



# Construir com Biomassa e Lã Carbonatada — Materiais Circulares em Construção Modular

João Castro Gomes, Joaquim Constantino, Geovane Bezerra, Sajjad Zare Sefat,  
Tabata Aviles, Leonel Amaral, Nuno Lourenço, Gil Vicente, Nuno Roque

23 e 24 de outubro, 2025  
Faculdade de Engenharia, UBI, Covilhã



# Construir com Biomassa e Lã Carbonatada — Materiais Circulares em Construção Modular

Aprender a transformar resíduos em materiais circulares —  
misturas que absorvem e endurecem com CO<sub>2</sub>,  
melhoradas pela presença da lã e da biomassa,  
revelando novas possibilidades para uma construção modular mais sustentável.

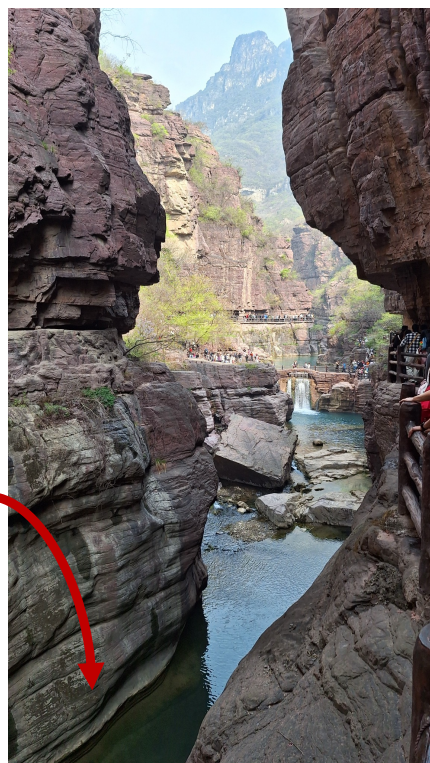
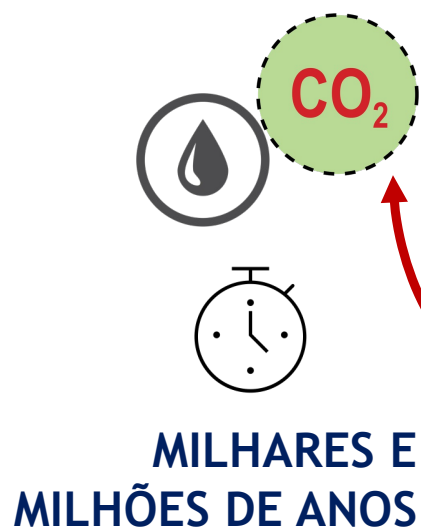


## Construir com Biomassa e Lã Carbonatada — Materiais Circulares em Construção Modular

Aprender a transformar resíduos em materiais circulares —  
misturas à base de escórias de forno de arco elétrico e outros subprodutos ricos  
em cálcio e magnésio,  
que endurecem com a absorção de CO<sub>2</sub> num processo de carbonatação acelerada.  
A lã e a biomassa aumentam a porosidade e favorecem a difusão do CO<sub>2</sub>,  
melhorando a absorção e as propriedades dos materiais.



## Ciclo biogeoquímico dos carbonatos e silicatos

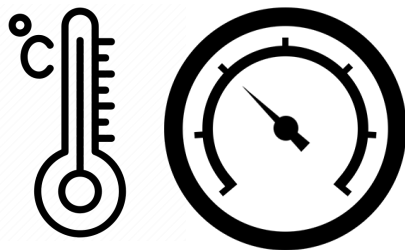


À escala geológica, o ciclo carbonato-silicato é um processo natural que transforma o  $\text{CO}_2$  atmosférico em ácido carbónico, o qual reage com os minerais para formar carbonatos — rochas sedimentares.

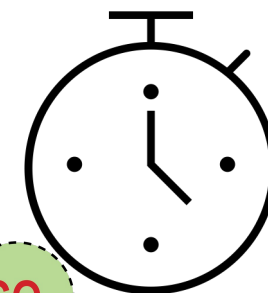
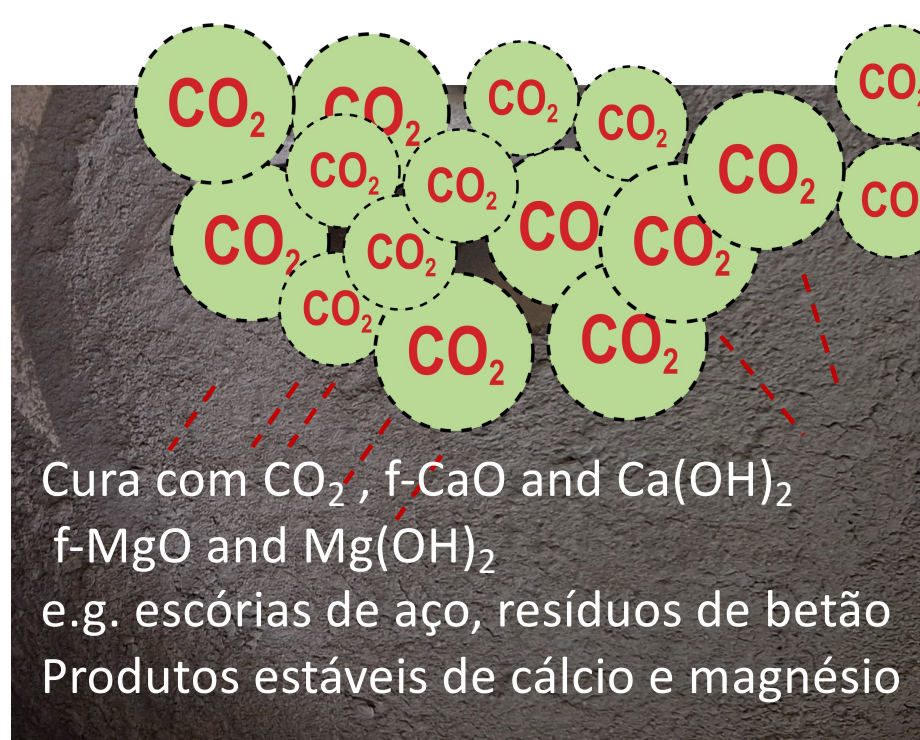
Yuntaishan National Geopark - Jiaozuo ciy Henan Province



## Tecnologia de carbonatação acelerada



Temperatura e  
pressão



Reação  
acelerada de  
carbonatação

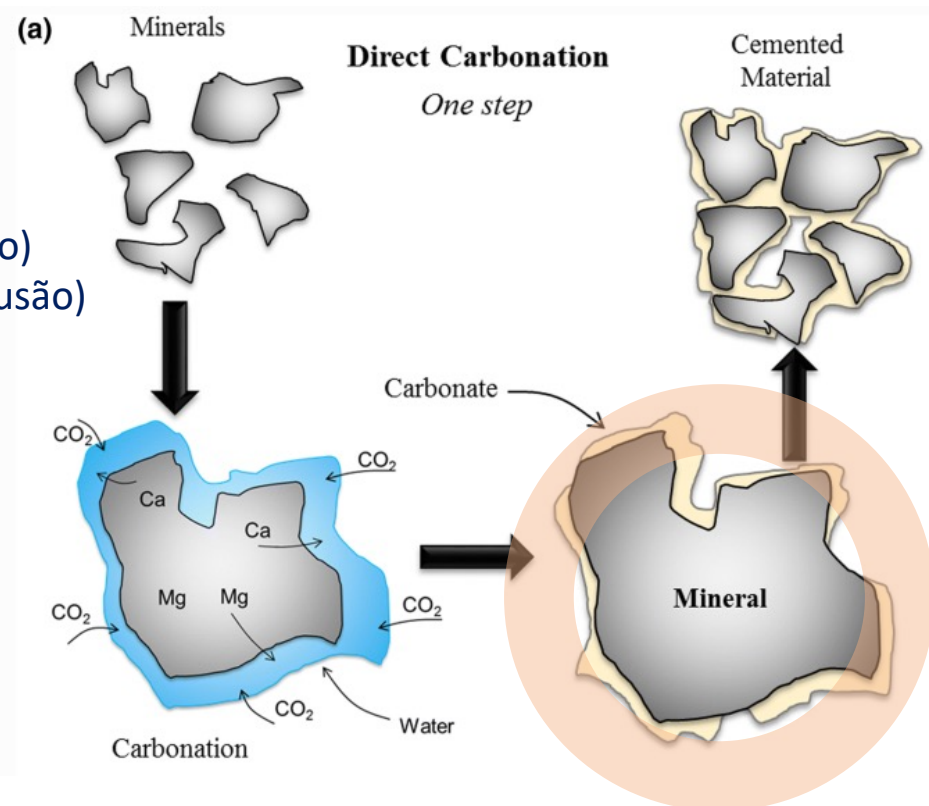
Formação rápida de  
carbonatos estáveis

# Processo de carbonatação acelerada em meio aquoso

(processos de dissolução – difusão)  
(processos de carbonatação – difusão)

O CO<sub>2</sub> difunde-se e dissolve-se na solução porosa formando ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

O ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ioniza-se em iões bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), iões carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) e iões hidrogénio (H<sup>+</sup>).



Carbonatação de filme fino

ou em suspensão aquosa (slurry-phase carbonation)

Os iões carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) reagem com os iões de cálcio (Ca<sup>2+</sup>) e magnésio (Mg<sup>2+</sup>), formando **carbonatos de cálcio e magnésio**.

## Que materiais (incluindo resíduos) podem ser utilizados na tecnologia de carbonatação acelerada (endurecimento por carbonatação)?

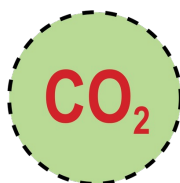


Materiais ricos em **cálcio livre (f-CaO)** e **magnésio livre (f-MgO)**, provenientes de várias fontes de resíduos: salmouras resultantes da dessalinização, portlandite e cimento Portland comum, resíduos industriais (escórias siderúrgicas, EAFS, BOFS, GGBFS), poeiras de desvio de cimento (*Cement By-Pass Dust*) rochas com teores elevados de cálcio e magnésio



## Fatores que influenciam a carbonatação acelerada

### Concentração de CO<sub>2</sub>



A concentração de CO<sub>2</sub> no ambiente de reação afeta a velocidade e a extensão da carbonatação. Concentrações mais elevadas de CO<sub>2</sub> promovem, em geral, reações de carbonatação mais rápidas e completas.

*(O objetivo é maximizar a **sequestração** de CO<sub>2</sub>, e não apenas a sua concentração.)*

### Temperatura de Carbonatação



A velocidade da carbonatação acelerada é influenciada pela temperatura.

Temperaturas mais elevadas podem aumentar a cinética do processo, levando a reações de carbonatação mais rápidas.

No entanto, temperaturas excessivamente altas podem provocar reações secundárias indesejáveis ou afetar a estabilidade dos carbonatos formados.

## Fatores que influenciam a carbonatação acelerada

Pressão



As condições de pressão em que ocorre o processo de carbonatação podem influenciar a velocidade da reação e o estado de equilíbrio. Pressões mais elevadas aumentam a solubilidade do  $\text{CO}_2$  no meio reacional e aceleram o processo de carbonatação. Contudo, **pressões excessivas de  $\text{CO}_2$**  podem causar uma **precipitação rápida de minerais carbonatados**, afetando a uniformidade da reação.

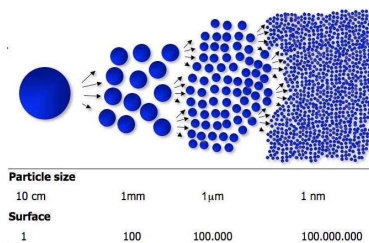
Teor de  
humidade



A presença de humidade é essencial para a dissolução do  $\text{CO}_2$  e para a formação de ácido carbónico, etapa fundamental na reação de carbonatação. Níveis ótimos de humidade nos materiais residuais facilitam a reação e promovem uma carbonatação mais eficiente.

## Fatores que influenciam a carbonatação acelerada

### Tamanho de partícula e área superficial



O tamanho das partículas e a área superficial dos materiais residuais influenciam significativamente a velocidade de carbonatação. Materiais mais finamente moídos ou porosos apresentam uma área de superfície maior, o que facilita a reação do  $\text{CO}_2$  com os óxidos de cálcio e magnésio, resultando numa carbonatação mais eficiente.

### Tempo de reação



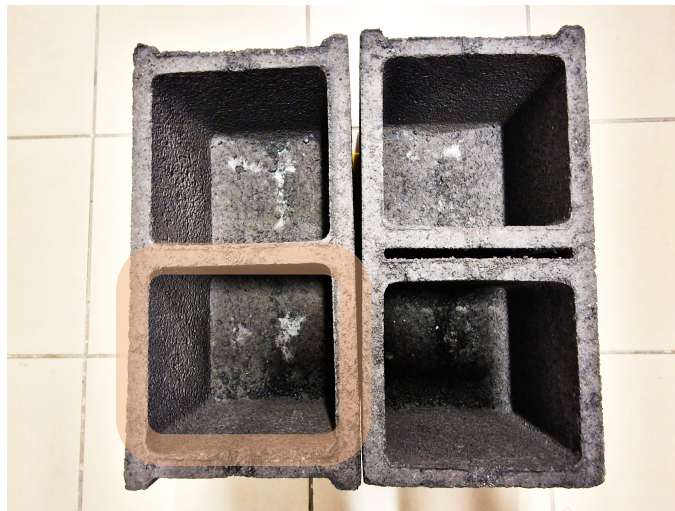
A duração do processo de carbonatação também afeta o grau de conversão. Tempos de reação mais longos permitem uma transformação mais completa dos óxidos de cálcio e magnésio em carbonatos estáveis.





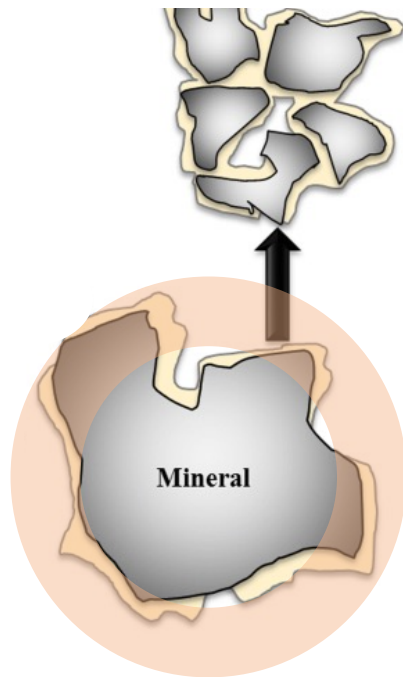
## Desafios da tecnologia de carbonatação acelerada

A carbonatação é uniforme? Quanto CO<sub>2</sub> é absorvido?



A **pressão de compactação** e a **porosidade** influenciam diretamente a **difusão do CO<sub>2</sub>** no interior das amostras. A falta de uniformidade na penetração do gás pode originar zonas com diferentes graus de carbonatação, afetando a resistência e o desempenho do material.

## Comprender e controlar o processo de carbonatação

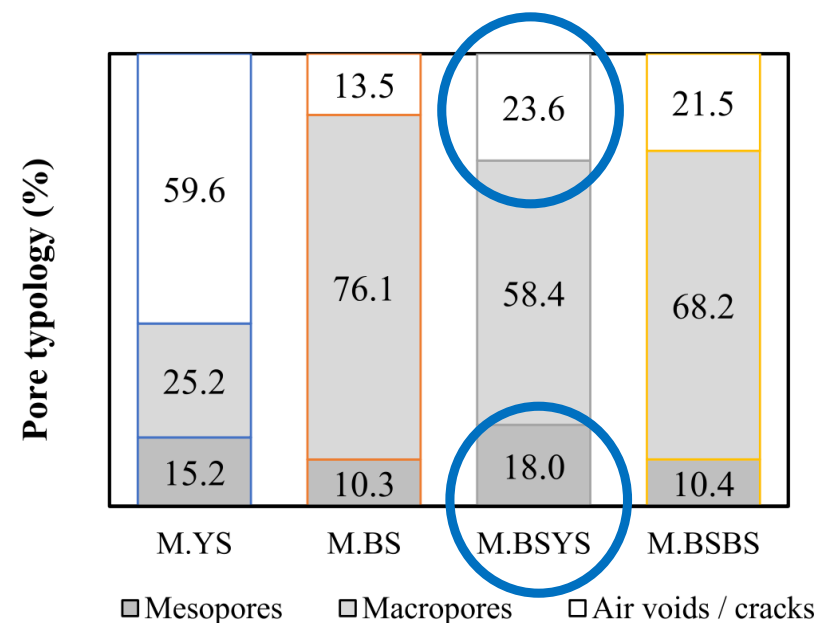
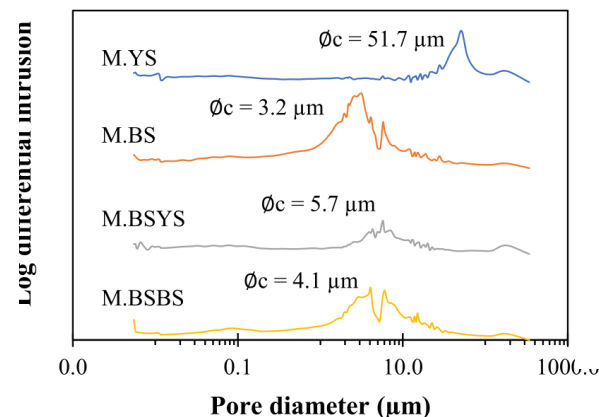
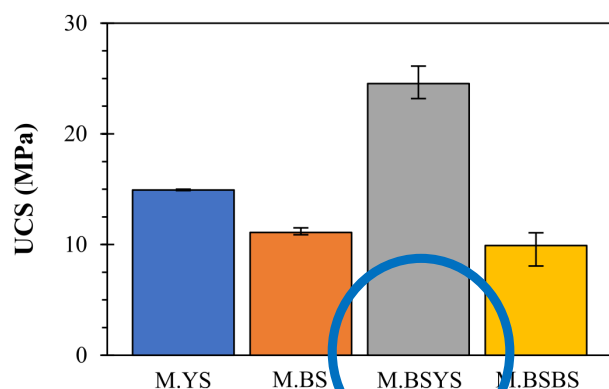
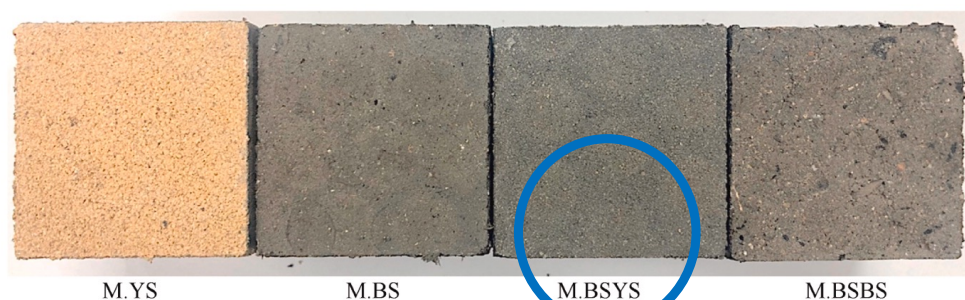


Absorção de  
 $\text{CO}_2$  e  
uniformidade  
da  
carbonatação



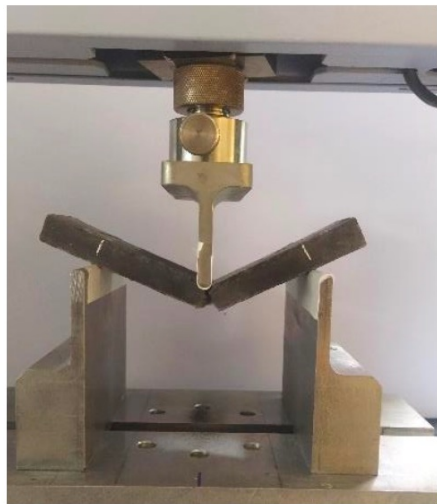
A absorção de  $\text{CO}_2$  não é apenas limitada pelo fechamento dos poros, mas também depende dos percursos disponíveis para a difusão do gás até ao interior das partículas.

## Co-utilização de resíduos – o uso de cinzas volantes de biomassa cria uma porosidade ideal e melhora a difusão e o grau de carbonatação do CO<sub>2</sub>





## Co-utilização de fibras — efeito na absorção de CO<sub>2</sub> e no desempenho mecânico com 1 a 3% de fibras têxteis



EAFS e fibras de algodão sintético  
recicladas — compósitos carbonatados

10 × 40 × 160 mm moulds  
10 MPa of casting pressure  
Curing process at 60 °C  
CO<sub>2</sub> pressure 0.8 bar for 24 hours

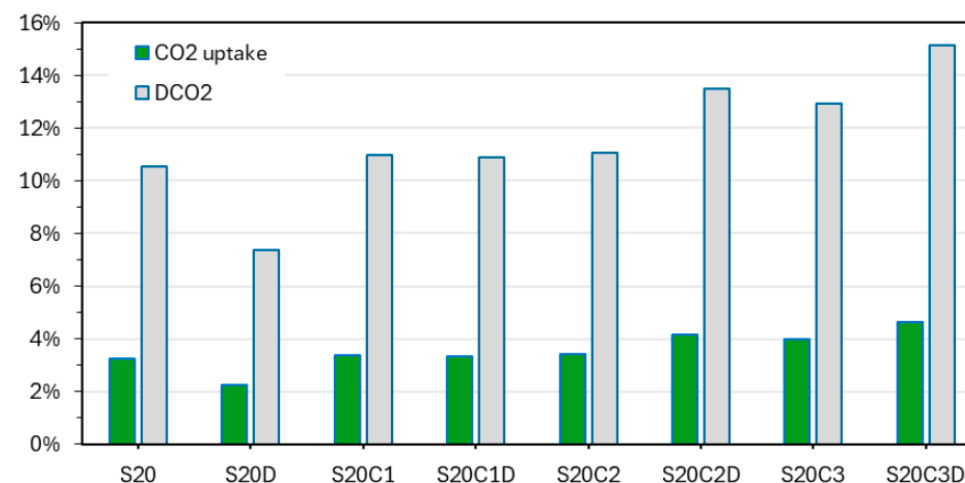
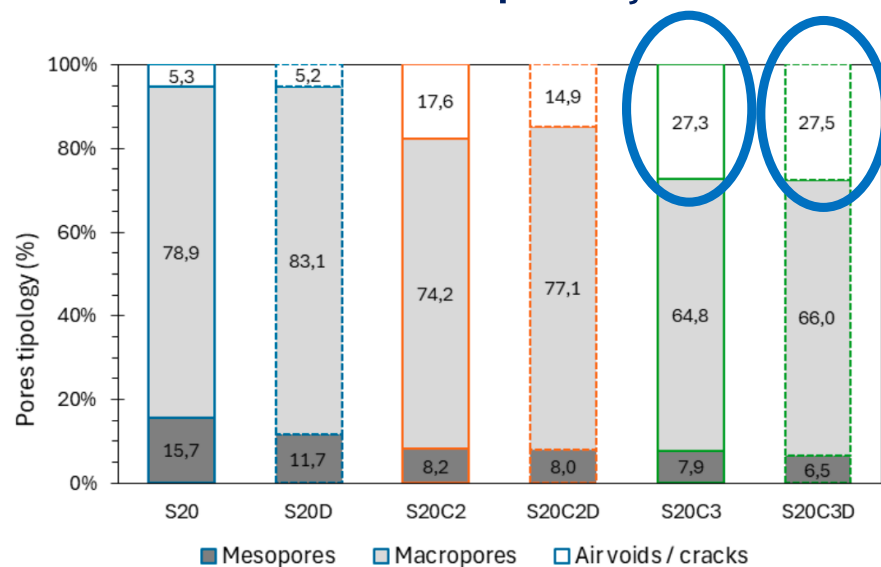
Anabel Castillo Rodríguez; Ongoing PhD thesis



POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

## Resultados MIP – aumento da porosidade interna e melhoria da difusão de CO<sub>2</sub> - Maior absorção de CO<sub>2</sub> com a incorporação de 1 a 3% de fibras têxteis



Anabel Castillo Rodríguez; Ongoing PhD thesis

## Modelo regional/nacional para novos materiais de construção



A tecnologia de **carbonatação acelerada** permite transformar resíduos, lã e biomassa e CO<sub>2</sub> capturado, em novos materiais de construção, promovendo **modelos circulares sustentáveis**, com potencial de aplicação a nível local e global.



# Construir com Biomassa e Lã Carbonatada — Materiais Circulares em Construção Modular

João Castro Gomes, Joaquim Constantino, Geovane Bezerra, Sajjad Zare Sefat,  
Tabata Aviles, Leonel Amaral, Nuno Lourenço, Gil Vicente, Nuno Roque

## Teses de doutoramento em curso

**Sajjad Zaresefate**, “Study and Characterisation of Circabuild Aggregates Aiming the Production of Concrete” since September 2024.

**Geovane Bezerra da Silva Junior** on “Development of industrial solutions for capturing and utilising CO<sub>2</sub> in the construction industry” since September 2023

**Sabir Baykara** on “Artificial intelligence machine learning for the prediction of mineral carbonation in industrial waste materials for precast building applications” since February 2023.

**Joaquim Bernardo Bogaio Constantino** on “Desenvolvimento de eco-materiais de construção porosos absorventes de CO<sub>2</sub> inspirados em estruturas biológicas”, since September 2022.

**Dina Pinto** on “Vegetation-growth and water-pervious carbon-cured construction materials”, Department of Civil Engineering and Architecture, since September 2021.

## Projetos de I&D e I&I em curso

- CATS- Concrete Advances Towards Sustainability, COMPETE2030 Program with FEDER funds. Period 2025-2027. Funding: €734.450,47. UBI funding €156.790,86.
- SABE- Advanced and Sustainable Block Engineering, CENTRO2030 Program with FEDER funds (CENTRO2030-FEDER-01481400). Period 2025-2027, Funding: €392.235,14. UBI funding €230.447,30.
- CSTO2NE- Biomimicry and carbon adsorbent eco-materials for a climate-neutral economy, MSCA Staff Exchanges (SE) Horizon Europe (HORIZON). Project: 101086302 Period: 2023-2027. EU Funding: €1 030 400,00. Engineering & Physical Sciences Research Council Project No: EP/X04145X/1 UK Funding £285,430. UBI funding €322.000,00.

## Teses de doutoramento concluídas

**Luciana Sucupira** on “Thermal properties of electrical arc furnace slag based materials obtained by accelerated carbonation”, September 2024.

**Erick Grünhäuser Soares** on “Development of waste-based magnesium cement for CO2 capture and storage”, June 2024

**Pedro Silva Humbert** on "Synthesis and characterisation of CO2 activated binders and concretes using industrial wastes and precast buildings applications", January 2020.





## Biomimicry and carbon absorbent eco-materials for a climate-neutral economy



MSCA Staff Exchanges (SE) Horizon Europe (HORIZON)  
Project: 101086302 Period: 2023-2027 EU Funding: €1030400,00



Engineering & Physical Sciences Research Council  
Project No: EP/X04145X/1 UK Funding £285,430



C-MADE

# Centre of Materials and Civil Engineering for Sustainability

cmadeubi.wordpress.com



About  
Papers  
Theses  
Dissertations  
Projects  
Activities

Advisory board  
Members  
Doctorate students  
Research fellows  
Collaborators  
Staff support  
Alumni & Former Staff

Search



Activities, Projects

## CSTO2NE 31M Meeting and Training Seminars – Advancing Nature-Inspired Sustainability

On 10–11 July 2025, the University of Beira Interior (UBI) and the Centre of Plant Biotechnology of Beira Interior (CBPBI) hosted the 31-month meeting and training seminars of the European project CSTO2NE – Biomimicry and carbon adsorbent eco-materials for a

August 7, 2025 / Leave a comment



Activities

## Building the Future with Stone: Highlights from the



Activities, Projects

## C-MADE/UBI joins NEBA South Hub with DARKCO2-FIBRES project focused on CO2-absorbing waste valorisation

C-MADE – Centre for Materials and Civil Engineering for Sustainability at the University of Beira Interior (UBI) has been officially selected to join the New European Bauhaus Academy (NEBA) as a member of the NEBA South Hub, under the Horizon Europe – Circular

August 7, 2025 / Leave a comment



Activities

## Visit to Beijing under the CSTO2NE Project

In June, João Castro Gomes travelled to Beijing, China, for a scientific mission at the University of Science and Technology Beijing (USTB), as part of the CSTO2NE project. The main objectives of the operation are to explore potential future collaborations in civil engineering

July 20, 2025 / Leave a comment

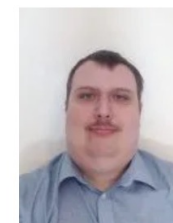


Activities, Projects

## CSTO2NE Inspires Future Scientists

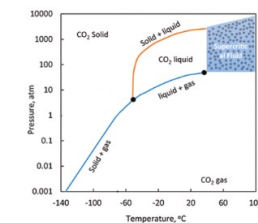
Joaquim Constantino, a PhD student in Civil Engineering at the University of Beira Interior and researcher at C-MADE, brought the wonders of science and sustainability to life for the 1st-grade students of the Figueira de Castelo Rodrigo school cluster. As

June 19, 2025 / Leave a comment



Members

Patrick Skilleter



Papers

## João Castro Gomes, research background

### Eco-materials through waste and carbon dioxide co-utilization research projects



2014

2014 - 2022

2018 - 2022

2023+

Vegetated modular system for buildings  
2 PT Patents



Mining and industrial waste-based alkali-activated (AA) binders



REMINE  
H2020-MSCA-RISE

Waste + CO2 binders  
Prototypes 1 IT Patent



Biomimicry inspired carbonated materials  
Horizon-MSCA-RISE





João Castro Gomes, research background

**2019-2022 Accelerated Carbonation [CaCO<sub>3</sub>]**

Binders obtained from co-utilization of EAFS and CO<sub>2</sub>; Industry Prototypes using EAF slag



100% side-  
streams/residues

60%  
emission  
reduction

10 x faster  
production

50%  
production  
costs  
reduction

No potable  
water



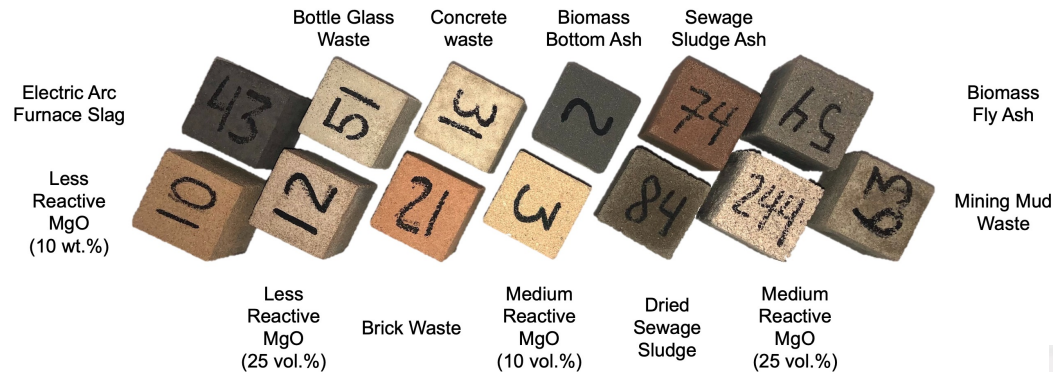
Patent

Pedro Humbert PhD thesis, 2020  
"Synthesis and characterisation of CO<sub>2</sub> activated binders  
and concretes using industrial wastes for precast buildings applications"



João Castro Gomes, research background

## 2022-2025 Accelerated Carbonation [CaCO<sub>3</sub>] Binders with reactive magnesia Improving CO<sub>2</sub> absorption



CO<sub>2</sub>  
ABSORPTION



Main Outputs:

Carvalho, V., Castro-Gomes, J., Luo, S. (2023). The role of construction materials by accelerated carbonation in mitigation of CO<sub>2</sub> considering the current climate status: a proposal for a new cement production model. *Innov. Infrastruct. Solut.* 8, 187. <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01147-0>.

Erick Grünhäuser Soares PhD thesis, 2024  
"Development of waste-based magnesium cement for CO<sub>2</sub> capture and storage"

G. B. Silva Junior, J. Castro-Gomes, and M. Magrinho, "Carbon capture and utilisation technologies: A systematic analysis of innovative applications and supercritical CO<sub>2</sub> viability strategies," *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, vol. 97, p. 103115, Jul. 2025, [doi: 10.1016/J.JCOU.2025.103115](https://doi.org/10.1016/J.JCOU.2025.103115).

Integration of waste with carbonated reactive magnesia (CRMC); Proposal of a new cement production model using accelerated carbonation technology.

**CSTO2NE**

