

COLAGEM DE CERÂMICOS EM ETICS

JOSÉ MARIA DE ALMEIDA MARTINS DE SOUSA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

Coorientador: Engenheiro Paulo Miguel Matias Portugal

JUNHO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Ao meu avô Flávio

AGRADECIMENTOS

A realização de uma dissertação de mestrado requer um nível elevado de empenho e dedicação, tornando-se, porventura, no maior desafio da vida de um estudante. No entanto, a concretização desta etapa, ultrapassa o esforço pessoal, resultando numa contribuição geral das pessoas mais importantes. Esse apoio pode-se exprimir de diversas formas, desde o mais importante conselho científico, à simples presença de uma gargalhada.

Assim, sinto-me no dever de manifestar os merecidos agradecimentos pela contribuição na realização deste trabalho.

Em primeiro lugar, agradeço ao Professor Nuno Ramos e à *Lusomapei*, nomeadamente ao Engenheiro Paulo Portugal, pela enorme disponibilidade, partilha de conhecimento, motivação e apoio em todas as etapas do trabalho, que, sem eles, não teria sido possível.

Agradeço ao Laboratório de Física das Construções (LFC), ao Instituto da Construção (IC) e à Engenheira Joana Maia, pela forte cooperação, quer pelo fornecimento de materiais e equipamentos, quer pelo auxílio na utilização dos mesmos.

Agradeço à minha Mãe, ao meu Pai e à Alice, pelo apoio, incentivo e constante preocupação.

Agradeço à Carolina, ao António, ao Erich, à Sofia, à Mariana, ao Juliano, ao Afonso e à Ana por todos os momentos de descontração vividos.

Agradeço ao Pedro, ao Bruno, à Sandra e à Cátia pelos conselhos pertinentes e pela presença nos momentos de maior necessidade, proporcionando o melhor ano de faculdade.

Por fim, agradeço à Ana pelo especial contributo nas diversas etapas, por acreditar no sucesso do trabalho e principalmente pelo apoio incondicional.

RESUMO

Os ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*) são soluções construtivas com um desempenho térmico diferenciador face a outros sistemas utilizados nas fachadas dos edifícios. Apesar de contribuir de forma eficaz na redução do consumo energético, apresenta algumas desvantagens, nomeadamente ao nível do revestimento final. A introdução de revestimentos cerâmicos em ETICS visa aliar a incorporação de novas soluções construtivas com a melhoria do desempenho de alguns parâmetros. Como a ETAG 004 (*Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with rendering*) não abrange ETICS com revestimentos cerâmicos, a sua aplicação carece de uma análise mais consciente e aprofundada que permita uma correta adequação dos elementos envolvidos.

Assim, na presente dissertação, caracterizou-se um sistema real que envolve a colagem de cerâmicos em sistemas de isolamento térmico pelo exterior. Procedeu-se a uma análise detalhada de todos os elementos, assim como da compatibilização entre as várias camadas constituintes. No sentido de auxiliar o estudo, procedeu-se à construção de provetes com a solução aplicada. Por fim, realizaram-se ensaios que permitissem caracterizar alguns parâmetros, tais como a resistência a impactos, a permeabilidade à água e a aderência, de elementos constituintes do sistema, como a camada de base, o isolante e as juntas entre os ladrilhos cerâmicos.

Com a realização dos aspetos referidos, foi possível adquirir conhecimentos relativamente à complexidade associada a sistemas que conjuguem materiais distintos. Essa perceção foi motivada pela consulta dos dados técnicos de cada produto, da construção e aplicação de todas as componentes e finalizada com os resultados obtidos nos ensaios. Permitiu assim esclarecer questões pouco evidenciadas relacionadas com a colagem de cerâmicos em ETICS.

A análise experimental permitiu caracterizar a tensão de aderência, nomeadamente na camada de base e no isolante, obtendo-se valores elevados de acordo com os critérios estabelecidos. A aderência garantida no XPS assume valores consideravelmente superiores ao EPS. A permeabilidade à água, quer da camada de base, quer das juntas entre os ladrilhos, apresentou valores reduzidos. A resistência aos impactos da camada de base revelou uma resistência mecânica elevada. Compreendeu-se sobretudo a importância da camada de base, devendo apresentar um elevado conteúdo de fibras e resinas sintéticas, garantindo uma aderência elevada.

PALAVRAS-CHAVE: Cerâmicos, ETICS, Colagem, Aderência, Permeabilidade.

ABSTRACT

ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*) are constructive solutions with an enhanced thermal performance compared to other systems used in the façades of buildings. Although it contributes effectively to the reduction of energy consumption, it has some disadvantages related to its final coating. The introduction of ceramic tiles in ETICS aims to combine the incorporation of new constructive solutions with the improvement of the performance of some parameters. As ETAG 004 (*Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with rendering*) does not cover ETICS with ceramic coatings, their application needs a more conscious and detailed analysis that allows a correct adaptation of the elements involved.

So, in the present dissertation, it was characterized a real system that involves bonding ceramics in external thermal insulation systems. A detailed analysis of all the elements was carried out, as well as the compatibility between the various constituent layers. To support the study, test pieces of this solution were built. Finally, tests were carried out to characterize the impact resistance, water permeability and bonding strength of the main components, such as the base coat, the insulation and the joints between the ceramic tiles.

The characterization of the system was performed based on the interpretation of the technical sheets of its components, the construction of test pieces and the results obtained in the tests which allowed the clarification of some issues related to the bonding of ceramics in ETICS.

The experimental analysis allowed the characterization of the bonding stress in the base coat and in the insulation, having obtained high values according to the established criteria. The adherence guaranteed in the XPS assumes values considerably superior to the EPS. The permeability to the water of both the base coat and the joints between the tiles showed reduced values. The impact resistance of the base layer revealed a high mechanical resistance. It was also concluded, that the high content of synthetic fibers and resins of the base coat guarantees a high adhesion.

KEYWORDS: Tiles, ETICS, Collage, Bonding Strength, Permeability.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
1 Introdução	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO	1
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2 Estado da Arte	3
2.1. APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS	3
2.1.1. LADRILHOS CERÂMICOS	4
2.1.2. FIXAÇÃO DOS LADRILHOS CERÂMICOS	6
2.1.3. PREENCHIMENTO DE JUNTAS	9
2.1.4. EXIGÊNCIAS PARA O SUPORTE	9
2.1.4.1. Aspectos Fundamentais do Suporte	9
2.1.4.2. Características do Reboco	10
2.2. CARACTERÍSTICAS DOS ETICS	13
2.2.1. DESCRIÇÃO DOS ETICS	13
2.2.2. COMPONENTES DO SISTEMA	14
2.3. CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DOS ETICS SEGUNDO A ETAG 004	15
2.3.1. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS RELEVANTES PARA O SISTEMA	15
2.3.1.1. ER2 – Segurança contra Incêndios	15
2.3.1.2. ER3 – Higiene, Saúde e Ambiente	16
2.3.1.3. ER4 – Segurança na Utilização	16
2.3.1.4. ER6 – Economia de Energia e Retenção de Calor	16
2.3.1.5. Durabilidade e Adequabilidade ao Uso	17
2.3.2. ENSAIOS DE COMPORTAMENTO E CRITÉRIOS DE APRECIÇÃO	17
2.4. ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE DE CERÂMICOS COM ETICS	19
2.4.1. VANTAGENS DA APLICAÇÃO DE CERÂMICOS EM ETICS	19
2.4.2. DESVANTAGENS E EVENTUAIS PATOLOGIAS DA APLICAÇÃO DE CERÂMICOS EM ETICS	20
2.4.3. ENSAIOS DE COMPORTAMENTO REALIZADOS	21

2.4.3.1. Ensaio de Envelhecimento Natural	22
2.4.3.2. Ensaio de Envelhecimento Artificial (Ciclos Higrotérmicos)	22
2.4.3.3. Ensaio de Absorção de Água por Capilaridade	23
2.4.3.4. Comportamento ao Gelo-degelo	23
2.4.3.5. Ensaio de Permeabilidade à Água sob baixa pressão com Tubos de Karsten	23
2.4.3.6. Ensaio de Permeabilidade ao Vapor de Água	23
2.4.3.7. Ensaio de Resistência ao Choque e Ensaio de Resistência à Perfuração	24
2.4.3.8. Ensaio de Aderência	24
2.4.3.9. Aumento da Massa por m ² do Sistema e Influência na Resistência de Aderência	25
3 Descrição do Mapetherm[®] Tile System	27
3.1. APRESENTAÇÃO DO SISTEMA.....	27
3.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA.....	29
3.3. MATERIAIS CONSTITUINTES	30
3.3.1. PRODUTO DE COLAGEM DO ISOLANTE.....	30
3.3.2. ISOLANTE TÉRMICO.....	31
3.3.3. CAMADA DE BASE	32
3.3.4. PRODUTO DE COLAGEM DOS LADRILHOS CERÂMICOS.....	34
3.3.5. LADRILHOS CERÂMICOS	36
3.3.6. PREENCHIMENTO E SELAGEM DE JUNTAS.....	37
3.4. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO SISTEMA.....	40
3.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO	42
4 Análise Experimental do Sistema.....	43
4.1. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	43
4.2. CONSTRUÇÃO DOS PROVETES	44
4.2.1. CONSTRUÇÃO DO SUPORTE	45
4.2.2. COLAGEM DAS PLACAS DE ISOLAMENTO	46
4.2.3. APLICAÇÃO DA CAMADA DE BASE	47
4.2.4. COLAGEM DOS LADRILHOS CERÂMICOS	49
4.2.5. PREENCHIMENTO E SELAGEM DE JUNTAS.....	52
4.2.6. ESQUEMA FINAL DOS PROVETES	53
4.3. DESCRIÇÃO E OBJETIVOS DOS ENSAIOS.....	55
4.3.1. ENSAIO DE PERMEABILIDADE À ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO COM TUBOS DE KARSTEN.....	55

4.3.2. ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CHOQUE DE 3 J.....	57
4.3.3. ENSAIO DE ADERÊNCIA	58
4.4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	61
4.4.1. PLANO DE ENSAIO	61
4.4.2. ENSAIO DE PERMEABILIDADE À ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO COM TUBOS DE KARSTEN.....	62
4.4.2.1. Apresentação dos Resultados e Critérios de Apreciação.....	62
4.4.2.2. Análise e Discussão dos Resultados	66
4.4.3. ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CHOQUE DE 3 J.....	67
4.4.3.1. Apresentação dos Resultados e Critérios de Apreciação.....	67
4.4.3.2. Análise e Discussão dos Resultados	68
4.4.4. ENSAIO DE ADERÊNCIA	69
4.4.4.1. Apresentação dos Resultados e Critérios de Apreciação.....	69
4.4.4.2. Análise e Discussão dos Resultados	81
4.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	83
5 Conclusões	85
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	86
Referências Bibliográficas.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema geral do ladrilho (adaptado de [6]).....	3
Figura 2 – Esquema geral dos ETICS com respetiva legenda	13
Figura 3 – a) Corte do Sistema A; b) Corte do Sistema B e C	22
Figura 4 – Exemplo de aplicação do Mapetherm® Tile System [39].....	27
Figura 5 – Esquema geral do Mapetherm® Tile System [39].....	28
Figura 6 – 1ª e 2ª componente do sistema (adaptado de [41]).....	29
Figura 7 – Variações dimensionais da camada de base e do cerâmico (adaptado de [41])	29
Figura 8 – Pormenor do Exemplo 1	40
Figura 9 – Pormenor do Exemplo 2	40
Figura 10 – Pormenor do Exemplo 3	41
Figura 11 – Pormenor do Exemplo 4	41
Figura 12 – Plano de Atividades	44
Figura 13 – Produtos utilizados na aplicação do Mapetherm® Tile System	44
Figura 14 – Construção do Suporte: a) Blocos térmicos; b) Assentamento dos blocos; c) Execução do reboco; d) Verificação com o nível	45
Figura 15 – Aspeto final do provete	45
Figura 16 – Aplicação do cimento-cola: a) no isolante; b) no suporte	46
Figura 17 – Esquema do Isolante: a) EPS na Face A; b) XPS na Face B	47
Figura 18 – a) Rede de fibra de vidro; b) Aplicação da rede de fibra de vidro	48
Figura 19 – a) Parafuso e bucha para fixação mecânica; b) Disposição das fixações mecânicas na Face A	48
Figura 20 – Esquema da camada de base: a) na Face A; b) na Face B; c) no Painel I.....	49
Figura 21 – Dupla colagem na Face A: a) no tardo do cerâmico; b) na superfície do provete	50
Figura 22 – a) Aplicação do cerâmico na Face A; b) Espaçadores de 5 mm.....	50
Figura 23 – Dupla colagem na Face B: a) no tardo do cerâmico; b) na superfície do provete	51
Figura 24 – Aplicação do cerâmico na Face B	51
Figura 25 – Colagem com cimento-cola de presa rápida na Face A.....	51
Figura 26 – Colagem com cimento-cola normal: a) na Face B; b) no Painel I	52
Figura 27 – Aplicação da argamassa: a) utilização da talocha de borracha; b) pormenor da junta.....	52
Figura 28 – Aplicação do silicone: a) utilização da pistola de silicone; b) pormenor da junta	53
Figura 29 – Esquema final do Painel I	53
Figura 30 – Esquema final da parede: a) esquema em desenho; b) esquema real.....	54

Figura 31 – Corte da parede, com as respectivas medidas	54
Figura 32 – a) Tubos de Karsten; b) Esquema da base do tubo com preenchimento de material selante	55
Figura 33 – Tubo de Karsten aplicados: a) com plasticina; b) com silicone	56
Figura 34 – a) Enchimento com o borrifador; b) Registo com humidímetro	56
Figura 35 – Aparelho de Martinet Baronnie	57
Figura 36 – a) Posicionamento do equipamento; b) Embate da esfera na parede	58
Figura 37 – a) Rebarbadora; b) Equipamento de arrancamento e medição da aderência	59
Figura 38 – a) Execução do pré-corte; b) Aspeto final das incisões.....	60
Figura 39 – a) Aplicação da cola na face das pastilhas; b) Aspeto final das incisões com pastilhas ..	60
Figura 40 – a) Execução do arrancamento; b) Limpeza das pastilhas.....	61
Figura 41 – Esquema dos ensaios realizados: a) na Face A; b) na Face B; c) no Painei I.....	62
Figura 42 – Execução do ensaio de permeabilidade no Painei I (Ip ₁ , Ip ₂ e Ip ₃).....	63
Figura 43 – Evolução da penetração de água ao longo do tempo no Painei I: a) Ip ₁ ; b) Ip ₂ ; c) Ip ₃	64
Figura 44 – Execução de ensaio de permeabilidade: a) na Face A (AJP ₁ , AJP ₂ e AJP ₃); b) na Face B (BJP ₁ , BJP ₂ e BJP ₃).....	65
Figura 45 – Degradações provocadas na Face A: a) Ac ₁ ; b) Ac ₂ ; c) Ac ₃	67
Figura 46 – Degradações provocadas na Face B: a) Bc ₁ ; b) Bc ₂ ; c) Bc ₃	67
Figura 47 – Esquema do pré-corte entre os ladrilhos e a camada de base, sem atingir a rede de fibra de vidro.....	69
Figura 48 – Ensaio de aderência Aa ₇ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	70
Figura 49 – Ensaio de aderência Aa ₈ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	70
Figura 50 – Ensaio de aderência Aa ₉ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	70
Figura 51 – Ensaio de aderência Ba ₇ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	71
Figura 52 – Ensaio de aderência Ba ₈ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	71
Figura 53 – Ensaio de aderência Ba ₉ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	71
Figura 54 – Ensaio de aderência Ia ₁ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil	72
Figura 55 – Ensaio de aderência Ia ₂ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil	72
Figura 56 – Ensaio de aderência Ia ₃ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil	72
Figura 57 – Esquema do pré-corte entre os ladrilhos e a camada de base, atingindo a rede de fibra de vidro.....	73
Figura 58 – Ensaio de aderência Aa ₁ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	74
Figura 59 – Ensaio de aderência Aa ₂ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	74
Figura 60 – Ensaio de aderência Aa ₃ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	74
Figura 61 – Ensaio de aderência Ba ₁ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	75

Figura 62 – Ensaio de aderência Ba ₂ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	75
Figura 63 – Ensaio de aderência Ba ₃ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	75
Figura 64 – Esquema do pré-corte entre os ladrilhos e o isolante	76
Figura 65 – Ensaio de aderência Aa ₄ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	77
Figura 66 – Ensaio de aderência Aa ₅ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	77
Figura 67 – Ensaio de aderência Aa ₆ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	77
Figura 68 – Ensaio de aderência Ba ₄ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	78
Figura 69 – Ensaio de aderência Ba ₅ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	78
Figura 70 – Ensaio de aderência Ba ₆ : a) Vista de frente; b) Vista em perfil.....	78
Figura 71 – Tensão média de aderência e respetivo desvio padrão: a) pré-corte até à camada de base, sem atingir a rede de fibra de vidro; b) pré corte até à camada de base, atingindo a rede de fibra de vidro; c) pré corte até ao isolante	80

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos ladrilhos (adaptado de [6])	4
Quadro 2 – Características dos ladrilhos (adaptado de [6])	5
Quadro 3 – Valores característicos médios de cada grupo (adaptado de [2])	5
Quadro 4 – Designações das propriedades dos produtos de colagem (adaptado de [9])	6
Quadro 5 – Resumo de cimentos-cola adequados a paramentos exteriores (adaptado de [2-9])	7
Quadro 6 – Valores referência de adesão para cimentos-cola (adaptado de [2-9])	8
Quadro 7 – Classificação e designação de cimentos-cola (adaptado de [2-9])	8
Quadro 8 – Características do suporte (adaptado de [5-7])	10
Quadro 9 – Classificação das propriedades das argamassas endurecidas (adaptado de [13-17])	11
Quadro 10 – Classificação da tensão de aderência para cada tipo de suporte (adaptado de [17])	12
Quadro 11 – Classes de reação ao fogo dos ETICS e do isolante térmico (adaptado de [28])	16
Quadro 12 – Características e ensaios mais relevantes dos ETICS segundo a ETAG 004 (adaptado de [1])	17
Quadro 13 – Critérios de Apreciação dos ETICS segundo a ETAG 004 (adaptado de [1-30-31])	18
Quadro 14 – Vantagens de aplicação de cerâmicos em ETICS	20
Quadro 15 – Dados Técnicos do Mapetherm AR1 [42]	31
Quadro 16 – Dados Técnicos do Planitop HDM Maxi [44]	33
Quadro 17 – Dados Técnicos do Mapegrid G 120 [47]	34
Quadro 18 – Dados Técnicos do Elastorapid [51]	35
Quadro 19 – Dados Técnicos do Kerabond T + Isolastic [54-55]	36
Quadro 20 – Dados Técnicos do Kerlite Cotto d’Este 3Plus [56]	37
Quadro 21 – Dados Técnicos do Ultracolor Plus [61]	38
Quadro 22 – Dados Técnicos do Mapesil AC [67]	39
Quadro 23 – Resultados do ensaio de permeabilidade realizados na camada de base, no Painel I ..	63
Quadro 24 – Resultados das leituras do humidímetro realizados na camada de base, no Painel I	63
Quadro 25 – Resultados do ensaio de choque de 3 J na Face A	68
Quadro 26 – Resultados do ensaio de choque de 3 J na Face B	68
Quadro 27 – Classificação dos ETICS segundo a ETAG 004 [1], para os ensaios de choque de 3 J	68
Quadro 28 – Resultados dos ensaios de aderência com pré-corte entre os ladrilhos e a camada de base, sem atingir a rede de fibra de vidro	73
Quadro 29 – Resultados dos ensaios de aderência com pré-corte entre os ladrilhos e a camada de base, atingindo a rede de fibra de vidro	76

Quadro 30 – Resultados dos ensaios de aderência com pré-corte entre os ladrilhos e o isolante.....	79
Quadro 31 – Valores de tensão de aderência e desvio padrão dos ensaios realizados	79

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems;

ETAG – Guideline for European Technical Approval;

EOTA – European Organisation for Technical Assessment;

ETA – European Technical Assessment;

ISO – International Organization of Standardization;

EN – European Committee for Standardization;

NP – Norma Portuguesa;

ASTM – American Society for Testing and Materials;

DIN – German Institute for Standardization;

DSI – Dywidag-Systems International;

RILEM – International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures;

RPC – Regulamento dos Produtos de Construção;

ER – Essential Requirement;

XPS – Poliestireno extrudido;

EPS – Poliestireno expandido;

EPSG – Poliestireno expandido com adição de grafite e superfícies rugosas;

SPT – Poliestireno extrudido com camada de reforço de cimento laminado;

ICB – Aglomerado de cortiça expandida;

RPE – Revestimento plástico espesso;

E – Absorção de água (%);

λ – Condutibilidade térmica (W/(m·°C));

δ – Deformação (adimensional);

τ – Tensão de corte (MPa);

α – Coeficiente de dilatação térmica linear (°C⁻¹);

G – Módulo de rigidez (MPa);

f_u – Tensão de aderência (N/mm²);

F_u – Força de rotura (N).

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O desenvolvimento de soluções construtivas diferenciadoras é um dos maiores motivos da competitividade das empresas do setor da construção. Para tal, procura-se aliar tecnologias que englobem um desempenho melhorado do comportamento dos sistemas, com condições estéticas.

Os ETICS apresentam características térmicas que os distinguem de outras alternativas, no entanto apresentam algumas desvantagens, nomeadamente relacionadas com o seu revestimento. A incorporação de revestimentos cerâmicos pode melhorar alguns desses aspetos e, devido ao facto de apresentar uma componente tradicional elevada em Portugal, a sua compatibilização com os ETICS torna-se ainda mais relevante.

Porém, ao contrário dos ETICS tradicionais, esta solução não é abrangida na ETAG 004 [1], pelo que não existe nenhum guia de avaliação do sistema.

A *Lusomapei – Produtos Químicos para a Construção, S.A.* é uma empresa de materiais de construção, que surgiu em 2001, tornando-se uma filial da *Mapei, S.A.* em Portugal. A par de toda a atividade desenvolvida, a *Lusomapei* apresenta sistemas construtivos com a aplicação dos seus produtos. Desta forma, surge o *Mapetherm® Tile System*, um sistema de isolamento térmico pelo exterior com revestimentos cerâmicos.

Considerou-se relevante o estudo sobre o *Mapetherm® Tile System*, no sentido de caracterizar as componentes e avaliar, com recurso a ensaios normalizados, parâmetros pertinentes para o comportamento de um sistema deste tipo.

A realização da presente dissertação pretende assim responder a determinadas questões relacionadas com a colagem de cerâmicos em ETICS, tais como a sua aplicação e o seu desempenho quando sujeito a determinadas solicitações.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

A realização do trabalho é focada na interpretação e caracterização do *Mapetherm® Tile System*, a partir da recolha de informação, da construção de provetes e da realização de ensaios. Assim, os objetivos são os seguintes:

- Adquirir conhecimentos sobre a aplicação de revestimentos cerâmicos;
- Interpretar a ETAG 004 [1] no sentido de caracterizar as exigências funcionais dos ETICS;

- Caracterizar o *Mapetherm® Tile System*, a partir da interpretação do catálogo e das fichas técnicas dos produtos;
- Refletir sobre a importância da compatibilidade dos componentes, assim como da função de cada camada;
- Adquirir conhecimento relativamente à aplicação de diversas camadas, como das boas práticas associadas;
- Realizar ensaios que permitam caracterizar parâmetros de desempenho do sistema;
- Contribuir para o desenvolvimento de estudos que englobem a colagem de cerâmicos em ETICS.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação divide-se em cinco capítulos:

- O capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho, nomeadamente a motivação da sua realização, os objetivos principais e a organização da informação;
- O capítulo 2 corresponde à recolha de toda a informação relevante para a caracterização do sistema em estudo e posterior análise experimental. Reúne-se a informação acerca da aplicação de revestimentos cerâmicos, tais como as características do produto de colagem, as especificidades e os tipos de juntas, e as exigências que o suporte deve apresentar. Engloba-se uma descrição dos ETICS, com as suas componentes principais e descreve-se a sua caracterização, conforme estabelecido na ETAG 004 [1]. Por fim, realiza-se uma análise da compatibilidade dos ETICS com revestimentos cerâmicos, ao nível das vantagens e desvantagens associadas à implementação dos dois e a descrição de estudos realizados em sistemas semelhantes à solução estudada na dissertação;
- O capítulo 3 corresponde à descrição do sistema em estudo, o *Mapetherm® Tile System*, segundo o catálogo e as fichas técnicas dos produtos. Abordam-se os aspetos gerais e diferenciadores, as características gerais ao nível da compatibilização dos diferentes materiais constituintes, a descrição detalhada de cada componente (dados técnicos e características principais) e, por último, a demonstração de alguns exemplos de aplicação com uma breve explicação do estado de conservação atual;
- O capítulo 4 engloba toda a análise experimental do sistema. Inicialmente, organiza-se a metodologia experimental, com um encadeamento das atividades. De seguida abordam-se todas as fases relativamente à construção do sistema em estudo, com o procedimento detalhado e acompanhado de um registo fotográfico de cada etapa. Após a construção, é delineada uma campanha experimental, agregando a descrição e objetivos dos ensaios e posterior apresentação e análise dos resultados obtidos;
- O capítulo 5 apresenta as conclusões finais do trabalho, e a proposta de desenvolvimentos futuros.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

O interesse associado ao estudo da aplicação de cerâmicos nos ETICS é, sobretudo, motivado por questões estéticas dada a relevância tradicional destes elementos em Portugal [2]. Adicionalmente, e por razões associadas ao seu desempenho, estes apresentam uma maior resistência ao impacto e no comportamento ao fogo [3-4].

A introdução de cerâmicos como material de revestimento nos ETICS requer, porém, um estudo preliminar acerca do método de aplicação e respetivos constituintes, uma vez que este tipo de acabamento não é abrangido pela ETAG 004 [1].

Um sistema que envolva a colagem de um revestimento cerâmico é composto por ladrilhos cerâmicos, pelo produto de colagem e pelo produto de preenchimento das juntas entre ladrilhos [2]. É, por si só, bastante complexo, visto que, se não estiverem todos os elementos solidarizados, neste caso o suporte, o ETICS e o acabamento, estes podem sofrer variações dimensionais diferentes quando sujeitas a uma mesma ação (pelas diferentes características físicas e mecânicas que apresentam) [5].

Na Figura 1 apresenta-se o esquema geral de um ladrilho, com a respetiva largura da junta (J), com a dimensão de coordenação (C), a dimensão de fabricação (W) e as dimensões de cada face (a), (b) e (d).

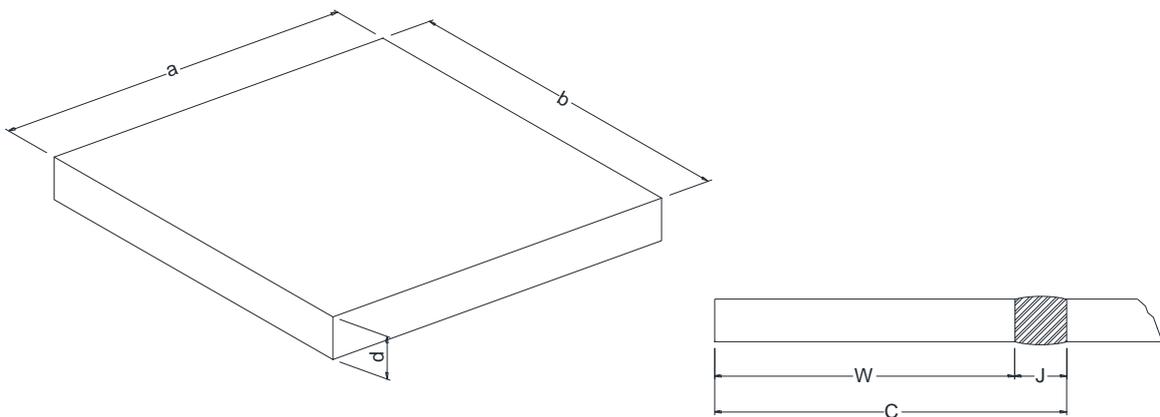


Figura 1 – Esquema geral do ladrilho (adaptado de [6])

2.1.1. LADRILHOS CERÂMICOS

Os ladrilhos cerâmicos correspondem a placas finas de argila ou de outras matérias-primas inorgânicas, que são aplicados como revestimento em paredes ou pavimentos [6]. Estes são classificados em função do processo de fabrico e da absorção à água [2].

Relativamente aos processos de fabrico, a sua classificação é dividida em 3 métodos. Podem ser extrudidos (Método A), prensados a seco (Método B), ambos à temperatura ambiente, ou através de outros processos como a moldagem manual (Método C). Os métodos permitem que os ladrilhos sejam vidrados (GL) ou não vidrados (UGL) [2-7].

No Quadro 1 é apresentada uma síntese da classificação dos ladrilhos, segundo a norma NP EN 14411 [6], com a sua designação comercial.

Relativamente à absorção de água (E), expressa em percentagem de massa de água absorvida, estes são classificados consoante a porosidade que apresentam, uma vez que quanto mais aberta, maior é a absorção do material [2].

Quadro 1 – Classificação dos ladrilhos (adaptado de [6])

Processo de fabrico	Grupo	Tipo	Absorção de água (E)
Grupo A Extrudido	A I	Grés extrudido	$\leq 3\%$
	A IIa	Klinker	$3\% < E \leq 6\%$
	A IIb	Terracota	$6\% < E \leq 10\%$
	A III	Tijoleira rústica	$E > 10\%$
Grupo B Prensado a seco	B Ia	Porcelânico	$\leq 0,5\%$
	B Ib	Grés porcelânico	$0,5\% < E \leq 3\%$
	B IIa	Pavimento de monocozedura	$3\% < E \leq 6\%$
	B IIb	Revestimento de monocozedura	$6\% < E \leq 10\%$
	B III	Azulejo (faiança)	$E > 10\%$

As características mais relevantes a que os ladrilhos devem obedecer, para o revestimento em fachadas, estão descritos no Quadro 2, onde para cada característica é exigido um determinado ensaio descrito nas 15 partes da norma EN ISO 10545 [8].

Quadro 2 – Características dos ladrilhos (adaptado de [6])

	Caraterísticas	Normas de ensaio
Dimensões e qualidade superficial	Comprimento e largura	ISO 10545-2
	Espessura	
	Retilinearidade das arestas	
	Planariedade (curvatura e empeno)	
	Qualidade superficial	
Propriedades físicas	Absorção de água	ISO 10545-3
	Resistência à flexão	ISO 10545-4
	Módulo de rotura	
	Dilatação térmica linear	ISO 10545-8
	Resistência ao choque térmico	ISO 10545-9
	Expansão por humidade	ISO 10545-10
	Resistência à fendilhagem	ISO 10545-11
	Resistência ao gelo	ISO 10545-12
Propriedades químicas	Resistência às manchas	ISO 10545-14

Assim, os materiais devem ser submetidos aos ensaios referidos no Quadro 2, e apresentarem valores aproximados aos característicos exibidos no Quadro 3, resultantes de ensaios exaustivos de caracterização dos ladrilhos cerâmicos.

Quadro 3 – Valores característicos médios de cada grupo (adaptado de [2])

Grupo	Absorção de água (%)	Flexão (MPa)	Dilatação térmica linear ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
A I	0,7 a 3,0	17,6 a 38,8	5,3
A IIa	2,3 a 5,5	20,5 a 38,1	5,3
A IIb	7,6 a 10,4	10,4 a 15,6	5,3
A III	11,4	13,5 a 21,5	4,5
B Ia	0,1 a 0,4	36,2 a 53,0	7,1
B Ib	0,7 a 2,8	27,6 a 55,6	5,9
B IIa	3,2 a 4,6	30,4 a 45,0	5,2
B III	12,4 a 20,3	13,4 a 33,1	5,4

2.1.2. FIXAÇÃO DOS LADRILHOS CERÂMICOS

Os métodos de fixação dos ladrilhos cerâmicos têm sido alvo de diversas evoluções, acompanhando assim o desenvolvimento dos produtos cerâmicos [2]. É uma componente importante do sistema, uma vez que compatibiliza as especificidades dos ladrilhos com as especificidades da superfície onde são aplicados.

Existem, genericamente, dois processos de fixação. Podem ser por contacto ou por fixação mecânica. A fixação por contacto é a mais comum e irá ser abordada mais aprofundadamente nesta dissertação, uma vez que será o processo utilizado no estudo dos capítulos subsequentes. A fixação mecânica surgiu mais recentemente, e é um processo com alternativas válidas e com bons desempenhos.

A fixação por contacto, é realizada por colagem, ou seja, corresponde à adesão entre dois corpos distintos que se mantêm unidos por forças coesivas de origem molecular [2].

As propriedades que permitem avaliar as características dos produtos de colagem podem ter as designações referidas no Quadro 4.

Quadro 4 – Designações das propriedades dos produtos de colagem (adaptado de [9])

Designações	Definições
Tempo de vida útil	Tempo em armazém durante o qual uma argamassa mantém as suas propriedades
Tempo de repouso	Intervalo de tempo desde a preparação até ao uso
Tempo de vida	Máximo intervalo de tempo até ao uso
Tempo aberto	Máximo intervalo de tempo para acabamento desde a aplicação
Tempo de presa	Intervalo de tempo desde a preparação até começar a endurecer
Tempo de endurecimento	Tempo necessário para que a argamassa desenvolva a resistência característica

Os produtos de assentamento utilizados na fixação dos ladrilhos podem ser [2-5-7]:

- Argamassa tradicional;
- Cimento-cola (C);
- Colas em dispersão aquosa (D);
- Colas de resinas de reação (R).

A argamassa tradicional é aplicada em camada espessa (entre 5 e 20 mm) e tem ação complementar de regularização das superfícies. É um produto composto por constituintes primários (ligante, agregados e água), misturados em obra. Atualmente é pouco utilizado dado o facto de apresentar uma tensão de aderência baixa, constituir uma sobrecarga para a estrutura, ter um tempo de aplicação maior, apresentar um traço variável sem controlo e apenas ser aplicável em suportes e ladrilhos muito porosos (visto que a colagem é somente por ação física) [2].

Assim, na presente dissertação pretende-se destacar os restantes três grupos definidos na norma EN 12004 [9], que são aplicados em camada fina (entre 2 e 5 mm) e cujos valores das propriedades referidas no Quadro 4 variam em função dos constituintes.

A utilização de determinado produto está dependente dos seguintes aspetos [2-7]:

- Características dos revestimentos cerâmicos, nomeadamente em relação à sua absorção à água;
- Características do suporte, que serão abordados no capítulo 2.1.4.;
- Condições ambientais adequadas à colagem e ao endurecimento;
- Posição da superfície a revestir;
- Adequação da superfície revestida ao uso previsto.

Os cimentos-cola (C), também designados argamassas-cola de cimento [7], são constituídos pela mistura de ligantes hidráulicos (cimento), cargas siliciosas, aditivos e adjuvantes como retentores de água. São doseados em fábrica, apresentando um traço mais controlado, e prontos a amassar em obra. Podem ser aplicados por colagem simples apenas no ladrilho, colagem simples apenas no suporte ou colagem dupla, no tardo do ladrilho e no suporte. Os cimentos-cola podem ser dos seguintes tipos [2].

- Cimento-cola com adjuvantes orgânicos e inorgânicos;
- Cimento-cola de derivados celulósicos;
- Cimento-cola de ligantes mistos orgânicos e inorgânicos;
- Cimento-cola aluminoso com ligantes mistos;
- Cimento-cola de dois componentes com resinas.

No Quadro 5 apresentam-se os cimentos-cola cuja aplicabilidade é adequada para paramentos exteriores, tal como a sua constituição, as suas vantagens e os cuidados que devem apresentar [2].

Quadro 5 – Resumo de cimentos-cola adequados a paramentos exteriores (adaptado de [2-9])

Cimento-cola (C)			
Tipo	Constituição	Aplicações típicas	Vantagens
Cimento-cola de ligantes mistos orgânicos e inorgânicos	Cimento branco ou cinza; areias siliciosas e calcárias; aditivos orgânicos e inorgânicos	Ladrilhos de diversos tamanhos e diferentes porosidades	Alta Flexibilidade
Cimento-cola aluminoso com ligantes mistos	Cimento aluminoso; areias; resina sintética; outros adjuvantes específicos	Ladrilhos com baixa absorção de água; Colagem simples com dimensões não-superiores a 60x60x1,5 cm ²	Aplicações rápidas dos ladrilhos; Colocação em ambientes frios; Elevada rentabilidade
Cimento-cola de dois componentes com resinas	Cimento branco ou cinza; areias siliciosas ou calcárias; adjuvantes e resinas em dispersão	Ladrilhos de grandes formatos	Elevado poder de colagem

Assim, estes devem cumprir requisitos relativamente à adesão dos ladrilhos aos suportes. No Quadro 6 apresentam-se os valores de referência para os cimentos-cola segundo a norma EN 12004 [9].

Quadro 6 – Valores referência de adesão para cimentos-cola (adaptado de [2-9])

Características fundamentais	Colas de presa normal	Colas de presa rápida
Tensão de adesão inicial		$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ após não mais de 24 h
Tensão de adesão após imersão em água		
Tensão de adesão após envelhecimento por calor	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$
Tensão de adesão após ciclos gelo-degelo		
Tensão de adesão: Tempo aberto	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ após mais de 20 min	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ após mais de 10 min

As colas em dispersão aquosa (D) são constituídas à base de borrachas naturais e sintéticas, diluídas em líquido orgânico ou em resinas acrílicas em suspensão aquosa. Não são resistentes à água pelo que a sua aplicação não é adequada para paramentos exteriores.

As colas de resinas de reação (R), também designadas por resinas epoxy, são indicados para locais muito húmidos, uma vez que são muito estanques e impermeáveis.

As exigências a respeitar por todos os produtos são demonstradas através da sua classe. Estas são acompanhadas do tipo de produto, e são as seguintes:

- **1** Cimento-cola ou cola normal;
- **2** Cimento-cola ou cola melhorada (respeitando requisitos adicionais);
- **F** Cimento-cola ou cola de presa rápida;
- **T** Cimento-cola ou cola resistente ao escorregamento;
- **E** Cimento-cola ou cola com tempo de abertura alargado.

No Quadro 7 apresenta-se a sua classificação e designação, apenas dos cimentos-cola (C).

Quadro 7 – Classificação e designação de cimentos-cola (adaptado de [2-9])

Classe	Descrição e Características Principais
1	Cimento-cola normal
1F	Cimento-cola de presa rápida
1T	Cimento-cola resistente ao escorregamento
1FT	Cimento-cola de presa rápida resistente ao escorregamento
2	Cimento-cola com propriedades específicas melhoradas
2E	Cimento-cola com propriedades específicas melhoradas e com tempo aberto elevado
2F	Cimento-cola de presa rápida com propriedades específicas melhoradas
2T	Cimento-cola com propriedades específicas melhoradas resistente ao escorregamento
2TE	Cimento-cola com propriedades específicas melhoradas resistente ao escorregamento e com tempo aberto elevado
2FT	Cimento-cola de presa rápida com propriedades específicas melhoradas, resistente ao escorregamento

2.1.3. PREENCHIMENTO DE JUNTAS

Para que o sistema funcione corretamente, é necessário garantir que os materiais cerâmicos possam sofrer movimentações, devido sobretudo a expansão e contração de origem térmica. Para tal, e como se trata de um revestimento constituído por elementos descontínuos, é essencial a presença de juntas entre esses elementos [7]. As juntas apresentam então as seguintes funções principais:

- Disfarce das irregularidades dimensionais dos ladrilhos;
- Absorção dos movimentos diferenciais, aliviando tensões;
- Garantir estanquidade à água;
- Garantir permeabilidade ao vapor de água;
- Contribuir para a adesão dos ladrilhos.

Existem dois tipos de juntas, cada uma com determinada função. Estas podem ser juntas de construção ou juntas de assentamento [2-9].

As juntas de construção têm como função evitar o risco de levantamento e a rotura provocada por movimentos estruturais (contração/expansão/flexão). Podem-se subdividir em juntas estruturais, juntas periféricas e juntas intermédias.

As juntas estruturais têm como finalidade permitir os movimentos estruturais, garantindo a segurança em relação às cargas mecânicas. No mínimo terá de apresentar uma largura igual à junta do suporte e uma profundidade adequada ao prolongamento da junta do suporte.

As juntas periféricas são juntas executadas nas extremidades do revestimento que impedem que os elementos adjacentes possam transmitir ou restringir as deformações dos revestimentos cerâmicos aderentes. Apresentam uma largura mínima de 5 mm e uma profundidade adequada a preencher a espessura total do reboco do suporte.

As juntas intermédias, também designadas como juntas de esquartelamento ou juntas de fracionamento dividem áreas extensas em áreas menores de revestimento e têm o objetivo de evitar a fissuração e o descolamento devidos a tensões originadas por deformações de natureza higrotérmica do suporte, do material de assentamento e dos ladrilhos. Apresentam as mesmas características das juntas periféricas.

Por outro lado, existem as juntas de assentamento, também designadas por juntas entre ladrilhos, que correspondem aos restantes espaços entre os ladrilhos cerâmicos e devem ser consideradas consoante a deformabilidade dos ladrilhos a diferentes solicitações, sobretudo higrotérmicas. As juntas entre ladrilhos devem apresentar, geralmente, uma espessura mínima de 6 mm.

As argamassas de juntas podem apresentar diversas constituições. Estas podem ser obtidas através de [2-7]:

- Produtos de cimento (constituída por argamassas de cimento e areia e com eventuais aditivos);
- Produtos de resina de reação (constituída por resinas epoxy com endurecedor e com cargas siliciosas).

2.1.4. EXIGÊNCIAS PARA O SUPORTE

2.1.4.1. Aspetos Fundamentais do Suporte

A qualidade da colagem é influenciada pelas características do suporte de revestimento, nomeadamente pela sua idade, constituição ou estado da superfície [10]. Desta forma, os sistemas de revestimento com ladrilhos cerâmicos devem ser compatíveis com os suportes, do ponto de vista mecânico, geométrico e químico [10-11].

Os tipos de suporte em que se pode aplicar revestimentos cerâmicos são [2-7]:

- Betão de inertes correntes, moldado em obra ou pré-fabricado;
- Alvenaria de blocos rebocada, com reboco tradicional de argamassa de cimento (executado em três camadas ou em duas camadas aplicadas por projeção mecânica), ou com reboco não tradicional (monocamada). A alvenaria pode ser de tijolo, de blocos de betão de inertes correntes ou de blocos de betão de argila expandida.

No Quadro 8 encontram-se definidos as características a que o suporte deve obedecer.

Quadro 8 – Características do suporte (adaptado de [5-7])

Característica	Descrição	Exigência
Planeza	A superfície tem de ser plana, podendo ser aplicada uma camada de regularização de reboco	Planeza geral: desvios ≤ 5 mm (alvenaria rebocada) e ≤ 7 mm (betão); Planeza localizada: ≤ 2 mm
Rugosidade	Aumenta a aderência mecânica do produto de colagem, mas não deve ser exagerada; uma superfície demasiado lisa origina uma menor aderência	-
Coesão	A falta de coesão anula a eficiência do produto de colagem	Coesão $> 0,8$ MPa [12]
Absorção de água	Se for elevada, necessita de tratamento prévio do suporte com uma camada de primário ou por humedecimento; se for reduzida, retarda o endurecimento e aumenta o risco de descolamento pelo que só apresenta aderência química	Reboco com categoria W 1 ou W 2 [13]
Estado de limpeza	A aderência do produto de colagem é inferior se a superfície se encontrar pulverulenta ou oleosa, sendo provocada também por adjuvantes hidrófugos	Isenta de produtos que prejudiquem a aderência, tais como gorduras, óleos, vernizes e ceras
Estabilidade dimensional	O suporte deve ser estável de forma a impedir movimentos diferenciais elevados; pode decorrer da reduzida idade do suporte	-
Idade	Período mínimo de tempo que deve decorrer entre a conclusão do suporte e a aplicação do revestimento	≥ 3 semanas (alvenaria rebocada) e ≥ 2 meses (betão)

2.1.4.2. Características do Reboco

Os rebocos têm como funções essenciais regularem as imperfeições do suporte (criando uma superfície uniforme), funcionarem como acabamento dos paramentos e constituírem uma proteção para o suporte, apresentando uma elevada estanquidade à água [11-14-15].

Estes devem satisfazer determinadas garantias relacionadas com diversos aspetos, tais como a trabalhabilidade, a resistência à fendilhação, a capacidade de impermeabilização em zona não-fendilhada, a permeabilidade ao vapor de água, a aderência ao suporte, a resistência aos choques, a compatibilidade com o suporte, o aspeto estético e a durabilidade [15].

Os rebocos podem ser classificados de acordo com o modo de fabrico, isto é, em argamassas tradicionais ou argamassas não-tradicionais [13].

As argamassas tradicionais são aplicadas em várias camadas sendo constituídas por agregados (como a areia), ligantes (como o cimento, cal aérea, cal hidráulica ou gesso), água, e eventuais aditivos e adjuvantes. Por se tratarem de elementos preparados em obra, e misturados consoante o traço definido, é difícil contabilizar genericamente a tensão de aderência, sendo que, no mínimo, deve assegurar 0,3 N/mm² de aderência. Tradicionalmente aplicam-se três camadas, o chapisco/crepido, a camada de base/emboço e o acabamento [14-15].

As argamassas não-tradicionais são geralmente misturas em forma de pó (com a mesma constituição das argamassas tradicionais), e pré-doseadas em fábrica (adicionando-se apenas a água em obra). Nestas podem introduzir-se adjuvantes sobre a retenção de água da argamassa que permitam que a aderência aumente sem afetar outras características. Também a utilização de aditivos com resinas permite estabelecer uma ligação química, adicionalmente à ligação mecânica, apresentando um valor de aderência muito superior, sendo possível aplicar em suportes mais críticos (muito lisos ou pouco absorventes à argamassa) [15].

Também podem ser classificados de acordo com as propriedades e com o uso, em [13-16]:

- GP – Argamassa de uso geral para rebocos exteriores/interiores;
- LW – Argamassa leve para rebocos exteriores/interiores;
- CR – Argamassa de cor para rebocos;
- OC – Argamassa monocamada para rebocos exteriores;
- R – Argamassa de renovação para rebocos.

Para a aplicação de ladrilhos cerâmicos utiliza-se, geralmente argamassa endurecida de uso geral (GP) e monocamada (OC) [5].

Assim, as argamassas endurecidas podem ser classificadas segundo o Quadro 9.

Quadro 9 – Classificação das propriedades das argamassas endurecidas (adaptado de [13-17])

Propriedades	Categorias	Valores
Resistência à compressão após 28 dias	CS I	0,4 a 2,5 N/mm ²
	CS II	1,5 a 5,0 N/mm ²
	CS III	3,5 a 7,5 N/mm ²
	CS IV	6 ≥ N/mm ²
Absorção de água por capilaridade	W 0	Não especificado
	W 1	$E \leq 0,4 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
	W 2	$E \leq 0,2 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
Condutibilidade térmica	T 1	$\lambda \leq 0,1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
	T 2	$\lambda \leq 0,2 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

De acordo com a classificação referida, a norma NP EN 998-1 [13] requer que as argamassas de uso geral (GP) e monocamada (OC) possam apresentar uma resistência à compressão entre CS I e CS IV e de absorção de água entre W 0 e W 2, exceto a argamassa monocamada que apenas pode apresentar W 1 e W 2 [13].

A tensão de aderência requerida, de acordo com a resistência mecânica de cada tipo de suporte, está apresentada no Quadro 10.

Quadro 10 – Classificação da tensão de aderência para cada tipo de suporte (adaptado de [17])

Classe de resistência de cada tipo de suporte	Tensão de aderência
Rt 3 (Blocos de betão com agregados correntes; Tijolos)	> 0,8 N/mm ²
Rt 2 (Tijolos; Blocos de betão com agregados leves)	Entre 0,6 e 0,8 N/mm ²
Rt 1 (Blocos de betão autoclavado)	Entre 0,4 e 0,6 N/mm ²

Para a aplicação de cerâmicos, por exemplo, pode-se aplicar diretamente o reboco sobre a camada de base, com uma dosagem em ligante não inferior a 350 Kg/m³ (revestimento resistente classificado de CS IV [17]) de areia seca e de cimento não inferior a 250 Kg/m³ [2]. São recomendáveis, igualmente, rebocos monocamada com módulo de elasticidade de classe E4 (compreendido entre 7500 e 14000 MPa) [2].

De referir que a aderência ao suporte não depende somente das características do reboco, isto é, o suporte deve apresentar uma pequena rugosidade garantindo uma ligação mecânica superior, e deve apresentar valores de absorção de água equilibrados, como mencionado no capítulo 2.1.4.1. Sobretudo, o reboco deve ser compatível com o suporte, na medida em que deve ter um elevado valor de aderência, apresentar uma condutibilidade térmica idêntica e ter uma permeabilidade ao vapor de água suficiente que permita trocas de humidade entre o suporte e o ar exterior. É importante garantir que a aderência se mantenha elevada a longo prazo, ou seja, devem ser permitidos movimentos diferenciais entre o revestimento e o suporte (devido à retração do reboco, contração do suporte, etc.). Para tal, deve-se garantir que o módulo de elasticidade do suporte seja semelhante ao do revestimento.

Em síntese, é necessário apresentar uma compatibilidade mecânica, evitando aplicar um revestimento demasiado rígido num suporte com um baixo valor de resistência mecânica, de forma a evitar tensões elevadas que o danifiquem. Também se deve garantir uma compatibilidade química, nomeadamente, uma resistência elevada do revestimento aos ataques dos sais existentes no suporte, ou evitando reações químicas no reboco que danifiquem o suporte [15-18].

2.2. CARACTERÍSTICAS DOS ETICS

O desenvolvimento de soluções tecnológicas que conferem uma melhoria do desempenho térmico dos edifícios tem evoluído bastante. A introdução de sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS), com revestimento delgado armado, permite que esse desempenho seja satisfeito, uma vez que as suas características se revelam eficientes na proteção das zonas opacas [1-19].

Apesar das diversas vantagens associadas aos ETICS, ainda existem questões e alternativas que devem ser exploradas. Como tal, e por se tratar de um sistema inovador, os requisitos funcionais são expressos através da ETAG 004 [1]. No entanto, não se encontram abrangidos por este guia revestimentos em ladrilhos cerâmicos, pelo que será necessário que sejam adaptados os métodos de verificação do ETICS com a aplicação dos ladrilhos, objeto do capítulo 2.4.

2.2.1. DESCRIÇÃO DOS ETICS

Os ETICS são, como o próprio nome indica, sistemas de isolamento aplicados em paramentos exteriores, sobre o suporte. O suporte, em geral, poderá ser em alvenaria, nomeadamente tijolos, blocos de betão ou blocos de betão autoclavado, ou executado sobre paredes de betão, betonadas no local ou pré-fabricadas [1].

Assim, os ETICS englobam um conjunto de camadas, cada uma com funções específicas, que poderão ser fixadas sobre o paramento exterior do suporte, através de produtos de colagem (com eventual auxílio de fixações mecânicas) ou por fixações mecânicas (com eventual aplicação de produtos de colagem). Ambos os métodos são válidos, sendo que a adoção de determinada solução é ponderada consoante o caso e o sistema apresentado [1].

Na Figura 2 apresenta-se o esquema geral dos sistemas do tipo ETICS, com os seus respetivos componentes.

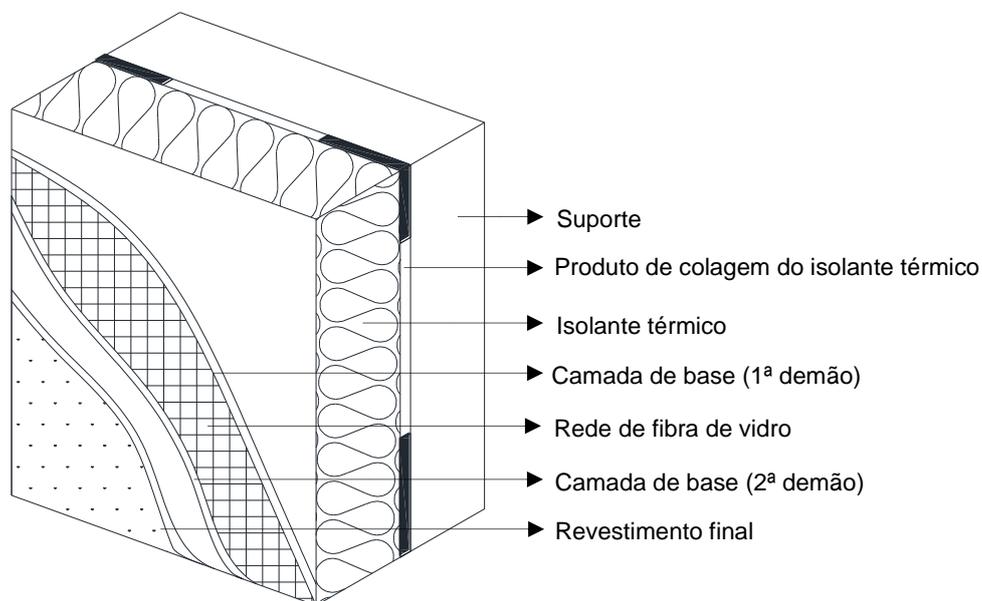


Figura 2 – Esquema geral dos ETICS com respetiva legenda

2.2.2. COMPONENTES DO SISTEMA

As componentes e as respectivas funções do sistema são as seguintes:

- **Produto de colagem do isolante térmico ao suporte** – corresponde ao produto que estabelece a ligação, por aderência, entre a camada de isolamento e a estrutura de suporte. É constituído por uma argamassa adesiva, em pó ao qual se pode adicionar apenas água ou misturar com um ligante de có-polímero vinílico (resina) em água. Pode também ser em pasta, com adição de cerca de 30% de cimento [1]. Pode ser aplicada na totalidade ou no perímetro da camada de isolamento, com pontos ou cordões transversais no centro, de forma a garantir uma área igual ou superior a 60% da superfície [20].
- **Isolante térmico** – corresponde, de uma forma genérica, a uma camada contínua com uma espessura entre 40 e 100 mm, cuja função é aumentar a resistência térmica do sistema. Tradicionalmente, os isolantes mais utilizados são as placas de poliestireno expandido moldado (EPS) uma vez que apresentam valores reduzidos de condutibilidade térmica (λ entre 0,037 e 0,055 W/(m·°C)) e de módulo de elasticidade transversal ($E > 1,0$ kN/mm²) [19]. Também é comum a aplicação de placas de poliestireno expandido extrudido (XPS) e de aglomerado de cortiça expandida (ICB), que apresentam uma boa resistência térmica e um baixo módulo de elasticidade. Esta camada proporciona uma boa permeabilidade à difusão de vapor de água e resistência à absorção de água [21].
- **Elementos de fixação mecânica** – corresponde, para o caso, a fixações mecânicas complementares entre o isolante térmico e o suporte, geralmente através do recurso a cavilhas plásticas. Têm a função de transmitir ao suporte os esforços de tração e corte induzidos [20]. A inclusão no sistema é opcional.
- **Camada de base** – corresponde a uma camada aplicada sobre o isolante térmico onde é inserida a rede de fibra de vidro [1]. Geralmente, apresenta as mesmas características do produto de colagem, ou seja, uma argamassa com uma espessura entre 2 a 5 mm. Pode ser aplicada em uma ou duas subcamadas com o intuito de conferir proteção e melhor aderência ao acabamento. Deve possuir uma boa aderência, um baixo módulo de elasticidade e uma baixa absorção de água por capilaridade (de forma a constituir uma barreira à penetração de água na camada de isolamento) [20].
- **Rede de fibra de vidro (armadura)** – é incorporada na camada de base, e permite que o sistema resista à fendilhação e ao choque, melhorando a sua resistência mecânica. Deve possuir um tratamento antialcalino, de forma a não sofrer uma redução da sua resistência quando em contacto com a camada de base [21]. Corresponde a uma malha, de dimensão variável.
- **Revestimento final** – geralmente, o acabamento dos ETICS é constituído por um revestimento plástico espesso (RPE) de ligante sintético, ou por uma pintura especial. Estes devem apresentar uma resistência elevada ao choque, serem impermeáveis à água líquida, mas com alguma permeabilidade ao vapor de água, e terem uma cor clara de forma a evitar uma elevada absorção da radiação solar (que origina fissuras) [22].

2.3. CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DOS ETICS SEGUNDO A ETAG 004

Os produtos de construção, tal como a generalidade dos produtos em circulação no espaço europeu, necessitam de apresentar uma Marcação CE. Os produtos são abrangidos pelo Regulamento dos Produtos de Construção (RPC) – Regulamento (EU) nº 305/2011, de 9 de março de 2011 [23]. Esta impõe que os produtos devam obedecer a especificações técnicas, nomeadamente Normas Europeias harmonizadas (EN) e Avaliações Técnicas Europeias (ETA) [24].

No caso dos ETICS, por se tratar de um sistema inovador para o qual não está prevista num futuro próximo a criação de uma norma harmonizada, a sua classificação e avaliação da aptidão é realizada através da ETAG 004 (*Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with rendering*) [1]. É, portanto, um guia para uma aprovação técnica favorável, realizado com base nos requisitos estabelecidos a nível europeu, e concedido pela EOTA (*European Organisation for Technical Assessments*) [1].

Assim, os produtos e os sistemas, como os ETICS, devem apresentar características de forma a que, após incorporados, satisfaçam os seguintes requisitos essenciais:

- ER1 – Resistência mecânica e estabilidade;
- ER2 – Segurança contra incêndios;
- ER3 – Higiene, saúde e ambiente;
- ER4 – Segurança na utilização;
- ER5 – Proteção contra o ruído;
- ER6 – Economia de energia e retenção de calor;
- Durabilidade e adequabilidade ao uso.

2.3.1. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS RELEVANTES PARA O SISTEMA

As exigências funcionais, ou requisitos essenciais referidos acima, relevantes para o sistema que se pretende estudar, são a ER2, a ER3, a ER4 e a ER6.

Não se considera a ER1, uma vez que os ETICS não apresentam qualquer função estrutural, embora apresentem questões como a resistência ao peso próprio e da flexibilidade do edifício (que serão abordadas na ER4). A ER5 não é relevante, visto que para o caso em estudo, não se pretende estudar o desempenho acústico da parede.

2.3.1.1. ER2 – Segurança contra Incêndios

Os edifícios devem ser projetados e executados de forma a garantir que, em caso de incêndio, a estrutura da envolvente se mantenha com as características resistentes por um determinado período de tempo. É essencial que a propagação do fogo e do fumo seja limitada e compartimentada ao local de deflagração, de forma a extinguir o incêndio mais rapidamente e garantir a segurança dos ocupantes do edifício.

O parâmetro que avalia o comportamento ao fogo é a reação ao fogo, isto é, a capacidade de um produto contribuir com a sua própria decomposição para o início e desenvolvimento de um incêndio, avaliada com base num conjunto de ensaios normalizados [25].

De acordo com o decreto-lei nº 224/2015 de 9 de outubro [26], e de acordo com a norma EN 13501-1 [27], as classes de reação ao fogo podem ser A1, A2, B, C, D, E e F, sendo que A1 corresponde a produtos que não contribuem para o fogo e F a produtos com um comportamento indeterminado (contribui quase instantaneamente para o fogo). Complementarmente, a norma distingue uma classificação para a produção de fumo em s1, s2 e s3 e para a queda de gotas ou de partículas inflamadas em do, d1 e d2 [26].

Os ETICS e o isolante térmico devem, de acordo com a portaria nº 1532/2008 de 29 de dezembro [28], apresentar as classes mínimas de reação ao fogo referidas no Quadro 11.

Quadro 11 – Classes de reação ao fogo dos ETICS e do isolante térmico (adaptado de [28])

Elementos	Edifício com altura até 9 metros	Edifício com altura entre 9 e 28 metros	Edifício com altura superior a 28 metros
Sistema completo	C-s3, d0	B-s3, d0	B-s2, d0
Isolante térmico	E-d2	E-d2	B-s2, d0

2.3.1.2. ER3 – Higiene, Saúde e Ambiente

De forma a respeitar os requisitos associados à higiene, saúde e ambiente, os ETICS devem apresentar uma exigência mínima para as seguintes características:

- Absorção de água;
- Estanquidade à água;
- Resistência a impactos;
- Permeabilidade ao vapor de água;
- Características térmicas (abordado na ER6).

2.3.1.3. ER4 – Segurança na Utilização

Apesar de, como mencionado anteriormente, os ETICS não apresentarem qualquer função estrutural, estes têm de respeitar algumas exigências comportamentais, tal como a resistência mecânica e a sua própria estabilidade.

Os sistemas devem suportar cargas normais combinadas, tais como o peso próprio, as dilatações devido aos efeitos da temperatura, a humidade, a retração e os habituais deslocamentos da própria estrutura devidos à ação do vento. Com estes efeitos, os ETICS não devem apresentar deformações elevadas, não registar ocorrência de fissuras, e não perder aderência face ao suporte.

Na presente dissertação, pretende-se analisar mais detalhadamente a força de ligação (aderência) entre as várias camadas. A ETAG 004 [1] exige o cumprimento de uma resistência mínima entre a camada de base e o isolante térmico, entre o produto de colagem e o substrato e, ainda entre o produto de colagem e o isolante térmico.

2.3.1.4. ER6 – Economia de Energia e Retenção de Calor

A principal vantagem da aplicação dos ETICS é o seu desempenho térmico, face a outras soluções construtivas. Desta forma, este sistema reduz a necessidade de aquecimento no inverno e de refrigeração no verão.

Esta exigência é expressa através do valor de resistência térmica. É essencial que esse valor seja adicionado à resistência do suporte, de modo a garantir que os requisitos expressos no regulamento térmico atual sejam cumpridos. A resistência térmica dos ETICS deverá ser, no mínimo, $1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ [29].

2.3.1.5. Durabilidade e Adequabilidade ao Uso

As exigências funcionais referidas devem ser cumpridas durante a vida útil do sistema, pelo que as suas características não se devem alterar com as condições do meio em que são inseridos.

Os ETICS devem manter-se estáveis com as variações de temperatura, com a humidade e com a sua retração. Uma variação de temperatura na ordem dos 30°C não deve afetar o sistema [1].

As componentes dos ETICS devem, igualmente, manter as suas propriedades durante a sua vida útil, nomeadamente serem estáveis quimicamente e fisicamente, resistentes a corrosões, e compatíveis entre si.

A ETAG 004 [1] exige a realização de ciclos gelo-degelo e ciclos higrotérmicos, e que se cumpram resistências mínimas aos impactos, à perfuração e à aderência de forma a avaliar o comportamento dos ETICS, após o envelhecimento.

2.3.2. ENSAIOS DE COMPORTAMENTO E CRITÉRIOS DE APRECIACÃO

De forma a avaliar e caracterizar todos os parâmetros mencionados no capítulo 2.3.1., existe um conjunto de ensaios experimentais que devem ser realizados, de acordo com as regras e procedimentos especificados na ETAG 004 [1]. Assim, no Quadro 12 enunciam-se os ensaios mais relevantes aplicados nos ETICS, consoante as suas exigências funcionais.

Quadro 12 – Características e ensaios mais relevantes dos ETICS segundo a ETAG 004 (adaptado de [1])

Exigência funcional	Características	Ensaio
ER2 - Segurança contra Incêndios	Reação ao fogo	Ensaio de comportamento ao fogo segundo a norma NP EN 13501-1 [27]
	Absorção de água	Absorção de água por capilaridade
ER3 - Higiene, saúde e ambiente	Estanquidade à água	Comportamento higrotérmico
		Comportamento gelo-degelo
	Resistência a impactos	Resistência de choque de 3 J e 10 J e ensaio de perfuração
	Permeabilidade ao vapor de água	Ensaio de permeabilidade ao vapor de água
ER4 - Segurança na utilização	Aderência	Ensaio de aderência da camada de base ao isolante térmico
		Ensaio de aderência do produto de colagem ao substrato
	Ensaio do produto de colagem ao isolante térmico	
	Resistência da sucção do vento	Ensaio de sucção de vento
Durabilidade e adequabilidade ao uso	Aderência após envelhecimento	Ensaio de aderência

Assim, analisa-se os resultados obtidos nos ensaios de acordo com as exigências requeridas na ETAG 004 [1]. Os critérios de apreciação para os ETICS encontram-se descritos no Quadro 13.

Quadro 13 – Critérios de Apreciação dos ETICS segundo a ETAG 004 (adaptado de [1-30-31])

Ensaio	Classificação	Descrição
Ensaio de comportamento ao Fogo		Segundo o Quadro 11
Absorção de água por capilaridade		Água absorvida pelo sistema com acabamento após 1 hora $\leq 1 \text{ Kg/m}^2$
Comportamento higrotérmico	Satisfatório	Ausência de patologias relevantes no sistema, como empolamentos, fendilhação ou perda de aderência
Comportamento gelo-degelo		Resistente se absorção de água da camada de base e do sistema $\leq 0,5 \text{ Kg/m}^2$
Resistência de choque de 3 J e 10 J e ensaio de perfuração	Categoria I	Sem deterioração após choque de 3 J e 10 J e sem perfuração com punção de 6 mm
	Categoria II	Sem penetração com choque de 10 J, sem fendilhação com choque de 3 J e sem perfuração com punção de 12 mm
	Categoria III	Sem penetração com choque de 3 J e sem perfuração com punção de 20 mm
Ensaio de permeabilidade ao vapor de água		Resistência à difusão do vapor de água da camada de base e do acabamento $\leq 2,0 \text{ m}$
Ensaio de aderência da camada de base ao isolante térmico		Tensão de aderência $\geq 0,08 \text{ N/mm}^2$
Ensaio de aderência do produto de colagem ao substrato	Satisfatório	Estado seco Tensão de aderência $\geq 0,25 \text{ N/mm}^2$
		Após imersão em água Tensão de aderência $\geq 0,08 \text{ N/mm}^2$, 2 h após a remoção dos provetes de água; Tensão de aderência $\geq 0,25 \text{ N/mm}^2$, 7 dias após a remoção dos provetes de água
Ensaio do de aderência do produto de colagem ao isolante térmico		Estado seco Tensão de aderência $\geq 0,08 \text{ N/mm}^2$
		Após imersão em água Tensão de aderência $\geq 0,03 \text{ N/mm}^2$, 2 horas após a remoção dos provetes de água; Tensão de aderência $\geq 0,08 \text{ N/mm}^2$, 7 dias após a remoção dos provetes de água

2.4. ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE DE CERÂMICOS COM ETICS

O desejo de aplicação de revestimentos cerâmicos nos ETICS surge por diversos motivos. Por um lado, existe o facto de este tipo de acabamento ter uma presença muito forte em Portugal, por outro, a melhoria do desempenho de algumas características. Também é do interesse de grande parte das empresas de construção, uma vez que aumenta o número de soluções construtivas, e potencia a competitividade entre elas.

Assim, neste capítulo, pretende-se sintetizar estudos e trabalhos desenvolvidos, relacionados com a aplicação de revestimentos cerâmicos em ETICS. Como já referido, a ETAG 004 [1] não inclui revestimentos cerâmicos como acabamento, pelo que os ensaios e critérios previstos terão de ser adaptados, de forma a fundamentar os requisitos necessários a um sistema deste tipo.

Para tal, a diferença perante o sistema do tipo ETICS referenciado no capítulo 2.2. está no acabamento, visto que ao invés do tradicional revestimento plástico espesso (RPE), aplica-se cimento-cola com ladrilhos cerâmicos e material de preenchimento de juntas, conforme abordado em 2.1.

2.4.1. VANTAGENS DA APLICAÇÃO DE CERÂMICOS EM ETICS

O sistema tradicional dos ETICS, apesar das diversas vantagens que tem, apresenta algumas desvantagens, nomeadamente a baixa resistência ao impacto (que origina na degradação por vandalismo ou até por ações naturais) [32] e o aparecimento de manchas com algas e fungos [31]. Apesar de não afetar as condições mecânicas e a resistência térmica, constitui uma degradação visual do edifício.

A aplicação de cerâmicos como revestimento final nos ETICS apresenta uma série de vantagens, tal como especificado no Quadro 14.

Quadro 14 – Vantagens de aplicação de cerâmicos em ETICS

Vantagens	Descrição
Aumento da resistência ao impacto	O acabamento tradicional aplicado nos ETICS, geralmente em revestimento plástico espesso (RPE), apresenta uma resistência a impactos muito baixa, degradando-se devido a atos de vandalismo ou ações naturais. Os acabamentos cerâmicos permitem aumentar essa resistência, evitando degradações deste género [32-33].
Diminuição do aparecimento de manchas	Geralmente, o acabamento tradicional é afetado pelo crescimento biológico e formação de bolores, originada pela condensação superficial. Os acabamentos cerâmicos evitam este aparecimento, uma vez que impedem a penetração de água no sistema [34].
Aumento da durabilidade	O acabamento tradicional implica uma manutenção destas fachadas após poucos anos (reparação de fissuras e pintura), o que não se verifica em acabamentos cerâmicos, uma vez que estes são mais duráveis e não se degradam facilmente com a influência do ambiente (devido às vantagens referidas) [34].
Melhoria do comportamento ao fogo	Como apresentado no capítulo 2.3.1., os ETICS necessitam de cumprir requisitos de reação ao fogo, e os revestimentos plásticos espessos (RPE) apresentam classes de reação ao fogo com pior desempenho em relação aos acabamentos cerâmicos [34].
Componente tradicional	Os acabamentos cerâmicos, como já referido, apresentam uma componente tradicional elevada, pelo que a sua aplicação nos ETICS constitui uma vantagem [30-31].
Componente estética	Os acabamentos cerâmicos permitem uma apresentação estética agradável e com elevada variedade de cores e texturas [30-31].

2.4.2. DESVANTAGENS E EVENTUAIS PATOLOGIAS DA APLICAÇÃO DE CERÂMICOS EM ETICS

A utilização de revestimentos cerâmicos pode originar algumas desvantagens e eventuais patologias, na compatibilização com os ETICS. O facto de constituir um sistema que engloba materiais e produtos com características mecânicas distintas (com comportamento dúctil e frágil) revela um desafio nessa assemblagem [32-33].

Uma desvantagem considerável associada à aplicação de cerâmicos em ETICS é a falta de estudos e ensaios elaborados. Poucos autores desenvolveram este tema, existindo apenas ensaios isolados relativamente a modelos distintos. O facto de existir um número reduzido de edifícios com esta aplicação, origina que a amostra recolhida não seja significativa do comportamento do sistema. Desta forma, e apesar dos ensaios elaborados relativamente à durabilidade (que nem sempre correspondem ao comportamento que se verifica na realidade), não existem dados, nem informação suficientemente robusta que caracterize um sistema de forma totalmente credível [34].

Assim, de uma análise da literatura, reúne-se as principais patologias que poderão decorrer da utilização de um sistema deste tipo [4-35]:

- Destacamento do sistema relativamente ao suporte;
- Condensações internas no isolante térmico;
- Deterioração do isolante térmico;
- Fissuração da camada de base;
- Descolamento de ladrilhos;
- Fissuração dos ladrilhos;
- Alteração da cor dos ladrilhos e da argamassa de junta;
- Fissuração da argamassa das juntas;
- Elementos biológicos das argamassas de juntas.

2.4.3. ENSAIOS DE COMPORTAMENTO REALIZADOS

Os ensaios de comportamento realizados em sistemas que englobam a colagem de cerâmicos em ETICS são resultantes de uma adaptação entre os testes requeridos na ETAG 004 [1] e as exigências necessárias à aplicação de cerâmicos como revestimento. Assim, neste capítulo aborda-se sucintamente os ensaios desenvolvidos por alguns autores, para cada requisito essencial. Não se pretende descrever os ensaios, mas apenas mencioná-los, exibindo os resultados obtidos.

Os sistemas desenvolvidos por cada autor foram os seguintes:

- Sistema A (Figura 3.a) – O sistema corresponde a um suporte não rebocado, onde é aplicado isolante térmico (EPS) colado com argamassa de colagem (não especificada) com cordão perimetral e 2 pontos no centro. É incluído um reforço com cavilhas plásticas perfuradas até ao suporte, e a camada de base é igual ao produto de colagem com incorporação de rede de fibra de vidro (com malha de $4 \times 5 \text{ mm}^2$). O revestimento é composto por ladrilhos cerâmicos com diferentes cores (bege, cinza, preto, vermelho com juntas refechadas e vermelho com juntas abertas) [4].
- Sistema B (Figura 3.b) – O sistema é aplicado sobre uma cunha de um suporte de alvenaria, incorporando isolantes (EPS e XPS) com uma argamassa de base de cimento e resina. A camada posterior é composta por uma camada de base armada com rede de fibra de vidro (com malha de $4 \times 4 \text{ mm}^2$). O revestimento final é constituído por ladrilhos cerâmicos ($15 \times 4 \text{ cm}^2$, com 0,3 Kg por peça), fixado ao sistema através de uma argamassa de base de cimento e juntas (com 0,5 cm de largura) [32].
- Sistema C (Figura 3.b) – O sistema em análise é composto por ETICS pré-fabricado com acabamento cerâmico. Os isolantes térmicos aplicados nesta solução (incluindo ou não rede de fibra de vidro na camada de base) podem ser: EPS, EPSG, XPS ou SPT. Os cerâmicos são do tipo grés porcelânico (com dimensões de $60 \times 120 \text{ cm}^2$ e espessura de 0,4 cm), colados no sistema através de: adesivos cimentícios, adesivos com resinas ou adesivos em poliuretano.

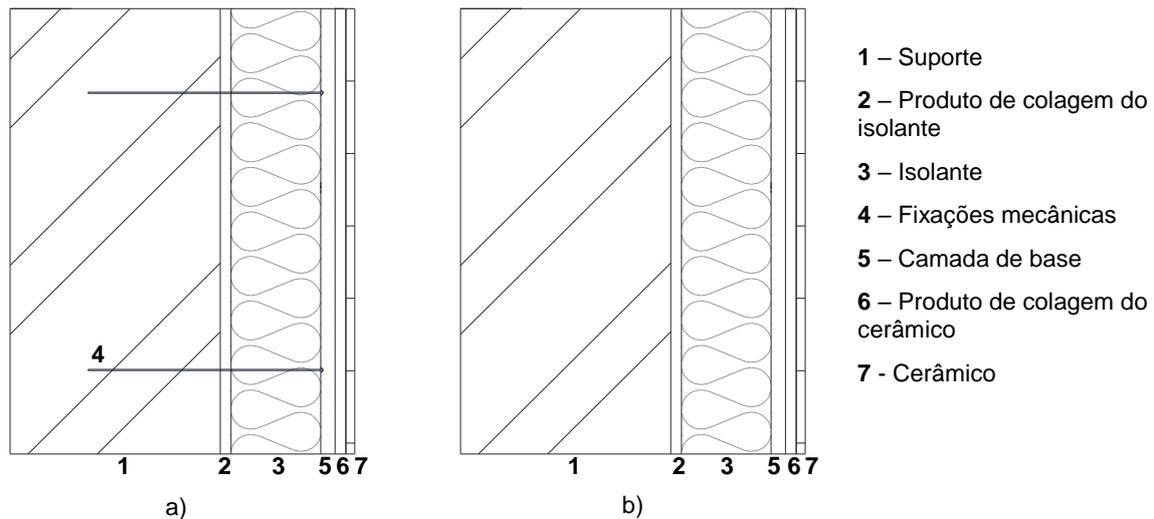


Figura 3 – a) Corte do Sistema A; b) Corte do Sistema B e C

2.4.3.1. Ensaio de Envelhecimento Natural

O ensaio de envelhecimento natural consiste na observação do comportamento do sistema, ao longo do tempo, sujeita às condições atmosféricas. Pretendeu-se detetar a presença de anomalias, tais como:

- Empolamentos do sistema;
- Destacamentos do sistema ao suporte;
- Perda de aderência dos ladrilhos;
- Destacamentos dos ladrilhos;
- Fissuração dos ladrilhos;
- Fissuração da argamassa de refechamento de juntas;
- Alteração volumétrica dos ladrilhos;
- Escorrimentos da argamassa de juntas;
- Alteração da cor dos ladrilhos.

Neste ensaio realizado no Sistema A, efetuaram-se observações após os 28 dias, após 1 ano e após 2 anos (embora a ETAG 004 [1] não exija a análise em diferentes idades), não se registando anomalias, à exceção do sistema com ladrilhos pretos, onde após 2 anos se verificou a existência de fissuras na argamassa de junta [3-4].

2.4.3.2. Ensaio de Envelhecimento Artificial (Ciclos Higrotérmicos)

O ensaio de envelhecimento artificial, realizado através de ciclos higrotérmicos, consiste na introdução dos provetes numa câmara higrotérmica que simula ciclos de calor-chuva e ciclos de calor-frio, conforme especificado na ETAG 004 [1]. Pretendeu-se assim, avaliar a eventual existência das anomalias especificadas no ensaio de envelhecimento natural.

Os ensaios no Sistema A tiveram a duração aproximada de um mês, não havendo nenhum registo de qualquer degradação do sistema, considerando-se apto para uso [3-4].

2.4.3.3. Ensaio de Absorção de Água por Capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade tem como objetivo principal verificar se o sistema resiste a absorção de água, e, deste modo, evitar a penetração de água [4]. Aplicou-se, nestes ensaios, o critério estabelecido na ETAG 004 [1], que determina que o ensaio é satisfatório se a água absorvida pelo sistema (somente com a camada de base) for, após 1 hora igual ou superior a 1 Kg/m^2 . Desta forma garante-se que a água absorvida pelo sistema completo, após 1 hora, seja inferior a 1 Kg/m^2 .

Os resultados dos ensaios desenvolvidos, com o Sistema A, registaram um comportamento à absorção de água por capilaridade satisfatório, visto que após 1 hora, a água absorvida é inferior a 1 Kg/m^2 . No entanto, apresentou uma absorção de água superior ao acabamento tradicional [3-4].

2.4.3.4. Comportamento ao Gelo-degelo

O comportamento ao gelo-degelo pode ser aferido, segundo a ETAG 004 [1], a partir dos resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade, uma vez que se a absorção de água da camada de base e do sistema for inferior a $0,5 \text{ Kg/m}^2$ em 24 horas, o sistema é considerado resistente ao gelo-degelo.

Os resultados demonstraram que o Sistema A apresentou valores superiores ao limite estabelecido, pelo que seriam necessárias outras verificações previstas na ETAG 004 [1], não estudadas para este sistema [4].

2.4.3.5. Ensaio de Permeabilidade à Água sob baixa pressão com Tubos de *Karsten*

O ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de *Karsten* não se encontra previsto na ETAG 004 [1], no entanto é relevante para avaliar a estanquidade das juntas e a permeabilidade à água do ladrilho. Consiste em fixar pequenos tubos de vidro com água, nas zonas em estudo e registar, para um determinado período de tempo, a absorção de água. Em estudos realizados [36], verificou-se que a absorção de água da argamassa de juntas é muito baixa até aos 60 minutos, definindo-se assim como requisito máximo, para a absorção de água, o valor de $0,5 \text{ cm}^3$.

Os resultados demonstraram que o Sistema A é muito impermeável à água, quer na argamassa de junta, quer no próprio ladrilho. Não apresentou qualquer degradação nos ensaios aos 28 dias, após ciclos higrotérmicos e envelhecimento natural (à exceção da argamassa de junta que apresentou microfissuras), pelo que cumpriu a exigência requerida [3-4].

2.4.3.6. Ensaio de Permeabilidade ao Vapor de Água

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água é realizado de acordo com o procedimento descrito na norma EN 12086 [37], tal como especificado na ETAG 004 [1] e adaptado para o Sistema A. Consiste em introduzir um dessecante (produto que absorve vapor de água) no interior de uma cápsula seca, em contacto com um provete do sistema, e provocar um fluxo de vapor de fora para dentro da cápsula. O sistema de revestimento deve apresentar uma resistência à difusão de vapor de água (μ), avaliada segundo a espessura da camada de ar de difusão equivalente, que deve ser inferior a 2 m.

Os resultados obtidos pelo Sistema A revelaram que este não cumpre os requisitos, apresentando valores elevados de espessura, sendo que em provetes com espessura de junta superior, o valor de μ diminui. Recomendou-se um cuidado especial no dimensionamento de juntas, de modo a diminuir a resistência à difusão de vapor de água, evitando assim a ocorrência de condensações intersticiais e garantindo a evaporação da água infiltrada [3-4].

2.4.3.7. Ensaio de Resistência ao Choque e Ensaio de Resistência à Perfuração

Os ensaios de resistência ao choque, com esfera de 3 J e 10 J, são efetuados através do aparelho *Martinet Baronnie* e consiste em largar uma esfera de aço em posição horizontal unida por uma barra rígida a determinada distância da parede, até embater na mesma causando o impacto (de 3 J e 10 J) para cada caso. A massa da esfera e o comprimento da barra é diferente para os dois ensaios. O objetivo é registrar a ocorrência de alguma degradação na parede (por efeito deste impacto).

Verificou-se que os ensaios sobre o Sistema A não apresentaram degradações significativas, aos 28 dias e após envelhecimento natural e artificial (ciclos higrotérmicos) [30].

O ensaio de resistência à perfuração é executado através do aparelho *Perfotest* e consiste em perfurar o sistema com diâmetros entre 4 e 20 mm. O ensaio é realizado até o sistema ser perfurado, registrando-se o diâmetro anterior (que não perfurou o acabamento).

Verificou-se que o Sistema A apresentou uma elevada resistência, sendo perfurado apenas com o diâmetro de punção de 4 mm. Apenas se realizou este ensaio aos 28 dias [30].

Desta forma, o Sistema A integrou a categoria I na resistência a impactos. Ambos os ensaios são realizados de acordo com a ETAG 004 [1].

No Sistema C, o comportamento relativamente à resistência aos impactos foi aceitável para todas as combinações. Verificou-se que o acabamento não apresentou qualquer degradação quando aplicado com adesivos em poliuretano, sendo que noutros casos, possam ocorrer pequenos danos como a marca da esfera e pequenas degradações. Considerou-se que o sistema se inseriu na categoria I [34].

2.4.3.8. Ensaio de Aderência

O ensaio de aderência, adaptado de acordo com a ETAG 004 [1], tem como objetivo avaliar a tensão de aderência entre determinadas camadas. É realizado com a execução de incisões em carotes nos provetes, de profundidades diferentes consoante a avaliação que se pretende obter.

No Sistema A analisou-se a aderência entre o acabamento cerâmico e a camada de base, entre o revestimento (acabamento cerâmico e camada de base) e o isolante, e o anterior após impacto de 10 J.

Foi definido, para o Sistema A, como limite de tensão de aderência entre o acabamento cerâmico e a camada de base superior a $0,20 \text{ N/mm}^2$ (com rotura coesiva na camada de base) e entre o revestimento e o isolante superior a $0,15 \text{ N/mm}^2$ (com rotura coesiva no isolante) [4].

Relativamente à aderência entre o acabamento cerâmico e a camada de base, verificou-se que apresentou valores na ordem dos $0,56 \text{ N/mm}^2$ aos 28 dias, no entanto, após envelhecimento natural (1 e 2 anos), verificou-se uma tendência de diminuição do valor chegando a atingir $0,17 \text{ N/mm}^2$, com rotura coesiva de 50% no isolante e 50% na camada de base. Após envelhecimento artificial (ciclos higrotérmicos), a tensão atingiu valores mais aceitáveis, de cerca de $0,33 \text{ N/mm}^2$.

Considerando a aderência entre o revestimento e o isolante, os valores apresentados, aos 28 dias, foram na ordem dos $0,21 \text{ N/mm}^2$, que diminuiu após o envelhecimento natural e artificial (ciclos higrotérmicos) atingindo valores de $0,17 \text{ N/mm}^2$ e $0,19 \text{ N/mm}^2$, respetivamente. Após o impacto de 10 J, o valor da aderência diminuiu, aos 28 dias para $0,17 \text{ N/mm}^2$ e após envelhecimento artificial para $0,14 \text{ N/mm}^2$ [38].

No Sistema B realizaram-se, para cada face, dois ensaios, após envelhecimento natural (3 anos).

O primeiro foi efetuado com corte da camada de base e obtiveram-se valores médios de aderência de cerca de $0,22 \text{ N/mm}^2$ (com rotura coesiva pelo EPS) e $0,29 \text{ N/mm}^2$ (com rotura adesiva pelo XPS).

O segundo foi efetuado sem corte da camada de base e apresentou valores médios de aderência de cerca de $0,35 \text{ N/mm}^2$ (com rotura coesiva pela argamassa de base) e $0,38 \text{ N/mm}^2$ (com rotura coesiva pela argamassa de base).

A realização dos dois ensaios com e sem corte da camada de base teve como objetivo verificar o potencial de melhoria desta camada armada. O sistema considerou-se apto, uma vez que atingiu valores satisfatórios de aderência, após 3 anos de idade [32].

Foram realizados, adicionalmente, ensaios de aderência em condições iniciais e após envelhecimento devido ao calor e à água. O seu objetivo foi avaliar a influência específica do tipo e espessura da argamassa da camada de base e da malha da rede de fibra de vidro [33].

Argamassas com maiores quantidades de polímero originaram um aumento de aderência, sendo que a rotura foi coesiva e deu-se no isolante. Para argamassas com menores quantidades de polímero (em que apresentaram uma menor tensão de aderência), a rotura foi coesiva no isolante nos casos em que a espessura da camada de base é baixa (3 a 4 mm). Nos casos em que a camada de base apresentou espessuras superiores (5 a 6 mm), a rotura foi coesiva e deu-se nesta camada.

Verificou-se que ao introduzir a rede de fibra de vidro, a aderência do sistema aumentou, como expectável, embora essa diferença diminuiu após envelhecimento. A duplicação da quantidade de rede não se traduziu num aumento significativo da aderência.

Considerando o Sistema C, constatou-se que o isolante que deve ser utilizado no sistema (que garanta um melhor desempenho de aderência com rotura coesiva no isolante) depende do tipo de adesivo. Para um adesivo cimentício, o isolante SPT apresentou valores na ordem dos $0,4 \text{ N/mm}^2$ (superiores face aos valores obtidos com os outros isolantes). No caso dos adesivos com resinas, o sistema com melhor desempenho foi o que incorporou o isolante XPS, com valores de aderência semelhantes ao anterior. Em sistemas que envolvam colagem com adesivos em poliuretano, deve-se aplicar isolantes XPS, para obter aderências elevadas, na ordem dos $0,6 \text{ N/mm}^2$ [34].

2.4.3.9. Aumento da Massa por m^2 do Sistema e Influência na Resistência de Aderência

Esta metodologia não está prevista em normas, e tem como objetivo verificar se o aumento da massa dos ladrilhos contribui significativamente para o aumento da massa total do sistema. Consiste na análise da diferença de massa entre o sistema com ladrilhos e o sistema tradicional (com pintura), procedendo-se ao cálculo da tensão de corte introduzida.

Os resultados obtidos no Sistema A, indicaram um aumento de massa de cerca de 26 Kg/m^2 , e um aumento da tensão de corte de $2,64 \times 10^{-4} \text{ N/mm}^2$. Apesar da tensão obtida não se correlacionar diretamente (por atuar em direções perpendiculares) com a tensão de aderência requerida ($0,15 \text{ N/mm}^2$), o seu valor foi muito elevado. Estabeleceu-se assim, como segurança, um limite de 32 Kg/m^2 de aumento de massa em relação ao sistema tradicional, pelo que o Sistema A foi considerado adequado [4].

3

DESCRIÇÃO DO MAPETHERM[®] TILE SYSTEM

3.1. APRESENTAÇÃO DO SISTEMA

A presente dissertação tem como objetivo o estudo de um sistema de isolamento térmico pelo exterior com a aplicação de cerâmicos como revestimento final. O sistema que se pretende estudar foi desenvolvido pela *Lusomapei – Produtos Químicos para a Construção, S.A.* e é designado como *Mapetherm[®] Tile System*. Na Figura 4 encontra-se um exemplo da aplicação deste sistema.



Figura 4 – Exemplo de aplicação do *Mapetherm[®] Tile System* [39]

A evolução no desenvolvimento dos ETICS por parte de inúmeras empresas do setor da construção, originada pelo elevado desempenho que estes apresentam do ponto de vista energético, traduziu-se em soluções com diversas alternativas.

Assim, a *Lusomapei – Produtos Químicos para a Construção, S.A.* desenvolveu o *Mapetherm[®] Tile System* [39], um sistema semelhante aos ETICS, com acabamento em cerâmicos com espessura reduzida (com dimensões máximas de $500 \times 1500 \times 5 \text{ mm}^3$). Foi desenvolvido em Itália, e é aplicado com frequência neste país. É um sistema que requer um substrato mais resistente do que o desenvolvido para o *Mapetherm[®] System* [40] (correspondente aos ETICS tradicionais), pelo que toda a metodologia de aplicação tem de ser rigorosamente respeitada.

Segundo o fabricante, é caracterizado por apresentar resistências elevadas à tração e à compressão e um baixo módulo de elasticidade que suporta o peso e as tensões geradas pelos cerâmicos. O sistema é ideal para a reabilitação e renovação de fachadas, sendo que a sua implementação deve ser avaliada caso a caso [39].

Tal como especificado no catálogo [39], o *Mapetherm® Tile System* para além de apresentar as vantagens comuns aos ETICS tradicionais, tais como económicas, ambientais, de instalação, de melhoria do conforto térmico e de comportamento geral, apresenta vantagens adicionais com a incorporação de cerâmicos, tais como:

- Características estéticas com uma grande variedade de acabamentos;
- Manutenção reduzida;
- Cores com resistência elevada à exposição solar, ataques químicos e *smog*;
- Resistência elevada aos impactos.

A aplicação deste sistema é condicionada a edifícios com altura máxima de 20 metros e apresentando um índice de reflexão superior a 20% (sendo que a cor negra corresponde a 0% e a branca a 98%) [39]. Esta limitação está relacionada com o facto de cores escuras atingirem temperaturas muito elevadas quando expostas ao sol e arrefecerem muito rapidamente durante a noite, originando dilatações e contrações consideráveis [39].

O esquema geral do sistema encontra-se definido na Figura 5, com a respetiva legenda. Os materiais especificados serão abordados nos capítulos subsequentes.



Figura 5 – Esquema geral do *Mapetherm® Tile System* [39]

3.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

Neste subcapítulo é efetuado uma análise geral do sistema, a nível de comportamento mecânico e da compatibilização das diferentes camadas. A análise descrita e os aspetos e parâmetros referidos são realizados segundo A. Collina [41].

Considera-se, para analisar o comportamento do sistema face à variação de temperatura, a separação das camadas em duas componentes (Figura 6). A 1ª componente é composta pelo isolante, pelo produto de colagem do isolante e pelas fixações mecânicas. Por outro lado, a 2ª componente é constituída pela camada de base, pelo cerâmico e pelo seu produto de colagem, sendo sujeita a tensões geradas pela dilatação térmica dos materiais.



Figura 6 – 1ª e 2ª componente do sistema (adaptado de [41])

O isolamento térmico e o seu produto de colagem devem apresentar uma rigidez considerável, e expressam-se através do módulo de rigidez (G). Este corresponde à relação da tensão de corte (τ), que é igual para as duas camadas, com a deformação total (δ), calculada a partir da soma da deformação de cada uma. Assim, apresenta um módulo de rigidez de 6,2 MPa.

Por outro lado, a existência de fixações mecânicas contribui para o aumento do módulo de rigidez desta componente, e que aumenta este parâmetro para 8 MPa.

A tensão de corte (τ) máxima aplicada ocorre na extremidade do isolante, sendo equivalente a 63 KPa, pelo que o recurso a um isolante de XPS é mais recomendado, por apresentar uma tensão de corte máxima de 150 KPa.

A 2ª componente representa questões mais delicadas, nomeadamente nas tensões geradas em cada camada, uma vez que o efeito da temperatura tem maior influência no comportamento mecânico dos estratos exteriores.

Desta forma, a compatibilidade entre a camada de base e o cerâmico é crítica uma vez que apresenta, para a mesma temperatura, coeficientes de dilatação térmica (α) diferentes. No caso da camada de base é $10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, e do cerâmico equivalente a $4 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

O facto mencionado resulta num esforço de compressão na camada de base e num esforço de tração no cerâmico (Figura 7).

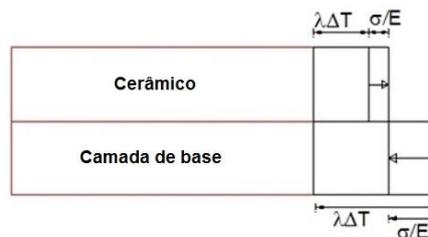


Figura 7 – Variações dimensionais da camada de base e do cerâmico (adaptado de [41])

Assim, considera-se que a tensão de compressão na camada de base é de 3,6 MPa, visto que corresponde à tensão de compressão máxima do cerâmico. A este valor, soma-se a tensão de compressão máxima na 2º componente, que é cerca de 2,0 MPa, apresentando uma tensão máxima de compressão de 5,6 MPa.

O produto de colagem do cerâmico, para além de garantir a adesão, é importante pois absorve os esforços de ambos os materiais (camada de base e cerâmico), devido às dilatações térmicas. Apenas é garantido essa condição se este for aplicado em camada contínua. Este apresenta, como limite de tensão de corte, 3,3 MPa.

Assim, de acordo com o referido, o *Mapetherm® Tile System* é um sistema que está muito dependente da função da camada de base, que distribui as tensões e garante a continuidade do sistema. De igual forma, o produto de colagem dos cerâmicos tem uma influência no comportamento geral, visto que assegura que a camada de base e o cerâmico não sofrem variações dimensionais muito elevadas.

3.3. MATERIAIS CONSTITUINTES

No sentido de avaliar todos os elementos constituintes do *Mapetherm® Tile System*, neste capítulo procede-se a uma descrição detalhada dos mesmos.

A importância de caracterização dos materiais surge pelo facto de estes constituírem um sistema cujos produtos atuam todos em conjunto. A diversidade de materiais origina a que questões, como por exemplo variações dimensionais, careçam de análise de compatibilidade, de forma a que não afetem o desempenho global do sistema.

3.3.1. PRODUTO DE COLAGEM DO ISOLANTE

Os produtos indicados para a colagem dos isolantes térmicos são o *Mapetherm ARI* ou o *Mapetherm ARI GG*.

O *Mapetherm ARI* [42] corresponde a uma argamassa cimentícia monocomponente para a colagem e barramento de painéis de isolamento, em sistemas de isolamento térmico pelo exterior. É classificada, segundo a norma EN 998-1 [13] como GP (Argamassa de uso geral para rebocos exteriores/interiores) e CS IV (Resistência à compressão após 28 dias ≥ 6 N/mm²). É adequada para a colagem de vários tipos de isolante (EPS, XPS, ICB, fibras minerais, etc.) em paredes ou tetos diretamente sobre o reboco, alvenaria ou betão. Também pode funcionar como uma camada de regularização de painéis isolantes.

É um pó cinzento, composto por cimento, areia de granulometria fina selecionada, resinas sintéticas e aditivos especiais. É misturado com água, formando uma argamassa com as seguintes características:

- Baixa viscosidade e, portanto, fácil trabalhabilidade;
- Elevada tixotropia (impede que a argamassa escorra, quando aplicado na vertical);
- Boa aderência numa grande variedade de materiais;
- Endurecimento sem retrações consideráveis.

No Quadro 15 são apresentados os dados técnicos relativamente ao *Mapetherm ARI* [42].

Quadro 15 – Dados Técnicos do *Mapetherm AR1* [42]

Dados Técnicos - <i>Mapetherm AR1</i>	
Dados de Identificação	
Consistência:	pó
Cor:	cinzento
Massa volúmica aparente (Kg/m ³):	1300
Resíduo sólido (%):	100
Dados de Aplicação (a 23°C e 50% H.R.)	
Relação da mistura:	100 partes de <i>Mapetherm AR1</i> com 22 partes de água
Consumo (Kg/m ²):	entre 4 e 6
Consistência da mistura:	pastosa
Massa volúmica da mistura (Kg/m ³):	1450
Temperatura de aplicação:	entre +5°C e +40°C
pH da mistura:	13
Tempo de trabalhabilidade:	3 horas
Tempo aberto:	30 minutos
Tempo de espera para o acabamento:	7 dias
Prestações Finais	
Aderência (EN 12004 [9]) (N/mm ²):	
- após 24 horas:	0,7
- inicial (aos 28 dias):	2,0
- após ação de calor (+70°C):	2,7
- após imersão em água:	0,8
Resistência à flexão (N/mm ²):	
- aos 28 dias:	4,5
Resistência à compressão (N/mm ²):	
- aos 28 dias:	9,0
Temperatura de exercício:	entre -30°C e +90°C

O *Mapetherm AR1 GG* [43] é uma argamassa do mesmo tipo e com características semelhantes ao anterior, sendo que apresenta, na sua constituição, grãos mais grossos (superiores a 0,6 mm).

3.3.2. ISOLANTE TÉRMICO

Os materiais recomendados e utilizados no sistema em estudo são o XPS e o EPS, com espessuras de 40, 50, 60, 80 e 100 mm.

O catálogo [39] refere que os isolantes devem apresentar os seguintes requisitos:

- Condutibilidade térmica (λ) do EPS entre 0,034 e 0,040 W/m·°C e do XPS entre 0,32 e 0,036 W/m·°C;
- Resistência à difusão de vapor de água (μ) do EPS entre 30 e 70 e do XPS entre 80 e 100.

3.3.3. CAMADA DE BASE

A camada de base é composta por três componentes essenciais ao desempenho do sistema, nomeadamente:

- *Planitop HDM Maxi*;
- *Mapegrid G 120*;
- *Mapetherm Tile Fix 15*.

O *Planitop HDM Maxi* [44] é uma argamassa cimentícia com duas componentes (em pó e líquida) de elevada ductilidade à base de ligantes com reação pozolânica. É classificada, segundo a norma EN 1504-3 [45] como R2 (Argamassa de renovação para rebocos) e segundo a norma EN 998-2 [46] como G-M25 (Resistência à compressão após 28 dias ≥ 25 N/mm²). É utilizado, tanto como argamassa de reparação em diversas superfícies, como integrando uma camada de base com rede de fibra de vidro, sendo que pode apresentar uma espessura máxima de 25 mm (ideal para regularizar várias superfícies).

É composto por duas componentes, uma componente em pó e outra líquida que, quando misturadas, formam uma argamassa com resistência elevada, com fibras de vidro, agregados e polímeros sintéticos em dispersão aquosa. Apresenta as seguintes características:

- Elevada aderência (devido à elevada quantidade de resinas sintéticas);
- Baixa permeabilidade à água;
- Elevada resistência a gases agressivos presentes na atmosfera;
- Elevada permeabilidade ao vapor de água.

No Quadro 16 são apresentados os dados técnicos relativamente ao *Planitop HDM Maxi* [44].

O *Mapegrid G 120* [47] é uma rede de fibra de vidro, tratada com primário resistente aos álcalis, com 17% de teor de óxido de zircónio que funciona como reforço estrutural armado. É destinada à combinação com o *Planitop HDM Maxi*, na qual é aplicada entre duas camadas deste produto. A sua utilização é importante quando se pretende reduzir a vulnerabilidade sísmica das paredes não estruturais, que constituem um risco para a segurança das pessoas.

Apresenta as seguintes características:

- Boa resistência à tração;
- Elevada ductilidade e consequente distribuição uniforme dos esforços;
- Elevada resistência às agressões químicas e aos agentes atmosféricos;
- Elevada estabilidade dimensional.

No Quadro 17 apresentam-se alguns dados técnicos relativamente ao *Mapegrid G 120* [47].

O *Mapetherm Tile Fix 15* [39] é um elemento de fixação mecânica composta por buchas de nylon e parafusos em aço. Tem a função complementar à fixação por colagem do sistema, entre a 1ª camada de *Planitop HDM Maxi* e o suporte (abrangendo o isolante térmico e o produto de colagem deste). O parafuso de aço zincado tem 7 mm de diâmetro e as buchas de nylon têm 10 mm de diâmetro.

Quadro 16 – Dados Técnicos do *Planitop HDM Maxi* [44]

Dados Técnicos - <i>Planitop HDM Maxi</i>		
Dados de Identificação		
	Componente A	Componente B
Consistência:	pó	líquido
Cor:	cinzento	branco
Massa volúmica aparente (Kg/m ³):	1200	1070
Resíduo sólido (%):	100	14
Dados de Aplicação (a 23°C e 50% H.R.)		
Relação da mistura:	100 partes de componente A com 25 partes de componente B	
Consumo (Kg/m ²):	entre 6 e 8	
Consistência da mistura:	pastosa	
Massa volúmica da mistura (Kg/m ³):	1850	
Temperatura de aplicação:	entre +5°C e +35°C	
pH da mistura:	13	
Tempo de trabalhabilidade:	1 hora	
Prestações Finais		
Aderência (EN 1542 [48]) (N/mm ²):		
- inicial (aos 28 dias):	> 2,0	
- após ciclos de gelo/degelo:	> 0,8	
Resistência à flexão (N/mm ²):		
- aos 7 dias:	> 6,0	
- aos 28 dias:	> 8,0	
Resistência à compressão (N/mm ²):		
- aos 7 dias:	> 15,0	
- aos 28 dias:	> 25,0	
Absorção capilar (Kg/m ² ·h ^{0,5}) (EN 13057 [49]):	< 0,3	
Reação ao fogo:	A2 - s1, d0	

Quadro 17 – Dados Técnicos do *Mapegrid G 120* [47]

Dados Técnicos - Mapegrid G 120	
Dados de Identificação	
Tipo de fibra:	fibras de vidro
Teor de óxido de zircónio (ZrO ₂) (%):	17
Gramagem (g/m ²):	125
Dimensão da malha (mm ²):	12,7×12,7
Dados de Aplicação	
Resistência à tração (kN/m):	30
Módulo de elasticidade (GPa):	72
Área resistente por unidade de largura (mm ² /m):	23,51
Espessura equivalente de tecido seco (mm):	0,024
Alongamento à rotura (%):	1,8

3.3.4. PRODUTO DE COLAGEM DOS LADRILHOS CERÂMICOS

A colagem dos ladrilhos cerâmicos pode ser realizada através de dois tipos de cimentos-cola:

- Cimento-cola de presa normal (*Kerabond T + Isolastic* ou *Ultralite S2*);
- Cimento-cola de presa rápida (*Elastorapid*; *Keraquick + Latex Plus* ou *Ultralite S2 Quick*).

Em sistemas de isolamento térmico, sobretudo devido às características do sistema em estudo (nomeadamente devido às tensões e às deformações que as diferentes componentes sofrem), é necessário que estes adesivos de cerâmicos apresentem uma classe S2 (elevada deformabilidade, com deformação superior a 5 mm), segundo a norma EN 12002 [50]. É requerido igualmente, que os adesivos apresentem uma classe C2 (adesão melhorada), segundo a norma EN 12004 [9].

Pretende-se, assim, caracterizar um cimento-cola de presa rápida e um cimento-cola de presa normal.

O *Elastorapid* [51] é um adesivo cimentício (C) melhorado (2) com duas componentes (em pó e líquida), de presa rápida (F). É resistente ao escorregamento vertical (T), com tempo de abertura alongado (E). Assim, é classificado com C2FTES2, segundo a norma EN 12004 [9]. É indicado para a colagem de ladrilhos cerâmicos de qualquer tipo (revestimento de bicozedura e de monocozedura, grés porcelânico, klinker, tijoleira, etc.).

É constituído por duas componentes (em pó cinzento ou branco à base de ligantes especiais e areia siliciosa, e em líquido com látex de borracha sintética). Quando misturados, formam uma argamassa com as seguintes características:

- Baixa viscosidade e, portanto, fácil trabalhabilidade;
- Elevada tixotropia (impede que a argamassa escorra, quando aplicado na vertical);
- Tempo de abertura elevado, dado o facto de apresentar presa rápida;
- Elevada capacidade de absorção de deformações entre os materiais;
- Boa aderência numa grande variedade de materiais;
- Endurecimento sem retrações consideráveis.

No Quadro 18 apresentam-se os dados técnicos relativos ao *Elastorapid* [51].

Quadro 18 – Dados Técnicos do *Elastorapid* [51]

Dados Técnicos – <i>Elastorapid</i>		
Dados de Identificação		
	Componente A	Componente B
Consistência:	Pó	líquido
Cor:	cinzento ou branco	branco
Massa volúmica aparente (Kg/m ³):	1250	1035
Resíduo sólido (%):	100	entre 30,5 e 32,5
Dados de Aplicação (a 23°C e 50% H.R.)		
Relação da mistura:	100 partes de componente A com 25 partes de componente B	
Consumo (Kg/m ²):	entre 5 e 6	
Consistência da mistura:	muito pastosa	
Massa volúmica da mistura (Kg/m ³):	1650	
Temperatura de aplicação:	entre +5°C e +30°C	
pH da mistura:	cerca de 11	
Tempo de trabalhabilidade:	cerca de 1 hora	
Tempo aberto (EN 1346 [52]):	30 minutos	
Tempo de presa:	entre 120 e 150 minutos	
Colocação em exercício:	após 24 horas	
Prestações Finais		
Aderência (EN 1348 [53]) (N/mm ²):		
- inicial (aos 28 dias):	2,5	
- após ação de calor (+70°C):	2,5	
- após imersão em água:	1,5	
- após ciclos de gelo/degelo:	1,8	
Resistência à flexão (N/mm ²):		
- aos 28 dias:	entre 6,0 e 7,0	
Resistência à compressão (N/mm ²):		
- aos 28 dias:	entre 17,0 e 18,0	
Resistência a ácidos:	moderada	
Resistência a álcalis:	ótima	
Resistência a óleos:	ótima	
Resistência a solventes:	ótima	
Temperatura de exercício:	entre -30°C e +90°C	

O *Kerabond T + Isolastic* [54-55] formam um adesivo cimentício (C) melhorado (2) com duas componentes (em pó e líquida), de presa normal e com um tempo de abertura alongado (E). Assim, é classificado com C2ES2, segundo a norma EN 12004 [9]. É indicado para a colagem de vários tipos de ladrilhos cerâmicos (revestimento de bicozedura e de monocozedura, grés porcelânico, klinker, tijoleira, pastilha de vidro, etc.).

É constituído por duas componentes (em pó cinzento ou branco composto por cimento, areia de granulometria selecionada, resinas sintéticas e aditivos especiais, e em líquido com látex fluido de cor branca, constituído por uma dispersão aquosa de um polímero muito elástico). Quando misturados, formam uma

argamassa com características semelhantes ao *Elastorapid*, com a exceção do tempo de presa ser superior.

No Quadro 19 apresentam-se os dados técnicos relativos ao *Kerabond T + Isolastic* [54-55].

Quadro 19 – Dados Técnicos do *Kerabond T + Isolastic* [54-55]

Dados Técnicos - Kerabond T + Isolastic		
Dados de Identificação		
	Componente A	Componente B
Consistência:	Pó	líquido
Cor:	cinzento ou branco	branco
Massa volúmica aparente (Kg/m ³):	1300	1030
Resíduo sólido (%):	100	35
Dados de Aplicação (a 23°C e 50% H.R.)		
Relação da mistura:	100 partes de componente A com 33 partes de componente B	
Consumo (Kg/m ²):	entre 5 e 6	
Consistência da mistura:	muito pastosa	
Massa volúmica da mistura (Kg/m ³):	1500	
Temperatura de aplicação:	entre +5°C e +40°C	
pH da mistura:	superior a 12	
Tempo de trabalhabilidade:	cerca de 1 hora	
Tempo aberto (EN 1346 [52]):	entre 20 e 30 minutos	
Tempo de vida:	8 horas	
Colocação em exercício:	após 14 dias	
Prestações Finais		
Aderência (EN 1348 [53]) (N/mm ²):		
- inicial (aos 28 dias):	2,4	
- após ação de calor (+70°C)	2,5	
- após imersão em água:	1,6	
- após ciclos de gelo/degelo:	1,8	
Resistência aos álcalis:	ótima	
Resistência aos óleos:	ótima (reduzida aos óleos vegetais)	
Resistência aos solventes:	ótima	
Temperatura de exercício:	entre -30°C e +90°C	

3.3.5. LADRILHOS CERÂMICOS

O *Mapetherm*[®] *Tile System* requer que os ladrilhos cerâmicos apresentem dimensões máximas de 500×1500×5 mm³. Podem ser da marca *Kerlite Cotto d'Este 3Plus* [56], da *Margres*, que apresentam espessuras de 3,5 mm (ultrafinas). As principais características são as seguintes:

- Reduzida espessura e massa volúmica;
- Com rede de fibra de vidro;
- Elevada resistência a bactérias;

- Fácil limpeza;
- Fácil aplicação.

Os dados técnicos relativamente ao *Kerlite Cotto d'Este 3Plus* estão representados no Quadro 20 [56].

Quadro 20 – Dados Técnicos do *Kerlite Cotto d'Este 3Plus* [56]

Dados Técnicos - Kerlite Cotto d'Este 3Plus	
Dados de Identificação	
Cor:	gama de cores
Dimensões (cm ²):	100×300; 100×100; 50×100
Espessura (mm):	3,5
Dados de Aplicação	
Resistência à flexão (ISO 10545-4 [8]) (N/mm ²):	50
Resistência à abrasão (ASTM C 1246 [57]) (perda em mm ³):	175
Absorção de água (ASTM C 373 [58]) (%):	0,1
Resistência ao gelo (ASTM C 1026 [59]):	resistente
Resistência aos agentes químicos (ASTM C 650 [60]):	resistente

3.3.6. PREENCHIMENTO E SELAGEM DE JUNTAS

As juntas devem ser preenchidas com uma argamassa e vedadas com um selante consoante o tipo de juntas, apresentando uma espessura mínima de 5 mm.

O preenchimento de juntas poder ser realizado com o *Ultracolor Plus* [61], uma argamassa cimentícia (C) para juntas (G) melhorada (2), de classe CG2, segundo a norma EN 13888 [62]. É adequado para a betumação de todo o tipo de revestimentos cerâmicos, com espessuras entre 2 e 20 mm.

É uma argamassa constituída por uma mistura de ligantes hidráulicos especiais, inertes de granulometria calibrada, polímeros especiais, aditivos hidrorrepelentes, moléculas orgânicas e pigmentos. Encontra-se aliado a uma tecnologia (*DropEffect*®) que permite a redução da absorção da água superficial, e a uma tecnologia (*BioBlock*®) que impede o crescimento de fungos. Quando misturado com água, permite obter uma betumação com as seguintes características:

- Baixa absorção de água;
- Cores uniformes, que não produzem eflorescências (geradas por cristais de hidróxido de cálcio);
- Cores resistentes aos raios UV e aos agentes atmosféricos;
- Tempos de espera reduzidos;
- Fácil limpeza;
- Praticamente isentas de retração, assim com de fendas e fissuras;
- Elevada resistência à abrasão, à compressão e à flexão;
- Elevada durabilidade;
- Boa resistência a ácidos com pH > 3.

Os dados técnicos referentes ao *Ultracolor Plus* estão descritos no Quadro 21 [61].

Quadro 21 – Dados Técnicos do *Ultracolor Plus* [61]

Dados Técnicos - Ultracolor Plus	
Dados de Identificação	
Consistência:	pó
Cor:	gama de 26 cores
Massa volúmica aparente (Kg/m ³):	1400
Resíduo sólido (%):	100
Dados de Aplicação (a 23°C e 50% H.R.)	
Relação da mistura:	100 partes de <i>Ultracolor Plus</i> com 22 partes de água
Consumo (Kg/m ²):	cerca de 0,3
Consistência da mistura:	pasta fluída
Massa volúmica da mistura (Kg/m ³):	1980
Execução das juntas após assentamento:	
- com adesivo normal:	entre 4 e 8 horas
- com adesivo rápido:	entre 1 e 2 horas
Temperatura de aplicação:	entre +5°C e +35°C
pH da mistura:	cerca de 11
Tempo de trabalhabilidade:	3 horas
Tempo aberto:	30 minutos
Tempo de espera para o acabamento:	entre 15 e 30 minutos
Colocação em exercício:	após 24 horas
Prestações Finais	
Resistência à flexão (N/mm ²):	
- aos 28 dias (EN 12808-3 [63]):	9,0
- após ciclos de gelo/degelo (EN 12808-3 [63]):	9,0
Resistência à compressão (N/mm ²):	
- aos 28 dias (EN 12808-3 [63]):	40,0
- após ciclos de gelo/degelo (EN 12808-3 [63]):	40,0
Resistência à abrasão (EN 12808-2 [64]) (perda em mm ³):	700
Retração (EN 12808-4 [65]) (mm/m):	1,5
Absorção de água (g):	
- após 30 segundos (EN 12808-5 [66]):	0,1
- após 4 horas (EN 12808-5 [66]):	0,2
Resistência aos solventes:	ótima
Resistência aos óleos:	ótima
Resistência aos álcalis:	ótima
Resistência aos ácidos:	boa (se pH > 3)

As juntas de dilatação e de fracionamento não devem ser betumadas, somente devem ser vedadas com um selante, como o *Mapesil AC* [67]. Este corresponde a um selante em silicone monocomponente de

reticulação acética, isento de solventes e resistente a fungos. É previamente preparado como pasta tixotrópica elástica, apresentando as seguintes características:

- Elevada durabilidade;
- Elevada elasticidade;
- Boa aderência;
- Baixa permeabilidade à água;
- Elevada permeabilidade ao vapor de água;
- Elevada resistência aos agentes químicos;
- Garante flexibilidade até -40°C e resistência até +180°C;
- Fácil aplicação.

No Quadro 22 observa-se os dados técnicos relativamente ao *Mapesil AC* [67].

Quadro 22 – Dados Técnicos do *Mapesil AC* [67]

Dados Técnicos - <i>Mapesil AC</i>	
Dados de Identificação	
Consistência:	pastosa
Cor:	transparente e gama de 26 cores
Massa volúmica aparente (Kg/m ³):	1030
Resíduo sólido (%):	100
Dados de Aplicação (a 23°C e 50% H.R.)	
Consumo (ml/metro linear*):	26
Velocidade de extrusão do injetor 3,5 mm à pressão de 0,5 MPa (g/min):	120
Tempo de formação de película:	10 minutos
Retração durante a vulcanização (%):	3,5
Velocidade de vulcanização:	4 mm (1 dia) e 10 mm (7 dias)
Temperatura de aplicação:	entre +5°C e +50°C
Prestações Finais	
Resistência à tração (DIN 53504 53A [68]) (N/mm ²):	1,6
Alongamento até à rotura (DIN 53504 53A [68]) (%):	800
Permeabilidade ao vapor de água (DIN 53122 [69]) (g/m ² /dia):	23,0
Movimento máximo permitido (%):	25
Resistência à água:	excelente
Resistência ao envelhecimento:	excelente
Resistência aos agentes atmosféricos:	excelente
Resistência aos agentes químicos, ácidos e álcalis:	boa
Resistência ao sabão e detergentes:	excelente
Resistência aos solventes:	limitada
Temperatura de exercício:	entre -40°C e +180°C

* com junta de 5 mm e ladrilho com espessura até 5 mm

3.4. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO SISTEMA

Este sistema, apesar de apresentar um bom desempenho térmico (equivalente aos ETICS correntes) e características estéticas diferenciadoras, tem um custo elevado. Desta forma, em Portugal não é frequente a sua aplicação.

No entanto, foi possível visitar alguns casos de aplicação do *Mapetherm® Tile System*, localizados no distrito de Aveiro. A observação dos mesmos foi efetuada a partir do exterior pelo que a descrição é limitada.

O exemplo 1 corresponde a uma moradia unifamiliar, executada em 2012. A aplicação do sistema foi realizada em alguns alçados (Figura 8) e pormenores do edifício, como entre duas janelas. Apresenta ladrilhos cerâmicos de cor negra dispostos na horizontal, compridos e com pequena altura. Visualmente, observam-se juntas horizontais largas sendo que as juntas verticais são inexistentes, visto que cada ladrilho preenche uma face por completo.



Figura 8 – Pormenor do Exemplo 1

O exemplo 2 corresponde a uma moradia unifamiliar, também de 2012. A aplicação do sistema foi efetuada de forma semelhante ao exemplo 1, especificamente em determinadas fachadas (Figura 9), e em determinados pormenores como a porta de entrada e o portão de garagem. Os ladrilhos cerâmicos de cor castanha são igualmente dispostos na horizontal, com um comprimento elevado e baixa altura. Observam-se juntas estreitas, com dimensões iguais nas duas direções.



Figura 9 – Pormenor do Exemplo 2

O exemplo 3 é uma habitação unifamiliar, de 2012. Neste caso, aplicou-se uma maior área do sistema (Figura 10), sendo a restante realizado em ETICS tradicional. Os ladrilhos de cor castanha têm uma relação comprimento/altura mais aproximada, e são mais pequenos. As juntas na direção horizontal são mais largas do que na direção vertical, condição justificada por questões estéticas.



Figura 10 – Pormenor do Exemplo 3

O exemplo 4 é uma habitação unifamiliar realizada em 2011. A implementação do sistema ocorreu no piso térreo, em quase toda a sua extensão (Figura 11), sendo que o restante é realizado com ETICS tradicional. Apresenta ladrilhos cerâmicos com uma altura elevada (cerca de 3 metros), e largura média. Apresenta uma cor negra e juntas muito estreitas.



Figura 11 – Pormenor do Exemplo 4

Em determinados exemplos verificam-se dimensões superiores às recomendadas no catálogo [39], ou seja, $500 \times 1500 \times 5 \text{ mm}^2$ de área. A cor dos ladrilhos dos exemplos é, na sua maioria, de cor escura, o que não é sugerido no catálogo [39], visto que apresentam índices de reflexão inferiores a 20%.

Apesar destas considerações, e de uma forma geral, pode-se aferir que nos exemplos referidos não se observam degradações nas zonas visíveis.

3.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO

O capítulo 3 permitiu adquirir conhecimentos detalhados do sistema em estudo.

Começou-se por apresentar o sistema, de acordo com o catálogo [39], tais como o campo de aplicação e as principais vantagens.

O princípio de funcionamento do sistema [41] revelou a importância da compatibilização das camadas, demonstrada através de duas componentes com funções distintas. Verifica-se que a camada de base é determinante no funcionamento do sistema, sobretudo na distribuição das tensões, assim como o produto de colagem que assegura uma diminuição das variações dimensionais da camada de base e dos cerâmicos.

Procedeu-se à descrição de todos os materiais constituintes do sistema, englobando as principais características e os dados técnicos mais relevantes. Assim, permitiu caracterizar e adquirir conhecimento acerca de cada produto, garantindo uma análise experimental adequada, que é objeto do capítulo 4.

Por fim, exibiram-se exemplos de aplicação do sistema, em moradias unifamiliares realizadas entre 2011 e 2012, permitindo observar com detalhe as diferentes opções, nomeadamente em relação à cor e dimensão dos cerâmicos.

4

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO SISTEMA

4.1. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

De forma a fundamentar alguns aspetos referidos acerca do sistema em estudo, construíram-se, em laboratório, provetes com o sistema completo aplicado.

O provete principal é constituído por um suporte de blocos térmicos, com aproximadamente 1 m² de área, com o *Mapetherm*[®] *Tile System* aplicado sobre este. Por se tratar de uma solução que não constitui qualquer influência no suporte, optou-se por aplicar o sistema em ambos os lados do mesmo, com algumas variações de materiais. Adicionalmente, também se aplicou, sobre placas de isolamento, camadas que permitissem analisar determinados parâmetros.

A construção dos diversos provetes, para além dos conhecimentos adquiridos associados à aplicação de diversas camadas, teve como principal objetivo a execução de alguns ensaios afim de caracterizar o sistema em estudo.

Como se trata de um sistema inovador com características muito particulares, selecionaram-se, para a análise experimental, ensaios que reflitam sobre as propriedades mais relevantes do *Mapetherm*[®] *Tile System*. De evidenciar, que o estudo efetuado, se encontrava condicionado pelo tempo limitado e pelos meios disponibilizados (tais como equipamentos, materiais e utensílios).

Realizaram-se três ensaios, nomeadamente o ensaio de resistência ao choque de 3 J, o ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de *Karsten* e o ensaio de aderência. Procurou-se organizar a realização dos ensaios segundo um plano que garantisse que ensaios diferentes ocorressem em locais diferentes de outros, assim como o devido espaçamento temporal entre todas as etapas.

Posteriormente, procedeu-se à análise dos resultados obtidos e, de acordo com os critérios de apreciação selecionados, aferiu-se se o desempenho do sistema se encontrava adequado.

A realização da campanha experimental decorre do facto de alguns parâmetros associados ao desempenho desta solução de fachada não se encontrarem explicitados. Como já referido, este sistema não é abrangido pela ETAG 004 [1], não sendo possível a elaboração de uma ETA, contrariamente ao que acontece com os ETICS tradicionais.

Na Figura 12 é possível observar o plano de atividades geral da construção dos provetes e da realização dos ensaios.

Plano de Atividades		mar/17	abr/17	mai/17	jun/17
Construção dos provetes	Construção do suporte	13/mar			
	Aplicação do EPS	21/mar			
	Aplicação do XPS	24/mar			
	Aplicação da camada de base (1ª demão) + rede de fibra de vidro + fixações mecânicas		03/abr		
	Aplicação da camada de base (2ª demão)		07/abr		
	Aplicação dos cerâmicos			10/mai	
	Betumação de juntas			26/mai	
Ensaio	Ensaio de choque de 3 J		26/abr		
	Ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de "Karsten"			04/mai *	01/jun **
	Ensaio de aderência				05/jun

* Ensaio na camada de base

** Ensaio na junta

Figura 12 – Plano de Atividades

4.2. CONSTRUÇÃO DOS PROVETES

Nos subcapítulos seguintes, procede-se à descrição de toda as etapas que envolveram a aplicação do *Mapetherm® Tile System*, em cada um dos provetes. Na Figura 13 encontram-se alguns dos produtos aplicados na elaboração do sistema.



Figura 13 – Produtos utilizados na aplicação do *Mapetherm® Tile System*

4.2.1. CONSTRUÇÃO DO SUPORTE

A construção do suporte constituiu a primeira fase da realização do provete. Para o caso, selecionaram-se blocos térmicos com $40 \times 26 \times 18,5 \text{ cm}^3$, disponíveis em laboratório (Figura 14.a). Assentou-se com uma argamassa de traço 1:3 (cimento:areia) (Figura 14.b) com 5 fiadas, formando assim uma parede com $82,5 \times 100 \text{ cm}^2$. De seguida, rebocou-se a parede com uma argamassa de traço 1:5:1 (cimento:areia:cal) (Figura 14.c), garantindo uma superfície lisa para aplicação do sistema. Verificou-se sempre, com o nível, a planeza da parede, quer no assentamento dos blocos, quer na execução do reboco (Figura 14.d). Na Figura 15 encontra-se o provete com o aspeto final.

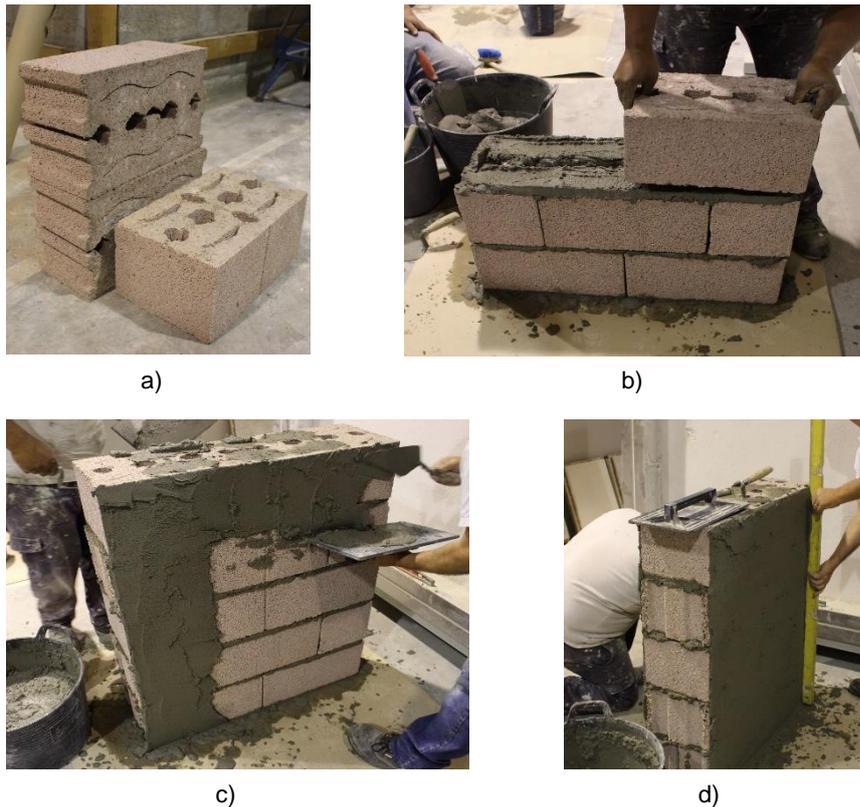


Figura 14 – Construção do Suporte: a) Blocos térmicos; b) Assentamento dos blocos; c) Execução do reboco; d) Verificação com o nível



Figura 15 – Aspeto final do provete

4.2.2. COLAGEM DAS PLACAS DE ISOLAMENTO

A colagem das placas de isolante constituiu a primeira etapa da aplicação da solução em estudo. Como se estabeleceu que o sistema seria aplicado em duas faces, optou-se por aplicar EPS numa face e XPS na outra face, denominando-se de Face A e Face B, respetivamente.

Inicialmente, recortaram-se as placas de isolante, com um x-ato, obtendo 3 peças de cada um de forma a intercalá-los na parede (evitando espaçamentos muito contínuos). Em situações correntes, aconselha-se a selagem do espaçamento entre as placas com uma espuma de poliuretano, embora não se aplicou para o caso, visto que a análise pretendida não englobava as características térmicas. O EPS apresenta uma espessura de 60 mm e o XPS de 50 mm.

Ambos foram colados com *Mapetherm ARI*, que é preparado misturando com água numa relação de 22% (5,5 l de água por cada 25 Kg de pó). Este foi agitado com um misturador até se obter uma mistura homogênea. Deixou-se repousar durante aproximadamente 5 minutos e voltou-se a mexer brevemente [42].

O processo de colagem é efetuado segundo o tipo *double buttering*, ou seja, quer no tardo do isolante (Figura 16.a), quer no suporte (Figura 16.b), garantindo no mínimo 80% de área preenchida. Foi aplicado com uma espátula dentada nº 10, em direções contrárias nas duas superfícies (garantindo maior aderência), originando uma camada com 6 mm de espessura [39].



a)



b)

Figura 16 – Aplicação do cimento-cola: a) no isolante; b) no suporte

De seguida, aplicou-se as placas de isolamento, de baixo para cima, suavemente de forma a assegurar que toda a área é preenchida. No sentido de garantir que o isolante é corretamente colado, com uma talocha pressionou-se o painel, em todas as zonas [39].

O processo foi efetuado na parede, com XPS na Face A (Figura 17.a) e EPS na Face B (Figura 17.b).



Figura 17 – Esquema do Isolante: a) EPS na Face A; b) XPS na Face B

4.2.3. APLICAÇÃO DA CAMADA DE BASE

A camada de base do *Mapetherm® Tile System* é um dos estratos mais importantes na concepção do sistema, sendo um dos elementos diferenciadores face aos ETICS tradicionais. Garantiu-se a recomendação referida no catálogo, de que deve ser aplicado, no mínimo, 48 horas após a colagem dos isolantes [39].

Para a execução desta camada, utilizou-se o *Planitop HDM Maxi*, uma argamassa que é preparada a partir de duas componentes, uma componente em pó e outra líquida, tal como descrito no capítulo 3.3.3. A proporção das componentes é de 25% (6,25 l de líquido por cada 25 Kg de pó) [44].

Inicialmente, começou-se por verter a componente líquida para um recipiente, ao qual se adicionou, de forma lenta a componente em pó enquanto se misturava com o misturador. Após garantir a homogeneidade da argamassa, esperou-se 5 minutos e misturou-se novamente durante um curto espaço de tempo.

De seguida, com uma espátula dentada de raio 10 mm, aplicou-se o produto sobre a área total dos painéis de isolante, garantindo uma espessura de cerca de 4 mm [39].

De seguida, e ainda com a superfície fresca, sobrepôs-se uma rede de fibra de vidro (*Mapegrid G 120*) previamente recortada com um x-ato (Figura 18.a), comprimindo-a levemente com o lado da espátula plana (Figura 18.b). Assim, garantiu-se que a rede aderiu totalmente à argamassa, ficando embebida nesta.



Figura 18 – a) Rede de fibra de vidro; b) Aplicação da rede de fibra de vidro

Posteriormente, logo após o posicionamento da rede de fibra de vidro, efetuaram-se as fixações mecânicas. O *Mapetherm Tile Fix 15* é composto por buchas de nylon e parafusos em aço (Figura 19.a), que são fixados com um berbequim. Realizaram-se cinco pregagens, tal como aconselhado no catálogo (quatro a cinco por m²) (Figura 19.b) [39].

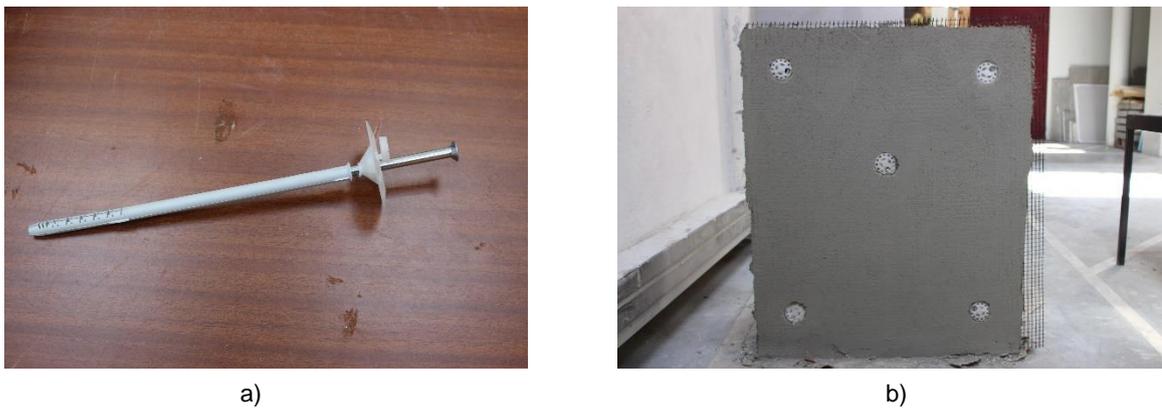


Figura 19 – a) Parafuso e bucha para fixação mecânica; b) Disposição das fixações mecânicas na Face A

Após um período de tempo, de no mínimo 24 horas, aplicou-se a segunda camada de *Planitop HDM Maxi*, com a mesma dosagem e processo, garantindo mais 4 mm de espessura. A camada de base apresenta assim, uma espessura de cerca de 8 a 9 mm [39].

Esta etapa foi realizada na Face A e B da parede (Figura 20.a e Figura 20.b e diretamente num painel de EPS com 100×50×6 cm³ de dimensão (denominado de Painel I) (Figura 20.c). As fixações mecânicas apenas foram utilizadas na parede, uma vez que no Painel I não eram necessárias, visto que não se encontrava aplicado sobre um suporte.

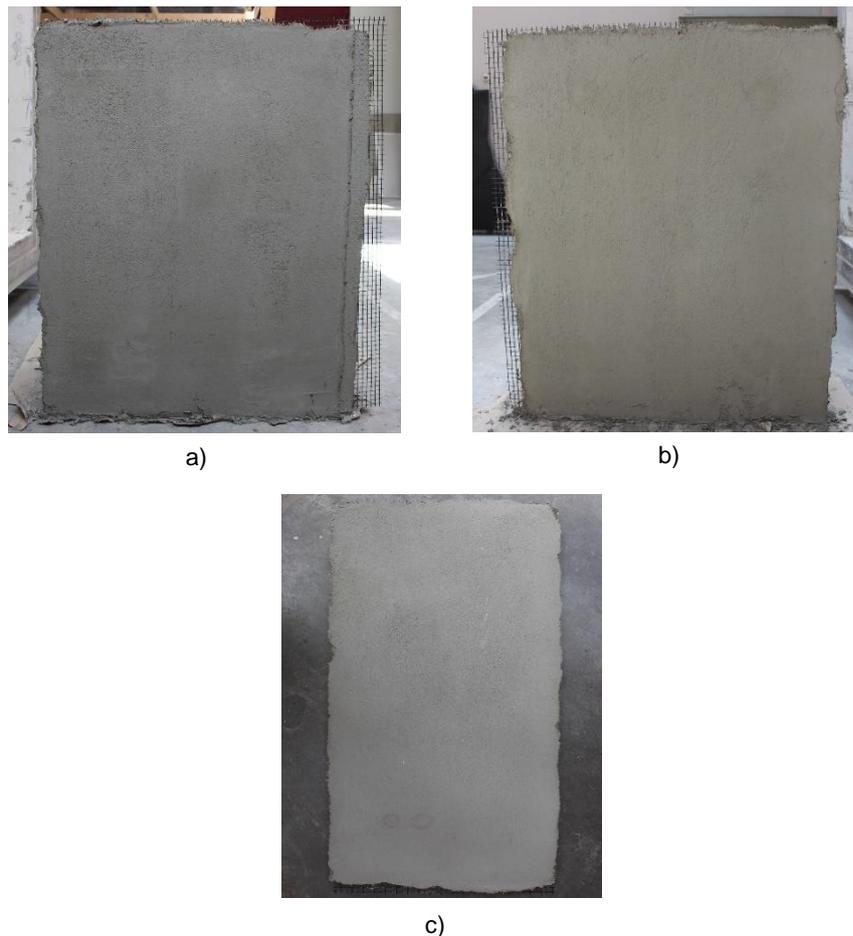


Figura 20 – Esquema da camada de base: a) na Face A; b) na Face B; c) no Painel I

4.2.4. COLAGEM DOS LADRILHOS CERÂMICOS

A colagem dos ladrilhos cerâmicos ocorreu cerca de 28 dias após a realização da camada de base, sendo que é especificado no catálogo, no mínimo, 10 dias de distância entre as duas etapas [39].

Esta fase foi realizada com dois cimentos-cola distintos, o *Kerabond T + Isolastic* (cimento-cola presa normal) e o *Elastorapid* (cimento-cola de presa rápida). Esta variação teve como principal objetivo comparar os dois produtos e a influência que provocam na aderência dos cerâmicos à camada de base.

Inicialmente, começou-se por misturar o cimento-cola de presa rápida, que é composto por duas componentes, uma componente em pó e uma componente líquida. A proporção da dosagem é de 25% da componente líquida para 100% da componente em pó (por cada 25 Kg de pó, adiciona-se 6,25 Kg de líquido) [51]. O modo associado à mistura das componentes é semelhante ao utilizado na mistura do produto da camada de base.

Tal como o produto de colagem dos isolantes, é requerido que se efetue uma dupla colagem, ou seja, no tardo do cerâmico (Figura 21.a) e na superfície da parede (Figura 21.b). É realizado com o recurso a uma espátula dentada de nº 10, com direções perpendiculares entre as superfícies [39].



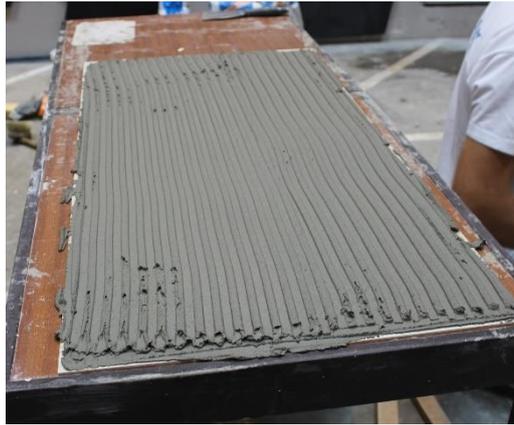
Figura 21 – Dupla colagem na Face A: a) no tardo do cerâmico; b) na superfície do provete

De seguida, e após ambas as superfícies preenchidas, aplicaram-se os cerâmicos na parede (Figura 22.a). Encostaram-se levemente na parede e pressionaram-se até todos as zonas ficarem em contacto com a mesma (como os cerâmicos apresentam uma espessura de 3,5 mm, é importante garantir que não existem vazios entre as duas superfícies). No sentido de assegurar que os cerâmicos aderem totalmente, com uma talocha de borracha pressionam-se em todas as zonas, com o cuidado de não danificar os ladrilhos. Utilizaram-se espaçadores, de 5 mm, entre os cerâmicos, para garantir uma distância adequada e constante das juntas (Figura 22.b). Recorreu-se ao uso de ripas de madeira, para que os cerâmicos assentassem na posição correta e pretendida. Posteriormente, limpou-se com um esfregão [39].



Figura 22 – a) Aplicação do cerâmico na Face A; b) Espaçadores de 5 mm

O processo associado à preparação e aplicação do cimento-cola normal é idêntico ao utilizado anteriormente, sendo que a dosagem é de 33% de componente líquida para 100% de componente em pó (por cada 25 Kg de pó, adiciona-se 8,5 Kg de líquido). Aplicou-se, igualmente nas duas superfícies (Figura 23.a e Figura 23.b) e com as mesmas indicações (Figura 24) [54-55].



a)



b)

Figura 23 – Dupla colagem na Face B: a) no tardo do cerâmico; b) na superfície do provete



Figura 24 – Aplicação do cerâmico na Face B

Optou-se por aplicar o cimento-cola de presa rápida na Face A (Figura 25) e cimento-cola normal na Face B (Figura 26.a) e no Pannel I (Figura 26.b).



Figura 25 – Colagem com cimento-cola de presa rápida na Face A

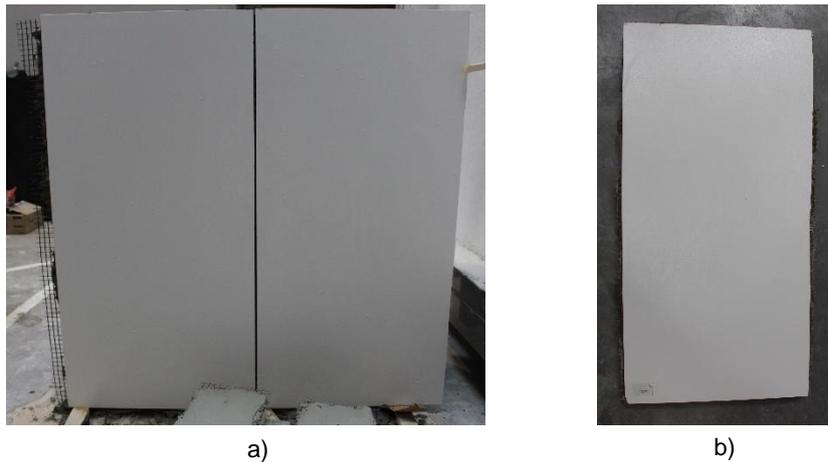


Figura 26 – Colagem com cimento-cola normal: a) na Face B; b) no Painel I

4.2.5. PREENCHIMENTO E SELAGEM DE JUNTAS

O preenchimento e a selagem de juntas foram realizados cerca de 14 dias após a colagem dos cerâmicos, apesar do catálogo especificar que estas podem ser efetuadas após 4 a 8 horas quando colado com cimento-cola de presa normal, ou após 1 a 2 horas quando colado com cimento-cola de presa rápida [39].

Optou-se por aplicar em determinados casos o Mapesil AC (selante em silicone), e em outros o Ultracolor Plus (argamassa cimentícia), no sentido de avaliar o desempenho de cada produto, uma vez que apresentam características e finalidades muito diferentes.

No caso da argamassa, começou-se por misturar o produto em pó com água, numa proporção de 100% de pó e 23% de água. O processo de mistura é semelhante ao utilizado nos restantes produtos do sistema, ou seja, utilizou-se um misturador de baixo número de rotações até se observar uma homogeneidade da argamassa, esperou-se 3 minutos e misturou-se brevemente antes de aplicar [61].

A aplicação ocorreu com o recurso a uma espátula, utilizada para preencher as juntas na sua totalidade, e com uma talocha de borracha, que permitiu uma junta plana (retirando o excesso aplicado) (Figura 27.a). Posteriormente, retirou-se a fita-cola usada e, com uma esponja molhada, limpou-se as partes sujas do cerâmico. Na Figura 27.b apresenta-se o pormenor da junta com argamassa.

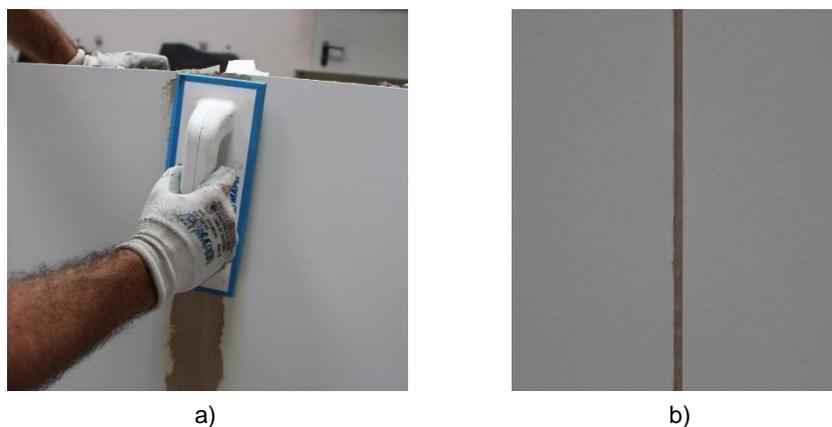


Figura 27 – Aplicação da argamassa: a) utilização da talocha de borracha; b) pormenor da junta

Relativamente ao selante, este foi utilizado com o auxílio de uma pistola de silicone, que após se cortar a 45° a parte superior do cartucho, se aplicou na junta, preenchendo-a na totalidade (Figura 28.a). De forma a garantir uma superfície lisa, passou-se a ponta do dedo na junta [67].

Por fim, retirou-se a fita-cola usada para não sujar o cerâmico, observando-se a reticulação do selante, que se tornava elástico por efeito da humidade. Na Figura 28.b apresenta-se o pormenor da junta com silicone.

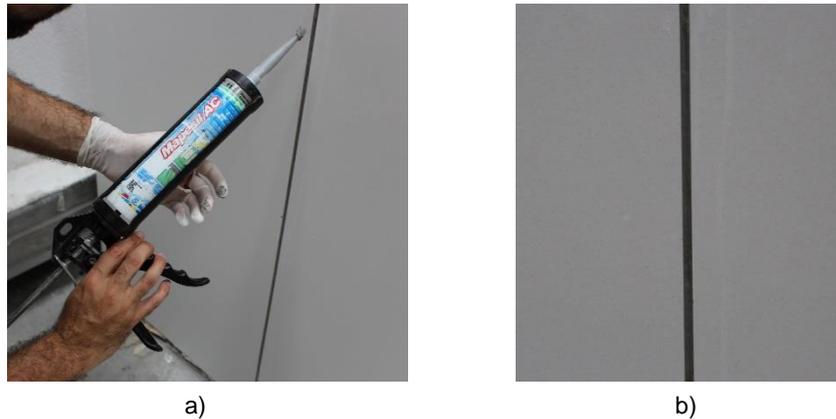


Figura 28 – Aplicação do silicone: a) utilização da pistola de silicone; b) pormenor da junta

Optou-se por preencher com argamassa a Face B da parede e por aplicar o silicone na Face A.

4.2.6. ESQUEMA FINAL DOS PROVETES

Neste subcapítulo são apresentados os esquemas finais dos provetes. Na Figura 29 é exibido o esquema do Painel I. Na Figura 30 está representado a Face A, a Face B e a secção transversal da parede. Na Figura 31 está representado o corte da parede em pormenor, com as respetivas medidas.

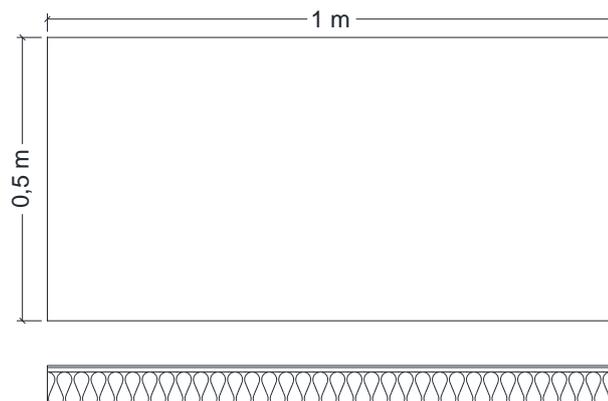


Figura 29 – Esquema final do Painel I

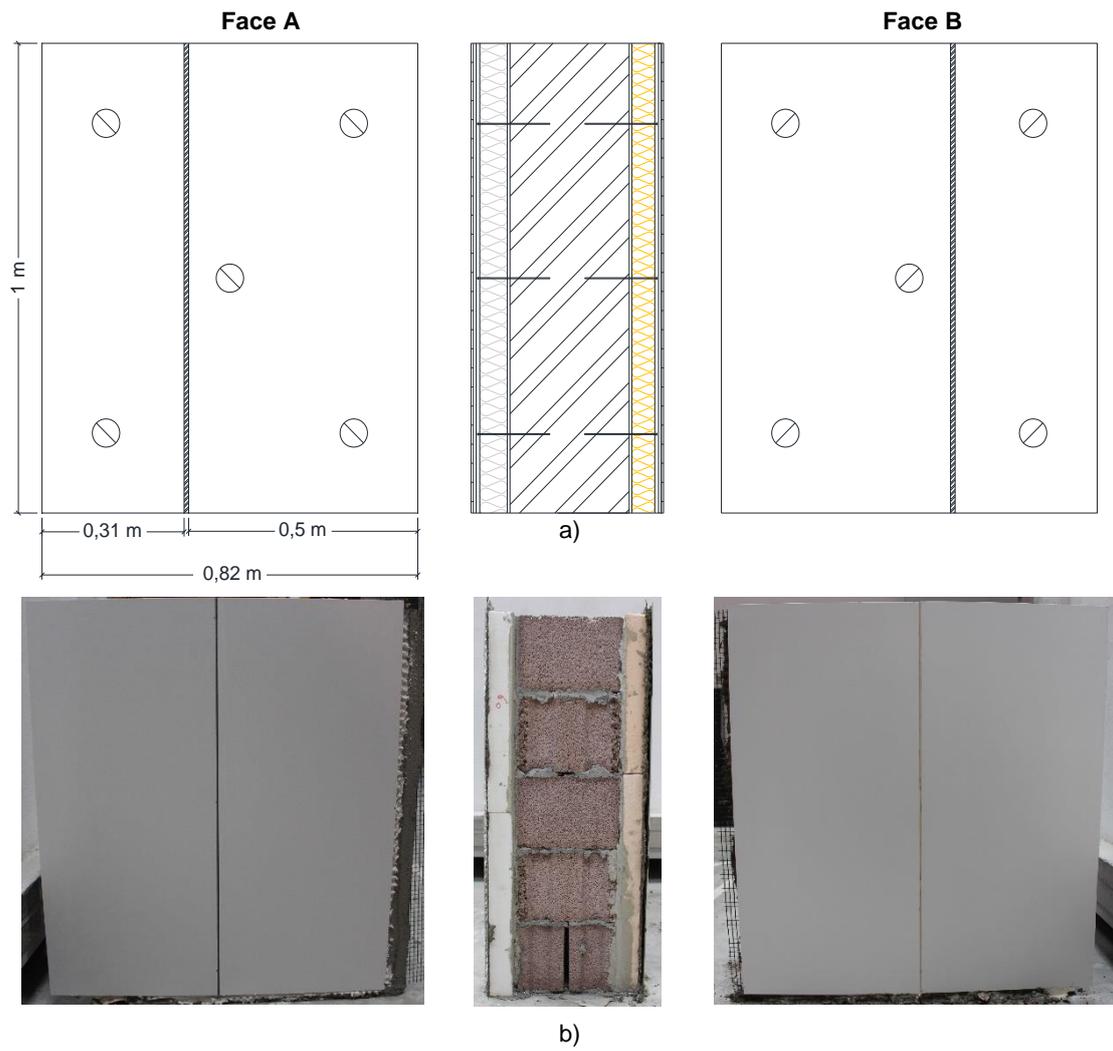


Figura 30 – Esquema final da parede: a) esquema em desenho; b) esquema real

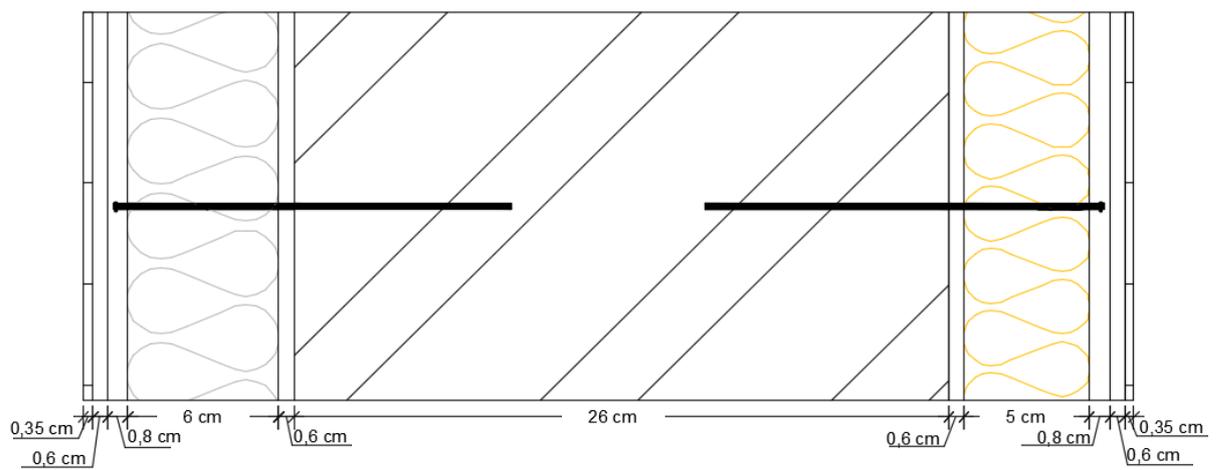


Figura 31 – Corte da parede, com as respectivas medidas

4.3. DESCRIÇÃO E OBJETIVOS DOS ENSAIOS

No sentido de analisar algumas características do sistema, realizaram-se ensaios que permitissem retirar conclusões acerca do seu comportamento. Para tal, e garantindo que os ensaios decorressem de forma adequada, procedeu-se ao estudo e descrição dos ensaios de permeabilidade, de resistência ao choque e de aderência. Previamente, delineou-se um plano de ensaio, com a organização dos trabalhos e com os esquemas de cada ensaio nos provetes.

4.3.1. ENSAIO DE PERMEABILIDADE À ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO COM TUBOS DE *KARSTEN*

Uma solução construtiva necessita de apresentar uma camada que contribua para a estanquidade do sistema, apresentando uma baixa permeabilidade à água líquida. Assim, a realização de um ensaio que avalie este parâmetro é essencial para a caracterização de determinado sistema, enquadrando-se na exigência funcional da higiene, saúde e ambiente (ER3). Existem diversos ensaios de permeabilidade à água, como o caso do utilizado com recurso a Tubos de *Karsten*.

O ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de *Karsten* é realizado segundo a ficha de produto da *DSI* [70] apoiada com a metodologia referida pela *RILEM II.4* [71]. Este ensaio consiste em medir a quantidade de água absorvida em função do tempo por uma determinada superfície. Com a realização deste ensaio, pretende-se verificar a aptidão da camada, quando submetida ao efeito da água, simulando por exemplo a ocorrência de chuva.

Para tal, utilizam-se Tubos de *Karsten*, isto é, pequenos tubos de vidro graduados e com forma de cachimbo, fixados á superfície em estudo (Figura 32.a). Os tubos apresentam um diâmetro de 30 mm, que são fixados à superfície com um material selante (formando uma junta estanque à água) que ocupa cerca de 10 mm do diâmetro, apresentando uma área de contacto com a água de cerca de 20 mm de diâmetro (3 cm² de área) (Figura 32.b). Os tubos têm uma capacidade de 10 ml, equivalente a 10 cm de altura de água.

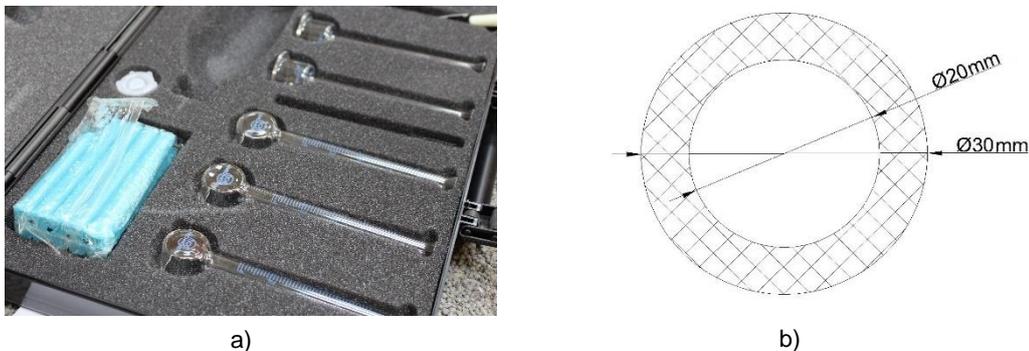


Figura 32 – a) Tubos de *Karsten*; b) Esquema da base do tubo com preenchimento de material selante

Os materiais e utensílios necessários na realização deste ensaio são:

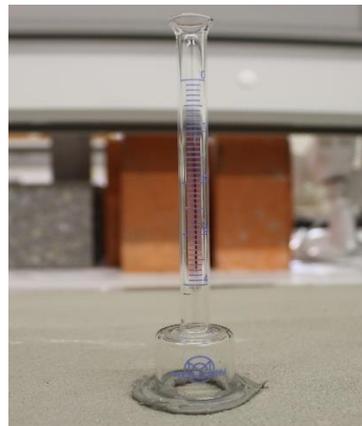
- 6 Tubos de *Karsten* (3 para ensaios na vertical e 3 para ensaios na horizontal);
- Material selante como plasticina ou silicone;
- Borrifador;
- Água;
- Cronómetro.

O procedimento recomendado para a realização deste ensaio é o seguinte:

- 1) Formar o material plástico selante (plasticina), misturando com a mão uma pequena quantidade e aplicá-lo na base do tubo (seco);
- 2) Caso se utilize um silicone, este é aplicado diretamente na base do tubo;
- 3) Aplicar o tubo e pressioná-lo contra a superfície (Figura 33.a e Figura 33.b), garantindo uma superfície livre de 20 mm;
- 4) Aguardar cerca de 10 minutos até o material endurecer;
- 5) Encher, com um borrifador, o tubo até atingir a “marca zero” (equivalente aos 10 cm de altura de água) (Figura 34.a);
- 6) Registrar de 5 em 5 minutos, até aos 60 minutos, a diminuição de água do tubo correspondente à quantidade absorvida;
- 7) Registrar, com um humidímetro, a humidade no interior das camadas em zona seca e nas zonas submetidas ao ensaio de permeabilidade (Figura 34.b).



a)



b)

Figura 33 – Tubo de *Karsten* aplicados: a) com plasticina; b) com silicone



a)



b)

Figura 34 – a) Enchimento com o borrifador; b) Registo com humidímetro

É necessário pressionar de forma leve o tubo durante o ensaio evitando que este descole, e sempre que o nível de água diminua, deve-se encher novamente até à “marca zero” garantindo sempre uma pressão hidrostática constante de 10 cm de altura de água.

O ensaio tem uma duração de cerca de 60 minutos, segundo a metodologia do *RILEM II.4* [71]. Devem ser realizados 3 ensaios no mínimo.

4.3.2. ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CHOQUE DE 3 J

Um das exigências funcionais mais relevantes (ER3 – Higiene, saúde e ambiente) aborda a resistência aos impactos de determinadas camadas, sobretudo do revestimento final. No caso dos ETICS tradicionais, esta análise torna-se essencial uma vez que apresenta um revestimento final com baixa espessura.

O ensaio de choque de 3 J é realizado segundo a norma ISO 7892 referido na EN 13497 [72], tal como especificado na ETAG 004 [1]. Este ensaio pretende analisar a resistência ao impacto de uma determinada camada, através da degradação provocada. É composto pelo aparelho de *Martinet Baronnie* (Figura 35), que é constituído por uma barra rígida com 0,61 metros de comprimento e com uma esfera na extremidade com 0,5 Kg de massa. A esfera, que funcionando como um pêndulo, ao embater na parede produz uma energia correspondente a 3 J, tal como especificado na expressão (1) da energia potencial gravítica.

$$E_p = m \times g \times h = 0,5 \times 9,81 \times 0,61 = 3 J \quad (1)$$

Onde:

E_p – Energia potencial gravítica, em J;

m – Massa da esfera, em Kg;

g – Aceleração da gravidade, em m/s²;

h – Altura da esfera no ponto inicial, em m.



Figura 35 – Aparelho de *Martinet Baronnie*

Os materiais e utensílios necessários na realização deste ensaio são:

- Aparelho de *Martinet Baronnie*;
- Régua.

O procedimento recomendado para a realização deste ensaio é o seguinte:

- 1) Definir e marcar os pontos onde se pretende realizar o ensaio;
- 2) Colocar o aparelho em posição perpendicular à face da parede (posição horizontal), com a esfera posicionada na extremidade livre do braço (Figura 36.a);
- 3) Verificar que o aparelho se encontra em posição horizontal, garantindo que a trajetória descrita pela esfera ocorra no plano vertical;

- 4) Deixar cair a esfera de forma livre, até embater na parede (Figura 36.b);
- 5) Afastar de seguida o aparelho, de forma a evitar que a esfera embata novamente na parede;
- 6) Analisar a eventual degradação do impacto;
- 7) Registrar o diâmetro da moosa, e o tipo de degradação.



Figura 36 – a) Posicionamento do equipamento; b) Embate da esfera na parede

A duração do ensaio é praticamente instantânea, uma vez que não requer preparação nem tempo de espera para obtenção dos resultados. Devem ser realizados três ensaios no mínimo.

4.3.3. ENSAIO DE ADERÊNCIA

A exigência funcional de segurança na utilização (ER 4) refere, como principal parâmetro de análise, a aderência entre as várias camadas, que requer o cumprimento de exigências mínimas que garantam a segurança dos utentes [1].

O ensaio de aderência é adaptado a partir da EN 1015-12 [73], da EN 1348 [53] e da ETAG 004 [1]. É realizado através do arrancamento por tração de carotes (quadrangulares ou circulares) com pastilhas metálicas coladas, executadas com um pré-corte até determinada profundidade. A profundidade do pré-corte é definida consoante a análise pretendida, com o auxílio de uma rebarbadora (Figura 37.a). A aderência é determinada como a tensão de tração máxima aplicada por uma carga perpendicular à superfície, com o recurso a uma um equipamento de medição eletrónico (Figura 37.b). A tensão de aderência é obtida como o quociente entre a força de rotura e a área de ensaio, tal como especificado na expressão (2).

$$f_u = \frac{F_u}{A} \quad (2)$$

Onde:

f_u – Tensão de aderência, em N/mm²;

F_u – Força de rotura, em N;

A – Área do ensaio das pastilhas, em mm².



Figura 37 – a) Rebarbadora; b) Equipamento de arrancamento e medição da aderência

Regista-se, para cada ensaio, a força de rotura e a área correspondente, e calcula-se a tensão de aderência. É necessário assinalar o local onde a rotura ocorreu, assim como o seu tipo. O tipo de rotura pode ser coesiva (no interior de uma camada) ou adesiva (na interface de duas camadas).

Os materiais e utensílios necessários na realização deste ensaio são:

- Rebarbadora;
- Pastilhas metálicas quadradas (com área de 50x50 mm² e espessura de 18 mm) com uma rosca no centro;
- Cola à base de resinas *epoxy*;
- Equipamento de arrancamento e medição da aderência (eletrónico);
- Equipamento de proteção;
- Régua;
- Cronómetro.

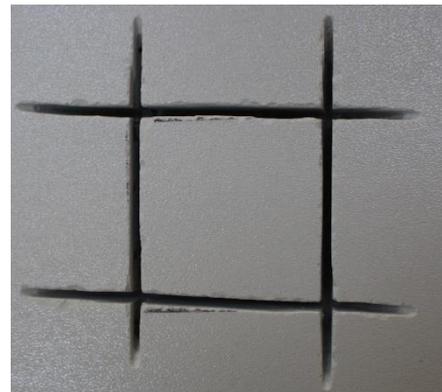
O procedimento recomendado para a realização deste ensaio é o seguinte:

- 1) Marcar com uma caneta a posição das pastilhas nos provetes, garantindo uma distância de 50 mm entre os restantes e os bordos livres;
- 2) Executar os pré-cortes quadrangulares com a rebarbadora (quatro cortes intercetados, com aresta de 50 mm) (Figura 38.a e Figura 38.b);
- 3) Aplicar a cola à base de resinas *epoxy* na face lisa das pastilhas (Figura 39.a);
- 4) Colar as pastilhas quadrangulares nos locais definidos, pressionando a pastilha durante cerca de 90 segundos e garantindo que esta se mantém no local da incisão (Figura 39.b);
- 5) Remover o excesso de cola, após a colagem das pastilhas, e garantir que a cola não penetra as incisões;
- 6) Aguardar período de secagem, de cerca de 24 horas;
- 7) Fixar o equipamento de arrancamento e medição da aderência às pastilhas através da rosca situada no centro;
- 8) Executar os arrancamentos (Figura 40.a);

- 9) Registrar para cada ensaio, o respetivo valor da força máxima de tração exercida, em N e o tipo de rotura observado;
- 10) Proceder ao cálculo da tensão de aderência, segundo a expressão (2);
- 11) Registrar o local e o tipo de rotura observado;
- 12) Limpar as faces das pastilhas, com recurso a uma fonte de aquecimento que amolece a cola e permite retirar todo o material colado à pastilha (Figura 40.b).



a)



b)

Figura 38 – a) Execução do pré-corte; b) Aspeto final das incisões



a)



b)

Figura 39 – a) Aplicação da cola na face das pastilhas; b) Aspeto final das incisões com pastilhas



Figura 40 – a) Execução do arrancamento; b) Limpeza das pastilhas

A duração de cada ensaio é de aproximadamente de 15 minutos (10 minutos para realização das incisões e colagem das pastilhas e 5 minutos para execução do arrancamento), sendo que é necessário um período de cerca de 24 horas entre a colagem das pastilhas e a execução do arrancamento.

4.4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.4.1. PLANO DE ENSAIO

Neste subcapítulo é apresentado o esquema com os locais onde cada ensaio foi efetuado.

Na camada de base, anteriormente à aplicação dos cerâmicos, foram realizados ensaios de resistência ao choque de 3 J, na Face A (Ac_1 , Ac_2 e Ac_3) e na Face B (Bc_1 , Bc_2 e Bc_3). Realizaram-se ensaios de permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de *Karsten*, na camada de base do Painel I (Ip_1 , Ip_2 e Ip_3).

O ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de *Karsten* foi realizado, de igual forma, nas juntas entre os ladrilhos da Face A (AJp_1 , AJp_2 e AJp_3) e da Face B (BJp_1 , BJp_2 e BJp_3). No sistema completo, realizaram-se ensaios de aderência na Face A (Aa_1 a Aa_9), na Face B (Ba_1 a Ba_9) e no Painel I (Ia_1 , Ia_2 e Ia_3).

Na Figura 41 encontra-se representado o esquema dos três ensaios realizados, na Face A (Figura 41.a), na Face B (Figura 41.b) e no Painel I (Figura 41.c).

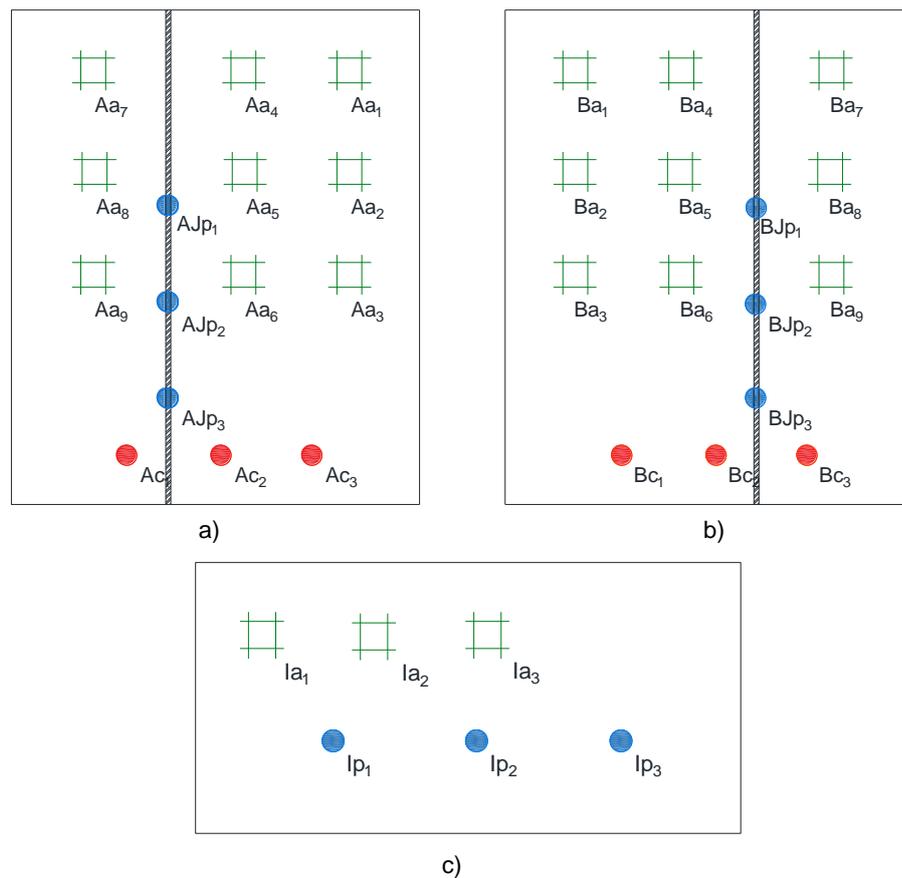


Figura 41 – Esquema dos ensaios realizados: a) na Face A; b) na Face B; c) no Painel I

4.4.2. ENSAIO DE PERMEABILIDADE À ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO COM TUBOS DE *KARSTEN*

4.4.2.1. Apresentação dos Resultados e Critérios de Apreciação

O ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de *Karsten* permitiu analisar duas componentes do sistema. A primeira foi realizada na camada de base do sistema, nomeadamente no Painel I. A segunda foi realizada nas juntas das Faces A e B, após o seu preenchimento e selagem. A realização das duas fases é justificada pela opção de analisar duas componentes do sistema, ou seja, a permeabilidade da camada de base e das juntas (silicone na Face A e argamassa cimentícia na Face B).

A execução deste ensaio gerou algumas dificuldades. Inicialmente, optou-se por utilizar a plasticina como meio de fixação dos tubos às superfícies em análise. No entanto, após cerca de 15 minutos, verificava-se um decréscimo significativo de água, justificada pelo facto da plasticina não garantir a estanquidade do tubo por um período alargado. Desta forma, optou-se por utilizar um silicone como material de fixação dos tubos, observando-se que este assegurava a estanquidade dos tubos durante o ensaio.

Assim, optou-se por realizar três ensaios na camada de base do Painel I (Figura 42).



Figura 42 – Execução do ensaio de permeabilidade no Painel I (Ip₁, Ip₂ e Ip₃)

Assim, no Quadro 23 apresentam-se os valores médios obtidos em cada provete da primeira fase do ensaio.

Quadro 23 – Resultados do ensaio de permeabilidade realizados na camada de base, no Painel I

Provete	Ensaio	Valores (ml/min)	Valor médio (ml/min)
Painel I	Ip ₁	0,0075	0,0081
	Ip ₂	0,0093	
	Ip ₃	0,0076	

Registaram-se, para todos os casos, as leituras do humidímetro, como demonstra o Quadro 24. Foram medidos, de igual forma, o Painel I quando este se encontrava seco.

Quadro 24 – Resultados das leituras do humidímetro realizados na camada de base, no Painel I

Provete	Ensaio	Valor relativo	Valor médio
Painel I	Seco	126	-
	Ip ₁	204	198
	Ip ₂	209	
	Ip ₃	182	

Os gráficos da Figura 43 demonstram a evolução da penetração de água no Painel I, nos 60 minutos de ensaio.

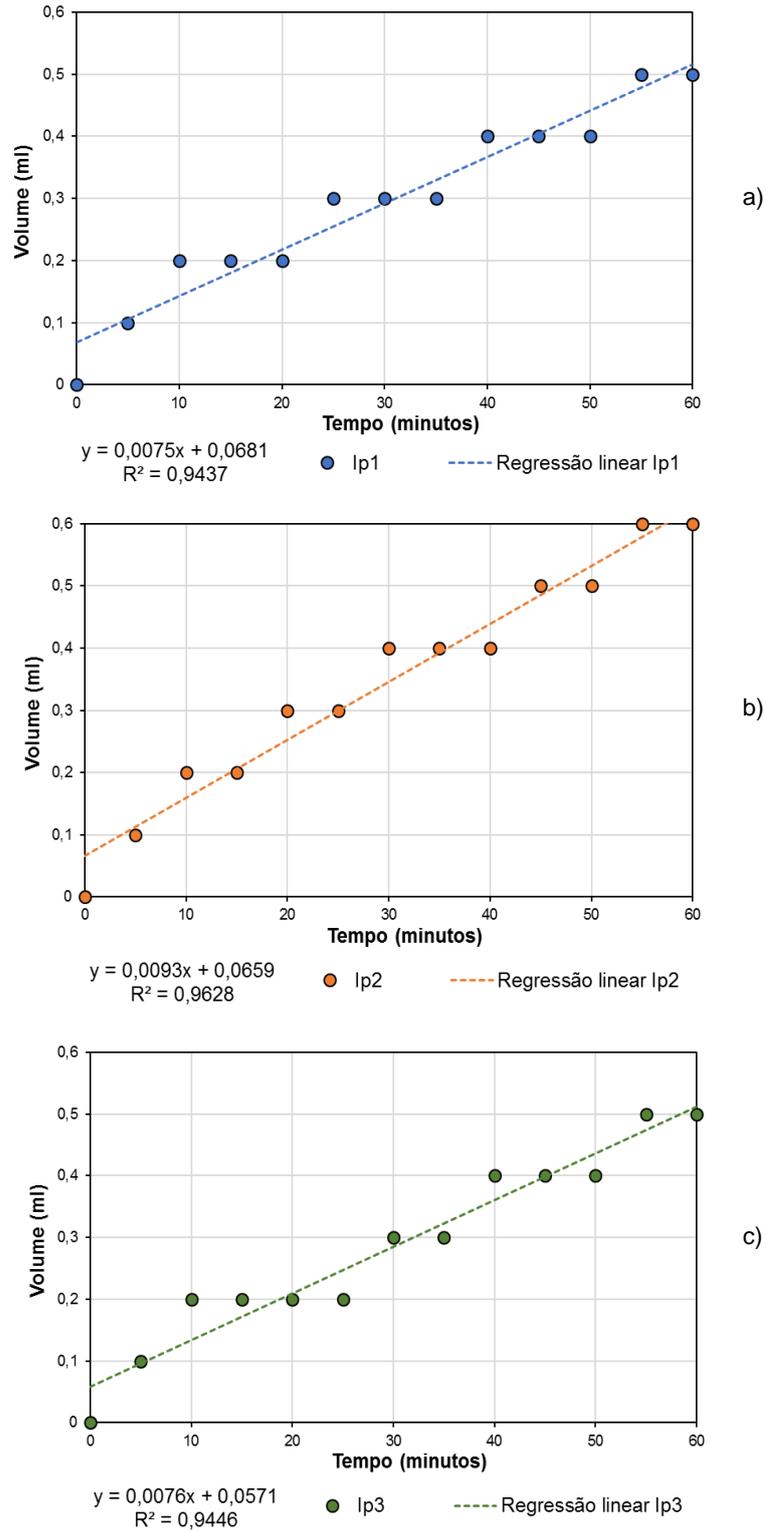


Figura 43 – Evolução da penetração de água ao longo do tempo no Painel I: a) Ip1; b) Ip2; c) Ip3

Na análise da permeabilidade das juntas, foram realizados três ensaios em cada face. Na Face A (Figura 44.a) estudou-se a permeabilidade da junta de silicone e na Face B (Figura 44.b) a permeabilidade da argamassa cimentícia. Ambos os ensaios foram realizados até aos 60 minutos.

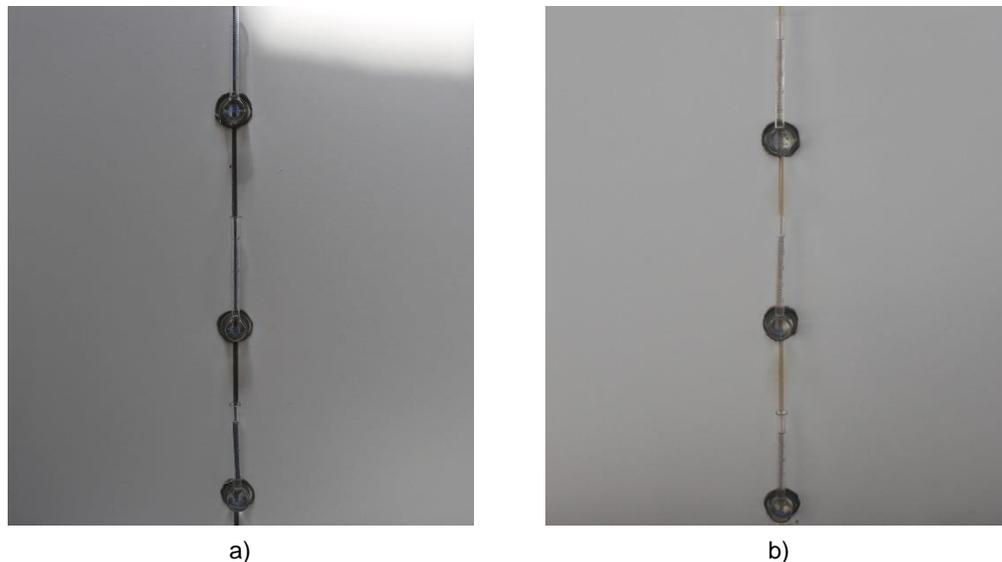


Figura 44 – Execução de ensaio de permeabilidade: a) na Face A (AJP₁, AJP₂ e AJP₃); b) na Face B (BJP₁, BJP₂ e BJP₃)

Os resultados do ensaio de permeabilidade efetuados nas duas juntas, realizados segundo a metodologia da *RILEM II.4* [71], indicaram uma absorção nula, nos 60 minutos. Assim, as juntas de silicone e de argamassa cimentícia são estanques à água. Tal facto foi corroborado pela leitura do humidímetro, que registou, antes e após a realização do ensaio, um valor de cerca de 160, ou seja, verificou-se que não ocorreu penetração de água no interior das camadas.

Os critérios de apreciação adotados para a avaliação do ensaio de permeabilidade são baseados nos critérios referidos na ficha de produto dos Tubos de *Karsten* [70].

Apesar de serem pouco explícitos quanto aos valores limites de penetração de água de cada tipo de material, considera-se como 0,1000 ml/min o valor máximo admissível para camadas realizadas com argamassas impermeáveis à água. Para juntas realizadas com silicones, é admitido que o valor terá de ser nulo, ou seja, 0,0000 ml/min.

Para os valores registados no humidímetro, considera-se que valores compreendidos entre 60 e 170 correspondem a um estado seco, valores compreendidos entre 170 e 200 correspondem a um estado de risco de humidade e valores superiores a 200 correspondem a camadas com estado húmido.

4.4.2.2. Análise e Discussão dos Resultados

Relativamente à análise da camada de base, verifica-se que os ensaios cumprem os requisitos definidos relativamente à permeabilidade, ou seja, não ultrapassando os 0,1000 ml/min.

No Painel I verificou-se que os valores de penetração de água não ultrapassam os 0,0093 ml/min. Neste caso, os ensaios Ip_1 e Ip_3 demonstram uma reta de regressão muito similar e o ensaio Ip_2 representa uma reta com um declive ligeiramente superior. O declive de cada reta de regressão é equivalente ao valor de absorção.

A regressão linear de cada um dos ensaios representa o comportamento aproximado da penetração de água na camada de base, em função do tempo. Nos três ensaios, a reta de regressão linear é relativamente robusta, uma vez que o coeficiente de correlação linear (R^2) é elevado.

Relativamente às leituras do humidímetro, observa-se que o Painel I apresenta um valor, quando seco, equivalente a 126 (estado seco). Os valores registados no humidímetro, após o ensaio, confirmaram que o sistema absorveu água. Em todas as leituras, verificou-se que o Painel I se encontrava em estado húmido.

É importante referir, que os valores registados do humidímetro, permitem apenas comparar as diferentes medições, uma vez que, numa análise isolada, verifica-se somente o estado nas camadas, fornecido pelo equipamento (seco, em risco de humidade ou húmido).

Relativamente à análise efetuadas nas juntas da Face A e da Face B, os resultados cumprem os requisitos estabelecidos, isto é, 0,0000 ml/min. Assim, quer a junta de silicone, quer a junta preenchida com argamassa cimentícia, são estanques à água líquida, evitando assim a penetração de água no sistema através destes elementos.

Uma vez que estas componentes não absorvem água, a leitura do humidímetro demonstrou que os valores permaneciam semelhantes ao registo inicial (seco), considerando que se enquadra no estado seco.

4.4.3. ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CHOQUE DE 3 J

4.4.3.1. Apresentação dos Resultados e Critérios de Apreciação

O ensaio de resistência ao choque de 3 J foi realizado na Face A e Face B do provete principal. Este ocorreu antes da colagem dos cerâmicos, uma vez que se pretendia avaliar a resistência ao impacto da camada de base do sistema.

Como não se trata de um ensaio particularmente complexo, não se encontraram dificuldades elevadas. No entanto, pode-se referir como dificuldade mais relevante garantir que a queda da esfera se desenvolvesse no plano vertical, visto que, com o seu movimento, é normal que ocorra uma alteração face à posição inicial.

Tal como referido na ETAG 004 [1], realizaram-se três ensaios para cada face. Na Figura 45 encontra-se as degradações provocadas na Face A e na Figura 46 encontra-se as degradações provocadas na Face B.

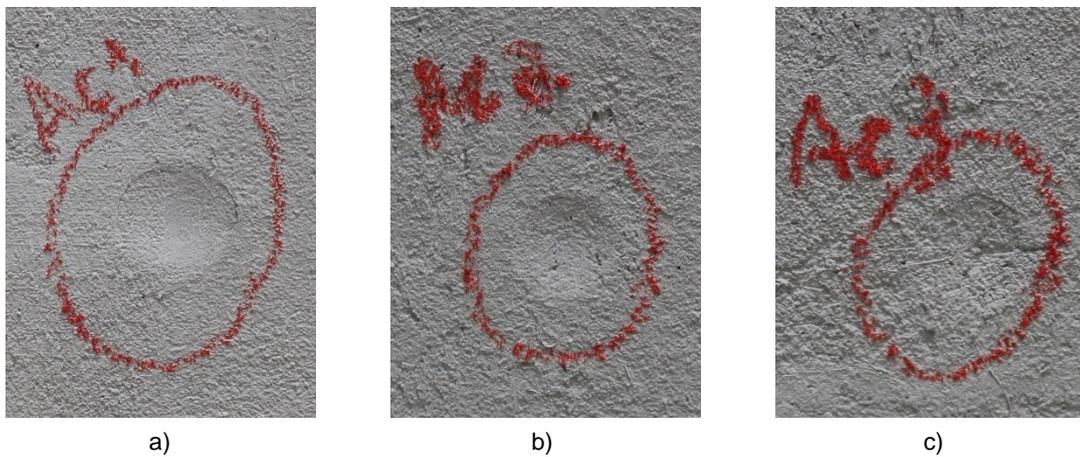


Figura 45 – Degradações provocadas na Face A: a) Ac₁; b) Ac₂; c) Ac₃

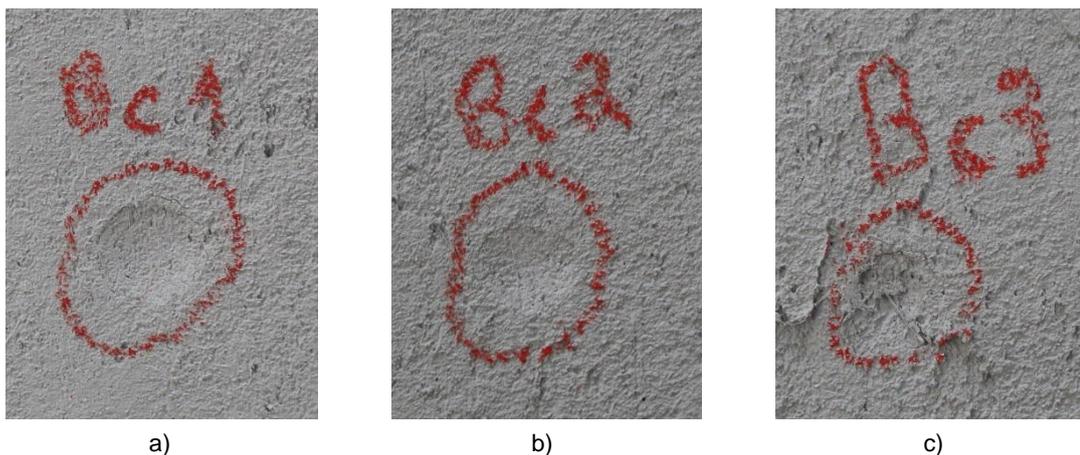


Figura 46 – Degradações provocadas na Face B: a) Bc₁; b) Bc₂; c) Bc₃

No Quadro 25 mostram-se os resultados do ensaio na Face A e no Quadro 26 mostram-se os resultados do ensaio na Face B.

Quadro 25 – Resultados do ensaio de choque de 3 J na Face A

Ensaio	Diâmetro 1* (cm)	Diâmetro 2** (cm)	Diâmetro médio (cm)	Observações
AC ₁	2,0	1,9	2,0	Com fendilhação
AC ₂	1,6	1,8	1,7	Sem fendilhação, apenas com pequena mocha que forma uma pequena concavidade
AC ₃	1,8	1,9	1,9	

*  ** 

Quadro 26 – Resultados do ensaio de choque de 3 J na Face B

Ensaio	Diâmetro 1* (cm)	Diâmetro 2** (cm)	Diâmetro médio (cm)	Observações
BC ₁	1,8	1,9	1,9	Com fendilhação
BC ₂	1,8	1,9	1,9	Sem fendilhação, apenas com pequena mocha que forma uma pequena concavidade
BC ₃	1,7	1,8	1,8	

*  ** 

A camada de base dos ETICS necessita de apresentar uma resistência elevada ao impacto, uma vez que o revestimento final é de baixa espessura. Assim, considera-se que a classificação da camada de base do sistema em estudo deve ser avaliada segundo a ETAG 004 [1].

Assim, no Quadro 27 encontra-se a classificação dos ETICS segundo a ETAG 004 [1], para os ensaios de choque de 3 J.

Quadro 27 – Classificação dos ETICS segundo a ETAG 004 [1], para os ensaios de choque de 3 J

Classificação	Descrição
Categoria I	Sem deterioração após choque de 3 J
Categoria II	Sem fendilhação com choque de 3 J
Categoria III	Sem penetração com choque de 3 J

Considera-se relevante referir que a classificação inserida numa categoria abrange também os resultados obtidos com o choque de esfera de 10 J e com ensaio de perfuração, embora, para o estudo, não foram efetuados estes testes.

4.4.3.2. Análise e Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos no ensaio de choque da camada de base do sistema permitem aferir algumas considerações. O impacto causado não provocou danos significativos, apenas uma ligeira mocha, sendo que no ensaio AC₁ e BC₁ observou-se uma ligeira fendilhação. Apesar da camada não apresentar uma função de resistência aos impactos, visto que não integra o revestimento final do sistema em estudo, verifica-se, através dos resultados, que apresenta uma rigidez aceitável. Assim, observa-se que ocorre alguma deterioração registando-se fendilhação em dois ensaios. Desta forma, pode-se classificar, a partir dos

resultados obtidos após choque de esfera de 3 J, que a camada de base integra a categoria III, segundo a ETAG 004 [1].

4.4.4. ENSAIO DE ADERÊNCIA

4.4.4.1. Apresentação dos Resultados e Critérios de Apreciação

O ensaio de aderência foi realizado nos provetes com os cerâmicos aplicados, ou seja, na Face A, na Face B e no Painel I. Optou-se por realizar pré-cortes com profundidades diferentes no sentido de avaliar a aderência e compatibilidade das diversas camadas. Realizaram-se, assim, incisões com as seguintes profundidades:

- Entre os ladrilhos e a camada de base, sem atingir a rede de fibra de vidro;
- Entre os ladrilhos e a camada de base, atingindo a rede de fibra de vidro;
- Entre os ladrilhos e o isolante.

A realização deste ensaio resultou em determinadas dificuldades. O manuseamento da rebarbadora, por vezes, tornou-se difícil. A sua massa, a vibração que produz e a necessidade de pressionar diversos mecanismos de segurança em simultâneo traduziram-se numa atividade mais intensa que afetou a qualidade de algumas incisões. Em alguns casos, repetiram-se ensaios, uma vez que o pré-corte não se encontrava com a forma quadrangular pretendida. Também ocorreu, num caso, a execução de uma incisão com uma profundidade superior à pretendida pelo facto do mecanismo de definição da espessura do pré-corte se soltar. A colagem das pastilhas, com a cola à base de resinas *epoxy*, ocorreu conforme o previsto à exceção de um caso, no qual a rotura do ensaio se deu na cola. Tal facto pode ser justificado, provavelmente, pela má qualidade da mistura das duas componentes da cola.

A execução das incisões entre os ladrilhos e a camada de base, sem atingir a rede de fibra de vidro (conforme o esquema da Figura 47), foi efetuada na Face A (Figura 48 à Figura 50), na Face B (Figura 51 à Figura 53) e no Painel I (Figura 54 à Figura 56). Em cada um dos ensaios efetuados, é exibido a vista de frente das duas superfícies submetidas ao arrancamento por tração, assim como a vista em perfil transversal da superfície retirada do provete. Desta forma, é possível observar mais detalhadamente o tipo de rotura e o local em que ocorre.

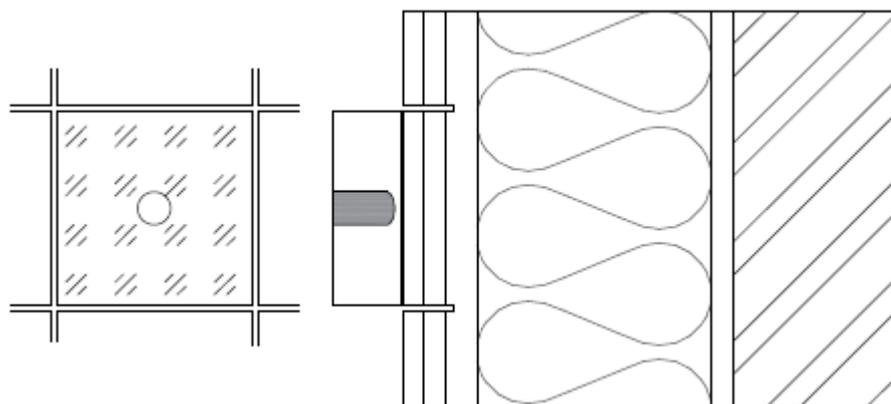


Figura 47 – Esquema do pré-corte entre os ladrilhos e a camada de base, sem atingir a rede de fibra de vidro



Figura 48 – Ensaio de aderência Aa7: a) Vista de frente; b) Vista em perfil

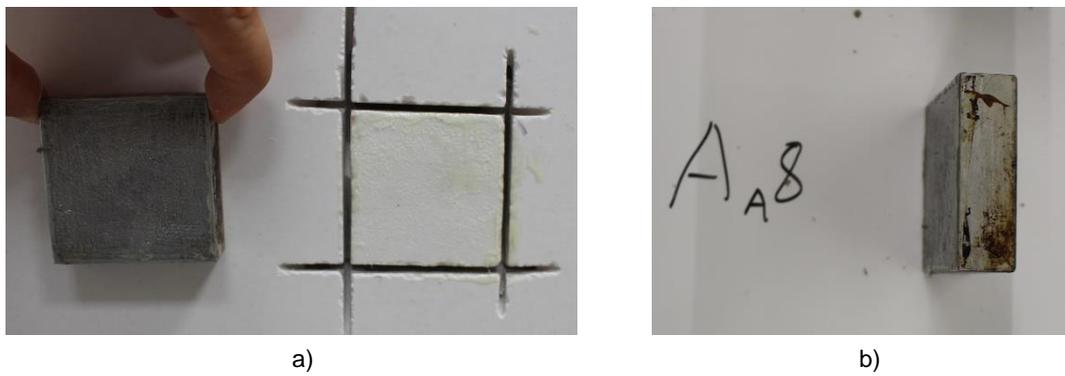


Figura 49 – Ensaio de aderência Aa8: a) Vista de frente; b) Vista em perfil

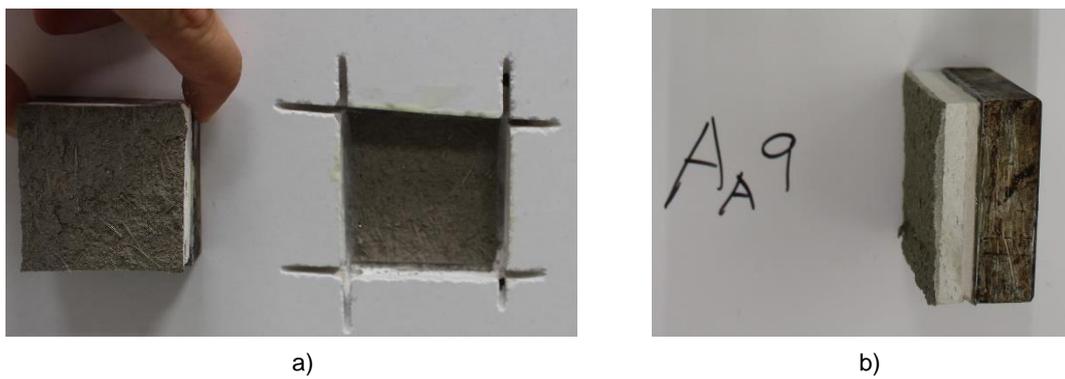


Figura 50 – Ensaio de aderência Aa9: a) Vista de frente; b) Vista em perfil



a)

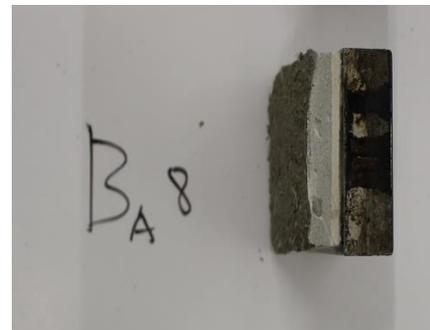


b)

Figura 51 – Ensaio de aderência Ba₇: a) Vista de frente; b) Vista em perfil



a)



b)

Figura 52 – Ensaio de aderência Ba₈: a) Vista de frente; b) Vista em perfil



a)



b)

Figura 53 – Ensaio de aderência Ba₉: a) Vista de frente; b) Vista em perfil

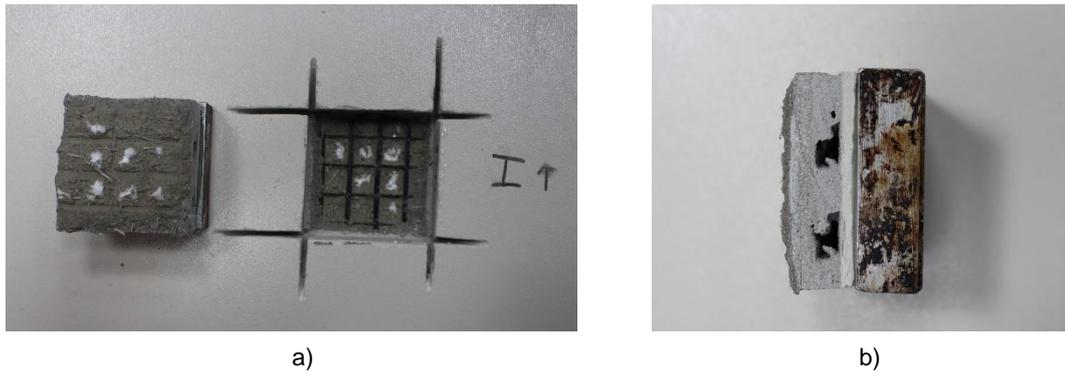


Figura 54 – Ensaio de aderência Ia: a) Vista de frente; b) Vista em perfil

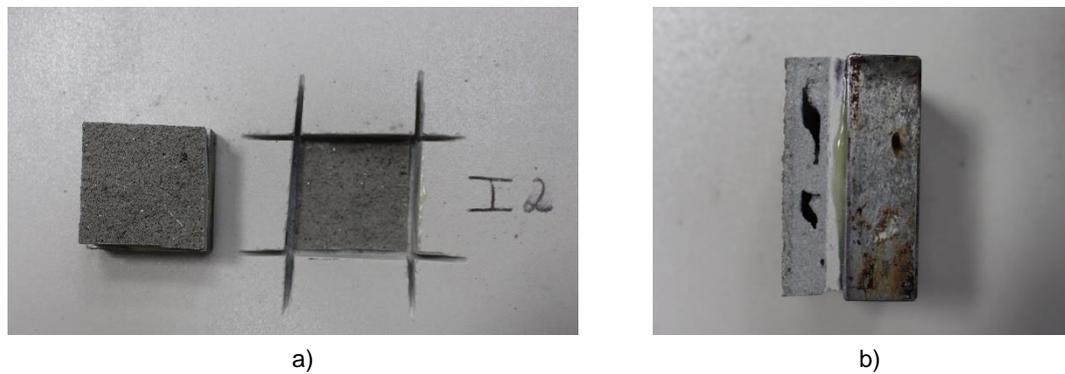


Figura 55 – Ensaio de aderência Ia2: a) Vista de frente; b) Vista em perfil

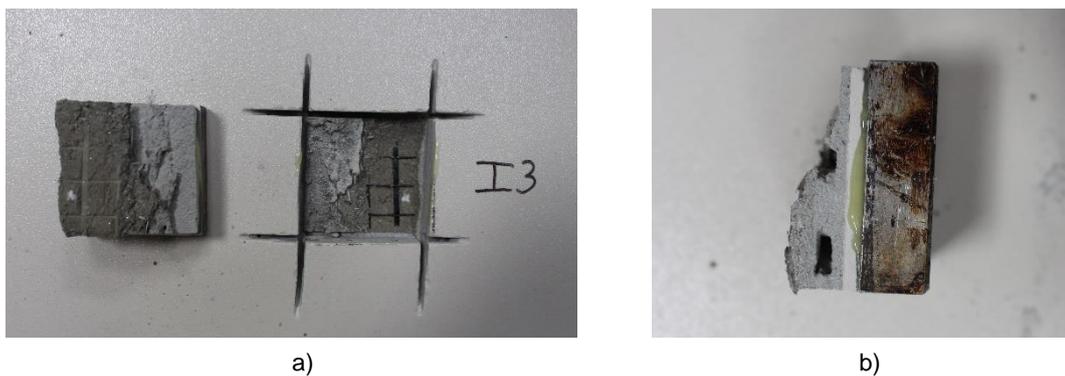


Figura 56 – Ensaio de aderência Ia3: a) Vista de frente; b) Vista em perfil

No Quadro 28 encontra-se os resultados obtidos em cada um dos ensaios realizados com pré-corte entre os ladrilhos e a camada de base, sem atingir a rede de fibra de vidro. A tensão de aderência é obtida segundo a expressão (2), considerando-se a área do ensaio equivalente à pastilha metálica, ou seja, 2500 mm². Também se classifica o tipo de rotura (coesiva ou adesiva) e o local onde este ocorre.

Quadro 28 – Resultados dos ensaios de aderência com pré-corte entre os ladrilhos e a camada de base, sem atingir a rede de fibra de vidro

Provete	Ensaio	Tensão de aderência (N/mm ²)	Tipo de rotura	Local de rotura	Observações
	Aa ₇	0,412	Coesiva	100% camada de base	-
Face A	Aa ₈	-	-	-	Rotura ocorre na cola das pastilhas
	Aa ₉	0,396	Coesiva	100% camada de base	-
Face B	Ba ₇	0,852	Coesiva	100% camada de base	Zona de rotura com muitas fibras constituintes da camada de base
	Ba ₈	0,744	Coesiva	100% camada de base	
	Ba ₉	0,544	Coesiva	75% camada de base 25% adesivo	
Painel I	Ia ₁	0,436	Coesiva	100% camada de base	Rotura com algum EPS acumulado
	Ia ₂	0,468	Coesiva	100% camada de base	-
	Ia ₃	0,320	Coesiva	60% camada de base 40% adesivo	-

A execução das incisões entre os ladrilhos e a camada de base, atingindo a rede de fibra de vidro (conforme o esquema da Figura 57), foi efetuada na Face A (Figura 58 à Figura 60) e na Face B (Figura 61 à Figura 63). Em cada um dos ensaios efetuados, é exibido a vista de frente das duas superfícies, assim como a vista em perfil transversal da superfície retirada do provete, tal como efetuado no caso anterior.

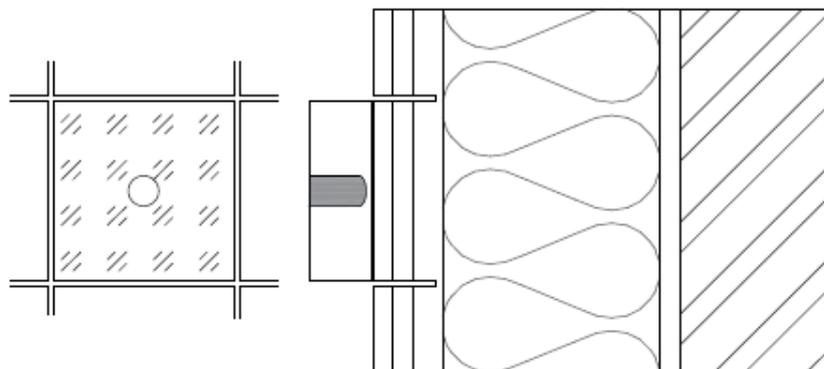


Figura 57 – Esquema do pré-corte entre os ladrilhos e a camada de base, atingindo a rede de fibra de vidro

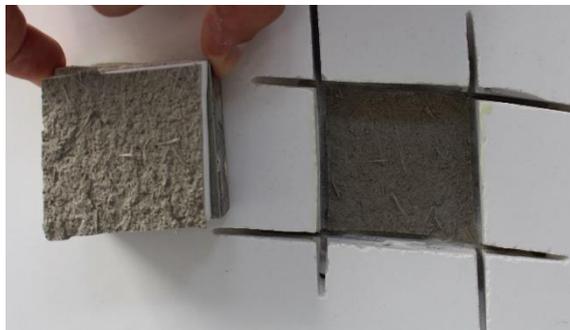


a)

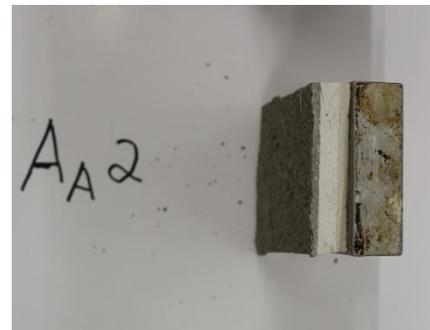


b)

Figura 58 – Ensaio de aderência Aa1: a) Vista de frente; b) Vista em perfil



a)

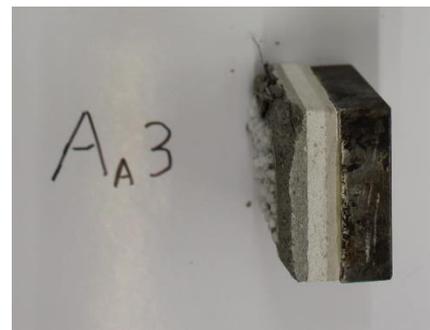


b)

Figura 59 – Ensaio de aderência Aa2: a) Vista de frente; b) Vista em perfil



a)



b)

Figura 60 – Ensaio de aderência Aa3: a) Vista de frente; b) Vista em perfil

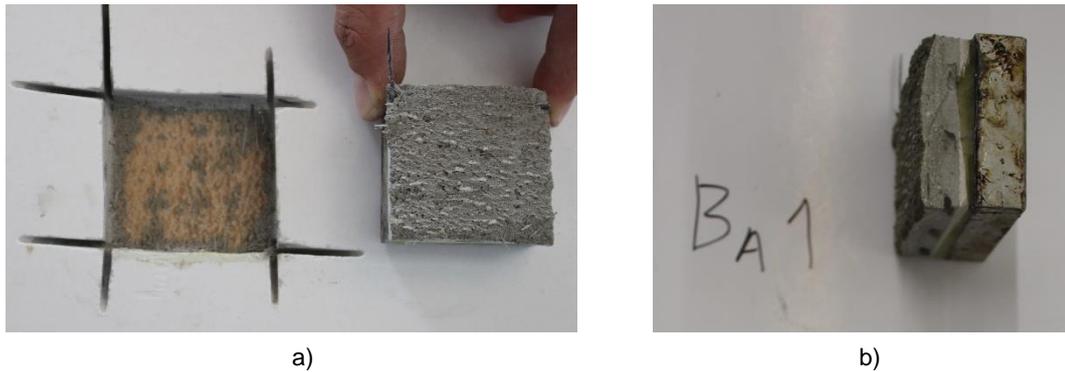


Figura 61 – Ensaio de aderência Ba₁: a) Vista de frente; b) Vista em perfil

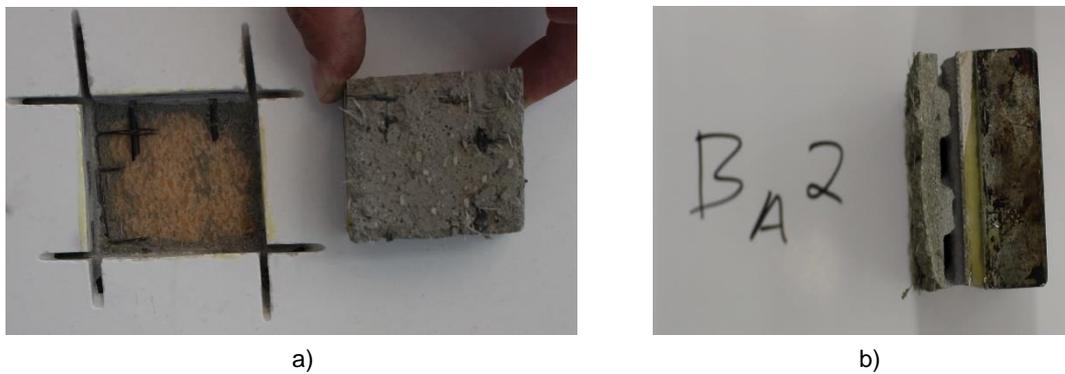


Figura 62 – Ensaio de aderência Ba₂: a) Vista de frente; b) Vista em perfil

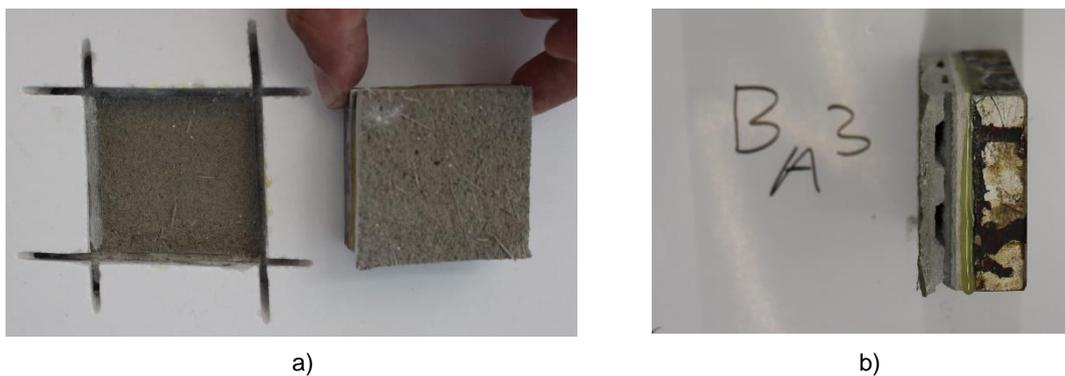


Figura 63 – Ensaio de aderência Ba₃: a) Vista de frente; b) Vista em perfil

No Quadro 29 encontra-se os resultados obtidos em cada um dos ensaios realizados com pré-corte entre os ladrilhos e a camada de base, atingindo a rede de fibra de vidro, tal como realizado no caso anterior.

Quadro 29 – Resultados dos ensaios de aderência com pré-corte entre os ladrilhos e a camada de base, atingindo a rede de fibra de vidro

Provete	Ensaio	Tensão de aderência (N/mm ²)	Tipo de rotura	Local de rotura	Observações
Face A	Aa ₁	0,252	Coesiva	70% EPS 30% camada de base	Zona de rotura com fixação mecânica; rotura atingindo a rede de fibra de vidro
	Aa ₂	0,380	Coesiva	100% camada de base	Rotura sem atingir a rede de fibra de vidro
	Aa ₃	0,372	Coesiva	60% EPS 40% camada de base	Rotura atingindo a rede de fibra de vidro
Face B	Ba ₁	0,312	Adesiva	Interface do XPS com camada de base	Rotura atingindo a rede de fibra de vidro; dificuldade em retirar amostra uma vez que a rede de fibra de vidro não rompeu
	Ba ₂	0,320	Adesiva	Interface do XPS com camada de base	
	Ba ₃	0,392	Coesiva	100% camada de base	Rotura sem atingir a rede de fibra de vidro

A execução das incisões entre os ladrilhos e o isolante (conforme o esquema da Figura 64), foi efetuada na Face A (Figura 65 à Figura 67) e na Face B (Figura 68 à Figura 70). Em cada um dos ensaios efetuados, é exibido a vista de frente das duas superfícies, assim como a vista em perfil transversal da superfície retirada do provete, tal como efetuado nos casos anteriores.

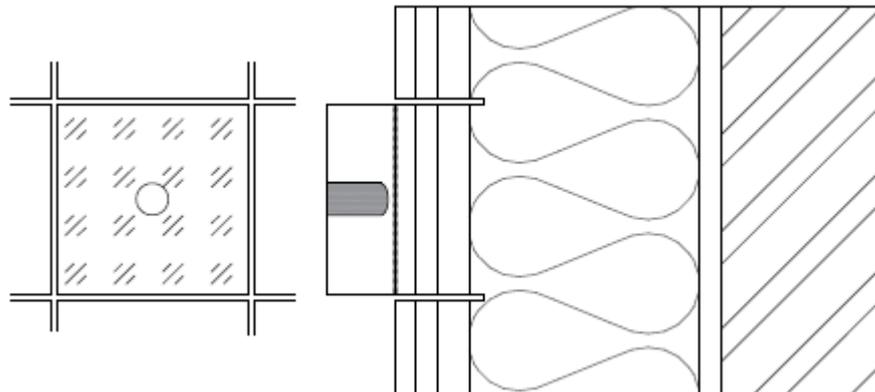


Figura 64 – Esquema do pré-corte entre os ladrilhos e o isolante

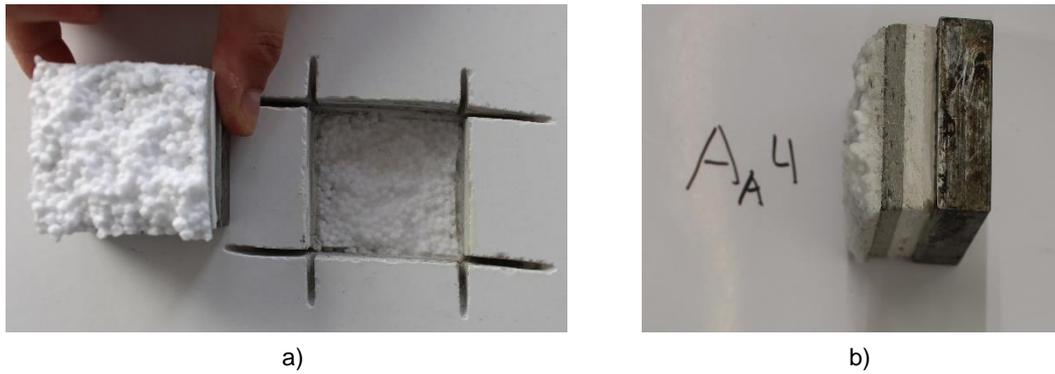


Figura 65 – Ensaio de aderência Aa4: a) Vista de frente; b) Vista em perfil

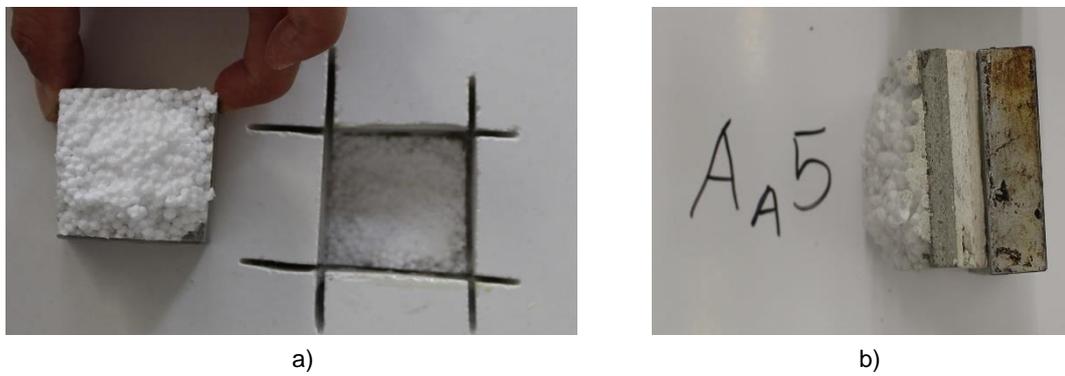


Figura 66 – Ensaio de aderência Aa5: a) Vista de frente; b) Vista em perfil

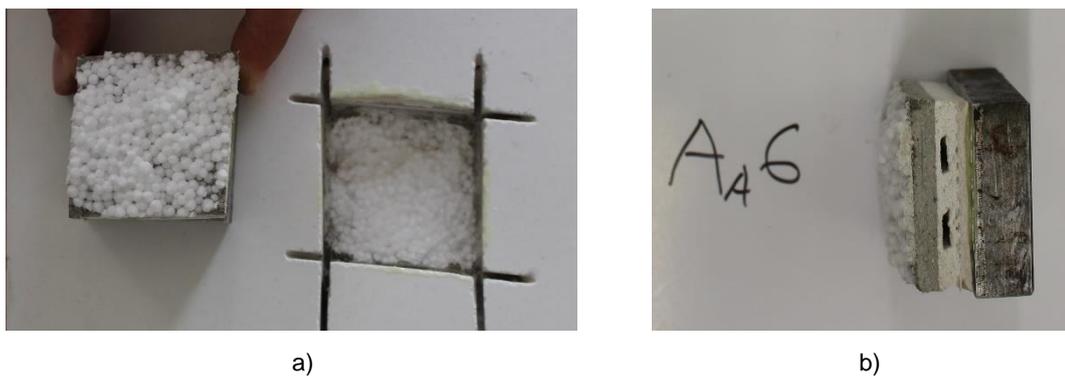


Figura 67 – Ensaio de aderência Aa6: a) Vista de frente; b) Vista em perfil

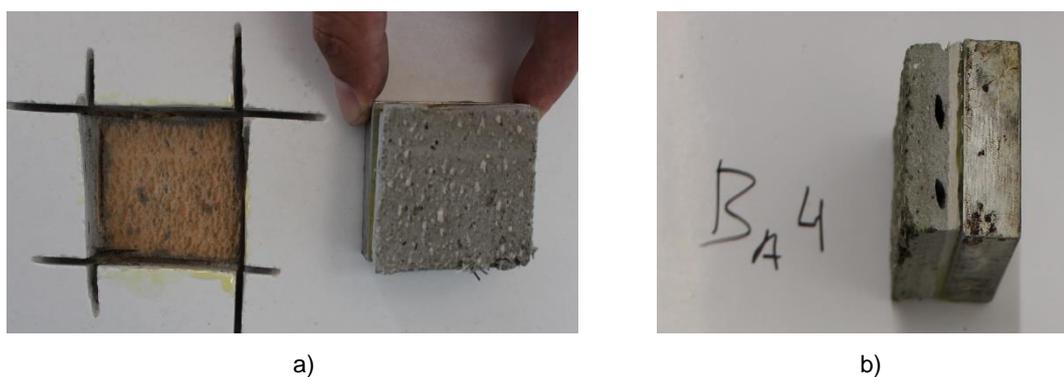


Figura 68 – Ensaio de aderência Ba₄: a) Vista de frente; b) Vista em perfil



Figura 69 – Ensaio de aderência Ba₅: a) Vista de frente; b) Vista em perfil



Figura 70 – Ensaio de aderência Ba₆: a) Vista de frente; b) Vista em perfil

No Quadro 30 encontra-se os resultados obtidos em cada um dos ensaios realizados com pré-corte entre os ladrilhos e o isolante, tal como realizado nos casos anteriores.

Quadro 30 – Resultados dos ensaios de aderência com pré-corte entre os ladrilhos e o isolante

Provete	Ensaio	Tensão de aderência (N/mm ²)	Tipo de rotura	Local de rotura	Observações
Face A	Aa ₄	0,172	Coesiva	100% EPS	Sem observações a registar
	Aa ₅	0,220	Coesiva	100% EPS	
	Aa ₆	0,232	Coesiva	100% EPS	
Face B	Ba ₄	0,304	Adesiva	Interface do XPS com camada de base	
	Ba ₅	0,348	Adesiva	Interface do XPS com camada de base	
	Ba ₆	0,276	Adesiva	Interface do XPS com camada de base	

Assim, no Quadro 31 apresenta-se os valores de aderência obtidos nem todos os ensaios, com a respetiva média e desvio padrão calculado.

Quadro 31 – Valores de tensão de aderência e desvio padrão dos ensaios realizados

Pré-corte	Camada de base sem atingir a rede de fibra de vidro			Camada de base atingindo a rede de fibra de vidro		Isolante	
	Provete	Face A	Face B	Painel I	Face A	Face B	Face A
Valores de tensão de aderência (N/mm ²)	0,412	0,852	0,436	0,252	0,312	0,172	0,304
	-	0,744	0,468	0,380	0,320	0,220	0,348
	0,396	0,544	0,320	0,372	0,392	0,232	0,276
Tensão média (N/mm ²)	0,404*	0,713	0,408	0,335	0,341	0,208	0,309
Desvio padrão (N/mm ²)	0,011*	0,156	0,078	0,072	0,044	0,032	0,036

* Valores calculados com base apenas no 1º e 3º ensaio

O desvio padrão, calculado a partir da expressão (3) é relevante de forma a avaliar o grau de dispersão dos resultados em relação à tensão de aderência média. Com base nos valores obtidos, na Figura 71 exibe-se para cada tipo de pré-corte efetuado, a tensão de aderência média e o respetivo desvio padrão.

$$dp = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}} \quad (3)$$

Onde:

dp – Desvio padrão;

x – Valor da tensão de aderência de cada ensaio;

\bar{x} – Valor da tensão de aderência médio;

n – Número de ensaios realizados.

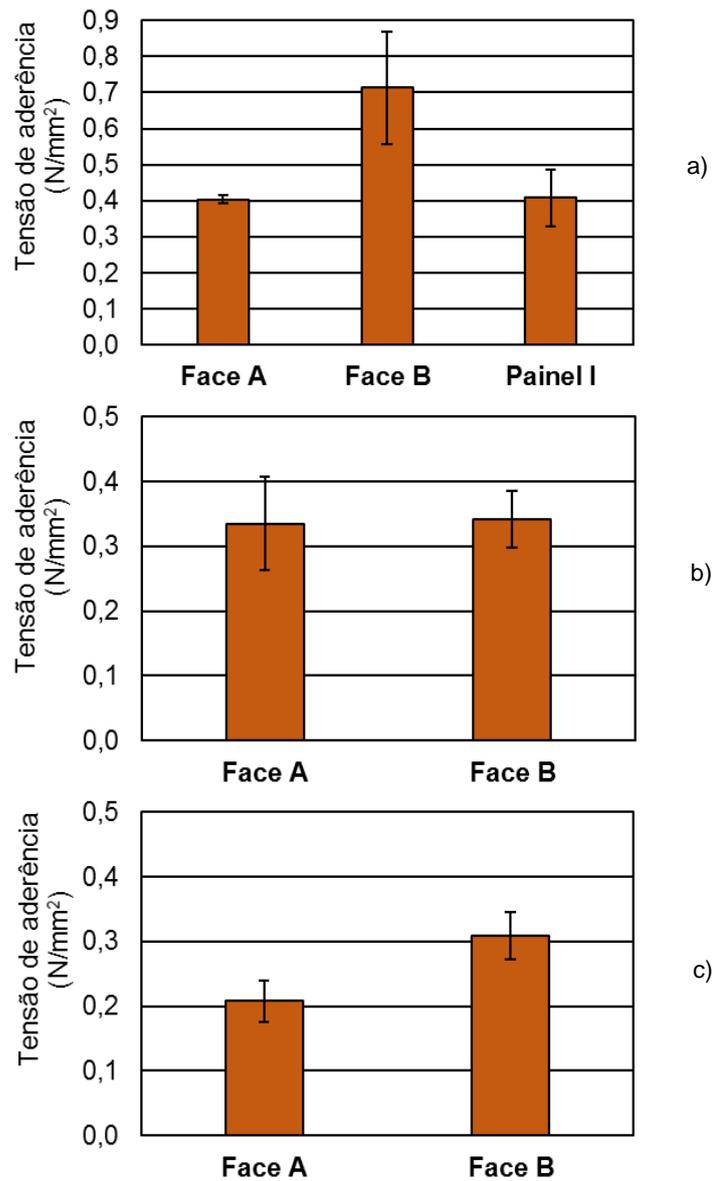


Figura 71 – Tensão média de aderência e respetivo desvio padrão: a) pré-corte até à camada de base, sem atingir a rede de fibra de vidro; b) pré corte até à camada de base, atingindo a rede de fibra de vidro; c) pré corte até ao isolante

Os critérios de apreciação para a análise da tensão de aderência neste tipo de sistemas variam consoante a interface em análise. Considera-se que a aderência entre a camada de base e o isolante não deverá ser inferior a $0,08 \text{ N/mm}^2$, quando a rotura é adesiva, tal como especificado na ETAG 004 [1]. Relativamente à tensão de aderência mínima para rebocos cimentícios ou monomassas, a NF P 15-201-1-1 [16] especifica $0,3 \text{ N/mm}^2$.

4.4.4.2. Análise e Discussão dos Resultados

A realização do ensaio de aderência permitiu retirar algumas conclusões. A realização de pré-cortes com diferentes profundidades possibilitou analisar as zonas mais críticas do sistema, cuja caracterização é mais sensível devido à compatibilização com os diferentes materiais. Desta forma, considerou-se relevante analisar a camada de base, uma vez que se situa entre o cimento-cola dos ladrilhos e o isolante. O estudo da mesma é também sustentado pelo facto de englobar a rede de fibra de vidro, que influencia a tensão de aderência final.

Relativamente aos ensaios que envolveram um pré-corte entre os ladrilhos e a camada de base, sem atingir a rede de fibra de vidro, estes apresentaram, na sua generalidade valores mais elevados de tensão de aderência.

No caso da Face A, tanto o ensaio Aa₇ como o ensaio Aa₉ demonstraram uma rotura 100% coesiva na camada de base, sem atingir a rede de fibra de vidro, originando uma tensão de aderência na ordem dos $0,4 \text{ N/mm}^2$. O ensaio Aa₈ não foi contabilizado para o caso, uma vez que a rotura ocorreu na cola à base de resinas *epoxy*.

A Face B apresentou valores superiores de aderência, sobretudo nos ensaios Ba₇ e Ba₈. Nestes casos, a rotura foi 100% coesiva na camada de base, sem atingir a rede de fibra de vidro, e a tensão de aderência foi de $0,852 \text{ N/mm}^2$ para o Ba₇ e $0,744 \text{ N/mm}^2$ para o Ba₈. O valor da tensão de aderência foi elevado devido ao facto de, nesta zona da camada, se observarem uma maior quantidade de fibras de vidro constituintes do produto. O ensaio Ba₉ exibiu um número elevado de fibras, no entanto, apresentou uma rotura 75% coesiva na camada de base (sem atingir a rede de fibra de vidro) e 25% coesiva no cimento-cola, originando uma tensão de aderência inferior aos restantes ensaios ($0,544 \text{ N/mm}^2$). A rotura parcial no adesivo pode ser justificada pela forma como foi aplicado, ou seja, com espátula dentada nº 10, que originou espaços vazios nesta camada.

No Painel I observa-se resultados de tensão semelhantes à Face A. O ensaio Ia₁ registou um valor de tensão de rotura de $0,436 \text{ N/mm}^2$, 100% coesiva na camada de base, mas envolvendo pequenas quantidades de EPS, uma vez que acumulou na pastilha uma espessura elevada da camada de base, mas sem a rede de fibra de vidro. O ensaio Ia₂ apresentou uma rotura 100% coesiva, no interior da camada de base, não envolvendo a rede de fibra de vidro, e com uma tensão ligeiramente mais elevada ($0,459 \text{ N/mm}^2$) em relação à anterior. O resultado após o ensaio Ia₃ demonstrou uma rotura parcial no adesivo (40%) e o restante na camada de base, com uma tensão de $0,320 \text{ N/mm}^2$. Este valor deve-se ao motivo observado no ensaio Ba₉, ou seja, presença de espaços vazios no cimento-cola.

De um ponto de vista global, e pela análise do gráfico da Figura 71.a, é possível observar que os valores obtidos na Face B são consideravelmente superiores aos restantes. Esse resultado é fundamentado pela presença de um número superior de fibras de vidro, nessa face. Também apresenta um desvio padrão relativamente elevado, na ordem dos $0,15 \text{ N/mm}^2$, justificado pelos valores distantes de cada ensaio. Os resultados obtidos na Face A e no Painel I demonstram valores idênticos de aderência, no entanto o desvio padrão no primeiro caso é reduzido pelo facto de incluir somente dois valores enquanto que no segundo este é superior, mas não ultrapassando os $0,08 \text{ N/mm}^2$. Assim, e calculando a tensão média total, obteve-se uma tensão de $0,508 \text{ N/mm}^2$.

Por fim, pode-se assumir que uma elevada presença de fibras e resinas sintéticas originam um aumento da tensão de aderência. No entanto, como existem zonas com diferentes quantidades de fibras, a tensão de aderência é diferente em cada zona, verificando-se tensões diferentes em elementos semelhantes. Também, pelo facto de, por vezes, se verificar a rotura parcial do cimento-cola (devido à sua aplicação), observam-se valores mais reduzidos de tensão motivando valores superiores de desvio padrão na amostra total.

Relativamente aos ensaios que envolveram um pré-corte entre os ladrilhos e a camada de base, atingindo a rede de fibra de vidro, estes apresentaram, na sua generalidade, valores inferiores de tensão de aderência, em relação aos casos anteriores.

Na Face A, no ensaio Aa₁, registou-se o menor valor de tensão de aderência (0,252 N/mm²), sendo 70% coesiva no EPS e 30% na camada de base, atingindo a rede de fibra de vidro. O valor calculado pode ter sido influenciado pelo facto de atingir, num canto, parte da fixação mecânica. O ensaio Aa₂ exibiu uma tensão superior, de 0,380 N/mm² com rotura 100% coesiva na camada de base, não envolvendo a rede de fibra de vidro. Apesar da incisão ter sido realizada com a rede incluída, esta permaneceu no provete, uma vez que a rotura da camada de base envolveu uma menor espessura da mesma. No ensaio Aa₃ verificou-se um comportamento semelhante ao ensaio Aa₁, apresentando, porém, um valor superior de tensão (0,372 N/mm²), provavelmente justificado pela não existência de um canto com fixação mecânica, neste ensaio.

Na Face B, quer no ensaio Ba₁, quer no ensaio Ba₂, observa-se uma rotura adesiva na interface do XPS com a camada de base, com uma tensão de aderência na ordem dos 0,315 N/mm². Contudo, verificou-se uma dificuldade em retirar as pastilhas com as camadas, uma vez que a rede não rompeu na totalidade e impedia a separação das duas superfícies. No ensaio Ba₃ observou-se uma tensão de rotura ligeiramente superior aos restantes ensaios realizados nesta face, aproximando-se dos 0,4 N/mm², uma vez que a rotura foi 100% coesiva na camada de base.

Assim, de acordo com o que foi referido e com o gráfico da Figura 71.b, destaca-se o facto da tensão média de aderência, em ambas as faces, ser semelhante e na ordem dos 0,338 N/mm². Contudo, o desvio padrão registado na Face A é ligeiramente superior, visto que o ensaio Aa₁ é influenciado pela presença de uma fixação mecânica num canto. Por fim, constata-se que a rotura no XPS tende a ser adesiva, enquanto que no EPS é coesiva. Tal facto é fundamentado pela baixa resistência à tração do EPS em relação ao XPS, motivando a rotura do EPS na maioria dos casos.

Relativamente aos ensaios que envolveram um pré-corte entre os ladrilhos e o isolante, estes apresentaram valores inferiores aos anteriores, sobretudo pelo facto de englobarem as placas de isolamento, que apresentam uma resistência baixa à tração.

Na Face A, todos os ensaios obtiveram uma rotura 100% coesiva no EPS. Verificou-se que o ensaio Aa₄ apresentou uma tensão de aderência inferior aos restantes casos (0,172 N/mm²), o que pode ser explicado pelo local onde ocorre a rotura. Pela análise dos restantes casos, que apresentam valores de tensão de 0,220 N/mm² para o Aa₅ e 0,232 N/mm² para o Aa₆, constata-se que quando a rotura ocorre no meio do EPS, a tensão é menor do que quando ocorre mais próximo da extremidade deste com a camada de base.

Na Face B, todos os ensaios obtiveram uma rotura adesiva na interface do XPS com a camada de base. Os valores de aderência foram relativamente diferentes em cada um dos ensaios (Ba₄ com 0,304 N/mm², Ba₅ com 0,348 N/mm² e Ba₆ com 0,276 N/mm²). A diferença observada pode estar relacionada com a distribuição das fibras de vidro do material e com a coesão estabelecida com o XPS.

De uma forma geral, e com a análise do gráfico da Figura 71.c, comprova-se que o desempenho do XPS, a nível da aderência, é superior ao EPS, sendo que o valor médio da tensão do XPS é de 0,309 N/mm²

e do EPS é de 0,208 N/mm². Assim, observa-se uma diferença de cerca de 0,10 N/mm² entre os dois isolantes, sendo que o valor do desvio padrão de cada um é semelhante.

A adequabilidade das tensões encontradas deverá ser avaliada em trabalhos futuros que permitam definir limites para as tensões de rotura em diferentes camadas/interfaces do sistema.

4.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO

O capítulo 4 abrangeu uma análise experimental do sistema em estudo. A análise em questão envolveu duas etapas distintas, nomeadamente a construção de provetes com o sistema aplicado e a realização de ensaios nos provetes. Para tal, definiu-se uma metodologia experimental com o encadeamento das atividades, no sentido de programar e respeitar cada fase do trabalho.

A construção dos provetes envolveu as seguintes fases:

- A construção de um suporte com blocos térmicos, permitindo aplicar o sistema em cada uma das faces do mesmo;
- A colagem das placas do isolante (com EPS na Face A e XPS na Face B);
- A aplicação da camada de base, envolvendo uma primeira demão da argamassa com aplicação de uma rede de fibra de vidro e fixações mecânicas, e uma segunda demão com uma argamassa com a mesma constituição da primeira. Esta foi aplicada nas duas faces do provete principal (Face A e Face B) e num painel de EPS (Painel I);
- A colagem dos ladrilhos cerâmicos (com cimento-cola de presa rápida na Face A e cimento-cola normal na Face B e no Painel I);
- A selagem das juntas (com silicone na Face A) e o preenchimento das juntas (com argamassa cimentícia na Face B).

Os ensaios foram alvo de uma descrição sucinta, e realizados de forma intercalada nos provetes. Para tal, elaborou-se um plano de ensaio com as zonas destinadas à realização de cada um dos ensaios.

O ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão com Tubos de *Karsten* foi relevante na definição do volume de água absorvido por minuto (ml/min). Avaliou-se a permeabilidade à água da camada de base do Painel I, que apresentou valores inferiores aos estabelecidos na ficha dos Tubos de *Karsten* [70]. As juntas da Face A e da Face B foram submetidas ao ensaio e registaram um valor nulo de absorção, nos 60 minutos.

O ensaio de resistência ao choque de 3 J, útil para a avaliação da resistência aos impactos, foi realizado na Face A e na Face B, na camada de base. Os resultados demonstraram que este se inseria na categoria III, segundo a ETAG 004 [1], apresentando uma pequena mozza mas sem ocorrência de fissuração.

O ensaio de aderência permitiu testar a aderência de camada de base e do isolante através do arrancamento por tração de elementos dos provetes. Este ensaio englobou três análises, com incisões entre os ladrilhos e a camada de base, sem atingir a rede de fibra de vidro, entre os ladrilhos e a camada de base, atingindo a rede de fibra de vidro e entre os ladrilhos e o isolante. A primeira análise foi realizada em todos os provetes (Face A, Face B e Painel I), sendo que as restantes duas apenas foram realizadas no provete principal (Face A e Face B). Os resultados obtidos demonstraram tensões de aderência mais elevadas quando o pré-corte não envolvia a rede de fibra de vidro (entre 0,40 e 0,71 N/mm²), sendo que na Face B os valores são consideravelmente superiores aos registados nos restantes provetes. Nos casos em que o pré-corte envolvia a rede de fibra de vidro constatou-se que os valores eram inferiores, na ordem dos 0,34 N/mm² e nos casos em que o pré-corte atingia o isolante, verificou-se que o XPS apresentou tensões superiores ao EPS, com cerca de 0,10 N/mm² de diferença.

5

CONCLUSÕES

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização do trabalho, relacionado com um ETICS que envolva a colagem de cerâmicos como revestimento final, permitiu, através do estudo das componentes, da construção de provetes e execução de uma campanha experimental, retirar as seguintes conclusões principais:

- A aplicação de um sistema que envolva várias etapas e materiais muito distintos requer um conhecimento abrangente de todos os aspetos. A leitura do catálogo e das fichas técnicas deve ser realizado de forma acompanhada ao longo da execução do sistema, evitando a ocorrência de erros que afetem o desempenho do sistema e sobretudo ponham em causa a segurança dos utilizadores;
- A colagem de cerâmicos neste tipo de sistema requer uma camada de base mais resistente do que nos ETICS tradicionais. A sua composição com fibras e resinas sintéticas permite adquirir uma tensão de aderência elevada entre as diversas camadas (cimento-cola e isolante), distribuindo as tensões e garantindo a continuidade do sistema;
- A permeabilidade à água e a resistência ao choque da camada de base demonstram um desempenho positivo na avaliação destes parâmetros;
- A incorporação de uma rede de fibra de vidro origina um incremento da resistência da mecânica do sistema, que para além de resistir à fendilhação, permite aumentar o valor da tensão de aderência;
- O tipo de isolamento térmico, para além da condutibilidade térmica reduzida, necessita também de contribuir para a compatibilização de todos os componentes, inclusive na aderência do sistema. O desempenho do XPS garante um valor mais elevado de tensão de aderência com a camada de base, devido ao facto de apresentar uma tensão de corte e resistência à tração elevada, em relação ao EPS;
- A colagem dos cerâmicos com recurso a uma espátula dentada nº 10 pode originar espaços vazios entre os ladrilhos e a camada de base, reduzindo o valor da tensão de aderência em determinadas zonas dessa interface. Assim, e para além dos cuidados de aplicação demonstrados (aplicação nos ladrilhos e na camada de base em direções perpendiculares) deve-se assegurar um melhor preenchimento dessa camada, evitando assim uma afetação dos valores da tensão de aderência;

- As juntas entre os ladrilhos contribuem para a estanquidade do sistema, uma vez que impedem a absorção de água no seu interior. Estas devem ser executadas de forma ponderada, visto que a incorreta betumação das mesmas pode originar patologias no sistema;
- A permeabilidade ao vapor de água do sistema não foi analisada neste trabalho. Trabalhos futuros deverão avaliar as consequências para o desempenho do sistema, decorrentes do aumento da resistência ao vapor provocado pela presença de cerâmicos.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A elaboração desta dissertação permitiu refletir sobre a necessidade de estudar e caracterizar aspetos relacionados com a compatibilização de revestimentos cerâmicos com os ETICS. Para tal, devem ser considerados os seguintes trabalhos futuros mais relevantes:

- Uma avaliação experimental de parâmetros não estudados nesta dissertação permite caracterizar propriedades relevantes do sistema. A reação ao fogo, a permeabilidade ao vapor de água, as variações dimensionais dos cerâmicos com as juntas, são alguns exemplos das características que podem ser estudadas para este sistema;
- A realização de ensaios referidos na ETAG 004 [1], como de comportamento ao gelo-degelo, de choque de 10 J e de perfuração, de aderência após envelhecimento natural e artificial constituem uma análise pertinente para a caracterização das componentes do sistema;
- A divulgação das características técnicas, num sistema deste tipo, deve ser considerada, visto que transmite algumas garantias do seu desempenho;
- A elaboração de uma ETAG que englobe ETICS com revestimentos cerâmicos permite fundamentar as exigências funcionais que este tipo de sistemas deve obedecer;
- A criação de uma base de dados, que englobe ETICS com colagem de revestimentos cerâmicos, pode ser relevante na medida em que possibilita a comparação das soluções apresentadas e, eventualmente, das características que originam um melhor desempenho global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Rendering*, ETAG 004, 2013.
- [2] V. P. Freitas, A. V. S. Sousa e J. A. R. M. Silva, *Manual de Aplicação de Revestimentos Cerâmicos*. Coimbra: APICER, 2003.
- [3] S. Malanho e M. R. Veiga, "Performance of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Finishing Ceramic Tiles", *XII DBMC*, vol. IV, pp. 1959-1966, 2011.
- [4] S. Malanho, "Avaliação do desempenho de ETICS com acabamento de ladrilhos cerâmicos," M. S. thesis, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.
- [5] L. J. A. Carvalho e A. M. M. Mendes, *Revestimentos cerâmicos colados descolamento*. Lisboa: LNEC, 2005.
- [6] *Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Definições, classificação, características e marcação*, NP EN 14411, 2008.
- [7] L. J. A. Carvalho, *Revestimentos cerâmicos para paredes ou pavimentos. Proposta de intervenção do LNEC para melhoria da qualidade em obra*. Lisboa LNEC, 1999.
- [8] *Ceramic tiles - Part 4: Determination of modulus of rupture and breaking strength*, ISO 10545-4, 2004.
- [9] *Colas para ladrilhos: requisitos, avaliação da conformidade, classificação e designação* NP EN 12004, 2014.
- [10] L. J. A. Carvalho, *Exigências funcionais de revestimentos de paredes*. Lisboa: LNEC, 1990.
- [11] L. J. A. Carvalho, *Classificação e Descrição Geral de Revestimentos para Paredes* vol. 24. Lisboa: LNEC, 1990.
- [12] *Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation*, CSTB 2669-4, 1993.
- [13] *Especificações de argamassas para alvenarias. Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores*, NP EN 998-1, 2010.
- [14] J. Mascarenhas, *Sistemas de Construção II-Paredes: Paredes Exteriores (1ª Parte)*. Lisboa: Livros Horizonte, 2004.
- [15] M. R. Veiga, "Comportamento de argamassas de revestimento de paredes: Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação," PhD thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, LNEC, 1998.
- [16] *Travaux d'enduits de mortiers - Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques*, NF P 15-201-1-1, 2008.
- [17] *Travaux d'enduits de mortiers - Partie 1-2 : Critères généraux de choix des matériaux*, NF P 15-201-1-2, 2008.
- [18] A. V. S. Sousa e J. A. R. M. Silva, *Manual de Alvenaria de Tijolo*. Coimbra: APICER, 2000.
- [19] S. Malanho e M. R. Veiga, "Regras para a concessão de uma Aprovação Técnica Europeia (ETA) de sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS)", *LNEC*, pp. 1-40, 2010.
- [20] APFAC, "Manual de Aplicação de ETICS," ed. Coimbra, 2015.

- [21] V. P. Freitas, "Isolamento térmico de fachadas pelo exterior", *Materiais de Construção*, n° 13, vol. APCMC Porto, Portugal, 1987.
- [22] V. P. Freitas, "Isolamento térmico de fachadas pelo exterior. Reboco delgado armado sobre poliestireno expandido - ETICS", *Relatório HT 191A/02. Porto, Portugal*, 2002.
- [23] LNEC. *Marcação CE de Produtos de Construção* [Online]. Disponível em: <http://www.lnec.pt/pt/servicos/marcacao-ce-de-produtos-de-construcao/o-rpc-em-sintese/>. Acedido em Março de 2017.
- [24] Instituto Português de Qualidade. *Normalização* [Online]. Disponível em: <http://www1.ipq.pt/PT/Pages/Homepage.aspx>. Acedido em: Março de 2017.
- [25] M. J. C. R. Gonçalves, "Comportamento ao fogo de elementos estruturais de betão: análise numérica e metodologia," não publicado.
- [26] *Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios*, Decreto-Lei n° 224, 2015.
- [27] *Classificação do desempenho face ao fogo de produtos e de elementos de construção. Parte 1: Classificação utilizando resultados de ensaios de reacção ao fogo*, NP EN 13501-1, 2007.
- [28] *Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios*, Portaria n° 1532, 2008.
- [29] E. Barreira e V. P. Freitas, "External Thermal Insulation Composite Systems: Critical Parameters for Surface Hygrothermal Behaviour", *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2014, p. 16, 2014.
- [30] S. Malanho e M. R. Veiga, "Regras para a concessão de um Documento de Homologação (DH) a sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) com acabamento de ladrilhos cerâmicos", *LNEC*, pp. 1-39, 2013.
- [31] C. B. Moura, "Aplicação de isolamento térmico pelo exterior tipo ETICS associado a revestimento cerâmico," M. S. thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.
- [32] L. Silva, V. Pereira, P. Sequeira e A. Sousa, *Avaliação da compatibilidade de fixação de elementos cerâmicos com o sistema ETICS*. Lisboa, 2010.
- [33] L. Silva, V. Pereira, P. Sequeira e N. Vieira, *Fixação de elementos cerâmicos no sistema ETICS. Pormenores que fazem a diferença*. Coimbra, 2012.
- [34] Franzoni E., Pigino B., Graziani G., Lucchese C. e Fregni A., "A new prefabricated external thermal insulation composite board with ceramic finishing for buildings retrofitting", *Materials and Structures*, vol. 49, no. 4, pp. 1527-1542, 2016.
- [35] L. J. A. Carvalho, *Anomalias em revestimentos cerâmicos colados*. Lisboa: LNEC, 2001.
- [36] S. Malanho e M. R. Veiga, "Análise do desempenho das juntas entre ladrilhos cerâmicos aplicados sobre ETICS", *IX SBTA–Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Minas Gerais, Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais*, vol. 17, 2011.
- [37] *Thermal insulating products for building applications. Determination of water vapour transmission properties*, EN 12086, 2013.
- [38] S. Malanho, M. R. Veiga e A. L. Velosa, "Adaptação do ensaio de aderência para análise de ETICS com acabamento cerâmico", *Apresentação oral em: APFAC*, 2012.
- [39] MAPEI S.A., "Catálogo *Mapetherm® Tile System*", 2013.

- [40] MAPEI S.A., "Catálogo *Mapetherm® System*", 2012.
- [41] A. Collina, *Application of Tiles on ETICS*. Lisboa: MAPEI S.A., 2015.
- [42] MAPEI S.A., "Ficha Técnica *Mapetherm ARI*", 2016.
- [43] MAPEI S.A., "Ficha Técnica *Mapetherm ARI GG*", 2016.
- [44] MAPEI S.A., "Ficha Técnica *Planitop HDM Maxi*", 2014.
- [45] *Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão: definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade Parte 3 reparação estrutural e não estrutural*, NP EN 1504-3, 2006.
- [46] *Especificações de argamassas para alvenarias. Parte 2: Argamassas de Assentamento*, NP EN 998-2, 2010.
- [47] MAPEI S.A., "Ficha Técnica *Mapegrid G 120*", 2016.
- [48] *Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Measurement of bond strength by pull-off*, EN 1542, 1999.
- [49] *Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Determination of resistance of capillary absorption*, EN 13057, 2002.
- [50] *Colas para ladrilhos: determinação da deformação transversa de cimentos-cola e de argamassas de juntas*, NP EN 12002, 2007.
- [51] MAPEI S.A., "Ficha Técnica *Elastorapid*", 2008.
- [52] *Adhesives for tiles. Determination of open time*, EN 1346, 2007.
- [53] *Adhesives for tiles - determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives*, EN 1348, 2007.
- [54] MAPEI S.A., "Ficha Técnica *Kerbond T*", 2016.
- [55] MAPEI S.A., "Ficha Técnica *Isolastic*", 2015.
- [56] Gres Panaria S.A., "Ficha Técnica *Kerlite Cotto d'Este 3Plus*", 2010.
- [57] *Standard Test Method for Effects of Heat Aging on Weight Loss, Cracking, and Chalking of Elastomeric Sealants After Cure*, ASTM C1246, 2017.
- [58] *Standard Test Methods for Determination of Water Absorption and Associated Properties by Vacuum Method for Pressed Ceramic Tiles and Glass Tiles and Boil Method for Extruded Ceramic Tiles and Non-tile Fired Ceramic Whiteware Products*, ASTM C 373, 2016.
- [59] *Standard Test Method for Measuring the Resistance of Ceramic and Glass Tile to Freeze-Thaw Cycling*, ASTM C 1026, 2013.
- [60] *Standard Test Method for Resistance of Ceramic Tile to Chemical Substances*, ASTM C 650, 2014.
- [61] MAPEI S.A., "Ficha Técnica *Ultracolor Plus*", 2006.
- [62] *Juntas para Cerâmicos*, NP EN 13888, 2002.
- [63] *Grouts for tiles. Determination of flexural and compressive strength*, EN 12808-3, 2008.
- [64] *Grouts for tiles. Determination of resistance to abrasion*, EN 12808-2, 2008.

- [65] *Grouts for tiles. Determination of shrinkage*, EN 12808-4, 2009.
- [66] *Grouts for tiles. Determination of water absorption*, EN 12808-5, 2008.
- [67] MAPEI S.A., "Ficha Técnica Mapesil AC", 2002.
- [68] *Testing of rubber - Determination of tensile strength at break, tensile stress at yield, elongation at break and stress values in a tensile test*, DIN 53504 53A, 2009.
- [69] *Determination of the water vapour transmission rate of plastic film, rubber sheeting, paper, board and other sheet materials by gravimetry*, DIN 53122 2001.
- [70] *Rapid test with the "water penetration tester"*, Dywidag-Systems International.
- [71] *Water absorption tube test*, Rillem II.4, 2006.
- [72] *Thermal insulation products for building applications determination of the resistance to impact of external thermal insulation composite systems (ETICS)*, EN 13497, 2002.
- [73] *Methods of test for mortar for masonry. Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates*, EN 1015-12, 2000.

