

*Pedra
& Cal*

Conservação & Reabilitação



**IV SIMPÓSIO
DE ARGAMASSAS
E SOLUÇÕES TÉRMICAS
DE REVESTIMENTO**

EDIÇÃO ESPECIAL

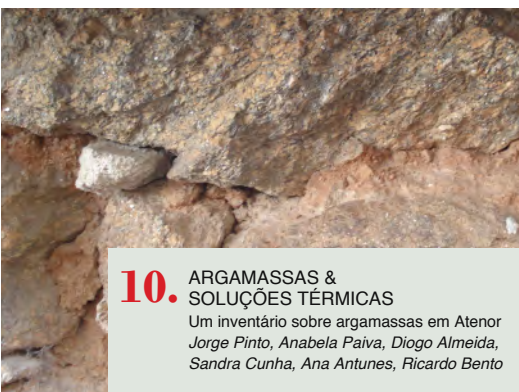
AOF

CONSERVAÇÃO
E RESTAURO DO
PATRIMÓNIO

REABILITAÇÃO DOS CARRILHÕES DAS TORRES SINEIRAS DO PALÁCIO NACIONAL DE MAFRA

www.aof.pt . geral@aof.pt





10. ARGAMASSAS & SOLUÇÕES TÉRMICAS

Um inventário sobre argamassas em Atenor Jorge Pinto, Anabela Paiva, Diogo Almeida, Sandra Cunha, Ana Antunes, Ricardo Bento



24. ARGAMASSAS & SOLUÇÕES TÉRMICAS

Argamassas com agregados reciclados de RCD submetidos a carbonatação forçada. Avaliação do seu comportamento em aplicações em suporte de tijolo
Ricardo Infante Gomes, Cinthia Maia Pederneiras, Catarina Brazão Farinha, Rosário Veiga, Jorge de Brito, Paulina Faria



30. ARGAMASSAS & SOLUÇÕES TÉRMICAS

Incorporação de resíduos resultantes da produção de aguardente vínica em argamassas. Estudo preliminar
Ana Briga-Sá, Vinicius de Brito, Jorge Pinto



52. PATRIMÓNIO EM REDE

DB-Heritage.
Um arquivo de materiais de construção com interesse histórico
Marluci Menezes, Maria João Correia, António Santos Silva

04 EDITORIAL

Inês Flores-Colen

06 ENTREVISTA

Um longo percurso de esforço conjunto em busca da qualidade no fabrico e aplicação de argamassas. À conversa com Carlos Duarte

10 ARGAMASSAS & SOLUÇÕES TÉRMICAS

Um inventário sobre argamassas em Atenor Jorge Pinto, Anabela Paiva, Diogo Almeida, Sandra Cunha, Ana Antunes, Ricardo Bento

14 Produção de argamassa à base de cal a partir da calcinação de lamas carbonatadas provenientes da indústria das rochas ornamentais

Antonio Azzalini, Paula Faria, Luís Lopes, Ruben Martins, Paulo Mourão, Vera Pires

19 Otimização numérica de argamassas de cal hidráulica industriais para reabilitação de edifícios

Carla Costa, Ana Filipa Prior, José Domingos Costa

24 Argamassas com agregados reciclados de RCD submetidos a carbonatação forçada. Avaliação do seu comportamento em aplicações em suporte de tijolo

Ricardo Infante Gomes, Cinthia Maia Pederneiras, Catarina Brazão Farinha, Rosário Veiga, Jorge de Brito, Paulina Faria

30 Incorporação de resíduos resultantes da produção de aguardente vínica em argamassas. Estudo preliminar

Ana Briga-Sá, Vinicius de Brito, Jorge Pinto

33 Avaliação da resistência à biocolonização e do desempenho à água de argamassas térmicas aplicadas em sistemas multicamada de isolamento térmico pelo exterior

João Luís Parracha, Rosário Veiga, Inês Flores-Colen, Lina Nunes

38 Avaliações adicionais à EN 12004 na caracterização de argamassas-cola

Vera Fernandes, Pedro Ferreira, Pedro Sequeira, Luís Silva

42 Introdução da radiação solar no ensaio de resistência aos ciclos higrótérmicos de ETICS

Nuno Simões, Márcio Gonçalves, Catarina Serra

46 IF Mortar. Argamassas laboratoriais versus argamassas em serviço

Isabel Torres, Inês Flores-Colen

49 PATRIMÓNIO EM REDE

A cal nas argamassas para alvenaria. Colaborações com a EuLA
João M. Pereira, Miguel Azenha, Paulo B. Lourenço

52 DB-Heritage. Um arquivo de materiais de construção com interesse histórico

Marluci Menezes, Maria João Correia, António Santos Silva

56 CENTRO DE DOCUMENTAÇÃO GECORPA / LIVRARIA

58 ESTUDOS & DOCUMENTOS

Conservação e reabilitação do património. Documento estratégico 2020-2030
Vasco Peixoto de Freitas, Inês Flores-Colen

59 VIDA ASSOCIATIVA

62 NOTÍCIAS

64 AGENDA

66 Associados GECORPA – Grémio do Património

67 Estatuto Editorial da Pedra & Cal

Pedra & Cal

Conservação e Reabilitação

N.º 72 | 1.º Semestre
Janeiro > Junho 2022

Pedra & Cal, Conservação e Reabilitação é reconhecida pelo Ministério da Cultura como publicação de manifesto interesse cultural, ao abrigo da Lei do Mecenato.

PROPRIETÁRIO

GECORPA – Grémio do Património



GECORPA
GRÉMIO DO PATRIMÓNIO
Instituição de utilidade pública
(despacho n.º 14926/2014 do D.R. 238/2014, 2.ª Série, de 2014-12-30)

www.gecorpa.pt | info@gecorpa.pt
www.pedraecal.org | revista@pedraecal.org

FUNDADOR Vitor Córias

DIRETORA Inês Flores-Colen

COORDENAÇÃO EDITORIAL Canto Redondo

CONSELHO EDITORIAL

Alexandra de Carvalho Antunes, André Teixeira, Catarina Valença Gonçalves, Clara Bertrand Cabral, Fátima Fonseca, João Appleton, João Mascarenhas Mateus, Jorge Correia, José Aguiar, José Maria Amador, José Maria Lobo de Carvalho, Luiz Oosterbeek, Maria Eunice Salavessa, Mário Mendonça de Oliveira, Miguel Brito Correia, Paulo Lourenço, Soraya Genin, Teresa de Campos Coelho

COLABORADORES Ana Antunes, Ana Briga-Sá, Ana Filipa Prior, Anabela Paiva, Antonio Azzalini, António Santos Silva, Carla Costa, Catarina Brazão Farinha, Catarina Serra, Cinthia Maia Pederneiras, Diogo Almeida, Inês Flores-Colen, Isabel Torres, João Luís Parracha, João M. Pereira, Jorge de Brito, Jorge Pinto, José Domingos Costa, Lina Nunes, Luís Lopes, Luís Silva, Márcio Gonçalves, Maria João Correia, Marluci Menezes, Miguel Azenha, Nuno Simões, Paula Faria, Paulina Faria, Paulo B. Lourenço, Paulo Mourão, Pedro Ferreira, Pedro Sequeira, Ricardo Bento, Ricardo Infante Gomes, Rosário Veiga, Ruben Martins, Sandra Cunha, Vasco Peixoto de Freitas, Vera Fernandes, Vera Pires, Vinicius de Brito

REDAÇÃO Daniel Gomes, Ângela Pereira

PAGINAÇÃO Joana Torgal

PRODUÇÃO EDITORIAL Canto Redondo

PUBLICIDADE GECORPA – Grémio do Património

SEDE DO EDITOR / REDAÇÃO
GECORPA – Grémio do Património
Rua Bernardim Ribeiro, 10 A
2700-111 Amadora
Tel.: +351 912 951 176

DEPÓSITO LEGAL 128444/00

REGISTO NA ERC 122549

ISSN 1645-4863

NIPC 503980820

Publicação Semestral

Os textos assinados, incluindo as imagens e as tabelas, são da exclusiva responsabilidade dos seus autores, pelo que as opiniões expressas podem não coincidir com as do GECORPA. É respeitada a ortografia adotada pelos autores.

CAPA: Degradação em parede revestida com argamassa pintada, em Ushuaia (Argentina). © Isabel Torres



Argamassas e soluções térmicas de revestimento

Inês Flores-Colen | Diretora da *Pedra & Cal*

Nesta edição da *Pedra & Cal* damos especial destaque ao IV Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento, que acontece nos dias 10 e 11 de março, em Coimbra, e é organizado pelo Itecons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade, e pela APFAC – Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção e ETICS.

Iniciamos com a entrevista ao engenheiro Carlos Duarte, o impulsionador deste

simpósio desde 2005, na qualidade de presidente da APFAC. Os artigos selecionados pela comissão organizadora, considerados relevantes para a temática da reabilitação do edificado, relacionam-se com a importância de um inventário e otimização de argamassas, a incorporação de resíduos ou subprodutos da indústria, o desempenho de argamassas térmicas e argamassas-cola e, ainda, metodologias de análise para o estudo das argamassas aplicadas e dos agentes e mecanismos de degradação em revestimentos.

Inauguramos também uma rubrica designada “Património em Rede”, na qual são apresentados exemplos nacionais e internacionais de colaboração entre várias entidades, instituições e associações. Damos também destaque ao 25.º aniversário do GECORPA, incluindo notícias, novos associados e iniciativas, bem como propostas do centro de documentação e livreria. Esperamos que gostem. Boas leituras! ■

Outras revistas sobre este tema:



Acesso à versão digital da *Pedra & Cal* 35



Acesso à versão digital da *Pedra & Cal* 61



GECORPA GRÉMIO DO PATRIMÓNIO

Instituição de utilidade pública
(despacho n.º 14926/2014 do D.R. 238/2014, 2.ª Série, de 2014-12-10)

Dez bons motivos para se tornar associado empresarial do GECORPA

1 – Experiência

Os associados têm a oportunidade de contactar com outras empresas e profissionais do segmento da reabilitação, e trocar experiências e conhecimentos úteis. O Grémio constitui, por essa razão, um fórum para discussão dos problemas do setor.

2 – Representatividade

O GECORPA – Grémio do Património garante uma maior eficácia na defesa dos interesses comuns e uma maior capacidade de diálogo nas relações com as entidades oficiais para melhor defesa da especificidade do setor.

3 – Concorrência Leal

O Grémio do Património bate-se pela sã concorrência entre os agentes que operam no mercado, defendendo a transparência, o preço justo e a não discriminação.

4 – Referência

Muitos donos de obra procuram junto do Grémio os seus fornecedores de serviços e produtos. Pertencer ao GECORPA – Grémio do Património constitui, desde logo, uma boa referência.

5 – Formação

Os sócios têm prioridade na participação e descontos na inscrição das ações de formação e divulgação promovidas pelo Grémio do Património.

6 – Informação

O GECORPA – Grémio do Património procede à recolha e divulgação de informação técnica sobre o tema da reabilitação, conservação e restauro do edificado e do Património.

7 – Gestão da Qualidade

O Grémio do Património proporciona apoio à implementação de sistemas de gestão da qualidade e à certificação, oferecendo aos sócios condições vantajosas.

8 – Publicações

Agora em formato digital e de distribuição gratuita, a *Pedra & Cal* é uma revista semestral editada pelo GECORPA há 24 anos, que tem como missão divulgar as boas práticas neste setor e evidenciar a necessidade de qualificação das empresas e profissionais.

9 – Publicidade e Marketing

O GECORPA – Grémio do Património distingue as empresas associadas em todas as suas atividades. Os sócios beneficiam de condições vantajosas na publicidade da *Pedra & Cal*, onde podem publicar notícias, estudos de caso e experiências da sua atividade.

10 – Presença na Internet

O sítio web da associação constitui um prestigiado centro de informação das atividades, soluções e serviços de cada associado na área da conservação e da reabilitação do património construído.

***Ajude a defender o Património do País:
as futuras gerações agradecem!
Pela salvaguarda do nosso Património: Adira ao GECORPA!***

Um longo percurso de esforço conjunto em busca da qualidade no fabrico e aplicação de argamassas

À conversa com Carlos Duarte

Carlos Duarte, engenheiro químico com um longo percurso profissional ligado às argamassas, esteve envolvido na organização do Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento desde a sua origem. Neste número especial da P&C, dedicado à quarta edição deste evento, fomos conversar um pouco com ele.



© Rodrigo Duarte

CARLOS DUARTE tem 79 anos. Viveu e estudou no Porto e em Coimbra, terminando o curso de Engenharia Químico-Industrial na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em 1968.

Depois de realizar os estágios profissionais, na República da Irlanda, foi convidado para assistente do curso de Engenharia Química da Universidade de Luanda, Angola.

Trabalhou no Estado (Universidade de Luanda, Instituto de Desenvolvimento Industrial de Angola, Complexo Agro-Industrial do Cachão, Gabinete da Área de Sines, diretor-geral da Indústria, Fábrica Escola Irmãos Stephens) e em empresas privadas (Renault Portuguesa, Cuf Têxteis e Grupo Secil).

Foi fundador do Clube Land Rover de Portugal e da APFAC – Associação Portuguesa de Fabricantes de Argamassas de Construção.

Atualmente, encontra-se reformado, exercendo atividades *pro bono*.

Pedra & Cal | Como surge a APFAC?

Carlos Duarte | A APFAC aparece em 2002 por iniciativa da Weber Saint-Gobain, que convidou um conjunto de empresas que atuavam no ramo das argamassas fabris e propôs a formação da Associação. Nessa altura, eu estava a trabalhar na Secil Martingança e fui como representante a essa reunião, que se realizou em Aveiro. A reunião teve um duplo interesse: deu origem à formação da Associação Portuguesa de Fabricantes de Argamassas de Construção e iniciou a integração na European Mortar Industry Organisation (EMO), que já existia desde os anos 90. Éramos sete ou oito empresas fabricantes de argamassas e constituímos essa associação. Logo criámos um grupo de trabalho para elaborar os estatutos e tratar das formalidades administrativas. Entretanto, fez-se também um levantamento de todas as empresas existentes no domínio das argamassas em Portugal. Umas já eram associadas, essas tais sete ou oito com que a associação foi iniciada, mais outras tantas que vieram depois a ser integradas.

O Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade é uma associação sem fins lucrativos, classificada como instituição de utilidade pública, que funciona como interface dinâmica do conhecimento entre a comunidade científica e a indústria, prestando serviços de investigação aplicada, ensaios, consultoria e formação nos domínios da construção, energia, ambiente e sustentabilidade. Dispõe de modernas instalações em Coimbra, adequadas à realização de trabalhos de investigação, serviços de ensaio, consultoria, formação e organização de eventos.

www.itecons.uc.pt

A Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS tem como missão promover as argamassas de construção e os ETICS junto de agentes económicos e instituições diversas, representando os associados, defendendo os seus interesses e os do setor, contribuindo para a manutenção dos níveis de qualidade exigidos pela Diretiva Europeia dos Produtos de Construção.

www.apfac.pt

Depois desse período de constituição da associação ocorreram as primeiras eleições. A Secil Martingança assumiu a presidência e designou-me como seu representante. Isso manteve-se durante quatro mandatos de três anos, ou seja, 12 anos, até que a Secil Martingança entendeu que a presidência deveria ser assumida por outra empresa. Depois de eleições, a Weber assumiu esse papel. Fiquei ainda a ajudar como secretário-geral, até 2017. Nessa altura, em que já só estava ligado à Secil como consultor, decidi reformar-me e também abandonei a associação. Foram cerca de 25 anos ligados à Secil e, consequentemente, às argamassas e outros produtos da construção.

A APFAC, apesar de manter a sigla, muda a sua designação?

Sim, por volta de 2006 ou 2007, apesar de já ser obrigatório na legislação portuguesa o uso dos isolamentos térmicos na construção, praticamente ninguém cumpria. E já havia empresas que se dedicavam, além das argamassas, a fazer produtos de isolamento que muitas vezes integram argamassas, como é o caso dos ETICS (sigla da designação inglesa “External Thermal Insulation Composite System”), que estavam a ser muito utilizados na Europa, e cá em Portugal também já tínhamos bastantes empresas a trabalhar com esses materiais. Devido à proximidade entre argamassas e algumas soluções térmicas, em 2010, alterámos a designação para incluir ETICS.

E quais as diferenças entre as argamassas? Há feitas em obra, feitas em fábrica...

Essa diferença é um dos temas que mais preocupa o setor. As empresas que fabricam argamassas têm grande concorrência das argamassas feitas em obra, infelizmente. Em muitas viagens que fiz a Alemanha, Áustria, França, etc., sempre que via argamassas

“
Foram cerca de
25 anos ligados à Secil
e, consequentemente,
às argamassas e outros
produtos da construção.

feitas em obra serem aplicadas, tirava logo fotografias para mostrar que não era só em Portugal que tal se fazia.

Portanto, fazer argamassas em obra não é recomendável.

Sim, e por uma razão muito simples: são mal feitas. É que cada fabrico é diferente do anterior, e o que se segue também vai ser diferente, porque não há controlo nenhum. Os componentes também não estão todos ensacados ou embalados. A própria areia fica normalmente exposta aos elementos e, muitas vezes, não é sequer pesada, é medida a olho. E isto, realmente, não faz sentido. No fabrico de argamassas usa-se, ainda, aditivos para proporcionar diversas propriedades, o que não é possível na preparação em obra. Atualmente, já há edifícios que integram nanotecnologias, coisas muito sofisticadas, e quando se chega ao tema das argamassas, frequentemente há pouco rigor.

Para evitar erros na sua elaboração, as argamassas fabris já vêm em pasta, prontas a usar?

Também há argamassas prontas a usar, para alguns tipos de aplicações, mas a maior parte é fornecida ensacada. Há também outra

alternativa mais corrente em grandes obras: o uso de silos. Em vez de virem ensacadas, são fornecidas a silos colocados na obra. De forma geral, podemos dizer que o silo é usado em construções novas, enquanto os sacos são usados em reconstrução ou reabilitação. Os silos também estão um pouco condicionados, só se usam para determinados tipos de argamassa. Por exemplo, no caso dos cimentos-cola que se usam para a aplicação de cerâmica, azulejo, etc., aí já não há silos: são usados produtos ensacados com determinadas características já consagradas para aquela aplicação.

A constituição da associação de fabricantes de argamassas não ocorre só por motivos de ganho de força com o associativismo, mas, precisamente, para melhorar a qualidade no fabrico e aplicação dos materiais. Foram as questões da normalização e da qualidade que deram sentido à criação desta associação.

Em paralelo, os fabricantes também tiveram a obrigação de desenvolver uma formação forte na área da qualidade com base numa diretiva que apareceu no final dos anos 90.

A preferência por argamassas de obra acontece porque este é um setor constituído ainda por pequenas empresas pouco especializadas, muitas vezes sem mão de obra qualificada, que não tem formação nem acesso a informação sobre materiais e produtos?

Esse é também um dos fatores. Além disso, é frequente cair-se no erro de pensar que as argamassas fabris são caras em comparação com as preparadas em estaleiro. Há edifícios que integram tecnologias de ponta, mas depois no campo das argamassas, aí, fazem-se cedências e preparam-se as argamassas em estaleiro, o que é contraproducente.

O mesmo problema surgiu, e ainda surge, com grande amplitude, no Brasil. Apercebemo-nos

disso quando fizemos o primeiro congresso em que recebemos profissionais do Brasil. Depois disso, passámos a fazer alternadamente a realização dos congressos APFAC em Portugal e SBTA (Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas) no Brasil, dinamizado pela ABAI (Associação Brasileira de Argamassa Industrializada), que é homóloga da APFAC.

O SBTA começou ainda nos anos 90 devido à vontade de uma professora da Universidade de São Paulo, Maria Alba Cincotto. Tive o gosto de a convidar a vir a Portugal para participar como oradora de referência no nosso primeiro congresso, em 2005. Na Secil Martingança chegámos até a fazer um filme para ajudar a perceber a diferença de qualidade entre as argamassas. Usando os estaleiros de obras importantes espalhadas pelo país, mostrávamos, por exemplo, a areia exposta à chuva ou, pior, a servir de latrina de cães e gatos. Um dos principais inimigos do objetivo de atingir uma melhor qualidade na construção e reabilitação é o recurso a argamassas feitas em obra.

De que forma a APFAC pode contribuir para uma melhor salvaguarda do património ou reabilitação do edificado existente?

Precisamente pelo facto de enfatizar o uso de argamassas fabris e a sua correta aplicação, e ajudar as empresas a integrar os melhores processos e as melhores normas. Isso traz enormes vantagens na durabilidade e integridade dos edifícios correntes e do património. Por exemplo, uma má argamassa ou aplicação pode dar origem a fissuras num edifício e permitir a entrada da humidade. Situações como essa são, por vezes, difíceis de corrigir. Algo também comum é a aplicação de camadas com espessura insuficiente. Basta andar pelas cidades e reparar nos “fantasmas” nas fachadas que permitem ver a própria estrutura.

“ Foram as questões da normalização e da qualidade que deram sentido à criação desta associação.” ”

Este fenómeno acontece menos com argamassas fabris porque nas instruções e na ficha técnica do produto vem especificada a espessura mínima, e se esta for respeitada pelo aplicador, já não aparecem os tais fantasmas.

Como surgiu a ideia de realizar o simpósio de argamassas? A quem se destina e qual a sua importância?

Antes de serem realizados os simpósios, surgem os congressos com o objetivo de aproximar a comunidade empresarial dos profissionais da área, e também envolver os investigadores e as universidades que estavam empenhadas em integrar as boas práticas na formação dos alunos de Engenharia e de Arquitetura. Assim, tínhamos uma forma de envolver e sensibilizar todos para a missão principal da APFAC: melhorar a qualidade das argamassas. As argamassas são algo usado desde há muito na construção, e era fulcral dar a conhecer a todos a importância deste material tradicional que continua a ser basilar e beneficia de inovações que o otimizam e lhe conferem a possibilidade de inúmeras aplicações. E isso só é possível com o rigor e com os benefícios dos desenvolvimentos e da

aplicação de normas que encontramos nas argamassas feitas em fábrica. Depois do quarto congresso, apercebemo-nos de que existiam imensos congressos na área da construção e que, para mantermos a relevância, era necessário simplificar o formato dos nossos eventos, surgindo assim a ideia de passarmos a realizar simpósios.

Pode fazer uma breve síntese dos congressos já realizados?

Nestes últimos 17 anos realizaram-se oito eventos, ou melhor, está quase a realizar-se o oitavo, que será nos dias 10 e 11 de março. Em 2020, por causa da pandemia, adiou-se o simpósio. Os dois primeiros congressos foram realizados na FIL, no Parque das Nações. O terceiro congresso foi no auditório do LNEC. Entretanto, realizámos o quarto congresso em Coimbra por interesse do Itecons, que tinha surgido em 2006 e do qual nos fomos aproximando. Esse quarto congresso até já integrava ETICS no seu nome – Congresso Português de Argamassas e ETICS – e foi realizado com a colaboração do Itecons. Depois disso, abandonou-se o formato de congresso e realizaram-se três simpósios de argamassas, e em breve decorrerá o quarto.

Porque passou o simpósio a ser organizado pelo Itecons?

O Itecons tem uma grande experiência. E tem um departamento dedicado, desde a sua génese, à questão das argamassas e dos tratamentos térmicos e de outras áreas ligadas aos materiais e à construção. Desenvolveu-se imenso, além de ser também interveniente noutros domínios, como a mecânica,

1 | | Simpósio realizado em maio de 2014 no Itecons, em Coimbra.



a eletrotécnica, a química e até a acústica. O Itecons é um ator importantíssimo na área das engenharias. Assim, juntando a essa capacidade e congregação de conhecimento o desejo que o Itecons manifestou em continuar a organizar os simpósios, a APFAC passou esse testemunho, ficando sempre disponível para participar na organização.

Agora que está reformado, qual a sua ligação à área das argamassas?

Desde 2015, passei a estar um pouco desligado. Exatamente nesse ano realizou-se em Portugal a Cimeira Europeia de Argamassas e Soluções Térmicas, que acontecia de dois em dois anos. Já tinha sido realizada em Paris em 2011, e depois em Barcelona, em 2013. Na cimeira realizada em Portugal houve mais de 200 participantes, com sessões paralelas e plenárias. Realizou-se em Lisboa, em 2015, quando

eu estava a assumir o cargo de presidente da EMO. Foi uma espécie de despedida para mim. A partir daí, com exceção do facto de estar a acompanhar o Itecons na organização dos simpósios, deixei de ter uma relação diária ou semanal com o tema das argamassas, dos ETICS e das soluções térmicas com a intensidade dos anos anteriores. Agora que estou reformado, dedico mais tempo a outros interesses.

Já há ideias para o quinto simpósio? Alguém coisa que possa ser revelada?

É costume na sessão de encerramento de um simpósio anunciar-se o seguinte. Certamente será em Coimbra, onde o Itecons tem um bom auditório. E, certamente também, será um evento híbrido, para permitir que mais participantes assistam à distância quando não se podem deslocar ou pretendem fazer economias ■

Artigos de Carlos Duarte publicados em anteriores edições da Pedra & Cal

Pedra & Cal, n.º 10 (2001), p. 32-34
Cal Hidráulica: um pouco da sua História
Carlos M. Duarte, José A. Alvarez

Pedra & Cal, n.º 32 (2006), p. 44-45
Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção.
2.º Congresso Nacional de Argamassas de Construção em preparação
Carlos M. Duarte

OS CONGRESSOS E SIMPÓSIOS EM NÚMEROS

Designação	1.º Congresso Nacional de Argamassas de Construção	2.º Congresso Nacional de Argamassas de Construção	3.º Congresso Português de Argamassas de Construção	4.º Congresso Português de Argamassas e ETICS
Subtítulo	–	<i>Sob a Égide da Reabilitação</i>	<i>Sob a Égide da Energia</i>	<i>Sob a Égide da Inovação</i>
Data	24 e 25 de novembro de 2005	22 e 23 de novembro de 2007	18 e 19 de março de 2010	29 e 30 de março de 2012
Local	Auditório da FIL, Parque das Nações, Lisboa	Auditório da FIL, Parque das Nações, Lisboa	Auditório do LNEC, Lisboa	Auditório da Reitoria da Universidade de Coimbra
Artigos	45	64	64	83
Autores e coautores	111	139	157	203
Autores: instituições representadas	47	60	41	60
Países de origem dos autores	7 (Alemanha, Angola, Brasil, Espanha, Finlândia, França e Portugal)	10 (Alemanha, Angola, Brasil, Colômbia, Espanha, França, Itália, Portugal, Reino Unido e Suíça)	7 (Alemanha, Angola, Brasil, Espanha, Itália, Portugal e Reino Unido)	9 (Alemanha, Angola, Bélgica, Brasil, Espanha, Itália, Portugal, Reino Unido e Suíça)
Apresentações orais	44	64	40	63
Pósteres	–	–	24	22
Participantes	262	258	267	253
Países representados	7 (Alemanha, Angola, Brasil, Espanha, Finlândia, França e Portugal)	10 (Alemanha, Angola, Brasil, Dinamarca, Espanha, França, Itália, Portugal, Reino Unido e Suíça)	8 (Alemanha, Áustria, Brasil, Espanha, Itália, Portugal, Reino Unido e Suíça)	12 (Alemanha, Angola, Áustria, Bélgica, Brasil, Espanha, França, Itália, Noruega, Portugal, Reino Unido e Suíça)

Designação	I Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento	II Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento	III Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento	IV Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento
Data	5 a 6 de junho de 2014	16 e 17 de junho de 2016	11 a 12 de outubro de 2018	10 e 11 de março de 2022
Local	Itecons, Coimbra	Itecons, Coimbra	Itecons, Coimbra	Itecons, Coimbra
Artigos	42	26	34	35
Autores e coautores	112	90	110	95
Instituições	27	27	38	33
Países de origem dos autores	3 (Portugal, Brasil e Espanha)	2 (Portugal, Brasil, França)	3 (Portugal, Brasil e Espanha)	3 (Portugal, Brasil e Espanha)
Apresentações orais	47	28	34	40
Pósteres	–	–	–	–
Participantes	93	76	67	70 (inscritos à data)
Países representados	3 (Portugal, Brasil e Espanha)	5 (Portugal, Brasil, França, Espanha, Suíça)	3 (Portugal, Brasil e Espanha)	2 (Portugal e Brasil)

Um inventário sobre argamassas em Atenor

Jorge Pinto Centre of Materials and Building Technologies (C-MADE), Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), tiago@utad.pt

Anabela Paiva C-MADE, UTAD

Diogo Almeida UTAD

Sandra Cunha C-MADE, UTAD

Ana Antunes Centro da Terra

Ricardo Bento Centro de Estudos Transdisciplinares para o Desenvolvimento, UTAD

Este trabalho de investigação foi realizado em seis aldeias da Meseta Ibérica e procura contribuir para a valorização e preservação desta região do Douro Internacional, rica em construção vernacular. Um dos aspetos construtivos em enfoque foi o tipo de argamassa de assentamento e o tipo de argamassa de reboco. Um mapeamento do estado de conservação do edificado da aldeia de Atenor e uma análise estatística simplificada sobre os tipos de argamassas aplicadas nesses edifícios serão fornecidos e servirão como exemplo de estudo de caso. Crê-se que a informação disponibilizada poderá ser útil para a consciencialização da relevância das técnicas de construção à base de terra e para o conhecimento do património construído, em particular o vernacular.

Em junho de 2015, a Meseta Ibérica foi reconhecida pela UNESCO como Reserva da Biosfera Transfronteiriça Meseta Ibérica, sendo a segunda Reserva da Biosfera Transfronteiriça em Portugal e a 15.^a em todo o mundo. É também a maior Reserva da Biosfera Transfronteiriça da Europa. Este território tem uma riqueza natural única, com cinco parques naturais (Montesinho, Lago de Sanabria y Alrededores, Douro Internacional, Arribes del Duero e Vale do Tua) e dezenas de áreas protegidas. Para além de toda a paisagem rural existente, a paisagem urbana, em particular a sua vasta construção vernacular, é também uma das mais-valias desta região.

Neste contexto, foi desenvolvido um projeto de investigação internacional [1] com o objetivo principal de estudar esta região nestas vertentes, incluindo a do património construído. Um intenso trabalho de campo foi desenvolvido no sentido de caracterizar os edifícios existentes nas aldeias identificadas anteriormente. Para o efeito, também foi criada uma ficha de levantamento específica para este projeto, que incluía uma extensa lista de aspetos técnicos construtivos válidos para construção antiga como para construção moderna. Com base nos dados recolhidos durante o trabalho de campo, foi possível mapear estes aspetos técnicos por aldeia estudada e realizar uma análise comparativa que serviu de base como referência para o património construído desta região.

Constatou-se que em quase todas as aldeias estudadas existe um património vernacular rico e que grande parte deste se encontra praticamente intocado. Cada tipo de edifício é um laboratório real e dispõe dos materiais de construção originais, dos quais se destaca a terra. A terra mostra-se novamente como sendo um material de construção tradicional português [2, 3].

O principal objetivo deste artigo consiste em dar ênfase a esta temática, usando para o efeito a aldeia de Atenor como estudo de caso.

Das considerações finais deste trabalho, importa ressaltar que existe um vasto património vernacular na Meseta Ibérica, que muito deste está quase inalterado, que tem materiais de construção naturais, dos quais se destaca a terra, e que esta tanto é usada como material de assentamento como material de revestimento.

METODOLOGIA

A metodologia de trabalho adotada no trabalho de investigação subjacente a este artigo foi dividida essencialmente em oito etapas. Inicialmente, procedeu-se a uma revisão bibliográfica sobre a Reserva da Biosfera Transfronteiriça Meseta Ibérica, o seu património natural e cultural e a construção em terra. Depois, foi feita uma seleção de seis aldeias representativas desta região e que seriam objeto de investigação. De seguida, realizou-se um trabalho de campo de caracterização do património edificado destas aldeias, considerando diferentes parâmetros, dos quais se destacam o tipo de património, o estado de conservação do edificado, o tipo de argamassa de assentamento (figura 1a) e o tipo de argamassa de reboco de fachada (figura 1b). No contexto deste artigo, e por simplificação, optou-se por se destacar a aldeia de Atenor, tratando-a como um estudo de caso. Posteriormente, e com base nos dados recolhidos durante o trabalho de levantamento, foi possível elaborar um mapeamento do estado de conservação do edificado de Atenor, identificar os tipos de argamassas de assentamento e de reboco aplicadas nos

edifícios e proceder a uma análise simplificada dos resultados alcançados.

ESTUDO DE CASO – ALDEIA DE ATENOR

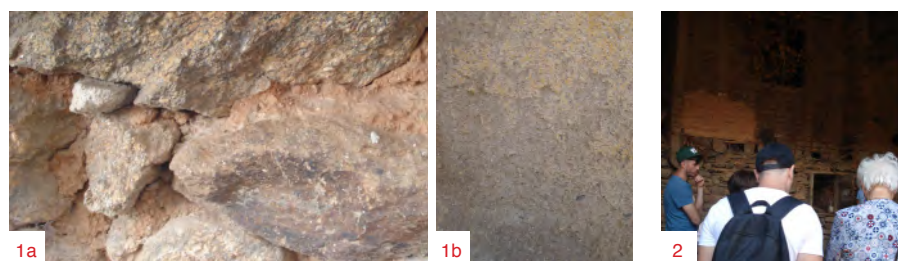
Atenor é uma das três aldeias escolhidas como sendo representativas do património construído à escala de aldeia da Meseta Ibérica [1]. Também foi adotada como estudo de caso deste artigo por ser rica em património vernacular (figura 2), onde tem havido um interesse especial na manutenção e reabilitação da construção antiga, e onde esse trabalho tem

sido bastante criterioso e cuidadoso. Atenor pertence ao município de Miranda do Douro, no distrito de Bragança. Durante a realização deste projeto de investigação, foi possível estudar 89 edifícios nesta aldeia (figura 3).

1 | *Tipos de argamassa:*
a) argamassa de assentamento;
b) argamassa de reboco.

2 | *Interior de edifício vernacular na aldeia de Atenor.*

3 | *Planta de localização dos edifícios estudados em Atenor.*



4 | Tipo de património.

5 | Mapa de localização do tipo de edifício construído.

6 | Estado de conservação dos edifícios estudados em Atenor.

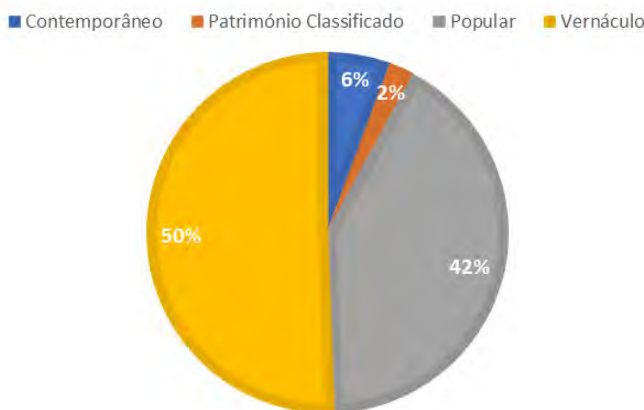
CARACTERIZAÇÃO DO PATRIMÓNIO CONSTRUÍDO DA ALDEIA DE ATENOR

No que à caracterização do património construído diz respeito, foram considerados como aspetos principais o tipo de património e o seu estado de conservação.

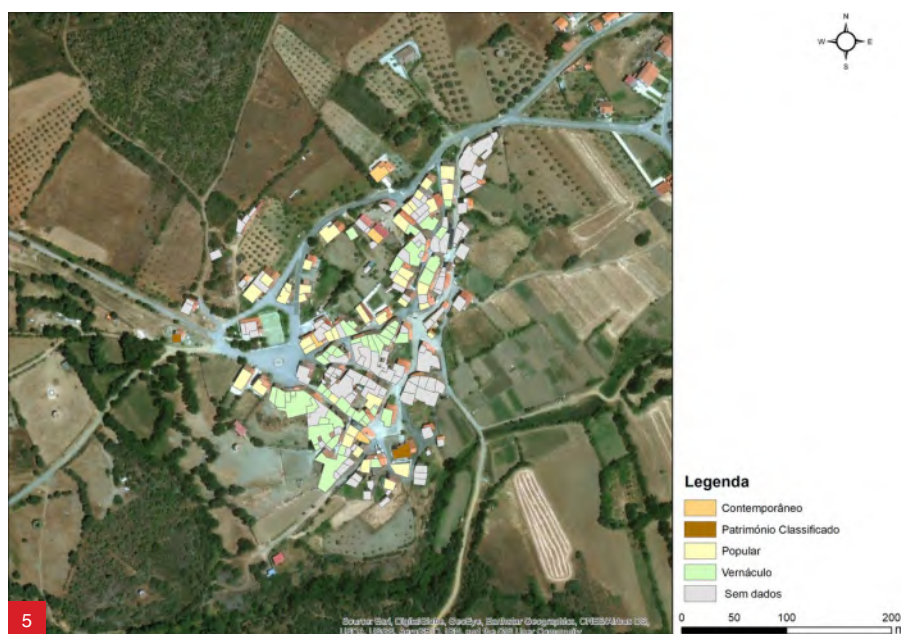
Foram identificados os seguintes tipos de património construído: contemporâneo, classificado, popular e vernáculo. Com base no levantamento realizado durante o trabalho de campo verificou-se que metade dos edifícios estudados nesta aldeia são do tipo vernáculo (50 %) e a outra metade corresponde a edifícios do tipo popular (42 %), contemporâneo (6 %) e património classificado (2 %). Estes resultados estão vertidos no gráfico da figura 4. Por sua vez, para complementar esta informação, a localização destes tipos de edifícios está identificada na figura 5.

Relativamente ao estado de conservação do edificado, foram considerados oito cenários distintos: original em bom estado, original em mau estado habitável, ruína, alterado, novo, reabilitado, ampliado e em construção. Tendo como base os dados recolhidos durante os trabalhos de levantamento, foi possível elaborar o gráfico da figura 6 e o mapa da figura 7.

Da análise do gráfico da figura 6, conclui-se que existe uma percentagem significativa de construção original em bom estado de conservação (34 %) e de construção original em mau estado de conservação (25 %). Esta informação indica que mais de metade dos edifícios estudados nesta aldeia são antigos e encontram-se no seu formato original. Outro aspeto importante é referente à realidade da reabilitação do património construído que já é expressiva nesta aldeia pois 11 % dos edifícios já foram reabilitados. Por forma a complementar esta informação, o mapa da figura 7 permite observar a localização dos edifícios em função do seu estado de conservação.

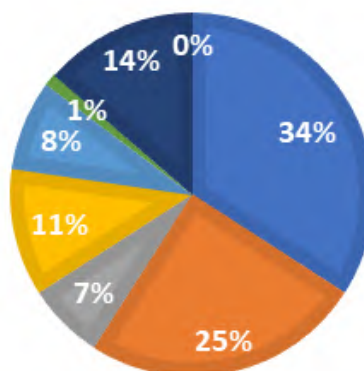


4



5

Original em bom estado Original em mau estado habitável
 Ruína Reabilitado
 Alterado Ampliação
 Novo Em construção



6

ARGAMASSAS DE ATENOR

Em relação a argamassas de assentamento utilizadas nos edifícios de Atenor foram consideradas as possibilidades de argamassa cimentícia, argamassa de terra e cal e junta

seca. Constatou-se que ainda é expressiva a situação de argamassa de assentamento à base de terra (figura 8), o que é coerente com os resultados expostos nas secções anteriores.

7 | Mapa de localização dos edifícios em função do seu estado de conservação.

8 | Tipos de argamassa de assentamento na aldeia de Atenor.

9 | Tipos de acabamento de fachada dos edifícios em Atenor.

No que respeita ao tipo de acabamento das fachadas dos edifícios existentes em Atenor, foram detetados diferentes cenários construtivos, tais como reboco de terra, reboco de cal, reboco de cimento, pedra à vista, tijolo à vista e azulejo (figura 9).

Em face dos dados recolhidos, observa-se que, em termos de acabamento das fachadas dos edifícios de Atenor, a solução de reboco de cimento é a mais frequente (47 %), seguida da solução de pedra à (34 % dos casos). O reboco de cal (10 %) e o reboco de terra (6 %) representam uma parcela pouco significativa dos tipos de acabamento de fachada utilizados. Contudo, esta informação confirma a tradição de aplicação de rebocos à base de terra na Meseta Ibérica. Esta informação ainda se torna mais expressiva se levarmos em conta que na solução de acabamento de fachada do tipo pedra à vista também é possível observar terra, caso tenha sido este o material de assentamento usado.

CONCLUSÕES

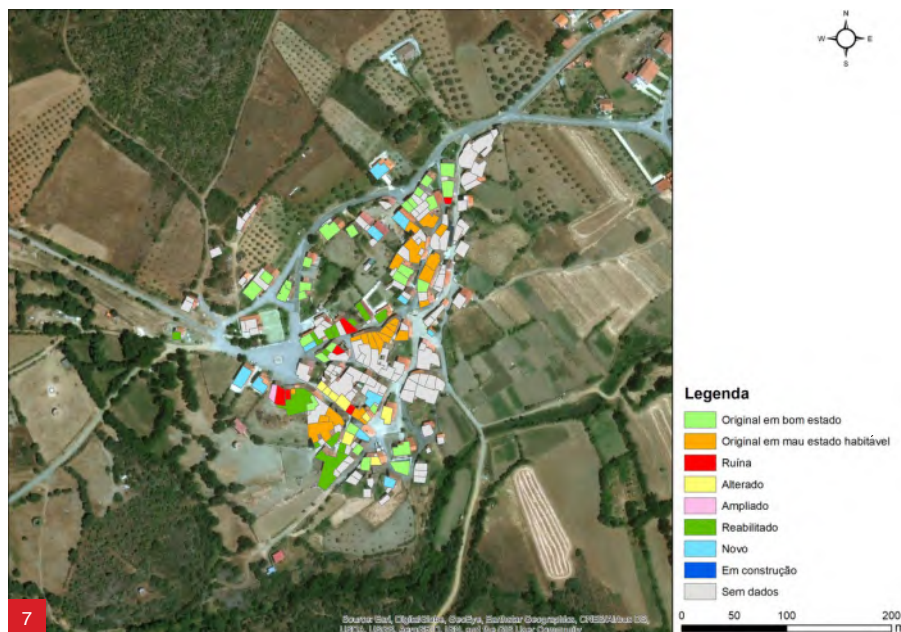
A Meseta Ibérica apresenta um vasto e rico património construído vernacular, muito dele intocável e no estado original de construção. A terra surge como material de assentamento e de reboco. Alguns trabalhos de reabilitação mostram o cuidado em manter esta prática construtiva tradicional. A aldeia de Atenor é um dos exemplos de boas práticas de reabilitação em ambiente rural.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho de investigação foi parcialmente financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, através do projeto UIDB/04082/2020 (C-MADE), e pelo Feder, através do projeto 0421_PAISAJE_IBERICO_2_E ■

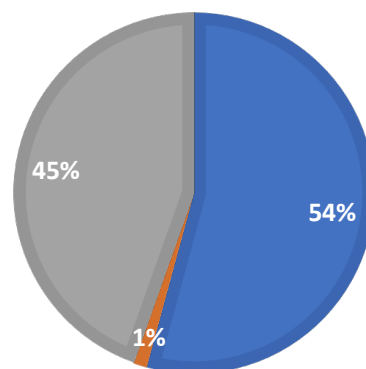
BIBLIOGRAFIA

- [1] Red de paisajes rurales en la frontera del Duero: un mapa estratégico de la meseta ibérica. EP – Interreg VA España Portugal (POCTEP). 2015-2018.
- [2] Cepeda, A. *et al* (2010). Estudo do material terra aplicado na construção de tabique existente no Alto

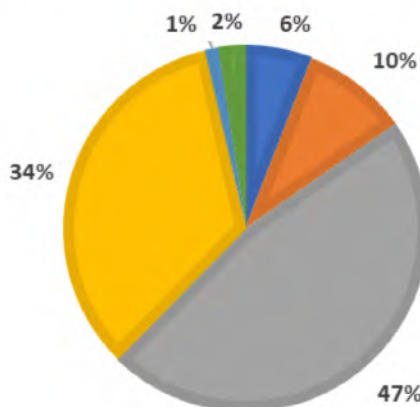


8

■ Cimento ■ Junta seca ■ Terra e Cal



■ Reboco de terra ■ Reboco de cal ■ Reboco de cimento
■ Pedra à vista ■ Tijolo à vista ■ Azulejo



9

Tâmega – Terra em Seminário 2010, 6.º Seminário Arquitetura de Terra em Portugal e 9.º Seminário Ibero-Americano de Arquitetura e Construção com Terra. Argumentum. Editores: Maria Fernandes, Mariana Correia, Filipe Jorge. 1.ª edição, p. 160-162.

[3] Silva, B. *et al* (2009). Earth Construction: Bird Teaching – 2nd WSEAS International Conference on

Urban Rehabilitation and Sustainability (URES'09), Environmental Science and Sustainability – Proceedings published by WSEAS Press (printed and in CD). Editors: Manoj Jha, Charles Long, Nikos Mastorakis, Cornelia Aida Bulucea. *Book Series: Energy and Environmental Engineering Series*, p. 72-78.

Produção de argamassa à base de cal a partir da calcinação de lamas carbonatadas provenientes da indústria das rochas ornamentais

Antonio Azzalini Departamento de Geociências – Universidade de Évora, aazzalini@uevora.pt

Paula Faria Departamento de Geociências – Universidade de Évora, Geobiotec – Universidade de Aveiro

Luís Lopes Departamento de Geociências – Universidade de Évora, ICT – Universidade de Évora

Ruben Martins Departamento de Geociências – Universidade de Évora

Paulo Mourão Departamento de Química e Bioquímica – Universidade de Évora, MED – Universidade de Évora

Vera Pires Departamento de Geociências – Universidade de Évora, Laboratório Hercules – Universidade de Évora

As lamas carbonatadas – natas – resultantes do processamento industrial das rochas ornamentais provenientes das pedreiras do Anticlinal de Estremoz e do Maciço Calcário Estremenho têm elevado potencial, justificando o estudo da viabilidade técnica e económica de aplicação em novos produtos, acrescentando-lhe valor económico e contribuindo para a classificação como subproduto. As natas apresentam boa capacidade de ligação com agregados, o que permite a sua utilização como matéria-prima em argamassas e produção de compósitos. Este é o principal objetivo do projeto Calcinata, no qual se enquadra este estudo. Foram colhidas amostras em serrações que só trabalham com mármore ou com calcário.

Dado o índice de aproveitamento relativamente baixo, são gerados, por ano, grandes volumes de resíduos na indústria extrativa e transformadora de rochas ornamentais. Reconhecendo-se que se trata de matéria-prima com elevado potencial, isto é, carbonato de cálcio com grau de pureza sempre superior a 95 %, torna-se obrigatório o estudo da viabilidade técnica e económica da sua utilização em novos produtos. A reclassificação como subprodutos das lamas de corte permitirá enquadrar esta matéria-prima em cadeias de valor perfeitamente em linha com as diretrizes da economia circular e resíduo zero na indústria.

MATERIAIS, AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As natas foram colhidas à saída dos filtro-prensa: mármore (figura 2) nas serrações António Galego & Filhos, Mármore, S.A. e A. L. A. de Almeida, Lda.; calcários nas serrações da Solancis, S.A. e MVC, Lda. (figura 1). As amostras assim codificadas: C(S) – calcário, Solancis; C(MVC) – calcário, MVC; M(A) – mármore, A. L. A. Almeida; e M(AGF) – mármore, António Galego e Filhos, foram desagregadas

manualmente e secas em dois estágios: i) Ao ar e à temperatura ambiente; e ii) Em estufas ventiladas a 40 °C. Após a secagem procedeu-se à moagem num moinho de maxilas Retsch – BB200.

INSTRUMENTOS E MÉTODOS

Composição mineralógica

O material foi peneirado, obtendo-se a fração com as partículas de diâmetro esférico equivalente inferior a 63 μm . A mineralogia obteve-se num difratômetro Bruker D8 Discover. Os difratogramas foram medidos entre 3° e 75° 2 θ . Os minerais foram identificados recorrendo à base de dados Powder Diffraction Database, da International Center for Diffraction Data.

Composição química

As composições químicas determinaram-se a partir das frações < 63 μm . A preparação química das amostras envolveu dois processos: (1) fusão a 1000 °C, por ICP-OES [5]; (2) digestão total com solução tri-ácida HCl-HNO₃-HF em unidade de digestão de micro-ondas de alta pressão. As soluções provenientes da fusão e da digestão foram analisadas através de espectrometria de emissão ótica com fonte induzida de plasma (ICP-OES). Para maior rigor analítico, analisaram-se duas réplicas por cada amostra. Na perda ao rubro, as amostras foram calcinadas às temperaturas de 950 °C, 1000 °C e 1100 °C, numa mufla Termolab MLM12-12L.

Análise granulométrica

As análises granulométricas da fração inferior a 63 μm efetuaram-se no sedimentógrafo Sedigraph 5100, Micromeritics.

Ensaio de calcinação

Os ensaios foram realizados em amostras com 25 \pm 0,01 g (tabela 1) na mufla Termolab MLM12-12L, em ciclos com variação de temperatura e tempo de cozedura, registando-se a perda de massa em cada uma das amostras. As taxas de aquecimento e arrefecimento da mufla foram iguais para todas as amostras (10 °C/min), até se atingir o patamar

desejado, e arrefecimento até à temperatura de 30 °C. A temperatura máxima no interior da mufla foi controlada por Anéis Buller estrategicamente posicionados.

Ensaio de reatividade

Aplicou-se a norma ASTM C110-15. Ou seja, 120 ml de água destilada, colocados num copo de vidro contido em recipiente de esferovite, foram aquecidos até 25 °C \pm 0,1 num agitador magnético, a que se adicionou 30 g da nata calcinada. Mediu-se a temperatura atingida. Repetiu-se o ensaio para as dez amostras.

1 | Localização dos maciços geológicos onde se realizou a amostragem [2, 3, 4].

2 | Nata prensada descarregada de um filtro-prensa, na empresa Solancis, S.A.

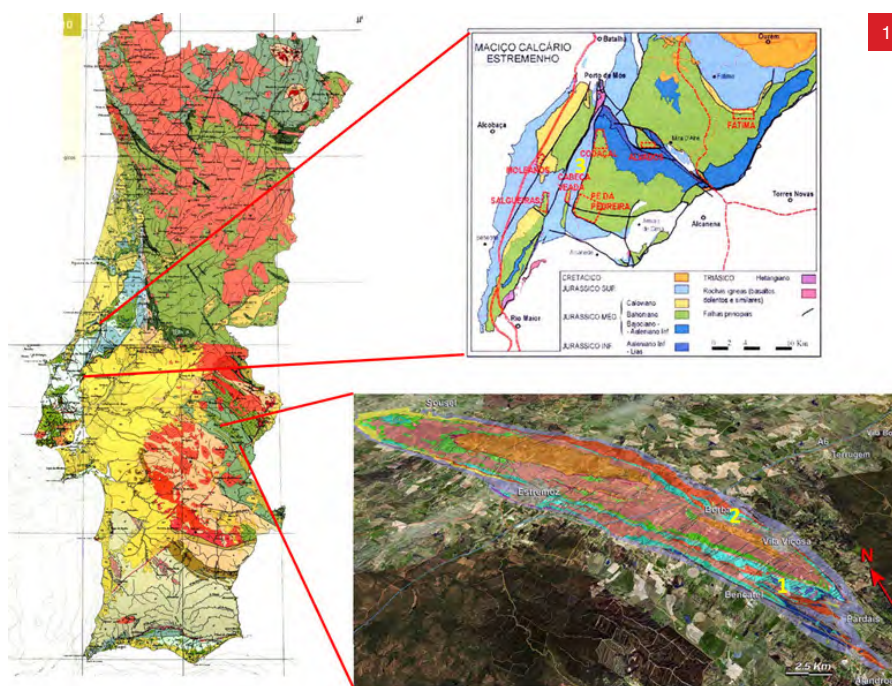


Tabela 1 | Amostras calcinadas e códigos atribuídos

Nata de calcário calcinada (NCc)			Nata de mármore calcinada (NMc)		
Amostras	Temp (°C)	Tempo calcinação (min.)	Amostras	Temp. (°C)	Tempo calcinação (min.)
NCcT115	750	15	NMcT115	750	15
NCcT215	850	15	NMcT215	850	15
NCcT315	950	15	NMcT315	950	15
NCcT345	950	45	NMcT345	950	45
NCcT415	1000	15	NMcT415	1000	15
NCcT515	1100	15	NMcT515	1100	15

3 | Difratogramas referentes às natas C(S), C(MVC) e NCcT315, NCcT345. Intensidade em unidades arbitrárias.

4 | Difratogramas referentes às natas M(A), M(AGF) e NMcT315, NMcT345. Intensidade em unidades arbitrárias.

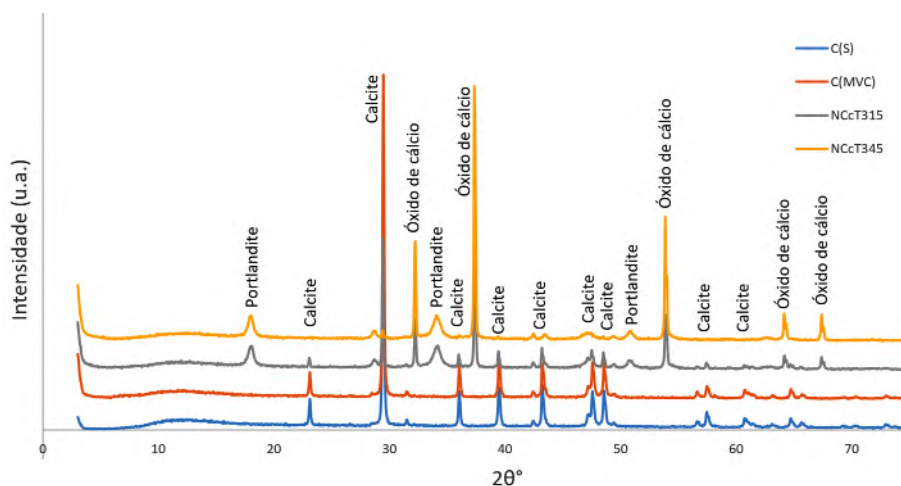
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as formulações foram ensaiadas. As figuras 3 e 4 apenas mostram os difratogramas referentes às natas não sujeitas a calcinação e os referentes às amostras de mistura, calcinadas às temperaturas de 950 °C, com tempos de calcinação de 15 minutos e 45 minutos.

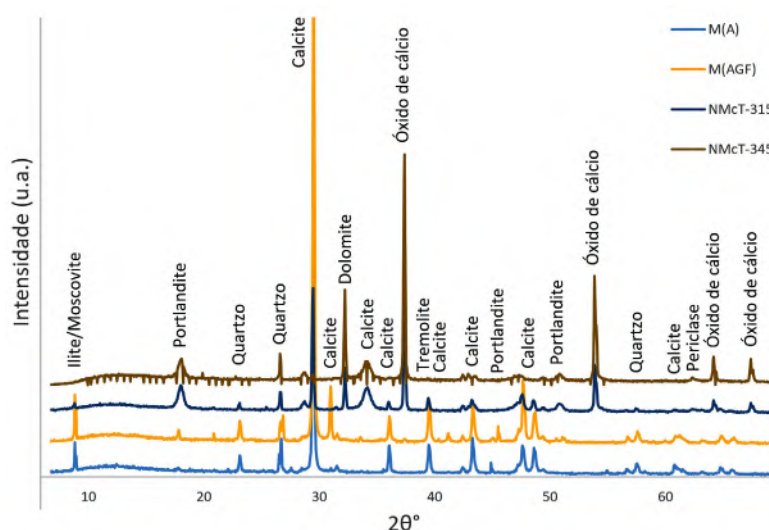
As natas calcárias apresentam uma composição mineralógica monótona, sobressaindo a calcite, com presença de moscovite e tremolite (figura 3). As natas marmóreas (figura 4), para além da calcite dominante, revelam ainda moscovite, ilite e quartzo. No caso da M(A) estão presentes a colemanite e a tremolite. Nas natas M(AGF) ocorre dolomite, expectável de acordo com a posição estratigráfica correspondente aos níveis basais do Complexo Vulcano-Sedimentar Carbonatado de Estremoz, explorados na pedreira AGF, onde ocorrem níveis dolomíticos.

Os difratogramas NCcT315 e NCcT345 mostram picos proeminentes associados à calcite e ao óxido de cálcio, resultante da calcinação. Nota-se a presença de portlandite. Os difratogramas das NMcT315 e NMcT345 possuem traçados iguais, revelando ainda quartzo e portlandite.

A análise química e a determinação da perda ao rubro confirmaram o carácter carbonatado destes materiais, bem como o seu grau de pureza (figura 5). A percentagem de óxido de cálcio (CaO) nas amostras calcinadas variou entre 51 % e 79 %, no caso das natas de calcário, e de 49 % a 76 %, no caso das natas de mármore. No caso do calcário, os restantes óxidos nunca apresentam valores superiores a 0,6 % (Al₂O₃), ao passo que nos mármore foi alcançado 5 % (SiO₂) e 2 % a 3 % (MgO).

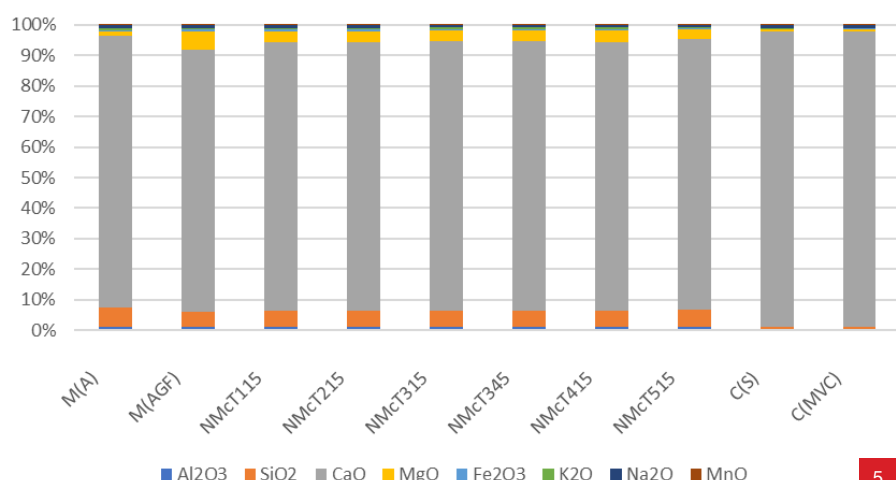


3



4

Composição Química



5 | Análise química referente aos óxidos presentes nas amostras, excluindo a perda ao rubro.

Tabela 2 | Elementos menores analisados

ELEMENTOS AMOSTRAS	Sr ppm	Ti ppm	Ba ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Zn ppm	Ni ppm	Pb ppm	Cd ppm	As ppm	Nb ppm	W ppm
M(A)	221,34	156,58	45,01	39,00	30,76	28,69	10,12	6,52	0,68	0,12	0,50	***	***
M(AGF)	164,55	103,10	45,52	****	16,20	19,33	7,56	****	0,57	0,12	*	***	***
NMc T750°C/15min	172,89	142,98	39,83	20,50	13,03	17,78	5,26	****	0,60	0,15	*	***	***
NMc T850°C/15min	193,96	173,86	47,77	23,05	15,10	18,20	5,11	****	0,47	0,13	*	***	***
NMc T950°C/15min	222,93	151,24	46,12	26,78	16,30	20,33	5,84	****	0,65	0,14	*	***	***
NMc T950°C/45min	279,20	186,36	58,16	30,62	16,55	22,74	5,71	****	0,68	0,14	*	***	***
NMc T1000 °C/15min	239,33	179,74	55,10	28,46	16,61	19,71	5,10	****	0,75	0,18	*	***	***
NMc T1100 °C/15min	290,27	215,50	58,98	41,74	16,90	28,85	5,46	****	0,75	0,15	*	***	***
C(MVC)	176,36	32,70	5,50	****	15,95	20,78	5,27	4,00	0,39	0,13	*	***	***
C(5)	162,18	65,77	18,86	****	24,60	21,61	7,97	4,23	**	0,14	*	***	***
NCc T750°C/15min	151,30	31,27	20,09	****	18,24	27,57	4,67	****	0,62	0,40	*	***	***
NCc T850°C/15min	169,26	31,80	4,25	****	15,87	25,23	4,60	****	0,52	0,29	*	***	***
NCc T950°C/15min	203,75	84,82	10,75	****	13,67	22,70	4,81	****	0,63	0,24	*	***	***
NCc T950°C/45min	241,03	78,27	15,95	****	14,25	19,76	5,89	5,25	1,23	0,21	*	***	***
NCc T1000 °C/15min	221,33	44,22	6,16	****	13,94	21,05	5,67	****	0,87	0,19	*	***	***
NCc T1100 °C/15min	245,57	48,89	6,78	****	13,85	22,54	5,73	****	0,62	0,20	*	***	***

* < 0,20 ppm

** < 0,30 ppm

*** < 0,50 ppm

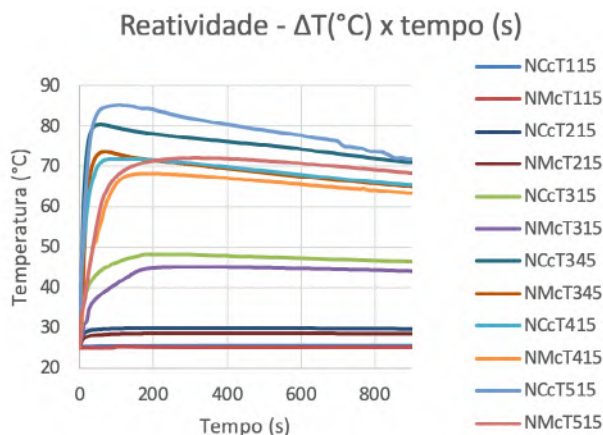
**** < 4,00 ppm

Apenas as percentagens de óxido de cálcio registam variações em função da temperatura de calcinação e do tempo de calcinação à temperatura máxima, ou seja, 72 % a 79 % (calcário), e 65 % a 76 % (mármore) quando a calcinação é feita a temperatura mais elevada (≥ 950 °C), o que permite inferir um maior potencial reativo. Os restantes ele-

mentos analisados ocorrem vestigialmente (< 0,03 % – tabela 2).

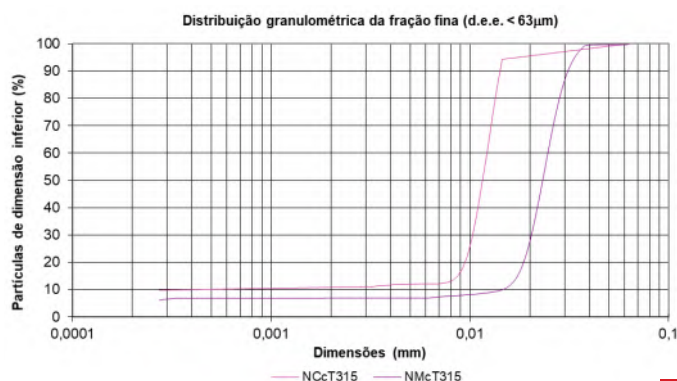
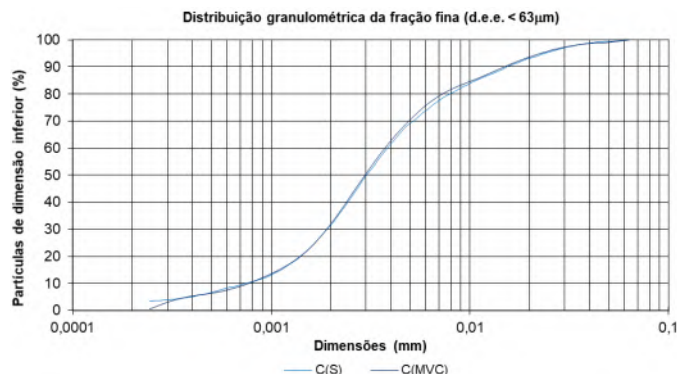
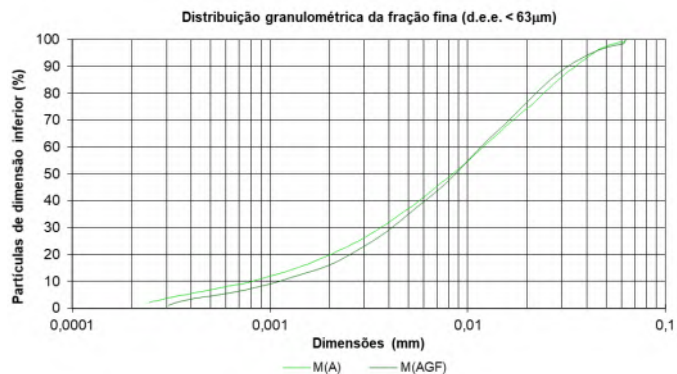
Considerando 15 minutos à temperatura máxima, as amostras calcinadas a temperaturas entre 750 °C e 1100 °C apresentam uma redução de massa gradual e progressiva. Por forma a perceber o efeito do tempo à tempe-

ratura máxima, prepararam-se duas amostras (950 °C – 15 minutos e 950 °C – 45 minutos) para cada um dos materiais (NCc e NMc). Neste caso regista-se uma diminuição ≈ 50 % na perda de massa por ignição, o que indica que será necessário mais tempo para conseguir a perda de massa total.



6 | Variação da temperatura resultante da adição de nata calcinada à água destilada.

7 | Distribuição dimensional do grão para a fracção inferior a 63 µm.



Os ensaios de reatividade mostram a evolução da temperatura atingida em função do nível de cozedura das amostras (figura 6), sendo mais elevada no caso dos calcários.

A distribuição dimensional da fracção inferior a 63 µm das natas tal e qual (figura 7) revela um padrão bem definido e semelhante. Independentemente dos processos fabris adotados por cada empresa, não se constata alteração na distribuição granulométrica. As amostras calcinadas revelam um intervalo granulométrico mais apertado do que os das amostras tal e qual.

CONCLUSÕES

O estudo revelou um elevado grau de pureza das natas, essencialmente constituídas por calcite, onde os restantes minerais se apresentam de forma vestigial. Detetaram-se elementos metálicos provavelmente resultantes do desgaste das ferramentas diamantadas usadas no corte e polimento, nomeadamente Ni, Co e W, que não são expectáveis de ocorrer nos ambientes geológicos de formação destas rochas.

A mistura de cal viva com água desencadeia uma reação exotérmica, dando origem à cal apagada. Se apenas for utilizada a quantidade de água estritamente necessária, a cal apagada resultante aparece sob a forma de pó [7]. É comprovado o excelente poder aglomerante da cal hidratada, normalmente

utilizada em argamassas, visto contribuir para uma melhor fluidez, plasticidade e trabalhabilidade. Seja como único ligante ou em mistura com outros ligantes, as argamassas com cal constituem um material de elevada versatilidade [7].

AGRADECIMENTOS

Ao projeto Calcinata – ALT20-03-0247-FEDER-072239, cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (Feder), enquadrado no Alentejo 2020 (Programa Operacional Regional do Alentejo) ■

BIBLIOGRAFIA

[1] Produção comercial de pedreiras por setor/subsetor e por anos – 2007 a 2020 (2021). Disponível online em www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/geologia/pedreiras/producao-anual.

[2] Lopes, L. (2007). O triângulo do Mármore. *Monumentos* 27. Lisboa: IPPAR/IRHU. ISSN: 0872-8747, p. 158-167.

[3] LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia (2010). Carta Geológica de Portugal à escala 1:1.000.000.

[4] Carvalho, J. M. F. (2013). Tectónica e caracterização da fraturação do Maciço Calcário Estremenho, Bacia Lusitânica (tese de doutoramento). Universidade de Lisboa.

[5] Ramsey, M. H. et al (1995). An Objective Assessment of Analytical Method Precision: Comparison of ICP-AES and XRF for the Analysis of Silicate Rocks. *Chemical Geology*. 124(1-2), p. 1-19.

[6] USEPA (1996). SW-846 Test Method 3052: Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices. Disponível online em www.epa.gov.

[7] Coelho, A., Torgal, F., Jalali, S. (2009). *A Cal na Construção*. Universidade do Minho, Edição TecMinho, Guimarães, p. 132.

Otimização numérica de argamassas de cal hidráulica industriais para reabilitação de edifícios

Carla Costa Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), Instituto Politécnico de Lisboa (IPL), carla.costa@isel.pt

Ana Filipa Prior ISEL, IPL

José Domingos Costa CIARGA – Argamassas Secas, S.A.

Esta investigação recorreu ao planeamento fatorial de experiências para formular argamassas de cal hidráulica com incorporação de um catalisador exausto, o ECat, bem como para modelar matematicamente a influência de variáveis de mistura e os seus efeitos cruzados em propriedades das argamassas. Os resultados revelaram a viabilidade de produção de eco-argamassas de cal hidráulica com incorporação significativa de ECat.



reabilitação do património edificado tem impactos multidimensionais (sociais, ambientais, económicos, culturais), inclusive no desenvolvimento sustentável. As argamassas de cal são aplicadas sobretudo em obras de reabilitação, nomeadamente na preservação de edifícios históricos [1, 2], prevenindo-se o aumento da sua utilização no futuro. O setor da produção de cal contribui significativamente para a emissão de dióxido de carbono, assim como no consumo de materiais não renováveis, incluindo energia [3, 4], pelo que a diminuição do seu impacto ambiental é crucial. A substituição parcial de cal por materiais pozolânicos aumenta a sustentabilidade das argamassas e, frequentemente, promove o seu avanço tecnológico [5, 6, 7]. Quando os materiais pozolânicos são resíduos ou subprodutos, esta simbiose industrial contribui, ainda, para o cumprimento das metas estabelecidas pela União Europeia para reciclagem, valorização de resíduos e Economia Circular.

Neste contexto, pretendeu-se, por um lado, avaliar a viabilidade da reutilização do catalisador exausto, ECat, gerado na refinaria da Petrogal em Sines, como substituto parcial da cal hidráulica em formulações industriais de argamassas para reabilitação de edifícios, e, por outro lado, compreender o seu efeito nas propriedades. Os autores só encontraram na literatura um estudo prévio com incorporação de ECat em argamassas de cal aérea [8].

Atualmente, são gerados cerca de 400 kton/ano de ECat em todo o mundo, dos quais 2 kton são gerados na refinaria de Sines. Estudos anteriores revelaram que o ECat apresenta elevada atividade pozolânica e que, tipicamente quando usado como material de substituição parcial de cimento em argamassas e betões, contribui para a melhoria do desempenho geral destes materiais, incluindo a durabilidade [9-13].

CAMPANHA EXPERIMENTAL

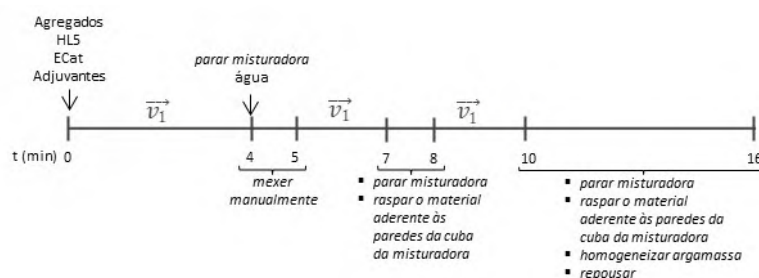
Materiais

Os constituintes usados na preparação das argamassas foram: cal hidráulica HL5, ECat da unidade de *cracking* catalítico em leito fluidizado da Refinaria de Sines (ver propriedades e pozolanicidade em [13]), três agregados calcários (*filler* e duas areias com granulometria diferente), três adjuvantes (introdutor de ar, modificador reológico e hidrófugo) e água da rede pública.

Planeamento fatorial de experiências

Estudaram-se e otimizaram-se os efeitos de três variáveis de mistura (variáveis independentes) – percentagem mássica de ECat no ligante (ECat/(HL5+ECat)), razão de água em relação ao ligante ($w/(HL5+ECat)$) e

1 | Procedimento de mistura das argamassas
(misturadora conforme a norma EN 196-1;
t: tempo em minutos; \overline{v}_1 : velocidade lenta,
140 \pm 5 rotações.min⁻¹).



porcentagem de hidrófugo (Hid) nos sólidos – em diferentes propriedades (variáveis de resposta) da argamassa de cal hidráulica para restauro e reabilitação comercializada pela empresa Cimpor. As propriedades das argamassas avaliadas foram, no estado fresco, o diâmetro de escoamento (DE) e, no estado endurecido, a resistência mecânica à compressão (Rc), velocidade de propagação de ultrassons (UPV) e o módulo de elasticidade dinâmico (ME) aos 91 dias.

As composições das argamassas foram definidas com base no método estatístico *Planeamento Composto Central* (CCD) [14], adotando-se um planeamento fatorial completo de experiências com 2^K pontos fatoriais, em que k é o número de variáveis de mistura, neste caso 3. Para tornar o planeamento rotativo, considerou-se outro nível de avaliação das variáveis de mistura, $\alpha = (2^K)^{1/4} = 1,682$ (unidades codificadas), que conduzem a mais 2k pontos axiais e ficando assim atribuídos cinco níveis a cada variável (tabela 1). O número total argamassas do plano CCD foi, $N = 2^K + 2k + n_c = 20$ sendo $n_c = 6$ o número de pontos (argamassas) centrais.

Os resultados obtidos são adequados para se ajustarem a um modelo de segunda ordem. Na composição das argamassas mantiveram-se constantes os seguintes parâmetros: (i) razão mássica agregados/ligante = 3/1; (ii) composição mássica da mistura de agregados: areia grossa = 66,8 %, areia fina = 26,5 % e filler = 6,7 %; (iii) teores do modificador reológico e do introdutor de ar nos sólidos, 0,1 % e 0,007 % (em massa), respetivamente.

Preparação das argamassas e métodos de ensaio

A figura 1 apresenta o esquema do procedimento de mistura das argamassas. DE foi determinado conforme a norma EN 1015-3. As propriedades no estado endurecido foram determinadas em amostras prismáticas (40 x 40 x 160 mm) preparadas conforme a norma EN 1015-11. As amostras foram

Tabela 1 | Regiões experimentais (e valores codificados) das variáveis de mistura

Variáveis de mistura	Mínimo axial (-1,682)	Mínimo fatorial (-1,0)	Central (0,0)	Máximo fatorial (+1,0)	Máximo axial (+1,682)
ECat/Lig (%)	6,38	20,00	40,00	60,00	73,60
w/Lig	0,8818	0,9500	1,0500	1,1500	1,2182
Hid (%)	0,000	0,019	0,047	0,075	0,094

Tabela 2 | Modelos de regressão ajustados (valores codificados)

	DE (mm)	$1/\sqrt{R_c}$ (MPa ^{-1/2})	1/UPV (s/Km)	$1/\sqrt{ME}$ (MPa ^{-1/2})
Termo Independente	+176,9600	+1,2800	+0,9300	+0,0284
ECat/Lig	-14,6469	+0,4707	+0,1503	+0,0053
w/Lig	+20,8259	+0,1010	+0,0751	+0,0019
Hid	-3,7260	+0,0130	-	-
ECat/Lig x w/Lig	-4,8875	+0,1252	+0,0515	+0,0019
ECat/Lig x Hid	+2,5125	-	-	-
w/Lig x Hid	-	+0,0517	-	-
(ECat/Lig) ²	+2,5428	+0,1179	-	-
(w/Lig) ²	+4,2929	-0,0672	-0,0377	-0,0016
E. desv. pad.*	2,5232	0,0600	0,0190	0,0008
R^2 / R^2_{ajust}	0,9876/0,9803	0,9814/0,9705	0,9817/0,9769	0,9746/0,9678

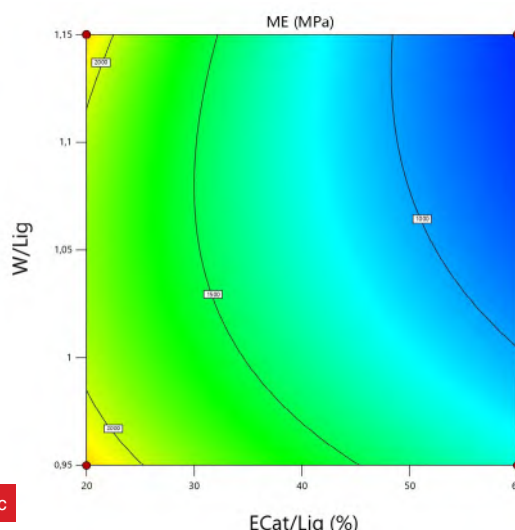
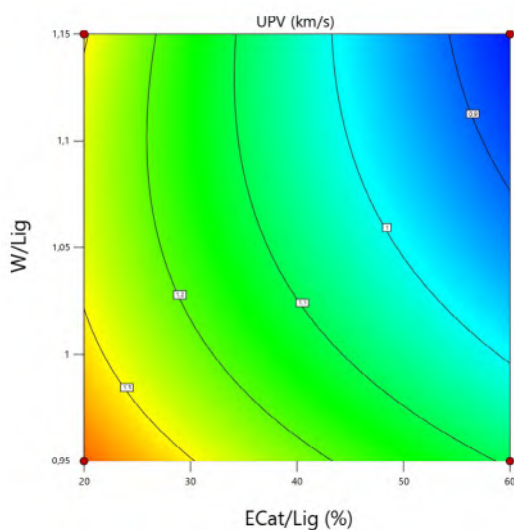
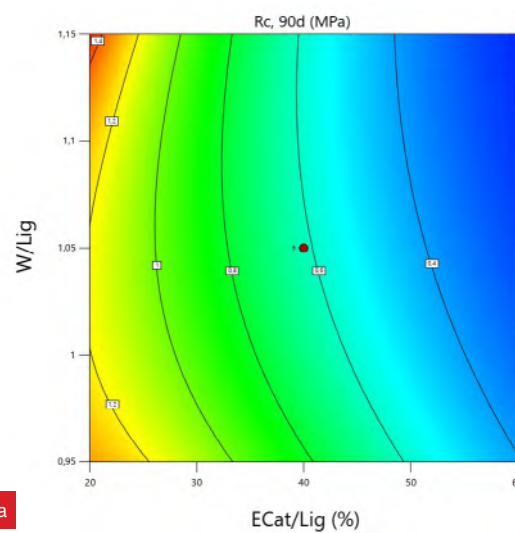
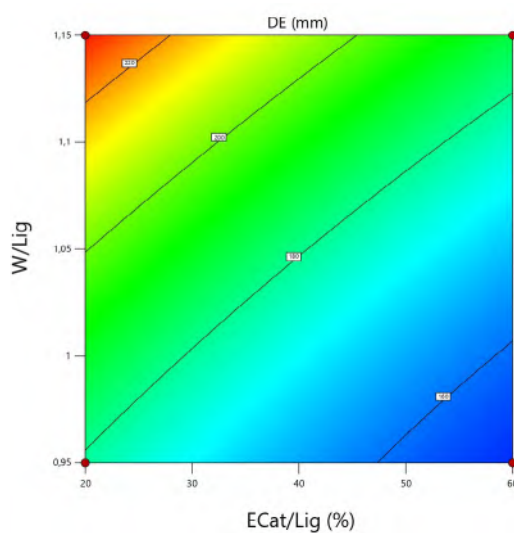
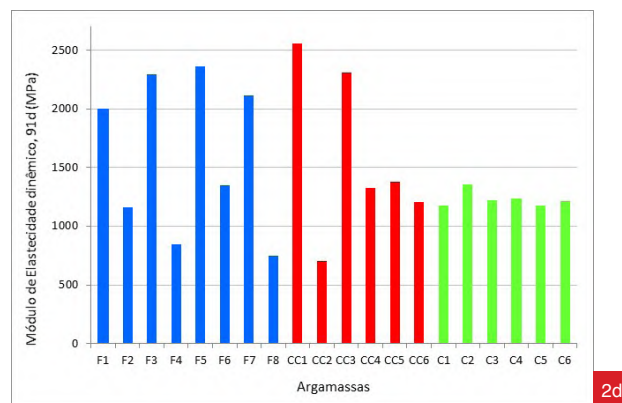
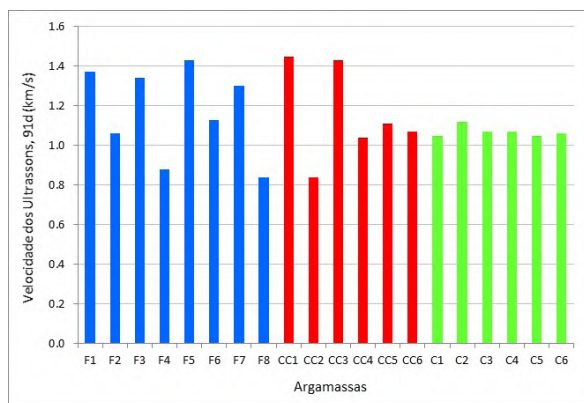
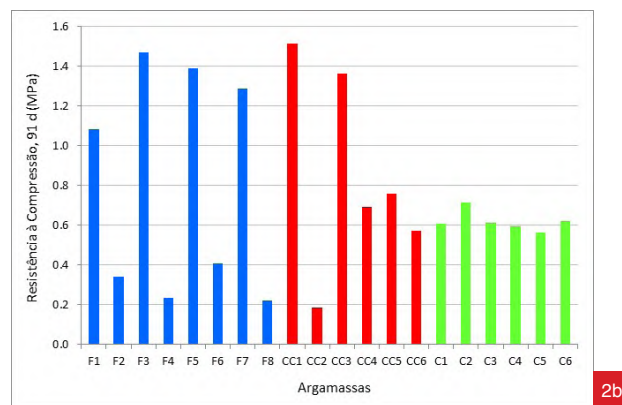
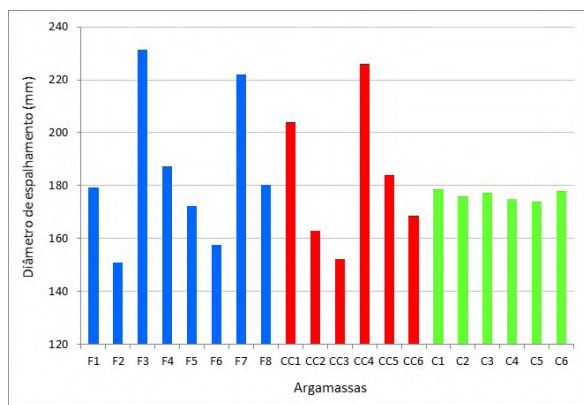
* O erro residual é uma variável aleatória normalmente distribuída com média zero

mantidas no interior de um saco de plástico durante 24 horas, depois colocadas numa câmara de cura a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e HR $65 \pm 5\%$ durante sete dias até serem desmoldadas, tendo regressado para a câmara até aos 91 dias. Rc, UPV, ME, foram determinados conforme as normas EN 1015-11 (média aritmética de 18 determinações individuais); EN 12504-4 (método de transmissão direta) e NBR 15630.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Gama dos resultados experimentais

A figura 2 apresenta os resultados experimentais de DE e de Rc, UPV e ME, aos 91 dias, das vinte argamassas testadas do plano CCD. Os gráficos revelam que as variações dos resultados obtidos nos pontos centrais (Ci) – que correspondem ao erro



2 | Resultados experimentais obtidos (a) DE, (b) Rc; (c) UPV; (d) ME.

3 | Efeito de alterações nas variáveis de mistura ECat/Lig e w/Lig nas propriedades das argamassas (a) DE (Hid=0,019), (b) Rc (Hid=0,047), (c) UPV (Hid=0,019) e (d) ME (Hid=0,019).

Tabela 3 | Resultados experimentais e previstos (argamassas não pertencentes ao plano CCD)

Variáveis de mistura				Propriedades das argamassas			
ECat/Lig (%)	w/Lig	Hid (%)		DE (mm)	R _c (MPa)	UPV (km/s)	ME (MPa)
50%	1,058	0,390	Resultado Experimental	165,6	0,36	0,97	980
			Resultado Previsto	172,4	0,41	0,99	1028
			IP inferior 95 %**	165,1	0,34	0,94	902
			IP superior 95 %**	179,8	0,53	1,04	1176
0*	0,882	0,075	Resultado experimental	170,2	2,18	1,70	3498
			Resultado previsto	168,3	1,62	1,76	3733
			IP inferior 95 %**	153,3	0,75	1,52	2496
			IP superior 95 %**	183,3	5,07	2,08	6036

* Fora da região experimental adotada no modelo (simulando a argamassa industrialmente produzida)

**Limites inferior e superior do intervalo de predição (IP) com nível de confiança de 95 %.

Tabela 4 | Composição e propriedades de argamassas otimizadas

Variáveis de mistura				Propriedades das argamassas			
ECat/Lig (%)	w/Lig	Hid (%)		DE (mm)	R _c (MPa)	UPV (km/s)	ME (MPa)
Rebocos interiores e exteriores							
55,42	0,988	0,019	Resultado previsto	160,04	0,40	1,04	1128
			IP inferior 95 %*	153,83	0,34	1,00	1014
			IP superior 95 %*	166,25	0,48	1,09	1256
Reabilitação de rebocos de edificios históricos							
24,96	0,950	0,060	Resultado previsto	166,59	1,26	1,35	2010
			IP inferior 95 %*	160,51	0,92	1,27	1727
			IP superior 95 %*	172,68	1,76	1,43	2342

*Limites inferior e superior do intervalo de predição (IP) com nível de confiança de 95 %.

experimental de cada teste – são pequenas em relação às variações observadas nos resultados obtidos nos pontos totais do plano. A extensa gama de resultados obtidos das propriedades das argamassas avaliadas asseguram que os parâmetros de mistura considerados no plano têm um efeito significativo naquelas propriedades.

Identificação dos modelos de regressão e validação

O *software* comercial Design-Expert V12 foi usado para analisar os resultados experimentais, ajustar modelos matemáticos usando análise de regressão e validar os modelos por análise de variância, ANOVA (tabela 2). Quando a análise de resíduos

revelou inadequação do modelo ou indicou violações dos pressupostos de normalidade, as variáveis foram transformadas em $1/\sqrt{y}$ no caso da R_c e do ME e em $1/y$ no caso da UPV. ANOVA mostrou que os modelos descrevem o efeito das variáveis ECat/Lig, w/Lig e Hid nas respostas modeladas e os elevados valores dos coeficientes de correlação R^2 e R^2_{ajust} revelam que os

modelos de regressão obtidos explicam elevada variabilidade das variáveis de resposta.

Os coeficientes estimados dos modelos (tabela 2) e os gráficos de contorno (figura 3) revelam o efeito das variáveis de mistura individualmente e o seu efeito cruzado nas propriedades das argamassas. w/Lig é a variável de mistura mais significativa no DE, enquanto ECat/Lig é a mais relevante nas propriedades no estado endurecido. O aumento destas variáveis traduz-se no aumento da resposta (transformada, quando esse for o caso). O aumento de ECat/Lig conduz à diminuição do DE, de acordo com resultados anteriormente obtidos em argamassas à base de cimento [15].

Os modelos de regressão obtidos também foram validados experimentalmente, uma vez que os resultados experimentais obtidos com duas argamassas adicionais às do plano CCD se encontram no intervalo dos valores das propriedades previstos pelos modelos com um nível de confiança de 95 % (tabela 3).

Otimização de argamassas visando múltiplas propriedades

Aplicou-se uma técnica de otimização numérica aos modelos empíricos obtidos para determinar a composição otimizada de duas eco-argamassas (tabela 4), nas quais a incorporação de ECat fosse máxima, conducentes a um DE entre 160-180 mm (requisito tecnológico destas argamassas industriais) e a valores de resistência à compressão entre 0.4-6 MPa (para cumprir a norma EN 998-1 que especifica as propriedades das argamassas para rebocos interiores e exteriores). Para uma das argamassas definiu-se adicionalmente o objetivo de otimização de que os valores de ME estivessem no intervalo 2000-5000 para cumprir o requisito especificado para argamassas a utilizar na reabilitação de edifícios históricos [1]. Os modelos empíricos permitiram determinar composições de argamassas (tabela 4) mais sustentáveis nas quais a substituição de cal por ECat é relevante (55,42 % e 24,94 %, respetivamente) e que, concomitantemente,

têm as propriedades adequadas a diferentes aplicações, isto é, para reboco e para reabilitação de edifícios históricos.

CONCLUSÕES

A principal conclusão desta investigação é a viabilidade da produção industrial, em larga escala, de eco-argamassas de cal hidráulica com incorporação significativa de ECat – até 55 % (em massa) – cumprindo os requisitos normativos e tecnológicos aplicáveis a argamassas para alvenarias. As argamassas apresentam vantagens simbióticas ambientais e tecnológicas para ambas as indústrias (dos materiais de construção e a petrolífera) envolvidas.

O planeamento fatorial de experiências permitiu obter modelos matemáticos empíricos relacionando os parâmetros de misturas com as propriedades das argamassas, nos estados fresco e endurecido que contribuem para o aumento do conhecimento fundamental do efeito da incorporação do ECat em argamassas à base de cal. Adicionalmente, a modelação matemática revelou-se útil na formulação de produtos industriais otimizados para diversas aplicações, promovendo a competitividade do setor da construção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Petróleos de Portugal – Petrogal, S.A. a disponibilização do catalisador exausto ■

BIBLIOGRAFIA

- [1] Veiga, M. R. *et al* (2010). Lime-Based Mortars: Viability for Use as Substitution Renders in Historical Buildings. <https://doi.org/10.1080/15583050902914678>. 4, p. 177-195.
- [2] Jordan, J. W. (2015). Lime mortar and the conservation of historic structures. *Aust. J. Multi-Disciplinary Eng.* 3, p. 35-42. <https://doi.org/10.1080/14488388.2005.11464731>.
- [3] U.S. Environmental Protection Agency, C.C. Division (2009). Technical Support Document for the Lime Manufacturing Sector: Proposed Rule for Mandatory Reporting of Greenhouse Gases. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/subpartstd.pdf> (acesso em 19 de janeiro de 2022).

- [4] Ecofys (2014). A Competitive and Efficient Lime Industry. Cornerstone for a Sustainable Europe. http://www.eula.eu/sites/default/files/publications/files/A_Competitive_and_Efficient_Lime_Industry_-_Technical_report_by_Ecofys_0.pdf.

- [5] Cachim, P., Velosa, A. L., Rocha, F. (2010). Effect of Portuguese metakaolin on hydraulic lime concrete using different curing conditions, *Construction and Building Materials*, 24, p. 71-78. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.010>.

- [6] Aškrić, M. *et al* (2021). Effects of natural zeolite addition on the properties of lime putty-based rendering mortars, *Construction and Building Materials*, 270, p. 121363. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.121363>.

- [7] Pavlík, V., Užáková, M. (2016). Effect of curing conditions on the properties of lime, lime-metakaolin and lime-zeolite mortars. *Construction and Building Materials*, 102, p. 14-25. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.128>.

- [8] Arizzi, A., Cultrone, G. (2018). Comparing the pozzolanic activity of aerial lime mortars made with metakaolin and fluid catalytic cracking catalyst residue: A petrographic and physical-mechanical study, *Construction and Building Materials*, 184, p. 382-390. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.07.002>.

- [9] Soriano, L. *et al* (2016). High strength mortars using ordinary Portland cement-fly ash-fluid catalytic cracking catalyst residue ternary system (OPC/FA/FCC). *Construction and Building Materials*, 106, p. 228-235. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.111>.

- [10] Neves, R. *et al* (2015). Durability performance of concrete incorporating spent fluid cracking catalyst. *Cement and Concrete Composites*, 55, p. 308-314. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.09.018>.

- [11] Al-Jabri, K. *et al* (2021). Spent fluid cracking and spent alumina catalysts as sustainable construction materials in concrete, *Innovative Infrastructure Solutions*, 6, p. 1-12. <https://doi.org/10.1007/S41062-021-00560-7/FIGURES/11>.

- [12] Matos, A. M. *et al* (2021). Durability of an UHPC containing spent equilibrium catalyst. *Construction and Building Materials*, 305, p. 124681. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.124681>.

- [13] Costa, C., Marques, J. C. (2018). Feasibility of eco-friendly binary and ternary blended binders made of fly-ash and oil-refinery spent catalyst in ready-mixed concrete production. *Sustainability*, 10, p. 3136. <https://doi.org/10.3390/su10093136>.

- [14] Montgomery, D. C. (2012). Design and Analysis of Experiments, Eighth, John Wiley & Sons, Inc. <https://www.amazon.com/Design-Analysis-Experiments-Douglas-Montgomery/dp/1118146921> (acesso em 19 de janeiro de 2022).

- [15] Costa, C., Marques, P. (2012). Low-carbon cement with waste oil-cracking catalyst incorporation, IEEE Conference on Industrial Technologies. <https://doi.org/10.1109/CITCON.2012.6215691>.

Argamassas com agregados reciclados de RCD submetidos a carbonatação forçada

Avaliação do seu comportamento em aplicações em suporte de tijolo

Ricardo Infante Gomes c5Lab – Sustainable Construction Materials Association, rgomes@c5lab.pt

Cinthia Maia Pederneiras c5Lab – Sustainable Construction Materials Association

Catarina Brazão Farinha c5Lab – Sustainable Construction Materials Association

Rosário Veiga Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Jorge de Brito CERIS – Instituto Superior Técnico

Paulina Faria Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

A indústria da construção é responsável por um terço dos resíduos produzidos na União Europeia. A substituição de areia natural nos materiais de construção, tais como betões ou argamassas, por resíduos de construção e demolição (RCD) é vista como uma alternativa favorável, já que aumenta o ciclo de vida dos resíduos e reduz o uso de recursos naturais. Estes agregados têm algum potencial de carbonatação e capacidade para a captura de CO₂. Os RCD, em contacto com o CO₂, reagem quimicamente através da carbonatação, o que contribui para o aumento da sua massa volúmica e redução da porosidade. Assim, os RCD carbonatados serão mais resistentes e menos absorventes, o que pode favorecer as propriedades das argamassas, em comparação com os mesmos agregados reciclados não carbonatados. No estudo apresentado, os RCD foram expostos a um elevado nível de CO₂ durante cinco horas e por cinco dias antes de serem incorporados em argamassas, substituindo 50 % e 100 % (em volume) do agregado natural.



O setor da construção é responsável por uma parte significativa das emissões de dióxido de carbono (CO_2) a nível global, e ainda pela geração de grandes quantidades de resíduos. Assim, tem surgido um interesse crescente neste setor com vista à redução do seu impacto ambiental. Os resíduos de construção e demolição (RCD) representam cerca de um terço de todos os resíduos produzidos na União Europeia [1]. Uma vez que os RCD se encontram disponíveis em grandes quantidades com baixos custos de aquisição, a sua incorporação em argamassas e betões na forma de agregados reciclados (AR) tem um impacto positivo na gestão do seu fim de vida, bem como na redução da exploração de agregados naturais (AN). Não obstante, a sua utilização como AR é ainda limitada, nomeadamente, porque estes materiais reduzem o desempenho dos materiais nos quais são incorporados.

O cimento é obtido através da moagem de clínquer, que por sua vez resulta da calcinação a altas temperaturas de marga calcária, produzindo quantidades consideráveis de CO_2 , que são emitidas para a atmosfera [2]. No entanto, qualquer material à base de cimento sofre carbonatação, reação química em que a cal livre reage com o CO_2 , captando-o e formando carbonato de cálcio. Desta forma, é possível afirmar que parte do CO_2 emitido durante o processo de fabrico do cimento é reabsorvido por estes materiais [3].

Vários estudos [4-8] referem que a carbonatação forçada e acelerada provoca efeitos positivos nas características dos AR, comparando com os não-carbonatados, melhorando desta forma as suas propriedades e, consequentemente, as dos materiais nos quais são incorporados. Simultaneamente, há um contributo para a captura e o armazenamento de CO_2 (carbon capture and storage – CCS).

Este artigo apresenta os resultados da avaliação do desempenho de argamassas de cimento para revestimento, aplicadas em suporte cerâmico, formuladas com AR sujeitos a carbonatação forçada e acelerada durante cinco horas e cinco dias. Este estudo integra o projeto WP10B – Forced and accelerated sequestration of CO_2 by CDW to incorporate as aggregates in mortars and concrete – do laboratório colaborativo c5Lab (Sustainable Construction Materials Association), que pretende otimizar a captura de CO_2 através

de RCD para posterior incorporação como agregados em argamassas e betões, compensando parte do CO_2 emitido pela indústria cimenteira.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

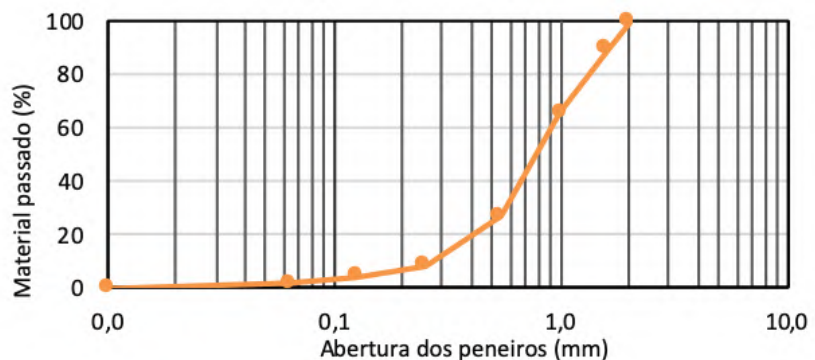
O RCD utilizado nesta pesquisa foi previamente britado e crivado em central de gestão de resíduos, e o AR utilizado foi caracterizado por Infante Gomes *et al* [9], tendo dimensões inferiores a 2 mm e a curva granulométrica apresentada na figura 1. Verifica-se ser constituído por 42 %, em massa, de produtos de betão.

O RCD foi incorporado tal qual como fornecido pela central (AR), e após ter sido sujeito a carbonatação forçada e acelerada numa câmara de carbonatação em condições de 23 °C de temperatura, 60 % de humidade relativa e com

uma concentração de CO_2 de 25 %, durante cinco horas (ARC-5h) e após cinco dias (ARC-5d). Foi utilizado um cimento Portland CEM II/B-L 32,5 N (CIMPOR). O AN utilizado foi uma areia calibrada (Areipor). O traço volumétrico da argamassa foi de 1:4 (ligante: agregado).

As argamassas foram aplicadas sobre tijolo cerâmico, processo constituído por diversas etapas (figura 2), originando provetes simulando um reboco.

Na tabela 1 são apresentadas as formulações de argamassas realizadas.



1 | Curva de distribuição granulométrica dos agregados reciclados.

2 | Aplicação de argamassa simulando reboco em tijolo cerâmico.

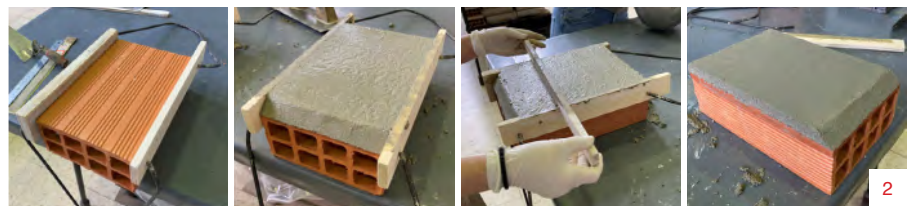


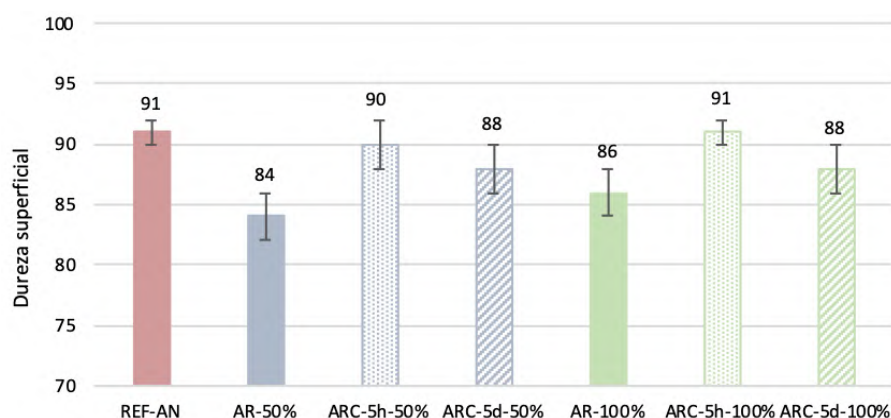
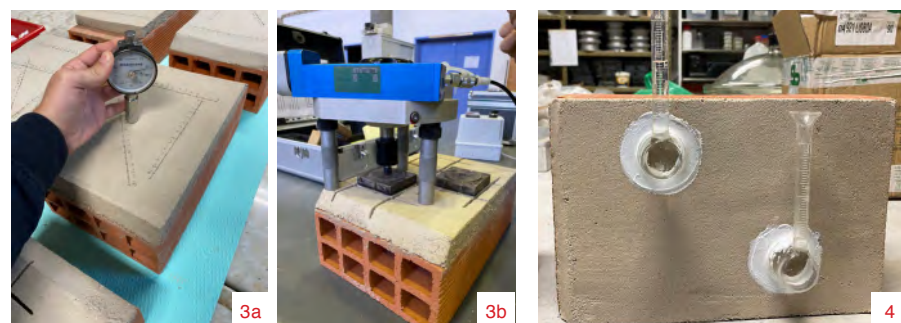
Tabela 1 | Composição das argamassas realizadas (em traço volumétrico)

Argamassa	Cimento	AN	AR	AR-C-5h	AR-C-5d
REF-AN	1	4	–	–	–
AR-50 %	1	2	2	–	–
ARC-5h-50 %	1	2	–	2	–
ARC-5d-50 %	1	2	–	–	2
AR-100 %	1	–	4	–	–
ARC-5h-100 %	1	–	–	4	–
ARC-5d-100 %	1	–	–	–	4

3 | Ensaios de dureza superficial por durômetro (a) e de aderência ao suporte (b).

4 | Ensaio de absorção de água sob baixa pressão com tubos de Karsten.

5 | Resultados de dureza superficial por durômetro das argamassas.



Métodos

Na tabela 2 estão compilados os ensaios realizados e as normas utilizadas, alguns dos quais são ilustrados nas figuras 3 e 4.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Módulo de elasticidade por velocidade de propagação de ultrassons

O módulo de elasticidade dinâmico das argamassas é apresentado na tabela 3. Como esperado, é superior para a argamassa de referência (REF-AN), comparando com as argamassas com AR não carbonatados, e diminui com o aumento da quantidade de AR incorporada. Argamassas com 50 % e 100 % de substituição do AN pelo AR não carbonatado apresentam uma diminuição do módulo de elasticidade de 7 % e 10 %, respectivamente, em comparação com a REF-AN.

Após a carbonatação durante cinco horas, ocorre um aumento do módulo de elasticidade das argamassas, tanto para taxas de substituição de 50 % como de 100 %, em relação às argamassas com agregado não carbonatado e mesmo à argamassa com agregado natural. Contudo, quando formuladas com agregados submetidos a carbonatação por cinco dias, verifica-se uma diminuição do módulo de elasticidade das argamassas em comparação com as que possuem agregados não carbonatados.

Dureza superficial por durômetro

As argamassas formuladas com 50 % e 100 % de AR possuem uma dureza superficial inferior à argamassa formulada apenas com AN (figura 5). O uso de AR carbonatados aumenta a dureza superficial das argamassas comparativamente às argamassas AR-50 % e AR-100 %. O aumento da dureza superficial é superior para as argamassas com agregados ARC-5h, que possuem valores bastante semelhantes à argamassa de referência.

Aderência ao suporte

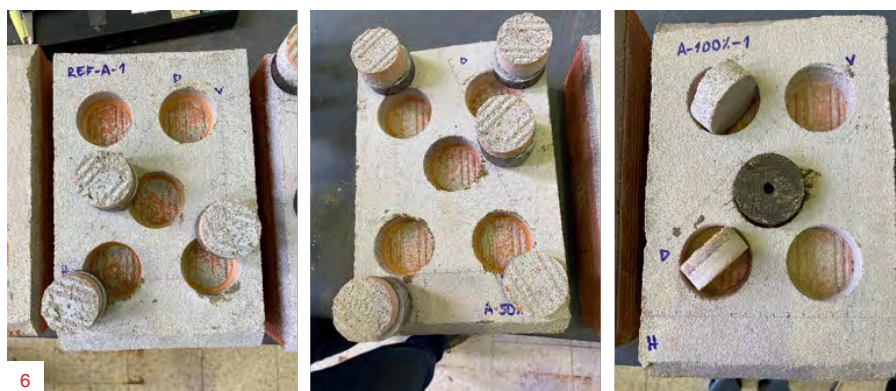
Na tabela 4 são apresentados os resultados da aderência ao suporte. Observa-se que a argamassa de referência é a que apresenta maiores valores de aderência. Por sua vez, esta diminui com a introdução de agregado reciclado não carbonatado. A incorporação de agregados carbonatados diminui drasticamente a aderência ao suporte das argamassas, com exceção

Tabela 2 | Ensaios de avaliação das argamassas aplicadas em suporte de tijolo cerâmico

Ensaio	Norma
Módulo de elasticidade dinâmico	EN 12504-4 [10]
Dureza superficial	ASTM D2240-00 [11]
Aderência ao suporte	EN 1015-12 [12]
Porosidade aberta	EN 1936 [13]
Absorção de água sob baixa pressão	Fe Pa 39 [14]
Suscetibilidade à fissuração	—

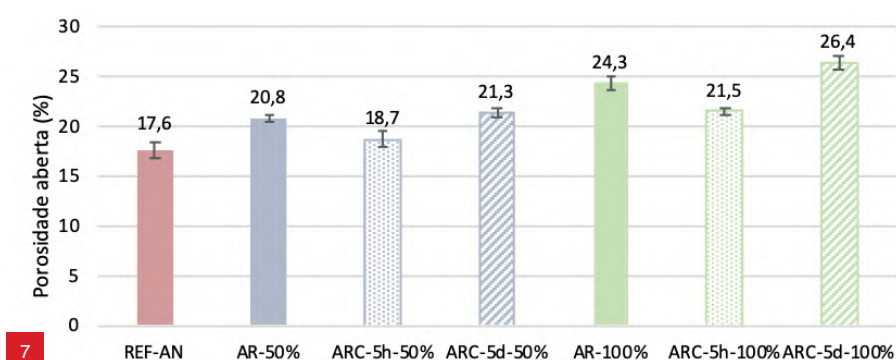
Tabela 3 | Módulo de elasticidade por velocidade de propagação de ultrassons das argamassas

Agregado	Módulo de elasticidade (GPa)		
	Não carbonatado (AR)	Carbonatado 5 h (ARC-5h)	Carbonatado 5 d (ARC-5d)
Areia natural AN	3,72 ± 0,12	—	—
50 % AR	3,48 ± 0,27	4,03 ± 0,32	3,34 ± 0,56
100 % AR	3,35 ± 0,45	3,90 ± 0,31	3,28 ± 0,52



6 | Padrão de rotura adesiva das argamassas.

7 | Porosidade aberta das argamassas aplicadas em tijolo cerâmico aos 28 dias.



da argamassa com incorporação de 50 % de ARC-5d. Todas as argamassas apresentaram um padrão de rotura adesivo (figura 6).

Porosidade aberta

As argamassas produzidas com AR não carbonatado possuem uma porosidade aberta consideravelmente superior à REF-AN (figura 7). A carbonatação do AR por cinco horas diminui a porosidade aberta das argamassas em cerca de 10 % e 12 %, para 50 % e 100 % de substituição, respetivamente, por comparação com as que possuem AR não carbonatado, o que é consistente com o aumento de massa volúmica dos agregados reciclados com a carbonatação [4, 9, 15]. Contudo, a porosidade aberta das argamassas com agregados ARC-5d é superior à das formuladas com agregados não carbonatados.

Absorção de água sob baixa pressão

A quantidade de água absorvida pelas argamassas no ensaio de absorção de água sob baixa pressão é apresentada na tabela 5. Através da quantidade de água absorvida aos 60 minutos, foi calculado o coeficiente de absorção para cada uma das argamassas (tabela 6). Pode-se observar que o uso de AR não carbonatado aumenta a absorção de água das argamassas. No entanto, a substituição do AN por ARC diminui consideravelmente a absorção de água. Esta diminuição é mais evidente para as argamassas que possuem AR carbonatados por cinco horas; para taxas de substituição de 50 % e 100 %, esta diminuição é de cerca de 60 % e 67 %, respetivamente, comparativamente às argamassas com AR não carbonatados.

Tabela 4 | Aderência ao suporte das argamassas

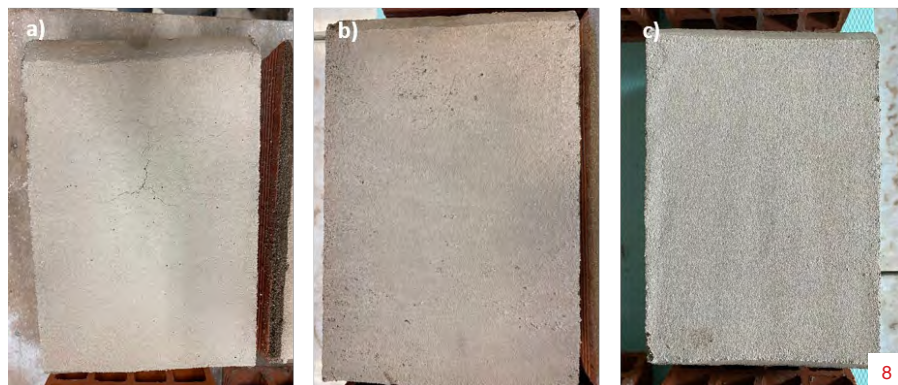
Agregado	Módulo de elasticidade (GPa)		
	Não carbonatado (AR)	Carbonatado 5 h (ARC-5h)	Carbonatado 5 d (ARC-5d)
Areia natural AN	0,53 ± 0,11	–	–
50 % AR	0,26 ± 0,07	0,05 ± 0,00	0,20 ± 0,05
100 % AR	0,36 ± 0,00	0,13 ± 0,02	0,03 ± 0,00

Tabela 5 | Quantidade de água absorvida (em mililitros) pelas argamassas no ensaio de absorção de água sob baixa pressão

Argamassa	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min
REF-AN	0,9	1,7	2,5	4,0	7,1
AR-50 %	1,6	2,7	3,8	6,7	8,4
AR-100 %	1,3	2,1	2,9	4,8	8,8
ARC-5h-50 %	0,5	0,9	1,2	2,1	3,3
ARC-5h-100 %	0,4	0,6	0,8	1,4	2,9
ARC-5d-50 %	1,1	1,7	2,0	3,0	5,4
ARC-5d-100 %	2,0	3,4	4,1	7,9	11,2

Tabela 6 | Coeficiente de absorção das argamassas resultante do ensaio de absorção de água sob baixa pressão

Agregado	Coeficiente de absorção (kg/(m ² .min ^{0.5}))		
	Não carbonatado	ARC-5h	ARC-5d
REF-AN	1,3	–	–
AR-50 %	1,5	0,6	1,0
AR-100 %	1,6	0,5	2,0



8 | Ensaio de suscetibilidade à fissuração das argamassas: a) AR-100 %; b) ARC-5d-100 % e c) ARC-5h-100 %

Suscetibilidade à fissuração

As argamassas aplicadas em tijolo cerâmico foram analisadas quanto ao aparecimento de fissuras visíveis na sua superfície. Apenas as argamassas que possuem 100 % de AR não carbonatados e carbonatados durante cinco dias apresentaram fissuras visíveis (figura 8). No entanto, a argamassa ARC-5h-100 % não apresentou quaisquer fissuras (figura 8), confirmando novamente o sucesso da carbonatação dos agregados por cinco horas na melhoria das suas propriedades, que se verifica nas características das argamassas.

CONCLUSÕES

Um RCD foi incorporado em argamassas cimentícias não estruturais, após moagem e crivagem, substituindo o agregado natural em 50 % e 100 %. Este agregado foi incorporado no seu estado natural e também após sujeito a carbonatações forçada e acelerada durante cinco horas e por cinco dias. As argamassas foram aplicadas em suporte de tijolo cerâmico e analisadas segundo o seu módulo de elasticidade dinâmico, a dureza superficial, a aderência ao suporte, a porosidade aberta, a absorção de água sob baixa pressão e a suscetibilidade à fissuração.

A carbonatação forçada e acelerada dos RCD conduz a um aumento da sua massa volúmica e diminuição de porosidade e absorção de água. A incorporação de AR afetou o comportamento mecânico das argamassas, verificado pelo módulo de elasticidade. Constatou-se a diminuição da dureza superficial por durómetro das argamassas com AR não carbonatado. As argamassas com ARC apresentaram

tendência para um ligeiro aumento da dureza superficial. O uso de AR não carbonatado produziu diminuição na aderência ao suporte das argamassas, que não foi melhorada com a carbonatação dos AR.

A porosidade aberta das argamassas com AR não carbonatado aumentou comparativamente à REF-AN. No entanto, a carbonatação dos AR por cinco horas produziu diminuição da porosidade das argamassas. Por outro lado, argamassas com AR sujeito a carbonatação durante cinco dias apresentaram porosidade aberta superior às argamassas com AR não carbonatados. De modo similar, a carbonatação dos AR diminuiu a absorção de água das argamassas comparativamente às argamassas com AR não carbonatados, sendo esta diminuição superior para as argamassas com ARC-5h. Acresce ainda que argamassas com incorporação de AR não carbonatado e carbonatado por cinco dias em taxa de substituição de 100% apresentaram fissuras visíveis, enquanto argamassas com ARC-5h não evidenciaram esta tendência, não apresentando quaisquer fissuras.

Assim, dos resultados obtidos conclui-se que os AR podem ser positivamente influenciados por uma cura de CO₂ durante curtos períodos. Este pré-tratamento pode melhorar as propriedades dos AR e, ao mesmo tempo, capturar e armazenar CO₂, tendo benefícios ambientais muito importantes. É assim relevante otimizar o período e as condições de carbonatação.

AGRADECIMENTOS

Os autores prestam agradecimento ao laboratório colaborativo c5Lab – Sustainable Construction Materials Association, ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil e à unidade de investigação CERIS, do Instituto Superior Técnico, pelo apoio prestado nesta investigação ■

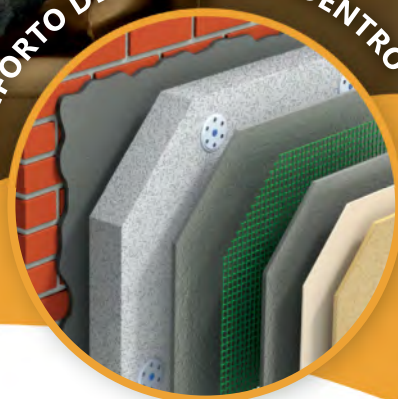
BIBLIOGRAFIA

- [1] Direção-Geral do Ambiente (2010). Guidance on classification of waste according to EWC-Stat categories Supplement to the Manual for the Implementation of the Regulation, n.º 2150. Comissão Europeia, p. 82.
- [2] Cembureau (2013). The role of cement in the 2050 low carbon economy. The European Cement Association.
- [3] Sanjuán, M. A., *et al* (2020). Carbon dioxide uptake by mortars and concretes made with Portuguese cements. *Appl. Sci.*, vol. 10, n.º 2, doi: 10.3390/app10020646.
- [4] Zhan, B. *et al* (2014). Experimental study on CO₂ curing for enhancement of recycled aggregate properties. *Construction and Building Material*, vol. 67, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.09.008, p. 3-7.
- [5] Zhan, B. J. *et al* (2020). Carbonation and CO₂ uptake of concrete. *Construction and Building Material*, vol. 67, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116743, p. 7880-7887.
- [6] Pade, C., Guimarães, M. (2007). The CO₂ uptake of concrete in a 100 year perspective. *Cement Concret Research*, vol. 37, n.º 9, doi: 10.1016/j.cemconres.2007.06.009, p. 1348-1356.
- [7] Zhang, J. *et al* (2015). Influence of carbonated recycled concrete aggregate on properties of cement mortar. *Construction and Building Material*, vol. 98, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.087, p. 1-7.
- [8] Li, L. *et al* (2018). Effect of carbonation of modeled recycled coarse aggregate on the mechanical properties of modeled recycled aggregate concrete, *Cement Concret Research*, vol. 89, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2018.02.018, p. 169-180.
- [9] Gomes, R. I. *et al* (2021). Mortars with CDW Recycled Aggregates Submitted to High Levels of CO₂. *Infrastructures*, vol. 6, n.º 159, doi: https://doi.org/10.3390/infrastructures6110159.
- [10] EN 12504-4 (2004). *Testing concrete in structures – Parte 4: Determination of ultrasonic pulse velocity*. CEN.
- [11] ASTM D2240-00 (2000). *Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness*. ASTM.
- [12] EN 1015-12 (2016). *Methods of test for mortar for masonry – Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates*. CEN.
- [13] EN 1936 (2007). *Natural stone test methods. Determination of real density and apparent density and total and partial open porosity*. CEN.
- [14] Fe Pa 39 (2002). *Ficha de Ensaio. Revestimentos de Paredes: Ensaio de absorção de água sob baixa pressão*. LNEC.
- [15] Gholizadeh-Vayghan, A. *et al* (2020). The effects of carbonation conditions on the physical and microstructural properties of recycled concrete coarse aggregates. *Construction Building Materials*, vol. 257, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119486, p. 119486.

NÃO HÁ NADA COMO O CONFORTO DE CASA



CONFORTO DE FORA PARA DENTRO



ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR

LENA® ETICS é um sistema de Isolamento Térmico pelo Exterior que confere uma proteção de elevado desempenho e durabilidade à sua casa, permitindo manter a **temperatura equilibrada no inverno e no verão**. **Elimina as pontes térmicas, reduz o consumo energético**, proporciona um **ambiente saudável, livre de condensação e mofo**. **Não afeta o espaço interior**, uma vez que se trata de um isolamento realizado pelo exterior.

Adequado para obra nova ou de reabilitação.

Na hora de decidir, escolha o conforto de LENA® ETICS.
40 anos a pensar no melhor para si e para a sua família.



Download
Folheto

Descubra mais em lena.pt



LENA
ARGATECNIC
DESDE 1982 A CUIDAR DA SUA CONSTRUÇÃO

Incorporação de resíduos resultantes da produção de aguardente vínica em argamassas

Estudo preliminar

Ana Briga-Sá ECT – Escola de Ciências e Tecnologia / CQ-VR – Centro de Química de Vila Real, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), anas@utad.pt

Vinícius de Brito ECT – Escola de Ciências e Tecnologia, UTAD

Jorge Pinto ECT – Escola de Ciências e Tecnologia, UTAD / C-MADE, Centro de Materiais e Tecnologias Construtivas, Universidade da Beira Interior

A atividade vinícola assume um lugar de destaque, quer em Portugal, quer no mercado mundial, dando origem à produção de resíduos nos diversos processos que lhe estão associados, e aos quais é necessário atribuir um destino. Neste contexto, o reaproveitamento de um resíduo proveniente da atividade vinícola poderá contribuir para a redução da produção de resíduos e para a diminuição da extração de matérias-primas, seguindo os princípios de circularidade. Com este estudo preliminar pretende-se avaliar a possibilidade de incorporação de resíduos provenientes da produção de aguardente vínica na composição de argamassas, substituindo integralmente o inerte.



A elevada produção de resíduos gerados nas mais diversas atividades económicas é, atualmente, uma preocupação, sendo por isso incentivada a sua reutilização numa perspetiva de economia circular. Neste contexto, o reaproveitamento de diferentes tipos de resíduos resultantes das várias atividades económicas tem sido um desafio para a comunidade científica.

Diversos estudos têm sido desenvolvidos neste domínio, nomeadamente no que respeita à incorporação de resíduos orgânicos em materiais

de construção, tais como argamassas, bloco de betão leve e isolantes térmicos, em substituição do ligante ou do inerte. Maior ênfase tem sido atribuída ao uso de cinzas resultantes de resíduos e subprodutos agrícolas e florestais [1-6]. Os resultados obtidos revelam-se promissores, destacando-se a sua aplicação para fins não estruturais e para soluções de isolamento térmico. Permitem ainda concluir que um estudo aprofundado das características físicas e químicas dos resíduos e de diferentes composições de mistura permitem otimizar a sua introdução em elementos de construção.

Adicionalmente, a existência de diversos resíduos agroflorestais ainda não estudados justifica a continuidade dos trabalhos de investigação neste domínio. Considerando o elevado impacto da construção na promoção da sustentabilidade e a elevada produção de resíduos nas mais diversas atividades económicas, este estudo preliminar tem como principal objetivo avaliar o potencial de valorização de um resíduo vinícola, analisando a possibilidade da sua incorporação no fabrico de argamassas cimentícias.

1 | Resíduo resultante da produção de aguardente vinica.

2 | Provete prismático M1 após 48 horas de cura.

3 | Preparação das amostras para realização dos ensaios mecânicos: a) flexão; b) compressão.



Caracterização do resíduo

O resíduo em estudo é um subproduto proveniente da queima do bagaço que ocorre durante o processo de produção da aguardente vinica (figura 1). A análise granulométrica do resíduo permitiu concluir que este é constituído por uma elevada percentagem de finos. Da caracterização química elementar constata-se que este é maioritariamente composto por carbonato de potássio e dióxido de silício, apresentando valores bastante reduzidos de óxido de cálcio. Identificadas estas características, o resíduo foi utilizado como substituto de areia na composição da argamassa.

Preparação das amostras

Neste estudo foram definidas duas misturas preliminares, M1 e M2, diferindo na quantidade de finos. Manteve-se constante a quantidade de resíduo e fez-se variar a quantidade de cimento e a quantidade de água necessária para manter a trabalhabilidade das misturas (tabela 1).

Para a realização dos ensaios de flexão e de compressão foram utilizados provetes prismáticos de dimensões 16 x 4 x 4 cm e cúbicos de 4 x 4 x 4 cm, respetivamente, para cada uma das misturas (figuras 2 e 3). A pesagem dos provetes para diferentes idades de cura permitiu verificar que a perda de massa ocorre de forma mais acentuada nos primeiros 14 dias, tendendo a estabilizar a partir deste período. Relativamente à massa específica, obtiveram-se valores médios de 1044,79 kg/m³ e 1140,62 kg/m³ para M1 e M2, respetivamente.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos no ensaio de flexão (tabela 2) permitem concluir que os valores da resistência à flexão nos provetes referentes a M1 rondam os 0,42 MPa, apresentando-se ligeiramente superiores no caso de M2, com valor médio de 0,54 MPa. Para a mesma composição de mistura obtêm-se valores



Tabela 1 | Composição das misturas M1 e M2

0,250 mm < M1 < 4 mm			
ID	Cimento (g)	Resíduo (g)	Água (g)
A1	225	750	375
B1	385	750	450
C1	525	750	450

0,125 mm < M2 < 4 mm			
ID	Cimento (g)	Resíduo (g)	Água (g)
A2	225	750	435
B2	385	750	450
C2	525	750	500

Tabela 2 | Resultados do ensaio à flexão

Mistura M1		Mistura M2	
ID	Resistência à flexão (MPa)	ID	Resistência à flexão (MPa)
A1,1	0,478	A2,1	0,572
A1,2	0,478	A2,2	0,429
A1,3	0,394	A2,3	0,551
Média (A1)	0,450	Média (A2)	0,517
B1,1	0,342	B2,1	0,715
B1,2	0,394	B2,2	0,736
B1,3	0,394	B2,3	0,858
Média (B1)	0,377	Média (B2)	0,77
C1,1	0,443	C2,1	0,652
C1,2	0,464	C2,2	0,209
C1,3	0,415	C2,3	0,122
Média (C1)	0,441	Média (C2)	0,327

Tabela 3 | Resultados do ensaio à compressão

Mistura M1		Mistura M2	
ID	Resistência à compressão (MPa)	ID	Resistência à compressão (MPa)
A1,1	1,333	A2,1	1,044
A1,2	1,117	A2,2	0,904
A1,3	1,326	A2,3	0,943
Média (A1)	1,258	Média (A2)	0,963
B1,1	0,858	B2,1	2,017
B1,2	0,805	B2,2	1,939
B1,3	0,975	B2,3	2,214
Média (B1)	0,879	Média (B2)	2,057
C1,1	4,146	C2,1	2,323
C1,2	4,397	C2,2	2,632
C1,3	3,767	C2,3	2,256
Média (C1)	4,103	Média (C2)	2,404

mais elevados no caso de M2, que apresenta maior quantidade de finos, contribuindo para o aumento da compacidade da argamassa e, consequentemente, para o acréscimo de resistência mecânica. Para A1 e A2, que possuem a mesma quantidade de cimento, mas granulometrias distintas, A2 apresenta um valor de resistência 15 % superior ao de A1.

Relativamente ao ensaio de compressão, conclui-se que todos os provetes apresentaram valores de resistência mecânica à compressão superiores a 0,40 MPa, sendo esta a resistência mínima exigida para argamassas da classe CS I de acordo com a Norma Europeia EN 998-1 (2010). Os valores mais elevados referem-se aos provetes A1, B2 e C1, destacando-se a mistura C1 com o valor médio de 4,10 MPa, que apresenta maior quantidade de cimento na mistura (tabela 3).

Como seria esperado, é notório o impacto do aumento da quantidade de cimento no desempenho mecânico da argamassa. No entanto, é importante salientar que a mistura A1, cuja composição inclui menor razão cimento/resíduo, apresenta valores de resistência mecânica à flexão de 0,45 MPa, e à compressão de 1,26 MPa, satisfazendo os requisitos mínimos para argamassas térmicas.

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como objetivo avaliar a possibilidade de incorporação de resíduos provenientes da produção de aguardente vinica na composição de argamassas, substituindo integralmente o inerte. Os resultados obtidos demonstram que a incorporação do resíduo na mistura cimentícia permite cumprir os requisitos mínimos de resistência mecânica para uma argamassa térmica de revestimento. Apesar de o estudo aqui apresentado constituir uma abordagem preliminar neste domínio, os resultados obtidos sugerem a possibilidade de incorporação deste resíduo vinícola em materiais de construção não estruturais. Mostra-se, no entanto, fundamental prosseguir com o trabalho de investigação nesta área, com vista à otimização das suas propriedades físicas e mecânicas. Estão em estudo composições de argamassas com adição do resíduo como substituto parcial do inerte. O desenvolvimento do trabalho neste domínio inclui o estudo de outras propriedades do material, nomeadamente absorção de água e comportamento térmico.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho de investigação foi parcialmente financiado pela FCT através dos projetos UIDP/00616/2020 (CQ-VR) e UIDB/04082/2020 (C-MADE) ■

BIBLIOGRAFIA

- [1] Prusty, J. K., Patro, S. K. (2015). Properties of fresh and hardened concrete using agro-waste as partial replacement of coarse aggregate – A review. *Construction and Building Materials* 82, 101-113.
- [2] Kazmi, S. *et al* (2016). Exploratory study on the effect of waste rice husk and sugarcane bagasse ashes in burnt clay bricks. *J. Build. Eng.* 7.
- [3] Modani, P., Vyawahare, M. R. (2013). Utilization of bagasse ash as a partial replacement of fine aggregate in concrete. *Procedia Engineering* 25-29.
- [4] Kanning, R.C. *et al* (2014). Banana leaves ashes as pozzolan for concrete and mortar of Portland cement. *Construction and Building Materials* 1: 54, 460-465.
- [5] Paiva, A. *et al* (2012). A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards. *Energy and Buildings* 45, 274-279.
- [6] Mahmoud, H., Belei, Z. A., Nwakaire, C. (2012). Groundnut shell ash as a partial replacement of cement in sandcrete blocks production. *International Journal of Development and Sustainability* 1:3, 1026-1032.

Avaliação da resistência à biocolonização e do desempenho à água de argamassas térmicas aplicadas em sistemas multicamada de isolamento térmico pelo exterior

João Luís Parracha Laboratório Nacional de Engenharia Civil – CERIS – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

Rosário Veiga LNEC

Inês Flores-Colen CERIS – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

Lina Nunes LNEC e cE3c – Universidade dos Açores

A aplicação de argamassas de desempenho térmico melhorado em sistemas multicamada de isolamento térmico pelo exterior tem sido cada vez mais frequente, quer em construção nova, quer na reabilitação térmica de fachadas de edifícios. Com o presente estudo, pretende-se avaliar a resistência à biocolonização e o desempenho à água de três argamassas térmicas aplicadas em sistemas multicamada. Os resultados demonstram a importância de um bom desempenho de todos os componentes do sistema para um aumento da eficiência e durabilidade do conjunto.



O setor da construção tem vindo a adaptar-se e a atualizar-se através da procura de novos sistemas, soluções e processos construtivos mais sustentáveis e que respondam às crescentes exigências de conforto higratérmico dos edifícios. A aplicação de argamassas de desempenho térmico melhorado em sistemas multicamada de isolamento térmico pelo exterior tem sido cada vez mais frequente, quer em construção nova, quer na reabilitação térmica de fachadas de edifícios.

A incorporação de agregados leves na composição da argamassa, tal como de aditivos introdutores de ar, contribui fortemente para a melhoria do seu desempenho térmico. No entanto, a introdução deste tipo de agregados potencia também uma redução considerável da densidade da argamassa, condicionando o seu bom desempenho mecânico. Adicionalmente, pode verificar-se uma alteração considerável da sua estrutura porosa, afetando o desempenho à água da argamassa térmica.

Quando aplicada em sistemas multicamada de isolamento térmico pelo exterior, a argamassa pode contribuir para colmatar ou agravar algumas das desvantagens identificadas nestes sistemas ao longo do tempo. Essas desvantagens incidem principalmente no desenvolvimento de condensações superficiais, na aderência entre os diferentes componentes do sistema, na sua resistência ao choque, na alteração da cor e na suscetibilidade à colonização biológica. Assim, a avaliação da biocolonização e do desempenho à água de diferentes argamassas térmicas aplicadas em sistemas multicamada é de extrema importância, especialmente por não existir ainda qualquer documento que permita avaliar o desempenho destes sistemas.

No presente estudo, avalia-se a resistência à biocolonização e o desempenho à água de três argamassas térmicas aplicadas em sistemas multicamada de isolamento térmico

pelo exterior, avaliando-se não só o desempenho do sistema como um todo, mas também da argamassa térmica individualmente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, analisaram-se três argamassas térmicas aplicadas em sistemas multicamada de isolamento térmico pelo exterior (figura 1). Os provetes das diferentes soluções foram realizados pelos respectivos fabricantes. A constituição de cada uma das camadas dos diferentes sistemas encontra-se especificada na tabela 1. Os sistemas S1 e S2, bem como as respectivas argamassas térmicas, encontram-se disponíveis no mercado e, por isso, possuem ficha técnica de produto. O sistema S3 encontra-se em fase de desenvolvimento.

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado em ambiente condicionado ($T = 23 \pm 2^\circ\text{C}$ e $\text{HR} = 65 \pm 5\%$), de acordo

com o especificado no EAD [1] e na norma EN 998-1 [2]. Para testar o sistema completo e as argamassas individualmente, utilizaram-se provetes com uma área aproximada, respetivamente, de $150\text{ mm}^2 \times 150\text{ mm}^2$ e de $40\text{ mm}^2 \times 40\text{ mm}^2$. O ensaio de secagem foi realizado de acordo com o especificado na norma EN 16322 [3], em ambiente condicionado ($T = 23 \pm 2^\circ\text{C}$ e $\text{HR} = 65 \pm 5\%$), até se obter uma variação de massa constante para todos os provetes ensaiados. O ensaio de permeabilidade ao vapor de água foi realizado em ambiente condicionado ($T = 23 \pm 2^\circ\text{C}$ e $\text{HR} = 50 \pm 5\%$), de acordo com o EAD [1] e a norma EN 1015-19 [4], utilizando-se o método da cápsula seca.

1 | Sistemas multicamada ensaiados no estudo (a-c) e respetivas argamassas térmicas (d-f).

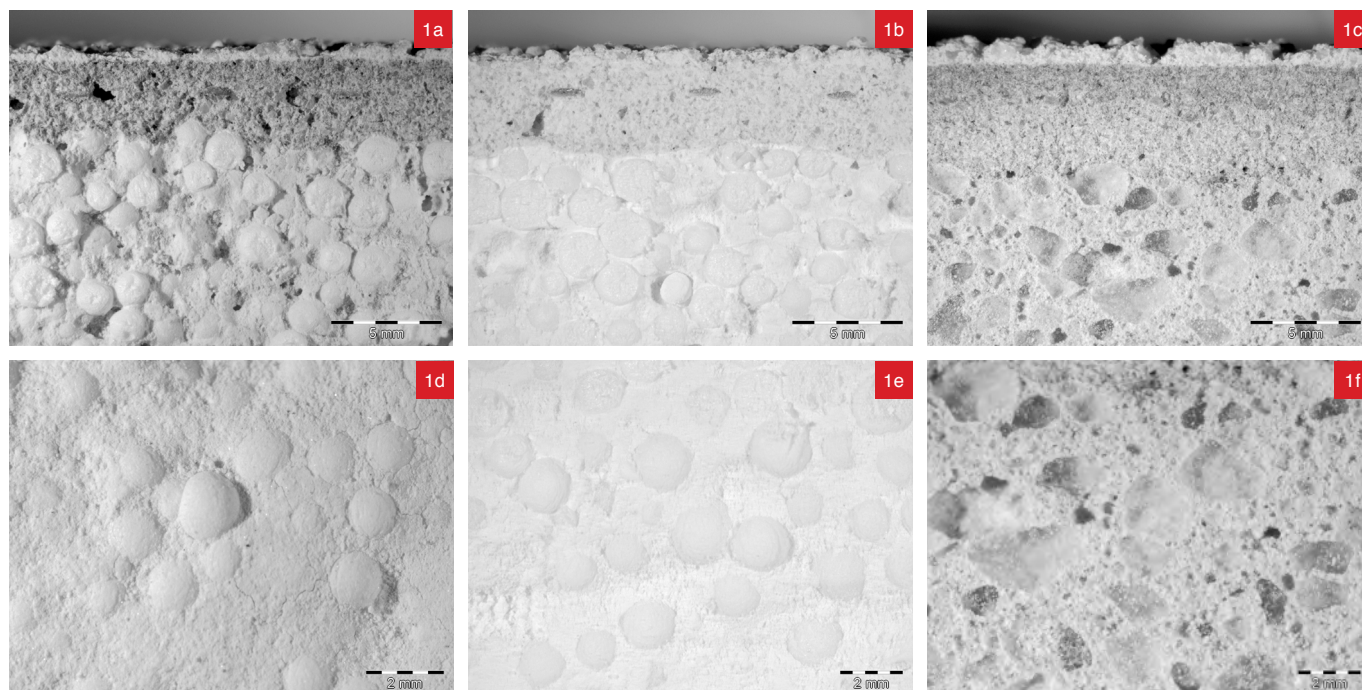


Tabela 1 | Identificação e constituição dos sistemas multicamada

Sistema (S)	Espessura do sistema [mm]	Argamassa térmica (Matriz/Agregado)	Espessura da argamassa [mm]	Camada de base*	Camada de acabamento
S1	68,73	Cal/EPS	60,28	Cimento	Tinta acrílica 1
S2	43,75	Mista/EPS	37,23	Cimento, cal hidráulica natural	Tinta acrílica 2
S3	55,33	Mista/Aerogel	40,50	Cimento	Tinta acrílica 1

*Reforço com inclusão de rede de fibra de vidro normal

A suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores foi avaliada de acordo com uma metodologia adaptada das normas americanas ASTM D5590-17 [5] e ASTM C1338-19 [6] e validada previamente pelos autores para ETICS [7]. A metodologia de ensaio adotada encontra-se explicada detalhadamente em Parracha *et al.* [7]. Consideraram-se duas condições de exposição: inoculação natural (provetes expostos sem esterilização prévia) e inoculação artificial (após esterilização por vapor de água) com uma suspensão mista de esporos de *Aspergillus niger* e *Penicillium funiculosum*.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

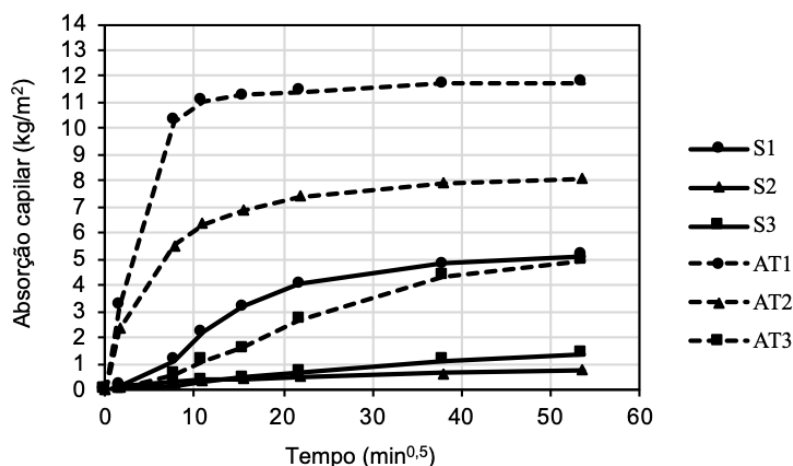
Absorção de água por capilaridade e secagem

Através da análise das curvas de absorção de água por capilaridade (figura 2), verifica-se uma maior absorção capilar no caso das argamassas testadas individualmente, como era expectável. De facto, as camadas de revestimento têm um papel fundamental na proteção da argamassa térmica e na redução da absorção de água por capilaridade do sistema completo.

No caso dos sistemas multicamada, os maiores valores de absorção de água por capilaridade no fim do ensaio verificam-se para S1, seguido do sistema S3 e de S2 (figura 2). Tratando-se de sistemas multicamada, os primeiros registos do ensaio (valores de Cc ou até da absorção capilar após uma hora) traduzem essencialmente o comportamento das camadas de revestimento (camada de base + camada de acabamento), que neste caso é melhor para S3 (menor valor de Cc e de absorção capilar após uma hora) (tabela 2).

A argamassa térmica à base de cal com EPS (AT1) obteve não só o maior valor do coeficiente de capilaridade, mas também os maiores registos de absorção capilar ao longo de todo o ensaio. Por outro lado, os menores valores foram obtidos para a argamassa com aerogel, o que pode ser explicado pelas suas propriedades hidrofóbicas.

Na figura 3 apresentam-se as curvas de secagem para os sistemas e argamassas térmicas. Através da análise dos resultados (tabela 2), conclui-se que os valores das taxas de secagem são superiores no caso das argamassas térmicas testadas individualmente, o que está de acordo com os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade. Ou seja, argamassas ou sistemas que apresentam maior absorção de água também acabam por secar mais rapidamente, o que é benéfico nas condições em que essa secagem é possível.



2 | Curvas de absorção de água por capilaridade.

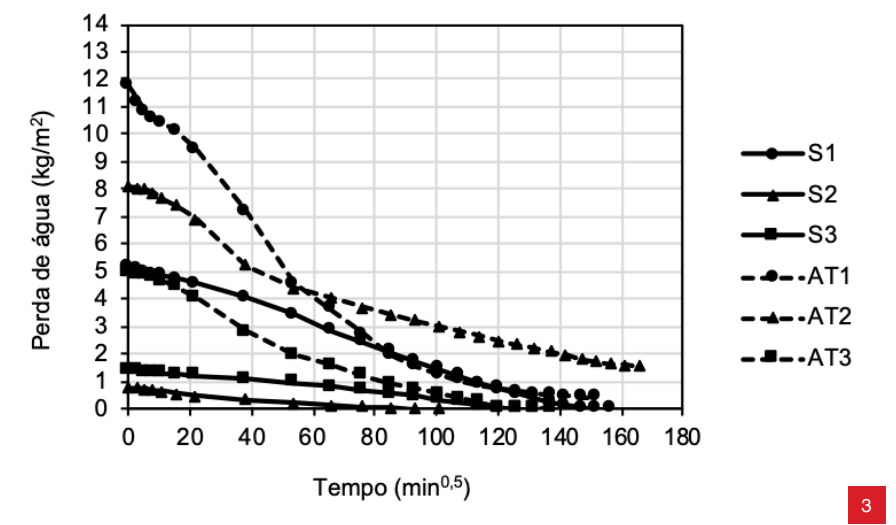
Permeabilidade ao vapor de água

Os resultados obtidos (tabela 3) indicam que os sistemas multicamada são entre 120 % e 800 % menos permeáveis ao vapor de água do que as argamassas térmicas. De facto, as camadas de revestimento contribuem fortemente para a redução da permeabilidade ao vapor do sistema completo. No entanto, todos os sistemas apresentam valores de espessura da camada de ar de difusão equivalente (Sd) inferiores a 1 m, sendo este valor definido pelo EAD [1] como o valor-limite para as camadas de revestimento de sistemas ETICS com isolante térmico mais permeável ao vapor (por exemplo, lã mineral).

Tabela 2 | Resultados da absorção de água por capilaridade e secagem

	S1	S2	S3	AT1	AT2	AT3
Absorção capilar após 1 h [kg/m ²]	1,135 ± 0,580	0,329 ± 0,099	0,199 ± 0,053	10,278 ± 1,294	5,513 ± 0,143	0,623 ± 0,456
Absorção capilar após 24 h [kg/m ²]	4,825 ± 1,442	0,671 ± 0,184	1,154 ± 0,410	11,713 ± 0,655	7,911 ± 0,687	4,360 ± 2,776
Cc [kg/(m ² .min ^{0,5})]	0,091 ± 0,024	0,067 ± 0,017	0,032 ± 0,05	0,472 ± 0,025	0,294 ± 0,058	0,152 ± 0,110
TS1 [kg/(m ² .min)]	0,000748	0,000304	0,000209	0,002489	0,001980	0,001482
TS2 [kg/(m ² .min ^{0,5})]	0,0387	0,0077	0,0120	0,11780	0,0306	0,0427

Notas: Cc – coeficiente de absorção de água por capilaridade; TS1 – taxa de secagem 1; TS2 – taxa de secagem 2.



3 | Curvas de secagem para os sistemas completos e argamassas térmicas.

Tabela 3 | Resultados da permeabilidade ao vapor de água

	S1	S2	S3	AT1	AT2	AT3	S1-AT1	S2-AT2	S3-AT3
μ [-]	54	26	11	6	8	5	-	-	-
Sd [m]	-	-	-	-	-	-	0,37	0,28	0,19

Notas: μ - coeficiente de resistência à difusão do vapor de água; Sd – espessura da camada de ar de difusão equivalente.

Em relação às argamassas térmicas avaliadas individualmente, a argamassa AT2 (matriz mista com EPS) obteve o maior valor do coeficiente de resistência à difusão do vapor de água ($\mu = 8$), seguida da argamassa AT1 (cal e EPS), com um $\mu = 6$, e, por fim, da argamassa de aerogel AT3 ($\mu = 5$). Os resultados obtidos estão de acordo com estudos anteriores em que se avaliaram argamassas com incorporação de EPS ($\mu < 9$) ou de aerogel ($\mu = 4$).

Suscetibilidade ao desenvolvimento de bolores

Na tabela 4 apresentam-se os resultados da classificação visual do grau de desenvolvimento de bolores na superfície das argamassas para cada uma das quatro semanas de ensaio. Em relação aos sistemas completos, o grau de desenvolvimento de bolores na superfície dos provetes foi sempre 0. A atribuição da classificação 4 aos provetes de controlo logo desde a segunda semana de ensaio e o desenvolvimento de bolores no meio de cultura e nas argamassas térmicas são indicadores de validação do ensaio.

Considerando a inoculação artificial com *A. niger* e *P. funiculosum*, os resultados indicam traços de crescimento de bolores (< 10 % de crescimento na superfície dos provetes) nas argamassas AT1 e AT3 a partir da terceira semana de ensaio, com aparente maior predominância do *A. niger* (figura 4B). Não se detetou qualquer crescimento aparente de bolores na superfície dos três provetes de argamassa AT2 inoculados artificialmente.

Em relação aos provetes com inóculo natural, detetaram-se traços de crescimento de bolores na superfície das argamassas AT1 (figura 4A) e AT2 a partir da segunda e da terceira semana de ensaio, respetivamente. No entanto, o grau de desenvolvimento de bolores foi semelhante para as duas argamassas após quatro semanas de ensaio. Não se verificou crescimento aparente de bolores nos provetes de argamassa de aerogel (AT3).

No geral, considerando a inoculação natural e artificial, os resultados do desenvolvimento de bolores nas argamassas térmicas são inferiores aos obtidos para placas de aglomerado de cortiça expandida (ICB) e semelhantes aos

obtidos para placas de lã mineral (MW). No entanto, são superiores ao desenvolvimento de bolores em placas de poliestireno expandido (EPS) [7].

EN 998-1 vs. EAD 040083-00-0404

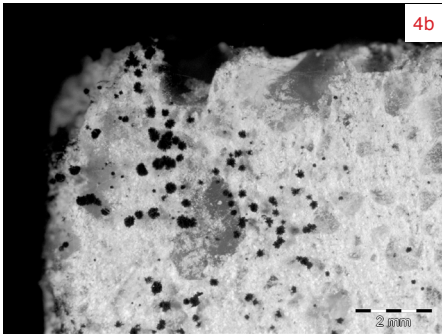
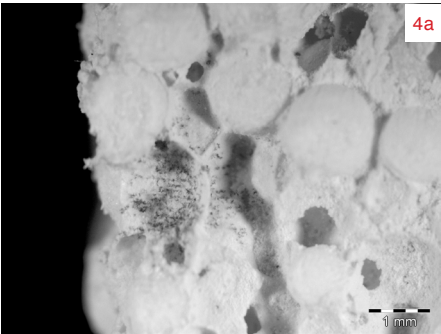
Na tabela 5 apresentam-se os requisitos especificados na norma EN 998-1 [2] e no EAD [1] para a avaliação do desempenho à água dos sistemas completos e das argamassas térmicas. No entanto, importa referir que o EAD apresenta requisitos e métodos de ensaio para a avaliação de sistemas ETICS. Uma vez que ainda não existe qualquer documento que permita avaliar o desempenho de sistemas multicamada de isolamento térmico pelo exterior com incorporação de argamassas térmicas, os requisitos especificados no EAD foram utilizados no presente estudo para a avaliação do sistema completo como uma primeira aproximação.

Os resultados indicam que as argamassas térmicas AT2 e AT3 estão de acordo os requisitos da norma EN 998-1 [2] em relação à absorção de água por capilaridade e à

Tabela 5 | Requisitos para a avaliação do sistema completo e das argamassas térmicas de acordo com o EAD [1] e a EN 998-1 [2], respetivamente

Requisitos		S1	S2	S3	AT1	AT2	AT3
Absorção de água por capilaridade	EN 998-1: $C_c \leq 0,40 \text{ kg}/(\text{m}^2.\text{min}^{0,5})$	-	-	-	X	✓	✓
	EAD: $A_{1h} \leq 1 \text{ kg}/\text{m}^2$	X	✓	✓	-	-	-
Permeabilidade ao vapor de água	EN 998-1: $\mu \leq 15$	-	-	-	✓	✓	✓
	EAD: $S_d \leq 1 \text{ m}$	✓	✓	✓	-	-	-

Notas: C_c – coeficiente de capilaridade; A_{1h} – absorção capilar após uma hora; μ – coeficiente de resistência à difusão do vapor de água; S_d – espessura da camada de ar de difusão equivalente; ✓ – verifica; X – não verifica.



4 | Imagens ao microscópio estereoscópico de um provete de AT1 (a) e de AT3 (b), ambos com colonização biológica após quatro semanas de ensaio.

permeabilidade ao vapor de água. No que diz respeito à avaliação dos sistemas completos de acordo com os requisitos do EAD [1], verifica-se uma tendência semelhante, ou seja, todos os sistemas cumprem os requisitos, com exceção de S1 no valor da absorção de água por capilaridade após uma hora de ensaio. Os resultados obtidos demonstram, assim, a importância de um bom desempenho de todos os componentes do sistema para um aumento da eficiência e da durabilidade do conjunto.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, de acordo com a metodologia de ensaio aplicada no presente estudo, sugerem um desempenho satisfatório à água para todas as soluções, com exceção do sistema S1 (argamassa térmica de cal e EPS, com uma argamassa de cimento na camada de base e acabamento acrílico) e da respetiva argamassa AT1, onde a absorção de água por capilaridade excedeu ligeiramente os limites. Adicionalmente, não se detetou qualquer crescimento aparente de bolores na superfície dos três sistemas. No entanto, os resultados

indicaram traços de crescimento nos provetes de argamassas, comprovando que o bom desempenho das camadas de revestimento é essencial para prevenir fenómenos de colonização biológica na argamassa térmica e, consequentemente, em todo o sistema.

Os resultados demonstram a importância de um bom desempenho de todos os componentes do sistema e de uma boa compatibilidade entre eles para um aumento da eficiência e da durabilidade do conjunto. Adicionalmente, um estudo mais abrangente destes sistemas multicamada continua a ser necessário, assim como o desenvolvimento de um documento, com base em normalização e guias técnicos existentes, que permita avaliar o seu desempenho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FCT pelo financiamento ao projeto WGB_Shield (PTDC/ECI-EGC/30681/2017) e à bolsa de doutoramento DFA/BD/5180/2020. Agradece-se à Secil e à Weber Saint-Gobain o fornecimento dos materiais utilizados na campanha experimental ■

BIBLIOGRAFIA

[1] EOTA (2020). Guideline for European technical approval of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Rendering. EAD 040083-00-0404, EOTA, Brussels, Belgium.

[2] CEN (2017). Specification for mortar for masonry. Part 1: rendering and plastering mortar, EN 998-1. British Standard Institution, London, UK.

[3] CEN (2013). Conservation of cultural heritage – Test methods – Determination of drying properties, EN 16322. European Standard, Brussels, Belgium.

[4] CEN (2008). Methods of test for mortar for masonry – Part 19: Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars, EN 1015-19. European Standard, Belgium.

[5] 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.

[6] ASTM (2019). Standard test method for determining fungi resistance of insulation materials and facings, ASTM C1338-19. ASTM International, Pennsylvania, USA.

[7] Parracha, J. L. *et al* (2021). Performance parameters of ETICS: Correlating water resistance, bio-susceptibility and surface properties. *Construction and Building Materials*. 272, 121956.

Avaliações adicionais à EN 12004 na caracterização de argamassas-cola

Vera Fernandes Saint-Gobain Portugal, S.A.

Pedro Ferreira Saint-Gobain Portugal, S.A.

Pedro Sequeira Saint-Gobain Portugal, S.A.

Luís Silva Saint-Gobain Portugal, S.A., luís.silva@saint-gobain.com

Têm sido desenvolvidas soluções de cerâmica mais elaboradas, em que a utilização de cimento como ligante único em argamassas-cola se revela insuficiente. A solução tem sido a conjugação deste ligante hidráulico com resinas poliméricas, pois são capazes de proporcionar uma melhor aderência, além de conferirem deformação transversal. Este trabalho recorda a absorção de água dos elementos cerâmicos como fator-chave para a decisão de compatibilidade com argamassas-cola, além de apresentar a metodologia e os resultados relativos à aplicação de testes de impacto a partir de queda livre de uma esfera metálica, sugerindo mais-valia face a propriedades indicadas pela norma atual, mais especificamente a deformação transversal.

Causas externas para destacamento, como metodologias de aplicação incorretas, algumas formulações desenhadas incorretamente, mas também se admite que a quantidade de resina polimérica adequada é subdimensionada, ainda que os resultados de aderência por tração perpendicular ou a deformação transversal revelem resultados conforme as classes definidas pela EN 12004.

Com efeito, não raro se observa argamassas-cola com 1 % ou 3 % de resina redispersável encaixarem exatamente na mesma classe da norma, tipicamente um C2 (aderência por tração perpendicular $> 1\text{N/mm}^2$). Uma análise conscienciosa a estas observações deverá impelir a necessidade de interpretação mais adequada do desempenho relativo das argamassas e o seu impacto ao nível da utilização.

Por exemplo, será expectável que uma argamassa-cola com uma quantidade de polímero de 1 % e outra com 3 %, ambas potencialmente definidas como classe C2, apresentem o mesmo nível de desempenho? Ou é admissível pensar que será válido para vários contextos, embora não para outros? E, se assim for, como garantir esta diferenciação e prever os diferentes casos por forma a prevenir situações de inconformidade em aplicações reais?

Importa continuar na elaboração de trabalhos de avaliação de desempenho destas argamassas, adicionais à própria norma, que possam ajudar a esclarecer o impacto que alguns componentes das argamassas-cola, ou da sua execução em obra, possam ter ao nível do comportamento final da solução. Uma avaliação possível, capaz de prever o comporta-

mento mecânico de sistemas colados de elementos cerâmicos, é o teste de impacto, que determina a quantidade de energia associada por um material quando sujeito a um objeto em movimento, como um pêndulo ou uma esfera metálica em queda. A sua atuação expõe os materiais a eventos dinâmicos, forçando os mesmos a absorver energia rapidamente, mas o seu interesse vai além, por representar e ajudar a compreender o desempenho de materiais em aplicações reais. A ação de impacto provocada por uma esfera metálica sobre um material cerâmico pode resultar em fraturas que tendem a propagar-se em forma cónica, radial e lateral, o que permite a esta metodologia apresentar análise pós-impacto aos materiais. Vários estudos revelam resultados com informação relevante ao nível do comportamento de sistemas cerâmicos soltos

ou colados com várias tipologias de adesivos. Surpreendentemente, não abundam estudos de impacto relativos à combinação de ladrilho cerâmico e argamassas-cola de base cimentícia (ou de ligantes mistos), embora se deva admitir um potencial real de obtenção de informação sobre a compatibilidade entre os dois elementos e o próprio suporte. Na realidade, a sua execução permite avaliar o sistema colado em condições de tensões externas, providas pelo impacto [1-8].

Este trabalho apresenta duas questões que se podem complementar. Por um lado, aborda como a ligação entre a argamassa-cola e o elemento cerâmico é fortemente condicionada pelo teor de absorção de água do cerâmico e pela quantidade de polímero presente na argamassa. Por outro lado, apresenta a condição de um teste de impacto adicional, promotora de tensões externas ao sistema aplicado, como informação adicional à compatibilidade entre os materiais. Nos dois casos, são ensaios que exprimem interação entre todos os materiais do sistema, o que se torna útil do ponto de vista de relação com aplicações reais, contrariamente, por exemplo, ao ensaio da deformação transversal, que se revela de menor valia, dada a elevada dispersão de resultados e a pouca informação prática resultante da sua execução.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Avaliação de aderência por tração perpendicular em função do grau de absorção de água dos elementos cerâmicos

O teste consistiu na determinação da aderência inicial por tração perpendicular e após envelhecimento por calor, segundo as normas EN 12004:2007+A1:2012 e EN 12004-2:2017, para um conjunto de elementos cerâmicos, cuja variável principal é a absorção de água (0,05 %, 0,5 % e 10 %) e argamassas-cola, cuja variável principal considerada é a quantidade de polímero redispersável (RDP) na sua composição (0 %, 0,5 %, 1 %, 2 %, 3,5 %, 5 % e 10 %).

1 | Exemplificação dos níveis de impacto:
1 – Muito Mau (fissuração e descolamento);
2 – Mau (fissuração parcial); 3 – Bom (sem fissuração e descolamento).

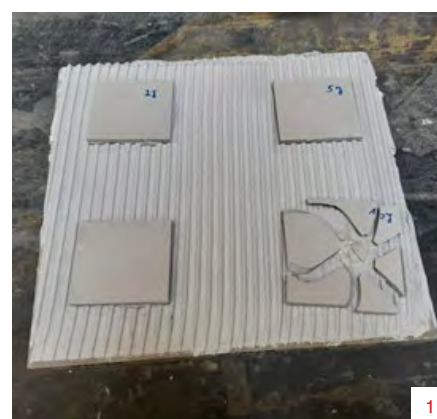
Testes de impacto por ação de queda livre de uma esfera metálica

Os testes foram realizados para monitorizar a evolução da degradação por fratura de um sistema de cerâmica, colado por uma argamassa-cola sobre um suporte de betão, por ação de queda de uma esfera metálica de 1 kg e diâmetro 6,25 cm, com diferentes alturas, 20 cm, 50 cm e 100 cm, resultando em ações de impacto respetivas de 2J, 5J e 10J. O elemento cerâmico usado correspondeu à classe B1a, com 10 mm de espessura e dimensões laterais de 100 mm. Os elementos cerâmicos foram colados a um suporte de betão com 40 mm de espessura, com várias argamassas-cola de ligantes mistos em estudo, cuja principal variável é a percentagem mássica de polímero redispersável (RDP): 0,5 %, 2 %, 3,5 % e 10 %. A colagem foi realizada segundo técnica de colagem dupla, com barramento no tardo do cerâmico e com penteado por recurso a pente 6x6 no suporte de betão. Os resultados são apresentados a partir de uma escala empírica, adotada face às tipologias de rotura observadas, conforme indicado na figura 1, resultando em três níveis de impacto (Bom, Mau e Muito Mau) [9].

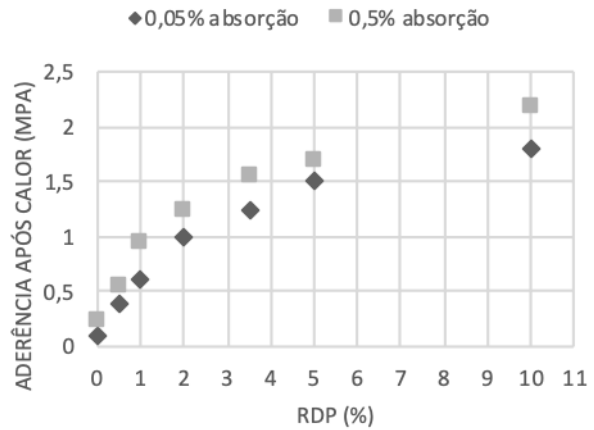
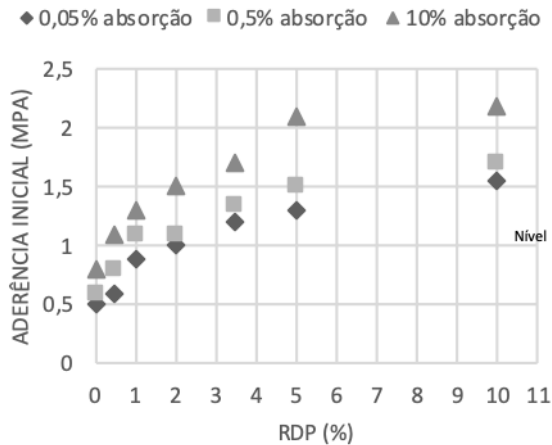
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação de aderência por tração perpendicular em função do grau de absorção de água dos elementos cerâmicos

A figura 2 apresenta os resultados de aderência por tração perpendicular, inicial e após ação do calor, que se revelam superiores para a cerâmica com maior absorção de água, para todas as quantidades de resina estudada. Também, o valor é tanto mais favorável quanto maior a quantidade de polímero adicionado.



Para 2 % de polímero, obtém-se classe C2 para as duas absorções de cerâmico, mas para 1 % de polímero a diferença implica duas classificações distintas: C1 e C2. Após ação do calor, observam-se diferenças maiores, conforme o grau de absorção adotado. Entre 0,5 % e 2 %, várias classificações podem ser obtidas: por exemplo, com 2 % de polímero, a classificação será sempre C2; para 1 % de polímero, a classificação pode ser como C1 ou C2, conforme a absorção de água do cerâmico seja 0,05 % ou 0,5 %, respetivamente; por último, para 0,5 % de polímero, a argamassa-cola pode nem atingir um C1 se a absorção de água do cerâmico for 0,05 %! Estes resultados são muito relevantes, indiciando que a comparação de ensaios entre laboratórios pode condicionar conclusões de desempenho de dois produtos com composição similar. Mas também podem contribuir positivamente, por indicar que a opção de estudo com níveis de absorção específicos para os cerâmicos podem ajudar a esclarecer diferenças reais de desempenho de argamassas-cola, com percentagens de polímero próximas, mas, ainda assim, suficientemente distintas (como, por exemplo, 1 % e 2 %), prevenindo problemas de destacamento em condições de aplicação real.



2

Testes de impacto por ação de queda livre de uma esfera metálica

A figura 3 apresenta os resultados relativos ao nível de impacto obtido em função da energia utilizada, 2 J, 5 J e 10 J, em função das várias argamassas-cola utilizadas para a fixação do elemento cerâmico, com foco na percentagem de polímero redispersível (RDP), assumindo que a sua incorporação terá efeitos na energia absorvida durante o impacto. Os resultados evidenciam que uma incorporação de 10 % de polímero é condição favorável para a obtenção de um desempenho elevado da argamassa-cola, uma vez que não se observa qualquer degradação do cerâmico ou do sistema colado, mesmo com um impacto de 10J. Os resultados também indicam que um impacto de 2J não se apresenta como um fator diferenciador da argamassa, pelo menos no contexto testado. Já um impacto de 5J apresenta diferenciação em função da quantidade de resina incorporada na argamassa-cola; por exemplo, valores de resina inferiores a 2 % revelam tendência para rotura do sistema, sobretudo ao nível da fissuração do cerâmico (nível 2). Por último, um impacto de 10J apresenta maior potencial de diferenciação, inclusive para níveis de polímero adicionais, entre 2 % e 10 %.

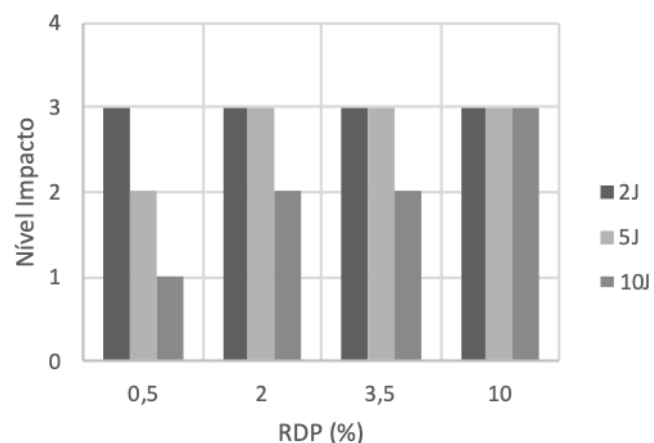
Admitindo que o desempenho de uma argamassa-cola, combinada com um suporte e um elemento cerâmico, sujeita ao teste de impacto, resulta do grau de aderência e de propriedades intrínsecas dos materiais, no caso da cola, da sua capacidade de deformação (medida a partir do ensaio de deformação transversal), a figura 4 procura apresentar a relação entre o desempenho ao impacto e as propriedades da cola como aderência e deformação transversal [9].

Os resultados indicam relações igualmente dependentes da quantidade de polímero presente na argamassa. Isto é, o aumento da percentagem de polímero resulta num incremento da aderência e da deformação transversal e num aumento de desempenho ao nível do impacto. Os resultados também evidenciam que a deformação transversal, segundo os limites S1 e S2 indicados pela EN 12004 (respetivamente, 2,5 mm e 5 mm de deformação transversal) não tem concordância exata com o desempenho face ao impacto, uma vez que os resultados são muito similares entre argamassas com 2 % e 3,5 % de conteúdo em polímero (que resultam em deformação de 1,1 mm e 2,3 mm (quase no limite mínimo da classe S1), respetivamente. Esta relação pode indicar que a deformação transversal, neste intervalo, terá pouca relevância ao nível do comportamento da argamassa ou, então, que a metodologia não se revela com elevada precisão, capaz de diferenciar tais quantidades de polímero. Por outro lado, para o intervalo de polímero 0,5 % e 2 % (resultan-

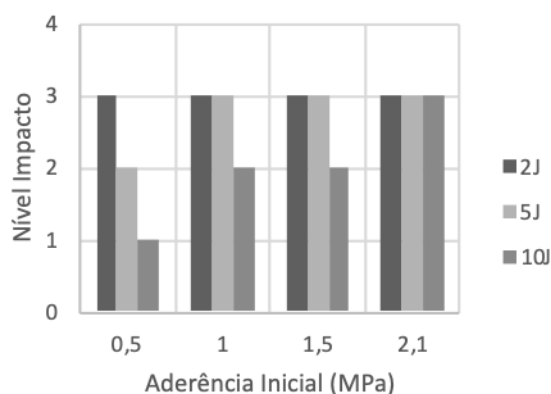
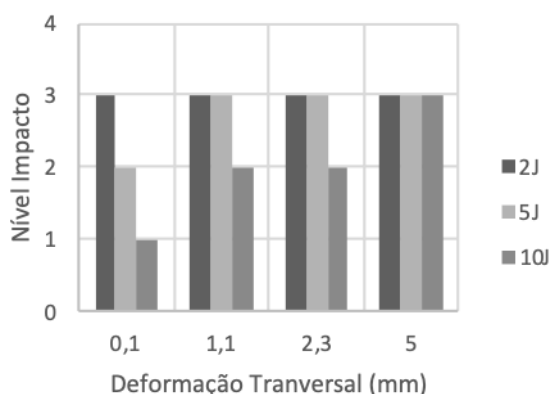
2 | Resultados relativos à aderência inicial por tração perpendicular (esquerda) e após ação do calor (direita), em função da percentagem de polímero (RDP) da argamassa-cola, para níveis respetivos de absorção de água do cerâmico (0,05 %, 0,5 %, 10 %).

3 | Resultados relativos ao nível de impacto, realizado para as várias argamassas-cola em função da percentagem mássica de RDP.

do frequentemente em argamassas com a mesma classificação segundo a EN 12004 ao nível de aderência), o teste de impacto permitiu diferenciar estes níveis, comprovando as expectativas de que, efetivamente, uma argamassa-cola com 2 % de polímero apresenta desempenho melhorado face a



3



uma argamassa com apenas 0,5 %. Assim, admite-se que a metodologia por ação de impacto de uma esfera em queda livre revela maior capacidade de diferenciação de argamassas-cola que o ensaio de tração perpendicular, para níveis de polímero entre 0,5 % e 2 %, corroborando que, não obstante valores de aderência similares na classe EN 12004, apresentam desempenho distinto, quando sujeitos a tensões adicionais como o próprio impacto. Por outro lado, para percentagens de polímero maiores, entre 2 % e 3,5 %, a metodologia não foi capaz de apresentar diferenciação entre ambos, tal como também se verifica para a deformação transversal, mas pode significar que poderá vir a revelar informação relevante para quantidades entre 3,5 % e 5 %, o que poderá constituir uma base sólida complementar, para os produtos realmente capazes de serem classificados como nível S1 (2,5 mm), em concordância efetiva com o desempenho em aplicações reais. Por isso, recomenda-se a continuidade de estudos nesse intervalo, assim como no intervalo entre 5 % e 10 % de polímero e respetiva equivalência ao nível S2 de deformação transversal (5 mm).

CONCLUSÕES

O ensaio de aderência por tração perpendicular permite, até certa medida, determinar compatibilidade entre os materiais cerâmicos e suporte com a argamassa-cola. Os resultados apresentados recordam a absorção de água dos elementos cerâmicos como fator-chave para decisão de compatibilidade de cerâmicos com argamassas-cola, provando que, mesmo utilizando materiais dentro do mesmo intervalo de absorção de água como 0,05 % e 0,5 %, os valores de aderência

podem realmente ser condicionados por esta diferença. A consequência pode ser a obtenção de classificações distintas para materiais similares a partir de dois laboratórios distintos, prejudicando a concorrência de soluções ou, mais grave, permitindo conclusões generalizadas sobre a adequabilidade de duas argamassas com igual classificação, mas diferentes na constituição ao nível de componentes relevantes, como o polímero, para determinada aplicação que, no caso de ser mais exigente (absorção de água menor, tensões de origem térmica...), poderá resultar em descolamento e desvalorização da solução de colagem de cerâmica. A aplicação da metodologia experimental baseada no teste de impacto, que se revela ser prática ao nível da sua preparação, conduziu a um conjunto de resultados capazes de diferenciar argamassas-cola a um nível, pelo menos, equivalente a metodologias normativas requeridas pela normalização aplicável – EN 12004 –, como a aderência e a deformação transversal. Os resultados obtidos até ao momento apenas permitem esta conclusão e ainda não asseguram capacidade para maior diferenciação ao nível de formulações, com pequenas diferenças ao nível da sua quantidade de polímero. Ainda assim, é inquestionável a sua utilidade, por exemplo, face aos resultados de deformação transversal, uma vez que a sua aplicação reflete condições próximas de situações de aplicação em obra, permitindo avaliar um sistema e não apenas um material isolado. Assim, os resultados prometedores, obtidos até ao momento, sugerem continuidade da sua aplicação e de análise de toda a informação que possa resultar, seguramente, mais-valia na decisão de adoção de formulações e na proposta de soluções em contexto real ■

4 | Relação entre os resultados obtidos para o ensaio de impacto e os resultados obtidos a partir das propriedades definidas pela EN 12004 (aderência por tração perpendicular e deformação transversal).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ceramic tile on the forefront of architecture, a 10 Year Retrospective Words: Richard P. Goldberg AIA, CSI, NCARB, Architect-Professional Consultant International, LLC (PROCON).
- [2] Silva, L. *et al* (2020). The evaluation of von Mises stress field in bonded tiling ceramics as function of the elastic modulus of the tile-adhesive and joint grout mortars, *Proc IMechE Part L: J Materials: Design and Applications* 0(0), p. 1-8.
- [3] Jenni, A. *et al* (2005). Influence of polymers on microstructure and adhesive strength of cementitious tile adhesive mortars. *Cement and concrete research* 35, p. 35-50.
- [4] Chew, M. Y. L. (1999). Factors affecting ceramic tile adhesion for external cladding. *Construction and Building Materials* 13 (5), p. 293-296.
- [5] Lutz, H., Bayer, R. (2015). Dry mortars. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley Online Library. Hoboken, NJ, USA.
- [6] Meyers, M. A., Kumar, C. K. (1998). *Mechanical Behaviors of Materials*. [S.l.], Prentice Hall.
- [7] Simons, E. C., Weerheijm, J., Sluys, L. J. (2020). An experimental and numerical investigation of sphere impact on alumina ceramic. *International Journal of Impact Engineering*, 145: 103670.
- [8] Sherman, D., Bem-Shushan, T. (1998). Quasi-static impact damage in confined ceramic tiles, *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 21, n.º 4, p. 245-265.
- [9] Fernandes *et al* (2022). A importância da avaliação de argamassas-cola, adicional aos requisitos da EN 12004. IV Simpósio Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento, Coimbra.

Introdução da radiação solar no ensaio de resistência aos ciclos higrotérmicos de ETICS

Nuno Simões Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade (Itecons), ADAI/Departamento de Engenharia Civil (ADAI/DEC), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, nasimoes@dec.ucp.pt

Márcio Gonçalves Itecons, ADAI/DEC, Universidade de Coimbra

Catarina Serra Itecons, ADAI/DEC, Universidade de Coimbra

Esta investigação propõe um novo método, que consiste na introdução da radiação solar através do uso de lâmpadas que simulam a radiação visível e infravermelha, diferenciando-se dos métodos padronizados no EAD para ETICS. O método tem como principal objetivo promover o envelhecimento acelerado do provete a fim de avaliar potenciais anomalias no sistema.

Os sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) constituem uma das soluções construtivas mais utilizadas para melhorar o desempenho energético dos edifícios. Esta solução consiste na aplicação de um isolamento térmico por colagem e/ou fixação mecânica, que é posteriormente acabado por um revestimento delgado (4 a 5 mm) armado com rede de fibra de vidro e um produto de acabamento. Esta solução destaca-se positivamente por eliminar as pontes térmicas, potenciar a inércia térmica do edifício, proteger as alvenarias e os elementos estruturais, possibilitar a renovação estética das fachadas exteriores e ter custo relativamente reduzido [1].

No entanto, verifica-se frequentemente a ocorrência de anomalias durante os primeiros anos em serviço. São exemplo disso o destacamento, empolamento, fissuração, perda de estanquidade, entre outros [2, 3]. Estes tipos de anomalias podem estar relacionados com a incompatibilidade de materiais e/ou inadequada aplicação, sendo potenciadas pelos agentes atmosféricos, tais como amplitudes térmicas, vento, chuva e radiação solar [4, 5]. É crucial haver ensaios laboratoriais que promovam o envelhecimento acelerado de

ETICS sob condições controladas. Neste âmbito, existem documentos normalizados que estabelecem um conjunto de procedimentos de ensaio e requisitos a cumprir para as soluções construtivas, onde se salienta o Documento de Avaliação Europeu para ETICS – EAD 040083-00-0404 [6].

O ensaio de envelhecimento acelerado proposto no EAD [6] – resistência aos ciclos higrotérmicos – não inclui o efeito da radiação solar, pelo que as propriedades óticas (absorção solar e emissividade, etc.) do sistema de revestimento acabam por ser negligenciadas. Sabe-se que o efeito da radiação solar nas temperaturas superficiais das fachadas é relevante. Em climas temperados, facilmente se verificam amplitudes térmicas diárias superiores a 50 °C [7, 8], contribuindo para a degradação do sistema de revestimento delgado. Para mitigar o risco de fissuração, os fabricantes não recomendam a utilização de cores de acabamento com coeficientes de absorção solar superiores a 0,7 [9].

Posto isto, entende-se que existe a necessidade de implementar procedimentos experimentais que analisem o efeito da radiação solar em soluções ETICS. Para o efeito,

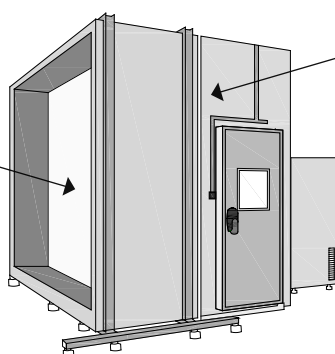
a utilização de lâmpadas de halogenetos metálicos é considerada uma opção para simular a radiação total em provetes de larga escala [10]. O objetivo deste artigo é apresentar um novo procedimento experimental na avaliação da resistência a ciclos higrotérmicos de ETICS. Como exemplo de aplicação, este trabalho apresenta alguns resultados obtidos para um sistema ETICS, com particular ênfase no efeito da cor do produto de acabamento nas temperaturas superficiais obtidas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Equipamentos e provete de ensaio

O método proposto é realizado numa câmara climática, com cerca 15 m³ de volume condicionado, capaz de controlar a temperatura entre -20 °C a 150 °C (± 5 °C) e humidade relativa entre 10 % e 98 % (± 10 %). Inclui ainda um sistema de aspersão de água com caudal de 1 ± 0.1 l/(min.m²). Este aparato de ensaio, ilustrado na figura 1, permite a realização do ensaio de resistência a ciclos higrotérmicos de provetes à escala real (2,8 m x 2,8 m), de acordo com o procedimento de ensaio previsto no EAD 040083-00-0404 [6].

Face interna do provete
(exterior da câmara climática
– sem condições controladas)



Face externa do provete
(interior da câmara climática
– com condições controladas)

1

A introdução da radiação no ensaio foi efetuada através da colocação de um sistema de simulação de radiação solar no interior da câmara climática, conforme apresentado na figura 2. Este sistema de radiação global artificial permite simular radiação no comprimento de onda entre 230-3000 nm, incluindo a radiação UV-C, UV-B, UV-A, visível e infravermelha.



2

Na figura 3 ilustra-se o provete de ensaio, onde são identificadas as áreas de medição. Nestas áreas foram colocados termopares para monitorização das temperaturas em várias camadas do ETICS. Utilizou-se um albedómetro para medir a radiação solar global junto à superfície do provete.

Procedimento de ensaio

O procedimento de ensaio proposto consiste em cinco ciclos com a duração de 24 horas cada e consiste em:

- aquecimento durante uma hora até aos $(35 \pm 5)^\circ\text{C}$ e manutenção da temperatura $(35 \pm 5)^\circ\text{C}$ e humidade relativa a 20 % - 30 % durante uma hora (total de duas horas);
- manutenção de temperatura ambiente da câmara a $(35 \pm 5)^\circ\text{C}$ e ativar as lâmpadas de radiação solar para a intensidade de $(1100 \pm 100) \text{ W/m}^2$ durante cinco horas;
- após desligar o sistema de radiação, arrefecimento da temperatura da câmara, durante duas horas, para $(-20 \pm 5)^\circ\text{C}$ e manutenção da mesma durante 15 horas (total 17 horas).

Neste trabalho, para efeitos de comparação de resultados com os ensaios convencionais, submeteu-se um sistema de ETICS ao ensaio de resistência aos ciclos higrétricos (contempla ciclos de calor-chuva e gelo-degelo) preconizado na secção 2.2.6 da EAD para ETICS [6], a fim de se verificar

se o sistema cumpre com os requisitos normativos. Depois, procedeu-se à realização do novo método de ensaio que inclui a radiação solar. Com o objetivo de se avaliar a influência da cor do acabamento do sistema ETICS, a campanha foi realizada para um acabamento de cor branca e, posteriormente, repetida para a cor preta (figura 3b).

RESULTADOS

Ciclos higrétricos

Conforme mencionado, numa primeira fase efetuaram-se os ciclos higrétricos convencionais. Na figura 4 apresentam-se as



3a



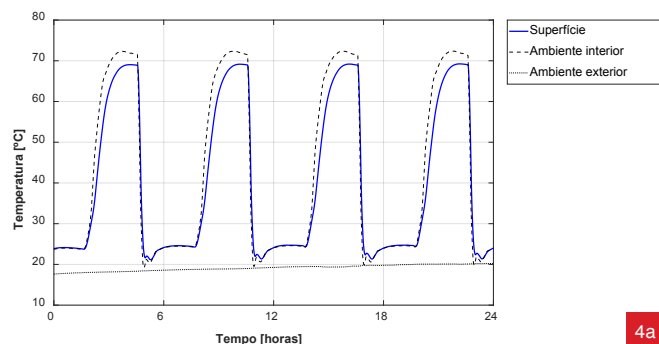
3b

1 | Câmara climática para realização do ensaio de ciclos higrétricos.

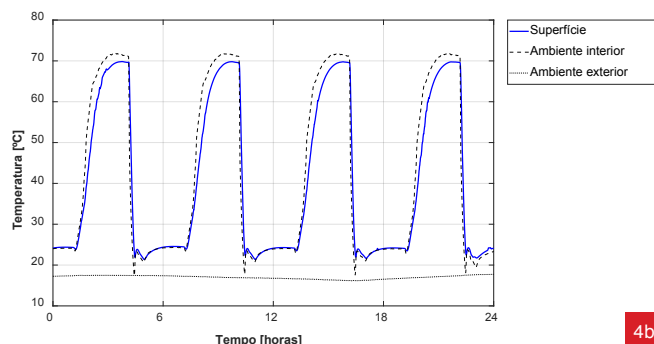
2 | Sistema de simulação da radiação solar.

3 | Provete ETICS sujeito a ensaio:
a) acabamento de cor branca; b) zonas de ensaio com acabamento de cor preta.

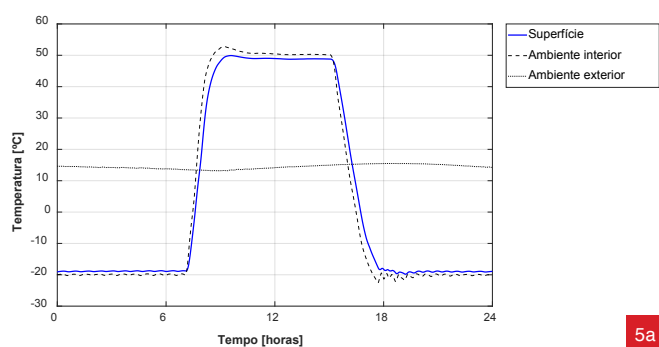
temperaturas registadas sobre o isolamento térmico, durante alguns ciclos calor-chuva, para as cores branco e preto (figura 4). Como expectável, as temperaturas superficiais do provete são similares em ambas as cores, uma vez que o controlo da temperatura à



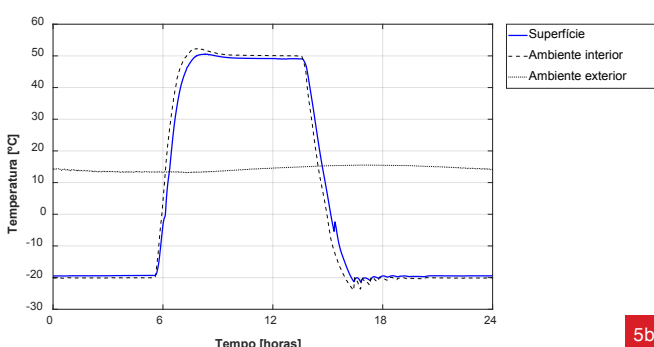
4a



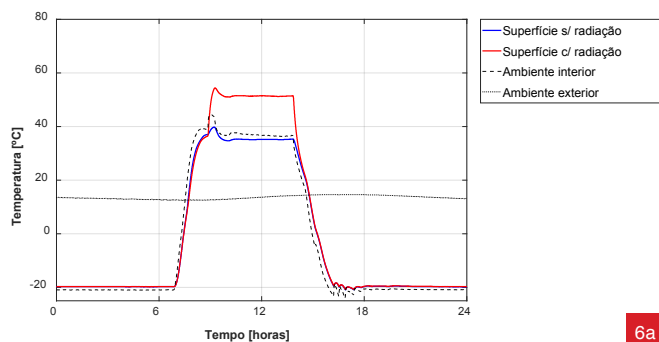
4b



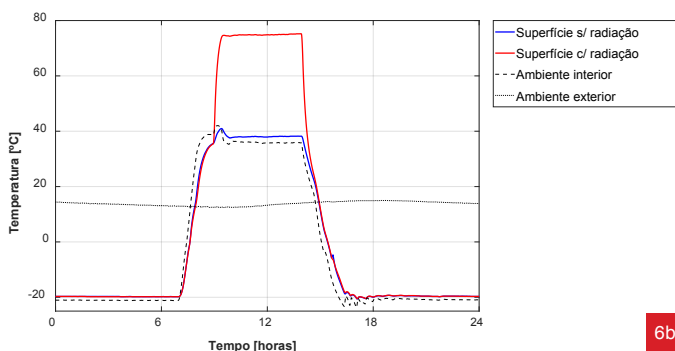
5a



5b



6a



6b

superfície do provete é realizado pela câmara climática, indicando que a cor do acabamento não tem qualquer relevância para o ensaio preconizado no EAD.

Na figura 5 apresentam-se as temperaturas medidas durante um ciclo de gelo-degelo, durante o ensaio com cor branca (figura 5a) e com cor preta (figura 5b). Tal como verificado anteriormente, as temperaturas verificadas são similares em ambas as cores.

Após a execução dos ciclos higrotérmicos (80 ciclos de calor-chuva e cinco ciclos gelo-

-degelo), efetuaram-se inspeções visuais ao provete para identificar possíveis anomalias. Nenhuma das seguintes anomalias foram detetadas: empolamentos, fissuração associadas às juntas entre painéis, destacamento do sistema de revestimento ou fissuração que permita a entrada de água até ao isolamento (fissuras com largura superiores a 0,2 mm). Assim, de acordo com o EAD para ETICS, o sistema é considerado apto face à resistência aos ciclos higrotérmicos. Note-se que os ensaios realizados com o acabamento de cor preta também não revelaram anomalias no provete.

4 | Temperaturas registadas durante ciclos de calor-chuva: a) acabamento de cor branca; b) acabamento de cor preta.

5 | Temperaturas registadas durante ciclos de gelo-degelo: a) acabamento de cor branca; b) acabamento de cor preta.

6 | Temperaturas registadas durante ciclos de radiação solar: a) acabamento de cor branca; b) acabamento de cor preta.



7 | Estado final do provete: a) vista geral; b) microfissuração do revestimento; c) perda de planeza.

Ciclos de radiação solar

Na figura 6 apresentam-se as temperaturas registadas sobre o isolamento térmico, durante a realização de um ciclo de radiação solar, de acordo com o método proposto no presente trabalho, para a cor branca (figura 6a) e cor preta (figura 6b). Nesta figura é possível observar as temperaturas registadas na área de referência, bem como as temperaturas na zona de incidência da radiação solar.

Durante os ciclos de radiação solar realizados no acabamento de cor branca, verificaram-se diferenças de cerca de 16 °C entre as áreas com e sem radiação solar, demonstrando o impacto da radiação solar nas temperaturas superficiais de ETICS. Este impacto é ainda maior quando se utiliza a cor escura (figura 6b), revelando uma diferença de 40 °C entre as áreas com e sem radiação solar.

As temperaturas registadas durante a implementação do novo método de ensaio são próximas daquelas que têm vindo a ser verificadas durante a monitorização de soluções ETICS em serviço [7]. Por este motivo, confirma-se que o método de ensaio proposto consegue simular, em ambiente controlado, as condições reais de exposição.

Após a realização dos ciclos de radiação solar verificou-se a ocorrência de anomalias, nomeadamente a existência de microfissuração do acabamento (fissuras com largura entre 0,04 a 0,08 mm e comprimento entre 160 a 800 mm) e a perda de planeza. Estas anomalias apenas foram verificadas na zona sujeita à radiação solar. A área de referência não evidenciou qualquer tipo de anomalia. Na figura 7 apresentam-se fotografias que ilustram o estado final do provete após a realização da campanha de ciclos de envelhecimento.

CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo propor e implementar um procedimento de ensaio para avaliar o desempenho higrotérmico de soluções ETICS. Para o efeito, procurou-se simular em ambiente laboratorial aquilo que são as condições reais de exposição em serviço, nomeadamente ciclos de temperatura, humidade, chuva e radiação solar. Numa primeira fase, o provete foi sujeito ao ensaio de resistência aos ciclos higrotérmicos proposto no EAD para ETICS. Posteriormente, implementou-se um método experimental que simula o efeito da radiação solar na superfície do provete. Contrariamente aos métodos de ensaio convencionais, o método proposto permite a avaliação da influência da cor do produto de acabamento no desempenho do ETICS, possibilitando a deteção de potenciais anomalias no provete de ensaio. As principais conclusões deste trabalho revelam que a simulação da radiação solar é relevante para a avaliação de desempenho de ETICS, e que pode ser utilizada para complementar os ensaios padronizados existentes ■

BIBLIOGRAFIA

- [1] Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS – APFAC (2018). *Manual ETICS*, p. 1-48.
- [2] Barreira, E. (2010). Biological defacement of façades covered with external thermal insulation systems due to hygrothermal behaviour (in portuguese), PhD thesis. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.
- [3] Amaro, B. *et al* (2013). Inspection and diagnosis system of ETICS on walls. *Construction and Building Materials*, 47, p. 1257-1267.
- [4] Amaro, B. *et al* (2014). Statistical survey of the pathology, diagnosis and rehabilitation of ETICS in walls. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20, p. 511-526.
- [5] Stazi, F., Perna, C., Munafò, P. (2009). Durability of 20-year-old external insulation and assessment of various types of retrofitting to meet new energy regulations. *Energy Build*, 41, p. 721-731.
- [6] European Organisation for Technical Assessment, 2019. EAD 040083-00-0404 – External Thermal Insulation Composite Systems with rendering.
- [7] Gonçalves M. *et al* (2021). Onsite monitoring of ETICS comparing different exposure conditions and insulation materials. *Journal of Civil Engineering and Management*, 42, p. 103067.
- [8] Marino, B. M., Muñoz, N., Thomas, L. P. (2018). Calculation of the external surface temperature of a multi-layer wall considering solar radiation effects. *Energy Build*, 174, p. 452-463.
- [9] European Association for ETICS – EAE (2011). European Guideline for the application of ETICS.
- [10] Deutsches Institut für Normung E.V. – DIN (1992). DIN 75220 – Ageing of automotive components in solar simulation units.

IF Mortar

Argamassas laboratoriais *versus* argamassas em serviço

Isabel Torres Itecons, DEC, ADAI, Universidade de Coimbra, itorres@itecons.uc.pt

Inês Flores-Colen CERIS, DECivil, IST, Universidade de Lisboa

Tendo em conta que os revestimentos de argamassa continuam a ter uma extensa utilização como revestimento de paredes, qualquer estudo que se debruce sobre o aprofundamento do conhecimento do seu comportamento é atual e importante. Sabe-se que, por um lado, a caracterização das argamassas é desenvolvida sobre provetes laboratoriais e, por outro, esse comportamento se altera após aplicação nos suportes. É então de extrema importância a possibilidade de previsão do comportamento in situ tendo por base a caracterização laboratorial. O Itecons, em colaboração com o CERIS/IST, tem em curso, desde outubro de 2018, um projeto de investigação financiado – IF MORTAR – que tem por objetivo principal analisar qual a influência que as características dos suportes têm no comportamento das argamassas de revestimento sobre eles aplicadas.

O

s revestimentos de fachadas com base em argamassas de cal ou de cimento, elaboradas *in situ* de forma tradicional ou pré-doseadas, continuam a estar presentes na grande maioria dos edifícios.

A escolha da argamassa mais adequada a qualquer situação baseia-se, normalmente, no conhecimento das suas características, que são determinadas em laboratório, de acordo com a normalização aplicável. Em laboratório são produzidos provetes com dimensões adequadas, sendo mantidos em condições controladas durante o respetivo tempo de cura e, posteriormente, sujeitos a ensaios realizados de acordo com o preconizado nas normas.

Após a escolha da argamassa a utilizar, o revestimento é executado pela sua aplicação sobre o suporte respetivo. Suporte que pode ser um tijolo cerâmico vazado, um bloco de betão, uma pedra natural ou de outro tipo. A escolha da argamassa a aplicar, normalmente, não tem em conta o tipo de suporte sobre o qual irá ser aplicada.

A aplicação da argamassa sobre o suporte ocorre ainda com a argamassa no estado fresco, iniciando-se a formação de uma interface. Ou seja, as interações que ocorrem após o contacto da argamassa em estado plástico com o substrato vão-se modificando ao longo do tempo devido à cinética de hidratação e à absorção do substrato.

As características desta interface serão diferentes de acordo com as características dos dois elementos em contacto: o suporte e a argamassa. Pode-se assim concluir que as características finais da argamassa aplicada vão ser influenciadas pelas características do suporte. No entanto, ainda é difícil prever qual vai ser essa influência e de que modo se fará sentir na argamassa aplicada.

Com o projeto IF MORTAR, colaboração do Itecons com o CERIS/IST, pretende-se dar resposta a muitas questões. Quais os parâmetros que irão influenciar o comportamento das argamassas após a sua aplicação sobre o suporte? Terão maior influência as características das argamassas ou as características do suporte?

Terão as condições de aplicação e de cura alguma influência? As características das argamassas aplicadas alterar-se-ão ao longo do tempo de forma diferente conforme o tipo de suporte? O objetivo do projeto é então analisar a influência das características de diversos suportes nas características de vários tipos de argamassas, por forma que, na altura da escolha do tipo de argamassa de revestimento a aplicar, seja possível, a partir das características indicadas pelo fabricante, estimar, com algum rigor, qual será o comportamento real após aplicação sobre o suporte ou quais as argamassas mais compatíveis para determinado tipo de suporte.

TRABALHOS DESENVOLVIDOS

Selecionaram-se diversos suportes, considerando os mais usuais nas edificações, quer novas quer antigas, e diversos tipos de argamassas, quer à base de cal quer à base de cimento, e ainda sendo algumas tradicionais e outras pré-doseadas.

Quanto aos suportes, optou-se por fazer uma pequena distinção conforme o tipo de edificação. Pensando nas construções mais antigas, foram selecionados os tijolos maciços e a pedra calcária. Para as construções mais recentes, foram analisados os tijolos cerâmicos vazados, os blocos de betão corrente, os blocos de betão leve e as placas de betão (figura 1).

A escolha das argamassas a estudar teve também por base os dois tipos de edificações referidos anteriormente: antigas e mais recentes. Assim, para os suportes de tijolo maciço e pedra natural foram estudadas argamassas de cal aérea. Foram escolhidas duas argamassas tradicionais, ambas com o traço 1:2, em volume, sendo a diferença entre elas o tipo de areia, em termos de granulometria. Optou-se por uma areia com uma granulometria “mais extensa”, ou seja, grãos inferiores aos 4 mm e outra areia mais fina, com grãos com dimensões inferiores a 0,5 mm. Foi ainda analisada uma argamassa pré-doseada de cal aérea.

Tendo em conta os edifícios antigos, mas também os edifícios mais recentes, fez-se a análise a diversas argamassas de cal hidráulica. Também aqui foram escolhidas duas argamassas tradicionais com traço de 1:3, em volume, com areias idênticas às referidas anteriormente, uma mais corrente e outra mais fina. Foi ainda analisada uma argamassa de cal hidráulica pré-doseada.

Nos edifícios mais recentes usam-se essencialmente argamassas à base de cimento, tendo sido escolhidas duas argamassas: uma tradicional com traço 1:4, em volume, e uma pré-doseada.

Todas estas argamassas foram caracterizadas em provetes com dimensões de acordo com as

normas (prismas com 40 x 40 x 160 mm para a determinação da massa volúmica aparente, porosidade aberta, absorção de água por capilaridade, índice de secagem, resistência à compressão e cilindros com 100 x 15 mm para a permeabilidade ao vapor) e seguindo todos os procedimentos normativos, incluindo as condições de cura e as metodologias de ensaio. Determinou-se a massa volúmica aparente, porosidade aberta, porosimetria, permeabilidade ao vapor de água, absorção de água por capilaridade, índice de secagem, resistência à compressão, resistência à tração por flexão e módulo de elasticidade.

METODOLOGIA SEGUIDA

Após se ter procedido a toda a caracterização dos suportes e das argamassas moldadas em provetes laboratoriais, procedeu-se à aplicação das argamassas nos respetivos suportes. A tabela 1 apresenta uma síntese da aplicação dos diversos tipos de argamassas nos diversos suportes.

1 | Alguns dos suportes utilizados.



Tabela 1 | Resumo dos suportes e argamassas analisados

		SUPORTES					
		Tijolo maciço	Tijolo vazado	Pedra natural	Blocos de betão	Blocos de betão leve	Placas de betão
ARGAMASSAS	Cal aérea granulometria extensa	X		X			
	Cal aérea granulometria fina	X		X			
	Cal aérea granulometria pré-doseada	X		X			
	Cal hidráulica granulometria extensa	X		X			
	Cal aérea hidráulica fina	X		X			
	Cal hidráulica granulometria pré-doseada	X	X		X	X	X
	Cimento tradicional						
	Cimento pré-doseada	X	X		X	X	X

2 | Aplicação das argamassas nos suportes.

3 | Preparação e montagem dos provetes para a microtomografia de raios X.



A aplicação de uma camada de argamassa com espessura de 1,5 cm nos suportes foi precedida da introdução de uma rede de fibra de vidro, por forma a facilitar o seu des-tacamento após o período de cura (figura 2).

Findos os diversos períodos de cura, as argamassas foram destacadas dos suportes e foram cortados provetes com as dimensões adequadas para os diversos ensaios, nomeadamente com prismas 40 x 40 x 15 mm para a determinação da massa volúmica aparente, porosidade aberta, absorção de água por capilaridade, índice de secagem, resistência à compressão e cilindros com 100 x 15 mm para a permeabilidade ao vapor. Foi ainda estudada a microtomografia de raios X (μ CT) para uma análise mais detalhada da zona de interface (figura 3), através da observação do arranjo microestrutural na argamassa.

SÍNTESE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos para a totalidade dos ensaios executados podem ser consultados noutras publicações divulgadas anteriormente [1, 2, 3, 4]. A grande conclusão que foi possível retirar das campanhas levadas a cabo é que a influência que os diversos suportes analisados têm nas diversas argamassas estudadas difere consoante o tipo de suporte e o tipo de argamassa, associados às suas características.

A absorção da água pelo suporte vai provocar uma diminuição de água na argamassa, provocando a diminuição da sua porosidade

aberta, como na realidade aconteceu com a maior parte dos suportes. Nas argamassas aplicadas sobre os blocos de betão leve a situação foi um pouco distinta. Verificou-se também que, genericamente, a massa volúmica aumentou, uma vez que as argamassas ficaram em geral mais compactas após aplicação.

Quanto ao comportamento mecânico, verificou-se que a aplicação nos suportes provocou o aumento da resistência à compressão. Este comportamento está de acordo com os anteriores: diminuição da porosidade e aumento de resistência mecânica.

CONCLUSÕES

Com as campanhas desenvolvidas até ao momento, já é possível retirar algumas conclusões, nomeadamente:

- após aplicação nos suportes, as características das argamassas sofrem alterações diversas. Para todos os parâmetros estudados, os resultados obtidos para as argamassas endurecidas nos suportes foram diferentes dos resultados obtidos para as argamassas em moldes laboratoriais;
- as alterações verificadas dependem do tipo de suporte e do tipo de argamassa, das condições do suporte e das condições de cura, entre outros. Ou seja, a mesma argamassa sofre distintas alterações no seu comportamento de acordo com o tipo de suporte onde está aplicada, e, por outro lado, cada suporte vai influenciar, de forma distinta, cada tipo de argamassa;

· os resultados preliminares demonstram que a especificação e a escolha das argamassas deve ser adequada às características do suporte e às condições de exposição.

AGRADECIMENTOS

O estudo apresentado foi realizado no âmbito do projeto IF MORTAR (POCI-01-0145-FEDER-032223/PTDC/ECI-EGC/32223/2017), no âmbito do programa Portugal 2020, financiado pelo Feder através de o programa POCI ■

BIBLIOGRAFIA

- [1] Torres, I., Veiga, R., Freitas, V. (2018). Influence of substrate characteristics on behavior of applied mortar. *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 30, Issue 10.
- [2] Torres, M. I. M. *et al* (2020). Interface argamassa-suporte: análise das características físicas com base em várias campanhas experimentais. *Ambiente Construído*, vol. 20, n.º 3. Porto Alegre, p. 331-342.
- [3] Silveira, D. *et al* (2021). Evaluation of in-service performance factors of renders based on in-situ testing techniques. *Journal of Building Engineering*, vol. 34.
- [4] Bellei, P. *et al* (2021). Influence of brick and concrete substrates on the performance of renders using in-situ testing techniques. *Journal of Building Engineering*, vol. 43.
- [5] CEN – Methods of test for mortar for masonry – Part 21: Determination of the compatibility of one-coat rendering mortars with substrates, Brussels: EN 1015-21.

A cal nas argamassas para alvenaria

Colaborações com a EuLA

João M. Pereira Investigador auxiliar no Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering (ISISE), Universidade do Minho, gestor da rede SUBLime

Miguel Azenha Professor auxiliar no ISISE, Universidade do Minho, coordenador adjunto da rede SUBLime

Paulo B. Lourenço Professor catedrático no ISISE, Universidade do Minho, coordenador da rede SUBLime

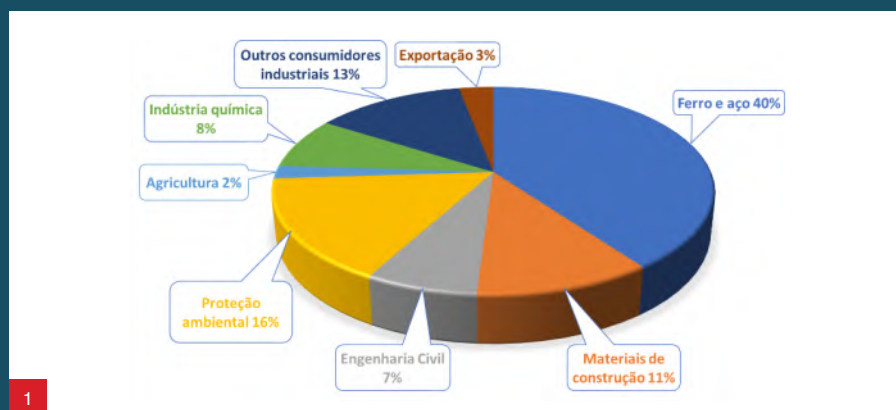
A construção em alvenaria apresenta oportunidades interessantes num mercado da construção focado na sustentabilidade. Neste sentido, o recurso à cal para argamassas e rebocos poderá apresentar-se como uma solução relevante, com vastos benefícios em comparação com o cimento.

A INDÚSTRIA DA CAL E A CONSTRUÇÃO

A cal é um material proveniente da calcinação do calcário, sendo um dos primeiros produtos industriais conhecidos pelo homem. A sua produção e usos cresceram com o tempo, fazendo dela um dos pilares essenciais da sociedade moderna. O relatório “Competitividade dos Setores Europeus de Cimento e Cal” [1] afirma que as indústrias de cal e gesso representam mais de 20 milhões de toneladas anuais e uma faturação de 4,2 mil milhões de euros, com 15 mil empregos diretos. As vendas são 75 % em material processado e 25 % em minério.

A cal é fundamental em atividades industriais, como a produção de ferro e aço, aplicações ambientais (na limpeza de gases de combustão, tratamento de água e lamas, melhoria e proteção do solo), engenharia civil, materiais de construção, agricultura e aditivos para alimentos e rações (figura 1). Aproximadamente 18 % do mercado é dedicado a materiais de construção e engenharia civil.

Um dos usos relevantes da cal na construção é a sua incorporação em argamassas para alvenaria, seja como único ligante ou em combinação com o cimento. Em geral, a



construção em alvenaria é considerada de baixo custo e simples. Apesar de a mesma ainda ser usada com regularidade, existem desafios para satisfazer requisitos modernos e a tornar competitiva, tais como a resistência sísmica ou a intensidade de mão de obra. A construção em alvenaria apresenta oportunidades interessantes num mercado da construção focado na sustentabilidade. Neste sentido, o recurso à cal (como substituto parcial do cimento) para argamassas e rebocos poderá apresentar-se como uma solução relevante.

As argamassas de cal têm sido utilizadas no cenário europeu e mundial da construção em

1 | Mercados da cal [1].

alvenaria, tanto como material de assentamento de unidades de alvenaria quanto como reboco. Em comparação com o cimento, os benefícios da utilização de argamassas à base de cal incluem [2]: reduzida penetração de água; maior respirabilidade e controle de humidade; aumento da aderência e redução da fendilhação observável (comportamento “plástico” a longo prazo e colmatação de fendas devido à dissolução-precipitação de CaCO_3); menor eflorescência; manutenção mais fácil e barata; trabalhabilidade e retenção de água que resulta num aproveitamento

ótimo do material e produtividade; e redução da pegada de carbono. Além disso, as argamassas à base de cal são compatíveis com a alvenaria antiga, o que é fundamental para a conservação dos edifícios antigos, e cumprem os critérios de construção sustentável.

COLABORAÇÃO UMINHO-EuLA

A EuLA (European Lime Association) foi fundada em 1990 para promover a representação setorial e apoiar os seus membros (95 % dos produtores europeus de cal). Tem como missão representar os seus membros em todas as questões não comerciais, aumentar a conscientização sobre os benefícios da cal, abordar quadros legislativos complexos, compartilhar informações não confidenciais e melhores práticas, sensibilizar para o cumprimento da legislação da União Europeia e assegurar a conscientização dos decisores sobre os méritos do setor.

Por forma a estudar as vantagens da inclusão de cal em argamassas de cimento para construção em alvenaria, foi estabelecido, em 2016, um protocolo de cooperação entre a EuLA e a Universidade do Minho. Esse protocolo previu a contratação de alunos de doutoramento, tendo-se constituído como uma plataforma de criação de uma rede de investigação europeia. Os trabalhos iniciaram-se com o doutoramento de Meera Ramesh, concluído no início de 2021 [3]. Está a decorrer um trabalho de continuidade, com o doutoramento em curso de Carolina

Briceño. Os objetivos destes trabalhos incluem uma investigação quantitativa e sistémica dos benefícios decorrentes da substituição parcial do cimento por cal em argamassas de alvenaria, tanto ao nível da argamassa como ao nível da alvenaria.

Os trabalhos compreenderam uma campanha experimental focada no comportamento mecânico de argamassas mistas de cal e cimento, caracterizando as propriedades para múltiplas composições de cal-cimento: trabalhabilidade, resistência à compressão e flexão, módulo de elasticidade, retração de secagem e porosidade aberta, entre outras. Foram estudadas quinze composições de argamassa, considerando proporções volumétricas entre ligante e agregados de 1:3, 1:4, 1:5 e 1:6, sendo certo que a quantidade de cal no ligante foi estudada em percentagens volumétricas compreendidas entre 10 % e 90 %. Foi usada cal CL90S e cimento CEM I 42.5R, sendo os agregados de origem siliciosa, com granulometria adequada. Foi garantida a quantidade de água necessária para que o espalhamento se mantivesse na gama 175+/-10 mm. A tabela 1 ilustra as composições estudadas, tendo sido estudada também uma argamassa de referência de cimento com traço 1:5. Com base nos resultados obtidos, foram efetuadas análises de regressão para estimar as propriedades mecânicas das proporções da mistura que não foram testadas fisicamente em laboratório.

Os estudos experimentais ao nível da alvenaria foram realizados com um conjunto de três composições de argamassas representativas (referência 1:5, e argamassas com cal 1:1:6 e 1:2:9), e com tijolos cerâmicos prensados (Wienerberger 215 mm³ × 102 mm³ × 65 mm³). Foi avaliada a influência das argamassas mistas na resistência à compressão e flexão de provetes de alvenaria. Finalmente, foi estudada a resposta ao corte no plano de painéis de parede de alvenaria, com enfoque na avaliação da influência das argamassas mistas em comparação com a argamassa de cimento.

Os trabalhos mencionados foram todos realizados no âmbito do doutoramento de Meera Ramesh [3]. Tendo em conta as lacunas identificadas neste trabalho, foi iniciado o doutoramento de Carolina Briceño (em curso), que pretende aprofundar o conhecimento do comportamento a longo prazo de argamassas e alvenarias, com particular enfoque em efeitos diferidos como expansão, retração e fluência.

Em complemento aos trabalhos mencionados e ao protocolo UMinho-EuLA, é de assinalar um interessante trabalho realizado em colaboração com a Universidade de Nápoles, com intercâmbio de uma investigadora (Francesca Autiero), destinado ao estudo de argamassas para conservação das ruínas de Pompeia, recorrendo a cinzas locais pozolânicas e mimetizando as argamassas existentes para maximizar compatibilidade. Este foi um estudo que beneficiou da sinergia com as metodologias e os trabalhos do protocolo UMinho-EuLA, com resultados em [4].

Tabela 1 | Composições estudadas [3]

Designação	Percentagem volumétrica de cal (%)	Cimento:Cal: Areia (volume)	Cimento (kg/m ³)	Cal (kg/m ³)	Agregados (kg/m ³)	Água/ ligante
9C1L30S	10 %	9:1:30	315,2	13,4	1846,1	0,88
3C1L12S	25 %	3:1:12	262,7	33,4	1846,1	1,00
2C1L9S	33 %	2:1:9	233,5	44,5	1846,1	1,09
1C1L6S	50 %	1:1:6	175,1	66,8	1846,1	1,25
1C2L9S	67 %	1:2:9	116,8	89,0	1846,1	1,58
1C3L12S	75 %	1:3:12	87,6	100,1	1846,1	1,76
1C9L30S	90 %	1:9:30	35,0	120,2	1846,1	2,31
3C1L16S	25 %	3:1:16	197,0	25,0	1846,1	1,35
2C1L12S	33 %	2:1:12	175,1	33,4	1846,1	1,50
1C1L8S	50 %	1:1:8	131,3	50,1	1846,1	1,72
1C2L12S	67 %	1:2:12	87,6	66,8	1846,1	1,94
2C1L15S	33 %	2:1:15	140,1	26,7	1846,1	1,80
1C1L10S	50 %	1:1:10	105,1	40,1	1846,1	2,21
1C2L15S	67 %	1:2:1	70,1	53,4	1846,1	2,38
1C1L12S	50 %	1:1:2	87,6	33,4	1846,1	2,69

REDE EUROPEIA – SUBLime

A rede SUBLime (Sustainable Building Lime applications via Circular Economy and Biomimetic Approaches) [5] dedica-se a formar investigadores com vista a uma melhor compreensão e desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis para argamassas/rebocos à base de cal em construções novas e para a conservação e reabilitação do património edificado. O projeto abrange as principais características das aplicações na construção de alvenaria (juntas e rebocos), incluindo a caracterização dos materiais, modelação numérica do comportamento multifísico, funcionalidade e sustentabilidade no uso da cal, num quadro de projeto baseado no desempenho. As inovações focam-se em funcionalidades adicionais e na sustentabilidade, fortemente baseadas em novas abordagens da biomimética e na reciclagem.



2

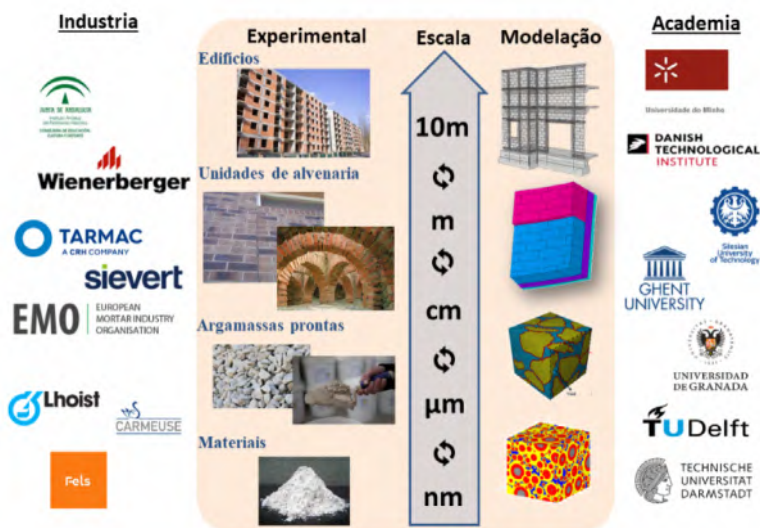
2 | Consórcio SUBLime: seis beneficiários e onze organizações parceiras, representando oito países europeus.

3 | Abordagem multiescala na rede SUBLime.

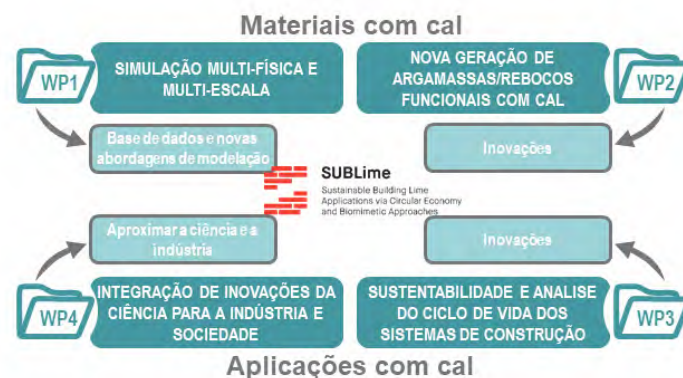
4 | Diagrama de atividades na rede SUBLime.

Esta rede europeia (2021-25), da UE, é financiada pelo programa *European Training Network* (ETN) das ações *Marie-Sklodowska-Curie* do Horizonte 2020, sendo coordenada pela Universidade do Minho. O consórcio é composto por 17 parceiros europeus (figura 2), inclui seis universidades, 11 parceiros industriais e 15 investigadores jovens que têm a oportunidade de colaborar com especialistas em diferentes grupos de investigação e tirar partido das ferramentas mais avançadas para estudar, modelar, projetar e prever o comportamento de soluções à base de cal. Este consórcio conta com a participação da Universidade do Minho (Portugal), Universidade de Granada (Espanha), TU Delft (Holanda), Universidade de Gent (Bélgica), Universidade da Silésia (Polónia), TU Darmstadt (Alemanha), EuLA (Bélgica), Lhoist (Bélgica), Wienerberger (Bélgica), Instituto Andaluz do Património Histórico (Espanha), Fels (Alemanha), Tarmac (Reino Unido), Carbon8 (Reino Unido), EMO (Bélgica), Carmeuse (Bélgica), DTI (Dinamarca) e Sievert (Alemanha).

A investigação científica na rede SUBLime está estruturada para tirar o máximo partido da cooperação entre a academia, produtores de cal, argamassa e reboco, unidades de alvenaria e utilizadores finais. Essa abordagem interdisciplinar em toda a cadeia de valor da SUBLime aumentará drasticamente a transferência de conhecimento científico para a indústria na UE, garantindo o progresso social,



3



4

ambiental e do produto. O principal objetivo científico da rede SUBLime é desenvolver e transferir tecnologias sustentáveis de base biomimética direcionadas para a redução das emissões de CO₂, com vista a apoiar as necessidades atuais e futuras da sociedade, através de recursos computacionais e estratégias experimentais multiescala (figura 3).

Os objetivos da rede SUBLime são identificados por meio de diversas atividades (figura 4). Combinações inovadoras de técnicas de caracterização, como nano e microestrutural, instrumentação baseada em visão por computador e sensores embebidos, serão implementadas, desenvolvidas e aplicadas para melhor compreender a interação complexa de fenómenos em várias escalas. Os dados obtidos permitirão explorar novas teorias e desenvolvimentos inovadores ao nível da aplicação dos materiais à base de cal. Os modelos analíticos e numéricos desenvolvidos serão validados e analisados em relação aos resultados experimentais para melhor se compreender os mecanismos mecânicos, físicos e químicos associados a diferentes fenómenos. Os resultados alcançados permitirão que novos desenvolvimentos

sejam direcionados para uma nova geração de argamassas e rebocos sustentáveis e funcionalizados, incluindo aspetos relevantes como autorregeneração, autolimpeza, super-hidrofobicidade, maior capacidade de captura de CO₂, reutilização de resíduos e capacidade do material para utilização como ligantes sustentáveis em impressão 3D e aplicações automatizadas. Além disso, o conhecimento adquirido será a fonte de desenvolvimentos para um guião de projeto melhorado e uma nova geração de aplicações de cal ■

BIBLIOGRAFIA

- [1] Comissão Europeia (2018). Relatório Competitiveness of the European Cement and Lime Sectors.
- [2] EuLA (2020). EuLA: Lime in mortars – Hydrated lime – Benefits of use in mortars.
- [3] Ramesh, M. (2021). Abordagem multi-escala ao estudo de argamassas mistas de cal e cimento em alvenaria (tese de doutoramento). Universidade do Minho.
- [4] Autiero, F. et al (2021). Experimental analysis of lime putty and pozzolan-based mortar for interventions in archaeological sites. *Materials and Structures*, 54:148.
- [5] <https://sublime-etn.eu>.

DB-Heritage

Um arquivo de materiais de construção com interesse histórico

Marluci Menezes Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), marluci@lnec.pt

Maria João Correia LNEC

António Santos Silva LNEC

Recolher, registar e sistematizar os dados sobre materiais de construção de interesse histórico e arqueológico revela-se muito importante para a preservação desse património. Estes repositórios atendem às necessidades de conhecimento por parte dos investigadores, mas também permitem obter benefícios sociais associados à sua valorização cultural, histórica e educacional. Adicionalmente, são um relevante suporte para fomentar uma maior compreensão do desempenho dos materiais de construção, bem como para inovar e desenvolver novas técnicas de conservação e preservação do património, além de contribuir para preservar o valor das informações. A divulgação das informações sobre os materiais históricos para públicos interessados não especializados pode, igualmente, ser potencializada com uma base de dados digital. Em Portugal, essa tarefa cabe ao DB-Heritage, projeto coordenado pelo LNEC.

O ARQUIVO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO COMO SUPORTE DE VALORIZAÇÃO DO PATRIMÓNIO

Assiste-se na Europa ao incremento de iniciativas que têm como objetivo primordial a conservação e a salvaguarda do rico património cultural, arquitetónico e arqueológico existente. De entre estas iniciativas, destaca-se o papel que tem tido a criação e dinamização de repositórios de vestígios tangíveis, documentais e digitais que se relacionam com os materiais de construção de interesse histórico e arqueológico. Isto porque recolher, registar e sistematizar os dados sobre estes materiais revela-se muito importante para a preservação desse património. Estes repositórios são significativos para atender às necessidades de conhecimento por parte dos investigadores, mas também para obter benefícios sociais associados à sua valorização cultural, histórica e educacional. Adicionalmente, um repositório deste teor é um relevante suporte para fomentar uma maior compreensão do desempenho dos materiais de construção, bem como para inovar e desenvolver novas técnicas de conservação e preservação do património, além de contribuir para acautelar o valor das informações. A divulgação das informações sobre os materiais históricos para públicos interessados não especializados pode, igualmente, ser potencializada por meio de uma base de dados digital. Iniciativas destas têm vindo a crescer a nível mundial, e Portugal não é exceção. É no enquadramento deste fundamental interesse



1

para com a valorização do património cultural, arquitetónico e arqueológico que o projeto DB-Heritage – Base de Dados de Materiais de Construção com Interesse Histórico e Patrimonial (FCT, PTDC/EPH-PAT/4684/2014) – se firmou enquanto arquivo físico e digital de materiais de construção de interesse histórico e arqueológico (figura 1). Na verdade, é um repositório híbrido, integrador de diferentes plataformas de dados, conhecimento e vias de divulgação e valorização da informação e do património.

ENQUADRAMENTO DO DB-HERITAGE

O projeto DB-Heritage reúne um conjunto de instituições de ciência e tecnologia com uma já longa experiência de investigação no campo do património cultural, arquitetónico e arqueológico. Com coordenação do Laboratório de Engenharia Civil (LNEC), são parceiros do projeto a Universidade de Aveiro, a Universidade Nova de Lisboa e a Universidade de Évora (figura 2).

O objetivo geral do DB-Heritage é a criação de um arquivo digital, em paralelo com a constituição de repositórios físicos, de sistematização de diferentes tipos de materiais de construção de interesse histórico e arqueológico, de modo a viabilizar e disponibilizar:

- repositórios de amostras e dados para estudo e consulta;
- informação acerca das características dos materiais de construção (pedra, terra, argamassas, cerâmicos, metais...) utilizados em

Portugal ao longo dos diferentes períodos históricos;

- descrição do estado de conservação dos materiais de construção, desde que aplicável, considerando o tipo de materiais e respetivas características, como local, tempo e ambiente de exposição.

Na sua fase de implementação, o projeto desenvolveu uma base de dados classificatória de estruturas, em concordância com o tipo e a função. A referida base dispõe de uma interface com o utilizador que foi projetada tendo em conta a relevância dos dados e em função do contexto histórico de enquadramento dos materiais históricos aludidos. Os dados incluem origem, uso, cronologia das intervenções, propriedades, condições de exposição ambiental, resultado de observações e detalhes de gestão de arquivo.

Porquanto, são objetivos específicos do DB-Heritage:

- produzir e divulgar informações gerais sobre os materiais construtivos históricos utilizados no país, suas propriedades e desempenho;
- recolher, fornecer e produzir dados de caracterização de amostras históricas de materiais de construção;
- colecionar amostras físicas de materiais de construção históricos;
- desenvolver e dinamizar, em acesso aberto, uma ferramenta informática – repositório digital – sobre materiais de construção históricos utilizados em Portugal.

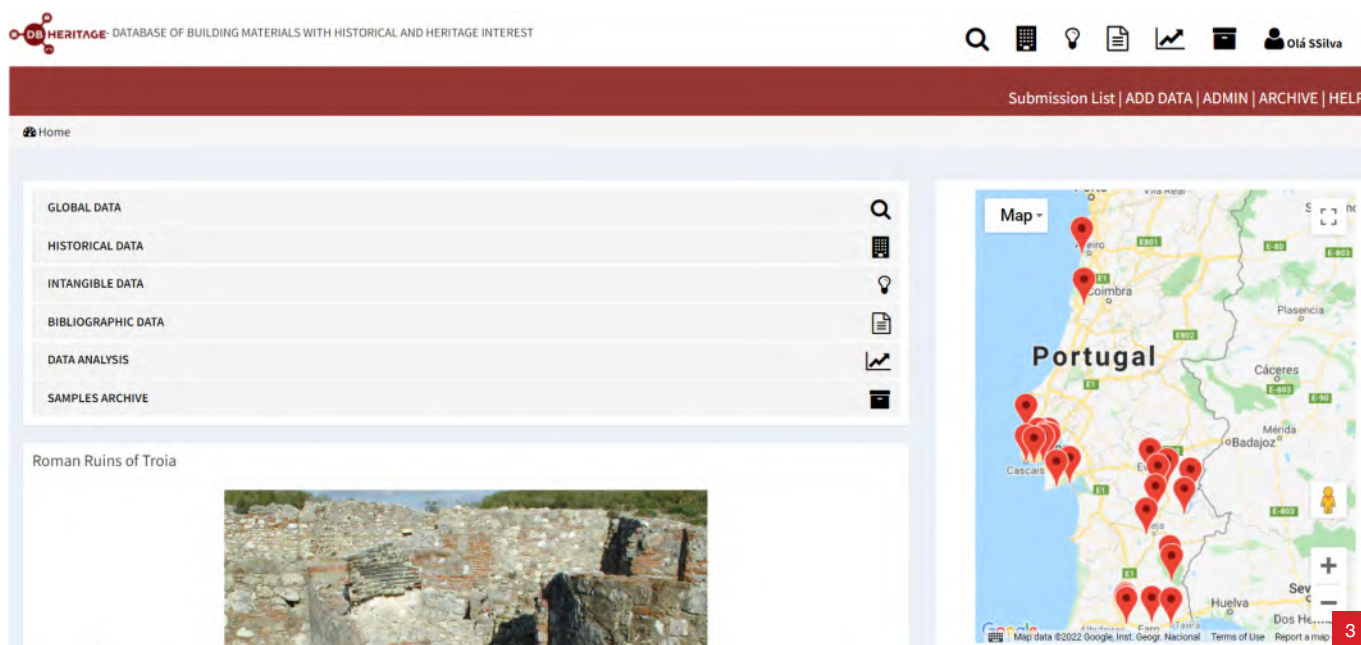
1 | Logótipo do projeto DB-Heritage.

2 | Parceiros de ciência e tecnologia do DB-Heritage.

A interoperabilidade da base de dados DB-Heritage com diferentes ferramentas, inclusive a sua integração em redes internacionais (Projeto H2020 ARIADNEplus), também facilita a partilha e a reutilização de informações sobre monumentos e sítios arqueológicos, bem como respetivos materiais de construção de interesse histórico.

O projeto contempla tarefas que, relacionadas com a pedra, a terra, as argamassas, a cerâmica, o metal, o betão, a madeira, a pintura e o saber técnico tradicional, se desenvolvem de modo a:

- compilar a bibliografia existente em conjunto com a informação recolhida sobre o uso dos materiais de construção;
- sistematizar e localizar as amostras existentes em instituições parceiras, para que sejam incluídas nos arquivos físicos e digitais;
- recolher, caracterizar (incluindo características mecânicas, físicas, mineralógicas e químicas) e arquivar as novas amostras físicas selecionadas;



- inventariar, recolher e analisar as informações sobre o uso de materiais em edifícios históricos;
- reconhecer os principais meios de identificação das amostras;
- recolher e sistematizar dados documentais, históricos e arqueológicos sobre fontes tradicionais de materiais e técnicas de construção;
- realizar ações de formação, dinamização e disseminação da informação e do conhecimento produzido.

O DB-Heritage apresenta-se como uma ferramenta gratuita e em acesso aberto, oferecendo um maior e mais abrangente acesso aos dados históricos dos materiais, viabilizando a gestão do repositório de amostras e dados de materiais, bem como a organização eficiente e sistemática dos materiais e da respetiva informação.

FUNCIONALIDADES DA BASE DE DADOS DB-HERITAGE

Visa-se que esta ferramenta ofereça um acesso inclusivo e simplificado aos dados históricos de materiais, geralmente inacessíveis para o público interessado, facilitando a disseminação e a reutilização de informações. Neste sentido, pretende-se: gerir o repositório de amostras e

de dados dos materiais relacionados, através da sua sistematização; criar e dinamizar uma nova interface com o utilizador final – materiais de construção agrupados por tipo e função, abordando também os dados de antecedentes históricos relevantes; promover a simplificação do processo de análise de dados, bem como a indexação e integração de dados, que são pesquisáveis a partir de filtros de seleção de assuntos, e disponibilizados com o recurso a gráficos, mapas e imagens.

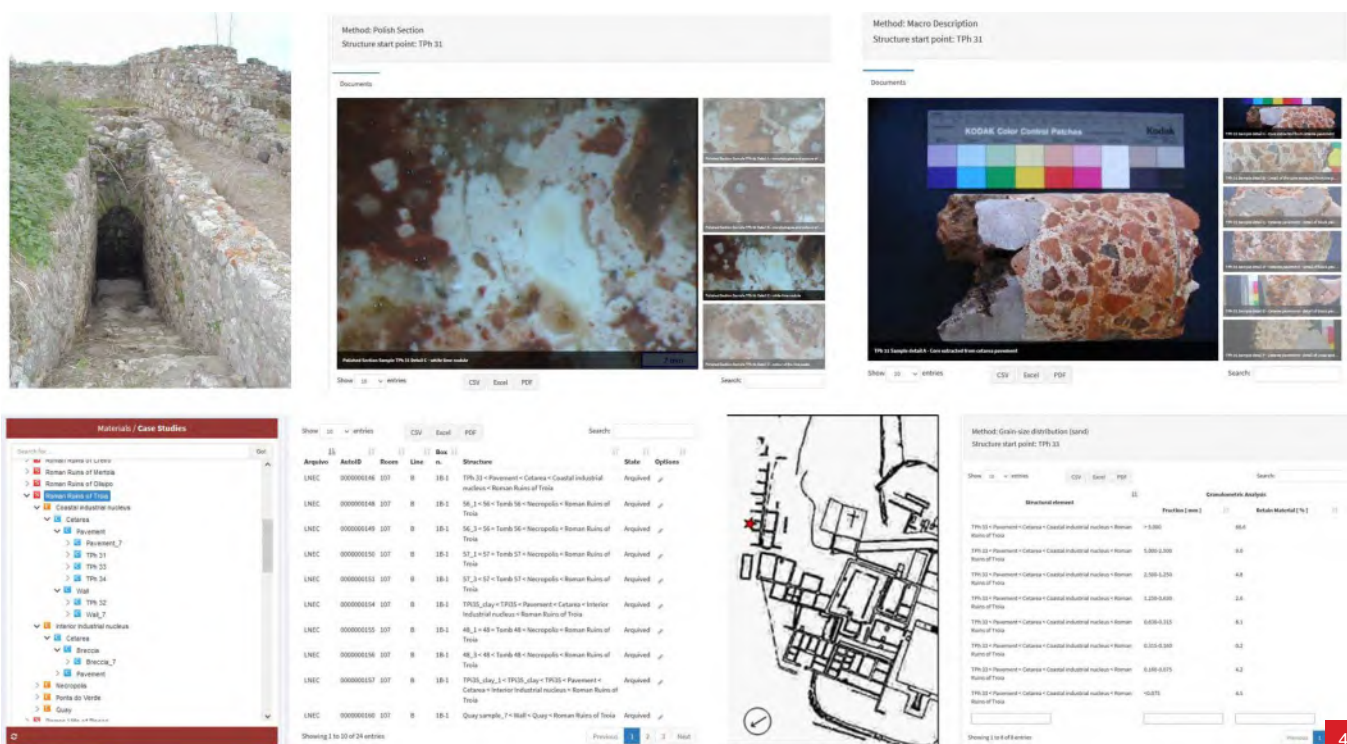
A DB-Heritage viabiliza ainda a exportação de informações (através, por exemplo, de CVS, PDF, *prints*), facilitando a visualização de dados globais – de âmbito analítico, descritivo, ambiental ou de caracterização dos materiais originais – e de dados históricos, através da observação de informação histórica relativa a vários casos de estudo sobre o património e respetivos materiais de construção. A base proporciona ainda a visualização de dados relacionados com o saber técnico-tradicional através da disponibilização de informação audiovisual, registo das memórias dos artesãos da construção relacionadas com materiais e técnicas, assim como registos documentais sobre técnicas tradicionais. O repositório digital tem ainda ao dispor uma lista de referências bibliográficas relacionadas

3 | Interface e opções de acesso aos dados.

com os casos de estudo incluídos pela base de dados, além de eventos específicos sobre estes casos de estudo.

A página de entrada da base de dados permite selecionar o tipo de visualização desejada em concordância com o perfil do utilizador (figura 3). Os dados estão acessíveis a utilizadores registados através de diferentes opções ou filtros. A informação disponibilizada pode ser analisada a partir da sua agregação em forma de tabela ou gráfico. O repositório digital viabiliza ainda o acesso ao arquivo físico, bem como a sua gestão.

O DB-Heritage contribui para um aumento de capacidade de armazenamento, processamento e partilha de dados interoperáveis, não só no contexto nacional como também europeu (por exemplo, através da integração de dados na infraestrutura de investigação ARIADNEplus), estando alinhado com a estratégia digital europeia e com as recomendações para a preservação e partilha de dados sobre o património cultural.



Nos contextos nacional e internacional, o DB-Heritage integra ainda os objetivos da Plataforma Portuguesa da Infraestrutura de Investigação Europeia em Ciências do Património E-RIHS.pt – inscrita no Roteiro Nacional de Infraestruturas de Investigação de Interesse Estratégico (RNIE) para as ciências da conservação do património e arqueometria – e da iniciativa Heritage Samples Archives Initiative (HSAI), que visa a valorização, salvaguarda do acesso e uso de amostras com interesse histórico e patrimonial.

O IMPACTO FUTURO DO DB-HERITAGE

As intervenções em bens culturais, nomeadamente no âmbito do património histórico, arquitetónico e arqueológico, implicam o conhecimento dos materiais constituintes (por exemplo, pedra, argamassas, betão, tintas, cerâmica, metais, madeira) e do seu estado de conservação, por forma a fornecer recomendações sobre o plano de conservação e restauro e sobre os materiais e técnicas a serem utilizados (figura 4). Contudo, assiste-se, frequentemente, à perda de informação e de partilha de conhecimento, e também ao esquecimento de parte do património que não resiste às ações humanas ou à própria passagem do tempo.

O DB-Heritage procurará parcerias para ampliar a infraestrutura criada e os presentes recursos, tendo como objetivo alargar o seu domínio de aplicação e facilitar a partilha de dados, inclusive à escala mundial. Prevê também melhorar a comunicação e promover a participação ativa e inclusiva da sociedade na recolha e partilha de dados para responder aos atuais desafios de análise, valorização e preservação do património histórico e cultural, contribuindo para que as gerações vindouras possam tirar partido da livre disponibilização deste conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia o apoio concedido através do projeto PTDC/EPH-PAT/4684/2014: DB-Heritage – Base de Dados de Materiais de Construção com Interesse Histórico e Patrimonial, ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil pelo seu apoio através do projeto DUR-Heritage – Durabilidade e Caracterização de Materiais com Interesse Histórico e, também, à Direção-Geral do Património Cultural, ao Centro de Arqueologia de Lisboa, às empresas de arqueologia Atalaia Plural, Neoépica, Cota8086, aos

4 | Ruínas romanas de Troia, um dos casos de estudo do DB-Heritage.

arqueólogos António Valongo, Artur Rocha, Nuno Santos, e a muitas outras pessoas, por toda a colaboração ■

BIBLIOGRAFIA

Correia, M. J. et al (2019). *Portuguese cultural heritage data access tools and policies – Anticipated impacts of ARIADNEplus; The ARIADNE impact*. Ed. by Julian Richards and Franco Niccolucci, Archaeolingua Foundation, Budapest.

Santos Silva, A. et al (2018). Revestimentos com base em cal em monumentos de interesse histórico e patrimonial: Exemplos do repositório DB-Heritage. *Tradición, versatilidad e innovación en la cal: Un material de excelência – VI Jornadas FICAL*. Pamplona, España, p. 27-38.

Santos Silva, A., Menezes, M., Correia, M. J. (2017). The archive of historical materials in digital era as cultural value. IMArTte2017, 29 e 30 de maio, LNEC, Lisboa.

Santos Silva, A., Correia, M. J. (2017). Desempenho de materiais de construção com interesse histórico – Arquivo e ferramentas de divulgação. CREPAT, 29 e 30 de junho, Aveiro.

Santos Silva, A. et al (2017). Building materials with historical and heritage interest – A database in progress. PROHITECH'17, 15 e 17 de julho, Lisboa.



Manual de Reabilitação, volume 1 *Caracterização e legislação aplicável*

Autores: Vários

Edição: PTPC (2022)

Com coordenação dos professores Fernando F. S. Pinho (FCT NOVA) e Vasco Peixoto de Freitas (FEUP), nossos associados, este livro é dirigido a atuais e futuros engenheiros civis e arquitetos intervenientes nas fases de projeto e construção de obras de reabilitação. O manual começa por apresentar uma caracterização aprofundada do património edificado, nomeadamente dos edifícios de habitação, dos edifícios escolares e do património monumental. Em seguida, apresenta a regulamentação técnica relativa a edifícios, aplicável a construções novas e, nos casos possíveis, aos processos de reabilitação, e, por fim, descreve e analisa o atual quadro legal da política de reabilitação urbana.

Disponível para consulta no centro de documentação GECORPA.



Termas Romanas de São Pedro do Sul

Autores: João Mendes Ribeiro e João Gomes da Silva

Edição: Nuno Miguel Borges (2022)

Está também disponível para consulta no nosso centro de documentação esta publicação que reúne o registo do projeto e dos trabalhos de reabilitação das Termas Romanas de São Pedro do Sul que decorreram entre o verão de 2017 e o inverno de 2019. Conta com os contributos de Jorge de Alarcão, Marcelo Mendes Pinto, José Pedro Cortes, que fazem reflexões sobre este projeto e dão a conhecer melhor a história do edifício, e inclui também uma entrevista de Nuno Miguel Borges aos autores. A publicação vem complementar a coleção «Projectos de Arquitectura», criada e editada por Nuno Miguel Borges. Trata-se de um programa editorial que reúne arquitetos, arquitetos paisagistas, historiadores, arqueólogos, académicos, fotógrafos e *designers* que, em conjunto, ajudam a conhecer e a compreender a história e o projeto de arquitetura retratado em cada volume.

Disponível para consulta no centro de documentação GECORPA.

Livraria



Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos *Técnicas Pouco Intrusivas*

Autor: Vítor Córias

Edição: GECORPA (2007)

Um livro feito a pensar nos engenheiros, arquitetos e outros profissionais do setor da construção envolvidos em intervenções de reabilitação de edifícios antigos. O objetivo é pôr à sua disposição um conjunto de conhecimentos destinados a facilitar a aquisição, a conceção, o projeto e a fiscalização dessas intervenções, particularmente das que são ditadas por considerações estruturais. A ênfase incide numa abordagem pouco intrusiva, por forma a permitir que as obras se façam com o mínimo de alteração do modelo construtivo e estrutural original, que, para além da preservação da integridade e autenticidade dos edifícios, minimiza os impactos das obras no meio urbano e também no ambiente. A edição disponibiliza também seis anexos que contêm um vasto conjunto de informação complementar, tais como: glossário dos termos utilizados em reabilitação, exemplos de cálculos de verificação estrutural, cartas, declarações e outros textos relevantes para esta área, uma proposta de sistema de classificação das empresas executantes das intervenções, condições técnicas especiais para os cadernos de encargos e fichas com características dos materiais utilizados na reabilitação. Uma obra sempre atual!

Disponível para venda na livraria GECORPA, com 10 % de desconto e oferta de portes.

€ 45,00 € 40,50 (c/ IVA)

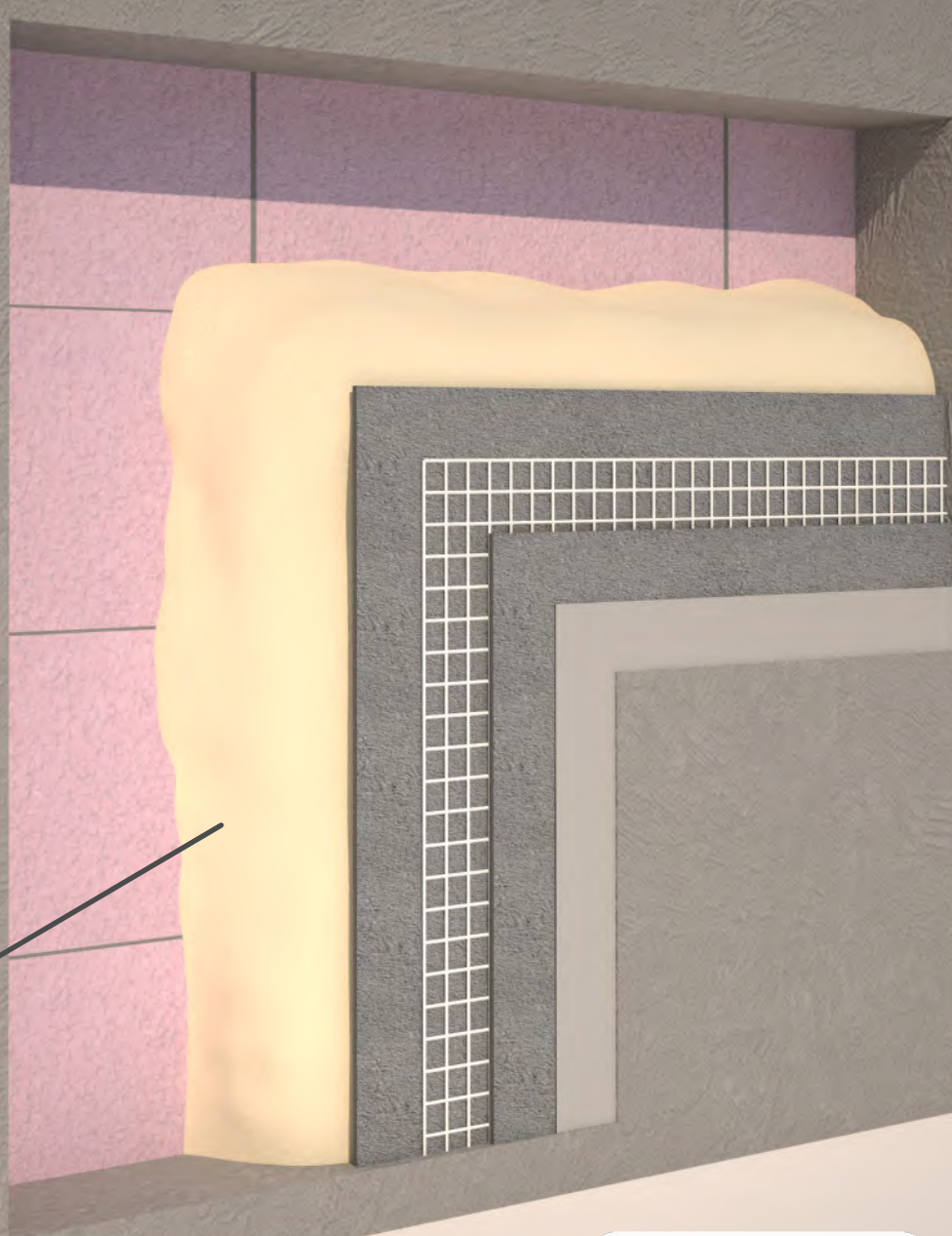


Para saber mais sobre estes e outros livros consulte a
Livraria em www.gecorpa.pt

O Centro de Documentação pode ser consultado mediante
marcação prévia através do info@gecorpa.pt

Os associados
GECORPA
têm 10% desconto.

10%



WEBERTHERM AISLONE, UM REBOCO ISOLANTE QUE CONTRIBUI PARA EDIFÍCIOS MAIS EFICIENTES E SUSTENTÁVEIS

O **webertherm aislone**, da Weber Saint-Gobain Portugal, é um reboco isolante com um desempenho térmico assinalável (condutibilidade térmica = 0,042 W/m.K) e de simples aplicação (manual ou mecânica), apresentando uma composição à base de cal, o que o torna versátil, adequando-se tanto a obra nova como a renovação. É compatível com suportes antigos e irregulares, como tabique, taipa ou alvenarias toscas com argamassas de cal, e apresenta alta permeabilidade ao vapor, garantindo a respirabilidade da fachada. Apresenta baixa densidade, não sobrecarregando ou comprometendo a estrutura existente com cargas adicionais para as quais não estaria dimensionada (especialmente relevante em edificado antigo). É aplicável até 80 mm de espessura, oferecendo melhoria térmica significativa em comparação com a existente antes da intervenção.

Tem-se verificado a preferência por esta solução em detrimento das placas de isolamento habitualmente aplicadas, nomeadamente em sistemas ETICS, dadas as suas valências técnicas e respetiva versatilidade em obra. Enquanto as placas isolantes devem, preferencialmente, ser aplicadas após a regularização do suporte, para garantir uma perfeita aderência e horizontalidade da própria fachada, o reboco isolante não exige este cuidado, por ser um produto que pode ser aplicado por projeção mecânica, adaptando-se ao suporte.

Além das valências já referidas, as argamassas térmicas apresentam um claro contributo para a redução de perdas energéticas, o que se traduz em menores consumos de energia e menor pegada ambiental.

É possível conjugar conforto, eficiência, rentabilidade e sustentabilidade na construção e as argamassas técnicas tem aqui um papel relevante. "Making the world a better home"!

Conservação e reabilitação do património

Documento estratégico 2020-2030

Vasco Peixoto de Freitas, Inês Flores-Colen GECORPA



O

documento estratégico intitulado "Conservação e Reabilitação do Património. Estratégias e Potencialidades (2020-2030)" foi desenvolvido em 2020, e lançado no final de 2021 devido à covid-19. Teve a coordenação do anterior presidente Vasco Peixoto de Freitas, com o contributo de vários especialistas em património (Alice Tavares, Esmeralda Paupério, Filipe Ferreira, João Martins Jacinto, José Borges, Leonor Medeiros, Margarida Alçada, Manuel Aranha, Ricardo Gonçalves, Vasco Peixoto de Freitas e Vítor Cóias).

Este documento estratégico visa assim refletir sobre o património construído e, sobretudo, propor um conjunto de recomendações e prioridades consideradas relevantes para os decisores que atuam na área da conservação e reabilitação do património edificado.

Os principais objetivos são:

- promover a reabilitação, a conservação e o restauro do património e, em particular, do património cultural;

- contribuir para a melhoria do ordenamento e da regulação do setor da construção e para a mudança do seu papel na economia e na sociedade;
- zelar pela qualidade das intervenções de reabilitação do edificado e do património, através da divulgação das boas práticas e da formação especializada, promovendo a qualificação dos recursos humanos e das empresas deste setor.

PONTOS RELEVANTES

Identificação e caracterização do património

A legislação define o Património Cultural Português como o conjunto de bens materiais e imateriais que estão sujeitos a uma determinada exposição e vulnerabilidade e que, pelo seu valor próprio, são considerados de interesse para a identidade cultural. Portugal tem mais de 4500 imóveis classificados como Património Cultural Imóvel (80 % integrados

nas tipologias de arquitetura civil e religiosa). É fundamental a mais completa caracterização de todo o património (levantamento, mapeamento, caracterização, grau de degradação) para a definição de um plano estratégico de intervenção a médio prazo, sejam obras de conservação, de restauro ou de reabilitação.

Gestão do património

Na gestão do património edificado importa saber quem gere e tem a responsabilidade de investir em ações de conservação e manutenção programada e de reabilitação. A informação sobre quem tutela e gere o património cultural é de maior relevância para a definição de estratégias e possíveis investimentos.

Riscos para o património

Importa avaliar a falta de qualidade das intervenções, erros de conceção e execução, abandono ou falta de manutenção, turistificação e intervenções desajustadas. Existem

ainda riscos naturais a que o património edificado está sujeito, como sismos, cheias e incêndios, com tendência a agravamento devido às alterações climáticas.

Investimento público

O orçamento para a Cultura para 2020 do Estado Português, embora tenha crescido, representa muito menos do que 0,3 % do PIB. Ainda não se dispõe de informação clara sobre estratégia a partir de 2022. O investimento de 150 milhões de euros previsto na medida RE-C04-i02 (PRR) para a requalificação e conservação dos museus, monumentos e palácios do Estado, para a requalificação dos teatros nacionais e a implementação do Programa Saber Fazer é claramente insuficiente e centralizado numa área limitada do país.

Metodologia de intervenção no património

As intervenções no património devem ser compatíveis, apostando no princípio da reversibilidade, associado à sua época construtiva. Nunca será de mais relembrar o conceito de “preexistência” que o arquiteto Fernando Távora soube transmitir às gerações seguintes e que alerta para a necessidade de uma apurada leitura do objeto de estudo e toda a sua envolvente numa perspetiva material/física/construída, mas também para as questões imateriais referentes à evolução histórica e cultural e contexto socioeconómico.

Na requalificação do património edificado, incluindo os edifícios correntes e monumentais (Património Cultural Imóvel), é quase sempre possível a manutenção das estruturas existentes: paredes, pavimentos e coberturas. A inspeção e o diagnóstico do estado das estruturas e da envolvente são um contributo fundamental para a avaliação real do estado de degradação, em termos do desempenho face à humidade e da garantia da sua segurança estrutural, em particular, no que se refere à ação sísmica.

Vários estudos são necessários, desde levantamentos histórico-arqueológicos, estudos higro-térmicos, simulações numéricas, antes das obras de reabilitação, conservação e restauro.

As intervenções devem incluir a coordenação de equipas multidisciplinares (engenheiros, arquitetos, arqueólogos, historiadores, conservadores e restauradores, entre outros) que saibam integrar os valores patrimoniais com as necessidades atuais.

Formação e qualificação

A formação é um dos vetores fundamentais na qualificação profissional de todos os atores, o que pressupõe adequar o ensino de nível superior que se realiza em Portugal, assim como refletir sobre a necessidade de formação dos quadros superiores e dos quadros intermédios através de escolas profissionais. Deve-se procurar promover ações de formação com níveis diferenciados que per-

mitam qualificar os projetistas e as empresas que atuam no património. Sem qualificação e conhecimento não será possível realizar intervenções com qualidade e durabilidade. É importante também para o património, tendo em conta a população na sua globalidade, em particular os jovens. Em resumo, é importante trazer o conhecimento científico para a prática, qualificar os atores, promover formação a diferentes níveis, não perder o saber-fazer tradicional e dar ênfase ao património cultural na educação para a cidadania.

Reflexão

O documento estratégico termina com dez recomendações para uma definição de uma estratégia nacional para a reabilitação e conservação do património.

Cabe às associações, como o GECORPA, o papel fundamental de procurar sensibilizar os decisores, os investidores e os cidadãos sobre as melhores estratégias de intervenção no património, a curto e médio prazo, reforçando a importância das boas práticas e a qualificação adequada de todos os intervenientes. A reflexão sobre a importância da preservação do património e da nossa responsabilidade nessa defesa é cada vez mais necessária e crucial, numa altura em que existem crescentes exigências de sustentabilidade ambiental, social, cultural e económica e uma enorme pressão por parte do imobiliário e da indústria turística.

..... Vida Associativa

APRUPP e GECORPA formam grupo de trabalho Energia e Património



APRUPP – Associação Portuguesa para a Reabilitação Urbana e Proteção do Património e o GECORPA – Grémio do Património constituíram o Grupo de Trabalho Energia e Património (GTEP), no final de dezembro de 2021. O GTEP tem como objetivos analisar o impacto da atual legislação da eficiência energética dos edifícios na salvaguarda do património edificado corrente, bem como sintetizar as principais dificuldades de aplicação normativa e o seu efeito na perceção

de técnicos, empresas e indústria, quer ao nível do projecto quer das próprias intervenções e do retorno efetivo do investimento. A criação do grupo visou também sensibilizar a sociedade para estes temas e fornecer conhecimento técnico estruturado, suportado por estudos científicos, através das redes sociais.

Este grupo, que conta com 11 membros, pertencentes a uma ou a ambas as associações, abrange conhecimentos multidisciplinares,

em estreita interação com a academia, as empresas e os profissionais envolvidos na reabilitação térmica (peritos e técnicos).

Para levar a cabo a missão a que se propõe, o GTEP espera a colaboração de todos em futuros questionários e iniciativas que visam a compatibilização da intervenção com a preservação do património edificado.

Novo associado individual GECORPA



A experiência coletiva da nossa associação continua a crescer. O mais recente membro é Fernando F. S. Pinho, professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da FCT NOVA, coordenador da pós-graduação em Construção e Reabilitação Sustentável e membro do CERIS – Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability (IST).

Além de coordenador da Comissão Editorial do Manual de Reabilitação (3 volumes) da Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção (PTPC), é também membro do Conselho Estratégico da mesma. Coordena ainda o Colégio Regional Sul de Engenharia Civil da Ordem dos Engenheiros.

É autor dos livros *Paredes de edifícios antigos em Portugal* e *Reabilitação Estrutural de Paredes de Alvenaria de Pedra Tradicional*, que temos ao dispor para venda na livraria da nossa associação e para consulta no nosso centro de documentação.

Bem-vindo!

GECORPA renova apoio ao Prémio Nacional de Reabilitação Urbana

Como tem acontecido em anteriores edições, o Prémio Nacional de Reabilitação Urbana (PNRU), que celebra dez anos, conta com o apoio institucional do nosso grémio.

Para assinalar a data especial, a organização preparou uma edição comemorativa especial que englobará uma retrospectiva dos projetos vencedores, a apresentação das várias entidades que apoiam a reabilitação urbana em Portugal e também depoimentos das personalidades que, até agora, integraram o júri do PNRU.

O Prémio Nacional de Reabilitação Urbana é uma iniciativa da Vida Imobiliária e da



Promevi, que visa distinguir as intervenções urbanas de grande impacto e valor social.

Mais informações em <https://premio.vidaimobiliaria.com/>

Concreta 2022

Grémio do Património participa na Feira de Construção, Reabilitação, Arquitetura e Design



A decorrer em simultâneo com a Exposição de Material Elétrico e Eletrónica, a Concreta está de volta às instalações da Exponor, dando continuidade a um conceito em que criatividade, inovação, tendências e arte se unem para dar a conhecer o que de melhor se faz, além de impulsionar as áreas de construção, arquitetura, design e engenharia do futuro. Tendo em vista os mercados externos, serão

apresentadas novidades técnicas e tecnológicas, novas soluções e novos materiais.

Nesta edição, que vai decorrer de 13 a 16 de outubro, o GECORPA estará presente com um stand localizado na área dedicada à reabilitação.

Para mais informações, consulte <https://concreta.exponor.pt>.

GECORPA 1997-2022

À procura de um novo fôlego

Vítor Cóias Fundador do GECORPA e presidente da Assembleia Geral

Como presidente da direção do GECORPA desde a sua fundação, em 1997, até 2017, é com natural satisfação que vejo o projeto associativo entrar no seu 25.º ano de atividade.

Porfiando pelos seus objetivos, o GECORPA colaborou, ao longo destes 25 anos, com entidades nacionais e estrangeiras. Dentre as primeiras, importa, desde logo, salientar quer a Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, entretanto extinta, quer o Instituto Português do Património Arquitectónico (hoje Direcção-Geral do Património Cultural), bem como as Direcções Regionais da Cultura, sobretudo a do Alentejo, mas também com outras associações quer da área do património, quer da área do ambiente, com instituições de formação profissional e de ensino, ordens e associações profissionais dos arquitetos e dos engenheiros – com particular destaque para a Ordem dos Engenheiros Técnicos, membro institucional do Grémio há vários anos – e também dos conservadores-restauradores. A junção de esforços com outras associações e organizações não-governamentais do património permitiu alcançar

resultados relevantes na defesa do carácter e da autenticidade da cidade antiga. Entre as várias entidades nacionais, não podia deixar de destacar a prolongada e frutuosa parceria com a editora Canto Redondo – que permitiu assegurar a continuidade da revista *Pedra & Cal*, e, de 2012 para cá, publicar diversas edições do *Anuário do Património*. Dentre as organizações estrangeiras com as quais a associação manteve relações de colaboração, refiro o International Council on Monuments and Sites, sobretudo através da sua comissão portuguesa, a Europa Nostra e a AEERPA (European Association of Architectural Heritage Restoration Companies), entretanto desativada.

O GECORPA foi também uma “escola” por onde passaram vários jovens profissionais em início de carreira, na maioria mulheres, algumas das quais se dedicaram posteriormente a atividades na área do património. A associação tem como presidente, agora, a engenheira Inês Flores-Colen, hoje professora do Instituto Superior Técnico, ela própria uma colaboradora da associação enquanto recém-formada.



Os três grandes objetivos do GECORPA, tal como enunciados no seu texto de apresentação, não têm metas concretas a atingir. No entanto, apenas para o primeiro, o primado da reabilitação, e parte do segundo, a divulgação das boas práticas, se podem constatar, no terreno, alguns resultados, e, mesmo assim, modestos. A sua missão está, por isso, longe de se poder considerar cumprida, constituindo um desafio para a atual equipa dirigente.

Finalmente, de entre as colaborações individuais de que o Grémio beneficiou, não posso deixar de destacar duas pessoas que, entretanto, nos deixaram: Elsa Fonseca, que, com grande dedicação, secretariou a associação durante vários anos, e Nuno Teotónio Pereira, que, também ao longo de vários anos, enriqueceu a *Pedra & Cal* com as suas regulares e sempre oportunas crónicas.

Curso sobre reabilitação de madeiras

O GECORPA dá apoio institucional ao curso “Madeiras, da Reabilitação ao Dimensionamento”, com coordenação da Professora Maria Idália Gomes, que decorrerá de 7 a 9 de março e será ministrado *online* em regime pós-laboral.

O primeiro módulo, sobre reabilitação de estruturas de madeira, será lecionado pela investigadora do LNEC, Doutora Helena Cruz.

Mais informação em <https://www.iasa-association.org/cursodemadeiras>.

Curso de Madeiras:
Da Reabilitação ao Dimensionamento

Módulo 1
Reabilitação das Estruturas de Madeira
Investigadora Doutora Helena Cruz

Objetivos

Compreender a importância e a utilidade da reabilitação das estruturas de madeira nos edifícios antigos, no âmbito da conservação e restauro do património edificado.

Conhecer o comportamento do material “madeira”, os tipos de degradação e os meios de diagnóstico, com o objetivo de avaliar a necessidade de tratamento ou reforço e quais as técnicas de intervenção, assim como, os cuidados de aplicação da madeira em obra.

Saiba mais em: www.iasa-association.org

Classificação das Ruínas do Teatro Romano de Lisboa como Monumento Nacional proposta pela DGPC

As ruínas do Teatro Romano, sítio arqueológico que faz parte do Museu de Lisboa, foram alvo de uma iniciativa da Direção-Geral do Património Cultural (DGPC), anunciada em *Diário da República*, e que visa o alargamento do perímetro, a reclassificação como Monumento Nacional e a manutenção da Zona Especial de Proteção.

Esta iniciativa é o culminar de um processo iniciado pelo Museu de Lisboa em maio de 2018, quando foi feito o pedido de reclassificação do imóvel, uma vez que já muitas ações haviam sido realizadas para permitir o avanço das escavações neste monumento.

Mesmo antes de ter sido classificado como Imóvel de Interesse Público, em 1967, a Câmara Municipal de Lisboa começou a comprar e expropriar alguns edifícios adjacentes, com vista à sua demolição para



Fonte: DGPC

permitir a escavação. Os trabalhos que desde então se realizaram têm vindo a pôr a descoberto o que se estima ser mais do que um terço da área total do monumento construído no século I.

Algures no tempo, o monumento perdeu a sua função e foi sendo coberto por variadas

construções que o absorveram e fizeram que fosse esquecido. Durante os trabalhos de reconstrução da cidade de Lisboa, na sequência do terramoto de 1755, foram descobertos os primeiros vestígios. No entanto, continuou-se a construir sobre o monumento, e só na década de 1960 é que se voltou a dar-lhe o devido interesse.

“De geração em geração, património e formação”

Sensibilização para a comunidade escolar

Porque é de pequenino que se... escolhe o destino, o nosso associado Atelier Samthiago realizou mais uma atividade, na Escola Secundária de Santa Maria Maior, em Viana do Castelo, inserida no plano de sensibilização para crianças e jovens “De geração em geração, património e formação”.

O principal objetivo desta atividade foi mostrar a alunos da instituição o que é a profissão e como se faz o ensino de conservação e restauro em Portugal.

O nosso associado transmitiu aos alunos de Artes do 11.º ano, a quem esta iniciativa se dirigiu, algumas orientações e informações que considera importantes nas escolhas profissionais e no percurso académico.

Aula aberta: proteção passiva contra incêndio nos edifícios

Numa sessão inteiramente online, destinada aos alunos da pós-graduação em Proteção Civil do Instituto Politécnico de Tomar, onde a nossa associada engenheira Maria de Lurdes Belgas é professora adjunta de Engenharia, além de membro do Conselho Pedagógico e da Comissão de Coordenação do Mestrado em Reabilitação Urbana e do CTeSP em Segurança e Proteção Civil, decorreu no dia 11 de fevereiro uma aula aberta na qual os cerca de trinta participantes puderam reforçar os seus conhecimentos sobre proteção passiva contra incêndios nos edifícios.

Na iniciativa dinamizada pelo Dr. Sílvio Saldanha, da TRIA, S.A., a informação partilhada incidiu sobre a seleção de materiais de construção com propriedades de resistência e reação ao fogo adequadas ao tipo de utilização e nível de risco, tendo como principais objetivos limitar a propagação do incêndio, garantir que durante



40 **ipt** Instituto Politécnico de Tomar anos de Ensino Superior na Região

estt.ipt Escola Superior de Tecnologia de Tomar Instituto Politécnico de Tomar

AULA ABERTA
Proteção Passiva
Contra Incêndio
nos Edifícios
11 FEVEREIRO 2022
18h00 » Online
<https://cutt.ly/DOTtsLx>
Instituto Politécnico de Tomar
Orador
Sílvio Saldanha
TRIA, S.A.
Pós-Graduação em Proteção Civil
Módulo: Segurança Contra Incêndios em Edifícios

www.ipt.pt

o incêndio é mantida a estabilidade e integridade do edifício e criar zonas para a segura evacuação do edifício e atuação das equipas dos bombeiros. Temas como a correta proteção dos elementos estruturais em madeira, aço e betão, a compartimentação, selagem e desenfumagem também foram abordados.

FUNDEC Expert Talk

Desempenho e Durabilidade de Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior

No dia 29 de março vai decorrer mais uma palestra *online*. Entre os oradores está a nossa associada engenheira Inês Flores-Colen e, atualmente, presidente da Direção.

Como nos últimos anos tem aumentado, consideravelmente, a utilização do sistema compósito de isolamento exterior nas fachadas de edifícios ETICS, importa avaliar o desempenho e a durabilidade deste sistema de revestimento.

Nesta palestra serão apresentados e comparados os resultados sobre o desempenho e a durabilidade de ETICS em condições laboratoriais e de exposição prolongada no exterior. Além disso, serão dados a conhecer os resultados de alguns produtos para proteção das superfícies que podem contribuir para uma maior eficiência e durabilidade destes sistemas.

Mais informações em www.eventbrite.pt.

Informação Institucional

63 propostas submetidas ao Prémio do Colégio de Património Architectónico 2021

Diana Roth Coordenadora da Comissão Executiva do Colégio de Património Architectónico da Ordem dos Arquitectos, associada do GECORPA

A primeira edição do Prémio CPA 2021 (Colégio de Património Architectónico da Ordem dos Arquitectos) registou uma adesão verdadeiramente extraordinária. Através de um concurso nacional, com periodicidade anual, o Prémio pretende constituir-se como uma distinção importante na área do Património Architectónico, incentivando o trabalho de candidatos que estão, em geral, a iniciar um percurso ligado à investigação e à prática e promovendo o seu reconhecimento público.

Lançado em dezembro último, o Prémio considera dissertações de mestrado, apresentadas nos anos civis de 2017 a 2021, com incidência na salvaguarda e valorização do património arquitetónico português ou de origem portuguesa, que possuam originalidade ou contribuam significativamente para o avanço do conhecimento nesta área. Para o CPA os objetivos foram plenamente realizados e um verdadeiro sucesso o aprofundamento da sua relação com a Academia, registando-se a proveniência de candidaturas de um conjunto importante de escolas de arquitetura nacionais.



O júri, presidido por João Mendes Ribeiro e integrando outros quatro arquitetos, Elsa Duarte (DGPC), João Nuno Pernão, Nuno Valentim e Margarida Quintã, terá de decidir o melhor trabalho, podendo atribuir até duas menções honrosas.

Face ao volume de trabalhos em análise pelo Júri, a cerimónia de entrega do Prémio não poderá realizar-se no Dia Internacional dos Monumentos e Sítios, a 18 de abril, conforme previsto no Regulamento do Prémio, e deverá ser reagendada para data e lugar a anunciar.

Associada GECORPA leciona ação de formação “Durabilidade da Madeira na Construção”, promovida pela FUNDEC

A FUNDEC vai realizar uma ação de formação *online* com o tema “Durabilidade da Madeira na Construção”, nos dias 9 e 10 de Março, das 17h30 às 20h00. Esta formação será ministrada pela nossa associada engenheira Maria Dulce Henriques (ISEL/ Politécnico de Lisboa) e tem por objetivos:

- sensibilizar e dotar de conhecimentos necessários os técnicos envolvidos em obras de arquitetura e engenharia com utilização de madeira, para que estas se possam conservar ao longo do tempo;
- fornecer instrumentos sobre o reconhecimento dos processos de degradação da madeira, os respetivos agentes e as diversas formas de impedir o seu desenvolvimento;
- apresentar técnicas para a correta prescrição do tipo de madeira a utilizar, tendo em conta o tipo de construção e o ambiente onde ficará integrada;
- apresentar diversos processos de conservação/preservação e as suas especificidades.

Os associados GECORPA usufruem um desconto de 10 %.

Pode aceder ao programa completo e fazer a inscrição em www.fundec.pt.

março

junho

Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom	Seg	Ter	Qua		
28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

31 de março 2022
Seminário “Estação Central da Beira em Moçambique: Conservação e manutenção do património do movimento moderno”
Escola de Arquitetura, Arte e Design de Guimarães

4 a 5 de maio 2022
4.ª Conferência Internacional sobre Eficiência Energética em Edifícios Históricos
Mosteiro Benediktbeuern, Alemanha

17, 18 e 19 de junho 2022
Jornadas Europeias de Arqueologia

31 de março 2022

Seminário “Estação Central da Beira em Moçambique: Conservação e manutenção do património do movimento moderno”

*Escola de Arquitetura,
Arte e Design de Guimarães*

17, 18 e 19 de junho 2022

Jornadas Europeias de Arqueologia

4 a 5 de maio 2022

4.ª Conferência Internacional sobre Eficiência Energética em Edifícios Históricos

Mosteiro Benediktbeuern, Alemanha

Seminário “Estação Central da Beira em Moçambique: Conservação e manutenção do património do movimento moderno”

*Escola de Arquitetura,
Arte e Design de Guimarães*

A Estação Central da Beira, término do sistema ferroviário que liga o porto ao interior de África, foi inaugurada no final de 1966 e é da autoria dos arquitetos Francisco José de Castro, João Garizo do Carmo e Paulo de Melo Sampaio. O projeto de conservação e reabilitação deste edifício, ex-libris da cidade da Beira, conta com a participação da Universidade do Minho.

É neste âmbito que a Escola de Arquitetura, Arte e Design de Guimarães organiza o seminário “Estação Central da Beira em Moçambique: Conservação e manutenção do património do movimento moderno”, durante o qual será apresentado o projeto, serão feitas leituras históricas de arquitetura e construção e haverá uma mesa-redonda a encerrar os trabalhos.

No final do seminário, que decorrerá em inglês, sem tradução, será feita a abertura de uma exposição de plantas, fotos e desenhos históricos presentes nos estudos efetuados por uma equipa da UMinho, liderada pelo nosso associado Paulo B. Lourenço.

A inscrição, até 23 de março, é gratuita, mas obrigatória, e está limitada à capacidade do auditório.

Informações:
sec.estruturas@civil.uminho.pt

4.ª Conferência Internacional sobre Eficiência Energética em Edifícios Históricos

*Mosteiro Benediktbeuern,
Alemanha*

A conferência EEHB 2022, organizada em conjunto pelo Centro Fraunhofer para a Conservação e Eficiência Energética de Edifícios Históricos e pelo Deutsche Bundesstiftung Umwelt, com o apoio do distrito da Alta Baviera, vai realizar-se nos dias 4 e 5 de maio e terá um formato híbrido, com eventos presenciais e *online*.

A edição deste ano é sobre o papel que as tecnologias digitais podem desempenhar no melhoramento da eficiência energética. Assim, nos dias 2 e 3 de maio, realizar-se-á um *workshop* sobre registo e modelação 3D de edifícios históricos com recurso a ferramentas digitais, estando programadas sessões práticas adicionais sobre processamento de dados, eficiência energética e modelação higratérmica de edifícios históricos.

Informações:
<https://www.eehb2020.org>

Jornadas Europeias de Arqueologia

A Direção-Geral do Património Cultural, que coordena as Jornadas Europeias de Arqueologia (JEA), convida todas as entidades públicas ou privadas, coletivas ou individuais portuguesas que pretendam organizar eventos, exclusivamente, no âmbito da arqueologia a participar nesta iniciativa, efetuando registo e inscrição no site até 17 de junho.

As JEA, que na Europa são coordenadas pelo Institut National de Recherches Archéologiques Préventives, reúnem mais do que 47 países aderentes.

Além dos eventos presenciais, o programa deste ano poderá incluir ainda visitas e exposições virtuais, apresentações *online*, filmes e vídeos em direto ou pré-gravados, *podcasts*, recursos para *download* e todo o tipo de iniciativas que poderão ser fruídas *online*.

Programa disponível:
<https://lnkd.in/deVVxhPG>

Informações:
jea@dgpc.pt



Exponor
exhibitions

AEP

Arquitectura
Construção
Design
Engenharia

CON
CRE
TA

13–16 Out.
2022

Exponor

concreta.exponor.pt

ASSOCIADOS COLETIVOS ORDINÁRIOS

GRUPO I Projeto, fiscalização e consultoria



Atelier in.vitro
Consultoria e projeto na área da arquitetura, com particular enfoque na reabilitação do património edificado.



Cerne – Projeto e Consultoria
Projeto e consultoria em engenharia civil; inspeção e diagnóstico estrutural e de edifícios; reabilitação e reforço estrutural de construções existentes; coordenação de projetos de reabilitação do património edificado; avaliação de vulnerabilidade sísmica e segurança estrutural; consultoria e implementação de metodologias BIM



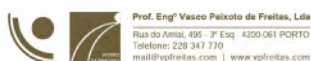
Cura – Projectos
Inspeções, auditorias, estudos, peritagens, projetos e formação, no âmbito da engenharia e da arquitetura; ensaios, testes e medições para apoio ao diagnóstico de anomalias construtivas; controlo de qualidade, fiscalização e gestão de obras públicas ou privadas.



Gestip – Gestão Imobiliária e de Participações, Lda.
Gestão imobiliária.



Lusíada – Arquitectura e Design
Património: restauro e reabilitação; planeamento urbano; habitação (serviços, turismo, design de interiores, desenvolvimento de produto)



Professor Engenheiro Vasco Peixoto de Freitas, Lda.
Patologia, reabilitação de edifícios e comportamento higratérmico.

GRUPO II Levantamentos, inspeções e ensaios



Ferreira Lapa, Lda.
Reabilitação do património arquitetónico e construções antigas; projeto, fiscalização e consultoria; levantamentos, inspeções e ensaios.



NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda.
Consultoria em reabilitação do património edificado; inspeção e diagnóstico; avaliação de segurança estrutural e sísmica; modelação numérica avançada; projeto de reabilitação e reforço; monitorização.



OZ – Diagnóstico, Levantamento e Controlo de Qualidade em Estruturas e Fundações, Lda.
Estudos e projetos de engenharia e arquitetura; gestão e fiscalização de obras; organização e gestão de empresa; formação.

GRUPO III Execução dos trabalhos. Empreiteiros e Subempreiteiros



ACTIA – Engenharia e Construções, Lda.
Obras de conservação e reabilitação de edifícios.



AOF – Augusto de Oliveira Ferreira & C.ª, Lda.
Obras de conservação e reabilitação de edifícios, cantarias e alvenarias.



Atelier Samthiago, Lda.
Obras de conservação e restauro do património histórico e artístico.



CACAO Civil Engineering Lda.
Rodovias e ferrovias; estudo de viabilidade; estudo prévio; projeto de execução; revisão de projeto; coordenação de projeto; consultoria e assessoria técnica; mobilidade e transportes.



CBC – Construções Borges & Cantante, Lda.
Construção de edifícios.



Monumenta – Reabilitação do Edificado e Conservação do Património, Lda.
Obras de conservação e reabilitação de edifícios; consolidação estrutural; conservação de cantarias e alvenarias.



NVE – Engenharias e Construção, S.A.
Projetos de engenharia; construção; reabilitação.



Pretensa – Equipamentos e Materiais de Pré-Esforço, Lda.
Juntas de dilatação de edifícios, rodoviárias e ferroviárias; pregagens Cintec; proteção sísmica; químicos para construção; aparelhos de apoio; pré-esforço; reabilitação de estruturas; proteção contra explosões; barreiras acústicas; nanopartículas para a construção.



Revivis – Reabilitação, Restauro e Construção, Lda.
Obras de reabilitação, conservação e restauro e construção civil na generalidade.



SCHMITT – Elevadores, Lda.
Planeamento, projeto e construção de edifícios; reabilitação de edifícios; reparação e modernização, com a substituição quase integral do equipamento; manutenção preventiva e preditiva em todos os equipamentos de elevação.



STB – Reabilitação do Património Edificado, Lda.
Reparação e reforço de estruturas; reabilitação de edifícios; inspeção técnica de edifícios e estruturas; instalação de juntas; pintura e revestimentos industriais.

GRUPO IV Fabrico e/ou distribuição de produtos e materiais



Saint-Gobain Portugal, S.A.
Fabrico e distribuição de produtos e materiais vocacionados para o património arquitetónico e construções antigas.



S&P – Clever Reinforcement Ibérica
Materiais de Construção, Lda.
Fabricante de sistemas de reforço estrutural para betão armado, alvenaria, madeira e aço com compósitos de fibra; reforço de pavimentos rodoviários, aeroportuários e portuários com malhas de fibra de carbono e vidro.



Umbelino Monteiro, S.A.
Produção e comercialização de produtos e materiais para o património arquitetónico e construções antigas.

ASSOCIADOS INDIVIDUAIS

Aníbal Guimarães da Costa,
engenheiro

Antero Leite,
economista

Diana Eibner Roth,
arquiteta

Dulce Franco Henriques,
engenheira

Esmeralda Paupério,
engenheira

Fernando F. S. Pinho,
engenheiro

Inês Flores-Colen,
engenheira

João Augusto Martins Jacinto,
engenheiro

Luís Pedro Monteiro Mateus,
engenheiro

Maria de Lurdes Belgas Costa,
engenheira

Miguel Reis Freire Cartucho,
engenheiro

Paulo Lourenço,
engenheiro

ASSOCIADO COLETIVO EXTRAORDINÁRIO

OET – Ordem dos Engenheiros Técnicos

ASSOCIADO HONORÁRIO

Vasco Peixoto de Freitas,
engenheiro

APOIOS AO GECORPA ESTÃO AO ABRIGO DO MECENATO CULTURAL

Os donativos e apoios ao GECORPA – Grémio do Património, no âmbito do seu programa de atividades, gozam dos benefícios fiscais previstos no regime do Mecenato Cultural.

O GECORPA – Grémio do Património submeteu o seu “Programa de Atividades para o Triénio 2014/2016” à Secretaria de Estado da Cultura, para efeitos de avaliação do interesse cultural, tendo sido emitida uma “Declaração de Interesse Cultural”.

O reconhecimento do interesse cultural do Programa do Grémio permite aos mecenas usufruir dos benefícios fiscais previstos no regime do Mecenato Cultural.

Os donativos abrangidos pelo Estatuto dos Benefícios Fiscais Mecenato Cultural podem ser em dinheiro ou em espécie.

O GECORPA – Grémio do Património é, também, uma entidade sem fins lucrativos de utilidade pública.



ESTATUTO EDITORIAL DA PEDRA & CAL

A revista *Pedra & Cal* é uma publicação periódica especializada, nascida em 1997, que se dedica à conservação e restauro do Património Cultural Construído e à reabilitação do Edificado em geral.

A *Pedra & Cal* tem como missão prestar informação diversificada e fidedigna sobre as melhores práticas, ideias e projetos destes segmentos de atividade do setor da construção, tendo como destinatários os seus associados, as empresas e os profissionais destas áreas, de modo a contribuir para a qualidade das intervenções.

Para cumprir esta missão a revista propõe-se contribuir para a divulgação do

conhecimento nestas áreas e reforçar a interação entre os diversos intervenientes com as entidades dedicadas à formação e à investigação.

A *Pedra & Cal* propõe-se, também, sensibilizar o público em geral para a importância do Património Cultural Construído e constituir um fórum para a crítica e a opinião, sempre com respeito pela liberdade de expressão e pelos códigos da Ética e Deontologia jornalísticas.

A *Pedra & Cal* não tem qualquer dependência de ordem ideológica, política ou económica.



GECORPA
GRÉMIO DO PATRIMÓNIO

Instituição de utilidade pública

(despacho n.º 14926/2014 do D.R. 238/2014, 2.ª Série, de 2014-12-10)

O GECORPA – Grémio do Património é uma associação de empresas e profissionais especializados na conceção, projeto e execução de intervenções na área da reabilitação do edificado e da conservação do património.

O GECORPA – Grémio do Património agrega também outras entidades, públicas ou privadas, e simples cidadãos interessados.

Decorridos mais de 20 anos sobre a sua fundação, os **grandes objetivos** do Grémio mantêm uma total – se não acrescida – justificação e atualidade:

Promover a reabilitação do edificado e da infra-estrutura, a valorização dos centros históricos, das aldeias tradicionais e do Património, como alternativa à construção nova, concorrendo, deste modo, para o desenvolvimento sustentável do País;

Zelar pela qualidade das intervenções de reabilitação do edificado e do Património, através da divulgação das boas práticas e da formação especializada, promovendo a qualificação dos recursos humanos e das empresas deste setor e defendendo os seus interesses;

Contribuir para a melhoria do ordenamento e da regulação do setor da construção e para a mudança do seu papel na economia e na sociedade.



Fórum do Património 2019,
em Aveiro



Visita “Estaleiro Aberto” à sede
da Secção Regional Norte da
Ordem dos Arquitetos



Grupo de trabalho realizado
em Lisboa, para elaboração
do documento “Conservação
e Reabilitação do Património -
Estratégias e Potencialidades



SRU Porto
(15 de novembro de 2019)

A excelência é um objetivo a perseguir em todas as intervenções de conservação e restauro do património edificado.