







Produção de argamassa à base de cal a partir da calcinação de lamas carbonatadas provenientes da indústria das rochas ornamentais (mármores e calcários)

SISTEMA DE INCENTIVOS À INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

PROJETOS DE I&DT EMPRESAS EM COPROMOÇÃO

Territórios do Interior / +CO3SO Conhecimento e +CO3SO Digital

PROJETO Nº 072239

RELATÓRIO Nº 02/2022

ENTREGÁVEL Nº E3.1 – RELATÓRIO SOBRE Construção dos protótipos necessários para a validação dos resultados da solução estrutural.

Ajuste de detalhe nas especificações dos protótipos.













ÍNDICE

1.	ENTREGÁVEL № E 3.1	3
2.	NOME DA ENTIDADE RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO	3
3.	NOMES DOS RESPONSÁVEIS PELA ELABORAÇÃO DO DOCUMENTO	3
4.	DESCRIÇÃO TÉCNICA DO ENTREGÁVEL COM APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	3
4.1.	DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO	4
4.1.1.	T2.3 COZEDURA A DIFERENTES TEMPERATURAS E COM DIFERENTES TEMPOS	4
4.1.2.	T2.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS PRODUTOS CALCINADOS	5
4.1.2.1.	DETERMINAÇÃO DE MASSAS VOLÚMICAS	5
4.1.2.2.	REATIVIDADE	5
4.1.2.3.	VISCOSIDADE	6
4.1.3.	T2.7 FORMULAÇÃO DE ARGAMASSAS COM DIFERENTES CONTRIBUTOS PERCENTUAIS DE	8
	NATA E RESINA	
4.1.4.	A3 – CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS	10
4.1.4.1.	T3.1 ELABORAÇÃO DE PROVETES COM MISTURA DE AGREGADO BRITADO DE MÁRMORE E	11
	CALCÁRIO EM ARGAMASSAS SELECIONADAS	
4.1.4.2.	T3.2 CARATERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PROVETES	14
4.1.4.3.	T3.1 ELABORAÇÃO DE PROVETES COM MISTURA DE AGREGADO BRITADO DE MÁRMORE E	15
	CALCÁRIO EM ARGAMASSAS SELECIONADAS — NOVA FASE	
4.1.4.4.	T3.2 CARATERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PROVETES — NOVA FASE	17
4.2.	OTIMIZAÇÃO DE RESULTADOS (LABORATOTIAL E INDUSTRIAL) (A5)	18
4.2.1.	T5.1 TRATAMENTO DE RESULTADOS	19
4.3.	DIVULGAÇÃO E DISSEMINAÇÃO (A6)	20
4.4.	T6.2 PARTICIPAÇÃO EM CONGRESSOS, CONFERÊNCIASTÉCNICAS, SEMINÁRIOS E FEIRAS	23
4.5.	GESTÃO DO PROJETO (A7)	24
5.	BIBLIOGRAFIA	24













1. ENTREGÁVEL № E3.1 –

Relatório sobre Construção dos protótipos necessários para a validação dos resultados da solução estrutural. Ajuste de detalhe nas especificações dos protótipos.

2. NOME DA ENTIDADE RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO

Universidade de Évora

3. NOMES DOS RESPONSÁVEIS PELA ELABORAÇÃO DO DOCUMENTO:

Ruben Varela Martins; Paula Faria; Vera Pires Ribeiro; Luís Lopes; Paulo Mourão; Paula Afonso; Jorge Velez

4. DESCRIÇÃO TÉCNICA DO ENTREGÁVEL COM APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Neste documento resume-se a informação resultante dos trabalhos desenvolvidos pela equipa da Universidade de Évora, no período decorrido entre 31 de março de 2022 e 31 de outubro de 2022, no âmbito das actividades: A3 — Construção de Protótipos, A5 - Otimização de Resultados (laboratorial), A6 - Divulgação e disseminação, contempladas no cronograma adaptado e A 7 - Gestão do projecto.

As actividades referidas, são da responsabilidade do Promotor Inedit Brown.

Segundo o calendário, a Actividade 2 ficou terminada em março de 2022, com a definição do ligante com melhor desempenho, no entanto, a equipe técnica da Universidade de Évora procedeu ainda a alguns ensaios para complementar um pouco mais a informação existente relativamente à nata calcinada e às natas tal e qual, referindo-nos neste relatório apenas aos ensaios onde houve desenvolvimentos.

De realçar o facto de ter havido mudança de bolseiro, tendo o Mestre Antônio Soares Azzalini rescindido o contrato com o Projecto, sendo posteriormente admitida na equipe técnica da Universidade de Évora a Mestre Paula Alexandra Afonso Viegas, com início de funções em setembro de 2022.

Face à situação anteriormente referida e no sentido de cumprir a calendarização, teve início a colaboração formal do técnico de laboratório do Departamento de Geociências, Jorge Miguel Amaro Velez, pelo que solicitamos a sua integração na equipe técnica, sem encargos para os Recursos Humanos do Projecto.















4.1. Desenvolvimento do Conceito

Ainda no âmbito do Desenvolvimento Conceito realizaram-se trabalhos incluídos nas seguintes tarefas:

Tarefa 2.2 - Caracterização física das amostras de natas marmóreas e calcárias;

Tarefa 2.3 - Cozedura a diferentes temperaturas e com diferentes tempos; permitindo melhorar o estudo do comportamento das matérias-primas (nata) depois de sujeitas a diversas metodologias de cozedura que incluíram diferentes condições de aquecimento e diferentes estágios de temperatura.

Recuperando a informação já referida no relatório nº 01/2022, entregável Nº E2.1 e no sentido de um devido enquadramento menciona-se de novo os materiais estudados.

As amostras de nata caracterizadas foram as seguintes:

M (A) – Nata de mármore colhida na Empresa A.L.A. de Almeida, Lda;

M (AGF) – Nata de mármore colhida na Empresa António Galego e Filhos Lda;

C (S) – Nata de calcário colhida na Empresa Solancis – Sociedade Exploradora de Pedreiras S.A.;

C (MVC) – Nata de calcário colhida na Empresa MVC – Mármores de Alcobaça, Lda.

As amostras de agregados caracterizadas foram as seguintes:

BA – Bago de arroz;

B1 - Brita 1;

B2 - Brita 2.

4.1.1. T2.3 Cozedura a diferentes temperaturas e com diferentes tempos

Os ensaios de calcinação foram efetuados no Laboratório de Geociências da Universidade de Évora, com recurso a uma mufla Termolab MLM12-12L, que atinge uma temperatura máxima de 1200 °C. Após um estudo exaustivo dos diferentes ciclos de cozeduras a temperaturas e tempos variados e como apresentado no relatório anterior, foram atingidos diferentes níveis de decomposição térmica do carbonato de cálcio, tendo sido possível definir um ciclo de temperatura VS tempo que se mostrou eficiente. As amostras foram colocadas em cadinhos com uma massa inicial de 141 g, a uma temperatura de 950 °C, tendo sido sujeitas a um aquecimento durante 1h30 m seguindo-se um patamar de 8h à temperatura definida, terminando o ciclo com um arrefecimento natural. Após o processo de calcinação, foram pesadas as massas finais com cerca de 81 g, apresentado assim cerca de 42 ± 1 % de perda ao rubro. Estas perdas de massa, representam a decomposição térmica do carbonato de cálcio em óxido de cálcio, com libertação de dióxido de carbono, segundo a reação:

$$CaCO_{3(S)} \rightarrow CaO_{(S)} + CO_{2,c}$$
 (1)

As especificações de taxa de aquecimento e taxa de arrefecimento da mufla foram sempre iguais, com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min, até atingir o patamar desejado, mantendo-se pelo tempo desejado, e um posterior arrefecimento em degrau com temperatura final de 30 °C.













4.1.2. T2.4. Caracterização física dos produtos calcinados

4.1.2.1. Determinação de massas volúmicas

A caracterização física das natas calcinadas incidiu na determinação da massa volúmica do óxido de cálcio, essencial para as formulações futuras de ligante. Tratando-se de um material altamente reativo à água, essa determinação não pode ser feita de forma tradicional, por exemplo, como se faz para os solos, sendo necessário o recurso a um picnómetro de hélio existente no Laboratório HERCULES da Universidade de Évora. Foram analisadas duas amostras de nata calcinada, uma de calcário e outra de mármore, segundo a norma NP EN 1936. As amostras ensaiadas foram natas de mistura, tendo-se misturado as natas de mármore (N(A) + N(AGF)) e atribuído a referência MixNMc. Fez-se o mesmo com as natas de calcário (C(S) + C(MVC)), tendo ficado com a referência Mix NCc.

Os resultados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Massas volúmicas de natas calcinadas.

Amostra	Massa Volúmica		
Mix NMc 950 °C; 8h	3,21 g/cm ³		
Mix NCc 950 °C; 8h	3,24 g/cm ³		

Os resultados obtidos estão concordantes com a bibliografia da especialidade, sendo por isso uma garantia da calcinação completa.

4.1.2.2. Reatividade

No seguimento da investigação, foi necessário realizar ensaios com as natas calcinadas a 8h, de modo a avaliar o seu desempenho e comparar com os dados já existentes. Os ensaios de reatividade tiveram como base a norma ASTM C110- 15, tendo o procedimento sido o mesmo que o descrito no relatório anterior.

O gráfico seguinte (Fig. 1) apresenta os resultados anteriormente obtidos, onde foram incorporados os mais recentes resultados das natas calcinadas.















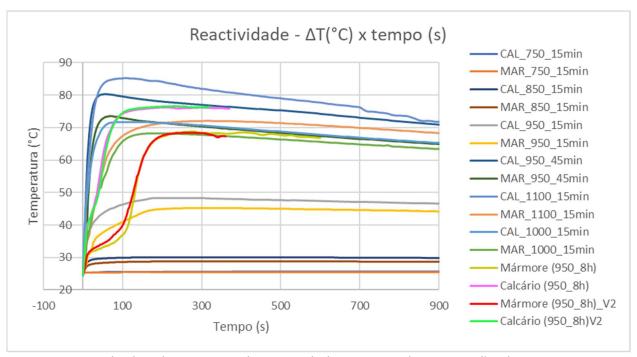


Figura 1 - Resultados dos ensaios de reatividade, mostrando a variação da temperatura no tempo, resultante da adição de nata calcinada à água destilada.

Os traçados adicionados ao gráfico dizem respeito ao Mármore (950_8h) e Calcário (950_8h), tendo sido ensaiadas amostras duplas, referidas como V2. Os traçados das duas amostras do mesmo tipo litológico são perfeitamente concordantes, comprovando a reprodutibilidade dos valores.

Os ensaios de reatividade com as natas calcinadas revelaram uma evolução na temperatura proporcional à decomposição térmica de CaCO₃, com temperaturas máximas atingindo os 85°C; Tal como nos ensaios anteriores, estes últimos realizados com as natas com tempo de calcinação de 8h, revelaram temperaturas superiores nos calcários do que nos mármores, tendo-se obtido respetivamente 76,70 °C e 68,50 °C.

4.1.2.3. Viscosidade

Para os ensaios de viscosidade, foi utilizado o método exposto no relatório anterior. Foram realizados novos ensaios utilizando a nata calcinada de calcário e mármore, contudo os resultados foram menos promissores quando comparados com a nata *tal e qual*. Para que os ensaios fossem possíveis, foi adicionada três vezes mais resina que a proporção inicial, o que naturalmente desequilibra a formulação de ligante, aumentando em 150% a resina nos casos de 50/50 (nata/resina) e em 144% nas proporções de 52/48. Assim, as natas calcárias calcinadas têm como referência ANCC11 R2 52/48 (52/144), ANCC12 R2 50/50 (50/150) e as natas marmóreas calcinadas são referenciadas com ANMC11 R2 52/48 (52/144), ANMC12 R2 50/50 (50/150). Os gráficos constantes nas figuras 2 e 3 apresentam os testes de viscosidade utilizando a resina 2 com nata calcária *tal e qual* e calcinada.













TESTES DE VISCOSIDADE - RESINA 2 + Nata C

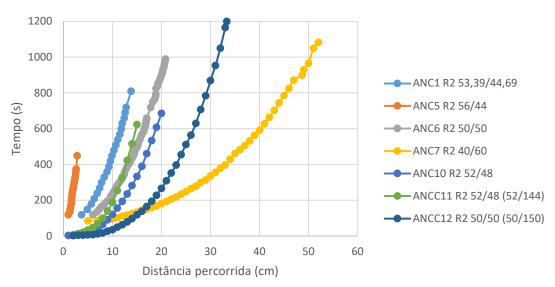


Figura 2 – Tempo vs Distância na determinação das viscosidades das diferentes amostras nata calcária.

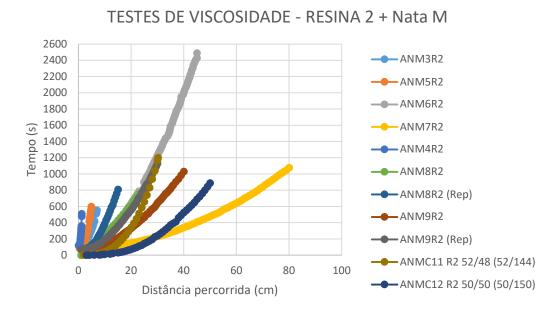


Figura 3 – Tempo vs Distância na determinação das viscosidades das diferentes amostras nata marmórea.

Quando comparadas, a nata calcinada apresenta um desempenho semelhante à nata tal e qual, no entanto esta ação só é possível devido ao aumento de resina na formulação, o que torna a utilização desta nata pouco viável, tanto ecológica como economicamente.













4.1.3. T.2.7 Formulação de argamassas com diferentes contributos percentuais de nata e resina

Apesar de revestido de algum empirismo, os ensaios preliminares das misturas manuais em copos foram fundamentais, na medida que permitiram percecionar a facilidade de homogeneização da nata com a resina e a sua fluidez. Assim, de modo a completar e aferir os ensaios apresentados no Relatório Nº 01/2022, foram realizadas algumas misturas de ligante nos copos de papel, com mistura manual. À semelhança do que foi verificado nos ensaios de viscosidade, a nata calcinada em contacto com a resina é de difícil homogeneização, não permitindo constituir um ligante tal como se observa na figura 4, onde se encontra representada as misturas de nata de mármore calcinada (NMc) nas proporções de 50% de nata / 50% de resina (50/50) e 52% de nata e 48% de resina (52/48).



Figura 4 – Nata de mármore calcinada nas proporções de 50/50 e 52/48.

Voltou-se a realizar um ataque com água a uma amostra de nata calcária calcinada, tendo-se produzido cal viva, seguida de secagem em estufa e desagregação manual com recurso a um pilão e almofariz. Posteriormente, misturou-se com resina na proporção 50/50, não tendo sido possível também homogeneização e conformação tal como se mostra na figura 5.













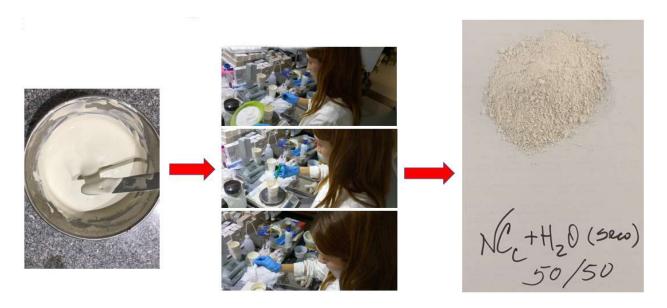


Figura 5 – Sequência do ensaio com nata calcária calcinada na proporção de 50/50.

Realizaram-se ainda novas misturas de nata de mármore e de calcário, não calcinadas, com resina Recapoli (R2), nas proporções de 50/50 e 52/48 (Fig. 6), tendo sido facilmente miscíveis e permitindo conformação como pode ser observado na figura abaixo.















Figura 6 – Misturas de nata calcária e marmórea tal e qual com resina R2.

Face a estes resultados, a utilização da nata calcinada mostrou não ser viável. A utilização de nata tal e qual, para além de ter revelado miscibilidade com a resina poliéster R2, fluidez e homogeneização, a sua aplicação industrial apresenta vantagens económicas, ao nível ambiental e energético, consumindo-se assim um rejeito e por outro lado evita-se a emissão de CO₂ através do processo de calcinação.

4.1.4. A3 - Construção de protótipos

A passagem da tarefa A2, *Desenvolvimento do Conceito*, para a tarefa A3, *Construção de protótipos*, foi realizada de uma forma natural e gradual. No relatório 02/2022 já é feita uma abordagem às formulações constituídas por agregado marmóreo, composto por bago de arroz, brita 1 e brita 2, provenientes da Empresa Marvisa, e ligante constituído por nata e resina Recapoli 2196 (R2).













4.1.4.1. T 3.1 - Elaboração de provetes com mistura de agregado britado de mármore e calcário em argamassas selecionadas

Os provetes foram formulados com as quantidades pré-definidas de agregado constituído por bago de arroz, brita 1 e brita 2 e de ligante constituído por nata e resina R2, com uma proporção de 52% de agregado e 48% de ligante.

Com recurso a um misturador mecânico ligeiro iniciou-se a mistura do ligante (nata / resina + catalisador), procedendo-se à introdução da mistura dos agregados composta por bago de arroz, brita 1 e brita 2 (Fig. 7A). Findo o período necessário para garantir a homogeneização completa de toda a mistura, esta é despejada em moldes metálicos de dimensão de 15 cm x 15 cm x 15 cm (Fig. 7B), seguindo-se uma fase de vibração com equipamento vibrador (Fig. 7C), para libertação de bolhas de ar (Fig. 7D) e compactação da mistura.







C@lcinata

INEDITBROWN













Figura 7 – Sequência dos trabalhos de formulação de misturas de agregados com ligante.













As formulações efetuadas contemplaram diferentes contributos percentuais dos três tipos de agregados conforme consta na tabela 2, tendo-se variado a nata calcária (Nata Cal) e a nata marmórea (Nata Mar) no ligante.

Tabela 2 – Formulações agregado + ligante.

Agregados (30%BA/30%B1/40%B2)+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)
Agregados (20%BA/20%B1/60%B2)+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)
Agregados (35%BA/15%B1/50%B2)+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)
Agregados (40%BA/40%B1/20%B2)+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)
Agregados (30%BA/30%B1/40%B2)+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)
Agregados (30%BA/30%B1/40%B2) + Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli) Rep.
Agregados (20%BA/20%B1/60%B2) + Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)
Agregados (35%BA/15%B1/50%B2) + Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)
Agregados (40%BA/40%B1/20%B2) + Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)

Adotando o mesmo critério que o usado no estudo dos ligantes, o objetivo foi estudar os provetes com três tempos de cura: 7, 14 e 28 dias. Findo o primeiro período de cura, as misturas foram desmoldadas (Fig. 8) e cortadas em provetes cúbicos com 5 cm de aresta (Fig. 9), tendo-se obtido 27 provetes que foram posteriormente ensaiados com os 3 tempos de cura em ensaio de resistência mecânica à compressão.



Figura 8 – Desmoldagem de uma das formulações.















Figura 9 - Cortes executados a formulações para a produção de provetes cúbicos.

De referir a repetição da formulação Agregados (30%BA/30%B1/40%B2) + Ligante (52%Nata Mar+48%Recapoli), pelo facto de se ter notado a eventual existência de um problema na moldagem da amassadura.

De referir a homogeneidade aparente de todas as formulações efetuadas, bem como a baixa porosidade, não obstante as misturas terem sido feitas manualmente com recurso a misturadoras ligeiras.

4.1.4.2. T 3.2 - Caracterização físico-mecânica dos provetes

A caraterização mecânica das formulações e particularmente a resistência à compressão uniaxial é fundamental para validar o desempenho do ligante e a sua capacidade de envolver todos os grãos de agregado de forma homogénea.

Com base nos resultados obtidos é então possível definir a composição ótima de agregado / ligante.

A determinação da resistência à compressão uniaxial foi feita de acordo com a norma NP EN 1926:2008. Na tabela 3 resumem-se os valores obtidos para cada uma das formulações.













Tabela 3 – Resistência mecânica à compressão efetuada às diferentes formulações.

	Formulações	R (MPa)	Desvio Padrão	Nº Provetes
	Agregados 30%BA/30%B1/40%B2+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)	63,60	4	9
	Agregados 20%BA/20%B1/60%B2+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)	70,82	5	9
	Agregados 35%BA/15%B1/50%B2+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)	65,61	9	9
7 Dias	Agregados 40%BA/40%B1/20%B2+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)	61,99	14	9
	Agregados 30%BA/30%B1/40%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)	57,46	6	9
	Agregados 30%BA/30%B1/40%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli) Rep.	66,89	4	9
	Agregados 20%BA/20%B1/60%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)	72,67	2	9
	Agregados 35%BA/15%B1/50%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)	72,18	4	9
	Agregados 40%BA/40%B1/20%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)	75,87	4	9
	Agregados 30%BA/30%B1/40%B2+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)	74,07	4	9
	Agregados 20%BA/20%B1/60%B2+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)	62,71	11	9
	Agregados 35%BA/15%B1/50%B2+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)	70,34	8	9
	Agregados 40%BA/40%B1/20%B2+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)	72,95	9	9
14 Dias	Agregados 30%BA/30%B1/40%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)	62,73	6	9
	Agregados 30%BA/30%B1/40%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli) Rep.	74,54	7	9
	Agregados 20%BA/20%B1/60%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)	64,53	10	9
	Agregados 35%BA/15%B1/50%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)	64,13	9	9
	Agregados 40%BA/40%B1/20%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)	75,82	10	9
	Agregados 30%BA/30%B1/40%B2+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)	73,30	4	9
	Agregados 20%BA/20%B1/60%B2+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)	69,06	4	9
	Agregados 35%BA/15%B1/50%B2+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)	61,11	13	9
	Agregados 40%BA/40%B1/20%B2+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)	73,68	9	9
28 Dias	Agregados 30%BA/30%B1/40%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)	52,26	7	9
	Agregados 30%BA/30%B1/40%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli) Rep.	74,38	6	9
	Agregados 20%BA/20%B1/60%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)	76,33	8	9
	Agregados 35%BA/15%B1/50%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)	81,20	6	9
	Agregados 40%BA/40%B1/20%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)	86,20	8	9

Pela análise dos dados constata-se que aos três tempos de cura a formulação constituída por 52% Agregados (40%BA/40%B1/20%B2) + 48% Ligante (52%Nata Mar+48%Recapoli) foi aquela que apresentou melhores resultados, tendo-se observado um incremento entre os valores encontrados nos 1º e 2º tempos de cura para o 3º, com uma resistência de 86,20 MPa.

Ao contrário das formulações constituídas por ligante com nata marmórea que apresentaram sempre a mesma formulação com melhores resultados, no caso do ligante com nata calcária, houve alguma aleatoriedade na formulação com melhor desempenho.

4.1.4.3. T 3.1 - Elaboração de provetes com mistura de agregado britado de mármore e calcário e argamassas selecionadas — Nova Fase

Terminada a fase que permitiu definir quais as formulações de misturas com melhor desempenho, o projeto entrou numa nova etapa, com a preparação das formulações 52(40/40/20) / 48 (NM52/48) e 52(40/40/20) / 48 (NC52/48) em moldes de maiores dimensões (55 cm x 15 cm x 15 cm) e também nos moldes de 15 cm x 15 cm x 15 cm, para a obtenção de provetes para mais ensaios de caracterização, nomeadamente: resistência mecânica à flexão, absorção de água à pressão atmosférica, absorção de água por capilaridade, massa volúmica parente e porosidade aparente, ensaio de compressão após gelo / degelo, resistência ao impacto, resistência ao escorregamento e à abrasão. Para o efeito os moldes foram cuidadosamente













preparados com o revestimento de um filme plástico (Fig. 10) e as pesagens efetuadas na véspera dos dias das formulações.





Figura 10 – Preparação dos moldes e pesagem das matérias-primas.

Assim, foram preparadas as formulações indicadas e em quantidades suficientes para preencher moldes de 55 cm x 15 cm x 15 cm.

Para o efeito e por questões técnicas, a amassadura teve de ser feita em duas partes separadas, com recurso a dois misturadores ligeiros, e depois despejadas para o mesmo molde (Fig. 11). Atendendo a que a formulação foi efetuada em duas partes, foi necessário que após o despejo simultâneo, toda a amassadura ficasse misturada e homogénea, tendo para o efeito, sido essencial o equipamento vibratório (Fig. 11).















Figura 10 – Despejo para o molde grande das amassaduras efetuadas em dois baldes, seguido de vibração.

4.1.4.4. T 3.2 - Caracterização físico-mecânica dos provetes — Nova Fase

Terminado o tempo de cura de 14 dias procedeu-se à desmoldagem e ao corte (Fig. 11).



Figura 11 – Desmoldagem e provetes cortados destinados aos ensaios de resistência mecânica à flexão.













Após a etapa de corte obtiveram-se provetes cúbicos 5 cm x 5 cm x 5 cm, e provetes paralelepipédicos com comprimento aproximado de 27,5 cm, sendo a altura e a largura de 5 cm cada.

Nesta fase optou-se por estudar somente os provetes com 14 dias e 28 dias de cura, na medida que na fase anterior foram os que revelaram valores maiores de resistência à compressão.

Na tabela 4 apresentam-se os resultados dos ensaios de resistência mecânica à compressão das misturas onde a única variante é a nata de mármore (NM) ou de calcário (NC), sendo as formulações constituías por 52% Agregados (40%BA / 40%B1 / 20%B2) + 48% Ligante (52% Nata / 48% Resina 2).

Tabela 4 – Resultados de resistência mecânica à compressão dos provetes da nova fase.

Agregado + Ligante	14 Dias	28 Dias
	R (MPa)	R (MPa)
NM	81,00	88,19
NC	77,08	91,96

Na tabela 5 estão anotados os valores obtidos nos ensaios de resistência mecânica à flexão.

Tabela 5 – Resistência mecânica à flexão.

Agregado + Ligante	14 Dias	28 Dias
	R (MPa)	R (MPa)
NM	16,70	15,49
NC	15,54	13,49

4.2. Otimização de Resultados (laboratorial e industrial) (A5)

Tratando-se de um projeto de investigação e desenvolvimento, atendendo aos constrangimentos essencialmente relacionados com a pandemia e à obrigatoriedade de respeitar os prazos, a equipa técnica da Universidade de Évora tem vindo a adaptar o desenvolvimento de pesquisa à medida que se vão obtendo resultados.

Apesar do principal objetivo do projeto ser focado na investigação de um ligante que permita aplicação de nata calcinada com vista à produção de um compósito pétreo, cedo se percebeu que a sua aplicação seria tecnológica complicada e energeticamente menos interessante. Tal facto, fez derivar definitivamente a investigação para a nata tal e qual, tendo-se encontrado a formulação ideal, minimizando a utilização de resina sem comprometer as propriedades mecânicas dos compósitos obtidos. O desenvolvimento do projeto encontra-se dentro do desenvolvimento esperado tendo em conta o cronograma de atividades. Neste momento continuam-se a produzir provetes destinados à realização de ensaios de caracterização complementares.













4.2.1. T5.1 Tratamento de resultados

Por uma questão de organização do relatório e melhor perceção dos resultados, estes foram sendo introduzidos no texto, aquando da abordagem dos respetivos ensaios.

Tal como já foi referido no relatório anterior, reforça-se o facto da opção pela resina poliéster, Recapoli 2196 ter proporcionado valores interessantes de resistência à compressão uniaxial, a par do facto de garantir ligantes mais fluidos, permitindo maiores tempos de trabalhabilidade e melhor difusão por entre os grãos do agregado, levando a um melhor recobrimento dos mesmos.

Importa referir que os ensaios preliminares com bago de arroz + ligante, foram determinantes para se encontrar as proporções certas de agregado e ligante. Dos provetes confinados salientase a grande uniformidade e compacidade observada em todos eles, mas particularmente nas misturas de 50% de bago de arroz e 50% de ligante, no entanto, após todos os ensaios efetuados e tendo em conta o propósito principal do projeto que é o de reduzir o contributo percentual da resina, e pesando todas as variáveis envolvidas neste estudo, chegou-se à conclusão que a formulação ideal seria a de 52% Agregado / 48% Ligante (52% nata / 48% resina Recapol 2196).

As formulações com proporções 52% Agregado (40%BA/40%B1/20%B2) / 48% Ligante (52%NM / 48%R2), revelam aos três tempos de cura as melhores resistências à compressão:

- 7 dias 75,87 MPa;
- 14 dias 75,82 MPa;
- 28 dias 86,20 MPa.

Com vista a uma comparação com os valores de resistência mecânica à compressão, tradicionalmente encontrados em diferentes litótipos comercializados como rocha ornamental, apresentam-se de seguida alguns exemplos, considerando os valores mais baixos e mais altos de cada tipo de rocha:

Calcários: Pedra de Ançã (23 MPa) – Banco de Baixo (167 MPa). Mármores: Rosa Venado (70 MPa) – Branco Venado (102 MPa). Granitos: Amarelo Vila Real (70 MPa) – Cinzento Alpalhão (253 MPa).

Por comparação constata-se que os valores encontrados, mesmo os obtidos nos provetes curados a 7 dias são equiparados a muitas das pedras ornamentais.

Ainda relativamente à resistência à compressão uniaxial, os valores obtidos na 2ª fase, para a nata de mármore inserida no ligante foram superiores aos da 1ª fase, referindo-se 81 MPa para os 14 dias e 88,19 MPa para os 28 dias.

De realçar o facto do ligante com nata calcária que na 1º fase apresentou sempre valores inferiores às formulações com nata marmórea, nestes primeiros ensaios na 2º fase apresentou aos 28 dias um valor de 91,96 MPa.













Estas ligeiras diferenças de resultados entre as duas fases, poderão estar relacionadas com a temperatura ambiente, a que as formulações estiveram expostas durante os tempos de cura, na medida em que foram executadas em diferentes estações do ano. Tratando-se de um processo de mistura e vibração dependente dos operadores, o qual vai sendo melhorado com rotinas adotadas ao longo da investigação, tal facto poderá também concorrer para o aumento dos valores observados.

Em relação à resistência mecânica à flexão obtiveram-se os seguintes valores para os dois tipos de formulações:

14 dias – Agregado + Ligante NM 16,70 MPa; Agregado + Ligante NC 15,54 MPa 28 dias - Agregado + Ligante NM 15,54 MPa; Agregado + Ligante NC 13,49 MPa

Nota-se um decaimento no valor de resistência mecânica à flexão na formulação com nata calcária, necessitando de comprovação nos próximos testes.

Para se estabelecer uma comparação com diferentes litótipos comercializados como rocha ornamental dá-se o exemplo de alguns valores de referência:

Calcários: Olho de Sapo (Arrimal) (9 MPa) – Branco do Mar (31 MPa).

Mármores: Rosa (15 MPa) – Creme Venado (29 MPa).

Granitos: Amarelo Figueira (6 MPa) – Cinzento Azulália (35 MPa).

À semelhança do que se passa com os valores de resistência mecânica à compressão, também os de flexão estão dentro dos parâmetros normais de uma grande parte das rochas ornamentais.

4.3. Divulgação e disseminação (A6)

A referência ao Projeto é feita no site da Universidade de Évora em https://www.uevora.pt/investigar/projetos?id=4946, onde são indicados os principais dados de identificação do projeto e um resumo.

Foi criada uma página do projeto, já referida no relatório anterior: https://sites.google.com/uevora.pt/calcinata/in%C3%ADcio?authuser=0, (Fig. 12), estruturada da seguinte maneira: Página Inicial; Início; Parceiros; Projeto (Planificação e Calendarização; Links Úteis); Relatórios públicos; Divulgação (Eventos; Publicações).















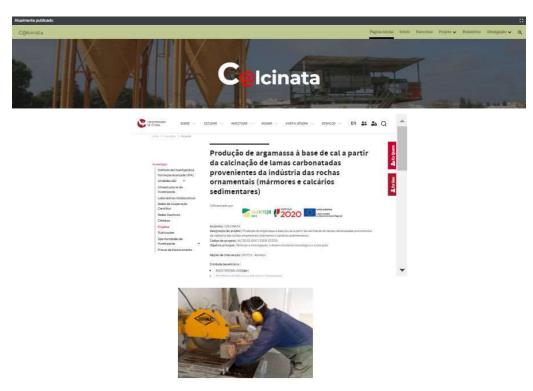






Figura 12 – Página inicial do Projeto Calcinata.

Tendo a equipe técnica chegado à formulação ideal (Agregados / Ligante) comunicou-a formalmente por email aos parceiros de projeto conforme se refere a seguir. Por ter havido um engano nas formulações de agregados no primeiro email, optou-se por indicar um segundo email enviado no mesmo dia, com as percentagens corretas.

De referir ainda que a formulação ideal de ligante (nata / resina) já tinha sido referenciada no relatório anterior.

de: Ruben Sílvio Varela Santos Martins <rubenvm@uevora.pt>

para: "Paula A. G. Faria" <pagf@uevora.pt>,

Paula Alexandra Afonso Viegas <pafonso@uevora.pt>,

Luís Lopes <lopes@uevora.pt>,

Paulo Mira Mourão <pamm@uevora.pt>,

Vera Pires <vlcp@uevora.pt>,

Tânia Peças <tania.pecas@clustermineralresources.pt>,

Fátima Sofia Teixeira Simões <fsts@uevora.pt>,

Marta Peres <marta.peres@clustermineralresources.pt>,

André Filipe de Carvalho <andre.carvalho@clustermineralresources.pt>,













Manuel Martins <manuel.jf.martins@gmail.com>, ineditbrown@gmail.com,
Solid Defender <geral.soliddefender@gmail.com>

data: 27/09/2022, 12:50

assunto: Divulgação de resultados

Caros parceiros e colaboradores do Projecto Calcinata

Após uma série de estudos que incluíram ensaios preliminares de trabalhabilidade e fluidez, testes de viscosidade e resistências mecânicas à flexão com diferentes períodos de cura, a diferentes formulações com diversos contributos percentuais, inicialmente em ligantes (nata + resina) e posteriormente com agregados marmóreos, a equipe técnica da Universidade de Évora chegou à formulação ideal para a constituição do ligante (nata + resina) e as proporções mais adequadas de agregado constituído por Bago de Arroz (BA), Brita 1 (B1) e Brita 2 (B2).

Encontramo-nos a preparar um seminário para apresentação detalhada dos resultados obtidos nos diferentes ensaios realizados.

A data será revelada atempadamente e de acordo com a disponibilidade dos principais intervenientes.

Estamos em condições de revelar em primeira mão a formulação ideal, por ter sido aquela que revelou melhores resultados particularmente nos ensaios de fluidez e resistência mecânica à compressão:

- 52% Agregados (20%BA/20%B1/60%B2) + 48% Ligante (52%Nata Mármore+48Recapoli) Nata Mármore — Nata de mistura obtida directamente dos filtros-prensa das serrações António Galego e Filhos — Mármores SA e Mármores Almeida-Sociedade Industrial de Mármores, Lda. Resina Recapoli 2196 (Poliester) fornecida pela empresa Castro Composites, Espanha.

Agregados provenientes da britagem de mármores, produzidos na Empresa Marvisa, Mármores Alentejanos Lda, segundo Declarações de Desempenho DoP, fornecido pela empresa:

Bago de Arroz -2/6,3

Brita 1 - 6,3/12,5

Brita 2 - 10/20

Com os melhores cumprimentos

Ruben Varela Martins

de: Ruben Sílvio Varela Santos Martins <rubenvm@uevora.pt>

para: "Paula A. G. Faria" <pagf@uevora.pt>,

Paula Alexandra Afonso Viegas <pafonso@uevora.pt>,

Luís Lopes <lopes@uevora.pt>,

Paulo Mira Mourão <pamm@uevora.pt>,

Vera Pires <vlcp@uevora.pt>,

Tânia Peças <tania.pecas@clustermineralresources.pt>,

Fátima Sofia Teixeira Simões <fsts@uevora.pt>,

Marta Peres <marta.peres@clustermineralresources.pt>,

André Filipe de Carvalho <andre.carvalho@clustermineralresources.pt>,

Manuel Martins <manuel.jf.martins@gmail.com>,

ineditbrown@gmail.com,

Solid Defender < geral.soliddefender@gmail.com>

data: 27/09/2022, 14:03















assunto: Re: Divulgação de resultados

enviado por: uevora.pt

Boa tarde

Peço desculpa pelo incómodo, mas enganei-me nas percentagens dos agregados, pelo que peço que tenham em conta somente o presente email.

Caros parceiros e colaboradores do Projecto Calcinata

Após uma série de estudos que incluíram ensaios preliminares de trabalhabilidade e fluidez, testes de viscosidade e resistências mecânicas à flexão com diferentes períodos de cura, a diferentes formulações com diversos contributos percentuais, inicialmente em ligantes (nata + resina) e posteriormente com agregados marmóreos, a equipe técnica da Universidade de Évora chegou à formulação ideal para a constituição do ligante (nata + resina) e as proporções mais adequadas de agregado constituído por Bago de Arroz (BA), Brita 1 (B1) e Brita 2 (B2).

Encontramo-nos a preparar um seminário para apresentação detalhada dos resultados obtidos nos diferentes ensaios realizados.

A data será revelada atempadamente e de acordo com a disponibilidade dos principais intervenientes.

Estamos em condições de revelar em primeira mão a formulação ideal, por ter sido aquela que revelou melhores resultados particularmente nos ensaios de fluidez e resistência mecânica à compressão:

- 52% Agregados (40%BA/40%B1/20%B2) + 48% Ligante (52% Nata Mármore + 48% Recapoli)

4.4. T6.2. - Participação em congressos, conferências técnicas, seminários e feiras

- Workshop Calcinata (31/10/2022)



Figura 13 – Folheto de divulgação do workshop.

Foi realizada apresentação oral com recurso a powerpoint (Fig. 14) onde se fez a descrição do projeto, a evolução dos trabalhos e resultados obtidos até à data.















Figura 14 – Página de rosto do powerpoint.

Aceite resumo intitulado "Produção de Ligantes à Base de Lamas Carbonatadas Provenientes da Indústria Extrativa e Transformadora de Rochas Ornamentais (Mármores e Calcários) e Resina para a Produção de Compósitos Pétreos", para o 18º Congresso Nacional de Geotecnia, a realizar em Évora, de 14 a 17 de maio de 2023.

Está previsto o envio de resumo para apresentação de comunicação oral no Global Stone Congress 2023.

4.5. Gestão do projeto (A7)

A gestão do projeto é garantida pela Drª Fátima Simões e pelo Gabinete de Apoio a Projetos da Universidade de Évora e pela ACPMR-Associação Cluster Portugal Mineral Resources. A equipe técnica da Universidade de Évora, sempre que se justifica, realiza reuniões envolvendo todos os intervenientes do Projeto, no sentido de dar a conhecer a evolução dos trabalhos, projetar atividades futuras e atualizar procedimentos relativamente à gestão do mesmo.

5. Bibliografia

- Alves, T (2015). Formulação de Pastas Cerâmicas a partir de Matérias-Primas Argilosas dos Concelhos de Vila Viçosa e Redondo para a Produção de Olaria Tradicional. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Geociências. Universidade de Évora. 259 p.
- Azzalini, A., Faria, P., Lopes, L., Martins, R., Mourão, P., Pires, V. (2022) Produção de argamassa à base de cal a partir da calcinação de lamas carbonatadas provenientes da indústria das rochas ornamentais. Editora Pedra e Cal. Na Colecção: GEO Publicações Artigos em Revistas Nacionais Sem Arbitragem Científica. Identificador: http://hdl.handle.net/10174/31478









134C177 FA4705416 consulta em 20 de janeiro de 2020.





- Bauer, L.A.F. (1987) Materiais de Construção 1. Livros Técnicos e Científicos Editora, 3ª Edição, Rio de Janeiro, Brasil, p. 25.
- Casal Moura A. (2006) Qualidade Industrial e Marcação CE in Manual da Pedra Natural para a Arquitectura, Anexo C pp. 161-185, DGGE (Ed.) Lisboa.
- Coelho, A., Torgal, F., Jalali, S. (2009) A Cal na Construção. Universidade do Minho. Edição TecMinho. p. 132. Guimarães, 2009.
- Comissão Europeia (2014) A marcação CE dos produtos de construção. Passo a Passo. 25 p.
- Comité Europeu de Normalização. CEN/TC 246 Natural Stones.
 https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:7:0::::FSP_ORG_ID:6227&cs=170D4BD6399C2CC53
- Cunha, A., Martins, R., Lopes, L., Gomes, C., Arroz, M., Santos, D., Rosado, F. (2012) Solos de Cobertura do Anticlinal de Estremoz e sua Aplicação em Cerâmica. Paper 077. Global Stone Congress 2012, Borba.
- Gomes, C. (2002). Argilas, Aplicações na Indústria. Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências. Aveiro, 2002, pp. 337.
- Hammecker C, Alemany RME, Jeannette D (1992) Geometry modifications of porous networks in carbonate rocks by ethyl silicate treatment. In: Proceedings of the Seventh International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lisbon, Portugal, pp 1053–62
- Juvandes, L.F.P. (2002). Materiais Compósitos Reforçados com Fibras, FRP. Ciência dos Materiais,
 Licenciatura em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto,
 Departamento de Engenharia Civil, pp. 76.
- Korneliussen, A.; Lopes, L.; Martins, R. (2014) Estremoz Marbles, Portugal a potential resource for high whiteness industrial applications; V Global Stone Congress (22 – 25 October, 2014), Antalya, Turkey.
- Martins Dias da Silva K.A (2017). Análise do envelhecimento acelerado de polímeros. Master's thesis. University of Aveiro.
- Martins, R., V. (1997). Aplicações Industriais de "Natas" Resultantes da Indústria Transformadora de Rochas Ornamentais Carbonatadas. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro, pp. 150.
- Ministério da Indústria e Energia, Direcção Geral de Geologia e Minas (1992). Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas. Vol. 1, Vol. 2, Vol. 3, Vol. 4.
- Molina, E., Cultrone, G., Sebastián, E., Alonso, F.J., 2013. Evaluation of stone durability using a combination of ultrasound, mechanical and accelerated aging tests. J. Geophys. Eng. https://doi.org/10.1088/1742-2132/10/3/035003
- Odegard, G.M., Bandyopadhyay, A., 2011. Physical aging of epoxy polymers and their composites.
 J. Polym. Sci. Part B Polym. Phys. https://doi.org/10.1002/polb.22384
- Ventura, A., Martins, R., Andrade, G., Gomes, C., Lopes, L. (2009); Incorporação de lamas de serragem e polimento de rochas carbonatadas em pastas para produção de cerâmica monoporosa; Kéramica, Revista da Indústria Cerâmica Portuguesa, APICER, pp. 6-15.
- Zdeněk Prošek, Jan Trejbal, Jaroslav Topič, Tomáš Plachý and Pavel Tesárek. 2017. Utilization of the waste from the marble industry for application in transport infrastructure: mechanical properties of cement pastes. Materials Science and Engineering, Volume 236, Building up Efficient and Sustainable Transport Infrastructure 2017 (BESTInfra2017) 21–22 September 2017, Prague, Czech Republic.













Évora, 29 de novembro de 2022

Investigador Responsável

Ruben Varela Martins





