anterior a 1951.

Atualmente, o edifício encontra-se em estado avançado de degradação, restando apenas na sua fachada vestígios de azulejos e pintura. O atual proprietário pretende remodelar o prédio e manter a sua afetação.

Na Divisão Municipal de Arquivo Geral do Porto encontrámos dois pedidos de licenças um datado de 05 de julho de 1903²³ solicitando autorização para alterar as janelas, e outro de 19 de dezembro de 1960²⁴ é pedido uma licença para a remodelação do edifício e o levantamento do telhado. Existe ainda um pedido de alvará sanitário, datado de 10 de fevereiro de 1965²⁵, requerendo a ligação das águas pluviais à rede existente.

A amostra de argamassa betuminosa foi removida apenas exercendo pressão com as mãos. Apresenta uma coloração negra, com odor característico ao alcatrão, mostrou-se frágil e quebradiça após a sua remoção.


Caso de Estudo nº 03	
Proprietário: Privado.	
Localização: Rua Francisco da Rocha Soares nº 33.	
Freguesia: Miragaia.	
Ponto de Referência: Próximo a Rua de Tomás Gonzaga.	
Classificação do Imóvel: Habitação corrente.	
Afetação: Alojamento.	
Ano de Construção: Anterior à 1903.	
Número de Pavimentos: cave, R/C e mais 2 pavimentos.	
Revestimento exterior da fachada: Azulejos e pintura.	
Estado de conservação do edifício: Degradado.	
Amostra nº 03	
Local de recolha da amostra: Fachada frontal.	
Grau de Dificuldade na Remoção da Amostra: A amostra foi removida manualmente apresentou muita resistência na remoção.	
Data da Recolha da Amostra: 17/02/2017.	
Número de amostras obtidas: 02.	
Espessura: A espessura das amostras obtidas varia entre 3mm e 5mm.	
Imagens do local de recolha e das amostras:	

Figura 16 – Vista panorâmica do edifício ©.

²³ DMAH, cota: D-CMP/7(174) - f. 186-190.

²⁴ DMAG, registo nº 650/61.

²⁵ DMAG, registo nº 2775



Figura 17 - Pormenor da argamassa betuminosa ©.

Figura 18 - Face da amostra voltada ao exterior ©.

Figura 19 - Face da amostra voltada ao interior ©.

3.1.4 Caso de estudo nº 04

O quarto caso corresponde ao Palacete Pereira Leite, Visconde de Alcobaça, localizado na Rua das Taipas nº 74, na freguesia de Miragaia, esquina com a Rua de São Miguel e a Rua da Vitória. Trata-se de um edifício nobre, de planta retangular distribuída ao longo de quatro pisos: rés-do-chão e mais três pavimentos. A fachada é rebocada, caiada e pintada. Datado do século XVII, XVIII e XIX²⁶, sofreu alterações ao longo dos séculos, mantendo apenas algumas características da construção da época, incluindo o brasão da família Pereira Leite. No Arquivo Geral do Porto consta o registo de uma licença de obra nº 506/1887 para a limpeza do cano de esgoto, datado de 03/05/1887²⁷. Pela ausência de registos, é difícil datar de forma assertiva a alteração de sua afetação. Sabe-se que foi ocupado por outras famílias, albergou o Clube Inglês que posteriormente passou a sua sede para a Rua das Virtudes nº 11. Encontrámos um pedido de licença datado de 18 de dezembro de 1972²⁸ requerido pela empresa Figueira, Lda., para a construção de várias estufas para armazenamento de bananas, e a criação de um compartimento para arquivo. Segundo dados obtidos no Arquivo Histórico Municipal do Porto, posteriormente teria sido ocupado pela Drogeria Pinheiro & Oliveira²⁹. Atualmente, encontra-se abandonado e deteriorado, com destacamento no reboco da fachada frontal, expondo a argamassa betuminosa, objeto de estudo deste trabalho. A amostra recolhida soltou-se apenas exercendo alguma força com as mãos e apresenta uma coloração negra, com odor característico ao alcatrão; porém aparenta ser mais rígida do que as demais amostras obtidas. Em ambas as faces exibe vestígios de reboco e, na face voltada ao suporte, podemos verificar a presença de fragmentos de pedra.

Caso de Estudo nº 04
Proprietário: Público.
Localização: Rua das Taipas nº 74.
Freguesia: Miragaia.
Ponto de Referência: Esquina com a Rua de São Miguel, antigo local da Judiaria e Rua da Vitória.
Classificação do Imóvel: Habitação nobre.
Afetação: Serviços
Ano de Construção: Séc. XVII - XIX.








Figura 20 – Vista panorâmica do edifício ©.

²⁶ Datação obtida no Arquivo Histórico Municipal do Porto, cota: F-NP/2-GBB/1/87(29).

²⁷ Arquivo Histórico Municipal do Porto, cota: D-CMP/7(102) - f. 85-86.

²⁸ Arquivo Geral da Câmara do Porto, registo nº 22457.

²⁹ Arquivo Histórico Municipal do Porto, cota: F-NP/2-GBB/1/87(29).

Número de Pavimentos: R/C e mais 3 pavimentos.		
Revestimento exterior da fachada: Rebocada, caiada e pintada.		
Estado de conservação do edifício: Degradado		
Amostra nº 04		
Local de recolha da amostra: Fachada frontal		
Grau de Dificuldade na Remoção da Amostra: A amostra foi removida com as mãos, apresentou alguma resistência durante a remoção.		
Data da Recolha da Amostra: 17/02/2017.		
Número de amostras obtidas: 01.		
Espessura: A espessura das amostras obtidas varia entre 2mm e 5mm.		
Imagens do local de recolha e das amostras:		
		
Figura 21 - Pormenor do local de recolha da amostra ©.	Figura 22 - Face da amostra voltada ao exterior ©.	Figura 23 - Face da amostra voltada ao interior ©.
		
Figura 24 – Vista do edifício³⁰ ©Arquivo Histórico Municipal do Porto.	Figura 25 - Imagem do edifício³¹ ©Porto Sombrio.	

3.1.5 Caso de estudo nº 05

O edifício nobre encontra-se localizado no Largo do Moinho de Vento nº 1, freguesia de Vitória, esquina com a Rua de Sá de Noronha. Construído no século XVII, sofreu remodelações no decorrer dos séculos, apresenta planta retangular distribuída ao longo de três pavimentos: rés-do-chão, primeiro piso e um pequeno sótão. Em 22 de março de 1922³² foi solicitada uma licença de obras para a reparação da empena e em 11 de abril de 1923³³ para terraplanar o pavimento, colocação de azulejos, caiar e pintar. O edifício, que até então se encontrava degradado e vandalizado, foi demolido para dar lugar a um hotel, tendo sido preservada apenas a fachada. A sua afetação não é referenciada nos dados históricos, mas pressupõe-se que se destinava ao uso habitacional, segundo informações orais.





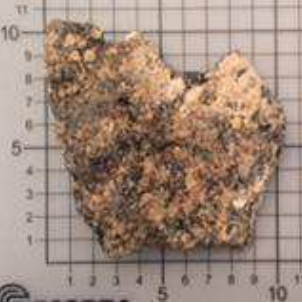
³⁰ Arquivo Histórico Municipal do Porto, cota: F-NP/CMP/4/2096.

³¹ <http://portosombrio.blogspot.pt/2014/08/este-palacete-tal-como-o-vizinho.html> (19/09/2017 às 22h).

³² Arquivo Histórico da Câmara do Porto, cota: D-CMP/9(335) - f. 141-143.

³³ Arquivo Histórico Municipal, cota: D-CMP/9(371) - f. 219-221.

A argamassa betuminosa, que apresenta uma coloração negra e o odor característico do alcatrão, exibe ainda vestígios de reboco em ambas as faces. A amostra foi recolhida da parte posterior da fachada frontal do edifício tendo-se destacado do suporte com muita facilidade.

Caso de Estudo nº 05	 <p>Figura 26 - Fachada frontal antes da intervenção ©Porto Sombrio.</p>
Proprietário: Privado.	
Localização: Largo do Moinho de Vento nº 1.	
Freguesia: Vitória.	
Ponto de Referência: Esquina com a Rua de Sá de Noronha.	
Classificação do Imóvel: Habitação corrente.	
Afetação: Habitacional.	
Ano de Construção: Século XVIII (?).	
Número de Pavimentos: R/C e mais 2 pavimentos.	
Revestimento exterior da fachada: Azulejo.	
Estado de conservação do edifício: Degradado e vandalizado.	
Amostra nº 05	
Local de recolha da amostra: Parte posterior da fachada frontal.	
Grau de Dificuldade na Remoção da Amostra: A amostra destacou do suporte com muita facilidade.	
Data da Recolha da Amostra: Habitação corrente.	
Número de amostras obtidas: 05.	
Espessura: A espessura das amostras obtidas varia entre 2mm à 5mm	
Imagens do local de recolha e das amostras:	
 <p>Figura 27 - Vista da parede interna da fachada frontal. Local de recolha da amostra circulado em rosa.</p>	 <p>Figura 28 - Pormenor do local da recolha da amostra.</p>
 <p>Figura 29 - Face da amostra voltada ao exterior.</p>	 <p>Figura 30 - Face da amostra voltada ao interior.</p>

3.1.6 Caso de estudo nº 06

O edifício localiza-se na baixa do Porto na Rua José Falcão nº 144³⁴, freguesia de Vitória, entre a Rua da Conceição e a Rua de Ceuta. Trata-se de um edifício corrente de gaveto, executado em alvenaria de pedra (granito), com uma planta aproximadamente retangular e uma área total de cerca de 1000 m², distribuída ao longo de quatro pisos: rés-do-chão, *mezanino* e mais dois pavimentos. Possui fachada em azulejo e o seu interior encontra-se rebocado e pintado. O edifício é originalmente datado do final do século XIX e início do século XX, conforme datas inscritas na fachada frontal do mesmo, 1895 – 1914, sendo que a data encontrada na licença de construção do edifício aponta para o dia 03 de fevereiro de 1913³⁵. Inicialmente, o edifício albergava uma tipografia que ocupava os primeiros pisos, ou seja, rés-do-chão e *mezanino*, e um alojamento localizado nos últimos dois pavimentos. Atualmente o edifício encontra-se desocupado, mas sabe-se que será reabilitado e sua afetação será mantida.





A escolha do edifício baseou-se no fato de ser uma construção do período cronológico em que se enquadra o presente estudo. Apesar de o edifício se encontrar deteriorado apresentando visualmente a necessidade de obras, as amostras de argamassa betuminosa foram obtidas nos locais descritos nos pontos seguintes:

- **Amostra nº 06** – foi removida da parede do patamar intermediário da escada de acesso ao *mezanino*. A amostra destacou-se com facilidade do suporte. A argamassa betuminosa que apresenta uma coloração negra, com o odor característico do alcatrão, mostrou-se frágil fraturando com facilidade. Na face voltada ao exterior apresenta vestígios de argamassa a base de cal e na face interior, em contato com a alvenaria, podemos observar a presença de argamassa bastarda por toda a superfície da amostra. O suporte em pedra (granito) encontrava-se seco e estável.
- **Amostra nº 07** – foi removida à cota baixa da parede localizada do rés-do-chão. A amostra foi recolhida com auxílio de ferramentas, necessitando de uma certa força para sua remoção. A argamassa betuminosa que apresenta uma coloração negra, com odor característico ao alcatrão, mostrou-se frágil e quebradiça após a sua remoção. O suporte encontrava-se húmido e estável.
- **Amostra nº 08** – foi removida da parede meeira próxima à divisória localizada no *mezanino*. Após a abertura da janela de sondagem, verificou-se a presença de tijolos. Segundo informações obtidas no local, estes foram aplicados para fechar uma abertura existente. A amostra, que foi removida sem dificuldade, apenas com exercendo uma certa pressão com as mãos. Apresenta uma coloração negra, com o odor característico do alcatrão. Na face exterior, encontramos apenas vestígios de reboco e na sua face voltada ao suporte observa-se a presença do reboco em toda a superfície.
- **Amostra nº 12** – localizada numa parede sã da parede meeira do *mezanino*, próximo a escada em caracol. A janela de sondagem foi aberta no dia da recolha da amostra com o auxílio de ferramentas. Durante o processo de remoção a argamassa betuminosa que apresenta uma coloração negra, com odor característico ao alcatrão,

³⁴ As informações sobre a edificação foram gentilmente facultadas pela empresa de consultoria em reabilitação do edificado e património NCREP.

³⁵ Arquivo Histórico Municipal do Porto, cota: D-CMP/9(143) - f. 353-360.





encontrava-se bem aderida tanto ao suporte quanto a camada de revestimento final. Porém ao ser removida apresentou-se frágil e quebradiça. O suporte encontrava-se húmido, o que demonstra que a argamassa betuminosa, neste caso, cumpriu a função de impermeabilizante não permitindo a passagem da humidade à superfície. Encontrámos no interior do suporte em pedra (granito) um pedaço de madeira, não estrutural, completamente húmido e bem aderido à argamassa betuminosa.

<p>Caso de Estudo nº 06</p> <p>Proprietário: Privado.</p> <p>Localização: Rua José Falcão nº 144.</p> <p>Freguesia: Vitória.</p> <p>Ponto de Referência: Entre a Rua de Ceuta e a Rua da Conceição.</p> <p>Classificação do Imóvel: Habitação corrente.</p> <p>Afetação: Serviços (R/C e mezanino) e alojamento (pisos 3 e 4).</p> <p>Ano de Construção: O edifício data originalmente do fim do século XIX início do século XX, conforme as datas inscritas na fachada frontal. Datado no Termo de Responsabilidade 1913³⁶.</p> <p>Número de Pavimentos: R/C e mais 3 pisos (mezanino e mais dois pavimentos).</p> <p>Revestimento exterior da fachada: Azulejo.</p> <p>Estado de conservação do edifício: Deteriorado, necessita de obras.</p>	 <p>Figura 31 - Fachada frontal ©.</p>	
<p>Amostra nº 06</p>		
<p>Local de recolha da amostra: Parede meeira do patamar intermédio da escada - argamassa betuminosa exposta devido à abertura de uma janela de sondagem já existente.</p>		
<p>Revestimento interior: Rebocada e pintada.</p>		
<p>Grau de Dificuldade na Remoção da Amostra: A amostra foi removida manualmente, apresentou muita resistência à remoção.</p>		
<p>Data da Recolha da Amostra: 31/03/2017</p>		
<p>Número de amostras obtidas: 10.</p>		
<p>Espessura: A espessura das amostras varia entre 3mm à 5mm.</p>		
<p>Imagens do local de recolha e das amostras:</p>		
		
<p>Figura 32 - Pormenor do local de recolha da amostra (patamar intermédio) ©.</p>	<p>Figura 33 - Face da argamassa voltada ao exterior ©.</p>	<p>Figura 34 - Face da argamassa voltada ao interior ©.</p>
<p>Amostra nº 07</p>		
<p>Local da recolha da amostra: Cota inferior do piso no R/C – argamassa betuminosa exposta devido à abertura de uma janela de sondagem já existente</p>		
<p>Revestimento interior: Rebocada e pintada.</p>		

³⁶ Arquivo Histórico Municipal do Porto, cota: D-CMP/9(143) - f. 353-360.


Grau de Dificuldade na Remoção da Amostra: A amostra foi removida com o auxílio de ferramentas, apresentou muita resistência na remoção.		
Data da Recolha da Amostra: 31/03/2017.		
Número de amostras obtidas: 06.		
Espessura: A espessura das amostras varia de 3,5mm à 17mm.		
Imagens do local de recolha e das amostras:		
		
Figura 35 - Pormenor do local de recolha da amostra, cota inferior do R/C ©.	Figura 36 - Remoção da argamassa ©.	
		
Figura 37 - Face da argamassa voltada ao exterior ©.	Figura 38 - Face da argamassa voltada ao interior ©.	
Amostra nº 08		
Local da recolha da amostra: Parede meeira próxima a divisória do mezanino – argamassa betuminosa exposta devido à abertura de uma janela de sondagem já existente.		
Revestimento interior: rebocada e pintada.		
Grau de Dificuldade na Remoção da Amostra: A amostra foi removida com as mãos, apresentou muita resistência à remoção.		
Data da Recolha da Amostra: 31/03/2017.		
Número de amostras obtidas: 09.		
Espessura: Das amostras obtidas, verificou-se que a espessura varia entre 4,5mm à 9mm.		
Imagens do local da recolha e das amostras:		
		
Figura 39 - Pormenor da parede de meeira - divisão do mezanino ©.	Figura 40 - Face da amostra voltada ao exterior ©.	Figura 41 - Face da amostra voltada ao interior ©.
Obs* parede não estural preenchida a posteriore com tijolos com o intuito de fechar uma abertura ³⁷ .		
Amostra nº 12		
Local da recolha da amostra: Parede de meeira do mezanino próximo a escada em caracol – parede sã (abriu-se uma janela de sondagem para este estudo).		
Revestimento interior: Argamassa tradicional e pintura.		
Grau de Dificuldade na Remoção da Amostra: A amostra foi removida com auxílio de ferramentas.		
Data da Recolha da Amostra: 10/04/2017.		
Número de amostras obtidas: 06.		

³⁷ Informação obtida em obra.

Espessura: A espessura da amostra obtida varia entre 1,8mm à 12mm.			
Imagens do local de recolha e das amostras:			
			
Figura 42 - Pormenor da parede de meeira próximo à escada em caracol ©.	Figura 43 - Face da amostra voltada ao exterior ©.	Figura 44 - Face da amostra voltada ao interior ©.	Figura 45 - Segunda camada da argamassa betuminosa ©.
Obs.* Neste caso, encontramos uma segunda camada de argamassa betuminosa			





3.1.7 Caso de estudo nº 07

A amostra nº9, correspondente ao caso de estudo nº 07, foi recolhida de um edifício localizado na Rua João Grave nº 74, na freguesia de Lordelo do Ouro, próximo ao McDonald's da Avenida da Boavista. Trata-se de um edifício corrente, de planta retangular, construído em alvenaria de pedra (granito). A licença para a sua edificação foi concedida em 02 de abril de 1898³⁸, para fins habitacionais. Em 11 de dezembro de 1931³⁹ foi concedida a licença para rebocar, caiar e pintar. Atualmente, o edifício encontra-se abandonado e em avançado estado de degradação; o seu interior está em completa ruína, restando apenas na fachada frontal com vestígios de azulejos. A argamassa betuminosa está completamente exposta e é possível verificar que, nas zonas com lacunas, a argamassa parece enrolar, devido a exposição solar, que torna o material maleável. A argamassa foi removida exercendo apenas alguma pressão com as mãos e apresenta coloração negra e o odor característico do alcatrão.

Caso de Estudo nº 07	
Proprietário: Privado.	
Localização: Rua João Grave nº 74.	
Freguesia: Lordelo do Ouro.	
Ponto de Referência: Próximo ao McDonald's da Avenida da Boavista.	
Classificação do Imóvel: Habitação corrente.	
Afetação: Habitacional.	
Ano de Construção: 1898.	
Número de Pavimentos: R/C e mais 1 pavimento.	
Revestimento exterior da fachada: Azulejo.	
Estado de conservação do edifício: Degradado.	
Figura 46 - Fachada frontal do edifício ©.	
Amostra nº 09	
Local de recolha da amostra: Fachada frontal.	
Grau de Dificuldade na Remoção da Amostra: A amostra foi removida com as mãos, apresentou alguma resistência na remoção.	
Data da Recolha da Amostra: 31/03/2017.	
Número de amostras obtidas: 03.	

³⁸ DMAH, cota nº D-CMP/7(152) - f. 38-42

³⁹ DMAH, cota nº D-CMP/9(627) - f. 453-456.

Espessura: A espessura das amostras obtidas varia entre 3mm e 17mm.	
Imagens do local de recolha e das amostras:	
	
Figura 47 - Pormenor da argamassa betuminosa. Nota-se que a argamassa está a enrolar ©.	Figura 48 - Pormenor do revestimento final ©.
	
Figura 49 - Face da argamassa voltada ao exterior ©.	Figura 50 - Face da argamassa voltada ao interior ©.

3.1.8 Caso de estudo nº 08

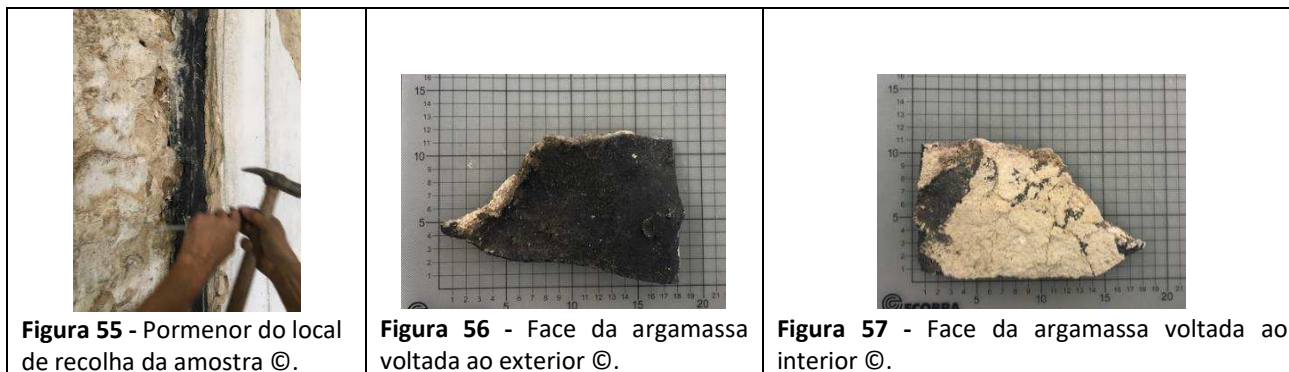
A escolha do edifício baseou-se no fato de apresentar argamassa betuminosa em seu exterior e interior; situa-se na Rua Padre Luís Cabral nº 1016, na freguesia da Foz do Douro, esquina com a rua pedonal Dom Miguel da Silva. Não existe qualquer tipo de registo na Arquivo Municipal do Porto acerca deste edifício, o que dificulta a datação do mesmo. O atual processo não pode ser consultado, por se encontrar ativo e só poderá ser consulto após a conclusão das obras. É um edifício antigo de cariz habitacional, que se encontra em mau estado de conservação, em ruína parcial, que até então estava abandonado. Conta com uma planta aproximadamente retangular, distribuída ao longo do rés-do-chão e mais um pavimento com uma área de construção aproximadamente de 339 m², construído em cantaria em pedra (granito). Em visita ao local, observou-se que o terreno de aproximadamente 610 m² é profundo e estreito, conta com anexos dissonantes da construção tradicional, sem qualquer relevância arquitetónica ou histórica, que foram construídos, com materiais modernos tais como tijolos, vergalhões de aço e cobertura de chapa ondulada, numa fase posterior pelos moradores anteriores, e será removido na atual ação de reabilitação do imóvel.

As amostras de argamassa betuminosa recolhidas deste edifício foram as seguintes:

- **Amostra nº 10** – A amostra de argamassa, de coloração negra e odor a alcatrão, foi removida da fachada lateral direita do edifício, numa área exposta. Estava recoberta por uma argamassa cimentícia que se destacou com facilidade da mesma; na face voltada ao suporte podemos verificar resíduos de reboco de cal. Referente à recolha da argamassa, foi necessário exercer uma certa pressão com as mãos para a sua remoção.
- **Amostra nº 11** – A amostra foi recolhida da parede interior do edifício que se encontrava em mau estado de conservação apresentando destacamento do reboco a alvenaria em pedra exposta. Tornou-se necessário remove-la com auxílio de um

martelo e pudemos verificar que o suporte se encontrava seco. A face da amostra voltada para o suporte apresentava vestígios de reboco. A argamassa continha as características desejadas para este presente estudo.


Caso de Estudo nº 08		
Proprietário: Privado.		
Localização: Rua Padre Luís Cabral nº 1016.		
Freguesia: Foz do Douro.		
Ponto de Referência: Esquina com a Rua de Dom Miguel da Silva.		
Classificação do Imóvel: Habitação corrente.		
Afetação: Habitacional.		
Ano de Construção: Não consta registo.		
Número de Pavimentos: R/C e mais 1 pavimento.		
Revestimento exterior da fachada: Pintura.		
Estado de conservação do edifício: Degradado.		
Amostra nº 10		
Local de recolha da amostra: Fachada lateral.		
Revestimento exterior: Argamassa cimentícia e pintura.		
Grau de Dificuldade na Remoção da Amostra: A amostra foi removida com as mãos, muita resistência na remoção.		
Data da Recolha da Amostra: 11/04/2017.		
Número de amostras obtidas: 01.		
Espessura: A espessura das amostras obtidas varia entre 5mm e 23mm.		
Imagens do local de recolha e das amostras:		
		
Figura 52 - Pormenor do local de recolha da amostra ©.	Figura 53 - Face da argamassa voltada ao exterior ©.	Figura 54 - Face da argamassa voltada ao interior ©.
Amostra nº 11		
Local da recolha da amostra: cota inferior do piso no R/C – argamassa betuminosa exposta devido à abertura de uma janela de sondagem já existente		
Revestimento interior: argamassa tradicional e pintura		
Grau de Dificuldade na Remoção da Amostra: A amostra foi removida com o auxílio de ferramentas, muita resistência na remoção.		
Data da Recolha da Amostra: 11/04/2017		
Número de amostras obtidas: 12.		
Espessura: A espessura das amostras obtidas varia de 2mm e 28mm.		
Imagens do local de recolha e das amostras:		



3.1.9 Caso de estudo nº 09

A amostra nº 13, correspondente ao caso de estudo nº 09, foi recolhida de um edifício localizado na Rua da Torrinha nº 64, na freguesia de Cedofeita, próximo a Rua de Breiner. Este integra-se num conjunto de casas que sofreu remodelações, de planta retangular distribuído ao longo de quatro pisos: rés-do-chão e mais três pavimentos. Possui fachada rebocada, caiada e pintada. Provavelmente do século XVII, sofreu alterações ao longo dos séculos, mantendo apenas algumas características da construção da época incluindo o brasão da família Leite. Consta o registo no Arquivo Municipal do Porto, uma licença de obra nº 506/1887, para a limpeza do cano de esgoto, datado de 03/05/1887⁴⁰. Pela ausência de registos é difícil datar de forma assertiva a alteração de sua afetação. Sabe-se que foi ocupado por outras famílias, albergou o Clube Inglês que posteriormente passou a sua sede para a Rua das Virtudes nº 11 e foi ocupado por uma drogaria.

Atualmente, encontra-se abandonado e deteriorado, com inúmeras lacunas no reboco da fachada frontal, expondo a argamassa betuminosa, objeto de estudo deste trabalho. A amostra recolhida soltou-se apenas exercendo alguma força com as mãos. Apresenta uma coloração negra, com odor característico ao alcatrão. Na face voltada ao suporte, apresenta vestígio de reboco.

Caso de Estudo nº 09	 <p>Figura 58 - Vista da fachada lateral do edifício ©.</p>
Proprietário: Privado.	
Localização: Rua da Torrinha nº 64 a 72.	
Freguesia: Cedofeita	
Ponto de Referência: Próximo a Rua do Breiner.	
Classificação do Imóvel: Habitação corrente.	
Afetação: Habitacional.	
Ano de Construção: Século XVIII(?).	
Número de Pavimentos: R/C e mais 1 pavimento.	
Revestimento exterior da fachada: Azulejo.	
Estado de conservação do edifício: Necessita de obras de conservação.	
Amostra nº 13	
Local de recolha da amostra: Fachada lateral.	


⁴⁰ DMAH, cota nº D-CMP/7(102) - f. 85-86.

Grau de Dificuldade na Remoção da Amostra: A amostra foi removida com as mãos, muita resistência na remoção.		
Data da Recolha da Amostra: 31/03/2017.		
Número de amostras obtidas: 01.		
Espessura: A espessura das amostras obtidas varia entre 2mm e 5mm.		
Imagens do local de recolha e das amostras:		
 <p>Figura 59 - Pormenor do local da amostra ©.</p>	 <p>Figura 60 - Face da amostra voltada ao exterior ©.</p>	 <p>Figura 61 - Face da argamassa voltada ao interior ©.</p>

3.1.10 Caso de estudo nº 10




A amostra nº 14, correspondente ao caso de estudo nº 10, foi recolhida de um edifício localizado na Rua Fonte da Luz nº 22, na freguesia da Foz do Douro, Porto, próximo a Rua da Cerca. Trata-se de um edifício corrente, construído em alvenaria de pedra (granito) e sua planta era aproximadamente retangular; conta com rés-do-chão e mais dois pavimentos. Não existem dados suficientes quanto à construção do edifício nos Arquivos da Cidade do Porto. O único processo encontrado acerca deste edifício encontra-se Divisão Municipal de Arquivo Geral, datado de 12 de fevereiro de 1958⁴¹ com o pedido de remodelação do edifício, mantendo as paredes estruturais.

A amostra de argamassa betuminosa foi removida, da fachada frontal, com as mãos tendo sido necessário exercer alguma pressão para sua remoção; apresenta uma coloração negra, com odor característico ao alcatrão, mostrou-se frágil e quebradiça após a sua remoção.

Caso de Estudo nº 10	 <p>Figura 62 - Fachada frontal do edifício ©.</p>
Proprietário: Privado.	
Localização: Rua Fonte da Luz nº 22.	
Freguesia: Foz do Douro	
Ponto de Referência: Próximo a Rua da Cerca.	
Classificação do Imóvel: Habitação corrente.	
Afetação: Habitacional	
Ano de Construção: Anterior a 1958.	
Número de Pavimentos: Cave, R/C e mais 2 pavimentos.	
Revestimento exterior da fachada: Pintura.	
Estado de conservação do edifício: Necessita de conservação.	
Amostra nº 14	
Local de recolha da amostra: Fachada frontal.	
Grau de Dificuldade na Remoção da Amostra: A amostra foi removida com as mãos, apresentou muita resistência na remoção.	

⁴¹ Divisão Municipal de Arquivo Geral. Licença de obra nº 75/1959.

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

Data da Recolha da Amostra: 10/04/2017.		
Número de amostras obtidas: 01.		
Espessura: A espessura da amostra obtida varia entre 3mm e 5mm.		
Imagens do local de recolha e das amostras:		
		
Figura 63 - Pormenor do local da recolha da amostra ©.	Figura 64 - Face da amostra voltada ao exterior ©.	Figura 65 - Face da amostra voltada ao interior ©.

3.2 Síntese do capítulo

Este capítulo aborda os edifícios selecionados que constituem os casos de estudo desta dissertação. Salienta-se a dificuldade em conseguir informação sobre cada um dos edifícios, principalmente no que toca à datação dos imóveis, bem como à dificuldade em conseguir as autorizações para a recolha das amostras e grau de dificuldade durante o processo de remoção. Em muitos casos, mesmo o edifício encontrando-se degradado, os proprietários não autorizaram a recolha de um número significativo de amostras. Na informação prestada, referem-se ainda algumas características gerais das amostras, como o odor e o grau de dificuldade na remoção das amostras.

Dos dez casos de estudo, conseguiram um total de catorze amostras que foram sujeitas a análises químicas, para caracterização do material aglutinante através das técnicas de microespectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (micro-FTIR) e pirólise seguida de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (Py-GC-MS), e análises hídricas, para verificar a aptidão dos materiais no que se refere à transferência de água líquida (permeabilidade), teor de humidade de saturação e coeficiente de absorção capilar.

Capítulo IV – Caracterização Química de Argamassa Betuminosa

4.0 Introdução às análises químicas

Com intuito de estudar a composição química das amostras recolhidas, realizaram-se diversos exames para a identificação dos materiais constituintes das amostras de argamassa betuminosa. Assim, cada uma das amostras foi analisada por micro-FTIR e Py-GC-MS, sem a necessidade de qualquer tipo de preparação da mesma. Com a análise por micro-FTIR pretendeu-se verificar se o material orgânico utilizado como aglutinante da argamassa em estudo era ou não do mesmo tipo. Com o estudo das amostras por Py-GC-MS, foi averiguada a natureza do aglutinante, isto é, se tinha origem em asfalto natural, em asfalto obtido a partir da hulha, na destilação de resinas ou uma outra qualquer.

4.1 Micro-espectroscopia de refletância total atenuada (micro-FTIR)

A espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) é uma técnica de espectroscopia vibracional, com uma vasta aplicação na análise de amostras dos mais variados tipos de objetos patrimoniais ou artísticos. Com esta técnica é possível estudar os constituintes orgânicos e inorgânicos presentes nos mais variados tipos de revestimentos e policromias, sendo possível identificação de documentos, cargas, aglutinantes, produtos de degradação entre outros possíveis constituintes (Derrick, Landry & Stulik, 1999/ Humecky, 1988 / Casadio & Toniolo, 2001).

Esta técnica fundamenta-se no fato de a radiação infravermelha ser capaz de produzir transições vibracionais às moléculas. Quando a matéria é irradiada por uma fonte de radiação infravermelha, cuja frequência é a mesma da frequência de vibração de uma ligação química entre dois átomos, a radiação é absorvida. Deste modo, ao submeter-se uma amostra à radiação infravermelha, num determinado intervalo de frequências, é possível obter um espectro que representa as frequências às quais a radiação foi absorvida, sendo estas diretamente atribuíveis aos grupos funcionais ou ligações químicas presentes nas moléculas que constituem a amostra. Assim, um espectro de infravermelho de um determinado composto é característico dele próprio como uma espécie de impressão digital. Contudo as amostras de bens culturais analisadas por FTIR, normalmente, não são substâncias simples, mas complexas misturas de diferentes compostos, o que dificulta a interpretação de um espectro de infravermelho. Apesar disto, é possível identificar muitos dos materiais constituintes dessas amostras, por comparação com espectros de referência e identificando no espectro as bandas características desses materiais (Derrick, Landry & Stulik, 1999/ Humecky, 1988 / Casadio & Toniolo, 2001).

A espectroscopia de infravermelho é assim uma técnica de análise molecular capaz de diferenciar entre as seguintes classes de materiais orgânicos: óleos, ceras, resinas, proteínas, gomas, lacas, betumes e materiais relacionados e corantes. Em algumas situações, permite identificar o material em si, como é o caso de algumas resinas naturais e sintéticas. (Derrick, Landry & Stulik, 1999)

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuguesas, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

A técnica FTIR é assim um instrumento analítico adequado aos objetivos desta dissertação, pois permite distinguir o tipo de betume, ou seja, de aglutinante utilizado nas amostras de argamassa betuminosa dos edifícios selecionados para este estudo.

A preparação de amostras para análise por FTIR envolve normalmente a sua trituração e mistura com brometo de potássio (KBr) que posteriormente é comprimida obtendo-se uma pastilha, ou a compressão da própria amostra entre duas janelas de diamante (Derrick, Landry & Stulik, 1999 / Humecky, 1988 / Frade, 2006).

Na área da conservação e restauro, devido à diminuta dimensão das amostras é necessário ter-se um microscópio associado ao espectrómetro de infravermelho. Com este sistema, é possível analisar amostras de dimensão microscópica, com um diâmetro mínimo até cerca de 25 µm, utilizando-se normalmente a compressão em célula de diamante como o método de eleição na preparação de amostras para análise. Desta forma, a técnica toma a designação de micro-espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (micro-FTIR) (Derrick, Landry & Stulik, 1999 / Humecky, 1988 / Casadio & Toniolo, 2001).

4.2 Pirólise seguida de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (Py-GC-MS)

A pirólise seguida de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (Py-GC-MS) é uma técnica analítica que resulta da combinação de um método de tratamento de amostra com uma técnica hifenada, a cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (GC-MS). A cromatografia é uma técnica separativa em que os vários componentes de uma mistura complexa podem ser separados através da diferente afinidade de cada um com uma fase estacionária fixada numa coluna cromatográfica. Por sua vez, a espectrometria de massa é uma técnica que permite, na maioria das vezes, a identificação de forma inequívoca de um composto puro através do seu espectro de massa. No caso da GC-MS, a espectrometria de massa funciona como um detetor dos vários componentes da referida mistura que vão saindo à sua vez da coluna cromatográfica (Skoog, West, Holler & Crouch, 2014 / Moldoveanu, 1998 / Languri, 2004).

A pirólise consiste numa forma de efetuar uma degradação térmica de um composto ou mistura, numa atmosfera inerte, geralmente de hélio, na qual cada composto sofre um conjunto de reações levadas a cabo a uma temperatura bastante elevada (normalmente, na ordem dos 500-700 °C). Como produto destas reações formam-se vários compostos que podem ser separados por cromatografia e identificados por espectrometria de massa. A Py-GC-MS é assim um método de análise que permite a identificação de materiais em amostras que normalmente são de difícil análise através de técnicas mais correntes, por serem pouco solúveis, de sensível ou demorado pré-tratamento para a análise, de grande complexidade em termos de mistura. Deste modo uma grande variedade de materiais é possível estudar sem necessidade ou pouca manipulação de amostra, desde os polímeros sintéticos até materiais de origem natural como óleos, ceras, resinas, betumes, entre outros (Moldoveanu, 1998 / Wampler, 2007).

A Py-GC-MS tem um conjunto de aplicações possíveis na área da conservação e restauro. Tem sido utilizada na identificação de diversos tipos de materiais através da identificação de

compostos que são marcadores característicos do material ou pelo reconhecimento de um determinado perfil cromatográfico dos respetivos produtos de pirólise. Assim, em alguns casos faz-se a deteção de uma ou várias substâncias que são características de um material, identificando-o deste modo ou pelo reconhecimento de um dado perfil que o cromatograma desse material apresenta (Moldoveanu, 1998 / Wampler, 2007).

A pirólise do betume natural provoca principalmente a dissociação térmica dos asfaltenos, sendo deste modo os principais produtos de pirólise alcanos e alcenos de cadeia linear e uma série de isómeros de hidrocarbonetos aromáticos mono e policíclicos. Os hopanos, os esteroides aromáticos e os hidrocarbonetos alifáticos acíclicos e cíclicos, que constituem a fração de maltenos, podem ser usados como marcadores geoquímicos⁴² (Languri, 2004).

Segundo uma investigação realizada por Georgina M. Languri em 2004, na análise por Py-GC-MS de betumes naturais detectam-se séries de hidrocarbonetos alifáticos, alquilbenzenos, alquilnaftalenos, alquilbezotiofenos, alquildibenzotiofenos, hopanos, esteroides monoaromáticos e gamacerano (Languri, 2004).

O gamacerano (*gammacerane - (4aS, 6aR, 6aR, 6bR, 8aS, 12aS, 14aR, 14bS) -4, 4, 6a, 6b, 9, 9, 12a, 14b-octamethyl-1,2,3,4a,5,6,6a,7,8,8a,10,11,12,13,14,14a-hexadecahydronicene*) é um triterpeno pentacíclico que pode ser utilizado como biomarcador e/ou marcador geológico para betumes (figura 64). A sua presença está relacionada com condições redutoras e hipersalinas na deposição de matéria orgânica que contribui para a formação do betume natural. Estas condições favorecem o aparecimento de microrganismos que produzem o precursor que origina este composto. Porém, estas condições nem sempre são sinónimos de produção de uma grande quantidade de gamacerano (Kennet, Walters & Moldowan, 2005).

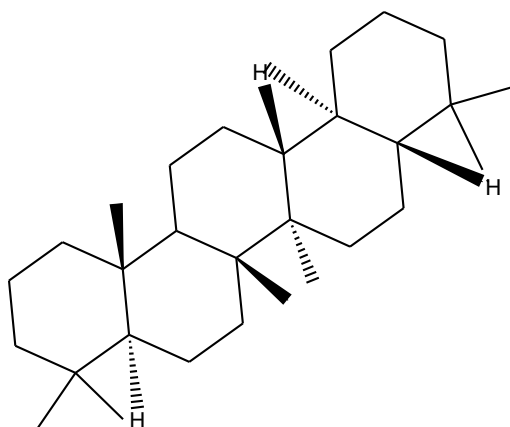


Figura 66 - Estrutura química do gamacerano. Estrutura desenhada com o *software* ChemDraw Ultra 8.0 ©José Calos Frade.

Por seu lado, a pirólise do carvão ou hulha produz uma grande variedade de aromáticos monocíclicos e policíclicos com estruturas baseadas na do naftaleno, fenantreno e antraceno, alcanos e alcenos. O número de produtos de pirólise identificados nos estudos realizados ronda os 200, podendo ser muito mais, dependendo do tipo de carvão, local de origem, entre outros fatores (Moldoveanu, 1998).

⁴² Marcadores geoquímicos são compostos que permitem rastrear a origem geográfica/geológica de um material, como o petróleo, o carvão ou betume.

4.3 Metodologia utilizada para as análises por micro-FTIR e Py-GC-MS

As amostras em estudo foram analisadas primeiro por micro-FTIR⁴³, tendo-se posteriormente efetuado a análise por Py-GC-MS⁴⁴. Para ambas as técnicas não foi realizada preparação prévia das amostras, isto é, não foi feita nenhuma alteração à sua composição química.

No caso das análises micro-FTIR, foi possível selecionar com o microscópio, pontos na amostra onde esta era constituída apenas (ou maioritariamente) por aglutinante. Na tabela 02 apresenta-se a lista das amostras que foram analisadas por micro-FTIR e Py-GC-MS.

Tabela 02 - Amostras analisadas por micro-FTIR e por Py-GC-MS.

Nº da amostra	Descrição	Análise por:	
		Micro-FTIR	Py-GC-MS
01	Caso de estudo nº 1 Rua Passeio Alegre nº494 (fachada lateral – área exposta)	X	X
02	Caso de estudo nº 02 Sra. da Luz nº246/248 (parede de meeira – área exposta devido à obra)	X	X
03	Caso de estudo nº 03 Francisco da Rocha Soares nº33 (fachada frontal – área exposta)	X	X
04	Caso de estudo nº 04 Rua das Taipas nº 74 (fachada frontal – área exposta)	X	
05	Caso de estudo nº 05 Largo do Moinho de Vento nº1 (parede interior da fachada frontal)	X	X
06	Caso de estudo nº 06 Rua José Falcão nº144 (parede de meeira patamar intermédio da escada – janela de sondagem)	X	X
07	Caso de estudo nº 06 Rua José Falcão nº144 (cota inferior do rés-do-chão – janela de sondagem)	X	X
08	Caso de estudo nº 06 Rua José Falcão nº144 (parede de meeira, 1º Piso – mezanino – janela de sondagem)	X	X
09	Caso de estudo nº 07 Rua João Grave nº74 (fachada frontal – área exposta)	X	X
10	Caso de estudo nº 08 Rua Padre Luís Cabral nº1016 (fachada lateral – área degradada)	X	X

⁴³ Micro-FTIR – análises realizadas no laboratório Hércules da Universidade de Évora.

⁴⁴ Py-GC-MS – as análises foram realizadas no Instituto José Figueiredo em Lisboa.

11	Caso de estudo nº 08 Rua Padre Luís Cabral (parede interior – área degradada)	X	X
12	Caso de estudo nº 06 Rua José Falcão (parede de meeira - 1º Piso – mezanino - abertura de uma janela de sondagem, área sã)	X	X
13	Caso de estudo nº 09 Rua da Torrinha nº64 (fachada lateral - área sã)	X	X
14	Caso de estudo nº 10 Rua Fonte da Luz nº22 (parede interior – área sã)	X	X
169	<i>Betuminous coal</i> – amostra de referência de carvão betuminoso (ou hulha) ⁴⁵	X	X

As análises por micro-FTIR foram realizadas com um microespectrómetro de infravermelho *Bruker Hyperion 3000* (figura 65) equipado com um detetor MCT (telureto de mercúrio e cádmio) arrefecido com azoto líquido e com uma objetiva de IV com 15x. Os espectros foram adquiridos no modo de transmissão com uma resolução espectral de 4 cm⁻¹, resultando de uma acumulação de 128 varrimentos, na região espectral 4000-600 cm⁻¹. Para a análise propriamente dita, retirou-se um pequeno fragmento (dimensão inferior a 1 mm) de cada amostra de argamassa betuminosa, tendo este sido posteriormente comprimido numa célula de compressão de diamante, para que a amostra se encontrasse na forma de um filme fino aquando da sua análise.

Para a análise por Py-GC-MS, foi analisado todo o conjunto de amostras, com exceção da amostra nº 04 baseado no resultado obtido por micro-FTIR, que não detetou a presença de material orgânico. Assim, por Py-GC-MS analisaram-se as amostras descritas na tabela 02.

As análises por Py-GC-MS foram realizadas num sistema integrado constituído por um pirolisador de filamento CDS *Pyroprobe 2000* (figura 67), um cromatógrafo gasoso (GC) *Agilent 6890N* e por um espectrómetro de massa (MS) *Agilent 5975N* (figura 66). O cromatógrafo encontra-se equipado com uma coluna DB-5ms, com as seguintes características: 30 m de comprimento; 0,25 mm de diâmetro interno; 0,25 µm de espessura de filme (fase estacionária).

A pirólise das amostras foi realizada a 610 °C, durante 10 s. Cada amostra foi colocada numa barqueta de quartzo e, em seguida, introduzida na interface do pirolisador, onde ocorreu a pirólise. A interface do pirolisador foi mantida a uma temperatura de 250 °C.

O cromatógrafo operou no modo de injeção *split* (22:1), com um fluxo de hélio de 1,0 mL/min e com o seguinte programa de temperaturas do forno:

- Temperatura inicial de 40 °C, mantida durante 2 min;
- Incremento de temperatura a 10 °C/min até aos 300 °C, seguindo-se um período isotérmico de 7 min.

⁴⁵ A amostra pertencente a uma coleção de minerais da Ward's Natural Science, inventariada com o nº 169.

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

O espectrómetro de massa (MS) foi colocado a funcionar em condições de impacto eletrónico (EI), com uma energia de ionização de 70 eV, no modo de varrimento contínuo num intervalo de massa/carga entre 45 m/z e 500 m/z.

A interface entre o GC e o MS, a fonte do MS e o analisador de massa do tipo quádrupolo foram mantidos a 280 °C, 230 °C e 150 °C, respetivamente.

O registo dos dados e o controlo da instrumentação foram efetuados com recurso ao programa *ChemStation* da *Agilent Technologies*. A identificação dos produtos de pirólise foi realizada através da comparação com bibliotecas de espectros de massa da *NIST*⁴⁶ e da *Wiley*⁴⁷.



Figura 67 - Equipamento e microscópio de infravermelho, *Bruker Hyperion 3000*. @José Carlos Frade.



Figura 68 - Equipamento de Py-GC-MS, *Agilent*. @José Carlos Frade.



Figura 69 - Pormenor da sonda de pirólise com uma amostra e barqueta de quartzo inserido no filamento. @José Carlos Frade.

4.4 Apresentação dos resultados obtidos por micro-FTIR

Foram analisadas por micro-FTIR uma amostra de carvão betuminoso utilizada como amostra de referência e 14 amostras de argamassa betuminosa, provenientes de diversos edifícios da cidade do Porto, com o objetivo de se identificar a natureza do seu aglutinante (tabela 02). Os espectros de infravermelho (IV) obtidos encontram-se nas figuras 68 a 84, sendo apresentados

⁴⁶ *National Institute of Standards and Technology*;

⁴⁷ *"Spectrometric Identification of Organic Compounds"*, fifth edition, John Wiley and Sons, 1991.

no formato que melhor permite a visualização das bandas de absorção e a sua interpretação (a maioria encontra-se em transmitância (% T) e em alguns casos em absorvância⁴⁸ (Abs)). Os espectros de IV foram interpretados através do método das frequências de grupo e por comparação com espectros de referência (Derrick, Landry & Stulik, 1999 / Bellamy, 1975 / Coates, 2000 / Marel & Beutelspacher, 1976 / Pouchert, 1978). Nas tabelas 03 a 17, apresenta-se a atribuição das bandas observadas nos espectros de IV obtidos, bem como os materiais identificados em cada amostra.

À exceção da amostra 04, os espectros de IV obtidos de todas as amostras revelam a presença de silicatos e de um material orgânico constituído principalmente por hidrocarbonetos aromáticos. O espectro da maioria das amostras apresenta uma série de bandas que se deve à presença de aluminossilicatos, nomeadamente de minerais argilosos do grupo da caulinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Para além da caulinite, encontram-se presentes outros silicatos, cuja identificação não é possível, devido à sobreposição de bandas destes com as de outros materiais constantes nas amostras ou pela falta de bandas características que permitam a sua identificação por micro-FTIR. Por exemplo, nos espectros das amostras de número 01, 02, 10 e 11 é visível uma banda a 3527 cm^{-1} , que se atribui a uma vibração de alongação em grupos O-H e surge no espectro de vários silicatos (Marel & Beutelspacher, 1976), não sendo nestes casos identificar através do espectro qual o silicato ou grupo de silicatos presente nestas amostras. Também é possível que as amostras contenham quartzo (SiO_2), um silicato que apresenta uma banda intensa e larga por volta de 1080 cm^{-1} , bandas de fraca intensidade a cerca de 795 , 780 e 695 cm^{-1} (Marel & Beutelspacher, 1976), contudo não é possível verificar a sua presença nas amostras analisadas devido à sobreposição das suas bandas de absorção com as dos minerais do grupo da caulinite.

A presença de caulinite e de outros silicatos nas amostras analisadas pode ser explicada pelas cargas inorgânicas constituintes da argamassa. A caulinite é uma argila que se encontra no solo com alguma abundância, em materiais terrosos e mesmo em areia (dependendo da sua origem, embora esta seja maioritariamente constituída por quartzo). Em algumas amostras foi também possível detetar a presença de sulfatos, possivelmente sulfato de cálcio. Este material poderá ser também uma carga da argamassa ou resultar do processo de conversão do carbonato de cálcio (formado durante a carbonatação da cal, nos casos em que se trata de uma argamassa de cal) em sulfato de cálcio, pela ação de poluentes atmosféricos como o dióxido de enxofre (SO_2). A mesma justificação tem a deteção de carbonato de cálcio em algumas amostras, ou seja, este tem origem nas cargas inorgânicas ou na carga empregue na formulação da argamassa betuminosa.

Relativamente ao aglutinante, os espectros de todas as amostras (exceto amostra nº 04) apresentam bandas que se atribuem a vibrações de alongação da ligação C-H e da ligação C=C em compostos aromáticos e a vibrações de deformação C-H em aromáticos. Estas absorções indicam que o material usado como aglutinante nas amostras de argamassa em estudo se trata de um material constituído principalmente por hidrocarbonetos aromáticos.

⁴⁸ Absorvância é a capacidade intrínseca dos materiais em absorver radiações em frequência específica. Usualmente, tal propriedade é empregada na análise de soluções em química analítica. (<https://pt.wikipedia.org/wiki/Absorbância> 26/11/2017 às 11h23).

Por outro lado, os espectros obtidos não apresentam semelhanças com os espectros de resinas vegetais, cujas bandas correspondentes à elongação C-H em grupos metilo (CH₃) são mais intensas do que as bandas atribuídas a grupos metileno (CH₂) (Derrick, Landry & Stulik, 1999), o que não sucede nos espectros de IV adquiridos, em que as bandas devidas aos grupos metileno são mais intensas e as devidas aos grupos metilo são inexistentes ou muito fracas. Desta forma, é possível, com base nestes resultados, colocar a hipótese de que o betume destas amostras não tenha sido produzido a partir de resinas vegetais.

No entanto, é interessante verificar que os espectros de algumas amostras (amostras 01, 05, 07, 08, 09, 10 e 13) apresentam uma banda a cerca de 1700 cm⁻¹, que se deve à elongação do grupo carbonilo (C=O). Esta banda pode estar relacionada com a existência de um outro material orgânico cujos compostos contenham este grupo na sua estrutura ou com a oxidação dos compostos que constituem o aglutinante das amostras de argamassa em estudo. Embora com a análise por micro-FTIR não seja possível compreender porque razão algumas amostras apresentam esta banda, é curioso verificar que o espectro da amostra 10 – recolhida da parede exterior do edifício localizado na rua Padre Luís Cabral – exibe esta banda, enquanto a amostra 11 – retirada do mesmo edifício, mas de uma parede interior – não a apresenta. Com base nesta observação, coloca-se a hipótese de o aglutinante ter sofrido oxidação nas zonas mais expostas.

No que diz respeito à amostra 04, o espectro de IV obtido exibe bandas de absorção características do sulfato de cálcio di-hidratado (CaSO₄.2H₂O) e do carbonato de cálcio, não se detetando qualquer material orgânico. Neste caso, é possível afirmar que o material analisado não tem a mesma composição das restantes amostras e que este não é uma argamassa betuminosa. Quando esta amostra foi recolhida, verificou-se que esta possuía características macroscópicas diferentes das restantes, não havendo certeza se seria mesmo uma argamassa betuminosa. O material analisado encontrava-se aplicado na parede entre duas camadas de argamassa tradicional e, por ter uma coloração negra, pensou-se que poderia ser uma argamassa betuminosa ou um material impermeabilizante de outra natureza. Contudo, o fato de não apresentar qualquer constituinte orgânico na sua composição leva a crer que esta camada negra não tivesse essa função. Desta forma, optou-se por não selecionar esta amostra para análise por Py-GC-MS.

Nas análises efetuadas por micro-FTIR, foi analisada uma referência de carvão betuminoso (amostra 169), tendo-se verificado que o seu espectro é bastante semelhante ao da maioria das amostras recolhidas dos edifícios em estudo. O espectro obtido permitiu identificar igualmente uma mistura complexa de hidrocarbonetos aromáticos e minerais do grupo da caulinite. Este resultado permitiria colocar a hipótese de que o aglutinante utilizado na preparação da argamassa betuminosa, recolhida dos edifícios em estudo, teria uma composição semelhante ao de um carvão betuminoso e que, eventualmente, o betume aplicado nos edifícios seria obtido a partir da destilação do carvão betuminoso (hulha). Contudo, há que ter em conta que, excluindo os betumes obtidos a partir de resinas vegetais, a maioria dos betumes tem composição semelhante (misturas de hidrocarbonetos aromáticos) e, por isso, será também de esperar que os espectros de IV apresentados por estes também sejam similares.

Caso de estudo nº 01 - Amostra 01

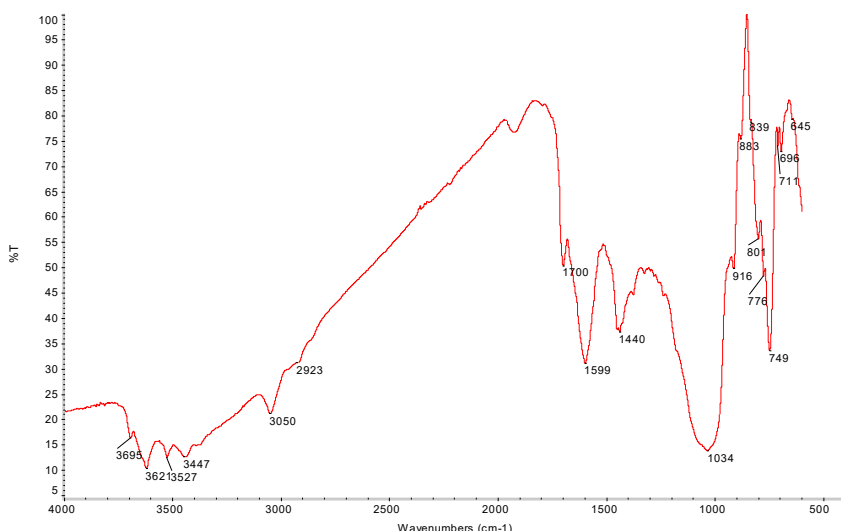


Figura 69 - Espectro de IV da amostra 01.

Tabela 03 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 01.

Nº de onda (cm ⁻¹)	Atribuição da banda	Material identificado
3695, 3621	v(O-H)	Mineral argiloso do grupo da caulinite
3527, 3447	v(O-H)	Silicatos
3050	v(C-H) em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
2923	v(C-H) em grupos CH ₂	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1700	v(C=O)	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1599	v(C=C) em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1440	δ(C-H) em grupos CH ₂	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1034	v(Si-O-Si)	Mineral argiloso do grupo da caulinite
916	δ(OH) em grupos Al-OH	Mineral argiloso do grupo da caulinite
883, 839, 801, 776	δ _{fdp} (C-H) em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
749, 711	δ _{fdp} (C-H) em aromáticos; δ _{fdp} (C-H) em grupos; <i>cis</i> -(HC=CH). CH ₂ <i>rocking</i> .	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
696	δ _{fdp} (C=C) em aromáticos; v(Si-O).	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos; Mineral argiloso do grupo da caulinite

v - Vibração de alongação ou estiramento;

δ - Vibração de deformação;
 δ_{fdp} - Vibração de deformação fora-do-plano.

Caso de estudo nº 02 - Amostra 02

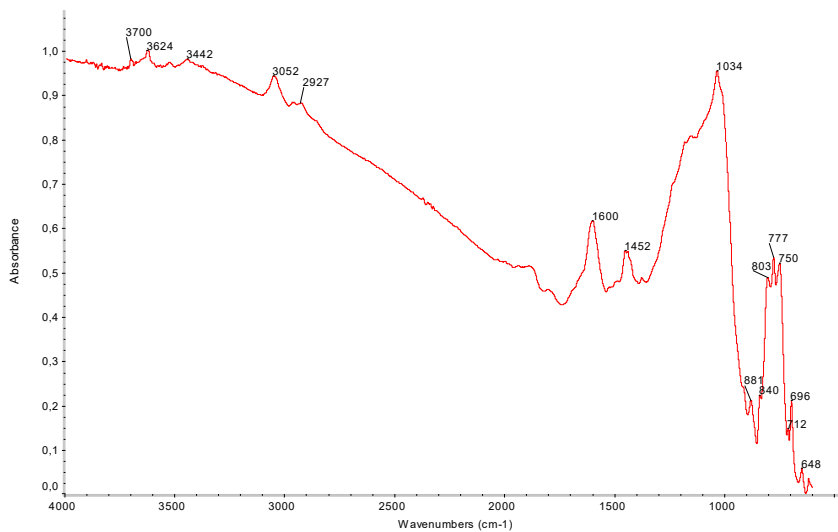


Figura 70 - Espectro de IV da amostra 02 (espectro em absorvância).

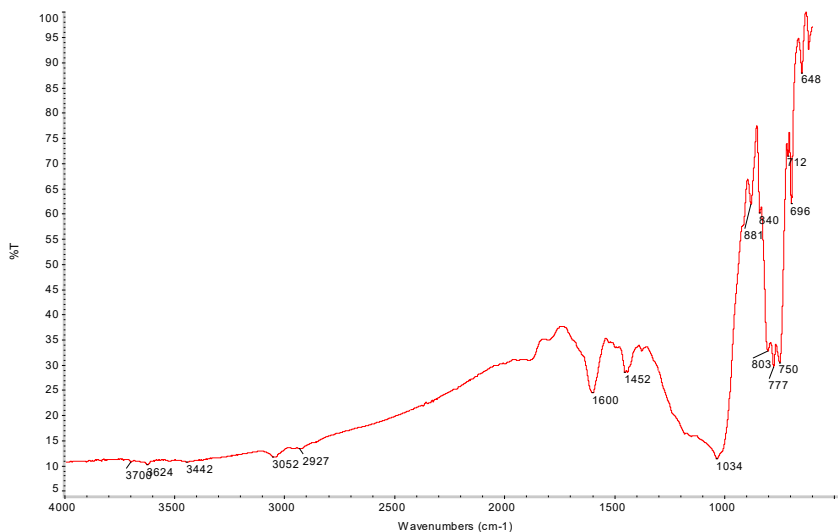


Figura 71 - Espectro de IV da amostra 02 (espectro em transmitância).

Tabela 04 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 02.

Nº de onda (cm ⁻¹)	Atribuição da banda	Material identificado
3700, 3624	v(O-H)	Mineral argiloso do grupo da caulinite
3442	v(O-H)	Silicatos
3052	v(C-H) em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
2927	v(C-H) em grupos CH ₂	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos

1600	$\nu(\text{C}=\text{C})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1452	$\delta(\text{C}-\text{H})$ em grupos CH_2	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1034	$\nu(\text{Si}-\text{O}-\text{Si})$	Mineral argiloso do grupo da caulinite / Silicatos
881, 840, 803, 777	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C}-\text{H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
750, 712	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C}-\text{H})$ em aromáticos; $\delta_{\text{fdp}}(\text{C}-\text{H})$ em grupos <i>cis</i> $-(\text{HC}=\text{CH})-$; CH_2 <i>rocking</i> .	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
696	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C}=\text{C})$ em aromáticos; $\nu(\text{Si}-\text{O})$.	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos; Mineral argiloso do grupo da caulinite / Silicatos.
<p>ν - Vibração de alongação ou estiramento; δ - Vibração de deformação; δ_{fdp} - Vibração de deformação fora-do-plano.</p>		

Caso de estudo nº 03 - Amostra 03

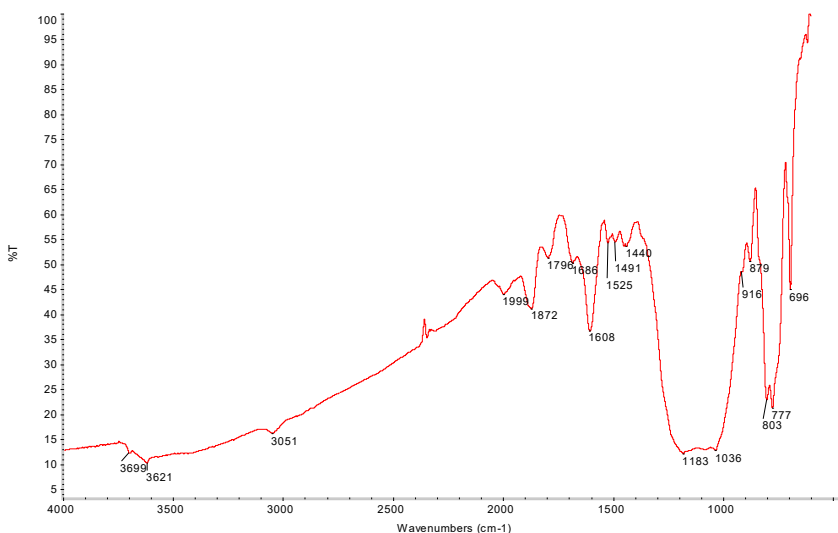


Figura 72 - Espectro de IV da amostra 03.

Tabela 05 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 03.

Nº de onda (cm^{-1})	Atribuição da banda	Material identificado
3699, 3621	$\nu(\text{O}-\text{H})$	Mineral argiloso do grupo da caulinite
3051	$\nu(\text{C}-\text{H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1686	$\delta(\text{O}-\text{H})$	Sulfato de cálcio di-hidratado – gesso (?)
1608, 1525, 1491	$\nu(\text{C}=\text{C})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa:

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

		material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1440	$\delta(\text{C-H})$ em grupos CH_2	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1183	$\nu(\text{S-O})$	Sulfato de cálcio di-hidratado – gesso (?)
1036	$\nu(\text{Si-O-Si})$	Mineral argiloso do grupo da caulinite
916	$\delta(\text{OH})$ em grupos Al-OH	Mineral argiloso do grupo da caulinite
879, 803, 777	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
749*	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos; $\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em grupos <i>cis</i> -(HC=CH)-; CH_2 <i>rocking</i> .	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
696	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C=C})$ em aromáticos; $\nu(\text{Si-O})$.	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos; Mineral argiloso do grupo da caulinite
* Esta banda encontra-se mal resolvida com a banda a 777 cm^{-1} , não se encontrando marcada no espectro.		
ν - Vibração de alongação ou estiramento; δ - Vibração de deformação; δ_{fdp} - Vibração de deformação fora-do-plano.		

Caso de estudo nº 04 - Amostra 04

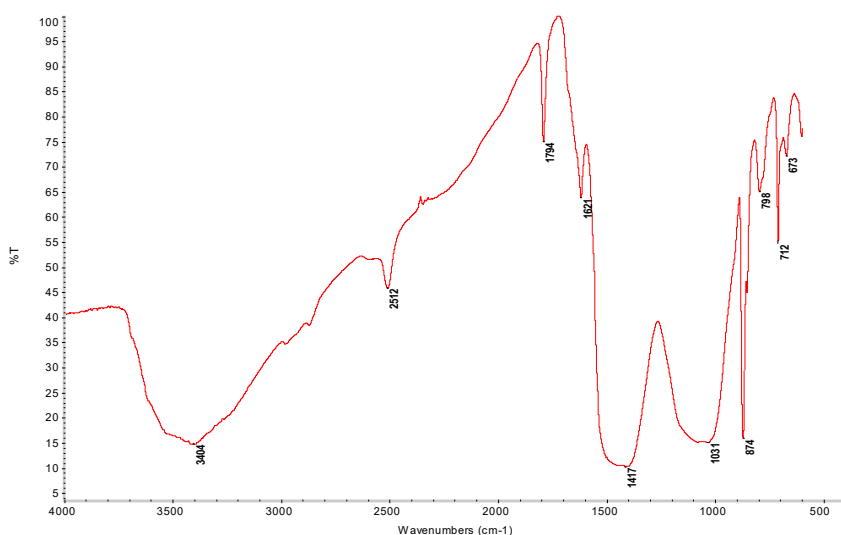


Figura 73 - Espectro de IV da amostra 04.

Tabela 06 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 04.

Nº de onda (cm^{-1})	Atribuição da banda	Material identificado
3404	$\nu(\text{O-H})$	Sulfato de cálcio di-hidratado – gesso (?)

2512	Banda de combinação ou sobretom ⁴⁹	Carbonato de cálcio
1794	$\nu(\text{C=O})$ do grupo carbonato	Carbonato de cálcio
1621	$\delta(\text{O-H})$	Sulfato de cálcio di-hidratado – gesso (?)
1417	$\nu(\text{C-O})$ assimétrica do grupo carbonato	Carbonato de cálcio
1031	$\nu(\text{S-O})$; $\nu(\text{Si-O-Si})$	Sulfato de cálcio di-hidratado – gesso (?); Silicatos
874	$\delta(\text{C-O})$ do grupo carbonato	Carbonato de cálcio
798	$\nu(\text{Si-O})$	Silicatos
712	$\delta(\text{C-O})$ do grupo carbonato	Carbonato de cálcio
673	$\delta(\text{S-O})$	Sulfato de cálcio di-hidratado – gesso (?)
<p>ν - Vibração de alongação ou estiramento; δ - Vibração de deformação; δ_{rdp} - Vibração de deformação fora-do-plano.</p>		

Caso de estudo nº 05 – amostra 05

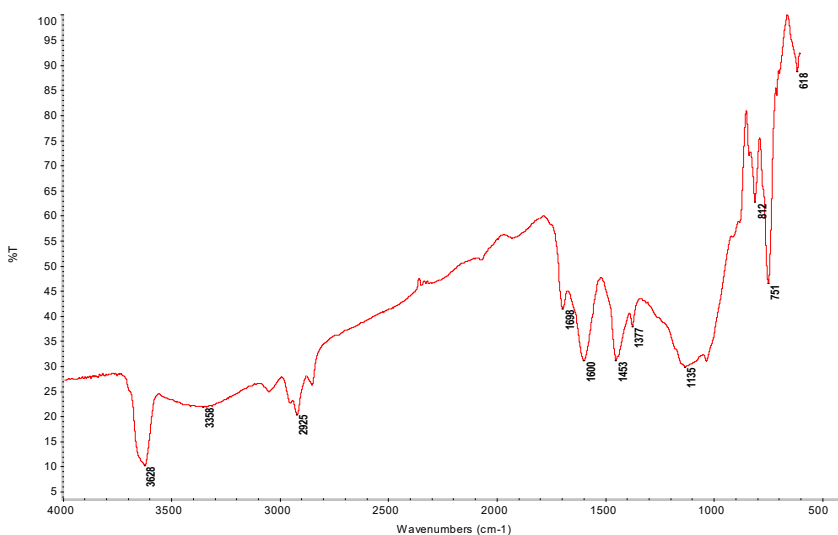


Figura 74 - Espectro de IV da amostra 05.

Tabela 07 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 05.

Nº de onda (cm ⁻¹)	Atribuição da banda	Material identificado
3628	$\nu(\text{O-H})$	Mineral argiloso do grupo da caulinite; Silicatos
3054	$\nu(\text{C-H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
2925, 2854	$\nu(\text{C-H})$ em grupos CH ₂	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuguesas, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

1698	$\nu(\text{C}=\text{O})$	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1600	$\nu(\text{C}=\text{C})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1453	$\delta(\text{C}-\text{H})$ em grupos CH_2	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1377	$\delta(\text{C}-\text{H})$ em grupos CH_3	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1135	$\nu(\text{S}-\text{O})$	Sulfato de cálcio (?)
1035	$\nu(\text{Si}-\text{O}-\text{Si})$	Silicatos / Mineral argiloso do grupo da caulinite
917	$\delta(\text{OH})$ em grupos $\text{Al}-\text{OH}$	Mineral argiloso do grupo da caulinite
883, 840, 812	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C}-\text{H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
751, 712	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C}-\text{H})$ em aromáticos; $\delta_{\text{fdp}}(\text{C}-\text{H})$ em grupos <i>cis</i> $-(\text{HC}=\text{CH})-$; CH_2 <i>rocking</i> .	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
700	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C}=\text{C})$ em aromáticos; $\nu(\text{Si}-\text{O})$.	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos; Silicatos.
<p>ν - Vibração de alongação ou estiramento; δ - Vibração de deformação; δ_{fdp} - Vibração de deformação fora-do-plano.</p>		

Caso de estudo nº 06 - Amostra 06

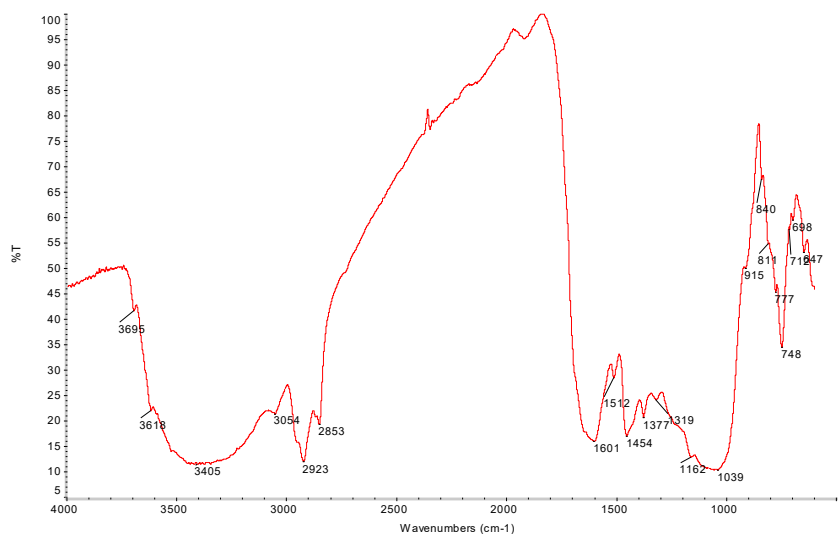


Figura 75 - Espectro de IV da amostra 06.

Tabela 08 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 06.

Nº de onda (cm ⁻¹)	Atribuição da banda	Material identificado
3695, 3618	$\nu(\text{O-H})$	Mineral argiloso do grupo da caulinite
3054	$\nu(\text{C-H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
2923, 2853	$\nu(\text{C-H})$ em grupos CH ₂	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1601, 1512	$\nu(\text{C=C})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1454	$\delta(\text{C-H})$ em grupos CH ₂	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1377	$\delta(\text{C-H})$ em grupos CH ₃	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1162	$\delta(\text{S-O})$ (?)	Sulfato (?); Sulfato de cálcio (?)
1039	$\nu(\text{Si-O-Si})$	Mineral argiloso do grupo da caulinite
915	$\delta(\text{OH})$ em grupos Al-OH	Mineral argiloso do grupo da caulinite
840, 811, 777	$\delta_{\text{rdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
748, 712	$\delta_{\text{rdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos; $\delta_{\text{rdp}}(\text{C-H})$ em grupos <i>cis</i> -(HC=CH)-; CH ₂ <i>rocking</i> .	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
698	$\delta_{\text{rdp}}(\text{C=C})$ em aromáticos; $\nu(\text{Si-O})$.	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos; Mineral argiloso do grupo da caulinite
<p>ν - Vibração de alongação ou estiramento; δ - Vibração de deformação; δ_{rdp} - Vibração de deformação fora-do-plano.</p>		

Caso de estudo nº 06 - Amostra 07

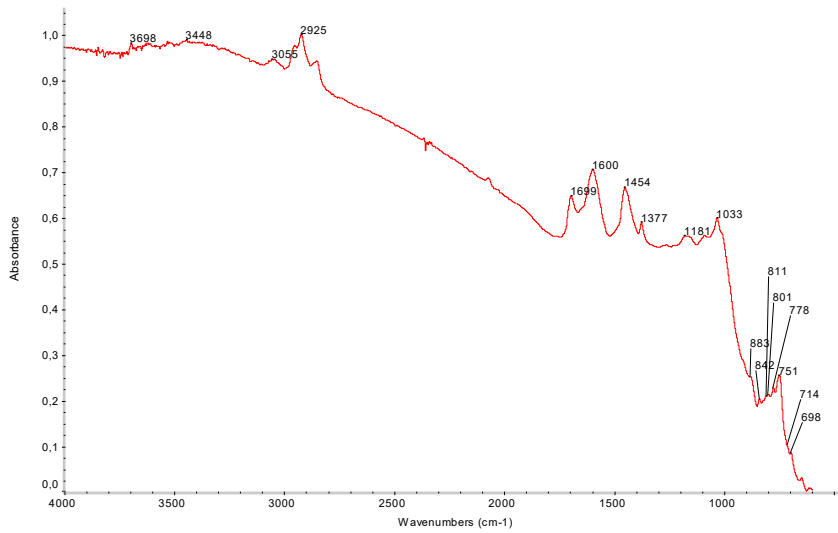


Figura 76 - Espectro de IV da amostra 07 (espectro em absorvância⁵⁰).

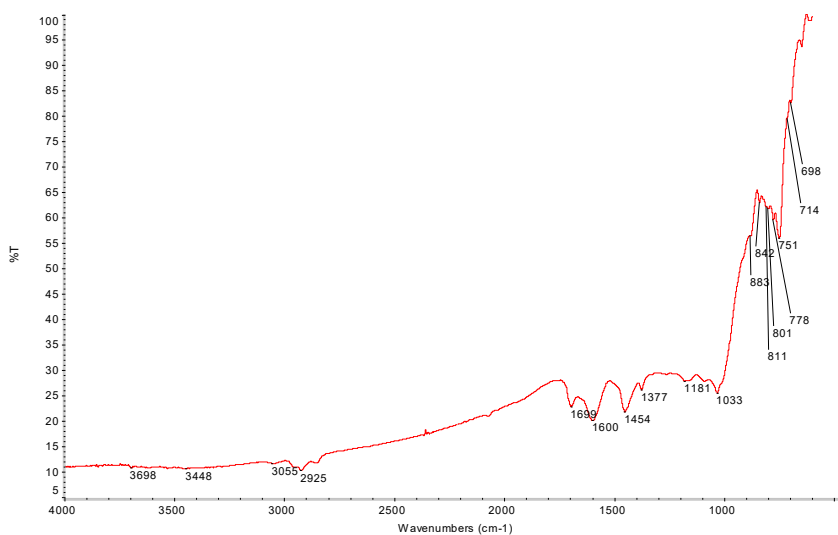


Figura 77 - Espectro de IV da amostra 07 (espectro em transmitância).

⁵⁰ O espectro desta amostra é apresentado simultaneamente em absorvância e em transmitância para facilitar a sua leitura, ou seja, existem bandas que são observadas melhor no espectro exibido em absorvância, enquanto outras são mais perceptíveis em transmitância.

Tabela 09 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 07.

Nº de onda (cm ⁻¹)	Atribuição da banda	Material identificado
3698, 3621	v(O-H)	Mineral argiloso do grupo da caulinite
3055	v(C-H) em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
2925	v(C-H) em grupos CH ₂	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1699	v(C=O)	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1600	v(C=C) em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1454	δ(C-H) em grupos CH ₂	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1377	δ(C-H) em grupos CH ₃	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1181	v(S-O)	Sulfato de cálcio (?)
1033	v(Si-O-Si)	Mineral argiloso do grupo da caulinite
883, 842, 811, 801, 778	δ _{fdp} (C-H) em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
751, 714	δ _{fdp} (C-H) em aromáticos; δ _{fdp} (C-H) em grupos <i>cis</i> -(HC=CH)-; CH ₂ <i>rocking</i> .	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
698	δ _{fdp} (C=C) em aromáticos; v(Si-O).	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos; Mineral argiloso do grupo da caulinite

v - Vibração de alongação ou estiramento;
 δ - Vibração de deformação;
 δ_{fdp} - Vibração de deformação fora-do-plano.

Caso de estudo nº 06 - Amostra 08

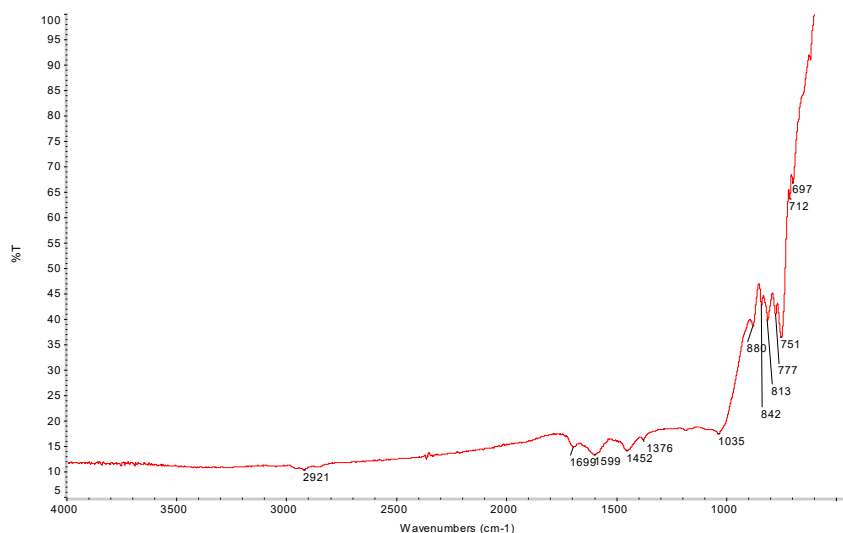


Figura 78 - Espectro de IV da amostra 08.

Tabela 10 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 08.

Nº de onda (cm ⁻¹)	Atribuição da banda	Material identificado
2921	$\nu(\text{C-H})$ em grupos CH_2	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1699	$\nu(\text{C=O})$	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1599	$\nu(\text{C=C})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1452	$\delta(\text{C-H})$ em grupos CH_2	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1376	$\delta(\text{C-H})$ em grupos CH_3	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1035	$\nu(\text{Si-O-Si})$	Mineral argiloso do grupo da caulinite
880, 842, 813, 777	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
751, 712	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos; $\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em grupos <i>cis</i> $-(\text{HC}=\text{CH})-$; CH_2 <i>rocking</i> .	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
697	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C=C})$ em aromáticos; $\nu(\text{Si-O})$.	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos; Mineral argiloso do grupo da caulinite

ν - Vibração de elongação ou estiramento;
 δ - Vibração de deformação;
 δ_{fdp} - Vibração de deformação fora-do-plano.

Caso de estudo nº 06 - Amostra 12

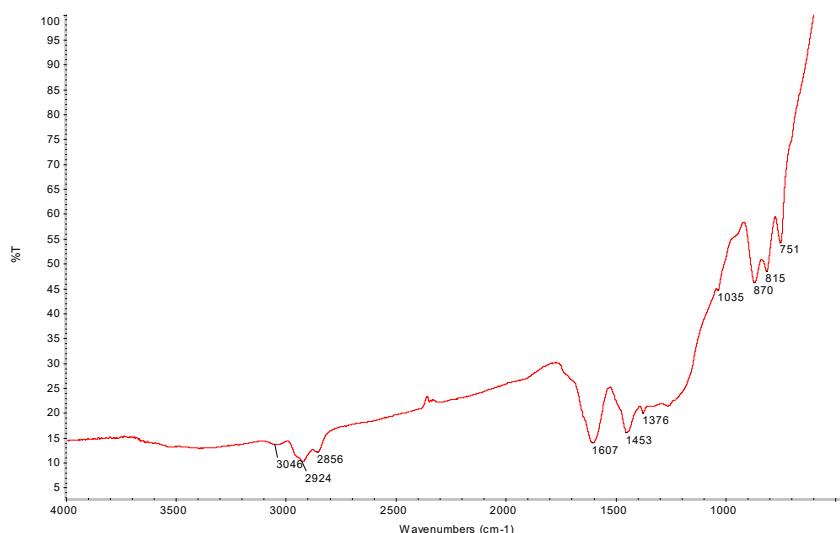


Figura 79 - Espectro de IV da amostra 12.

Tabela 11 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 12.

Nº de onda (cm ⁻¹)	Atribuição da banda	Material identificado
3046	$\nu(\text{C-H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
2924, 2856	$\nu(\text{C-H})$ em grupos CH_2	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1607	$\nu(\text{C=C})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1453	$\delta(\text{C-H})$ em grupos CH_2	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1376	$\delta(\text{C-H})$ em grupos CH_3	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1035	$\nu(\text{Si-O-Si})$	Vestígios de silicatos
870, 815	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
751	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos; $\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em grupos <i>cis</i> $-(\text{HC}=\text{CH})-$; CH_2 <i>rocking</i> .	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
ν - Vibração de alongação ou estiramento; δ - Vibração de deformação; δ_{fdp} - Vibração de deformação fora-do-plano.		

Caso de estudo nº 07- Amostra 09

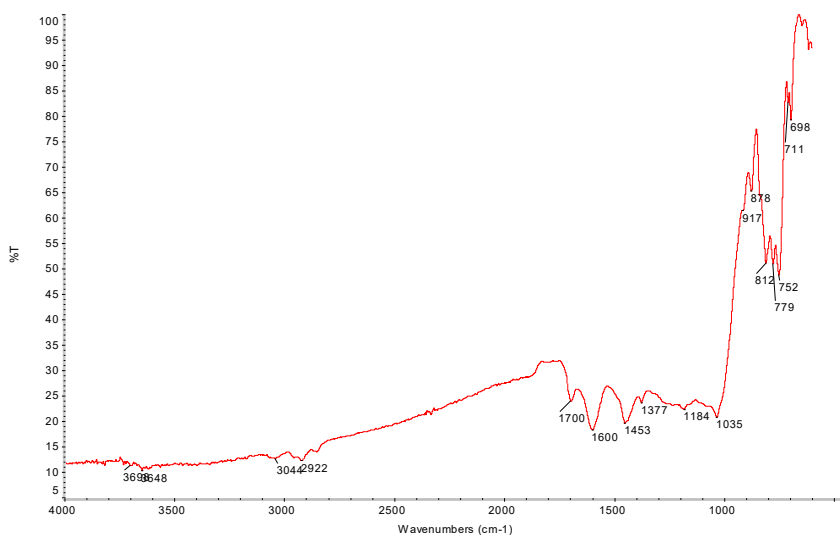


Figura 80 - Espectro de IV da amostra 09.

Tabela 12 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 09.

Nº de onda (cm ⁻¹)	Atribuição da banda	Material identificado
3698, 3620	$\nu(\text{O-H})$	Mineral argiloso do grupo da caulinite
3044	$\nu(\text{C-H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
2922	$\nu(\text{C-H})$ em grupos CH_2	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1700	$\nu(\text{C=O})$	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1600	$\nu(\text{C=C})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1453	$\delta(\text{C-H})$ em grupos CH_2	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1377	$\delta(\text{C-H})$ em grupos CH_3	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1035	$\nu(\text{Si-O-Si})$	Mineral argiloso do grupo da caulinite
917	$\delta(\text{OH})$ em grupos Al-OH	Mineral argiloso do grupo da caulinite
878, 812, 779	$\delta_{\text{rdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
752, 711	$\delta_{\text{rdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos; $\delta_{\text{rdp}}(\text{C-H})$ em grupos <i>cis</i> -(HC=CH)-; CH_2 rocking.	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
698	$\delta_{\text{rdp}}(\text{C=C})$ em aromáticos; $\nu(\text{Si-O})$.	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos; Mineral argiloso do grupo da caulinite

v - Vibração de alongação ou estiramento;
 δ - Vibração de deformação;
 δ_{fdp} - Vibração de deformação fora-do-plano.

Caso de estudo nº 08 - Amostra nº 10

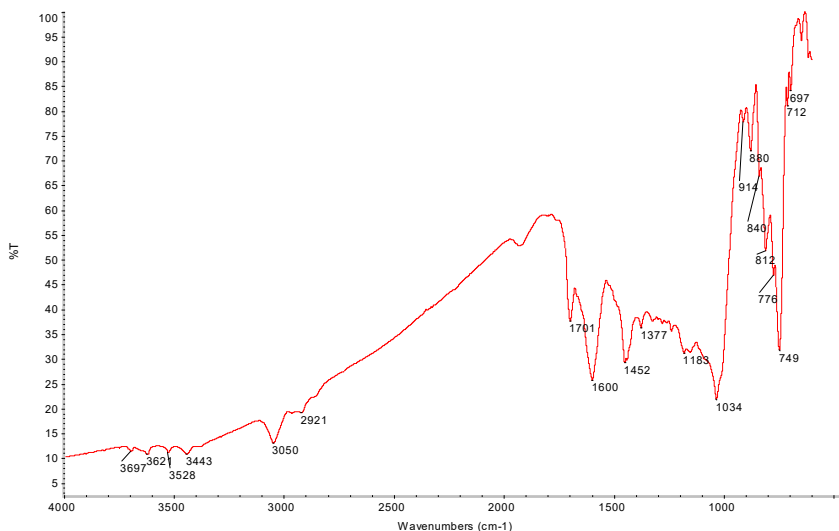


Figura 81 - Espectro de IV da amostra 10.

Tabela 13 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 10.

Nº de onda (cm ⁻¹)	Atribuição da banda	Material identificado
3697, 3621	v(O-H)	Mineral argiloso do grupo da caulinite
3528, 3443	v(O-H)	Silicatos
3050	v(C-H) em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
2921	v(C-H) em grupos CH ₂	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1701	v(C=O)	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1600	v(C=C) em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1452	δ(C-H) em grupos CH ₂	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1377	δ(C-H) em grupos CH ₃	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1183	v(S-O)	Sulfato de cálcio (?)
1034	v(Si-O-Si)	Mineral argiloso do grupo da caulinite
914	δ(OH) em grupos Al-OH	Mineral argiloso do grupo da caulinite
880, 840, 812, 776	δ _{fdp} (C-H) em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

749, 712	$\delta_{fdp}(C-H)$ em aromáticos; $\delta_{fdp}(C-H)$ em grupos <i>cis</i> -(HC=CH)-; CH_2 <i>rocking</i> .	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
697	$\delta_{fdp}(C=C)$ em aromáticos; $\nu(Si-O)$.	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos; Mineral argiloso do grupo da caulinite
<p>ν - Vibração de alongação ou estiramento; δ - Vibração de deformação; δ_{fdp} - Vibração de deformação fora-do-plano.</p>		

Caso de estudo nº 08 - Amostra nº 11

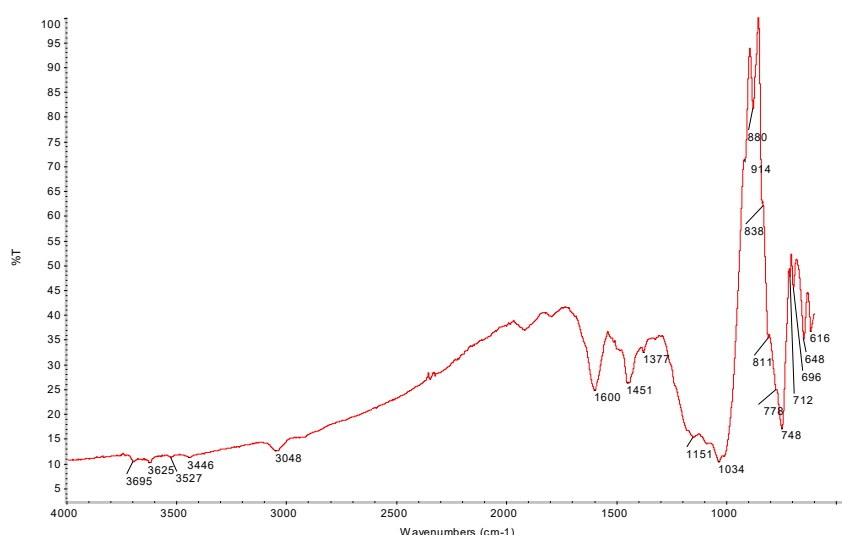


Figura 82 - Espectro de IV da amostra 11.

Tabela 14 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 11.

Nº de onda (cm ⁻¹)	Atribuição da banda	Material identificado
3695, 3625	$\nu(O-H)$	Mineral argiloso do grupo da caulinite
3527, 3446	$\nu(O-H)$	Silicatos
3048	$\nu(C-H)$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1600	$\nu(C=C)$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1451	$\delta(C-H)$ em grupos CH_2	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1377	$\delta(C-H)$ em grupos CH_3	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1151	$\nu(S-O)$ (?)	Sulfato (?)
1034	$\nu(Si-O-Si)$	Mineral argiloso do grupo da caulinite

914	$\delta(\text{OH})$ em grupos Al-OH	Mineral argiloso do grupo da caulinite
880, 838, 811, 778	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
748, 712	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos; $\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em grupos <i>cis</i> -(HC=CH)-; CH_2 rocking.	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
696	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C=C})$ em aromáticos; $\nu(\text{Si-O})$.	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos; Mineral argiloso do grupo da caulinite
<p>ν - Vibração de alongação ou estiramento; δ - Vibração de deformação; δ_{fdp} - Vibração de deformação fora-do-plano.</p>		

Caso de estudo nº 09 - Amostra 13

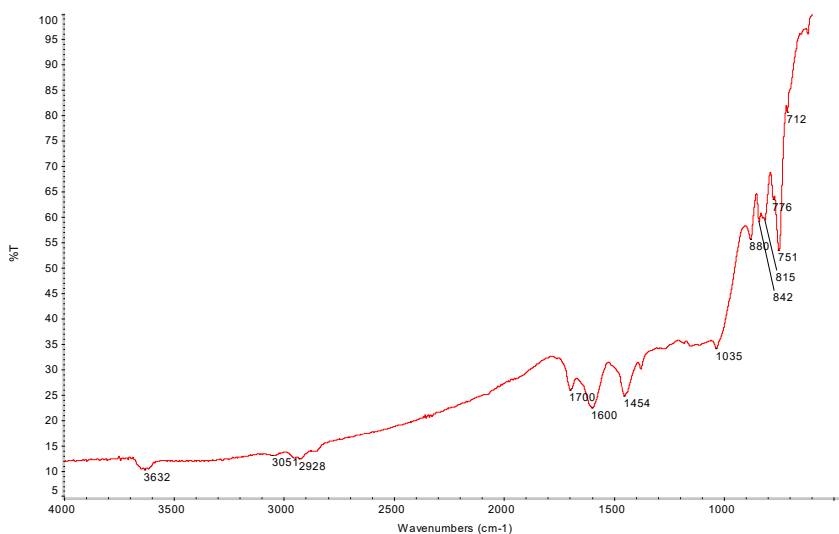


Figura 83 - Espectro de IV da amostra 13.

Tabela 15 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 13.

Nº de onda (cm ⁻¹)	Atribuição da banda	Material identificado
3632	$\nu(\text{O-H})$	Silicatos
3051	$\nu(\text{C-H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
2928	$\nu(\text{C-H})$ em grupos CH_2	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1700	$\nu(\text{C=O})$	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1600	$\nu(\text{C=C})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1454	$\delta(\text{C-H})$ em grupos CH_2	Aglutinante da argamassa:

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

		material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1035	$\nu(\text{Si-O-Si})$	Silicatos
880, 842, 815, 776	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
751, 712	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos; $\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em grupos <i>cis</i> -(HC=CH)-; CH_2 rocking.	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
ν - vibração de elongação ou estiramento; δ - vibração de deformação; δ_{fdp} - vibração de deformação fora-do-plano.		

Caso de estudo nº 10 - Amostra 14

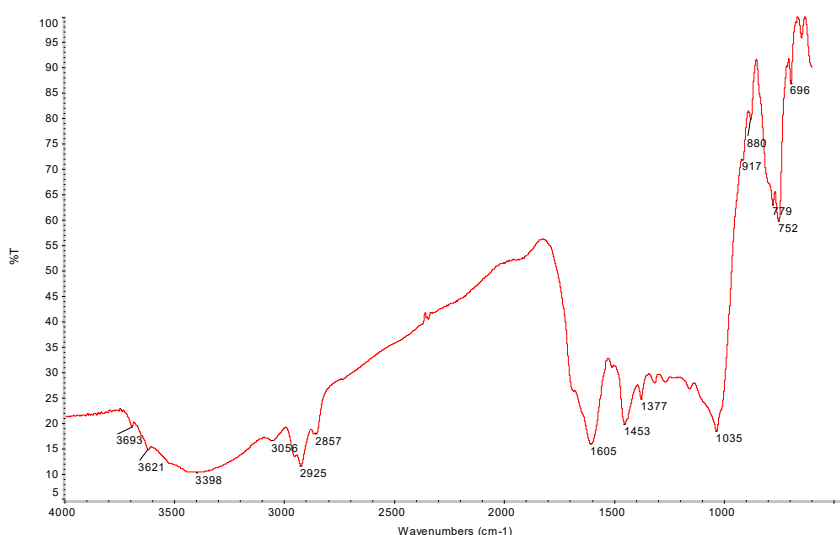


Figura 84 – Espectro de IV da amostra 14.

Tabela 16 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 14.

Nº de onda (cm ⁻¹)	Atribuição da banda	Material identificado
3693, 3621	$\nu(\text{O-H})$	Mineral argiloso do grupo da caulinite
3056	$\nu(\text{C-H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
2925, 2857	$\nu(\text{C-H})$ em grupos CH_2	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1605	$\nu(\text{C=C})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1453	$\delta(\text{C-H})$ em grupos CH_2	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1377	$\delta(\text{C-H})$ em grupos CH_3	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1035	$\nu(\text{Si-O-Si})$	Mineral argiloso do grupo da caulinite

917	$\delta(\text{OH})$ em grupos Al-OH	Mineral argiloso do grupo da caulinite
880, 779	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
752	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos; $\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em grupos <i>cis</i> -(HC=CH)-; CH_2 rocking.	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
696	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C=C})$ em aromáticos; $\nu(\text{Si-O})$.	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos; Mineral argiloso do grupo da caulinite

v - Vibração de alongação ou estiramento;
 δ - Vibração de deformação;
 δ_{fdp} - Vibração de deformação fora-do-plano.

Amostra de referência 169 – Bituminous coal

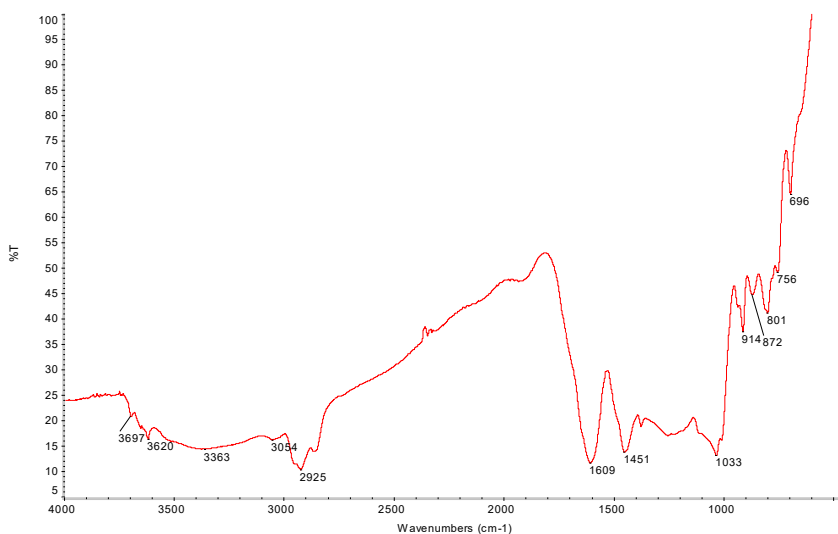


Figura 85 - Espectro de IV da amostra 169 - bituminous coal.

Tabela 17 - Atribuição das principais bandas observadas no espectro da amostra 169.

Nº de onda (cm ⁻¹)	Atribuição da banda	Material identificado
3697, 3620	$\nu(\text{O-H})$	Mineral argiloso do grupo da caulinite
3054	$\nu(\text{C-H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
2925	$\nu(\text{C-H})$ em grupos CH_2	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1609	$\nu(\text{C=C})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1451	$\delta(\text{C-H})$ em grupos CH_2	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
1033	$\nu(\text{Si-O-Si})$	Mineral argiloso do grupo da caulinite

914	$\delta(\text{OH})$ em grupos Al-OH	Mineral argiloso do grupo da caulinite
872, 801	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
756	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em aromáticos; $\delta_{\text{fdp}}(\text{C-H})$ em grupos <i>cis</i> -(HC=CH)-; CH_2 <i>rocking</i> .	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos
696	$\delta_{\text{fdp}}(\text{C=C})$ em aromáticos; $\nu(\text{Si-O})$.	Aglutinante da argamassa: material à base de hidrocarbonetos aromáticos; Mineral argiloso do grupo da caulinite
<p>ν - Vibração de alongação ou estiramento; δ - Vibração de deformação; δ_{fdp} - Vibração de deformação fora-do-plano.</p>		

4.5 Apresentação dos Resultados Obtidos por Py-GC-MS

Na análise por pirólise seguida de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (Py-GC-MS) das amostras de argamassa betuminosa recolhidas dos casos de estudo, obtiveram-se pirogramas com perfis semelhantes (figuras 85 a 97), contudo diferentes daquele que se observa no pirograma da referência de carvão betuminoso – amostra nº169 - *bituminous coal* (figura 84).

Os principais compostos detetados nas amostras de argamassa betuminosa apresentam-se na tabela 18, enquanto os compostos mais abundantes na referência de carvão betuminoso se encontram na tabela 19. Como é possível verificar nestas duas tabelas e nos respetivos pirogramas, os produtos de pirólise que surgem em maior quantidade na referência de carvão betuminoso são apenas compostos com 5 ou 6 anéis aromáticos, enquanto nas amostras de argamassa em estudo se encontram quantidades relevantes de compostos aromáticos com dois, três, quatro e cinco anéis. Alguns destes compostos com menos anéis aromáticos, tal como o naftaleno, o antraceno ou o fenantreno, foram também detetados na referência de carvão betuminoso, embora em quantidades muito baixas ou vestigiais.

Como é possível ainda constatar, apesar de semelhantes, os pirogramas das várias amostras de argamassa betuminosa apresentam algumas diferenças entre elas, nomeadamente nos casos das amostras de números: 05, 06, 07, 08, 09, 12, 13 e 14, onde se detetou uma quantidade mais baixa dos compostos que saíram da coluna cromatográfica entre os 23 min e os 28 minutos de análise (compostos poliaromáticos com 4 ou 5 anéis), quando comparados com as restantes amostras. Este fato pode estar relacionado com o estado de conservação destas amostras de argamassa. A exposição aos diversos fatores ambientais a que estas estiveram submetidas, ao longo dos anos, poderá ter contribuído para que tenha havido uma degradação dos compostos pertencentes a esta fração de maior massa molecular, tendo estes se convertido em compostos com mais baixa massa molecular.

Nas amostras dos casos de estudo, para além dos poliaromáticos já mencionados (compostos a tempos de retenção inferiores a 27,44 min.) foram ainda detetados alguns triterpenos

pentacíclicos, como o hopano, o gamacerano e derivados do hopano. Estes compostos surgem nos pirogramas a tempos de retenção superiores a 28 min e são característicos dos betumes de origem natural, juntamente com o benzotiofeno e dibenzotiofeno, que são compostos que contêm enxofre (S) na sua estrutura molecular (Languri, 2004).

Salienta-se ainda o fato de que, em algumas das amostras recolhidas dos edifícios em estudo, os triterpenos pentacíclicos detetados se encontram em quantidades vestigiais. São estes os casos das amostras de números: 01, 02, 03, 10, 11, 12 e 13. A explicação para essa menor quantidade poderá estar também nos processos de degradação que terão ocorrido face às condições a que estas estiveram submetidas. Contudo, seria necessário proceder à realização de ensaios de envelhecimento acelerado com betumes naturais, pretendendo simular as condições a que estas amostras estiveram submetidas ao longo do tempo, para se perceber se realmente há uma variação significativa na quantidade destes compostos por influência da temperatura, humidade, poluentes atmosféricos, ou se haverá outra causa que explique estas diferenças.

Tendo em conta que no edifício da Rua José Falcão foram recolhidas várias amostras do edifício e que a amostra recolhida de uma área sã, ou seja, uma janela de inspeção aberta intencionalmente para a recolha (amostra 12), é que apresenta menor quantidade destes hopanos e gamacerano, sendo provável que haja outra explicação para as diferentes quantidades destes compostos entre as várias amostras analisadas. Coloca-se, assim, a hipótese de que haja alguma influência na composição química do betume introduzida pelos procedimentos levados na preparação e aplicação da argamassa betuminosa no edifício.

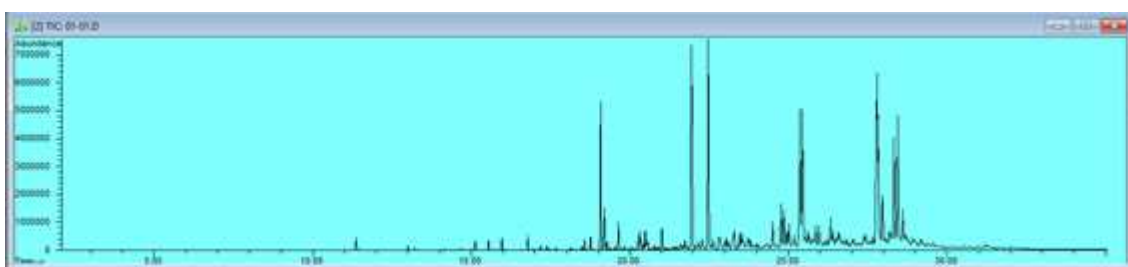


Figura 86 - Pirograma da amostra nº 01.

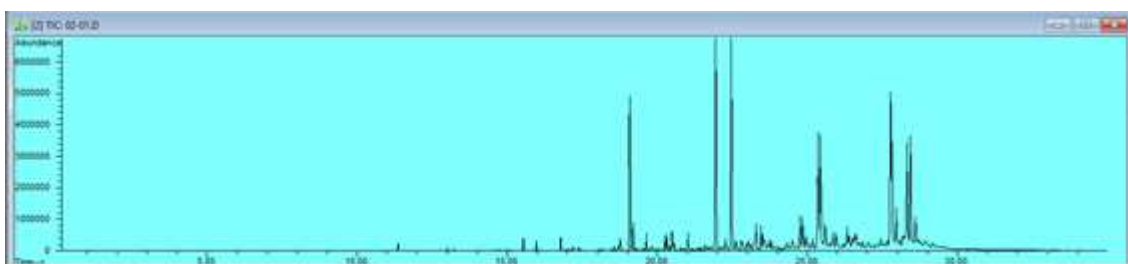


Figura 87 - Pirograma da amostra nº 02.

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuguesas, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

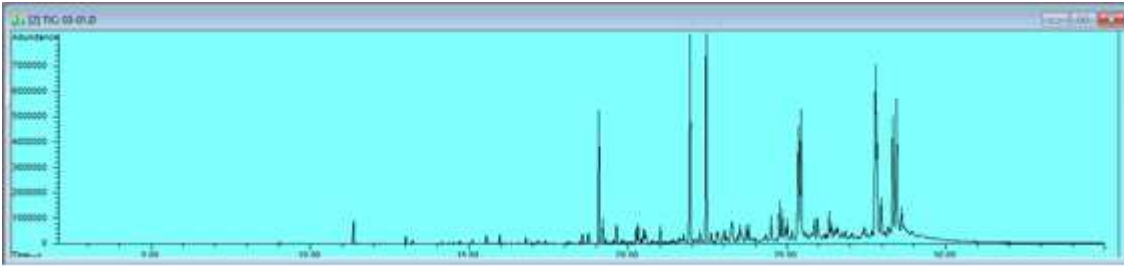


Figura 88 - Pirograma da amostra nº 03.

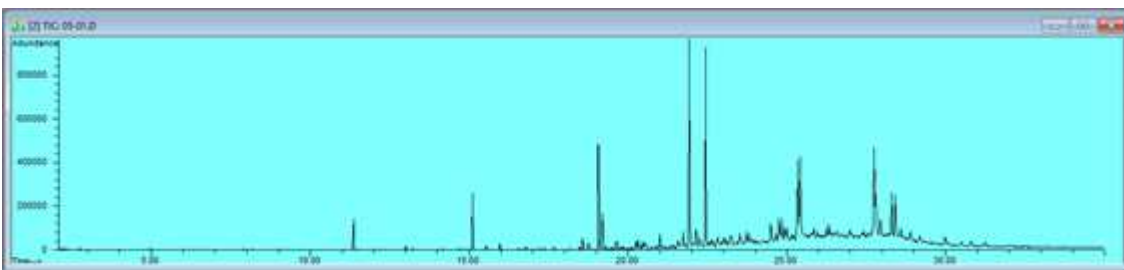


Figura 89 - Pirograma da amostra nº 05.

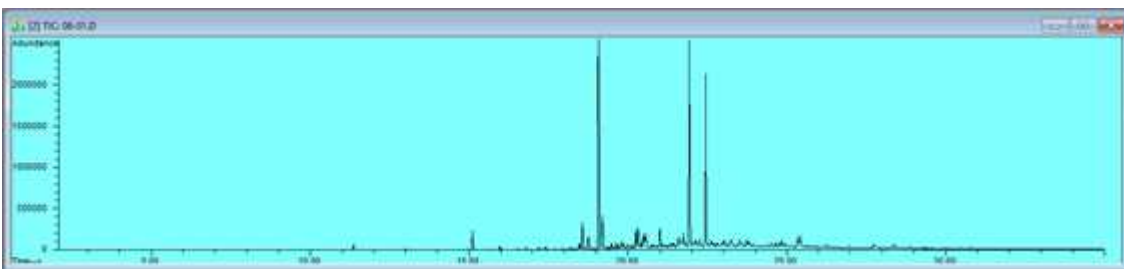


Figura 90 - Pirograma da amostra nº 06.

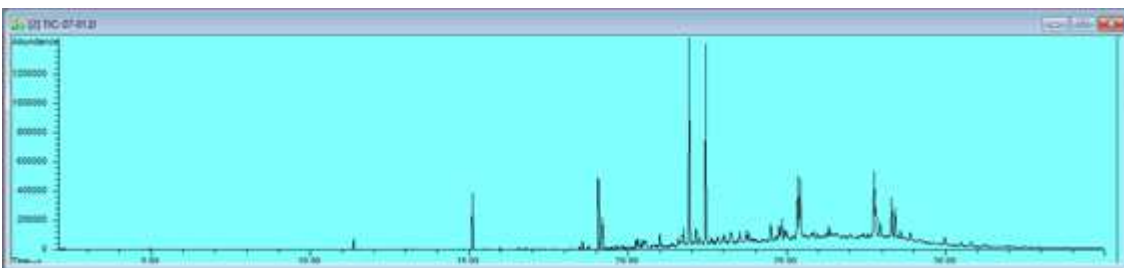


Figura 91 - Pirograma da amostra nº 07.

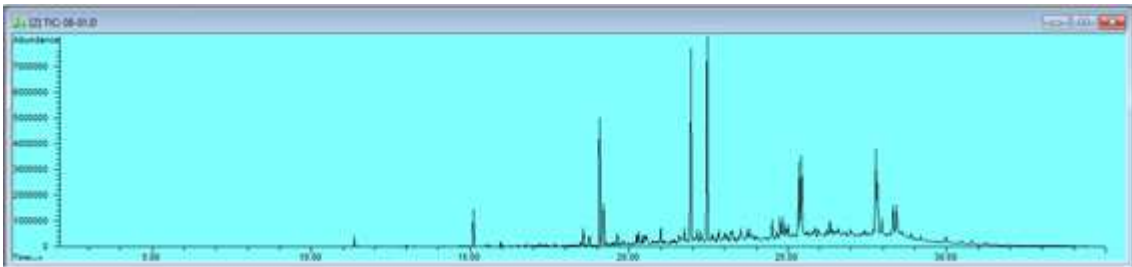


Figura 92 - Pirograma da amostra nº 08.

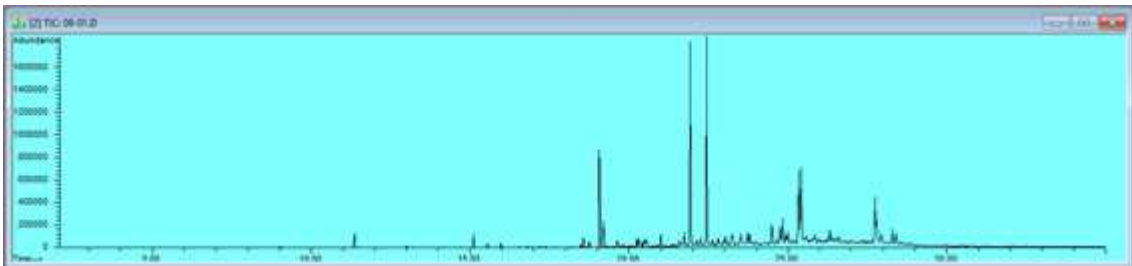


Figura 93 - Pirograma da amostra nº 09.

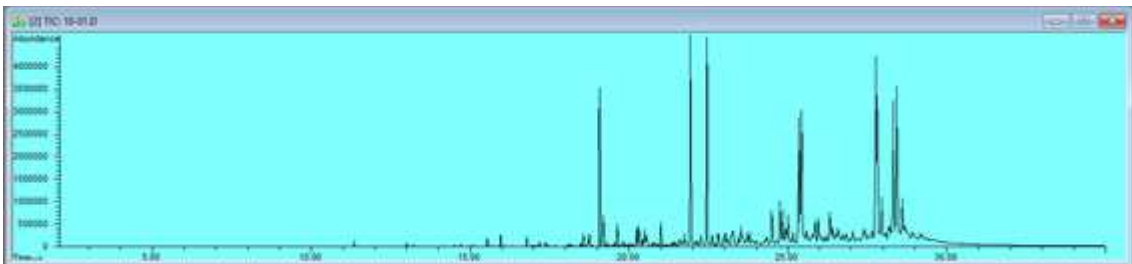


Figura 94 - Pirograma da amostra nº 10.

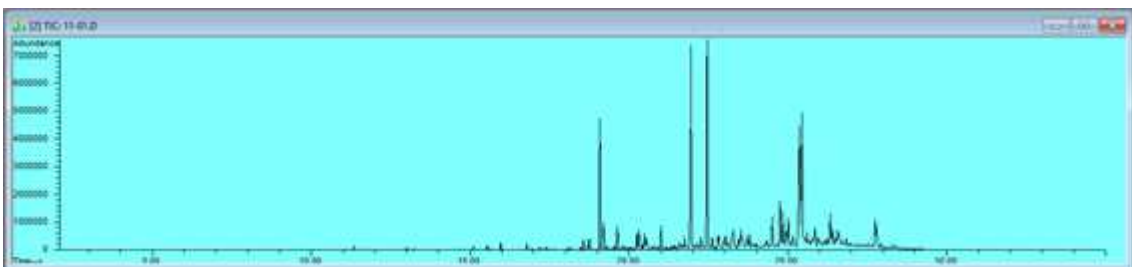


Figura 95 - Pirograma da amostra nº 11.

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

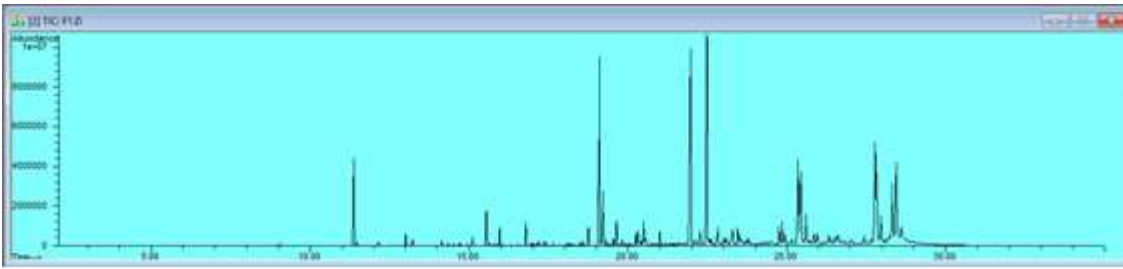


Figura 96 - Pirograma da amostra nº 12 (F1).

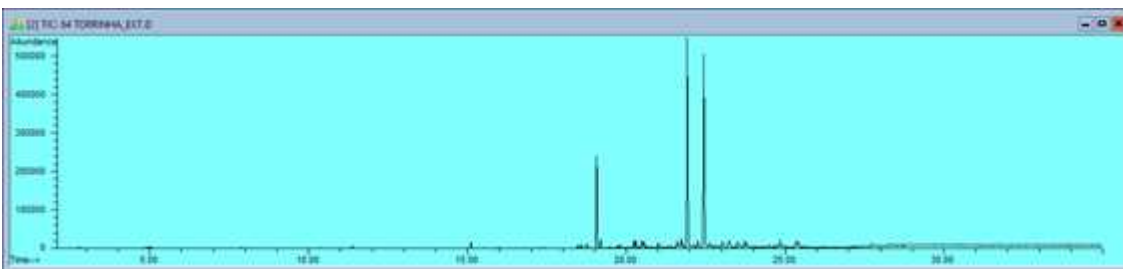


Figura 97 - Pirograma da amostra nº 13 – Rua da Torrinha nº 64 (caso de estudo nº 9 – fachada lateral, área exposta).

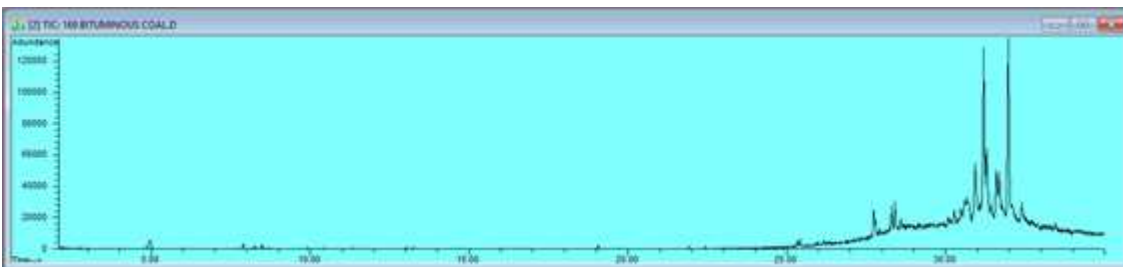
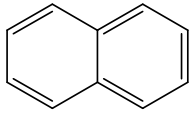
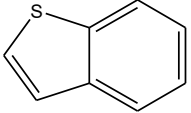
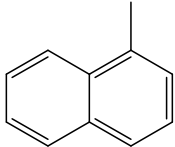
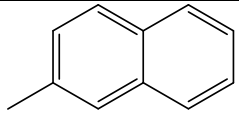
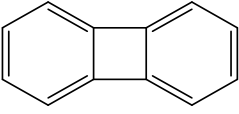
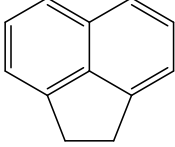
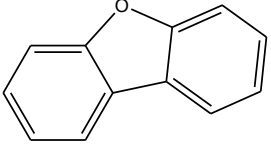
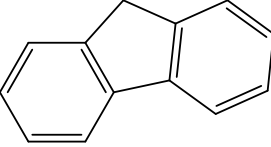
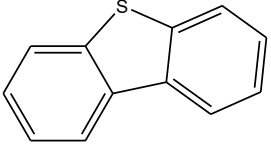
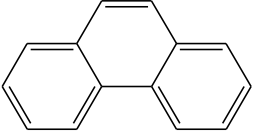
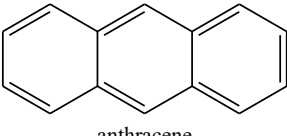
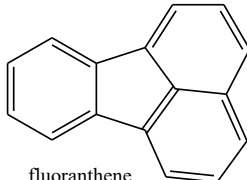
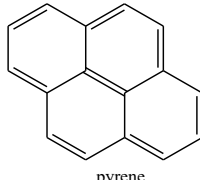
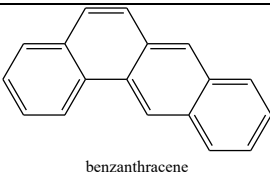
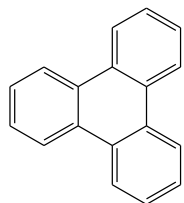
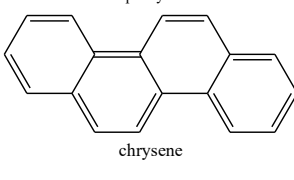
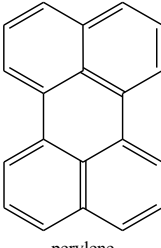
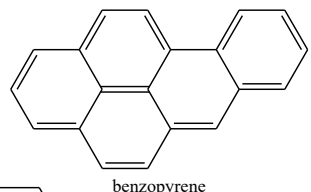
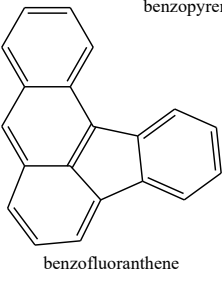


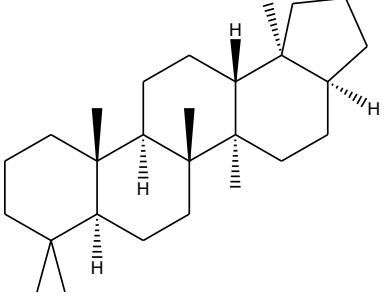
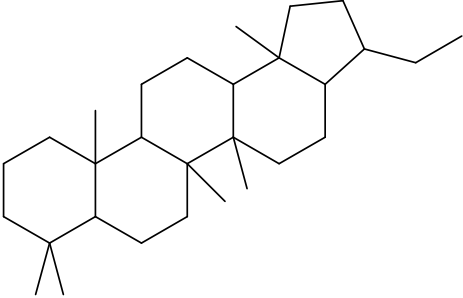
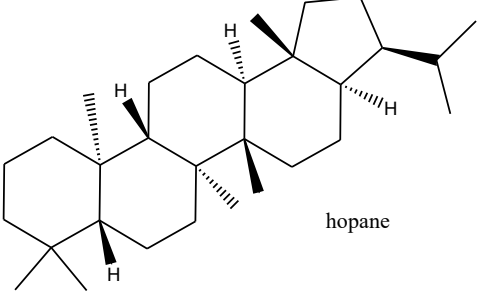
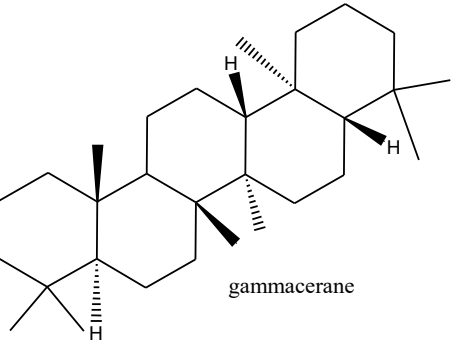
Figura 98 - Pirograma da amostra de referência de carvão betuminoso (169. *Bituminous coal*).

Tabela 18 - Compostos identificados nas amostras de argamassa betuminosa, analisadas por Py-GC-MS.

Tr (min)	Composto	Massa molecular	Estrutura
11.38	Naftaleno	128	
11.48	Benzotiofeno	134	
13.01	1-metil-naftaleno	142	
13.23	2-metil-naftaleno	142	
15.12	Bifenileno	152	
15.54	Acenafteno	154	
15.97	Dibenzofurano	168	
16.79	Fluoreno	166	
18.76	Dibenzotiofeno	184	
19.11	Fenantreno ou Antraceno	178	 phenanthrene
19.21	Fenantreno ou Antraceno	178	 anthracene
Tr (min)	Composto	Massa molecular	Estrutura

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuguesas, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

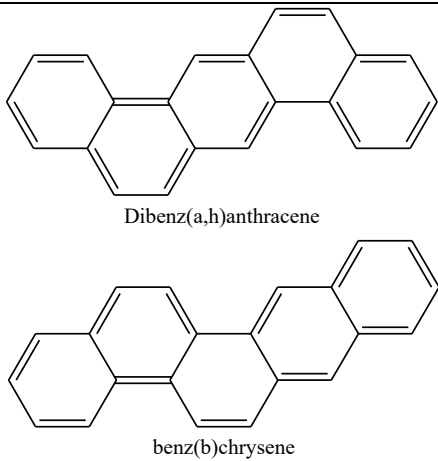
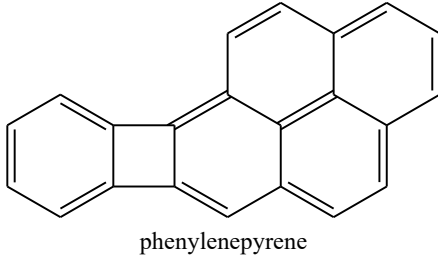
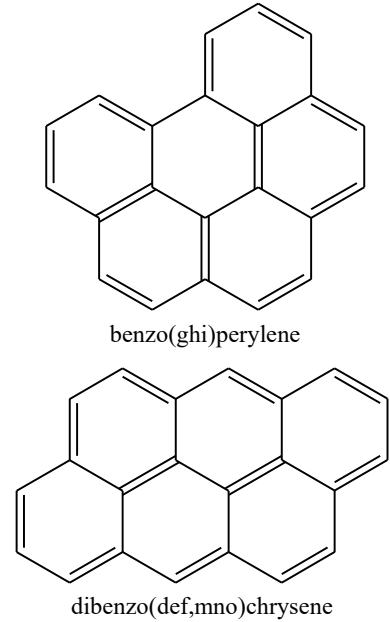
21.96	Fluoranteno ou Pireno	202	 <p>fluoranthene</p>  <p>pyrene</p>
22.49	Fluoranteno ou Pireno	202	
25.36	Benzantraceno ou Trifenileno ou Criseno	228	 <p>benzantracene</p>
25.44	Benzantraceno ou Trifenileno ou Criseno	228	 <p>triphenylene</p>
25.60	Benzantraceno ou Trifenileno ou Criseno	228	 <p>chrysene</p>
27.78	Perileno ou Benzopireno ou Benzofluoranteno ou outro isómero destes compostos	252	 <p>perylene</p>  <p>benzopyrene</p>  <p>benzo[fluoranthene]</p>
27.86	Isómero do composto com Tr = 27.78 min	252	
27.96	Isómero do composto com Tr = 27.78 min	252	
28.32	Isómero do composto com Tr = 27.78 min	252	
27.44	Isómero do composto com Tr = 27.78 min	252	
Tr (min)	Composto	Massa molecular	Estrutura

28.88	<p><u>Derivado do hopano:</u></p> <p>22,29,30-Trisnor-(17.alpha.H)-hopano (também designado 17α(H)-22,29,30-Trisnor-Aμ-neogamacerano)</p> <p>(ou isómero deste composto)</p>	370	
29.97	<p><u>Derivado do hopano:</u></p> <p>28-Nor-17.beta.(H)-hopano (ou isómero deste composto)</p>	398	
30.47	Isómero do 28-Nor-17.beta.(H)-hopano	398	
30.79	<p>Hopano (também designado como A'-neogamacerano)</p> <p>ou</p> <p>Gamacerano</p>	412	
31.25	<p>Hopano (também designado como A'-neogamacerano)</p> <p>ou</p> <p>Gamacerano</p>	412	

Tr – Tempo de retenção

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuguesas, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

Tabela 19 - Principais compostos identificados na análise por Py-GC-MS da referência de carvão betuminoso – 169. *Bituminous coal*.

Tr (min)	Composto	Massa molecular	Estrutura
30.92	Dibenz(a,h)antraceno ou benz(b)criseno (ou isómero destes)	278	 <p>Dibenz(a,h)anthracene</p> <p>benz(b)chrysene</p>
31.19	Fenilenopireno ou benzo(ghi)perileno ou dibenzo(def,mno)criseno ou isómero destes	276	 <p>phenyleneperylene</p>
31.29	Isómero do composto com Tr = 31.19 min	276	
31.59	Isómero do composto com Tr = 31.19 min	276	
31.69	Isómero do composto com Tr = 31.19 min	276	
31.96	Isómero do composto com Tr = 31.19 min	276	 <p>benzo(ghi)perylene</p> <p>dibenzo(def,mno)chrysene</p>

Tr – Tempo de retenção

4.6 Síntese do Capítulo

No presente estudo foram utilizadas duas técnicas analíticas – micro-FTIR e Py-GC-MS – as quais permitiram caracterizar o material orgânico empregue como aglutinante na preparação das amostras de argamassa betuminosa em estudo.

A análise por micro-FTIR permitiu confirmar que o aglutinante das amostras argamassas se tratava de uma mistura complexa de hidrocarbonetos aromáticos, sendo os espectros de infravermelho adquiridos todos bastante semelhantes. Apenas em algumas amostras (amostras 01, 05, 07, 08, 09, 10 e 13) os espectros exibem uma banda (por volta de 1700 cm^{-1}) que pode ser devida à oxidação de alguns dos compostos que compõem o aglutinante. Contudo, a análise por Py-GC-MS não permitiu esclarecer esta questão, uma vez que apenas se detetaram os mesmos aromáticos policíclicos e triterpenos em todas as amostras analisadas.

Por outro lado, a análise por micro-FTIR não permitiu diferenciar a referência de hulha ou carvão betuminoso das amostras em estudo, o que poderia induzir em erro acerca da natureza do aglutinante das argamassas, caso não se tivesse realizado uma análise por Py-GC-MS nas amostras recolhidas.

Para além do aglutinante, os espectros IV adquiridos permitiram detetar a presença de cargas inorgânicas nas argamassas betuminosas estudadas, que terão sido introduzidas durante a sua preparação, pelo que a deteção dos minerais do grupo da caulinite está dentro do espectável. A caulinite é uma argila⁵¹ e encontra-se em quantidade significativa nos materiais mencionados como cargas para as argamassas betuminosas. A areia, a terra e o saibro, são materiais constituídos por quartzo e silicatos, entre outros componentes como óxidos de ferro que conferem a coloração amarelada, vermelha ou castanho à terra.

A análise por Py-GC-MS confirmou a conclusão retirada na análise por micro-FTIR de que o aglutinante é um material constituído por compostos poliaromáticos e permitiu verificar que este é um betume de origem natural e não um betume obtido a partir da destilação de outro material como a hulha, resinas naturais ou outro. A técnica de Py-GC-MS evidenciou que o aglutinante empregue nas argamassas tem uma composição diferente da hulha ou carvão betuminoso. Os compostos detetados em maior quantidade nas amostras analisadas são aromáticos policíclicos, que podem fazer parte da composição de qualquer betume, seja de que origem for, natural ou sintética, e a presença de pequenas quantidades de hopano, derivados do hopano e gamacerano permitiu concluir que o aglutinante destas argamassas é um betume de origem natural.

⁵¹ <http://abceram.org.br/materias-primas-naturais/> (30/01/2017 às 00h52).

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

Capítulo V – Caracterização Hídrica da Argamassa Betuminosa

5.1 Considerações iniciais

Crê-se que a argamassa betuminosa, alvo de estudo neste trabalho, era utilizada no corte hídrico dos elementos de fundação e na impermeabilização de paredes de fachada e áreas húmidas interiores, impedindo a transferência de humidade sob a forma de água líquida para o interior das paredes e das construções. Neste capítulo, pretende-se suportar esta ideia através da caracterização experimental do comportamento hídrico desta argamassa betuminosa.

Assim aborda-se inicialmente o tema da humidade nas construções, sendo posteriormente descritos os ensaios realizados em amostras deste material e discutidos os resultados obtidos em relação aos seguintes parâmetros: coeficiente de absorção capilar, teor de humidade de saturação e avaliar a permeabilidade à água líquida. Complementarmente foi ainda realizado um ensaio para determinação da emissividade térmica do material sendo igualmente apresentados os resultados obtidos.

5.2 A humidade nas construções

A humidade é considerada uma das principais causas de degradação dos edifícios (Freitas, Torres e Guimarães, 2008), podendo manifestar-se de várias formas e com consequências nefastas, muitas vezes irremediáveis. A humidade, para além de provocar diferentes tipos de danos, que dão origem a diferentes tipos de patologias, reduz o conforto dos utilizadores dos edifícios, favorece o desenvolvimento de microrganismos prejudiciais a saúde e a sua resolução implica um elevado esforço financeiro da parte dos proprietários (Cóias, 2006).

A humidade pode manifestar-se sobre a forma de água líquida ou de vapor de água. Os mecanismos que condicionam o transporte da humidade em elementos de construção são complexos. “A difusão e os movimentos convectivos condicionam o transporte em fase de vapor, enquanto a capilaridade, a gravidade e o efeito do gradiente de pressão controlam da transferência de humidade em fase líquida. Na prática, o transporte em fase líquida e em fase de vapor ocorre em simultâneo e depende das condições de temperatura, humidade relativa, precipitação, radiação solar e pressão do vento das ambiências e das características do material” (Freitas, Torres e Guimarães, 2008).

As várias formas de manifestação, ou origem da humidade, são:

- **Água da chuva:** atua de forma direta nas fachadas, ou em zonas de envolvente com deficiências que permitam a entrada de água, como por exemplo: rufos, cumeeiras, chaminés, ligações das caixilharias com a fachada, entre outros (Cóias, 2006).
- **Água da construção:** resulta da água utilizada durante a construção, ou da acumulação de água por excessiva exposição à chuva durante a construção. Trata-se de água, que deveria ter evaporado ao longo do tempo de cura dos materiais, ou no decorrer da própria construção. Quando em excesso fica retida nos materiais podendo danificar a estrutura do edifício e causar anomalias como expansão, ou destacamento de certos materiais, fissuração e aparecimento de bolores (Freitas, Torres e Guimarães, 2008).
- **Condensações:** decorrem da existência ao deficiente isolamento térmico da envolvente e à insuficiente ventilação dos espaços, originando a humidificação dos elementos construtivos. São responsáveis pelo aparecimento de fungos e outros microrganismos (Cóias, 2006).
- **Infiltrações:** são o resultado da absorção de água por capilaridade, ou da percolação de água por gravidade. A absorção de água realiza-se através da estrutura porosa dos

materiais enquanto que a percolação de água por gravidade efetua-se através de zonas da envolvente fissuradas ou deterioradas. (Freitas, Torres e Guimarães, 2008). Esta água pode levar à degradação desses materiais, com eventual formação de eflorescências, ou seja, formações cristalinas de sais solúveis de coloração esbranquiçada e pouco coerentes nas superfícies, que podem acumular em zonas de evaporação. (Doehne & Price, 2010).

- **Rutura de canalizações:** resulta da rutura nas redes hidráulicas de abastecimento de água ou de drenagem de águas pluviais e residuais. Esta rutura pode dever-se ao desgaste do próprio material, a falhas de execução, à falta de manutenção, a intervenções inadequadas ou ao mau funcionamento das redes. A deteção deste tipo de anomalia é complexa, principalmente em edifícios antigos, devido ao fato da água poder migrar em diferentes direções no interior dos materiais de construção (Freitas, 2012).

5.3 Condições laboratoriais e equipamento utilizado

Os ensaios de caracterização experimental do comportamento hídrico da argamassa betuminosa foram realizados no Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Decorreram entre os dias 12 e 27 de outubro de 2017. Durante a realização dos ensaios, as condições laboratoriais foram monitorizadas com um *datalogger* da marca HOBO U12-011 da Onset (figura 99), que permite o registo e o armazenamento dos valores da temperatura e da humidade relativa do ar.

Na figura 100 e na tabela 20, apresentam-se os registos da temperatura e da humidade relativa obtidos durante o período de ensaio, bem como os valores mínimos, médios e máximos desses registos.



Figura 99 – Datalogger.

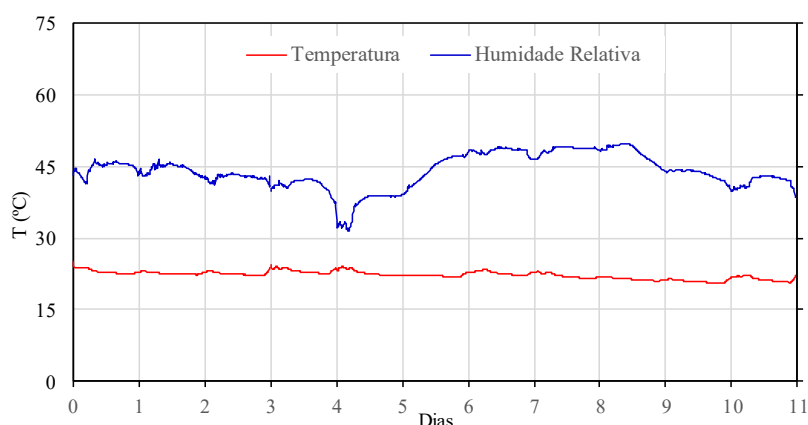


Figura 100 – Gráfico de temperatura e humidade relativa.

Tabela 20 – Valores mínimos, médios e máximos da temperatura e da humidade relativa no laboratório.

T. máxima	25.1°C	HR máxima	66.3%
T. mínima	20.5°C	HR mínima	41.9%
T. média	22.2°C	HR média	58.6%
T. desvio padrão	0.8°C	HR desvio padrão	4,8%

A análise do gráfico e dos valores da tabela, mostra que a temperatura média do laboratório é de 22.2°C com um desvio de padrão de $\pm 0.8^\circ\text{C}$, e a humidade relativa média de 58.6% com um desvio de padrão de $\pm 4.8\%$, considerou-se que as condições higrotérmicas laboratoriais eram estáveis.

Antes de se dar início aos ensaios, as amostras foram estabilizadas em ambiente laboratorial, tendo sido mantidas à temperatura e humidade relativa a que o laboratório se encontrava. Idealmente, esta estabilização deveria ser realizada em estufa ventilada WTB *Binder* para remover a eventual humidade contida nas amostras. Contudo, um teste realizado previamente em estufa mostrou que quando sujeito à ação de temperatura elevada o material se tornava maleável (voltando a solidificar após arrefecimento), inviabilizando este tratamento. As figuras 101 a 104 mostram o estado da amostra antes de ser colocada na estufa e após 24h a uma temperatura de aproximadamente 50°C.



Figura 101 – Amostra utilizada como teste, antes de ser colocada na estufa.



Figura 102 – Estufa ventilada.



Figura 103 – Amostra ao ser colocada na estufa.



Figura 104 – Amostra ao ser retirada da estufa.

Foram utilizados os seguintes equipamentos nos vários ensaios realizados foram: balança de precisão com a referência - *Precisa model 800M* (figura 105), paquímetro (figura 106), tina acrílica com uma grelha metálica (figura 107), escova de cerdas de aço (figura 108), recipientes plásticos (figura 109) e copos de vidro (figura 110).



Figura 105 – Balança de precisão.



Figura 106 – Paquímetro.



Figura 107 – Tina acrílica com grelha metálica.



Figura 108 - Escova com cerdas de aço.



Figura 109 – Recipiente plástico.

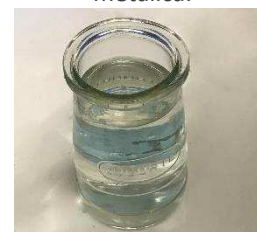


















Figura 110 - Copo de vidro com água.

5.4 Preparação das amostras

Após a realização das análises químicas das amostras de argamassas betuminosas, verificou-se que, à exceção da amostra da Rua das Taipas, todas as restantes são constituídas por silicatos e por um betume de origem natural. Tendo em conta este aspeto, assim como os requisitos de dimensão exigidos pela norma EN ISO 12570:2000 - *Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of moisture content by drying at elevated temperature*, selecionaram-se amostras com cerca de 50 cm² de área. As amostras obtidas eram de tamanhos distintos e irregulares, tanto no formato, como na espessura, não sendo possível cortá-las em tamanhos iguais. Por outro lado, ou se apresentavam muito frágeis, ou muito rígidas, o que determinou apenas um número limitado de amostras fosse estudado. Para além disso, os ensaios para determinar o teor de humidade de saturação e o coeficiente de absorção capilar foram realizados após a remoção da argamassa tradicional que se encontrava agarrada à argamassa betuminosa, e este processo causou a fratura de uma das amostras. Assim, as amostras que reuniram as condições necessárias para estes ensaios estão indicadas na tabela 21 e na tabela 22 e correspondem a três amostras por caso de estudo.

Tabela 21 – Amostras utilizadas no ensaio para determinação do coeficiente de absorção capilar, após remoção da argamassa tradicional.

Caso de Estudo	Local de recolha das amostras	Face da amostra voltada ao exterior	Face da amostra voltada ao interior
Nº 6	JF.I.1 Rua José Falcão nº 144 interior do edifício.		
	JF.I.2 Rua José Falcão nº 144 Interior do edifício		
	JF.I.3 Rua José Falcão nº 144 Interior do edifício		
Nº 8	PLC.E.1 Rua Padre Luís Cabral nº 1016 Exterior do edifício		
	PLC.E.2 Rua Padre Luís Cabral nº 1016 Exterior do edifício		
	PLC.E.3 Rua Padre Luís Cabral nº 1016 Exterior do edifício		
Nº 6	JF.F.1 Rua José Falcão nº 144 Cota inferior ao R/C		
	JF.F.2 Rua José Falcão nº 144 Cota inferior ao R/C		

JF.F.3
Rua José Falcão nº 144
Cota inferior ao R/C



Obs* Durante o processo de limpeza a amostra fraturou.

Tabela 22 – Amostras utilizadas no ensaio para determinação do teor de humidade de saturação após a remoção da argamassa tradicional.

Caso de Estudo	Local de recolha das amostras	Face da amostra voltada ao exterior	Face da amostra voltada ao interior
Nº 6	JF.I.1 Rua José Falcão nº 144 interior do edifício.		
	JF.I.2 Rua José Falcão nº 144 Interior do edifício		
	JF.I.3 Rua José Falcão nº 144 Interior do edifício		
Nº 9	TOR.E.1 Rua da Torrinha nº 64 Exterior do edifício		
	TOR.E.2 Rua da Torrinha nº 64 Exterior do edifício		
	TOR.E.3 Rua da Torrinha nº 64 Exterior do edifício		
Nº 6	JF.F.1 Rua José Falcão nº 144 Cota inferior ao R/C		
	JF.F.2 Rua José Falcão nº 144 Cota inferior ao R/C		
	JF.F.3 Rua José Falcão nº 144 Cota inferior ao R/C		

5.5 Coeficiente de absorção capilar

Nos ensaios laboratoriais para determinação do coeficiente de absorção capilar das argamassas betuminosas foi seguida a norma EN ISSO 15148:2012 - *Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water absorption coefficient by partial immersion*. Este ensaio consiste na imersão parcial das amostras, obtendo-se, através de pesagens, as variações de massa em função da raiz quadrada do tempo, e desta forma o coeficiente de absorção (A_w).

Foram selecionados três grupos de amostras, conforme a tabela 21, contendo cada grupo três amostras. O primeiro refere-se às amostras recolhidas no interior do edifício da Rua José Falcão (JF.I), o segundo grupo às amostras recolhidas no exterior da Rua Padre Luís Cabral (PLC.E) e o terceiro grupo às amostras recolhidas no interior a uma cota inferior à do rés-do-chão do edifício da Rua José Falcão (JF.F).

As amostras foram identificadas, sofreram uma limpeza mecânica com o auxílio de uma escova com cerdas de aço (figura 111), de forma a remover a argamassa de tradicional. Foram estabilizadas em ambiente do laboratorial durante 3 dias consecutivos e pesadas com o auxílio de uma balança de precisão. Numa tina acrílica colocou-se uma grelha metálica e acrescentou-se água até uma altura de aproximadamente $\pm 2\text{mm}$ acima da grelha (figura 112); as amostras foram pousadas sobre a grelha (figura 113) e mantidas em posição constante, afastadas da borda da tina de pelo menos 5mm.



Figura 111 - Limpeza mecânica, para a remoção da argamassa tradicional.



Figura 112 - Adição de água na tina de acrílico.



Figura 113 – Imersão parcial das amostras.



Figura 114 - Remoção do excesso de água com o auxílio de um pano absorvente, antes da pesagem.

No momento em que contataram com a água, iniciou-se a contagem do tempo para a realização das diferentes pesagens. Essas pesagens foram efetuadas aos 5 e 20 minutos e ao fim de 1, 2, 4, 8, 24 e 48 horas. A precisão de pesagem das amostras foi da ordem de $\pm 0,1\%$ da sua massa. Antes da pesagem das amostras, utilizou-se um pano para eliminar o excesso de água (figura 114). Cada amostra foi pesada individualmente, obedecendo à ordem de contato com a água. Desta maneira, garantiu-se que cada período de pesagem respeitaria sempre a mesma ordem.

5.5.1 Apresentação dos resultados obtidos

Os resultados obtidos, apresentados na tabela 23, consistem nas diferentes massas obtidas ao longo dos vários períodos de pesagem, bem como as massas na fase de estabilização em laboratório. Os gráficos das figuras 115, 116 e 117, representam a variação da massa em função da raiz quadrada do tempo e a respetiva curva de ajuste. Por fim, através das fórmulas (1) e (2) obtiveram-se, os resultados apresentados nas tabelas 24, 25 e 26. Note-se que os cálculos foram realizados de acordo com o formulário Tipo B da norma, embora a utilização

de ambos os formulários, Tipo A e Tipo B, resultassem para este material sempre em valores muito pequenos.

Tabela 23 – Valores obtidos no decorrer da pesagem

Capilaridade											
Data	23/out	24/out	25/out	25/out	25/out	25/out	25/out	25/out	25/out	26/out	27/out
Horário	11h	11h	9h40	5 min	20 min	1h	2h	4h	8h	24h	48h
	m0 (g)	m1 (g)	m1 (g)	300s.	1200s.	3600s.	7200s.	14400s.	28800s.	86400s.	172800s.
Grupo I											
JF.I.1	204,961	204,950	204,940	205,533	205,505	205,391	205,435	205,436	205,475	205,570	205,565
JF.I.2	180,356	180,345	180,337	180,651	180,697	180,808	180,664	180,668	180,765	180,766	180,616
JF.I.3	130,251	130,242	130,239	130,563	130,530	130,603	130,571	130,571	130,602	130,581	130,511
Grupo II											
PCL.E.1	283,068	283,056	283,042	283,48	283,828	283,722	283,813	283,764	283,900	284,129	284,184
PCL.E.2	320,940	320,910	320,904	321,930	322,615	321,873	321,678	321,608	321,765	321,796	321,830
PCL.E.3	577,658	577,631	577,620	578,979	578,741	578,128	578,224	578,279	578,200	578,796	578,191
Grupo III											
JF.F.1	140,998	140,785	140,614	140,67	140,861	140,876	140,937	141,047	141,222	141,615	141,969
JF.F.2	55,559	55,312	55,246	55,368	55,531	55,562	55,664	55,810	55,920	56,288	56,617
JF.F.3	31,644	31,604	31,502	31,556	31,739	31,773	31,805	31,874	31,986	32,090	32,305

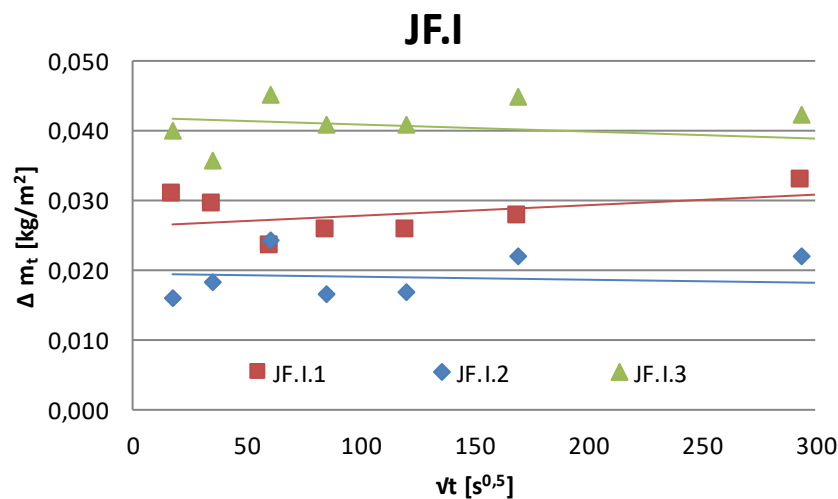


Figura 115 - Gráfico da absorção de água referente ao grupo de amostras JF.I. com a indicação da reta de tendência.

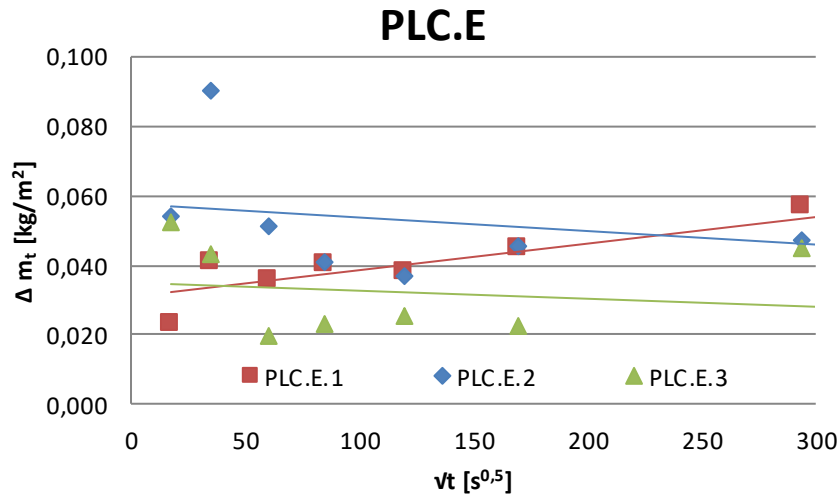


Figura 116 - Gráfico da absorção de água referente ao grupo de amostras PCL.E. com indicação da reta de tendência.

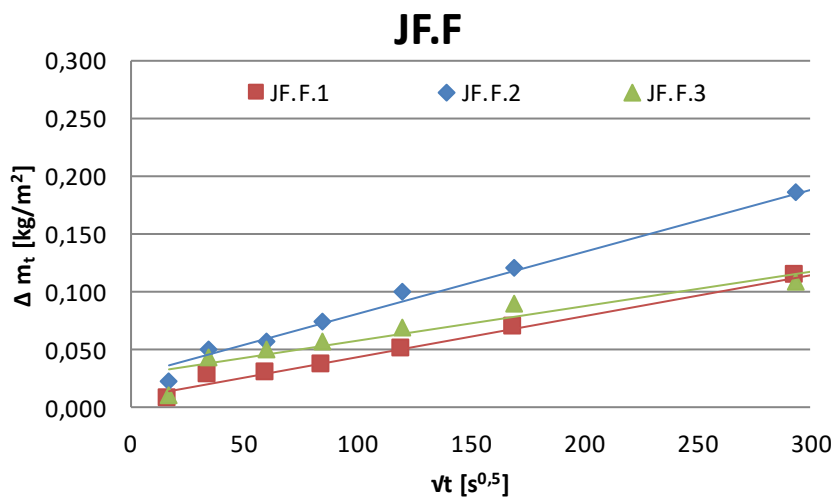


Figura 117 - Gráfico de absorção de água referente ao grupo de amostras JF.F. com indicação da reta de tendência.

$$\Delta mt = \frac{mt - mi}{A} \text{ kg/m}^2 \quad (1)$$

Onde:

Δmt – variação da massa por área da face após o tempo;

mt – massa em função do tempo;

mi – massa inicial estabilizada;

A – área da base/face.

$$Aw = \frac{\Delta mf}{\sqrt{t}} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5} \quad (2)$$

Onde:

Aw – coeficiente de absorção de água;

Δmf – variação da massa final;

\sqrt{t} – raiz quadrada do tempo.

Tabela 24 - Valores obtidos nas amostras JF.I.

	Tipo B			
	Δmf	Δmf	Aw (24h)	Aw (48h)
	24h	48h	kg/m ² .s ^{0,5}	kg/m ² .s ^{0,5}
JF.I.1	0,032179	0,040493	1,120E-04	1,111E-04
JF.I.2	0,018124	0,016461	7,480E-05	4,743E-05
JF.I.3	0,039061	0,034904	1,438E-04	1,133E-04

Tabela 25 - Valores obtidos nas amostras PCL.E.

	Tipo B			
	Δmf	Δmf	Aw (24h)	Aw (48h)
	24h	48h	kg/m ² .s ^{0,5}	kg/m ² .s ^{0,5}
PCL.E.1	0,054515	0,08777	1,934E-04	2,032E-04
PCL.E.2	0,045642	0,02901	1,597E-04	1,658E-04
PCL.E.3	0,029021	0,02070	1,534E-04	7,448E-05

Tabela 26 - Valores obtidos nas amostras JF.F.

	Tipo B			
	Δmf	Δmf	Aw (24h)	Aw (48h)
	24h	48h	kg/m ² .s ^{0,5}	kg/m ² .s ^{0,5}
JF.F.1	0,12538	0,29165	3,872E-04	5,241E-04
JF.F.2	0,17367	0,38151	6,316E-04	8,311E-04
JF.F.3	0,11558	0,24029	3,707E-04	5,063E-04

Observando as tabelas e os gráficos apresentados anteriormente, verifica-se que as argamassas betuminosas em estudo apresentam valores de coeficiente de absorção de água da ordem dos 3E-04 kg/(m².s^{0,5}). Verifica-se ainda que algumas das amostras dos casos de estudo JF.I e PCL.E apresentaram curvas de ajuste com declive negativo, não tendo sido considerados. A perda de massa que levou à ocorrência desta situação pode estar relacionada com o fato de não ter sido possível remover toda a argamassa tradicional acoplada às amostras e esta ter-se desagregado durante o ensaio. Esta perda de massa foi confirmada pela observação, após os ensaios, de resíduos de argamassa no fundo da tina.

A tabela 27 compara os coeficientes de absorção de água obtidos para as diferentes amostras de argamassa betuminosa com valores médios de alguns materiais, mostrando que as argamassas betuminosas praticamente não absorvem água por capilaridade.

Tabela 27 – Coeficiente de absorção (Aw):

Amostras	Aw kg/m ² .s ^{0.5}
JF.I	2,000E-05
PLC.E.1	8,000E-05
JF.F	4,000E-04

5.6 Teor de humidade de saturação

A determinação do teor de humidade de saturação não respeitou nenhuma norma específica, pelo fato das amostras não cumprirem os parâmetros exigidos pela norma. No entanto foi seguido um procedimento de ensaio que o Laboratório de Física das Construções realiza quando pretende determinar este parâmetro. Assim sendo, selecionou-se um novo grupo de amostras que foram estabilizadas em ambiente laboratorial, que foram pesadas e colocadas em recipientes plásticos totalmente submersas, ou seja, com água suficiente para as cobrir. No momento em que foram submersas em água (figura 119), iniciou-se a contagem de tempo para a pesagem. As pesagens foram efetuadas ao fim de 5 e 20 minutos e de 1, 2, 4, 8, 24 e 48 horas após o início do processo. A precisão de pesagem das amostras foi da ordem de $\pm 0,1\%$ da sua massa. Antes da pesagem das amostras, utilizou-se um pano para eliminar o excesso de água (figura 114). Cada amostra foi pesada individualmente obedecendo à ordem de imersão. Desta maneira, garantiu-se que a cada período de pesagem respeitaria sempre a mesma ordem.

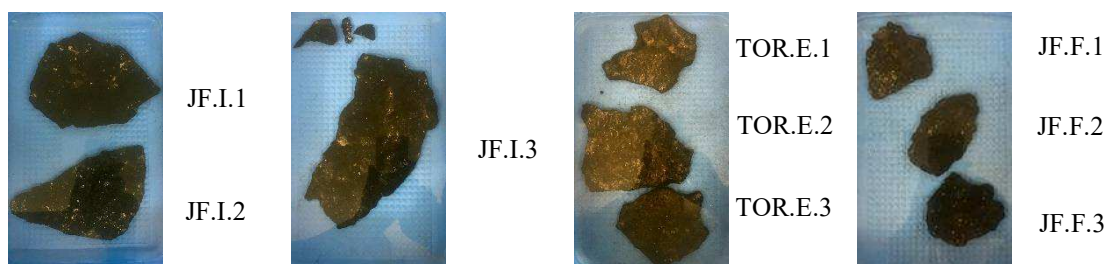


Figura 118 - Ensaio para determinação do teor de saturação.

5.6.1 Apresentação dos resultados obtidos para o teor de humidade de saturação

Na tabela 27, apresentam-se as diferentes massas obtidas ao longo dos vários períodos de tempo em que foram efetuadas as pesagens. Com estas massas, utilizando a fórmula de determinação do teor de humidade que consta da norma EN ISO 12570:2000 - *Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of moisture content by drying at elevated temperature* e que se apresenta com a referência (3), determina-se o teor de humidade de saturação de cada amostra ensaiada.

Na tabela 28, apresentam-se os teores de humidade de saturação calculados para cada amostra de argamassa betuminosa ensaiada.

Tabela 28 – Valores obtidos no decorrer da pesagem

Saturação											
Data	23/out	24/out	25/out	25/out	25/out	25/out	25/out	25/out	25/out	26/out	27/out
Horário	11h	11h	10h	5 min	20 min	1h	2h	4h	8h	24h	48h
	m0 (g)	m1 (g)	mi (g)	300s.	1200s.	3600s.	7200s.	14400s.	28800s.	86400s.	172800s.
Grupo I											
JF.I.1	125,293	125,287	125,283	125,610	125,591	125,574	125,535	125,566	125,536	125,621	125,548
JF.I.2	143,190	143,180	143,172	143,591	143,691	143,745	143,621	143,683	143,689	143,787	143,716
JF.I.3	122,029	122,017	122,006	122,294	122,548	122,550	122,636	122,709	122,754	123,322	123,032
Grupo II											
PCL.E.1	51,376	51,368	51,361	51,869	52,034	52,114	52,090	52,113	52,096	52,188	52,032
PCL.E.2	100,158	100,101	100,098	101,004	101,151	101,294	101,325	101,354	101,312	101,551	101,554
PCL.E.3	51,092	51,280	51,362	57,267	57,277	57,313	57,362	57,383	57,370	57,502	57,501
Grupo III											
JF.F.1	46,242	46,242	46,242	46,223	46,395	46,377	46,494	46,668	46,877	47,434	47,804
JF.F.2	42,485	42,395	42,207	42,429	42,491	42,620	42,750	42,927	42,922	43,427	43,873
JF.F.3	34,843	34,843	34,843	34,668	34,722	34,769	34,869	34,982	35,120	35,505	35,995

$$u = \frac{mf - mi}{mi} \quad (3)$$

Onde:

u – teor de humidade de saturação;

mf – massa final;

mi – massa inicial estabilizada.

Tabela 29 – Valores obtidos para os três grupos de amostras

Amostras	mf	mi	u (kg/kg)*%	média
JF.I.1	125,548	125,283	0,21%	0,48%
JF.I.2	143,716	143,172	0,38%	
JF.I.3	123,032	122,006	0,84%	
TOR.E.1	52,032	51,361	1,31%	1,38%
TOR.E.2	101,554	100,098	1,45%	
TOR.E.3*	57,501	51,362	11,95%	
JF.F.1	47,804	46,242	3,38%	3,54%
JF.F.2	43,873	42,207	3,95%	
JF.F.3	35,995	34,843	3,31%	

*Nas amostras TOR, o valor médio não inclui os resultados da amostra TOR.E.3.

Com base nos valores apresentados nas tabelas anteriores, verifica-se que os teores de humidade de saturação das argamassas betuminosas destes casos de estudo variam entre 0,48% e 3,54%. No caso de estudo da Rua da Torrinha (TOR.E), a amostra TOR.E.3 apresentou um valor muito díspar das outras duas amostras, pelo que esse valor não foi considerado no cálculo do teor de humidade de saturação médio. Não foi possível saber a causa desta diferença, no entanto, suspeitamos que a amostra apresentasse danos/fissuras não perceptíveis a olho nu.

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuguesas, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

Apesar das argamassas selecionadas apresentarem teores de humidade de saturação diferentes, os valores obtidos são reduzidos. Refira-se que as composições das argamassas são similares, mas não iguais, podendo as diferenças condicionar os respetivos teores de humidade de saturação. Assim sendo, também com base neste parâmetro se verifica que as argamassas betuminosas apresentam características impermeabilizantes.

5.7 Avaliação da permeabilidade à água

A permeabilidade é definida como a capacidade de um líquido escoar através de um sólido. Para a avaliação da permeabilidade à água seguiu-se um procedimento de ensaio que não é prescrito por nenhuma norma, mas que permitiu avaliar o comportamento das amostras de argamassa betuminosa face ao seu atravessamento por água líquida.

Novas amostras foram selecionadas para este ensaio, nomeadamente: duas do edifício da Rua Padre Luís Cabral nº 1016, uma do interior (PLC.A) e outra do exterior (PLC.B); e uma do edifício da Rua da José Falcão nº 144 (EXTRA). Colocou-se água em copos de vidro e selaram-se as amostras aos copos com um vedante do tipo Cola e Veda, conforme se apresenta nas figuras 120 e 121. Aguardou-se um período de 24h para polimerização do produto aplicado, conforme indicação do fabricante, de seguida, virou-se a amostra de forma a ficar sob o copo e marcou-se o nível de água com uma caneta permanente, figuras 123, 124 e 125. Deixou-se repousar por um período de 30 dias.

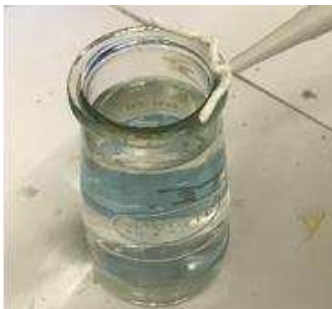


Figura 119 - Aplicação do selante Cola e Veda.



Figura 120 - União entre os materiais.



Figura 121 - Fissuras detetadas na amostra PCL.A.

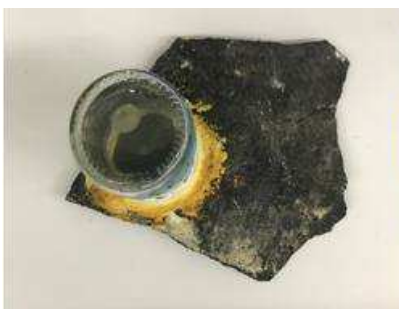


Figura 122 - Grupo de imagens referente a amostra - PLC.A.

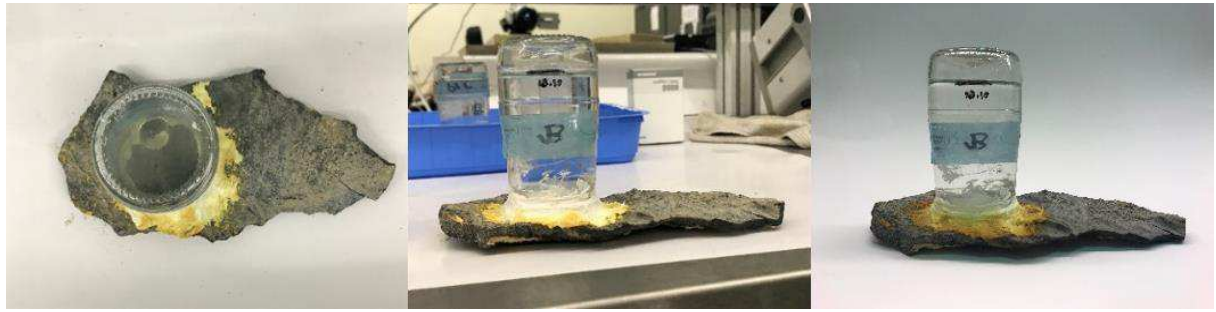


Figura 123 - Grupo de imagens referente a amostra - PCL.B.



Figura 124 - Grupo de imagens referente a amostra – EXTRA.

5.7.1 Apresentação dos resultados obtidos por permeabilidade à água

Após 30 dias registou-se apenas a evolução do nível da água contida nos copos, tendo-se constatado que o volume não se alterou, continuando, o mesmo após os 30 dias, inalterado, ou seja, não houve absorção de água em nenhuma das três amostras. Este ensaio permitiu constatar a elevada capacidade de impermeabilização da superfície desta argamassa betuminosa.

5.8 Ensaio de caracterização térmica

Este ensaio não estava inicialmente previsto, mas como estavam a decorrer no laboratório de Física das Construções da FEUP ensaios deste tipo, pela mão da engenheira Joana Maia, aproveitou-se a oportunidade para solicitar que o mesmo fosse realizado na argamassa betuminosa em estudo. O ensaio foi realizado apenas numa das amostras de argamassa betuminosa com argamassa a base de cal e numa manta asfáltica, com o intuito de comparar os resultados obtidos.

A emissividade (ϵ) desempenha um papel fundamental nos fenómenos de transferência de calor por radiação de um material e traduz-se como a capacidade de emitir energia por radiação através da sua superfície. A radiação emitida por uma superfície depende da temperatura e das propriedades dos materiais que a constituem; qualquer objeto que não seja um corpo negro tem emissividade entre 0 e 1 (Pereira, 2015). Quanto mais alto for o valor de ϵ , maior será a capacidade de material em emitir ou absorver energia.

Para a realização do teste de emissividade térmica utilizou-se a norma ASTM C1371 - *Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature. Using Portable Emisimeters*, e um equipamento denominado emissómetro da marca *Devices & Services Company*, modelo AE1, concebido para a medição da emissividade em superfícies planas com boa condutividade. A medição é feita por comparação com padrões de alta e baixa emissividade, e requer que os referidos padrões se encontrem à mesma temperatura que a

superfície a ser medida. A precisão dos padrões fornecidos é da ordem dos $\pm 0,02$. O equipamento apresenta-se na figura 126, onde se indicam os seus principais componentes.



Figura 125 - Partes constituintes do emissómetro.

- 1- Dissipador de calor sobre os quais são colocados os padrões e as amostras;
- 2- Fonte de alimentação;
- 3- Voltímetro RD1 que permite a leitura imediata do que o valor obtido da emissividade;
- 4- Quatro placas com dois padrões de referência;
- 5- Manual de utilização em CD;
- 6- *Shorting Plug* utilizado para levar o voltímetro a zero;
- 7- Detetor de energia radiante;
- 8- Recipiente com água destilada;
- 9- Cabo de alimentação;
- 10- Chave-de-fendas para calibração;
- 11- Adaptador modelo padrão AE-ADP e um fole.

Na realização dos ensaios, para além do emissómetro, utilizou-se um ventilador para garantir temperaturas semelhantes nas amostras e no padrão de alta emissividade (corpo negro).

5.8.1 Procedimento adotado para a medição de emissividade na amostra de manta asfáltica de argamassa betuminosa

O emissómetro foi ligado e deixou-se aquecer o detetor durante 30 minutos para eliminar a humidade eventualmente absorvida.

Em seguida, efetuou-se a calibração do mesmo de acordo com o seguinte procedimento: colocou-se o interruptor na posição *variable*, inseriu-se o *dual banana pug* na ficha lateral e ajustou-se o voltímetro para 0.00 (*voltmeter offset*) utilizando-se uma chave-de-fendas; colocaram-se algumas gotas de água destilada⁵² sobre o dissipador de calor e sobre os dois padrões de alta e baixa emissividade; colocou-se o detetor em cima de cada um dos padrões de referência, e repetiu-se o procedimento, alterando os padrões até à estabilização da leitura do padrão de referência em 0.88 para alta emissividade e 0.05 para baixa emissividade, figuras 129 e 130.

Após a calibração do equipamento, iniciaram-se as medições. Para isto, contou-se com o auxílio de um ventilador, colocou-se a detetor em cima do padrão de referência de alta emissividade e a amostra ao lado e ligou-se o ventilador durante 5 minutos, figura 126 e 128. Após este período, desligou-se o ventilador e iniciou-se a medição, ajustando o voltímetro para 0,88 conforme o padrão de referência (figura 127), e colocou-se o detetor num ponto da amostra da manta asfáltica por 20 segundos no primeiro ponto (para estabilizar a leitura), deslizou-se para outro ponto da amostra por 15 segundos e repetiu-se este procedimento, alterando os pontos, até perfazer um total de 60 segundos (figura 129). Houve o cuidado de não se quebrar o contato entre as superfícies para não ocorrerem erros durante a medição. A

⁵² Confrontar com a ficha de produtos – anexos.

leitura máxima obtida no último ponto é considerada como valor final para esta medição. O procedimento foi repetido com a amostra de argamassa betuminosa após ser removida a argamassa tradicional (figuras 130 e 131).

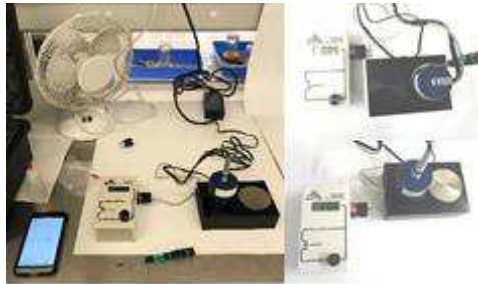


Figura 126 - Calibração do equipamento.



Figura 127 - Leitura do padrão de referência em 0.88.



Figura 128 - Utilização do ventilador para igualar a temperatura do dissipador e da amostra de manta asfáltica.



Figura 129 - Medição da emissividade da manta asfáltica.



Figura 130 - Utilização do ventilador para igualar a temperatura do dissipador e da amostra de argamassa betuminosa.



Figura 131 - Medição da emissividade da argamassa betuminosa.

5.8.2 Apresentação dos resultados obtidos por emissividade

O valor de emissividade obtido para argamassa betuminosa foi de 0.93 e para a manta asfáltica de 0.87. Estes valores, mostram que ambos os materiais possuem uma elevada emissividade térmica e são menos refratários, portanto têm um baixo desempenho térmico. Na tabela 29, podemos comparar a emissividade destes materiais com a de outros materiais correlacionados.

Tabela 30 - Valores de emissividade de alguns materiais

Material	ϵ
Asfalto	0.93
Argamassa Tradicional	0.92
Betão	0.94
Carvão	0.96
Granito	0.84
Terra seca	0.93
Tyvek Reflex (membrana refratária)	0.12

*Valores de referência obtidos nos sites: AXIS Communications, Contemp e Dupont

5.9 Síntese do capítulo

Neste trabalho realizaram-se ensaios para determinar o coeficiente de absorção capilar, o teor de humidade de saturação e avaliar a permeabilidade à água das argamassas em estudo. O coeficiente de absorção capilar foi determinado com base na medição da variação da massa, ao longo do tempo, nas amostras de argamassa betuminosa parcialmente imersas em água; para se determinar o teor de humidade, mediu-se a variação de massa, após a imersão total das amostras em água; a permeabilidade das argamassas foi estudada com base na verificação da capacidade de deixarem atravessar-se pela água.

Os diferentes ensaios revelaram que as argamassas betuminosas quase não absorvem água por capilaridade ou saturação. Estes resultados, por si só, sugerem que a argamassa betuminosa pode cumprir a função de impermeabilizante, tendo-se obtido a confirmação deste bom comportamento como material impermeabilizante através da realização de ensaios de avaliação da permeabilidade à água.

Note-se que este fato faz com que a água eventualmente transportada para o interior de uma parede onde exista esta argamassa betuminosa, quer por capilaridade, quer por infiltração, seja retida na interface suporte (pedra) – argamassa, causando a desagregação da pedra e a degradação desta interface. Acredita-se ser este fenómeno o grande promotor do destacamento da argamassa betuminosa, frequentemente observada em edifícios antigos.

Para além destes testes hídricos, também se realizou um ensaio de caracterização térmica, que não estava inicialmente previsto neste estudo e através qual se aferiu a emissividade térmica de uma amostra de argamassa betuminosa de um dos edifícios selecionados. Este ensaio demonstrou que as argamassas betuminosas possuem um valor elevado de emissividade térmica, tendo, portanto, um baixo desempenho térmico, sendo um material pouco refratário. Este fato reveste-se de alguma importância, pois apesar de as argamassas poderem ser consideradas bons “isolantes hídricos”, são maus isolantes térmicos e esta sua capacidade de conduzir calor poderá ter influência na ocorrência de fenómenos de condensação no interior dos edifícios.

6. Conclusão

A maioria dos materiais utilizados em construção civil apresenta um determinado grau de porosidade, o que permite que a água, seja qual for a sua origem ou estado, migre através dos poros ocorrendo a sua humidificação. No caso das paredes de edifícios construídos em alvenaria de pedra e dos materiais que as constituem, este fenómeno, associado à falta de manutenção, ocasiona anomalias nos elementos, contribuindo para o destacamento dos revestimentos, sejam estes de que natureza for (reboco, azulejo ou tinta).

A utilização de um material impermeabilizante aplicado sobre as paredes, como a argamassa betuminosa, poderá permitir contrariar este efeito. Contudo, mesmo nas paredes onde existe, é possível verificar que, mais cedo ou mais tarde, acabam por ocorrer destacamentos, não se sabendo se tal deve à degradação da camada impermeabilizante de argamassa betuminosa (não é devido à degradação desta camada, mas da interface, nomeadamente do material que lhe serve de suporte, ou que se agarra nele) ou à degradação dos materiais que se encontram em contacto com esta.

A constituição deste material é pouco precisa, principalmente no que diz respeito à natureza do ligante (aglutinante) com que eram preparadas estas argamassas, tendo em conta os poucos registos históricos existentes e alguma confusão relativamente à nomenclatura usada na época para designar o material usado como ligante (aglutinante) na preparação de argamassas betuminosas. Nota-se também uma certa incoerência na preparação da argamassa betuminosa, uma vez que não seria feita a distinção entre o tipo de areia branca utilizada, do mar ou do rio, como referem Ferreira e Coroadó (2004), pois o material aparentemente tinha por finalidade melhorar o desempenho construtivo perante a ação da humidade, promovendo o corte hídrico, a fim de evitar o aparecimento de eflorescências.

O trabalho realizado no âmbito desta dissertação é ainda um ponto de partida para um estudo mais aprofundado sobre este tema. O limite temporal imposto pela natureza de uma investigação de mestrado permite apenas o estudo de um número relativamente baixo de casos, não sendo possível abranger todo o contexto de edificações existentes no norte do país, que contêm este tipo de revestimento impermeabilizante. Contudo a realização desta investigação constitui mais uma etapa na determinação da argamassa betuminosa.

A caracterização química das diversas amostras estudadas permitiu verificar que, em todos os casos selecionados à exceção do caso de estudo nº 04 – Palacete brasonado, localizado na Rua das Taipas, o material usado como aglutinante é um betume ou asfalto de origem natural. As análises efetuadas por micro-FTIR permitiram constatar que o aglutinante teria características semelhantes em todos os casos, apontando para a possibilidade de um material constituído por compostos aromáticos. No entanto, somente com a análise por Py-GC-MS, através da qual se detetaram compostos específicos dos betumes naturais, nomeadamente o gamacerano, foi possível chegar a esta conclusão.

Por outro lado, os ensaios hídricos realizados, demonstraram que o material cumpre a função de material impermeabilizante, não permitindo a migração da água ao longo da espessura, seja qual for o seu estado, líquido ou gasoso. Esta conclusão permite estimar que o maior fator que influencia o destacamento desta argamassa é a retenção da água transportada para o interior da parede, quer por capilaridade, quer por infiltração na interface com este material. A permanência desta água provoca a desagregação do material pétreo e da argamassa de reboco e, conseqüentemente, a perda de coesão, provocando o destacamento da argamassa betuminosa e/ou das camadas que a ela se agarram. Por um lado, constatou-se também que a argamassa betuminosa ao ser submetida à ação de temperatura se torna maleável, sendo

fundamental que exista um bom revestimento/proteção exterior deste material, de forma a evitar a ação direta do calor que lhe pode modificar as características iniciais. Finalmente, o ensaio de caracterização térmica mostra que o material é mau isolador térmico e que esta característica pode potenciar a ocorrência de fenómenos de condensação no interior dos edifícios, embora de forma dispersa, já que toda a área da parede de alvenaria, e não apenas em zonas muito circunscritas, se encontra nas mesmas condições de isolamento.

Acredita-se, então, que o somatório destes fatores promove o destacamento da argamassa betuminosa, frequentemente observada em edifícios antigos.

Assim, para futuros estudos sobre esta temática, sugere-se a realização dos ensaios de envelhecimento acelerado com betumes naturais e com argamassas betuminosas preparadas em laboratório, que simulem as condições a que as argamassas betuminosas dos edifícios estiveram submetidas ao longo dos anos, para se perceber se realmente há perda de função por parte deste material (impermeabilização/corte hídrico), como consequência do seu processo natural de envelhecimento. Por outro lado, seria também interessante, no caso dos ensaios hídricos de absorção capilar e teor de humidade de saturação, conseguir-se um tamanho e um número de amostras suficientes para criar provetes que se adequem às normas EN ISO 15148:2012 e EN ISO 12570:2000, de forma a obterem-se mais dados que confirmem ou contradigam as conclusões obtidas no presente estudo. Sugere-se ainda uma investigação mais detalhada dos fenómenos de degradação da interface entre a argamassa betuminosa e os materiais anexos (suporte pétreo e argamassa de reboco) de forma a melhor compreender e precaver o destacamento destes materiais.

Finalmente, seria interessante poder ensaiar a argamassa betuminosa existente em conjunto com outros materiais impermeabilizantes, para determinar a compatibilidade dos mesmos e tentar desenvolver soluções que permitam a conservação da argamassa betuminosa no contexto das intervenções de reabilitação do edifício histórico.

7. Bibliografia

Fontes Computadorizadas

Absorvância

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Absorbância> (26/11/2017 às 11h23);

Associação Brasileira de Cerâmica

<http://abceram.org.br/materias-primas-naturais/> (30/01/2017 às 00h52);

Breu

https://www.ctborracha.com/?page_id=7163 (17/07/2017 às 22h30);

Direção Municipal do Arquivo Histórico

<http://gisaweb.cm-porto.pt/> (11/11/2017 às 7h45);

Dupont – Tyvek Reflex

<http://www.dupont.com.br/produtos-e-servicos/construction-materials/building-envelope-systems/products/tyvek-reflex-heat-reflective-membrane.html> (06/11/2017 às 5h15);

Jornal Diário de Notícias de 21 de novembro de 2017

<https://www.dn.pt/lusa/interior/fachadismo-pode-prejudicar-porto-patrimonio-mundial----vice-presidente-do-icomos-8933706.html> (23/11/2017 às 11h45);

Google Maps

<https://www.google.pt/maps/@41.153144,-8.6762125,3a,90y,345.15h,98.35t/data=!3m6!1e1!3m4!1sIRfeeE2wxaC5cvP6Jhq9tw!2e0!7i13312!8i6656?hl=pt-PT> (08/11/2017 às 20h21);

Manchas de humidade em paredes interiores em granito rebocadas e pintadas

<http://www.apfac.pt/patologias/B10%20Parede%20interior%20Humidade%20ascensional.pdf> (18/07/2017 às 2h45);

Procuradoria-Geral Distrital de Lisboa (Legislação)

http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1217&tabela=leis (01/09/2017 às 13h45);

RGEU - Regulamento Geral das Edificações Urbanas, aprovado pelo DL nº 38 382 de 07/08/1951. Diário da República, Portugal.

http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1217&tabela=leis (01/09/2017 às 13h45)

Tabelas de emissividade

http://www.contemp.com.br/downloads/pdf/Tabela_de_Emissividades.pdf (06/11/2017 às 5h30);

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

Tabela de emissividade material

<https://www.axis.com/br/pt/products/axis-q2901-e/emissivity> (06/11/2017 às 4h45);

ScienceDirect

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/01652370?sdc=1> (01/06/2017 às 1h10);

Fontes Impressas

AGUIAR, José (2002) – *A cor e cidade histórica. Estudo cromático e conservação do património*. Porto: FAUP.

BEYCHOK, M.R. (1974) - Coal gasification and the phenosolvan process. *American Chemical Society 168th National Meeting*, Atlantic City.

BELLAMY LJ (1975) - *The Infra-red Spectra of Complex Molecules*. Chapman and Hall. London.

BRANCO, J. Paz (1993 - 2ª edição) – *Dicionário Técnico da Construção Civil*. Cooptécnica/EPGE, Queluz.

BROWN, K.M. (2016). Asphaltum (bitumen) production in everyday life on the California Channel Islands. *Journal of Anthropological Archaeology*, 41, pp. 74-87.

CASADIO, F., **TONIOLO**, L. (2001) - The analysis of polychrome works of art: 40 years of infrared spectroscopic investigations. *Journal of Cultural Heritage*, 2, pp. 71-78.

CHANG, R & **GOLDSBY**, K.A. (2013) – *Química* (11ª ed.). Porto Alegre, Brasil: AMGH)

COATES, J. (ed) (2000) - Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. Meyers RA. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, pp. 10815–10837.

CÓIAS, Vitor (2006) – *Inspecções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios*. IST PRESS: Lisboa.

DERRICK, M.R.; **LANDRY**, J.M.; **STULIK**, D.C. (1999) – *Infrared Spectroscopy in Conservation Science*. Getty Conservation Institute, Los Angeles.

DOEHNE, Eric; **PRICE**, Clifford A (2010 – 2nd edition) – *Stone Conservation. An Overview of Current Research*. The Getty Conservation Institute, Los Angeles.

FERREIRA, Luís Mariz; **COROADO**, João Freitas (2004) – *Argamassas betuminosas usadas como corte hídrico vertical na cidade do Porto (1850-193)*. Porto: FAUP.

FERREIRA, Luís Mariz (2006) – *Arquitecturas de cerâmica vidriada. nociones históricas y de contexto del azulejo de exterior en la Ciudad de Porto entre 1850 y 1920*. Dissertação de Mestrado, Universidade do País Basco, Bilbao.

FRADE, J. C. (2006). *Aplicação da microespectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier à caracterização de camadas de acabamento (vernizes) de pintura de cavalete*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, Portugal.

FREITAS, Vasco (2012) – *Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos*. Porto, Ordem dos Engenheiros - Região Norte.

GETTENS, Rutherford J., **STOUT**, George L. (1966 – 2ª Edição) - *Painting materials: a short encyclopaedia*. New York: Dover Publications.

HUMECKI, H. J. (ed.). (1988) - *Practical Guide to Infrared Microspectroscopy: theory and applications*. New York: Marcel Dekker.

ICOMOS (2003) – *Recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico. Linhas de Orientação*. ICOMOS. (Trad. Paulo Lourenço e Daniel Oliveira).

KENNET E. Peters; **CLIFFORD** C. Walters **MOLDOWAN**, J. Michael (2005 – 2nd ed.) - *The Biomarker Guide. Volume 2 Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History*. Cambridge University Press, Cambridge.

LANGURI, G. M. (2004) - *Molecular studies of asphalt, mummy and Kassel earth pigments: their characterisation, identification and effect on the drying of traditional oil paint (MolArt 9)*, Amsterdam: University of Amsterdam.

LANGENHEIM (2003) - *Plant resins: chemistry, evolution, ecology, and ethnobotany*. Timber Press, Inc., Portland.

LEITÃO, Luís Augusto (1896) – *Curso elementar de construção*. Imprensa Nacional, Lisboa.

MAREL, H.W.Van der; **BEUTELSPACHER**, H. (1976) Atlas of Infrared Spectroscopy of Clay Minerals and their Admixtures. Elsevier, Amsterdam.

MARIZ, Luís (2016) – Impermeabilizante à base de alcatrão. História técnica e desempenho, *Atas do Segundo Congresso Internacional de História da Construção Luso-brasileira – Culturas Partilhadas*, 14 – 16 de setembro de 2016, Porto: FAUP, pp.443-454.

MARK, Herman Francis (ed.) (1985) - *Encyclopaedia of polymer science and engineering, 2nd edition*, John Wiley & Sons, Chichester, 1985.

MASCARENHAS MATEUS, João (2002) – *Técnicas Tradicionais de Construção de Alvenarias. A literatura técnica de 1750 a 1900 e o seu contributo para a conservação de edifícios históricos*. Lisboa: Livros Horizonte.

MILLS, J. S., **WHITE**, R. (1977). Natural resins of art and archaeology, their sources, chemistry, and identification. *Studies in Conservation*, 22: 12-31.

MILLS, J. S., **WHITE**, R. (1987) - *The Organic Chemistry of Museum Objects*. London: Butterworth.

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuguesas, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

MOLDOVEANU, S.C. (1998). *Analytical Pyrolysis of Natural Organic Polymers*. Techniques and Instrumentation in Analytical Chemistry – Vol. 20. Amsterdam: Elsevier.

MOURA, Nuno Augusto Monteiro de Campos (2009) – *A Foz do Douro: evolução urbana*. Dissertação de Mestrado em Planeamento Urbano e Regional apresentada à Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto.

OLIVEIRA, P.J. (2014) - *Transmissão de Calor – Radiação*. Departamento Engenharia Eletromecânica. UBI, Covilhã.

PEREIRA, Ana Cristina Moreira (2015) – *Emissividade dos Materiais de Construção. Influência a medição em diferentes variantes*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia civil, FEUP, Porto.

PIRES, Maria do Carmo (2000) - *Rua Álvares Cabral (1895-1940), Formas de Habitar*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Letras do Porto, Porto.

PETERS, Kennet E.; WALTERS, Clifford C.; MOLDOWAN, Micael J. (2005). *The Biomarker Guide*. Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History - Volume 2. United Kingdom: Cambridge University Press.

POUCHERT, C.J. (1978) - *The Aldrich Library of Infrared Spectra*. Aldrich Chemical Company. Inc., Milwaukee.

QUEIROZ, Francisco; PORTELA, Ana Margarida (2009) – *Conservação Urbana e Territorial Integrada. Reflexões sobre salvaguarda, reabilitação e gestão de centros históricos em Portugal*. Lisboa: Livros Horizonte.

SKOOG, Douglas A.; WEST, Donald M.; HOLLER, CROUCH, Stanley R. (2014) - *Fundamentals of Analytical Chemistry*. 9th edition. Belmont, CA: Brooks/Cole, Cengage Learning.

SPEIGHT; J.G. (1992) - *Asphalt*. In: *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology, 4th ed. Vol. 3*. New York, NY, John Wiley & Sons, pp. 689–724.

TEIXEIRA, G. de Barbosa; BELÉM, M. da Cunha (1998) – *Técnicas tradicionais de Construção. Diálogos de Edificação*. Porto: CRAT.

TEIXEIRA, Joaquim (2004) – *Descrição do Sistema Construtivo da Casa Burguesa do Porto entre os Séculos XVII e XIX. Contributo para uma história da construção arquitectónica em Portugal*. Provas de Aptidão Pedagógica de Capacidade Científica. Porto: FAUP.

VASCO, P. F.; TORRES, M. I.; GUIMARÃES, A. S. (2008) - *Humidade Ascensional*. Porto: FEUP.

VEIGA, Maria do Rosário (2003) – *As argamassas na construção*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

VEIGA, Maria do Rosário (2003) – *Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes*. Proceedings

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuguesas, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

of 3º ENCORE – Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

VEIGA, M^a. Rosário; AGUIAR, José (2003) – Definição de estratégias de intervenção em revestimentos de edifícios antigos. *Proceedings of 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios*, Porto: FEUP/UP.

VEIGA, M^a do Rosário (2000) – Proteção contra água de paredes de edifícios antigos. Avaliação experimental da capacidade de proteção de argamassas de reboco com base em cal. *Comunicação apresentada no Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, REPAR*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

WAMPLER, Thomas P. (2007). *Applied Pyrolysis Handbook*. New York: Marcel Dekker.

WAMPLER, T. P. (ed) (2007) – *Applied Pyrolysis Handbook*. Boca Raton: CRC Press.

WESS, Joann; OLSEN, Larry D.; SWEENEY, Marie Haring (2004) – *Asphalt (Bitumen)*. *Concise International Chemical Assessment Document 59*, Geneva: IOMC.

Normas Técnicas

ASTM C1371 - *Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature. Using Portable Emissometers.*

Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. ABNT novembro de 2004 Projeto 02:135.07-001/2. Universidade Federal de Santa Catarina Ctc - Departamento de Engenharia Civil - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.

EN ISO 12570:2000 - *Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of moisture content by drying at elevated temperature.*

EN ISO 15148:2012 - *Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water absorption coefficient by partial immersion.*

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

Anexos

Estudo da argamassa betuminosa utilizada como corte hídrico nas edificações tradicionais portuenses, entre os séculos XIX e XX. Estudo analítico no contexto da reabilitação do edificado urbano.

1. Desenho da caldeira

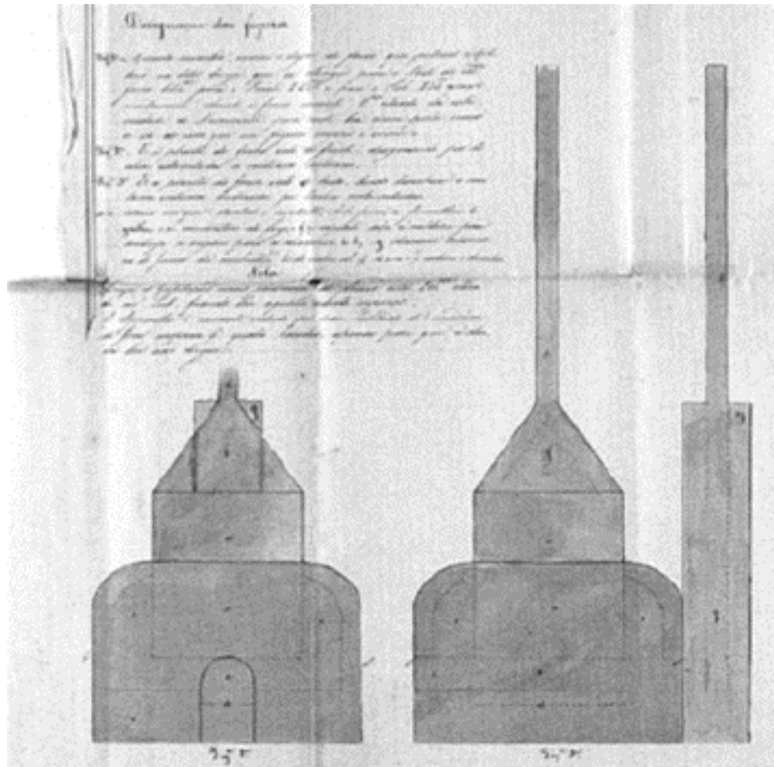


Figura 132 – Ilustração da caldeira utilizada. Fonte: ADP-GCP⁵³ @ Ferreira; Coroado, 2004.

⁵³ Ferreira e Coroado, realizaram uma consulta de diferentes processos de licenciamento industrial para empresas produtoras de asfalto pertencentes ao Fundo do Governo Civil do Porto em depósito no Arquivo Distrital do Porto (ADP-GCP).

2. Construção executada antes de 1951, data da entrada em vigor do RGEU - Regulamento Geral das Edificações Urbanas⁵⁴, aprovado pelo DL 38382 de 07/08/1951.

“O DL 281/99 de 26.07 determina que não podem ser celebradas escrituras públicas que envolvam a transmissão da propriedade de prédios urbanos ou suas frações autónomas, sem que se faça perante o notário prova suficiente do correspondente alvará de utilização, ou sua isenção, como é o caso das edificações existentes antes da entrada em vigor do RGEU.

A competência, em matéria de edificação, é atribuição dos municípios, que, no seu cumprimento, têm o dever de manter no seu território geográfico, um urbanismo e respetivas edificações, cumpridores da lei vigente.

Nesses termos, as construções existentes no território do município estão tituladas por alvará de construção seguido de alvará de utilização, ou estão a ser alvo de procedimento com vista à sua legalização e na sua impossibilidade, com vista à sua demolição (teoricamente).

Excecionam-se desses pressupostos as construções que estão isentas de alvará de utilização, como é o caso das edificações executadas antes do início da vigência do RGEU - Regulamento Geral das Edificações Urbanas, aprovado pelo DL 38382 de 07/08/1951 que prevê, no primeiro artigo, em parágrafo único, que o RGEU, se aplicará nas zonas e localidades a que seja tornado extensivo por deliberação Municipal, que são muito posteriores a 1951 (A título de exemplo, no meu município, essa deliberação só ocorreu dez anos depois...).

Assim, quando o requerente pretende que lhe seja certificado que a construção do prédio, é anterior à entrada em vigor do RGEU, quer fazer prova perante o notário, de que o prédio está isento da obrigação legal de ser titulado por alvará de utilização."

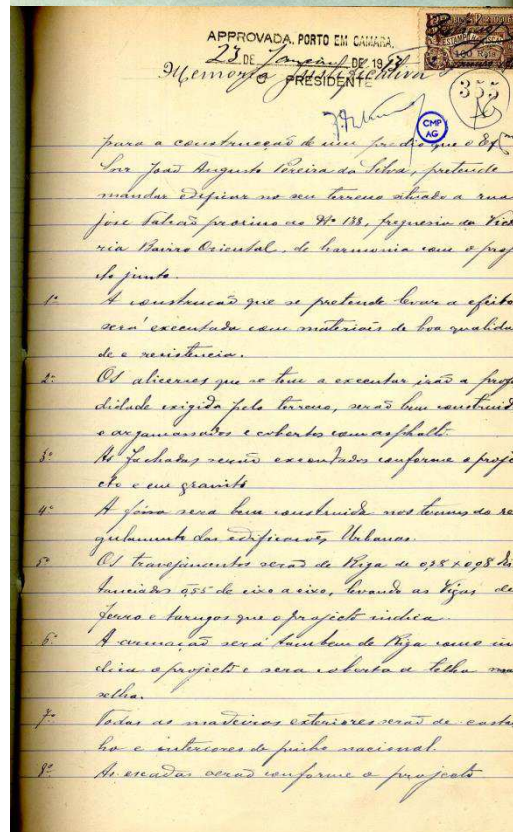
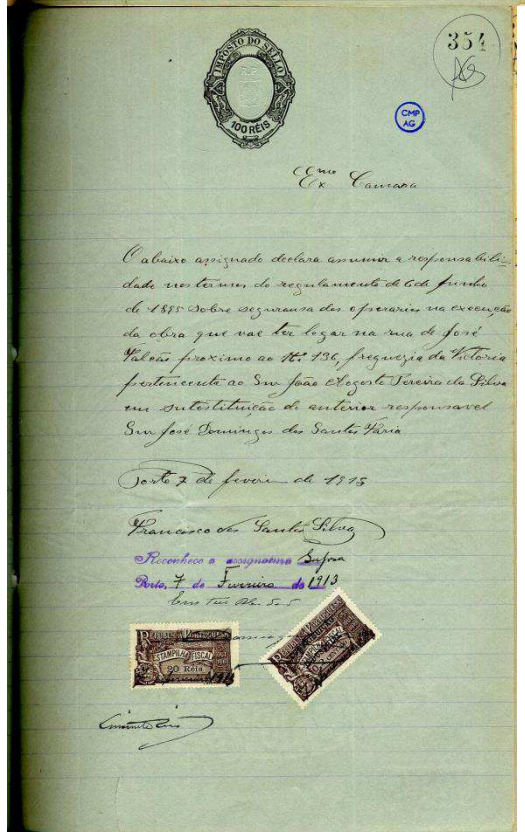
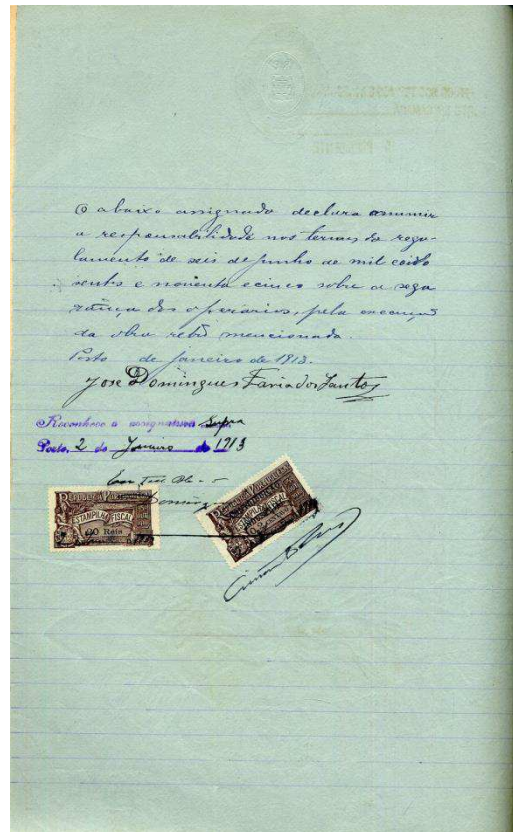
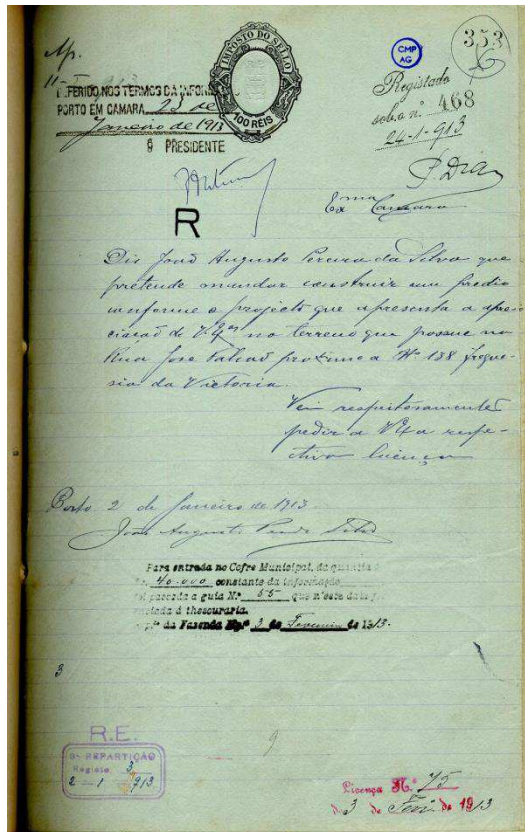
Uma vez que até à entrada em vigor do RGEU os municípios não tinham a obrigação de possuir registo das construções existentes, não há nos seus arquivos documentos que comprovem a data de construção do edifício ou confirmem a sua antiguidade.

Pelo que, é o interessado que tem o ónus de instruir o pedido de certidão com os documentos e provas necessários a confirmar o fato que alega, relativo à antiguidade da construção, nos termos do art.º 88 do CPA – Código de Procedimento Administrativo, podendo fazê-lo por todos os meios de prova em direito permitidos.

Um desses meios de prova é a da caderneta predial, onde consta a data em que começaram a ser pagos impostos, relativos aquela construção. Contudo, se não foram pagos impostos, como pretende agora o interessado usufruir de o benefício de poder datar a construção como anterior ao RGEU."

⁵⁴ http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1217&tabela=leis (01/09/2017 às 13h45)

4. Relação de documentos – Rua José Falcão (Licença de obra n.º: 75/1913).



9.º As colunas e condutores serão em bloco de ferro fundido.
 10.º Todas as fundas terão abajuramentos serão seladas e envidradas.
 11.º A clarabóia e caixas d'água e luz serão executadas de ferro que a substitua-se separadamente.
 12.º A chaminé será conforme a lei.
 13.º As laijas das tabeiras serão hygienicas e atala de queda serão prolongadas para a exterior do telhado.
 14.º As galerias serão suportadas por mais de colunas de ferro e solidamente construídas de acordo com o projecto.
 15.º Toda a obra será pintada.
 16.º Não se executará toda a obra sem a construção da de ferro e obediencia ao regulamento de habitação.

Porto, 2.ª feira de 1913.
 José Augusto Pereira da Silva

O projecto

B) pelo que respeita às prescrições do Código de Posturas em vigor e do regulamento de Sanidade das edificações urbanas, aprovado por decreto de 14 de Fevereiro de 1908.

a) sobre a altura das fachadas (art.º 6.º e 6.º do R. de S.)	De acordo
b) sobre a altura inferior, ou pé direito dos andares (§ 3.º do art. 6.º do R. de S.)	De acordo
c) sobre quartos de dormir e dormitórios (art. 18.º do R. de S.)	De acordo
d) sobre as dimensões das janellas (art. 11.º do R. de S.)	De acordo
e) sobre pátios e saguões (art.º 19.º e 20.º do R. de S.)	De acordo
f) sobre escadas interiores (§§ 1.º e 2.º do art. 9.º do R. de S.)	De acordo
g) sobre portas, janellas, balcões ou montantes nos andares terrenos (art. 146.º do C. de P.)	De acordo
h) sobre alpendros, sobre-casas ou coberturas, de portas avançando sobre a via publica (art. 146.º e seus §§ 1.º e 3.º do C. de P.)	De acordo
Nota: a superfície da projecção do alpendre na via publica é de 1.00 m ² , e taxa annual a que se refere o § 2.º do art. 146.º do C. de P. poderá ser de mais.	
i) sobre pedes salientes junto das horebras dos portaes (art. 132.º do C. de P.)	De acordo
j) sobre degraus, escadarias, rampas e balcões junto ás soleiras das portas (art. 131.º do C. de P.)	De acordo
k) sobre beirras e caílos dos telhados (§ 1.º do art. 136.º do C. de P.)	De acordo
l) sobre tubos de queda (art. 25.º a 35.º inclusivos, do R. de S. e § 2.º do art. 136.º, art. 145.º, 149.º e 168.º do C. de P.)	De acordo
m) sobre syphões e tubos de ventilação (art. 30.º e 41.º inclusivos do R. de S.)	De acordo
n) sobre latrinas, pias, urinos e outros encanamentos (art. 42.º a 47.º inclusivos)	De acordo
o) sobre fossas (art. 48.º a 53.º do R. de S.)	De acordo
p) sobre as condições a que deve satisfazer os alojamentos de pavimento subjacente ao da rua ou do terreno confinante (art. 18.º do R. de S.)	De acordo
q) sobre a defesa das paredes contra a humidade vinda capillarmente dos alicerces (art. 10.º do R. de S.) ou vinda dos telhados (art. 18.º do R. de S.)	De acordo
r) sobre a defesa dos pavimentos terrenos contra a humidade (art. 9.º do R. de S.)	De acordo
s) sobre chaminés (art. 129.º e 130.º do C. de P.)	De acordo
t) sobre alojamento para animais (art. 54.º e 55.º do R. de S.)	De acordo
u) sobre edificios para reuniões publicas, como igrejas, theatros, etc., e para officinas (art. 12.º do R. de S.)	De acordo
v) sobre os terrenos alagadiços, humidos ou enjos (art. 1.º e 2.º do R. de S.)	De acordo
w) sobre construções ou installações onde possam depositar-se immedicinas, como cavallarias, curras, vacarias, lavandouros, fabricas de productos comestivos ou propeleticos para a saúde publica, etc. (art. 3.º do R. de S.)	De acordo
x) sobre terrenos vizinhos de cemiterios (art. 4.º do R. de S.)	De acordo
y) sobre a saliencia de varandas cobertas, balcões, balcões, etc.	De acordo
z) sob o ponto de vista architectonico	De acordo
D) pelo que respeita á estabilidade	De acordo

356

Registo (N.º 3 B. E.) Data 2-1-1913

Licença (N.º) Data

Camara Municipal do Porto
 3.ª Repartição — Obras Publicas
EDIFICAÇÃO URBANA

Especificação da obra: reabilitação de casa

Requerente: José Augusto Pereira da Silva
 Morada:
 Situação da obra: rua José Falcão
 Responsavel: J. A. E. da Silva (medi. d'ob. dip.)

A) No projecto apresentado é
 de 270,0 m², a superficie total coberta, incluindo annexos;
 de 270,0 m², a superficie total habitavel (util);
 de 270,0 m², a excessão horizontal das fachadas voltadas para a via publica;
 e de 0,00 m², a menor distancia d'equilíbrio a rede;
 de 1,80 m², a altura média da mais alta das fachadas;
 e de 1,80 m², a altura média da mais baixa das fachadas.
 Tem 0,00 pavimentos de nivel superior ao do solo circunjacente, agues-furtadas e lajas
 de pavimento mais baixo que o solo.
 Destina-se a moradia e habitação

Está nos casos do art. 136.º do Cod. de Post.
 Declaração de responsabilidade: habitação

Condições a imprimir:

Alinhamento: de terminação

Nivel de soleiras: de terminação

Deposito: a 40.000 reis

Observações:

C. C. de J. A. Espirito Santo
J. A. E. da Silva

Approvado pela C. de O. e H. Municipaes
em sessão de 11-1-1913
em termo de deliberação
15-1-1913
Agostinho Bastos
Responsavel do Departamento
J. A. E. da Silva

