

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

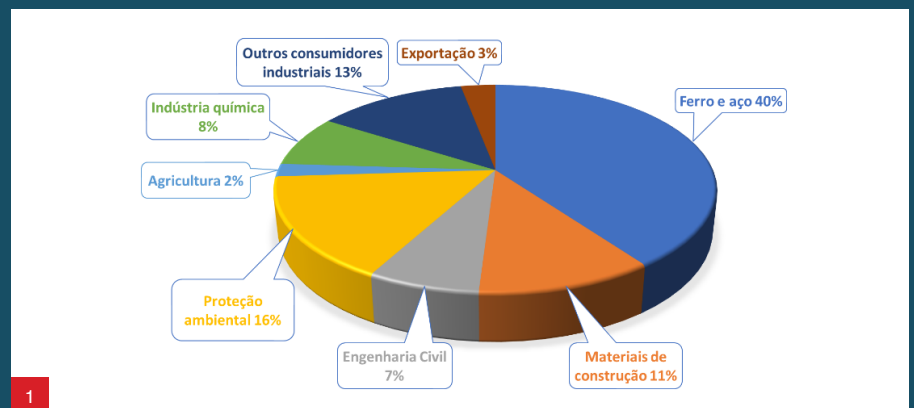
A construção em alvenaria apresenta oportunidades interessantes num mercado da construção focado na sustentabilidade. Neste sentido, o recurso à cal para argamassas e rebocos poderá apresentar-se como uma solução relevante, com vastos benefícios em comparação com o cimento.

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.

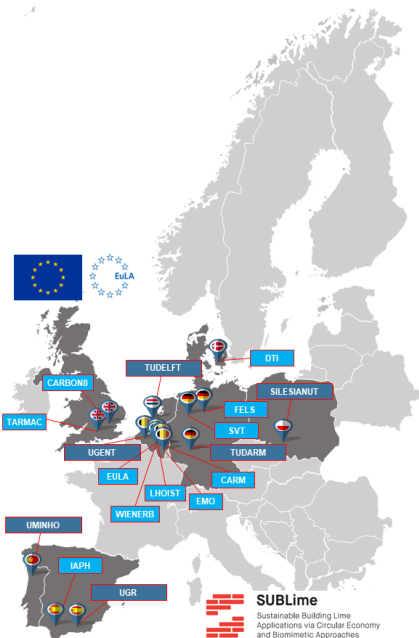
Em complemento aos trabalhos mencionados e ao protocolo UMinho-EuLA, é de assinalar um interessante trabalho realizado em colaboração com a Universidade de Nápoles, com intercâmbio de uma investigadora (Francesca Autiero), destinado ao estudo de argamassas para conservação das ruínas de Pompeia, recorrendo 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 %	1:2:15	70,1	53,4	1846,1	2,38
1C1L12S	50 %	1:1:12	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

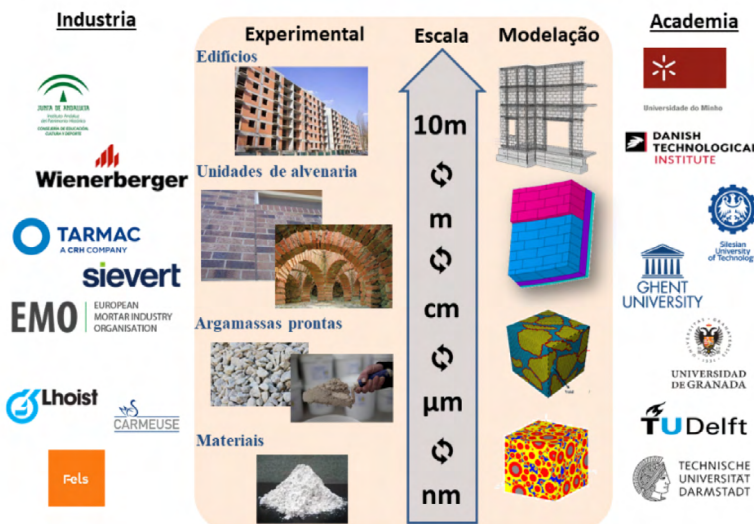
2 | Consórcio SUBLime: seis beneficiários e onze organizações parceiras, representando oito países europeus.

3 | Abordagem multiescala na rede SUBLime.

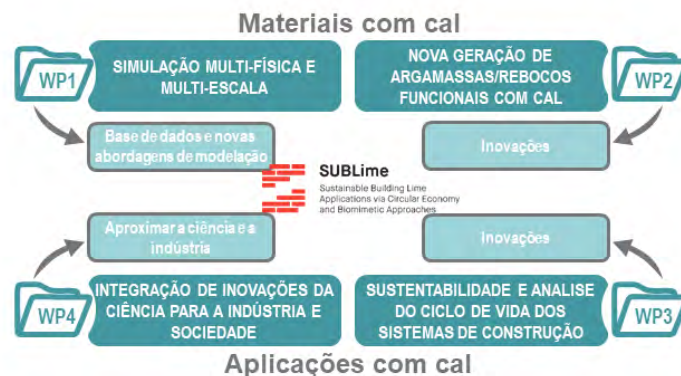
4 | Diagrama de atividades na rede SUBLime.

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>.