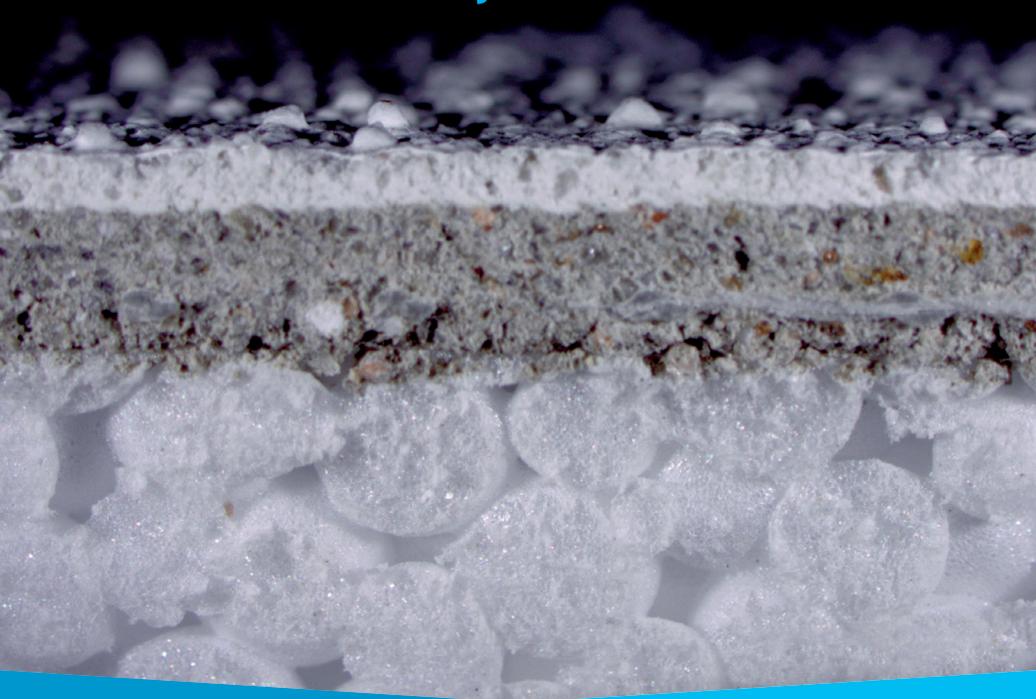


SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR (ETICS)

**Desempenho, Durabilidade
e Recomendações Técnicas**



Índice

1. INTRODUÇÃO	4
1.1. Generalidades	4
1.2. O projeto WGB_Shield	6
2. DESEMPENHO E DURABILIDADE	7
2.1. Anomalias e principais causas	7
2.2. Avaliação do desempenho de ETICS	13
2.2.1. Exigências e qualidade	13
2.2.2. Análise global do desempenho de ETICS	18
2.3. Avaliação da durabilidade de ETICS	24
3. PRODUTOS DE PROTEÇÃO E REPARAÇÃO EM ETICS	30
3.1. Produtos multifuncionais com propriedades hidrófugas, biocidas e fotocatalíticas	30
3.2. Produtos anti-graffiti	34
4. RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS	36
BIBLIOGRAFIA	40
AGRADECIMENTOS	43

Prefácio

Com a presente publicação, a equipa multidisciplinar do projeto **WGB_Shield**, composta por investigadores das unidades CERIS, CERENA e iBB do Instituto Superior Técnico (IST), do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e da Universidade NOVA de Lisboa (novo Pólo CERIS NOVA), pretende sintetizar e discutir os principais resultados daquele projeto, terminado em julho de 2022, em relação ao desempenho e durabilidade de sistemas **ETICS**, incluir alguma da experiência já adquirida pelas várias entidades envolvidas e concluir com algumas recomendações técnicas. Assim, esta publicação visa:

- contribuir para o desenvolvimento de sistemas mais eficientes, com componentes mais sustentáveis e que necessitem de menos ações de manutenção;
- reforçar as vantagens na seleção, aplicação e utilização destes sistemas em construção nova e na reabilitação térmica das fachadas;
- divulgar a importância da homologação/avaliação técnica destes sistemas, como garantia da sua qualidade;
- discutir critérios e recomendações para a seleção do tipo de sistemas e seus componentes (isolantes térmicos, acabamentos) a definir em projeto;
- reforçar a boa aplicação destes sistemas em obra.

O objetivo desta publicação será contribuir para uma melhoria significativa na conceção, aplicação, manutenção e durabilidade de sistemas **ETICS**, esperando que os resultados e as recomendações aqui apresentadas sejam relevantes e úteis para todos os profissionais ligados ao desenvolvimento, aplicação e utilização destes sistemas.

A coordenação

1. INTRODUÇÃO

1.1. GENERALIDADES

A União Europeia tem vindo a implementar uma rigorosa política ambiental e energética para cumprir o objetivo ratificado no Acordo de Paris e se tornar a primeira economia e sociedade com impacto neutro no clima até 2050 [1]. Uma vez que o setor da construção e manutenção dos edifícios é responsável por uma percentagem considerável do consumo global de energia, tem-se vindo a assistir a uma atualização e adaptação do setor, através da procura de sistemas, soluções e processos construtivos mais sustentáveis e que respondam às crescentes exigências de conforto higrotérmico dos edifícios.

Os sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento sobre isolante, do tipo ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*), frequentemente designados em obra por “capoto”¹, são uma solução cada vez mais frequente na construção e reabilitação de fachadas de edifícios em Portugal, não só por contribuírem fortemente para a eficiência energética dos edifícios, mas também pelas vantagens que apresentam face a outras soluções [2,3].

Estes sistemas são constituídos, em sequência, por: uma camada de isolante térmico, que é fixada à parede da fachada, a qual se deve encontrar desenhada (não necessariamente rebocada); uma camada de base e, por fim, uma camada de acabamento (figura 1). Geralmente, entre demãos da camada de base, insere-se uma rede de fibra de vidro, designada vulgarmente por “rede normal”. No entanto, em zonas mais expostas a choques, pode-se aumentar o reforço adicionando uma segunda rede de fibra de vidro mais espessa e resistente, designada por “rede reforçada”. A camada de base é normalmente constituída por uma argamassa de ligante misto (hidráulico, com uma resina) e um agregado fino, enquanto a camada de acabamento é frequentemente aplicada por pintura a rolo, podendo tratar-se de uma tinta aquosa ou de um revestimento plástico espesso.

Atualmente, no mercado português, existem várias composições deste tipo de sistemas, que diferem fundamentalmente no tipo de isolante térmico aplicado e nas soluções de camada de revestimento, que podem ser argamassas de várias composições ou outros elementos, tais como acabamentos por elementos descontínuos de pequenas dimensões, nomeadamente ladrilhos cerâmicos.

¹ Este termo deriva do italiano *cappotto*, que significa casaco.

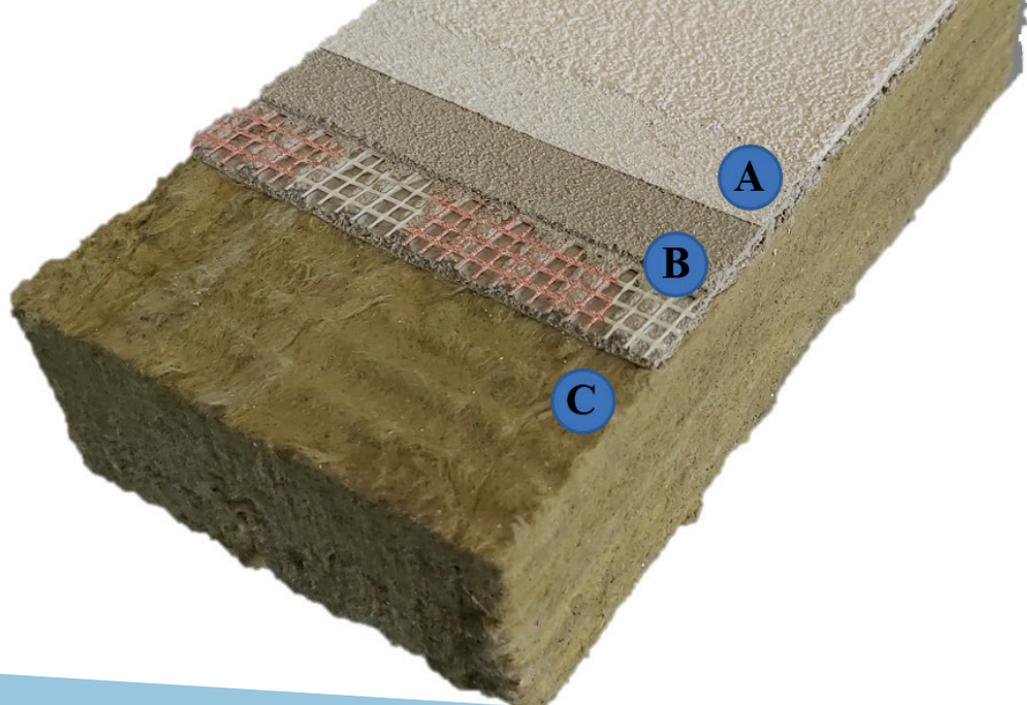


Figura 1. Exemplo de sistema compósito de isolamento térmico pelo exterior com revestimento sobre isolante do tipo ETICS, onde (A) é a camada de acabamento, (B) é a camada de base com rede incorporada e (C) é a camada de isolante térmico.

No que diz respeito ao isolamento térmico, (componente C na figura 1) têm vindo a ser utilizados diferentes tipos de materiais, tais como poliestireno expandido (*Expanded polystyrene – EPS*), poliestireno extrudido (*Extruded polystyrene – XPS*), lã mineral (*Mineral wool – MW*) e aglomerado de cortiça expandida (*Insulation cork board – ICB*). No entanto, os materiais de isolamento térmico mais comuns em aplicações de ETICS na Europa continuam a ser o EPS e a MW, representando mais de 90% do mercado [4]. De acordo com o guia europeu para a aprovação técnica dos ETICS [5], a espessura da camada de isolante térmico, que varia entre 40 e 100 mm em climas mediterrânicos [6] e que pode ultrapassar os 300 mm em climas mais frios [7], deve ser a suficiente para garantir uma resistência térmica do sistema igual ou superior a $1,0 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$. No entanto, tal facto não significa, necessariamente, que quanto maior for a espessura do isolante térmico, melhor será o desempenho térmico do sistema, uma vez que se deve considerar outros aspetos tais como a sua durabilidade, desempenho à água, e bio-suscetibilidade. Estes aspetos serão abordados mais à frente, nas secções 2.2 e 2.3 do presente documento.

O sistema de revestimento é constituído pelas camadas de base e de acabamento. A camada de base deve ser realizada em várias subcamadas (normalmente duas ou mais), cada uma aplicada após a secagem da anterior, incluindo a rede de fibra de vidro (armadura) entre demãos. Adicionalmente, deve garantir-se uma boa compatibilidade e aderência da camada de base ao isolante térmico. Por sua vez, a camada de acabamento ficará exposta ao meio ambiente e, por isso, deve assegurar não só o acabamento decorativo do sistema, mas também a sua proteção face aos principais agentes de degradação [8]. Esta camada deve, portanto, possuir uma baixa absorção de água líquida, uma boa capacidade de secagem e elevada permeabilidade ao vapor de água, bem como uma boa aderência e compatibilidade com a camada de base.

A avaliação do desempenho deste tipo de sistemas é feita com base no documento de avaliação europeia EAD 040083-00-0404 [5]; os critérios definidos neste documento baseiam-se numa vida útil prevista dos ETICS de 25 anos, desde que sejam realizadas ações normais e periódicas de manutenção.

Os sistemas ETICS possuem vantagens face a outras soluções de isolamento térmico que incluem a mitigação de pontes térmicas, redução do risco de condensações no interior e proteção das paredes da envolvente e de elementos estruturais; sendo ainda de salientar o facto de serem aplicados pelo exterior, sem interromper o uso dos edifícios e sem reduzir a área útil interior. No entanto, apresentam também algumas desvantagens, que têm vindo a ser parcialmente colmatadas nos últimos anos como consequência da otimização deste tipo de sistemas compósitos. São os casos da falta de aderência entre os diferentes componentes do sistema e do sistema ao suporte, da baixa resistência ao choque, da propensão à fissuração, da alteração da cor e da suscetibilidade à colonização biológica. Algumas destas desvantagens, nomeadamente as relacionadas com a eficácia dos acabamentos, continuam a condicionar o bom funcionamento dos ETICS, pelo que um estudo mais abrangente e focado no desempenho e na durabilidade destes sistemas continua a ser necessário, devendo procurar minimizar-se anomalias na superfície e otimizar os sistemas de revestimento, evitando que o desempenho térmico seja afetado.

Neste contexto, o projeto WGB_Shield – Proteção de fachadas de edifícios na revitalização das cidades. Tripla resistência à água, ao *graffiti* e à biocolonização em sistemas de isolamento térmico pelo exterior (PTDC/ECI-EGC/30681/2017), teve o seguinte enquadramento e objetivos.

1.2. O PROJETO WGB_SHIELD

A otimização dos sistemas ETICS e a compreensão dos fatores e mecanismos de degradação que afetam a sua durabilidade são aspetos relevantes para um desempenho eficaz do sistema ao longo do tempo. No projeto WGB_Shield,

financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), exploraram-se estratégias para aumentar o ciclo de vida dos ETICS, através do estudo do desempenho e durabilidade de diferentes soluções. A eficácia, a compatibilidade e a durabilidade de vários produtos de proteção (multifuncionais com propriedades hidrófugas, anti-*graffiti*, biocidas e/ou fotocatalíticos), aplicados na superfície destes sistemas, foi também aprofundada. Desenvolveu-se uma metodologia inovadora para a avaliação da durabilidade de ETICS, que combina a ação de diferentes agentes de degradação, simulando condições de exposição reais em ambiente urbano e comparando com o efeito da exposição natural. Analisaram-se as propriedades relevantes para um bom desempenho dos ETICS, tais como a sua resistência à água, a suscetibilidade à colonização biológica e a alteração das propriedades da superfície.

Os resultados evidenciaram que uma análise integrada dos vários fatores é fundamental para um desempenho otimizado e um aumento da durabilidade destes sistemas, que devem ser avaliados e considerados como um conjunto, ou seja, como um *kit*.

2. DESEMPENHO E DURABILIDADE

2.1. ANOMALIAS E PRINCIPAIS CAUSAS

Os ETICS foram introduzidos de forma definitiva em Portugal no final do século XX. Estes sistemas construtivos não estão imunes ao aparecimento de anomalias durante a sua vida útil, as quais devem ser identificadas e cujas causas interessa conhecer.

Com o objetivo de implementar uma metodologia de inspeção, diagnóstico e manutenção de ETICS, Amaro *et al.* [9,10] inspecionaram 146 fachadas de ETICS localizadas no norte e centro de Portugal, com idades compreendidas entre 3 e 22 anos. Os autores concluíram que as anomalias mais comuns observáveis são colonização biológica, alterações cromáticas e marcas de escorrência, detetadas em cerca metade da amostra. De facto, têm-se verificado bastantes casos de colonização biológica em ETICS (figura 2), tendo sido produzidos nos últimos anos alguns estudos e relatórios técnicos sobre este assunto. Apesar de a solução mais habitual para evitar este tipo de fenómenos passar pela utilização de biocidas na camada de acabamento, a verdade é que essa medida não tem garantido bons resultados a longo prazo. Para evitar estes fenómenos, pode sempre optar-se por fazer reaplicações periódicas de produtos com biocidas. No entanto, essa opção levanta condicionantes ambientais e económicas.



.....

Figura 2. Colonização biológica na fachada de um edifício com ETICS em Lisboa.

Os fenómenos de colonização biológica na superfície dos ETICS são bastante comuns devido às características de desempenho destes sistemas [11-13]. No geral, a colonização biológica por diferentes tipos de microrganismos é fortemente influenciada pelo teor de água existente na superfície do sistema, que depende fundamentalmente do efeito combinado de três fatores: chuva incidente, processo de secagem e fenómenos de condensações superficiais. Assim, o risco de colonização biológica na superfície dos ETICS aumenta consideravelmente em soluções que possuam um processo de secagem mais lento das camadas superficiais, o que leva a que o teor de água à superfície permaneça elevado durante longos períodos de tempo. Adicionalmente, quanto maior for o risco de condensações superficiais exteriores no sistema, maior será também o risco de colonização biológica. Num estudo de 2021, Gonçalves *et al.* [14] monitorizaram quatro sistemas multicamada de isolamento térmico pelo exterior com diferentes materiais de isolamento térmico durante um ano de exposição natural e concluíram que o risco de condensações superficiais aumenta consideravelmente nos sistemas com uma maior resistência térmica (menor temperatura superficial no paramento exterior). Dado que o objetivo destes sistemas é aumentar a resistência térmica das paredes em que são aplicados, o risco de condensações superficiais é elevado, pelo que é necessário tomar medidas complementares de modo a mitigar esse risco.

Apesar de os fenómenos de colonização biológica não causarem, pelo menos numa primeira fase, qualquer alteração no desempenho térmico e mecânico do sistema, provocam um grande impacto visual, o que leva ao descontentamento dos utilizadores e acaba por condicionar a aplicação mais vasta desta tecnologia construtiva.

Num estudo realizado na Noruega em 2018 [15], registaram-se 150 causas para anomalias detetadas em 61 edifícios com ETICS. Destas, 15 foram identificadas como sendo as mais comuns:

- defeitos associados à incorreta execução ou ausência de tubos de queda, o que permite contacto de quantidades de água elevadas com a fachada, por vezes de modo não distribuído (figura 3);
- ausência ou incorreta execução da armadura do reboco (rede de fibra de vidro);
- espessura muito reduzida do revestimento;
- ausência de compatibilidade entre as camadas do sistema;
- retração e deformações ao nível do revestimento que não são acompanhadas pelas camadas subsequentes (figura 4);
- inadequado tratamento dos pontos singulares (p. ex., cantos dos vãos);
- ascensão capilar, quando o sistema está em contacto direto com o solo;
- ancoragem defeituosa do sistema;
- colonização biológica na superfície;
- variações na espessura da camada de base aplicada sobre o isolante térmico;
- vibrações e movimentos da estrutura do edifício;
- escolha incorreta do material constituinte da camada de acabamento (p. ex., tipo ou características da tinta);
- baixa resistência ao choque;
- lixiviação do pigmento da camada de acabamento; e
- crescimento de bolores nas camadas internas ou por detrás do sistema ETICS.



Figura 3. Execução incorreta ou ineficiência da drenagem em tubo de queda, o que faz com que haja contacto permanente de água com a fachada, potenciando fenómenos de colonização biológica.

.....



.....

Figura 4. Fissuras do revestimento na zona das juntas das placas de isolamento térmico, que resultam de retrações e deformações diferenciais das camadas de isolamento e de revestimento.

De facto, a água é o principal agente de degradação a ser considerado e tem influência nos principais mecanismos de degradação [16]. Adicionalmente, a omissão ou execução incorreta dos pontos singulares (figura 5), assim como a aplicação deficiente do sistema, ou dos seus componentes, e a escolha de materiais inadequados tem uma importância fundamental e condiciona fortemente o bom desempenho do ETICS. Por exemplo, um sistema aplicado com uma espessura insuficiente do revestimento pode levar a uma maior absorção de água do sistema, bem como uma maior tendência para fissuração e empolamento do revestimento (figura 6). Isto, por sua vez, potencia outras anomalias, tais como colonização biológica, e conduz também a um decréscimo na eficiência do sistema, particularmente se a água atingir a camada de isolamento térmico, condicionando fortemente a sua resistência térmica.



Figura 5. Fissuração do revestimento do sistema nos cantos dos vãos, que resulta do inadequado tratamento dos pontos singulares (p. ex., ausência de colocação de armadura de reforço nos cantos dos vãos).

Figura 6.1 | 6.2 Fissuração aleatória e empolamento do revestimento, que resultam da aplicação do revestimento com uma espessura muito reduzida, bem como da acumulação de água entre o revestimento e o isolante, devido a uma baixa permeabilidade ao vapor de água do sistema.



Uma das principais desvantagens dos ETICS continua a ser a sua baixa resistência mecânica, em particular ao choque [17], o que faz com que muitas vezes se chegue a verificar perfuração pontual do sistema (figura 7). Nesses casos, a camada de isolamento térmico ficará exposta às intempéries e aos principais agentes de degradação, assim como mais suscetível a atos de vandalismo, comprometendo o desempenho térmico e mecânico de todo o sistema. Num estudo recente realizado na Suíça [18], verificou-se que os ETICS têm sido afetados pelas chuvas intensas e pela queda de granizo, que se têm verificado frequentemente e de forma mais intensa nesse país e que danificam o sistema em várias zonas da fachada, comprometendo o seu bom desempenho.



Figura 7.1 | 7.2 Perfuração pontual do sistema, que pode dever-se a atos de vandalismo causados pelos utilizadores, mas também ter origem em casos de choque fortuito.

2.2. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ETICS

2.2.1. Exigências e qualidade

Os ETICS são considerados produtos inovadores e complexos, que ainda não se encontram cobertos por normas europeias harmonizadas, pelo que o desempenho de cada sistema deve ser avaliado com base nos critérios definidos num documento preparado por um grupo de peritos representantes dos membros da Organização Europeia de Avaliação Técnica (EOTA – *European Organization for Technical Assessment*). O documento (EAD 040083-00-0404 [5]) tem por base o Regulamento (EU) n.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de março de 2011, designado por Regulamento dos Produtos da Construção (RPC), com plena entrada em vigor no dia 1 de julho de 2013. Com base nos critérios e métodos preconizados pelo EAD podem ser emitidas Avaliações Técnicas Europeias (ETA) por Organismos de Avaliação Técnica Europeus (OAT). Estas avaliações são vocacionadas para apoiar a inovação tecnológica e responder a solicitações específicas do mercado. Compete ao fabricante do sistema, ou *kit*, garantir a constância de qualidade de fabrico, colocando-o no mercado com as características apresentadas na respetiva ETA.

No caso dos ETICS, o documento base para a sua avaliação é o EAD 040083-00-0404 [5]. O RPC e, de um modo mais concreto para os ETICS, o EAD, consideram os seguintes Requisitos Básicos dos trabalhos de construção:

- Resistência e estabilidade – não aplicável a ETICS por estes não serem elementos estruturais;
- Segurança contra incêndio – exigência de segurança de grande importância na avaliação e classificação dos ETICS e que inclui a avaliação da reação ao fogo do sistema e do isolante térmico;
- Higiene, saúde e ambiente – inclui a emissão de substâncias perigosas, o comportamento higrotérmico, o desempenho à água e a resistência ao impacto;
- Segurança e acessibilidade na utilização – inclui a aderência do sistema entre camadas, a fixação ao suporte, bem como a resistência ao vento e a outras solicitações mecânicas;
- Proteção contra o ruído – não é definida uma exigência no EAD, por se considerar que os ETICS não têm de contribuir para o isolamento acústico. No entanto, alguns sistemas apresentam alguma contribuição neste sentido, o que é uma mais-valia;
- Economia de energia e isolamento térmico;
- Utilização sustentável dos recursos naturais – inclui durabilidade e utilização de matérias primas e materiais secundários compatíveis com o ambiente.

Apresentam-se, de seguida, algumas das exigências preconizadas no EAD [5] para a avaliação do desempenho e da durabilidade dos ETICS, considerando os requisitos básicos enumerados anteriormente.

Segurança contra incêndio

De acordo com o EAD, o desempenho ao fogo dos ETICS é definido mediante classificação de reação ao fogo do sistema completo e do material de isolamento térmico, determinada com base nos ensaios estabelecidos na norma EN 13501-1 [19]. O desempenho do sistema completo depende essencialmente da natureza do isolante e da constituição do revestimento de acabamento.

Os regulamentos nacionais impõem classificações mínimas conforme o tipo de edifícios. Em Portugal, as classificações aceitáveis podem variar entre C-s3, d0 (e isolante térmico da classe E), no caso de edifícios de pequena altura, e B-s2, d0 para edifícios com altura superior a 28 m (e isolante térmico também B-s2-d0) [20].

Higiene, saúde e ambiente

Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade dos ETICS é avaliada através da determinação da absorção de água da camada de base reforçada aplicada sobre o isolante térmico e também do sistema de revestimento completo aplicado sobre o isolante térmico, devendo ser testadas as várias configurações do sistema, ou seja, a camada de base com cada um dos acabamentos previstos. Devem ser determinados os valores da absorção de água após 1 h e após 24 h da camada de base reforçada e de cada configuração do sistema de revestimento. O EAD [5] define como limite do valor da absorção de água por capilaridade dos ETICS com acabamento por pintura 1 kg/m^2 após 1 h de ensaio. Caso a água possa penetrar em toda a espessura do revestimento, haverá a possibilidade de humedificação do isolante, pelo que o LNEC recomenda que o limite a observar seja de 1 kg/m^2 após 24 h de imersão parcial [21].

Estanquidade

- **Comportamento higrotérmico:** O EAD [5] exige que os ETICS (após uma secagem de pelo menos 28 dias), quando submetidos a ciclos de envelhecimento artificial acelerado (ciclos de calor-chuva e calor-frio) através de ensaio com uma câmara higrotérmica de uma aplicação num modelo de parede com pelo menos 6 m^2 de área útil, não apresentem nenhuma das seguintes anomalias na camada de revestimento: empolamentos ou destacamentos dos acabamentos ou da camada de base; fissuras ou perdas de aderência associadas a juntas das placas de isolante; fissuras com largura superior a $0,2 \text{ mm}$ (permitindo a penetração da água no isolante).

- **Comportamento ao gelo-degelo:** A resistência ao gelo-degelo pode ser avaliada apenas através dos resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade. Se a água absorvida pela camada de base e por todas as configurações do sistema de revestimento for inferior a $0,5 \text{ kg/m}^2$ ao fim de 24 h, o ETICS tem comportamento satisfatório ao gelo-degelo sem necessidade de ensaios adicionais. Caso esse limite não seja cumprido e se pretenda comprovar a resistência ao gelo-degelo do sistema, deve então realizar-se um ensaio específico de resistência ao gelo-degelo. No entanto, a resistência ao gelo-degelo de ETICS não é considerada crítica na maior parte do território português nem em grande parte dos países da Europa, com exceção dos países nórdicos.

Permeabilidade ao vapor de água

Para a avaliação da permeabilidade ao vapor de água, o EAD [5] exige que o valor da espessura da camada de ar de difusão equivalente (S_d) do sistema de revestimento (camada de base armada e camada de acabamento) não exceda 2,0 m para os sistemas em que o isolante térmico utilizado é um plástico celular (no caso do poliestireno expandido moldado ou extrudido) e não exceda 1,0 m para os sistemas com lã mineral. É ainda exigido que se declare o valor do coeficiente de resistência à difusão do vapor de água (μ) do isolante térmico, não sendo exigido qualquer valor limite para esse valor [5].

Resistência ao choque

A avaliação da resistência ao impacto de ETICS permite classificar os sistemas em três categorias (I, II ou III), através da combinação de ensaios de choque de 3 J e de 10 J [5]. A categoria I corresponde aos sistemas com maior resistência ao choque, permitindo a aplicação do sistema em zonas mais expostas ao impacto, como por exemplo nas zonas facilmente acessíveis ao público ao nível do solo. Esta categoria é geralmente conseguida apenas em sistemas com uma segunda rede de fibra de vidro (rede reforçada) incorporada na camada de base [22]. Os sistemas classificados com a categoria II podem ser aplicados em fachadas expostas ao choque, mas em que a altura do sistema limite a gravidade do impacto. Podem também ser aplicados em níveis inferiores (nas zonas mais baixas da fachada) em edifícios com acesso reservado. Note-se que a categoria II é obtida, em geral, sem recurso à incorporação da rede reforçada na camada de base. Por sua vez, a categoria III corresponde aos sistemas mais vulneráveis ao choque, que só devem ser aplicados em zonas não suscetíveis de serem danificadas por atos de vandalismo ou de choque fortuito. Na tabela 1 apresentam-se as condições necessárias para a alocação dos ETICS a cada uma das categorias referidas.

Tabela 1. Classificação dos ETICS de acordo com a combinação dos resultados dos ensaios de choque (3J e 10J) e categorias de aplicação [5].

Ensaio		Categoria de resistência ao impacto		
		I	II	III
Choque de esfera	3 J	NF*	NF*	NP**
	10 J	NF*	NP**	—

* danos superficiais com ausência de fissuração (NF)

** considera-se que ocorre penetração quando é possível observar o isolante térmico em 3 dos 5 ensaios efetuados; caso contrário, não existe penetração (NP), existindo deformação

Segurança e acessibilidade na utilização

Aderência da camada de base ao isolante térmico após ensaio higrotérmico

De acordo com o especificado no EAD [5], a aderência da camada de base de ETICS com acabamento por pintura ao isolante deve ser igual ou superior a 80 kPa, ou, caso seja inferior a esse valor, a rotura deve ser coesiva no seio do isolante.

Aderência do produto de colagem ao isolante térmico e ao betão

Os ensaios de aderência do produto de colagem ao isolante e a placas de betão são efetuados em provetes no estado seco e após imersão em água. As exigências de aderência definidas no EAD [5] para estas situações sintetizam-se na tabela 2.

Tendo em conta o requisito mínimo de 30 kPa para aderência ao suporte do produto de colagem, a área mínima de colagem do sistema ao suporte (S), expressa em %, deve verificar a equação 1:

$$S \geq (30 \text{ kPa} \times 100) / B \quad (1)$$

em que B é o valor mínimo de resistência obtido no ensaio de aderência do adesivo ao suporte, expresso em kPa.

Tabela 2. Exigências previstas no EAD [5] em relação à aderência do produto de colagem ao isolante térmico e ao betão.

Ensaio	Condições	Exigência
Aderência do produto de colagem ao isolante	Estado seco	Se rotura adesiva ou coesiva no produto de colagem: tensão de aderência ≥ 80 kPa Se rotura coesiva no isolante térmico: tensão de aderência ≥ 30 kPa
	Após imersão em água	2 horas após a remoção dos provetes da água: se rotura adesiva ou coesiva no produto de colagem, então a tensão de aderência ≥ 30 kPa; se rotura coesiva no isolante térmico, então a tensão de aderência não tem qualquer exigência 7 dias após a remoção dos provetes da água: se rotura adesiva ou coesiva no produto de colagem, então a tensão de aderência ≥ 80 kPa; se rotura coesiva no isolante térmico, então a tensão de aderência não tem qualquer exigência
Aderência do produto de colagem ao betão	Estado seco	Tensão de aderência ≥ 250 kPa, com qualquer tipologia de rotura
	Após imersão em água	2 horas após a remoção dos provetes da água: tensão de aderência ≥ 80 kPa, com qualquer tipologia de rotura 7 dias após a remoção dos provetes da água: tensão de aderência ≥ 250 kPa, com qualquer tipologia de rotura

Resistência à sucção do vento

O ensaio de sucção de vento é exigido em sistemas fixados apenas mecanicamente ao suporte através de cavilhas plásticas ou perfis metálicos. O ensaio envolve cargas cíclicas de sucção sobre o sistema aplicado sobre um murete, para averiguar o aparecimento de anomalias tais como: rotura dos painéis de isolante; laminação no isolante ou entre o isolante e o revestimento; destacamento do revestimento; arrancamento das fixações; ou destacamento dos painéis de isolante do suporte onde se encontram aplicados.

Economia de energia e isolamento térmico

Resistência térmica

De acordo com o EAD [5], a resistência térmica mínima dos ETICS deve ser de $1,0 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$, determinada através da soma das resistências térmicas do isolante e do revestimento.

2.2.2. Análise global do desempenho de ETICS

No projeto WGB analisaram-se inicialmente doze soluções diferentes de ETICS, com três tipos de isolantes térmicos (EPS, ICB e MW). Para além disso, as camadas de base (de base cimentícia ou cal hidráulica natural) e de acabamento (de base acrílica, silicato ou de cal aérea) também diferiram entre soluções de ETICS. No entanto, as soluções foram escolhidas para que se conseguisse estabelecer pontos de contacto entre elas e para que se tivesse, por exemplo, duas soluções em que só diferisse o tipo de isolante térmico utilizado, ou a constituição da camada de acabamento. Todas as soluções estudadas estavam homologadas pelo LNEC, pelo que era expectável um bom desempenho no que se refere às exigências e requisitos previstos no guia europeu EAD 040083-00-0404 [5] (vd. Secção 2.2.1). Apesar disso, procurou-se aprofundar a análise, de modo a avaliar propriedades complementares dos sistemas e o seu desempenho a longo prazo. Na figura 8 apresentam-se fotografias de algumas das soluções utilizadas no estudo.



Figura 8. Fotografias de três das doze soluções de ETICS utilizadas no estudo com diferente material de isolamento térmico: aglomerado de cortiça expandida – ICB (A), lã mineral – MW (B) e poliestireno expandido – EPS (C).

Numa primeira fase, analisou-se o desempenho à água, a suscetibilidade à colonização biológica, as propriedades superficiais e métodos de remoção de *graffiti* em ETICS. O desempenho à água foi analisado através dos ensaios de absorção de água por capilaridade, secagem e permeabilidade ao vapor de água. As propriedades superficiais foram analisadas através da medição da cor, brilho e rugosidade. Por fim, a suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores foi avaliada de acordo com uma metodologia desenvolvida pela equipa de investigação do projeto.

Desempenho à água e influência na condutibilidade térmica

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado de acordo com o especificado no EAD 040083-00-0404 [5], utilizando-se provetes com uma área de 150 mm x 150 mm. O ensaio foi realizado em ambiente condicionado, com uma temperatura (T) de 23 ± 2 °C e uma humidade relativa (HR) de $65 \pm 5\%$.

O ensaio de secagem foi realizado de acordo com o especificado na norma europeia EN 16322 [23], em ambiente condicionado com condições iguais ao ensaio de absorção de água por capilaridade, até à obtenção de massa constante para todos os sistemas.

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água foi realizado de acordo com o definido no EAD 040083-00-0404 [5], utilizando-se o método da cápsula seca, que implica o uso de um dessecante (para obtenção de uma HR de 0% no interior da cápsula) por forma a criar um fluxo de vapor de água do exterior para o interior da cápsula. O ensaio foi realizado em ambiente condicionado com $T = 23 \pm 2$ °C e $HR = 50 \pm 5\%$.

Os resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade demonstram que todas as soluções de ETICS ensaiadas apresentam valores de absorção capilar, após 1 h de ensaio, inferiores a 1 kg/m^2 , sendo este o valor exigido no guia europeu [5] e recomendado pelo LNEC [21] para a homologação dos sistemas. De facto, o maior nível de absorção capilar registou-se na primeira hora de ensaio, assistindo-se, depois, a um aumento mais lento para a maioria das soluções. Considera-se, assim, que todos os ETICS ensaiados apresentam um comportamento satisfatório no estado inicial, caracterizado por uma absorção de água bastante baixa. Verificou-se que o aumento da espessura da camada de acabamento de base acrílica, em sistemas com a mesma composição de isolante térmico e camada de base, levou a um decréscimo significativo, que chegou aos 44%, no valor da absorção capilar. Adicionalmente, observou-se uma absorção de água por capilaridade 38% superior num sistema com MW, camada de base cimentícia e acabamento acrílico, em comparação com um sistema com igual composição na camada de base e de acabamento, mas com EPS como isolante térmico, sugerindo que o isolante pode ter influência nesta característica do sistema. De referir, ainda, que a opção pela utilização de uma tinta de silicato, ao invés de um acabamento acrílico, contribuiu para uma diminuição considerável na absorção de água por capilaridade do sistema.

Os resultados do ensaio de secagem estiveram em concordância com os obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade, uma vez que os sistemas ETICS que, na generalidade, absorveram mais água, foram aqueles que também secaram mais rapidamente, revelando um bom comportamento global à água.

Os resultados do ensaio de permeabilidade ao vapor de água indicaram que os sistemas ETICS ensaiados como um conjunto são consideravelmente menos

permeáveis ao vapor de água que os isolantes térmicos. Os maiores valores de resistência à difusão de vapor foram obtidos para as soluções com EPS na camada de isolamento térmico, camada de base cimentícia e acabamento acrílico, e os menores para a solução com MW como isolante térmico, camada de base cimentícia e acabamento acrílico, bem como para a solução com ICB como isolante térmico, camada de base com cal hidráulica natural e acabamento com tinta de silicato. De facto, as camadas de revestimento contribuem fortemente para a redução da permeabilidade ao vapor do sistema completo. No entanto, todos os revestimentos apresentaram valores de espessura da camada de ar de difusão equivalente inferiores a 2 m (no caso de sistemas com EPS) e a 1 m (no caso de sistemas com MW e ICB), cumprindo os requisitos mínimos definidos no EAD 040083-00-0404 [5].

A condutibilidade térmica do isolante de cada um dos ETICS foi também determinada com recurso ao equipamento ISOMET 2114 (figura 9A), que utiliza o método transiente, de acordo com a norma ASTM D5930-09 [24]. Procedeu-se à medição dos valores de condutibilidade térmica dos isolantes no estado seco (após estabilização em ambiente controlado), após um ciclo de 24 h de absorção de água por capilaridade dos sistemas e após dois meses de exposição natural (figura 9B). Verificou-se um aumento da condutibilidade térmica com o teor de água para todos os isolantes considerados (EPS, ICB e MW). Em relação aos sistemas com EPS, verificou-se um aumento máximo de condutibilidade térmica de 4,7%, enquanto os sistemas com ICB registaram um aumento de condutibilidade térmica até 6%. No entanto, o maior aumento de condutibilidade térmica foi registado para as soluções com MW, chegando aos 53%. De facto, concluiu-se que a condutibilidade térmica de MW com propriedades hidrófilas aumenta rapidamente com o aumento do teor de água, com um processo de difusão de humidade extremamente rápido.



Figura 9. Ensaio para a medição da condutibilidade térmica do isolante (A) e estação de envelhecimento natural em ambiente urbano (B).

Suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores

A suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores foi avaliada de acordo com uma metodologia adaptada das normas americanas ASTM D5590-17 [25] e ASTM C1338-19 [26] e testada no presente estudo para ETICS [2]. Os provetes de área 40 mm x 40 mm foram expostos em frascos previamente esterilizados e contendo meio de cultura adequado e posteriormente inoculados artificialmente com uma suspensão mista de esporos de *Aspergillus niger* e *Penicillium funiculosum*. Os frascos de cultura foram depois colocados em ambiente controlado ($T = 22 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$; $HR = 70 \pm 5\%$) por um período de quatro semanas. Efetuou-se uma classificação visual do grau de crescimento de bolores semanalmente de acordo com a escala definida em [25]: 0 – sem crescimento aparente de bolores (0% de crescimento na superfície dos provetes); 1 – traços de crescimento (< 10% de crescimento na superfície dos provetes); 2 – crescimento leve (entre 10 a 30% de crescimento na superfície dos provetes); 3 – crescimento moderado (entre 30 e 60% de crescimento na superfície dos provetes); 4 – crescimento considerável (> 60% de crescimento na superfície dos provetes).

Os resultados do ensaio de suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores não identificaram qualquer crescimento na superfície dos provetes no estado inicial desde a primeira à quarta semana de ensaio. Este resultado pode ser explicado pela presença de um ou mais biocidas na composição da camada de acabamento que, nas condições do ensaio, parece ser suficiente para controlar o desenvolvimento de bolores na superfície dos provetes. No entanto, detetou-se crescimento de bolores quando se ensaiaram os provetes de isolantes térmicos individualmente (figura 10). Neste caso, os provetes de ICB foram os que apresentaram maior desenvolvimento de bolores, seguidos dos provetes de MW e, finalmente, de EPS. De facto, a cortiça é um material orgânico natural e, por isso, é mais propenso a colonização biológica, pelo facto de providenciar,

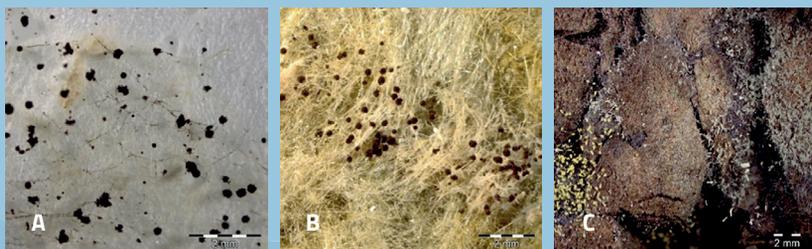


Figura 10. Imagens ao microscópio estereoscópico de provetes de EPS (A), MW (B) e ICB (C) com colonização biológica após quatro semanas de ensaio.

através da sua composição, os nutrientes necessários que contribuem para o desenvolvimento dos organismos. Em geral, os provetes de MW e de EPS apresentaram uma boa resistência ao desenvolvimento de bolores, com um grau de desenvolvimento inferior a 1 (traços de crescimento) no final do ensaio [25]. Os resultados demonstram a importância de um bom desempenho de todos os componentes do sistema para um aumento da durabilidade do conjunto. Neste caso, o bom desempenho das camadas de revestimento é essencial para prevenir fenômenos de colonização biológica na camada de isolamento térmico e, conseqüentemente, em todo o sistema ETICS.

Propriedades superficiais

A avaliação da cor foi feita com um colorímetro «MINOLTA CR-410 Chroma Meter», enquanto o brilho especular superficial foi determinado com o equipamento «Rhopoint Novo-Gloss Lite». Por sua vez, a rugosidade superficial foi medida com um rugosímetro «Elcometer 223».

Os resultados das propriedades superficiais medidas nos provetes no seu estado inicial demonstraram que uma menor rugosidade superficial promove maior brilho e luminosidade e contribui para um valor mais alto de absorção de água por capilaridade dos sistemas na fase inicial do ensaio (maior coeficiente de absorção de água por capilaridade).

Resistência ao impacto

Apesar de não ter sido objeto de estudo no projeto WGB, apresentam-se, de seguida, algumas considerações sobre a resistência ao impacto de sistemas ETICS. Os ensaios de resistência ao impacto e à perfuração de sistemas ETICS foram realizados de acordo com o preconizado no EAD 040083-00-0404 [5]. Concluiu-se que os sistemas ETICS com isolantes MW e ICB apresentaram desempenho ao choque e à perfuração semelhantes. Em alguns casos, os valores foram até superiores a sistemas idênticos, mas com o isolante EPS, mais correntemente utilizado. A aplicação adicional de uma rede de fibra de vidro reforçada nas zonas mais expostas das fachadas pode melhorar o desempenho ao choque e à perfuração, aumentando a resistência dos sistemas [22, 27]. O tipo e a espessura da camada de acabamento de um sistema ETICS pode também influenciar de modo positivo ou negativo a resistência ao choque e à perfuração do sistema [22]. Nos sistemas cobertos por Avaliação Técnica Europeia (ETA), as categorias de resistência ao impacto e as zonas onde os sistemas podem ser aplicados são referidas nos respetivos documentos para as várias variantes consideradas.

Estudos anteriores sobre a aderência entre a camada base e o isolante térmico, concluíram que o padrão de rotura obtido foi em geral coesivo no seio do

isolante térmico, com valores até 0,5 MPa. Os valores obtidos após ensaio higrotérmico, realizado de acordo com o especificado no EAD [5], mostraram uma tendência de ligeira redução no valor da resistência ao choque quando comparados com os valores obtidos para provetes no estado inicial, o que é atribuído ao efeito dos ciclos de envelhecimento artificial acelerado realizados no âmbito do ensaio higrotérmico [28].

Resistência à remoção de *graffiti*

Os *graffiti* constituem, na atualidade, um dos problemas mais identificados em edifícios localizados em áreas urbanas e sobre diferentes suportes. A temática dos efeitos das tintas de *graffiti*, assim como metodologias para a sua remoção em ETICS, constituiu um dos aspetos inovadores do projeto WGB. Para além de poderem constituir uma anomalia estética, a sua remoção tem elevados custos e pode induzir alterações nas propriedades superficiais dos materiais sobre os quais foram aplicados. No caso dos ETICS, essa alteração pode ser crítica para o correto funcionamento do sistema.

Os *graffiters* querem produzir mensagens que sejam apelativas, rápidas de efetuar, resistentes e difíceis de remover. Entre os materiais colocados no mercado para *graffiti* podem ser destacadas as tintas de aerossol. O efeito destas tintas sobre os ETICS considerados, foi avaliado realizando um conjunto de ensaios laboratoriais que visaram determinar as variações por estas induzidas na capacidade de absorção de água e na permeabilidade das superfícies, avaliando-se também a alteração da cor, brilho e rugosidade. Foram aplicadas sobre as superfícies dos sistemas ETICS, tintas de aerossol azul-marinho (RAL 5002) e cinza prateado (RAL 7001).

Após a aplicação dessas tintas verificaram-se alterações significativas da cor, brilho e rugosidade das superfícies, e forte redução da absorção de água, sendo este facto mais acentuado nos sistemas que no estado natural absorviam mais água (camada de base de cal aérea e ligante hidráulico; camada base de argamassa cimentícia) [29]. Em alguns sistemas (camada de base de argamassa cimentícia e acabamento final com tinta acrílica), a aplicação da tinta de *graffiti* criou uma camada quase impermeável à penetração da água a baixa pressão. Acresce que as tintas de aerossol funcionam igualmente como agentes hidrofóbicos, ou seja, reduzem a aptidão de molhagem das superfícies. Em termos de cinética de evaporação de água foi verificada a redução significativa da taxa de secagem D1 (transporte de água líquida até à superfície da amostra) e o aumento dos valores de D2 (difusão de vapor de água), após a aplicação das tintas de *spray*. Comparando a tinta prateada com a azul verificou-se que as reduções na taxa de secagem D1 foram mais significativas com a tinta prateada, e os aumentos de D2 foram mais relevantes para a tinta azul [29].

No que se refere aos métodos de remoção das tintas de aerossol sobre os suportes de ETICS, foram ensaiados, com base na revisão bibliográfica efetuada para outros suportes como sejam pedra natural, sistemas de limpeza químicos e mecânicos. Como critério de atuação, começaram-se os ensaios pelos processos menos invasivos (e.g., uma simples escovagem mecânica com escova de *nylon* e uso de água fria ou quente) e só depois, quando se mostraram ineficazes, se passou para processos mais invasivos.

Os resultados obtidos indicam que a aplicação de *graffiti* altera as condições superficiais e que existem dificuldades na remoção dos *graffiti* das superfícies dos ETICS. Em termos de processos de limpeza químicos, foram ensaiados removedores alcalinos e ácidos. Em ambas as situações se verificou que os produtos químicos podem ser prejudiciais para os ETICS se chegarem à camada de isolante (situação que poderá ocorrer caso exista alguma fissuração no sistema), em especial para sistemas à base de poliestireno expandido moldado (EPS), devido ao ataque químico a esta camada. Nesta situação, a aplicação destes métodos não é de todo adequada conduzindo a alterações com perda da funcionalidade pretendida para os ETICS.

O procedimento de limpeza com produto alcalino e escova mostrou-se mais eficaz a remover a tinta prateada, independentemente do sistema considerado. Como resultado da ação conjunta de limpeza química e escovagem, registou-se ligeira lixiviação e redução da rugosidade superficial, assim como o aumento da absorção de água pelas superfícies e das taxas de secagem, comparativamente a amostras de referência submetidas ao mesmo processo de limpeza. Tais aspetos poderão estar associados à remoção da camada de revestimento mais superficial. Do estudo efetuado, verificou-se que a composição química das tintas de *spray* condiciona a eficácia e a nocividade dos processos de remoção. Comparativamente, a tinta cinza prateada foi mais facilmente removida das superfícies dos ETICS do que a tinta azul.

2.3. AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE ETICS

Numa fase posterior do projeto, avaliou-se a durabilidade de seis das doze soluções de ETICS inicialmente estudadas (vd. secção 2.2). Na tabela 3 apresenta-se a composição dessas seis soluções e na figura 11 fotos ao microscópio estereoscópico das secções transversais dos ETICS. Procurou avaliar-se as mesmas propriedades dos sistemas referidas na secção 2.2.2, utilizando os mesmos métodos de ensaio.

Tabela 3. Constituição das seis soluções de ETICS ensaiadas à durabilidade.

Identificação*	Isolante Térmico	Camada de Base**	Camada de Acabamento
A	EPS	Cimento	Tinta acrílica
B	ICB	Cal hidráulica natural	Cal aérea, ligante hidráulico
C	EPS	Cimento	Tinta acrílica
D	MW	Cimento	Tinta acrílica
E	ICB	Cal hidráulica natural	Tinta de silicato
F	MW	Cimento	Tinta acrílica

* Vide figura 11; ** com inclusão de rede de fibra de vidro.

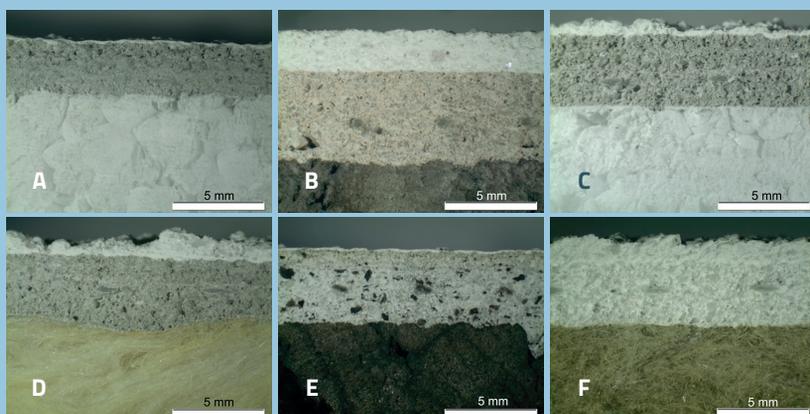


Figura 11. Soluções de ETICS ensaiadas no estudo (A a F na tabela 3) [30].

Para a avaliação da durabilidade dos sistemas, desenvolveu-se uma metodologia inovadora, que combina a ação de diferentes agentes de degradação (figura 12), simulando condições de exposição reais em ambiente urbano e comparando com o efeito da exposição natural.

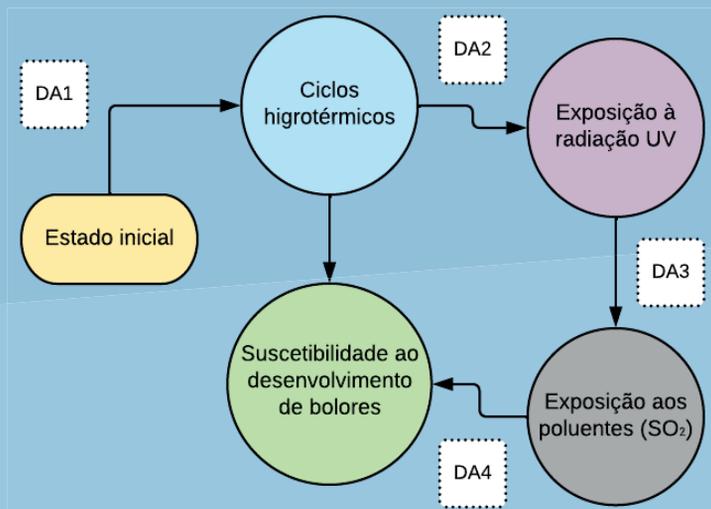


Figura 12. Metodologia de envelhecimento artificial acelerado (ETICS no estado inicial e submetidos a ciclos higrotérmicos, de radiação UV, exposição a poluentes e biosuscetibilidade), onde “DA” se refere aos ensaios de avaliação intercalar.

Nesse sentido, os provetes foram expostos em ambiente urbano, junto a vias de comunicação com muito tráfego e ao aeroporto, no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Lisboa, e em ambiente marítimo, perto do Oceano Atlântico e da foz do rio Tejo, no campus da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT NOVA), na Caparica (figura 13).

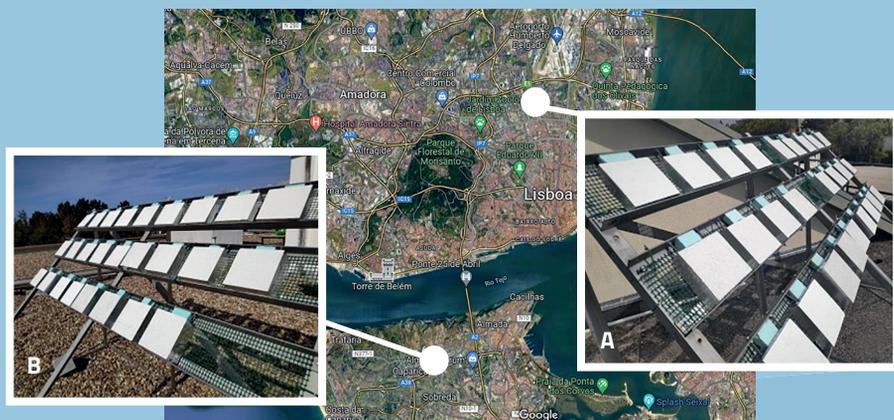


Figura 13. Duas estações de exposição natural localizadas em ambiente urbano (A) e em ambiente marítimo (B) [30].

Tal como referido, o método de envelhecimento artificial acelerado desenvolvido consiste na exposição dos provetes a diferentes agentes de degradação, em acumulação, de acordo com o fluxograma da figura 12. Assim, realizaram-se diferentes ciclos de envelhecimento acelerado, que incluíram ciclos higrótérmicos, de acordo com o preconizado no EAD [5], exposição aos UV e exposição aos poluentes. O ensaio com ciclos higrótérmicos foi realizado numa câmara higrótérmica «Fitoclima 700 EDTU» e é composto, em sequência, por:

- 80 ciclos de calor-chuva (duração total de 320 h) – período inicial com $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 3 h, seguido de chuva com intensidade de $1\text{ l}/(\text{m}^2\cdot\text{min})$ durante 1 h a $T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$; posterior secagem num total de 2 h;
- período de repouso de pelo menos 48 h ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- 5 ciclos de calor/frio (duração total de 120 h) – inicialmente com $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 8 h, seguido de um período de 16 h com $T = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- novo período de repouso de pelo menos 48 h ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

O ensaio de envelhecimento acelerado com exposição à radiação ultravioleta (UV) foi realizado de acordo com a norma ISO 16474-3 [31], numa câmara de envelhecimento acelerado QUV. O ensaio utiliza uma radiação UV de $60\text{ W}/\text{m}^2$, no espectro 300-400 nm, alternando entre 4 h de exposição ao UVA a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ e 4 h de condensação (80% de HR) a temperatura constante ($T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$). O ensaio tem uma duração total de 1000 h.

O ensaio de exposição aos poluentes (no caso, ao SO_2) foi realizado numa câmara de simulação climática «Fitoclima 300 EDTU», onde se alternaram as condições ambientais no interior da câmara entre $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $\text{HR} = 30\%$ (por 6 h) e $T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $\text{HR} = 85\%$ (por 6 h), num total de 60 ciclos. O ensaio tem uma duração total de 720 h, utilizando-se uma concentração de SO_2 de 25 ppm.

Para a realização dos ensaios de envelhecimento natural (vd. figura 13), colocaram-se os provetes em estruturas metálicas, inclinados a 45° e orientados a Sul, maximizando desta forma a exposição solar. Tal como se pode observar através da figura 13, os provetes foram expostos em ambiente urbano, em Lisboa, e em ambiente marítimo, na Caparica.

Após ciclos de envelhecimento artificial, verificou-se um aumento da rugosidade superficial dos provetes. No entanto, não se detetou uma tendência clara nos resultados. A rugosidade superficial do sistema com acabamento de tinta de silicato foi apenas ligeiramente afetada pelos ciclos de envelhecimento (+0,6%), enquanto o maior aumento de rugosidade se verificou para o sistema com acabamento de cal (+37%). Os sistemas com acabamento acrílico obtiveram os maiores valores de rugosidade superficial no estado inicial e após envelhecimento.

O brilho superficial de todas as soluções estudadas aumentou ligeiramente após ciclos higrótérmicos. No entanto, este valor diminuiu após exposição à radiação UV e, de forma mais significativa, após exposição aos poluentes.

O maior decréscimo no valor do brilho superficial foi obtido para um sistema com acabamento acrílico e o menor para o sistema com acabamento de cal. No entanto, a variação total de brilho foi inferior a 2 unidades, o que significa que esta não é detetada a olho nu. Os resultados confirmaram uma correlação entre o brilho e a rugosidade superficial, sendo que, quanto menor a rugosidade, maior o brilho. Todavia, esta correlação já tinha sido detetada anteriormente, quando se estudaram os sistemas no seu estado inicial (vd. seção 2.2).

Observaram-se traços de crescimento de bolores (< 10% de crescimento na superfície dos provetes) após ciclos higrotérmicos, especialmente no sistema com acabamento de cal e ICB como isolante térmico. No entanto, não se verificou um aumento da biocolonização após exposição à radiação UV, o que se pode dever, em parte, ao facto de alguns sistemas possuírem dióxido de titânio na formulação da camada de acabamento, que pode produzir um efeito biocida após ativação pelos UV. Verificou-se, também, que a exposição aos poluentes (SO₂) não contribuiu para um aumento do crescimento de bolores na superfície dos provetes.

Nos provetes em exposição natural, observaram-se fenómenos de condensações superficiais em todos os sistemas nas duas condições de exposição (urbana e marítima) e especialmente no período das primeiras horas da manhã (figura 14A). Observaram-se manchas na superfície do sistema com acabamento de cal e ICB como isolante a partir dos seis meses de exposição (figura 14B), que foram mais relevantes nos provetes expostos em ambiente marítimo. A análise microbiológica destas manchas comprovou a presença de mistura de bolores pertencentes aos géneros *Alternaria*, *Didymella*, *Cladosporium* e *Epicoccum* [30].

Os provetes mais rugosos, com acabamento de base acrílica, apresentaram maior fissuração na superfície em comparação com os provetes menos rugosos (e.g., com acabamento de cal ou de tinta de silicato). Verificou-se também bastante acumulação de sujidade na superfície dos provetes, que foi especialmente relevante nos provetes mais rugosos e expostos em ambiente urbano (figura 14C).

Obtiveram-se valores de absorção de água por capilaridade inferiores a 1 kg/m² a 1 h de ensaio para todos os sistemas após dois anos de envelhecimento natural, com exceção do sistema com acabamento de cal, onde o valor de absorção capilar dos sistemas envelhecidos superou 1 kg/m². De facto, verificou-se uma redução da absorção de água por capilaridade nos sistemas com acabamento acrílico após envelhecimento e um aumento desta característica no caso dos sistemas com acabamento de cal e de tinta de silicato.

Todos os sistemas, com exceção daquele com acabamento de silicato, se tornaram mais permeáveis ao vapor de água após dois anos de exposição natural.

Os resultados da condutibilidade térmica obtidos após dois anos de envelhecimento natural não são significativamente diferentes daqueles obtidos no

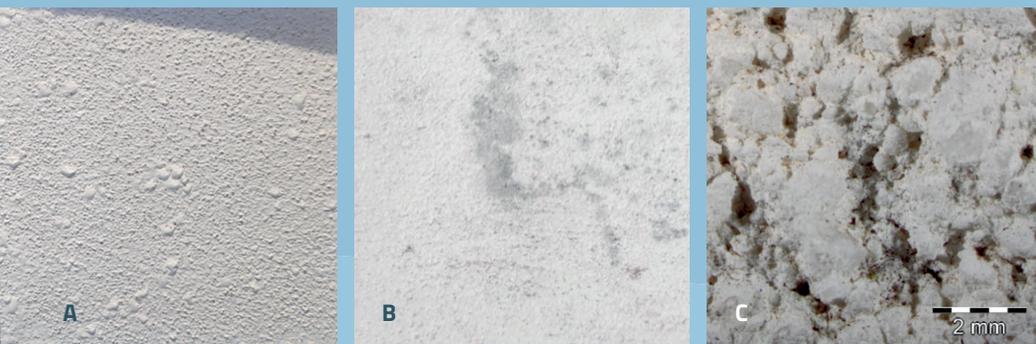


Figura 14. Fenômenos de condensações superficiais, com gotas de água, na superfície do sistema com acabamento de tinta de silicato (A); manchas observadas na superfície do sistema com acabamento de cal em ambiente marítimo (B); acumulação de sujidade e fissuração na superfície de um sistema com acabamento de base acrílica (C) [30].

estado inicial. Verificou-se, no entanto, um ligeiro aumento (+3,2%) da condutibilidade térmica do EPS, enquanto este valor permaneceu praticamente inalterado no caso do ICB (aglomerado de cortiça expandida). O maior aumento de condutibilidade térmica foi obtido para MW (+6,3%) após dois anos de exposição natural em ambiente urbano.

Verificou-se uma diminuição do brilho superficial na generalidade dos provetes que foi apenas significativa após dois anos de envelhecimento natural e foi superior em ambiente marítimo. Registou-se uma diminuição significativa da luminosidade dos sistemas após um ano de envelhecimento, sendo esta diminuição superior nos sistemas com acabamento acrílico e, portanto, naqueles com maior rugosidade. Os sistemas ficaram com uma tonalidade mais avermelhada após envelhecimento, especialmente em meio urbano. Ficaram também com a superfície mais amarelada, com exceção do sistema com acabamento de cal, onde se verificou uma tonalidade azulada após envelhecimento.

Detetaram-se traços de crescimento de bolores na superfície dos provetes com acabamento acrílico após um e dois anos de exposição natural, quer em ambiente marítimo quer urbano. Os resultados foram ligeiramente superiores em ambiente urbano, onde também se detetou maior sujidade na superfície destes sistemas. Em relação ao sistema com acabamento à base de silicato, não se detetou qualquer crescimento de bolores na superfície dos provetes após dois anos de envelhecimento natural, nem em ambiente marítimo, nem em ambiente urbano. O maior nível de crescimento biológico foi obtido para o sistema com acabamento de cal após um e dois anos de envelhecimento. Os resultados foram ligeiramente superiores nos provetes expostos em ambiente marítimo.

3. PRODUTOS DE PROTEÇÃO E REPARAÇÃO EM ETICS

3.1. PRODUTOS MULTIFUNCIONAIS COM PROPRIEDADES HIDRÓFUGAS, BIOCIDAS E FOTOCATALÍTICAS

As anomalias observadas nos ETICS ao longo do tempo (vd. secção 2.1) evidenciaram que uma estratégia de manutenção para implementar a durabilidade destes sistemas continua a ser necessária. Os resultados apresentados nas secções anteriores evidenciaram a importância da água como um dos principais agentes de degradação, devendo reduzir-se a penetração da água nos sistemas, uma vez que esta altera o seu bom desempenho e contribui para a formação de diversas anomalias. Ao mesmo tempo, deve minimizar-se o risco de colonização biológica em ETICS, assim como a deposição de poluentes e sujidade na sua superfície, que podem induzir mecanismos de degradação e alteração cromática do sistema.

Tendo como principal objetivo o aumento do ciclo de vida dos ETICS através do estudo do seu desempenho e durabilidade, selecionaram-se três produtos de proteção com propriedades hidrófugas, biocidas e/ou de autolimpeza (i.e., propriedades fotocatalíticas), que foram aplicados na superfície de quatro das seis soluções de ETICS estudadas na secção 2.3 (i.e., soluções A, B, D e E identificadas na tabela 3). De acordo com o especificado nas fichas técnicas, os três produtos de proteção selecionados consistem no seguinte:

- produto de autolimpeza e auto-esterilização (identificado como NS) de base aquosa e matriz orgânica, aditivado com nanopartículas de óxido de titânio com características super hidrofílicas e fotocatalíticas;
- produto hidrófugo (identificado como HW) que consiste numa emulsão à base de silano/siloxano com aditivos biocidas;
- tinta multifuncional (identificado como AQ) baseada numa dispersão aquosa 100% acrílica, pigmentada com dióxido de titânio rutilo, com propriedades biocidas, fotocatalíticas e hidrófugas.

Após a aplicação dos produtos na superfície das quatro soluções de ETICS selecionadas (figura 15A), os provetes foram ensaiados de acordo com a metodologia

descrita na secção 2.2.2, procurando avaliar-se o desempenho à água, a suscetibilidade à colonização biológica e algumas propriedades físicas e óticas superficiais. De referir, que os produtos aplicados garantem normalmente uma maior resistência às variações higrótérmicas e aos raios solares (nomeadamente, raios UV).

Foi realizado, ainda, um estudo dirigido à análise da eficiência da fotocatalíse e, portanto, à eficácia da autolimpeza dos produtos aplicados. A fotocatalíse é um processo físico-químico que induz a formação de radicais livres quando aditivos com essas propriedades (como as nanopartículas de óxido de titânio) são expostos à radiação solar, mais especificamente aos raios UV. Estes radicais podem induzir a fotodegradação de poluentes, sujidade, biocolonizadores ou partículas atmosféricas que se depositam na superfície. Este ensaio, baseado na norma UNI 11259 [32], consiste na aplicação na superfície dos provetes de uma solução aquosa com rodamina (figura 15B), um pigmento fotossensível à ação dos raios UVA. A eficiência fotocatalítica dos produtos de proteção é avaliada de acordo com o tempo necessário para o desaparecimento deste pigmento da superfície ensaiada, após exposição no exterior ou em ambiente controlado aos UVA.

Nesta fase do estudo avaliou-se também a durabilidade dos sistemas com os produtos de proteção aplicados (figura 15C), através da realização de ciclos de envelhecimento artificial acelerados (vd. secção 2.3 e figura 12).

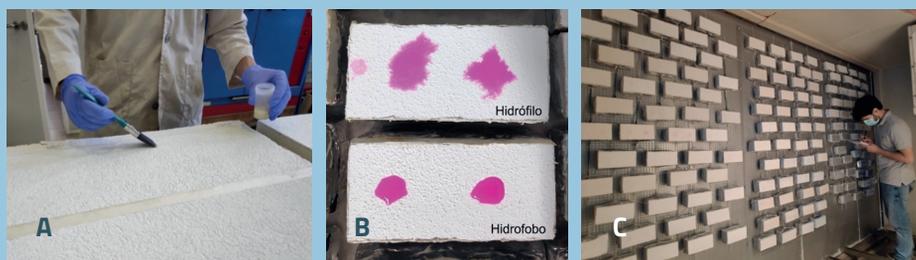


Figura 15. Aplicação de tinta com características multifuncionais (A); comparação entre propriedades hidrófilas e hidrófugas de superfície com produtos de proteção após aplicação da rodamina (B); análise de provetes após o ensaio de envelhecimento artificial acelerado com ciclos higrótérmicos (C).

Os resultados evidenciaram que o produto fotocatalítico NS induz um leve amarelecimento da superfície, enquanto a tinta multifuncional (AQ) providencia uma tonalidade mais branca. Após os ciclos higrótérmicos notou-se um escurecimento e amarelecimento da superfície dos provetes, sobretudo naqueles com ICB ou MW como isolante térmico. No entanto, após exposição aos ciclos UV,

ocorreu um ligeiro branqueamento da superfície nos sistemas com os produtos NS e AQ aplicados, provavelmente devido à ativação dos aditivos fotocatalíticos. Nas soluções com o produto hidrófugo aplicado (HW), notou-se um escurecimento da superfície após os ciclos higrótérmicos que não é recuperado após exposição aos UV. De notar, ainda, que os ciclos de envelhecimento artificial acelerado provocam um aumento generalizado do brilho superficial, sendo o provete A (com acabamento acrílico mais liso) o que apresenta maior incremento do brilho após envelhecimento [33].

A aplicação dos produtos de proteção não afetou consideravelmente a rugosidade superficial dos provetes, sendo que o envelhecimento com ciclos higrótérmicos causou um alisamento da superfície devido à lixiviação e abrasão superficial potenciada pelos agentes de degradação.

Relativamente à absorção de água por capilaridade, este valor não se alterou significativamente após a aplicação dos produtos de proteção nos sistemas com acabamentos acrílicos (A e B) e com tinta de silicato (D) de base. No caso do sistema com acabamento à base de cal (B), a aplicação dos produtos AQ e HW contribuiu para uma redução significativa da absorção de água por capilaridade do sistema, enquanto a aplicação do produto NS (com propriedades hidrófilas) não provocou uma diferença significativa nos níveis de absorção capilar. Após os ciclos de envelhecimento artificial acelerado, as propriedades hidrófugas dos sistemas aumentaram, possivelmente devido à lixiviação e obstrução dos poros da camada de base e de acabamento.

No ensaio de fotocatalise verificou-se inicialmente que os produtos com características fotocatalíticas conseguem remover as manchas de rodamina com alguma eficácia (figuras 16A e 16B). No entanto, as propriedades de autolimpeza são alteradas após os ensaios de envelhecimento artificial acelerado, sobretudo no caso dos ciclos higrótérmicos. O produto NS demonstrou uma maior eficácia na autolimpeza do que os produtos AQ e HW, principalmente quando aplicado nos sistemas com acabamento acrílico (A e C) e à base de silicato (D). Porém, este produto (NS) apresentou também um maior desgaste após os ciclos higrótérmicos, demonstrando assim menor durabilidade. Por fim, verificou-se que os ciclos de envelhecimento com UV e SO_2 não afetam significativamente a eficácia fotocatalítica dos produtos.

Os resultados dos ensaios de suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores realizados nos ETICS com os produtos de proteção aplicados indicaram traços de crescimento (< 10% de crescimento na superfície dos provetes) em todos os provetes, agravando o desempenho dos sistemas originais. No entanto, os resultados foram significativamente superiores após envelhecimento artificial acelerado com ciclos higrótérmicos, registando-se crescimento leve (entre 10 e 30% de crescimento na superfície dos provetes) a crescimento moderado (entre 30 e 60% de crescimento na superfície dos provetes) de

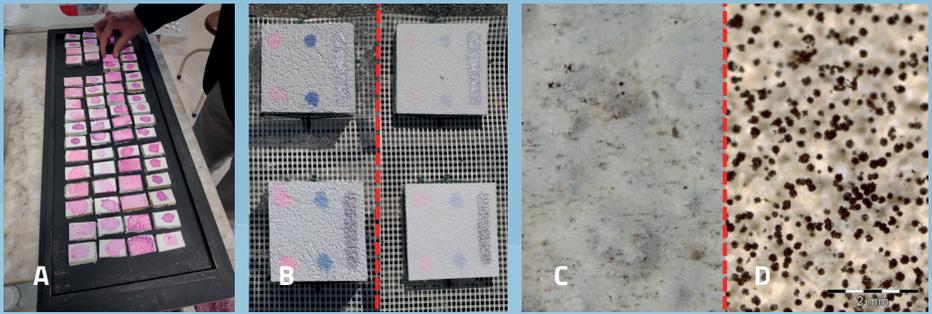


Figura 16. Ensaio de fotocatalise em condições laboratoriais com lâmpada UVA (A); realizado com exposição dos provetes no exterior (estado inicial à esquerda, e após 4 dias de exposição solar à direita) (B); colonização biológica no sistema com acabamento acrílico com o produto NS aplicado (C) e no sistema com acabamento de cal com produto NS aplicado (D).

bolores nos ETICS. O maior grau de desenvolvimento de bolores foi obtido para o provete com acabamento à base de cal e com o produto NS aplicado, registando-se crescimento considerável (> 60% de crescimento na superfície dos provetes) neste caso (figura 16D).

Análises adicionais, nomeadamente por espectroscopia de infravermelho (FTIR) e microscopia eletrónica (SEM), confirmaram que o envelhecimento artificial das amostras provoca uma solubilização de carbonatos (i.e., na camada de base ou de acabamento) dos sistemas, verificando-se uma maior absorção no caso daqueles com acabamento de cal, relativamente aos sistemas com acabamento acrílico. De facto, os polímeros acrílicos dos dois sistemas estudados sofreram uma leve degradação microestrutural com os ciclos de envelhecimento, enquanto o sistema com acabamento à base de silicato e aqueles com o produto AQ aplicado mantiveram um bom desempenho e durabilidade.

Os ensaios também evidenciaram que o produto fotocatalítico NS não forma uma película uniforme e contínua na superfície, principalmente no caso do sistema com acabamento de cal, onde se detetou microfissuração a nível microscópico e uma possível incompatibilidade do produto ao suporte. O produto AQ apresentou-se mais homogeneamente distribuído, com elevada estabilidade após envelhecimento artificial acelerado. A nível microestrutural, o produto hidrófugo HW exibiu uma boa resistência e durabilidade, apesar de ter apresentado alguma fissuração aquando da aplicação, principalmente no sistema com acabamento de cal. De notar, ainda, que o sistema com acabamento de silicato já tinha apresentado resultados satisfatórios sem os produtos de proteção aplicados, demonstrando um bom desempenho e durabilidade.

O produto de autolimpeza NS demonstrou uma elevada fotocatalise inicial, que diminui significativamente após ciclos higrótérmicos; este produto ficou bastante afetado na sua microestrutura após envelhecimento. Os produtos HW (hidrófugo) e AQ (multifuncional) demonstraram ser menos eficazes na autolimpeza, mas apresentaram maior durabilidade (i.e., melhor desempenho após ciclos de envelhecimento artificial acelerado). Adicionalmente, o produto NS apresentou uma elevada suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores após envelhecimento, sendo aquele produto multifuncional AQ o que apresentou o melhor desempenho neste aspeto.

Pode concluir-se que os produtos multifuncionais geralmente não induzem alterações significativas de cor e de brilho. No entanto, o brilho dos acabamentos acrílicos pode aumentar após ciclos de envelhecimento artificial, bem como haver uma alteração das propriedades cromáticas dos provetes com o produto NS aplicado (produto fotocatalítico). A aplicação e o envelhecimento dos produtos de proteção em ETICS geralmente contribuem para uma diminuição da absorção de água por capilaridade dos sistemas.

3.2. PRODUTOS ANTI-GRAFFITI

No que se refere à eficácia de aplicação de produtos anti-*graffiti* nos ETICS como estratégia alternativa à remoção de *graffiti* com produtos químicos e métodos tradicionais (i.e., escovagem e jato de água a alta pressão), foram ensaiados três produtos anti-*graffiti* de diferentes tipologias, nomeadamente, um produto sacrificial (solução aquosa com cera e álcoois etoxilados, que deve apenas ser utilizada num processo único de remoção de *graffiti*), outro semipermanente (solução aquosa com nanopartículas de sílica, que permite duas a três ações de remoção de *graffiti*) e um permanente (solução à base de polímeros de poliorganosiloxanos e solventes, que resiste a numerosas ações de remoção de *graffiti*). Os três produtos selecionados foram aplicados em quatro sistemas diferentes ETICS (os mesmos avaliados na Secção 2.4.1).

Com base nos ensaios efetuados, verificou-se que os produtos anti-*graffiti* alteram as propriedades hídricas das superfícies dos ETICS, assim como, embora ligeiramente, as suas características estéticas e superficiais (cor, brilho e rugosidade). Os produtos anti-*graffiti* (semi-permanente e permanente) provocaram uma redução da absorção de água pelas superfícies e aumentaram a sua resistência à secagem. Todavia, aqueles produtos mostraram-se bastante eficazes, na medida em que facilitaram a remoção das tintas de aerossol, sobretudo da tinta azul. Neste caso, foi usado como método de remoção das tintas de *spray* uma máquina com escova e vapor de água a baixa pressão.

Este método de remoção provocou ligeiras modificações nas superfícies dos ETICS, nomeadamente uma suavização e moderada lixiviação dos materiais que constituem as camadas de acabamento, sobretudo nos provetes com acabamentos à base de cal e de silicato.

O método de limpeza (figura 17) revelou-se pouco invasivo, isto é, promoveu apenas um leve desgaste e/ou erosão das superfícies, sendo mais promissor comparativamente aos resultados alcançados com os removedores químicos estudados. Assim, o método utilizado consistiu numa combinação de escovagem e utilização de jato de água a baixa pressão (3 bar) por 10 segundos, repetindo o processo até 6 vezes, alternando ortogonalmente a posição do provete de duas em duas passagens. Nos casos em que ocorreu uma maior dificuldade na remoção do *graffiti*, utilizou-se uma escovagem manual adicional com 10 movimentos circulares no sentido horário.

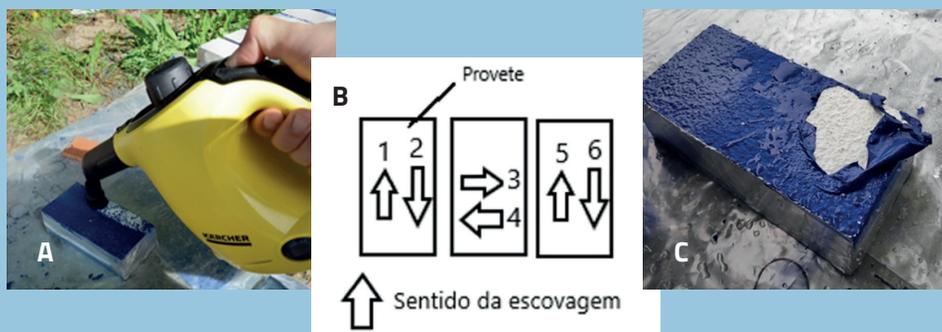


Figura 17. Método de remoção de *graffiti* com aplicação de vapor de água a baixa pressão (A); metodologia adotada no processo de remoção (B); remoção da tinta azul em provetes com acabamento acrílico e com produto anti-*graffiti* permanente (C).

Os melhores resultados foram obtidos nos ETICS com camadas de acabamento acrílico e onde foi aplicado o *graffiti* azul (vd. Secção 2.2.2). No entanto, o *graffiti* prateado foi mais facilmente removido nos sistemas com acabamentos à base de cal e de silicato.

Adicionalmente, o anti-*graffiti* de caráter permanente revelou-se pouco compatível com os ETICS com acabamento final de cal ou de silicato, mas compatível com os acrílicos. Por sua vez, o produto anti-*graffiti* sacrificial revelou-se pouco eficaz na remoção das tintas de *spray* estudadas.

4. RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS

Nesta secção apresentam-se algumas recomendações técnicas para um melhor desempenho do sistema ETICS ao longo do tempo, bem como para um aumento da sua vida útil.

COMPORTAMENTO À ÁGUA

A água foi identificada anteriormente e ao longo do projeto WGB como o principal agente de degradação dos sistemas ETICS. Assim, a camada de acabamento do sistema deverá possuir um bom desempenho à água, garantindo uma baixa absorção de água por capilaridade e uma permeabilidade ao vapor de água relativamente elevada, por forma a garantir uma boa capacidade de secagem do sistema, evitando condensações nas camadas constituintes, e também que a água atinja a camada de isolamento térmico.

Considerando os requisitos já existentes no guia europeu EAD 040083-00-0404 [5], as recomendações do LNEC [29] e os resultados obtidos no presente estudo, considera-se que os sistemas apresentem uma absorção de água por capilaridade, medida após 1 h de ensaio, inferior a 1 kg/m^2 . No caso de sistemas com lâ mineral como isolante térmico, em que foi identificado um aumento considerável da condutibilidade térmica com o aumento do teor de água, o critério da absorção de água por capilaridade à 1 h de ensaio deve ser ainda mais exigente, recomendando-se que esta não exceda $0,5 \text{ kg/m}^2$.

Deverá também existir uma compensação entre a absorção de água por capilaridade e a permeabilidade ao vapor de água, ou seja, um sistema que apresente maior absorção de água por capilaridade deverá possuir também uma maior permeabilidade ao vapor de água, para evitar a possível ocorrência de condensações intersticiais que favoreçam, por exemplo, o aparecimento de empolamentos na camada de acabamento por perdas de aderência localizadas e a redução da resistência térmica do sistema. De acordo com o especificado no guia europeu, a espessura da camada de ar de difusão equivalente do revestimento (conjunto da camada de base e de acabamento) não deverá ser superior a 2 m para os sistemas em que o isolante térmico utilizado é um plástico

celular (i.e., EPS) ou a 1 m para os sistemas em que o isolante térmico é uma lâ mineral. Recomenda-se a adoção deste último valor para sistemas em que o isolante térmico é um material de base orgânica (i.e., aglomerado de cortiça expandida – ICB).

A utilização de soluções de proteção na camada de acabamento de sistemas ETICS para a sua reparação deverá ter sempre em conta a importância de uma boa compatibilidade entre os componentes do sistema para um aumento da eficiência e da durabilidade do conjunto.

COLONIZAÇÃO BIOLÓGICA

Para evitar fenómenos de colonização biológica em ETICS, recomenda-se fortemente que se opte por opções arquitetónicas e/ou construtivas que permitam uma diminuição da quantidade de água que escorre ao longo das fachadas, como sejam os perfis de parapeito e capeamentos com pingadeiras.

Sugere-se também a utilização de biocidas na camada de acabamento do sistema. Uma vez que a utilização destes produtos não garante o bom desempenho a longo prazo, enumera-se, de seguida, um conjunto de fatores que pode contribuir para minimizar o risco de colonização biológica na superfície dos sistemas e que se focam, fundamentalmente, no comportamento higrotérmico dos ETICS. Assim, os sistemas devem possuir: uma baixa absorção de água por capilaridade; um processo de secagem relativamente rápido das camadas superficiais, garantindo que o teor de água na superfície não permaneça elevado durante longos períodos de tempo; e um menor risco de fenómenos de condensações superficiais.

Para além disso, deverá garantir-se um bom desempenho das camadas de revestimento ao desenvolvimento de bolores, sendo este fator essencial para prevenir fenómenos de colonização biológica na camada de isolamento térmico (que apresenta maior bio-suscetibilidade) e, conseqüentemente, em todo o sistema. Assim, a camada de isolamento térmico não deverá, em caso algum, ficar exposta ao meio ambiente.

Para eliminação de manchas de colonização biológica, recomenda-se uma limpeza da superfície do sistema utilizando água a baixa pressão. Posteriormente, propõe-se a aplicação de um produto biocida sobre o revestimento e/ou a aplicação de uma nova camada de acabamento com biocida, caso esta seja danificada pela limpeza a baixa pressão.

GRAFFITI

No que se refere aos *graffiti* efetuados com tintas de *spray*, os mesmos devem ser removidos o mais rápido possível após a sua execução, de forma a diminuir danos sobre os sistemas e limitar custos; acresce que não existem métodos universais para uma remoção eficaz do *graffiti*, sendo necessários testes preliminares de limpeza (áreas de teste) e conhecimento dos sistemas a serem

intervencionados e da composição do *graffiti* a ser removido; devem ser avaliados os métodos menos invasivos (i.e., a aplicação de vapor de água a baixa pressão), evitando o uso de produtos químicos altamente ácidos ou básicos que podem degradar o sistema, bem como de jato de água a elevada pressão e temperatura.

No que se refere aos produtos de proteção anti-*graffiti* há igualmente que efetuar uma escolha criteriosa e equacionar a mais-valia da sua aplicação, uma vez que estes podem ser nocivos para as superfícies dos ETICS e afetar a durabilidade dos sistemas; estes produtos, quando aplicados previamente nas superfícies, permitem uma melhor remoção do *graffiti*, mas devem ser quimicamente compatíveis com os sistemas.

RESISTÊNCIA MECÂNICA

Deve ser tido em conta que os ETICS possuem, em geral, uma resistência mecânica aos choques inferior à dos revestimentos tradicionais. A aplicação de ETICS pode ser realizada em zonas muito expostas ao choque, desde que o sistema apresente a melhor categoria ao choque (Categoria I). Normalmente, nestas zonas, para conseguir a categoria referida, é necessária a utilização de uma segunda rede de fibra de vidro, reforçada, ou a aplicação de uma maior espessura do revestimento, ou, ainda, a utilização de um acabamento mais resistente ao choque, como no caso dos ladrilhos cerâmicos.

SOLUÇÕES DE PROTEÇÃO

As análises ambientais e económicas de ETICS e de soluções de proteção ainda são escassas devido à ausência de informação relevante, sendo os fabricantes obrigados a declarar apenas a eventual presença de aditivos biocidas, mas nem sempre indicando a formulação química dos componentes principais. Em alguns casos, as composições aproximadas dos produtos podem ser também consultadas nas fichas técnicas e de segurança dos materiais. Recomenda-se, por isso, o aumento do desenvolvimento de Declarações Ambientais de Produto (DAP) dos componentes individuais e dos sistemas ETICS pelos respetivos produtores. A DAP é requerida (quando disponível) pelo Regulamento dos Produtos da Construção (RPC) para a avaliação da utilização sustentável de recursos e do impacto no ambiente das obras de construção.

EXECUÇÃO

A aplicação é um processo crítico no desempenho e durabilidade dos ETICS, em particular a execução de detalhes construtivos em pontos singulares da fachada, por mão-de-obra qualificada; por exemplo, recomenda-se a aplicação de áreas de colagem bem distribuídas e suficientes para garantir uma adequada resistência de aderência ao suporte, com argamassa de ligantes mistos adequada e fixações



complementares em zonas mais expostas e em altura; como referido, os pormenores construtivos e a utilização adequada de elementos auxiliares, tais como perfis de parapeito, de platibanda, entre outros, são, também, aspetos essenciais para reduzir as escorrências de água da chuva e, conseqüentemente, fenómenos de colonização biológica.

MANUTENÇÃO

Os ETICS necessitam de planos de manutenção preventiva, definidos na fase de conceção, com indicação das necessidades de manutenção específicas para as condições reais de utilização, como por exemplo em ambiente urbano mais agressivo (frequentes ações de choque e de *graffiti* vândalos; poluição atmosférica significativa).

Devem ser preconizadas inspeções periódicas aos paramentos com ETICS para a avaliação de alterações da superfície ao longo do tempo (i.e., observação de microfissuração e mossas). As anomalias devem ser reparadas logo que possível, pois a entrada de água nestes sistemas afeta o desempenho térmico (quando atinge a camada isolante térmico) e conseqüente durabilidade do sistema.

As soluções de proteção devem ser incluídas em planos de manutenção, tendo em conta também a vida útil destas soluções e a sua facilidade e compatibilidade numa reaplicação (i.e., evitando a redução da capacidade de secagem da camada de revestimento); o uso de tintas e produtos multifuncionais que garantam propriedades hidrófugas, biocidas e fotocatalíticas pode contribuir para aumentar a vida útil dos sistemas ETICS, minimizando a retenção de água, fenómenos de colonização biológica, ou mesmo a acumulação de sujidade ou poluentes na superfície dos sistemas.

Bibliografia

- [1] United Nations, 2015. "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development", A/RES/70/1, United Nations.
- [2] Parracha, J.L.; Borsoi, G.; Flores-Colen, I.; Veiga, R.; Nunes, L.; Dionísio, A.; Gomes, M.G.; Faria, P., 2021. "Performance parameters of ETICS: Correlating water resistance, bio-susceptibility and surface properties", *Construction and Building Materials* 272, 121956.
- [3] Luján, S.V.; Arrebola, C.V.; Sánchez, A.R.; Benito, P.A.; Cortina, M.G., 2019. "Experimental comparative study of the thermal performance of the façade of a building refurbished using ETICS, and quantification of improvements", *Sustainable Cities and Society* 51, 101713.
- [4] Pasker, R., 2015. "The European ETICS market – Facts & figures", European Association for External Thermal Insulation Composite Systems.
- [5] EOTA (European Organisation for Technical Approvals), 2020. "EAD 040083-00-0404: External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering", Guideline for Technical Approval.
- [6] Mandilaras, I.; Atsonios, I.; Zannis, G., Founti, M., 2014. "Thermal performance of a building envelope incorporating ETICS with vacuum insulation panels and EPS", *Energy and Buildings* 85, 654-665.
- [7] Ucar, A.; Balo, F., "Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls", *Renewable Energy* 35, 88-94.
- [8] Parracha, J.L.; Borsoi, G.; Veiga, R.; Flores-Colen, I.; Nunes, L.; Garcia, A.R.; Ilharco, L.M.; Dionísio, A.; Faria, P., 2021. "Effects of hygrothermal, UV and SO2 accelerated ageing on the durability of ETICS in urban environments", *Building and Environment* 204, 108151.
- [9] Amaro, B.; Saraiva, D.; de Brito, J.; Flores-Colen, I., 2013. "Inspection and diagnosis system of ETICS on walls", *Construction and Building Materials* 47, 1257-1267.

- [10] Amaro, B.; Saraiva, D.; de Brito, J.; Flores-Colen, I., 2014. "Statistical survey of the pathology, diagnosis and rehabilitation of ETICS in walls", *Journal of Civil Engineering and Management* 20, 511-526.
- [11] Barreira, E.; de Freitas, V.P., 2013. "Experimental study of the hygrothermal behaviour of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS)", *Building and Environment* 63, 31-39.
- [12] Parracha, J.L.; Nunes, L.; Gonçalves, F.; Pereira, J.; Borsoi, G.; Flores-Colen, I.; Gomes, M.G.; Deus, R.; Veiga, R., 2021. "Mould growth on ETICS: theoretical indices vs in situ observations", *CEES 2021 – International Conference – Construction, Energy, Environment & Sustainability*, 1-6.
- [13] Johansson, S.; Wadsö, L.; Sandin, K., 2010. "Estimation of mould growth levels on rendered façades based on surface relative humidity and surface temperature measurements", *Building and Environment* 45, 1153-1160.
- [14] Gonçalves, M.; Simões, N.; Serra, C.; Almeida, J.; Flores-Colen, I.; Vieira de Castro, N.; Duarte, L., 2021. "Onsite monitoring of ETICS comparing different exposure conditions and insulation properties", *Journal of Building Engineering* 42, 103067.
- [15] Kvande, T.; Bakken, N.; Bergheim, E.; Thue, J.V., 2018. "Durability of ETICS with rendering in Norway – experimental and field investigations", *Buildings* 8 (7).
- [16] Daniotti, B.; Paolini, R., 2008. "Experimental programme to assess ETICS cladding durability", *11 DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components*.
- [17] Francke, B.; Zamorowska, R., 2020. "Resistance of external thermal insulation composite systems with rendering (ETICS) to hail", *Materials* 13, 11.
- [18] Steinbauer, V.; Kaufmann, J.; Zurbriggen, R.; Bühler, T.; Herwegh, M., 2017. "Tracing hail stone impact on external thermal insulation composite systems (ETICS) – An evaluation of standard admission impact tests by means of high-speed-camera recordings", *International Journal of Impact Engineering* 109, 354-365.
- [19] CEN – Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using data from reaction to fire tests. EN 13501-1:2018.
- [20] Alteração ao Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (SCIE), aprovado pela Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 107/2020 de 2 de junho e pela Portaria n.º 135/2020. Lisboa, Diário da República, 2 de junho de 2020.
- [21] Veiga, M. R. e Malanho, S., Regras para a Concessão de uma Aprovação Técnica Europeia (ETA) de Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS). Lisboa: LNEC, janeiro de 2010. Relatório 1/2010 – NRI.

- [22] Malanho, S. e Veiga, R., Resistência ao choque de fachadas com ETICS: a influência do isolante, *Construção Magazine*, Novembro/Dezembro (2021) 4-7.
- [23] CEN, 2013. "Conservation of cultural heritage – Test methods – Determination of drying properties", EN 16322, European Standard, Brussels, Belgium.
- [24] ASTM, 2014. "Standard test method for thermal conductivity of plastic by means of transient line-source technique", ASTM D5930-09, ASTM International, Pennsylvania, USA.
- [25] ASTM, 2017. "Determining the resistance of paint films and related coatings to fungal defacement by accelerated four-week agar plate assay", ASTM D5590-17, ASTM International, Pennsylvania, USA.
- [26] ASTM, 2019. "Standard test method for determining fungi resistance of insulation materials and facings", ASTM C1338-19, ASTM International, Pennsylvania, USA.
- [27] Malanho, S., Veiga, R., Brazão Farinha, C., Global performance of sustainable thermal insulating systems with cork for building facades, *Buildings*, 11(3) (2021) 83, <https://doi.org/10.3390/buildings11030083>.
- [28] Malanho, S. e Veiga, M. R., Bond strength between layers of ETICS – Influence of the characteristics of mortars and insulation materials, *Journal of Building Engineering*, 28 (2019) 101021.
- [29] Feltes, J.; Borsoi, G.; Caiado, P.; Dionísio, A.; Parracha, J.; Flores-Colen, I., Graffiti removal on external thermal insulation composite systems through chemical-mechanical methods: A feasible protocol?, *Journal of Building Engineering*, 66 (2023) 105872.
- [30] Parracha, J.L.; Borsoi, G.; Veiga, R.; Flores-Colen, I.; Nunes, L.; Viegas, C.A.; Moreira, L.M.; Dionísio, A.; Gomes, M.G.; Faria, P., Durability assessment of external thermal insulation composite systems in urban and maritime environments, *Science of The Total Environment*, 849 (2022) 157828.
- [31] ISO 16474-3, 2013. "Paints and varnishes – Methods of exposure to laboratory light sources – Part 3, Fluorescent UV lamps, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [32] UNI – Determination of the Photocatalytic Activity of Hydraulic Binders – Rhodamine Method. UNI 11259:2008.
- [33] Silva, A.S.; Borsoi, G.; Parracha, J.L.; Flores-Colen, I.; Veiga, R.; Faria, P.; Dionísio, A., Evaluating the effectiveness of self-cleaning products applied on external thermal insulation composite systems (ETICS), *Journal of Coatings Technology and Research*, 19 (2022) 1437-1448.

Agradecimentos

À FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia o financiamento no âmbito do projeto WGB_Shield (PTDC/ECI-EGC/30681/2017), das unidades de investigação envolvidas: CERIS – Investigação e Inovação em Engenharia Civil para a Sustentabilidade (UIDB/04625/2020), CERENA – Centro de Recursos Naturais e Ambiente (UIDB/04028/2020), e iBB – *Institute for Bioengineering and Biosciences* (UIDB/04565/2020 e UIDP/04565/2020) e da bolsa de doutoramento DFA/BD/5180/2020 (João Parracha).

Aos alunos que realizaram dissertações de mestrado em Engenharia Civil no Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos (DECivil) do Instituto Superior Técnico (IST) no âmbito deste projeto: Quinten De Cooman, Pedro Caiado, Júlio Feltes, Pedro Pedroso, Renata Roncon, Ana Sofia Silva, Francisco Gonçalves e Bernardo Gil.

Ao CERIS a edição desta publicação.

Ao LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil e à FUNDEC – Associação para a Formação e o desenvolvimento em Engenharia Civil e Arquitetura, o apoio logístico na realização do seminário final e das duas ações de formação para profissionais.

À GEBALIS – Gestão do Arrendamento da Habitação Municipal de Lisboa e ao IST pelo acesso aos casos de estudo.

Às empresas CIN, Secil e Saint-Gobain pelo fornecimento dos ETICS para a realização dos ensaios e às empresas Robbialac, Sika, Saint-Gobain, Horto do Campo Grande, Borges da Silva pelo fornecimento de soluções de proteção (hidrófugos, multifuncionais e *anti-graffiti*).

Às empresas que patrocinaram o seminário final do projeto (CIN, Termolan, Lena, Viero, Puma, Sika e Secil).

Aos colegas que permitiram a realização de ensaios: Ricardo Leite do Instituto Gulbenkian de Ciência; Luís Valente (em póstumo) da ITISE – Equipamentos Técnicos de Precisão e Científicos; Leonilde Moreira do iBB, IST; Vítor Silva da FCT NOVA; e aos técnicos dos laboratórios do IST (Laboratórios de Construção e de Mineralogia e Petrologia) e do LNEC (Núcleos de Revestimentos e Isolamentos (NRI) do Departamento de Edifícios, Núcleo de Comportamento de Estruturas (NCE) do Departamento de Estruturas e Núcleo de Materiais Orgânicos (NMO) do Departamento de Materiais).

Por fim, a todos os envolvidos e interessados neste projeto.

Coordenação

Inês Flores-Colen
Rosário Veiga

João Luís Parracha
Giovanni Borsoi

Sofia Malanho

Contributos

Borsoi, G.

Gomes, M. G.

Silvestre, J. D.

Dionísio, A.

Malanho, S.

Veiga, R.

Faria, P.

Nunes, L.

Viegas, C.

Flores-Colen, I.

Parracha, J. L.

Vilhena, A.

Garcia, A. R.

Santos, L.

Devido à necessidade de minimizar o consumo energético e aumentar o conforto térmico, os sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento, do tipo **ETICS**, são uma solução cada vez mais frequente na construção e reabilitação de fachadas de edifícios em Portugal. O estudo do seu desempenho e durabilidade contribui não só para a definição de estratégias de manutenção mais sustentáveis durante o ciclo de vida das fachadas, mas também para uma maior eficiência do sistema ao longo do tempo. Nesta publicação sintetizam-se as principais conclusões do projeto **WGB_Shield** relativas ao desempenho e durabilidade dos **ETICS** e identificam-se algumas recomendações técnicas relacionadas com o aumento da vida útil destes sistemas.

FINANCIAMENTO

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia

IST TÉCNICO LISBOA

IST-ID
Associação do Instituto Superior Técnico para a Investigação e Desenvolvimento

INEC LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

ENTIDADES PARCEIRAS

UNIDADES DE INVESTIGAÇÃO

CERIS Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability

CERENA Centro de Recursos Naturais e Ambiente

OiBB Institute for Bioengineering and Biosciences

NOVA NOVA SCHOOL OF SCIENCE & TECHNOLOGY DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING