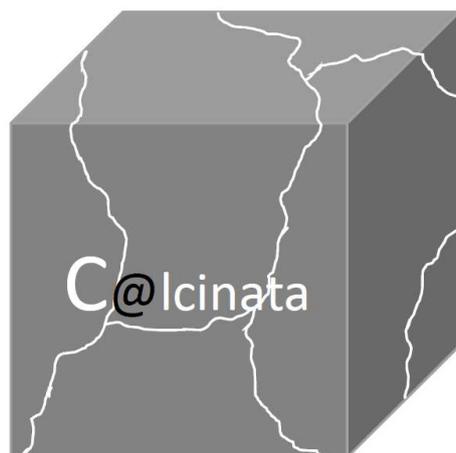




INEDITBROWN



1



Produção de argamassa à base de cal a partir da calcinação de lamas carbonatadas provenientes da indústria das rochas ornamentais (mármore 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 01/2023

ENTREGÁVEL Nº E7.6 – RELATÓRIO FINAL

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



2

ÍNDICE

1. ENTREGÁVEL Nº E 7.6
2. NOME DA ENTIDADE RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO
3. NOMES DOS RESPONSÁVEIS PELA ELABORAÇÃO DO DOCUMENTO
4. DESCRIÇÃO TÉCNICA DO ENTREGÁVEL COM APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS
 - 4.1. PLANEAMENTO E ESTUDOS PRÉVIOS (A1)
 - 4.1.1. LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES POTENCIAIS A INVESTIGAR (T1.1.)
 - 4.1.1.1. OBJETIVOS E SOLUÇÃO PROPOSTA
 - 4.1.2. PREPARAÇÃO DA CAMPANHA DE CAMPO PARA COLHEITA DE AMOSTRAS DE NATAS (T1.2.)
 - 4.2. DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO (A2)
 - 4.2.1. AMOSTRAGEM DA NATA (MARMÓREA E CALCÁRIA) (T2.1.)
 - 4.2.1.1. LOCALIZAÇÃO DA COLHEITA DAS AMOSTRAS
 - 4.2.1.2. METODOLOGIA DA AMOSTRAGEM
 - 4.2.2. CARATERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E MINERALÓGICA DAS AMOSTRAS RECOLHIDAS (T2.2.)
 - 4.2.2.1. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS
 - 4.2.2.2. SECAGEM DAS AMOSTRAS
 - 4.2.2.3. DESAGREGAÇÃO DAS AMOSTRAS
 - 4.2.2.4. ENSAIOS DE CARATERIZAÇÃO
 - 4.2.2.4.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA
 - 4.2.2.4.2. LIMITES DE CONSISTÊNCIA
 - 4.2.2.4.3. MASSA VOLÚMICA, DENSIDADE APARENTE E ABSORÇÃO DE ÁGUA
 - 4.2.2.4.4. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS RECOLHIDAS

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



3

- 4.2.2.4.5. COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DAS NATAS
- 4.2.3. COZEDURA A DIFERENTES TEMPERATURAS E COM DIFERENTES TEMPOS
- 4.2.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E MINERALÓGICA DOS PRODUTOS CALCINADOS (T2.4.)
 - 4.2.4.1. DETERMINAÇÃO DE MASSAS VOLÚMICAS
 - 4.2.4.2. REATIVIDADE
 - 4.2.4.3. VISCOSIDADE
- 4.2.5. FORMULAÇÃO DE ARGAMASSA CONSTITUÍDA UNICAMENTE POR NATA (T2.5.)
- 4.2.6. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E MECÂNICA DA ARGAMASSA (T2.6.)
- 4.2.7. FORMULAÇÃO DE ARGAMASSAS COM DIFERENTES CONTRIBUTOS PERCENTUAIS DE NATA E RESINA (T2.7.)
- 4.2.8. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DA ARGAMASSA CONSTITUÍDA POR NATA E RESINA (T2.8.)
- 4.3. CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS (A3)
 - 4.3.1. ELABORAÇÃO DE PROVETES COM MISTURA DE AGREGADO BRITADO DE MÁRMORES EM ARGAMASSAS SELECIONADAS (T3.1.)
 - 4.3.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DOS PROVETES (T3.2.)
 - 4.3.3. ELABORAÇÃO DE PROVETES COM MISTURA DE AGREGADO BRITADO DE MÁRMORE E ARGAMASSAS SELECIONADAS – NOVA FASE (T3.1.)
 - 4.3.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PROVETES – NOVA FASE (T3.2.)
 - 4.3.5. ENSAIOS COMPLEMENTARES
 - 4.3.5.1. ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO E À COMPRESSÃO APÓS ENSAIO DE GELO-DEGELO E APÓS CICLOS DE ENVELHECIMENTO POR CHOQUE TÉRMICO
 - 4.3.5.2. ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO ESCORREGAMENTO
 - 4.3.5.3. ENSAIO DE BRILHO - GLOSS
 - 4.3.5.4. ENSAIO DE RUGOSIDADE - HIROX

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



4

- 4.3.5.5. MEDIÇÃO DE COR
- 4.4. OTIMIZAÇÃO DE RESULTADOS LABORATORIAIS (A5)
 - 4.4.1. TRATAMENTO DE RESULTADOS (T5.1.)
- 4.5. DIVULGAÇÃO E DISSEMINAÇÃO (A6)
 - 4.5.1. CRIAÇÃO E DINAMIZAÇÃO DE WEBSITE DO PROJETO (T6.1.)
 - 4.5.2. EMAILS DE COMUNICAÇÃO DOS RESULTADOS AOS PARCEIROS
 - 4.5.3. PARTICIPAÇÃO EM CONGRESSOS, CONFERÊNCIAS TÉCNICAS, SEMINÁRIOS E FEIRAS (T6.2.)
 - 4.5.4. REALIZAÇÃO DE OPEN DAY E WORKSHOP DE DIVULGAÇÃO DO PROJETO (T6.3.)
 - 4.5.5. PUBLICAÇÃO DE ARTIGOS CIENTÍFICOS E TÉCNICOS (T6.4.)
 - 4.5.6. ARTIGOS PREVISTOS APÓS ENCERRAMENTO DO PROJETO
- 4.5. GESTÃO DO PROJETO (A7)
- 5. BIBLIOGRAFIA

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



5

1. ENTREGÁVEL Nº E7.6

Relatório Final que engloba os trabalhos executados pela equipe da Universidade de Évora, previstos em todas as Actividades e respectivas Tarefas ao longo dos 34 meses contemplados no Gant.

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 descreve-se a informação resultante dos trabalhos desenvolvidos pela equipa da Universidade de Évora, durante o período de 01 de Setembro de 2020 e 30 de junho de 2023, no âmbito das actividades:

A1 - Planeamento e Estudos prévios:

- t 1.1 Levantamento e análise das principais aplicações potenciais a investigar;
- t 1.2. Preparação da campanha de campo para colheita de amostras de “natas”,

A2 - Desenvolvimento do conceito:

- t 2.1 Amostragem de “nata” (marmórea e calcária);
- t 2.2 Caracterização física, química e microscópica das amostras recolhidas;
- t 2.3 Cozedura a diferentes temperaturas e com diferentes tempos;
- t 2.4 Caracterização física, química e microscópica dos produtos calcinados;
- t 2.5 Formulação de argamassa constituída unicamente por “nata”;
- t 2.6 Caracterização física, química e mecânica da argamassa;
- t 2.7 Formulação de argamassas com diferentes contributos percentuais de “nata” e resina;
- t 2.8 Caracterização física, química e mecânica das argamassas.

A3 - Construção de protótipos:

- t 3.1 Elaboração de provetes com mistura de agregado britado de mármore e calcário sedimentar e argamassas selecionadas;
- t 3.2 Caracterização físico-mecânica e microscópica dos provetes.

A5 - Otimização de Resultados (laboratorial e industrial):

- t 5.1. Tratamento de resultados;
- t 5.2 Definição e otimização da especificação dos produtos com composição-tipo mais eficaz(es).

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



6

A6 - Divulgação e disseminação:

- t 6.1 Criação e dinamização de website do projecto;
- t 6.2 Participação em congressos, conferencias técnicas, seminários e feiras;
- t 6.3 Realização de open day e workshop de divulgação do projecto;
- t 6.4 Publicação de artigos científicos e técnicos.

A 7 - Gestão do projecto

- t.7.1 Gestão

De referir que as Actividades 1 e 2 foram da responsabilidade da Universidade de Évora, tendo as restantes sido da responsabilidade do Promotor Inedit Brown.

4.1. Planeamento e estudos prévios (A1)

Foram efetuados os estudos prévios necessários à execução das diversas atividades do projeto. Destaca-se a concretização dos seguintes itens, das tarefas T1.1 e T1.2:

4.1.1. Levantamento e análise das principais aplicações potenciais a investigar (T1.1.)

Foi atualizada e complementada a pesquisa já realizada no âmbito do enquadramento deste projeto, com vista à otimização dos estudos a implementar. Foi feito um levantamento do estado da arte com vista à otimização do potencial dos produtos a investigar e da sua aplicação.

A indústria extrativa e transformadora de rochas ornamentais carbonatadas (“Dimension Stone” na nomenclatura anglo-saxónica), mármore e calcários sedimentares produz elevadas quantidades de rejeitos posteriormente depositados a céu aberto em escombreiras e depósitos de lamas carbonatadas, com inevitáveis impactes ambientais. Nas unidades extrativas, estes rejeitos resultam do ciclo produtivo, fundamentalmente de operações de perfuração, corte e desmonte. O baixo rendimento neste subsector e em particular na Zona dos Mármore deve-se em grande parte às características geológicas do maciço e ao elevado grau de fracturação. Posicionando-se o rendimento produtivo das pedreiras num intervalo entre 10 % e 30 %, significa que o restante do material desmontado irá inevitavelmente alimentar escombreiras e depósitos de lamas carbonatadas. Estes rejeitos distribuindo-se fundamentalmente por duas tipologias: fragmentos rochosos que contribuem com cerca de 95 % e as lamas com cerca de 5 %, vulgarmente denominadas “natas”.

Nas unidades transformadoras, o rejeito provém de operações associadas a processos de corte e tratamento de superfícies, nomeadamente polimento de chapas e ladrilhos, sendo estas, as principais linhas de produção de uma serração de rochas ornamentais. No subsector da transformação, as serrações são responsáveis pela produção de 30 % de rejeitos nos processos ligados ao corte de blocos para sua divisão em chapas e 30 % noutras operações de corte e acabamento de superfícies. Cingindo-nos apenas às tipologias de rejeitos referidas nas unidades extrativas, nas serrações a produção de rejeitos fica-se em cerca de 58 % de fragmentos rochosos e 42 % de lamas carbonatadas.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



7

Estes rejeitos são considerados resíduos porque não possuem qualquer tipo de aproveitamento industrial que lhes confira um valor económico. Contudo, possuem elevados graus de pureza características físicas e químicas que os tornam materiais com elevado potencial para a sua utilização em diversas indústrias, principalmente naquelas que incluem nos seus processos produtivos carbonato de cálcio (CaCO_3). A comprovação científica e tecnológica das características das “natas” conferem-lhes a possibilidade (ou capacidade) de serem incorporadas noutros processos industriais, permitindo assim a sua classificação como subprodutos da indústria extrativa e transformadora de rochas ornamentais carbonatadas.

As lamas carbonatadas (“natas”), têm características físicas distintas dos fragmentos rochosos. Como referido anteriormente, no processo de extração em pedreira, este material resulta do corte de massas rochosas e aparelhamento de blocos, quer com recurso a fio diamantado, quer com recurso a roçadora. Como o processo de corte, particularmente com o fio diamantado é necessária a utilização de água para arrefecimento da ferramenta e para a limpeza do golpe, o resultado é uma lama pastosa esbranquiçada a que normalmente se chama “nata”.

Por razões idênticas, no processamento em fábrica envolvendo corte e polimento, a água é fundamental durante o processo, produzindo-se elevadas quantidades de “nata”.

Não havendo atualmente qualquer utilização industrial da “nata”, esta é acumulada em depósitos a céu aberto, com evidentes impactes ambientais, dos quais os mais graves são: redução do coberto vegetal, diminuição da atividade agrícola, impermeabilização dos solos, alteração das linhas de água com significativa redução da qualidade da mesma, alteração dos ecossistemas, diminuição da qualidade do ar, redução do processo fotossintético das plantas e impacto visual, sendo este último bastante marcante, sendo a cor branca dos depósitos muito contrastante com todo o ambiente circundante, fundamentalmente rural.

Estudos já efetuados a diferentes amostras de “natas” recolhidas em variadíssimas serrações da Zona dos Mármorees que inclui os Concelhos de Estremoz, Borba e Vila Viçosa possibilitou uma caracterização pormenorizada de onde se realça que granulometricamente este produto é extremamente fino, com cerca de 99,80% das partículas inferiores a $40 \mu\text{m}$ (0,04 mm), característica que potencia a possibilidade de utilização quase direta noutras aplicações [i.e. Martins, 1997; Cunha *et al.* 2012; Korneliussen *et al.*, 2014; Ventura *et al.* 2009; Alves, 2015].

Por meio de análises químicas revelou tratar-se de um material carbonatado com um elevado grau de pureza, bem patente nos valores de óxido de cálcio ($\text{CaO} > 50\%$) e perda ao rubro ($\text{CO}_2 > 40\%$) [Martins, 1997], confirmando assim a elevada pureza das rochas carbonatadas. Estas características fazem deste material um potencial subproduto com elevado interesse industrial. Porém, para ser possível a sua utilização como matéria-prima é necessário que os depósitos não sejam utilizados como reservatórios de outros materiais ou mesmo de lixeiras dificultando, à posteriori, a sua separação e utilização.

O propósito inicial deste projeto visou a utilização das “natas” para a produção de argamassas à base de cal, com vista à sua integração na produção de compactos ornamentais em substituição total ou parcial de resinas epóxi, tradicionalmente utilizadas como ligantes neste tipo de produtos.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



8

O que motivou a utilização da lama carbonatada calcinada teve a ver com o facto de que na produção de cal viva são utilizados fragmentos de calcário previamente calcinado. A sua mistura com água produz uma reação exotérmica violenta com libertação de calor, dando origem à cal apagada, provocando também um aumento de volume que chega a atingir 3 a 3.5 vezes o seu volume inicial. Se durante o processo de extinção for utilizada apenas a quantidade de água estritamente necessária, a cal apagada resultante aparece sob a forma de pó (Coelho, A. *et al* 2009).

É comprovado o excelente poder aglomerante da cal hidratada, normalmente utilizada em argamassas visto contribuírem para uma melhor fluidez, plasticidade e trabalhabilidade. Seja como único ligante, ou em mistura com outros ligantes aéreos (gesso), hidráulicos (cimento Portland) ou com aditivos pozolânicos, as argamassas com cal constituem um material de elevada versatilidade. Segundo Coelho, A. *et al* (2009), as argamassas, plásticas e trabalháveis enquanto frescas, são possuidoras de uma certa rigidez após o endurecimento.

Sendo a reação referida exotérmica, com dilatação ligada à libertação de calor durante o endurecimento, pode causar fissuras por retração da argamassa. Por forma a minimizar este efeito indesejado, promove-se a incorporação de areia, para reduzir a possibilidade de retração da pasta de cal apagada, dividindo-a em pequenas frações e permitindo a entrada do ar necessário para a carbonatação. A areia deve ser siliciosa ou calcária, limpa, isenta de humidade e de argila, pois além da carbonatação, o endurecimento da cal dá-se também pela combinação do hidróxido com a sílica (Bauer, 1987). Neste estudo propõe-se substituir o uso da areia por e “nata” não calcinada, garantindo-se assim o arejamento necessário evitando-se retrações excessivas que levem a defeitos estruturais.

Com vista à comprovação da aplicação técnica da “nata” calcinada como meio de consolidação de materiais pétreos na produção de compósitos, na substituição total ou parcial das resinas epóxi e acrílicas tradicionalmente usadas, pretendeu-se desenvolver um estudo detalhado sobre as características físicas e químicas da “nata” antes e após calcinação e o seu comportamento em diferentes formulações.

Em dezembro de 2015, a Comissão Europeia criou o “Plano de Ação para a Economia Circular”, com vista à promoção do crescimento sustentável. Por outro lado, o atual enquadramento político nacional para a economia circular (Plano de Ação para a Economia Circular em Portugal), aprovado através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 190-A/2017, de 23 de novembro, consiste em definir uma estratégia nacional para a economia circular assente na produção e eliminação de resíduos e nos conceitos de reutilização, reparação e renovação de materiais e energia.

O projeto Calcinata, reveste-se de particular interesse na medida que se insere perfeitamente no modelo de produção do tipo “Economia Circular”, na medida que contribuirá para a redução de um desperdício da indústria extrativa e transformadora de rochas ornamentais carbonatadas, conferindo-lhes um valor económico e contribuindo para a redução do passivo ambiental proveniente desta indústria.

Por outro lado, a resina epóxi ou poliepóxido é um polímero termorrígido que endurece quando misturado com um catalisador ou agente de cura, apresentando um cheiro intenso, sendo ainda

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



9

reativo ao calor. O risco associado ao uso deste tipo de material tem a ver essencialmente com a aplicação do endurecedor de amina que pode ser corrosivo e tóxico ou cancerígeno. É conhecido o efeito sensibilizador deste tipo de material, podendo com o tempo provocar reações alérgicas, particularmente associadas a doenças profissionais, sendo ainda uma das principais fontes de asma ocupacional.

As resinas de formulação epoxídica quando aplicadas em placas de revestimentos de exteriores e sujeitas a radiação UV proveniente dos raios solares, são sujeitas a reações químicas com consequente degradação das suas propriedades (Juvandes, 2002).

Todas as resinas têm um tempo de utilização, durante o qual o material líquido é utilizável sem dificuldade. Esgotado esse tempo qualquer formulação de resina perde drasticamente as suas características de aderência, pelo que não deve ser utilizada. O tempo de utilização diminui com o aumento da temperatura e da quantidade de material a preparar, uma vez que há libertação de calor durante a cura. A presença de cargas inertes aumenta o tempo de utilização, pois estas absorvem parte do calor libertado na reação, diminuindo a temperatura atingida pela resina (Juvandes, 2002).

A substituição total ou parcial da resina pela “nata” calcinada ou não revela-se de particular interesse, na medida que esta poderá reduzir substancialmente muitos estes constrangimentos observados aquando da sua utilização.

Sendo a resina uma matéria-prima com considerável peso nos custos de produção de compósitos, com preços médios entre 20 e 25 €/kg, é de prever, consoante a percentagem de “nata” a incorporar, que obter-se-á um produto final de valor económico mais baixo.

Outros estudos sobre o aproveitamento de rejeitos da indústria extrativa e transformadora de mármore, particularmente sobre as lamas carbonatadas, têm sido desenvolvidos no Departamento de Geociências. De realçar o trabalho de fim de curso de Eng^a Geológica de André Ventura realizado em parceria com a Empresa Sorgila, Sociedade de Argilas, S.A. e intitulada “Utilização de lamas provenientes da indústria transformadora de rochas ornamentais carbonatadas, em pastas cerâmicas para o fabrico de revestimentos cerâmicos (monoporosa)” (Ventura, A. *et al.* 2009). Outro trabalho que se debruçou sobre a caracterização e aproveitamento de lamas carbonatadas foi a Dissertação de Tese de Mestrado de Tiago Alves intitulada “Formulação de Pastas Cerâmicas a partir de Matérias-Primas Argilosas dos Concelhos de Vila Viçosa e Redondo para a Produção de Olaria Tradicional” (Alves, T., 2015).

Estudos realizados na Universidade de Praga, República Checa, em amostras à base de cimento e pó de mármore usado como substituição de ligante padrão revelaram um grande potencial deste rejeito como aditivo, melhorando a qualidade do cimento para determinadas percentagens do pó carbonatado. Os materiais testados consistiram em cimento CEM I 42.5 R (Radotín, República Checa) e três diferentes quantidades de mármore (25, 50 e 70% em peso). Os investigadores concluíram que para 50% em peso dos resíduos de pó de mármore micronizado, a resistência à flexão aumentou em aproximadamente 50%, assim, de acordo com a composição, os resíduos de mármore micronizado podem ser usados como um aditivo ao cimento misturado (Prošek, Z *et al.*, 2017).

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



10

4.1.1.1. Objetivos e solução proposta

Tendo a investigação como principal objetivo a criação de um aglomerante à base de cal com vista à aplicação em compósitos de pedra, após comprovação técnica da sua aplicabilidade, será propósito do projeto a realização de ensaios à escala industrial com vista à pré-validação do produto permitindo a definição do protótipo. Atendendo ao cronograma previsto, esta fase decorrerá entre o 22º e o 27º mês.

A comprovação técnica da utilização das lammas carbonatadas (“natas”) como aglomerante revestir-se-á de três aspectos fundamentais:

1. permitir a sua aplicação como matéria-prima na produção de chapas de compósitos ornamentais;
2. criação de uma matéria-prima com possibilidade de aplicação em diversas indústrias que necessitem deste tipo de material para a produção dos seus produtos, sendo expectável a criação de protótipos nos diferentes conceitos que forem abrangidos futuramente por esta investigação;
3. redução substancial de depósitos de lammas carbonatadas a céu aberto com visíveis impactes ambientais.

Considerando apenas a produção de chapas de compósitos ornamentais, a participação percentual de “natas” (com granulometrias até 1mm) pode ir até 20%. Prevendo-se, por exemplo, a fabricação de chapas de dimensão (3,00 m x 0,70 m x 0,02 m), tradicionalmente produzidas a partir de blocos de rocha e com a espessura indicada, é expectável a produção de 62 chapas, com área de 2 m² cada. Assim, considerando um produto final com as características dimensionais indicadas e projetando a aplicação em obra como revestimento, consumir-se-á entre 10% e 20% de lammas carbonatadas para uma superfície de 124 m².

4.1.2. Preparação da campanha de campo para colheita de amostras de “natas” (T1.2.)

A tarefa de preparação da campanha de campo para recolha de amostras de “nata” teve em conta as seguintes etapas:

1. **Levantamento das matérias-primas com potencial de utilização** – com base nos trabalhos de investigação efetuados na tarefa T1.1. foram selecionadas natas resultantes da transformação de mármore e calcário como sendo as que apresentam maior viabilidade face à investigação em curso. Foram efetuados os contactos com as empresas por forma a avaliar se existia possibilidade de recolha de amostras de lammas de preferência nos filtros-prensa, por forma a evitar-se possíveis contaminações. Outro aspecto fundamental que norteou a preparação da amostragem, foi o de garantir que as serrações selecionadas tivessem na altura a trabalhar essencialmente um único tipo de calcário ou mármore e que fosse perfeitamente localizável geograficamente a zona da sua proveniência;
2. **Escolha dos materiais a amostrar** – a seleção inicial dos materiais a amostrar teve em conta critérios inerentes às características expectáveis das natas associados ao tipo

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



INEDITBROWN



11

- de transformação que cada entidade efetua. Foi ainda necessário conjugar a disponibilidade das empresas face à produção em curso;
- Decisão sobre os locais de amostragem** – os locais de amostragem tiveram em conta critérios de adequabilidade e disponibilidade;
 - Definição da metodologia de colheita a utilizar** – optou-se por selecionar duas amostras de mármore e duas amostras de calcário. Apesar de numa fase adiantada da investigação se proceder à mistura das “natas”, nesta etapa embrionária é absolutamente fundamental a caracterização pormenorizada de cada uma das amostras. Por isso, tal como já referido no ponto 1 a seleção das unidades de transformação foi bastante criteriosa, no sentido de se garantir a pureza do material amostrado;
 - Preparação da campanha de amostragem considerando a colheita de dois tipos de natas:** natas resultantes do corte de mármore e natas resultantes do corte de calcário. A Campanha amostragem foi efetuada conforme apresentada no plano de amostragem na Tabela 1.

Tabela 1 – Campanha de amostragem.

Tipologia de campanha	Campanha no Maciço Calcário Estremenho	Campanha no Anticlinal de Estremoz
Empresa	Solancis ¹ e MVC ²	António Galego ³ ; Margrimar/A.L.Almeida ⁴
Contacto	¹ Marco Aniceto; ² Rogério Vigário e Alexandre Vieira	³ António Galego; ⁴ Manuel Gonçalves e Cláudio Simões
Referências das Amostras	Solancis – C(S) MVC – C(MVC)	António Galego – M(AGF) Margrimar / Almeida – M(A)
Data da recolha	29.01.2021	20.01.2021 e 03.02.2021
Quantidades Aproximadas	C(S) – 161 kg C(MVC) – 188 kg	M(AGF) – 163 kg M(A) – 125 kg
Equipa UÉvora	RVM; LL	RVM; PF; VP; LL
Notas	A colheita deverá garantir que o material recolhido é exclusivamente resultante do processamento de calcários sedimentares, provenientes da região.	Recolha de amostras de “nata” em serrações da região, garantindo que a proveniência é exclusivamente do mármore da região.

4.2. Desenvolvimento do conceito (A2)

Com a definição do plano de amostragem deu-se início à atividade A2, com a execução da tarefa T2.1. Amostragem de nata (marmórea e calcária).

4.2.1. Amostragem de nata (marmórea e calcária) (T2.1.)

4.2.1.1. Localização da colheita das amostras

Tendo em conta que se pretende estudar natas de natureza marmórea e natas de natureza calcária, a amostragem decorreu em duas zonas geograficamente distintas conforme

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



apresentadas na Tabela 1 e na Figura 1, inseridas em base geológica. Deste modo, definiu-se a campanha de amostragem com colheita das natas resultantes do corte de mármore na zona de Vila-Viçosa, tendo a campanha de amostragem para colheita de natas resultantes do corte de calcários decorrido na zona da Benedita. As natas de natureza marmórea foram colhidas nas serrações António Galego & Filhos – Mármore S.A. e A.L.A. de Almeida Lda. As natas recolhidas na serração António Galego têm origem na sua maioria, na pedreira do Texugo, zona da Lagoa, Vila Viçosa, as natas obtidas na serração A.L.A. Almeida são provenientes do tratamento do mármore explorado na pedreira JPL, da empresa Marmetal – Mármore e Materiais de Construção S.A., na zona de Borba (Fig. 1). As natas calcárias de ambas as serrações da Benedita são maioritariamente do lugar de Cabeça Veada.

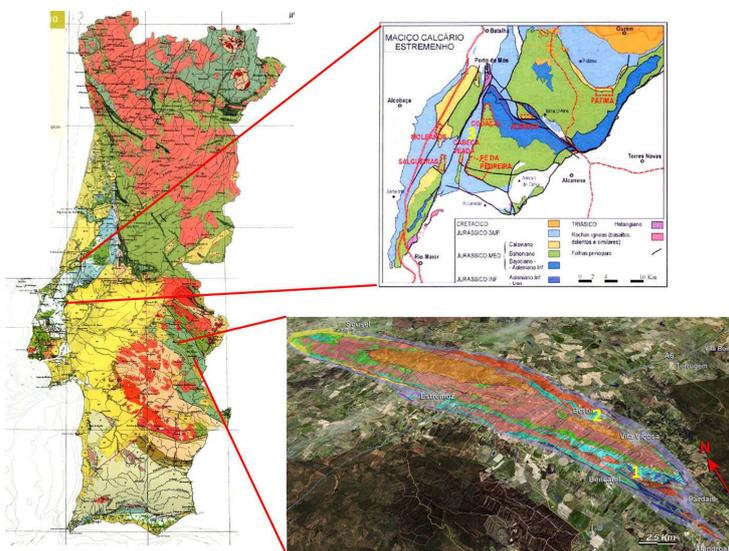


Fig. 1 – Localização da amostragem numa base geológica. 1 – Natas provenientes da pedreira Texugo (António Galego & Filhos). 2 – Natas provenientes da pedreira JPL (Marmetal / A.L.A. Almeida). 3 – Natas provenientes de Cabeça Veada (Solancis e MVC).

Comentado [PA1]: Não é melhor colocar a imagem que vamos utilizar no artigo?

4.2.1.2. Metodologia de amostragem

Na amostragem foi fundamental que se garantissem os seguintes aspetos:

1. Amostra representativa da massa amostrada;
2. O teor em água da amostra deveria ser o menor possível;

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



13

3. Preservar a recolha da possibilidade de qualquer contaminação da massa amostrada.

Deste modo, para além de se conseguir garantir a representatividade da amostra, esta teria menor teor em água e evitavam-se eventuais riscos de contaminação por recolha em depósitos em que a cargas possam não ser controladas.

Tendo presentes os aspetos anteriormente assinalados, foi decidido que a recolha das amostras seria realizada em serrações, dando preferência à saída dos filtros-prensa.

Três das quatro amostras foram colhidas à saída de filtro-prensa, sendo uma colhida numa zona de depósito, em que o material depositado não está contaminado por outros materiais de natureza distinta. Nas figuras de 2 a 5, ilustra-se a saída de um filtro-prensa da nata prensada em placas, na empresa Solancis e respetiva recolha.



Fig. 2 – Imagem colhida na Solancis, mostrando a saída de um filtro-prensa.



Fig. 3 – Imagem colhida na Solancis, mostrando a recolha da amostra à saída do filtro-prensa

Cofinanciado por:



Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



INEDITBROWN



14



Fig. 4 – Detalhe da nata após prensagem.



Fig. 5 – Amostras colhidas na Solancis, devidamente acondicionadas para transporte para o laboratório.

Nas figuras de 6 a 8 ilustra-se a amostragem na unidade de transformação da empresa António Galego e Filhos e o seu acondicionamento para transporte.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



15

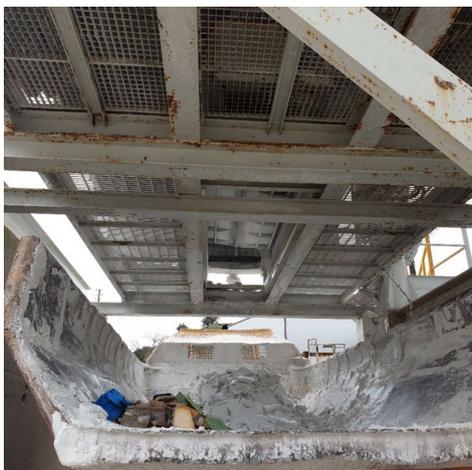


Fig. 6 – Imagem colhida na (AGF), mostrando a parte inferior do filtro-prensa e o dumper para a receção da nata prensada.



Fig. 7 – Colheita de amostras na AGF.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



16



Fig. 8 – Registo de amostras colhidas na AGF e sua colocação no transporte que as levará ao laboratório.

Nesta fase a lama perde a sua consistência pastosa, estado esse que lhe dá o nome de “nata” e por força da precipitação em tanques decantadores e com recurso a floculante, passa a ter mais consistência e maior densidade, sendo-lhe reduzida substancialmente a humidade para valores que rondam os 30% (Figura 9).



Fig. 9 – Aspeto da nata no momento após a saída do filtro-prensa.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



17

A amostra M(A), colhida na serração A.L.A. Almeida, não teve registo fotográfico pois não foi efetuado por nenhum elemento da equipe, mas sim pelos colaboradores da empresa durante vários dias aquando das descargas do filtro-prensa.

A amostragem efectuada na empresa MVC revestiu-se de características ligeiramente diferentes das observadas nos casos anteriores, pelo facto da recolha não ter sido feita à saída do filtro-prensa, mas sim em depósito a céu aberto. À priori não se trata da situação ideal, pois o material fica mais sujeito a contaminações, porém, a nata recolhida tinha ali sido depositada há poucos dias apresentando-se intacta (Figuras 10 e 11).



Fig. 10 – Zona de depósito controlado, onde se procedeu à recolha da amostra da empresa MVC.



Fig. 11 – Amostras C(MVC) colhidas em depósito a céu aberto.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



18

Realizou-se ainda a amostragem dos agregados que viriam a ser utilizados nas formulações. Tratou-se de uma amostragem revestida de carácter diferente daquela que foi executada na recolha das lamas carbonatadas. Esta amostragem tem a ver com a recolha de agregado, posteriormente utilizado na Actividade A3, Construção de Protótipos.

A colheita de amostras de agregados foi feita na Empresa Marvisa, Mármore Alentejanos Lda. (Fig. 12).

Tendo em conta a dimensão dos provetes para realização dos testes mecânicos e físicos dos compósitos resultantes da mistura de agregados com ligante, optou-se pelas frações granulométricas correspondentes ao bago de arroz, brita 1 e brita 2.



Fig. 12 – Recolha de agregado, bago de arroz, à saída do tapete.

4.2.2. Caracterização física, química e mineralógica das amostras recolhidas (T2.2.)

4.2.2.1. Preparação das amostras

Terminada a amostragem (Tarefa T2.1), as amostras ensacadas foram encaminhadas para os laboratórios do Departamento de Geociências da Universidade de Évora, dando-se início à preparação das amostras com vista à realização dos ensaios de caracterização e demais tarefas. A amostra, numa primeira fase foi desagregada manualmente (Figura 13) de modo a que as partículas ficassem reduzidas e mais aptas para a secagem.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



19



Fig. 13 – Corte de pedaços de pasta de nata e seu espalhamento para promover a secagem mais rápida à temperatura ambiente.

4.2.2.2. Secagem das amostras

Por forma a promover a secagem das amostras, os pedaços de pasta foram partidos em pedaços pequenos e sujeitos a dois estágios de secagem:

- Inicialmente foram espalhados e deixados a secar ao ar. A figura 14 mostra um dos locais de secagem, num dos laboratórios do Departamento de Geociências. Visto as amostras recebidas

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



20

nos laboratórios possuírem uma elevada quantidade de água, cerca de 30% da sua massa, foram assim deixadas durante vários dias, por forma a libertarem-se naturalmente do excesso de água; - O segundo estágio de secagem foi com recurso a estufas ventiladas e com temperatura de 40 °C, tendo as amostras permanecido no seu interior até peso constante.



Fig. 14 – Imagem de parte de uma amostra de nata espalhada para secagem ao ar.

Terminada a secagem, os tabuleiros com as amostras foram retirados das estufas e procedendo-se ao seu arrefecimento à temperatura ambiente. De seguida, as amostras foram ensacadas e armazenadas.

4.2.2.3. Desagregação das amostras

Uma vez terminada a secagem passou-se ao processo de desagregação das amostras, promovendo a separação das suas partículas constituintes. Este processo foi efetuado com recurso a um moinho de maxilas Retsch – BB200, com maxila móvel posicionada no ponto zero da escala de aberturas, significando o espaçamento mais curto entre maxilas. A opção por este equipamento tem a ver com a tentativa de se reproduzir o que se fará industrialmente, em fase mais avançada do projeto.

Optou-se por um despejo na torva do moinho, bastante lento evitando-se assim possíveis encravamentos, algo já experimentado em investigações anteriores. De facto, a granulometria das natas, constituída por partículas extremamente finas, faz com que rapidamente o material se acumule na saída do moinho, levando ao seu empapamento e conseqüente encravamento. Este processo revelou-se bastante moroso atendendo à grande quantidade de material que cada amostra possui.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



21

Este processo de desagregação foi fundamental para a preparação de provetes laboratoriais com vista aos variados ensaios de caracterização, tendo a nata de cada amostra sido guardada em sacos de 5 kg, em quatro sacos de 1 kg e 1 saco de 2 kg para utilização imediata. As figuras seguintes ilustram este procedimento.



Fig. 15 – Moinho de maxilas e processo de desagregação das amostras.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



22



Fig. 16 – Pormenor dos fragmentos da nata em tabuleiro e introdução na torva do moinho.

Depois de desagregadas, as amostras foram pesadas em frações de 5 kg, posteriormente devidamente ensacadas e armazenadas para futura utilização na realização de ensaios e testes laboratoriais de caracterização física, química e mineralógica, testes de cozedura e preparação de misturas.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



23



Fig. 17 – Pesagem das amostras em lotes de 5 kg, depois de desagregadas.

4.2.2.4. Ensaios de caracterização

Foram realizadas as caracterizações física e química das amostras de nata e agregados. Primeiramente será feita referência aos testes realizados com as amostras de nata, seguindo-se as referências aos testes realizados em amostras de agregados.

As amostras de nata caracterizadas são 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 – Mármore de Alcobaça, Lda.

As amostras de agregados caracterizadas são as seguintes:

- BA – Bago de arroz;
- B1 – Brita 1;
- B2 – Brita 2

4.2.2.4.1. Análise granulométrica

A distribuição granulométrica das partículas constituintes das amostras de nata é obtida pela conjugação das análises granulométricas da fração composta pelas partículas de diâmetro esférico equivalente (d.e.e.) $> 0,063$ mm e da fração composta pelas partículas de diâmetro esférico equivalente (d.e.e.) $< 0,063$ mm.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



24

A distribuição granulométrica da fração constituída pelas partículas de d.e.e. > 0,63 mm, foi determinada por peneiração, segundo a Norma E234-1969, Especificação LNEC, Agregados, Análise Granulométrica de Filer.

A título exemplificativo, apresenta-se o gráfico que regista o resultado obtido para a análise granulométrica por peneiração realizada à amostra de nata M (A) (Fig. 18).

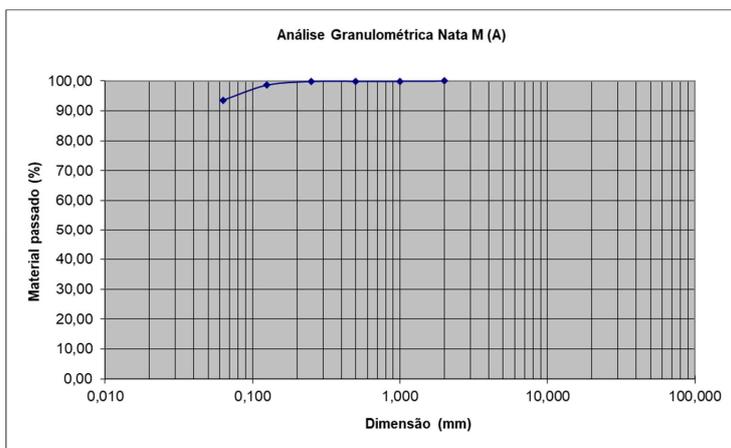


Fig. 18 - Distribuição granulométrica da fração > 0,063 mm de M(A).

As análises granulométricas da fração inferior a 63 μm foram efetuadas no Laboratório Ambiterria, da Universidade de Évora.

A distribuição dimensional das partículas constituintes a fração < 0,063mm foi determinada com recurso a um sedimentógrafo, da marca Micromeritics, modelo Sedigraph 5100, com fontes de raios-X. Para uma melhor dispersão dos grãos das amostras a analisar, fez-se uma agitação de 2,5 g de amostra com 200 ml de uma solução dispersante de hexametáfosfato de sódio (37,5 g de hexametáfosfato de Na + 7,94 g de Na_2CO_3 /1000 ml), numa 1ª etapa em banho de ultrassons e numa 2ª etapa em agitador magnético até ao momento da análise. Sempre em agitação, foram retirados com seringa 50 ml da mistura da amostra com a solução dispersante que foram introduzidos no copo do equipamento, tendo sido quantificadas 96 frações das duas classes granulométricas, silte e argila, compreendidas entre 63 μm e 0,25 μm .

A figura 19 reflete o resultado obtido para a análise granulométrica obtida para a amostra M (A), com recurso ao Sedigraph.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



25

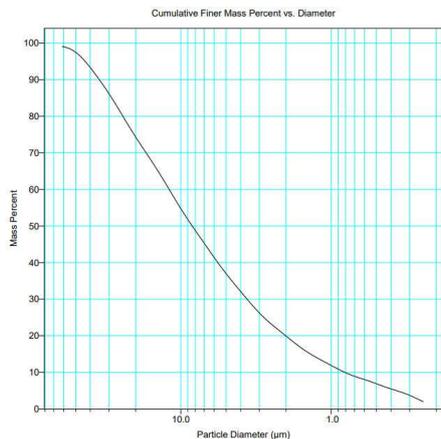


Fig. 19 - Distribuição granulométrica da fração $< 0,063 \text{ mm}$ de M(A).

A título de exemplo, apresenta-se na figura 20 o gráfico relativo às curvas granulométricas das misturas de nata calcária e marmórea sujeitas a calcinação durante 15 minutos à temperatura de $950 \text{ }^\circ\text{C}$.

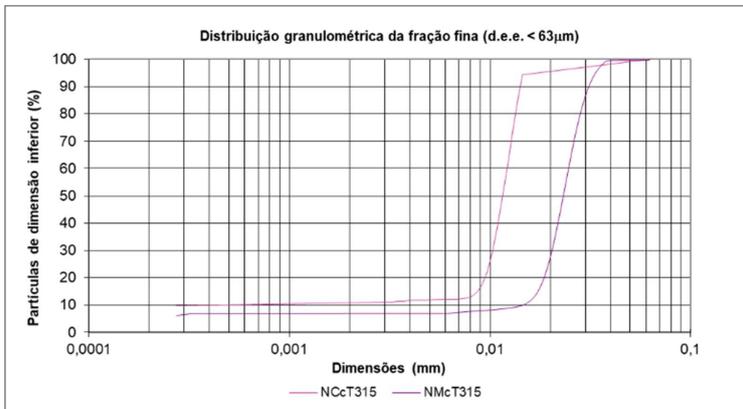


Fig. 20 - Distribuição granulométrica de nata calcinada NCc (resultante de calcinação da mistura C(S) + C(MVC)) e de nata calcinada NMc (resultante de calcinação da mistura M(A) + M(AGF)).

A distribuição granulométrica das partículas constituintes das amostras de agregados foi determinada de acordo com a norma NP EN 933-1 2000, tendo-se utilizado os peneiros $8,00 \text{ mm}$,

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



26

6,30 mm, 4,00 mm, 2,00 mm, 1,00 mm, 0,50 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, 0,063 mm para o agregado bago de arroz e os peneiros 31,5 mm, 25 mm, 20 mm, 16 mm, 14 mm, 12,5 mm, 10,00 mm, 8,00 mm, 6,30 mm, 4,00 mm, 2,00 mm, 1,00 mm, 0,50 mm, 0,25 mm, 0,125 mm e 0,063 mm para a brita 1 e brita 2.

Na figura 21, apresenta-se como exemplo a representação gráfica dos resultados obtidos para a distribuição granulométrica da amostra de Brita 2.

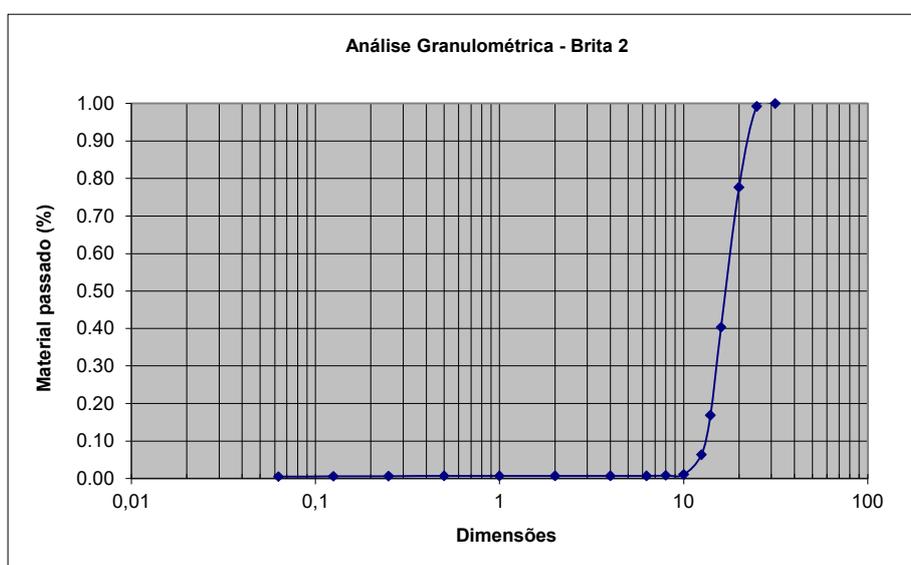


Fig. 21 - Distribuição granulométrica da brita 2.

Com base na informação obtida das respectivas análises granulométricas, pode-se projectar misturas destes inertes com vista à obtenção de uma composição mais adequada para a preparação dos provetes de compósito resultante da mistura dos inertes com o ligante.

4.2.2.4.2. Limites de consistência

A determinação dos Limites de Atterberg ou de Consistência, segundo a Norma NP 143 – 1969, teve como objectivo complementar a caracterização das amostras de nata.

Verificou-se que as amostras de nata são não plásticas, atribuindo-se a classificação NP, não tendo sido possível determinar os limites de liquidez e de plasticidade.

4.2.2.4.3. Massa volúmica, densidade aparente e absorção de água

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



27

Para determinação da massa volúmica da nata, fundamental para a formulação das composições, foi utilizada a norma NP EN 1097-7 2002 - Determinação da massa volúmica do filler – Método do Picnómetro. Os picnómetros utilizados foram de 50ml e estão ilustrados na figura 22.

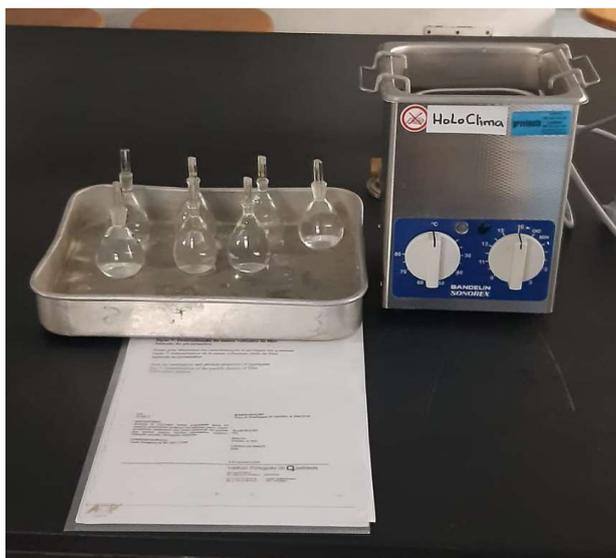


Fig. 22 - Picnómetros utilizados na determinação da massa volúmica das natas.

Os resultados obtidos para a nata de calcário e de mármore estão contidos na tabela 2.

Tabela 2 – Massa volúmica das natas de calcário e mármore.

Material	Massa volúmica (g/cm ³)
M(A)	2,537
M(AGF)	2,559
C(S)	2,490
C(MVC)	2,493

Foi igualmente determinada a densidade e absorção de água dos agregados. Como exemplo apresenta-se na tabela 3 os resultados obtidos para o bago de arroz, os quais se determinaram com base na Norma NP 581 1969.

Tabela 3 - Densidades e absorção do bago de arroz.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



28

Densidade aparente as partículas (g/cm ³)	2,77
Densidade das partículas saturadas (g/cm ³)	2,72
Densidade das partículas saturadas com a superfície seca (g/cm ³)	2,74
Absorção de água (%)	0,67

4.2.2.4.4. Caracterização química das amostras recolhidas

As composições químicas efetuadas às natas tal e qual e calcinadas, foram determinadas no Laboratório Ambiterra, da Universidade de Évora a partir das frações < 63 µm, tendo-se determinado a perda ao rubro e os teores dos seguintes elementos maiores: Mn, Ti, Ca, K, Si, Al, Mg, Na e Fe, expressos sob a forma de óxidos: MnO, TiO₂, CaO, K₂O, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Na₂O e Fe₂O₃ (Tabela 4) e de menores: As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Nb, Ni, Pb, Sr, W, Zn (Tabela 5), através de Espectroscopia de Emissão Ótica com fonte indutiva de plasma (ICP-OES).

A preparação química das amostras envolveu dois processos distintos:

- (2) Fusão a 1000 °C, seguindo uma adaptação do método utilizado no Departamento de Geologia do Imperial College para a determinação de elementos maiores e de alguns elementos traço, por ICP-OES (“Whole Rock Analysis Package” [5]). Este método foi aplicado para a análise de elementos maiores (Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, Si, Ti) e menores existentes em minerais refratários e/ou de difícil dissolução (Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Sr). Para a fusão, as amostras foram misturadas e homogeneizadas com fundente Spectroflux 100B (80% LiBO₂ e 20% Li₂B₄O₇) segundo a proporção (0,25 g de amostra: 0,75 g de fundente), e fundidas em cadinhos de grafite pura colocados numa mufla, durante 20 minutos a 1000 °C. A pérola fundida foi posteriormente dissolvida em solução nítrica 2 M até um volume de 100 ml.

- (2) Digestão total com solução tri-ácida HCl-HNO₃-HF em unidade de digestão de micro-ondas de alta pressão (Anton Paar Multiwave PRO), segundo uma adaptação da metodologia U.S.EPA3052 [6]. Este método foi aplicado a elementos que volatilizam a altas temperaturas: As, Cd, Nb, Pb, W e Zn. A dissolução das amostras com a solução ácida foi precedida por uma digestão em vaso aberto com peróxido de hidrogénio a 35%, de forma a facilitar a libertação da matéria orgânica. A digestão ácida fez-se por 2 etapas: HCl-HNO₃ e HF. De forma a eliminar a interferência do ácido fluorídrico na análise dos elementos químicos, após os ciclos de digestão, evaporaram-se as misturas ácidas em banho de areia a temperatura homogénea e não superior a 80 °C de forma a evitar a volatilização dos elementos químicos, recuperaram-se os digeridos com solução 1,5 M de ácido nítrico.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



29

As soluções provenientes da fusão e da digestão, foram analisadas através de espectrometria de emissão ótica com fonte induzida de plasma (ICP-OES), Perkin-Elmer, OPTIMA 8300 operado nas seguintes condições: fluxo do plasma —8 L/min; fluxo do gás auxiliar—0,4 L/min; fluxo da nebulização—0,50 L/min; fluxo da amostra—1,50 ml/min; velocidade da bomba: 0,9 ml/min, sem flush, RF potência—1300 watts; Nebulizador: GemCone High Dissolved solids— 1 a 3 ml/min; modos de visão—radial e axial (em simultâneo); tempo de leitura—2–5 s; delay—60 s. A análise química destas amostras contemplou duas réplicas por cada amostra, de forma a se obter um maior rigor analítico.

Para a análise da perda ao rubro, as amostras foram calcinadas às temperaturas de 950 °C, 1000 °C e 1100 °C, numa mufla Termolab MLM12-12L. As massas das amostras foram registadas antes e depois da calcinação, tendo-se obtido a percentagem relativamente à diferença das massas.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



30

Tabela 4 – Percentagem dos elementos maiores nas natas tal e qual e calcinadas.

AMOSTRAS	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	MnO (%)
NCcT115	0,228	0,297	50,782	0,289	0,073	0,073	0,597	0,004
NCcT215	0,252	0,315	51,973	0,308	0,079	0,076	0,575	0,004
NCcT315	0,325	0,386	64,260	0,364	0,104	0,068	0,513	0,005
NCcT345	0,379	0,473	77,877	0,438	0,115	0,070	0,469	0,005
NCcT415	0,346	0,466	71,580	0,446	0,102	0,076	0,526	0,005
NCcT515	0,404	0,447	78,830	0,461	0,111	0,059	0,461	0,005
NMcT115	0,628	2,839	48,611	1,904	0,237	0,273	0,592	0,018
NMcT215	0,627	3,144	53,251	2,137	0,260	0,303	0,635	0,020
NMcT315	0,711	3,574	60,337	2,365	0,282	0,348	0,589	0,022
NMcT345	0,883	4,575	76,117	3,168	0,344	0,421	0,660	0,029
NMcT415	0,779	3,934	65,497	2,821	0,304	0,392	0,581	0,026
NMcT515	0,934	4,785	75,817	2,575	0,360	0,344	0,633	0,024
M(AGF)	0,545	2,549	45,504	3,156	0,228	0,253	0,564	0,030
C(MVC)	0,278	0,357	52,580	0,337	0,089	0,092	0,583	0,004
C(S)	0,276	0,297	54,189	0,301	0,089	0,143	0,620	0,004
M(A)	0,716	3,537	51,555	0,829	0,274	0,362	0,670	0,008

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



31

Tabela 5 – Elementos menores e perda ao rubro das natas tal e qual e calcinadas.

AMOSTRAS	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Sr	Cd	Pb	Zn	As	Nb	W	LOI
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(%)									
NCcT115	20,089	< 4,00	18,236	27,570	< 4,00	151,304	0,400	0,623	4,674	< 0,200	< 0,500	< 0,500	42,87
NCcT215	4,249	< 4,00	15,871	25,226	< 4,00	169,257	0,295	0,519	4,600	< 0,200	< 0,500	< 0,500	43,02
NCcT315	10,755	< 4,00	13,672	22,698	< 4,00	203,750	0,244	0,628	4,808	< 0,200	< 0,500	< 0,500	29,34
NCcT345	15,948	< 4,00	14,247	19,755	5,250	241,031	0,214	1,226	5,888	< 0,200	< 0,500	< 0,500	15,48
NCcT415	6,157	< 4,00	13,936	21,046	< 4,00	221,332	0,195	0,872	5,672	< 0,200	< 0,500	< 0,500	23,59
NCcT515	6,779	< 4,00	13,851	22,542	< 4,00	245,575	0,196	0,620	5,728	< 0,200	< 0,500	< 0,500	16,35
NMcT115	39,832	20,498	13,035	17,775	< 4,00	172,885	0,152	0,601	5,264	< 0,200	< 0,500	< 0,500	41,70
NMcT215	47,772	23,053	15,101	18,201	< 4,00	193,959	0,128	0,474	5,112	< 0,200	< 0,500	< 0,500	37,76
NMcT315	46,120	26,776	16,299	20,328	< 4,00	222,926	0,140	0,650	5,843	< 0,200	< 0,500	< 0,500	30,43
NMcT345	58,160	30,621	16,554	22,744	< 4,00	279,202	0,140	0,683	5,712	< 0,200	< 0,500	< 0,500	14,70
NMcT415	55,102	28,456	16,611	19,715	< 4,00	239,326	0,184	0,755	5,099	< 0,200	< 0,500	< 0,500	25,76
NMcT515	58,977	41,739	16,898	28,851	< 4,00	290,268	0,149	0,750	5,464	0,200	< 0,500	< 0,500	12,45
M(AGF)	45,521	< 4,00	16,202	19,326	< 4,00	164,548	0,117	0,566	7,562	< 0,200	< 0,500	< 0,500	42,97
C(MVC)	5,502	< 4,00	15,953	20,781	4,000	176,361	0,126	0,387	5,270	< 0,200	< 0,500	< 0,500	43,50
C(5)	18,858	< 4,00	24,603	21,607	4,228	162,179	0,145	< 0,300	7,973	< 0,200	< 0,500	< 0,500	43,30
M(A)	45,009	38,999	30,762	28,690	6,517	221,344	0,122	0,678	10,124	0,500397	< 0,500	< 0,500	42,15

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



32

4.2.2.4.5. Composição mineralógica das natas

As amostras previamente desagregadas foram sujeitas a peneiração, obtendo-se a fração composta pelas partículas de diâmetro esférico equivalente inferior a 63 μm . Esta fração, denominada “amostra total”, permite efetuar uma análise mineralógica global. A título de exemplo apresenta-se o conjunto de difratogramas correspondentes aos calcários tal e qual e calcinados (Fig. 23).

As determinações da composição mineralógica foram efetuadas no Laboratório Hércules da Universidade de Évora. O método analítico utilizado nos estudos realizados foi o método das poeiras cristalinas, sendo o modelo de difração (técnica de difractometria de pós) registado sob a forma de gráfico ou de espectro de difração.

Recorreu-se à técnica de difração de raios-X em pós (DRX). A composição mineralógica das lamas carbonatadas foi obtida por num difratômetro Bruker D8 Discover, instalado no Laboratório Hércules (Universidade de Évora), com um tubo de radiação $\text{CuK}\alpha$ operado a 40 kV e 40 mA e um detetor linear Lynxeye. Os difratogramas foram medidos entre 3° a $75^\circ 2\theta$, usando um passo e tempo de registo por passo de $0,05^\circ$ e 1s, respetivamente. As fases cristalinas foram identificadas recorrendo à base de dados PDF-ICDD (Powder Diffraction Database da International Center for Diffraction Data) e ao software Bruker EVA (versão 5.0).

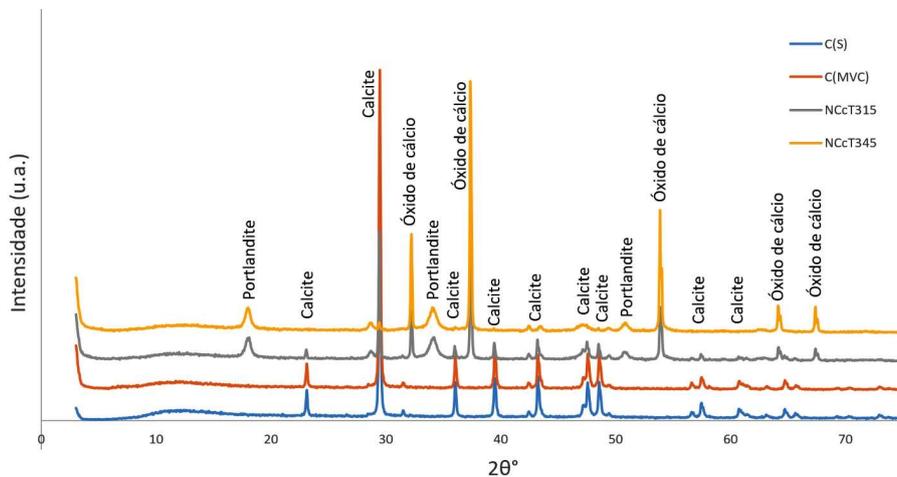


Fig. 23 – Difratogramas correspondentes às amostras de nata de calcário tal e qual e calcinado.

4.2.3. Cozedura a diferentes temperaturas e com diferentes tempos (T2.3.)

Cofinanciado por:



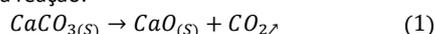


INEDITBROWN



33

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:



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.

4.2.4. Caracterização física, química e mineralógica dos produtos calcinados (T2.4.)

Na T2.4 a caracterização física das natas calcinadas incidiu fundamentalmente na determinação da massa volúmica do óxido de cálcio, essencial para as formulações futuras de ligante. Tratando-se de um material altamente recativo à água, essa determinação não pode ser feita de forma tradicional, como se faz para os solos, sendo necessário um picnómetro de hélio. Até à data, essa determinação ainda não foi possível visto o picnómetro do Laboratório Hércules ainda não se encontrar operacional. A caracterização química dos produtos calcinados das natas tal e qual e calcinadas, foram determinadas no Laboratório Ambiterro, da Universidade de Évora, tendo-se determinado a perda ao rubro (Tabela 5) e os teores dos seguintes elementos maiores: Mn, Ti, Ca, K, Si, Al, Mg, Na e Fe, expressos sob a forma de óxidos: MnO, TiO₂, CaO, K₂O, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Na₂O e Fe₂O₃ (Tabela 4) e de menores: As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Nb, Ni, Pb, Sr, W, Zn (Tabela 5) através de Espectroscopia de Emissão Ótica com fonte indutiva de plasma (ICP-OES). Os ensaios de reatividade foram também efetuados na Universidade de Évora e tiveram como base a norma ASTM C110- 15, com quantidades adaptadas para o material utilizado, devido à limitação de matéria-prima disponível. A composição mineralógica das natas calcinadas encontra-se referida na figura 23.

4.2.4.1. 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

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



34

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 6.

Tabela 6 – 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.

4.2.4.2. 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. 24) apresenta os resultados anteriormente obtidos, onde foram incorporados os mais recentes resultados das natas calcinadas.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



35

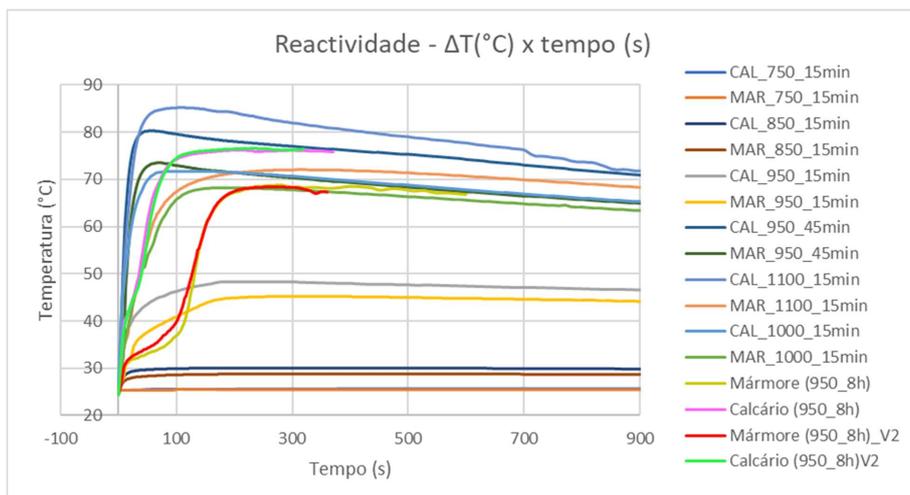


Figura 24 - Resultados dos ensaios de reatividade, mostrando a variação da temperatura no tempo, resultante da adição de nata calcinada à água destilada.

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 CaCO_3 , 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 mármore, tendo-se obtido respetivamente 76,70 °C e 68,50 °C.

4.2.4.3. 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

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



marmóreas calcinadas são referenciadas com ANMC11 R2 52/48 (52/144), ANMC12 R2 50/50 (50/150). Os gráficos constantes nas figuras 25 e 26 apresentam os testes de viscosidade utilizando a resina 2 com nata calcária *tal e qual* e calcinada.

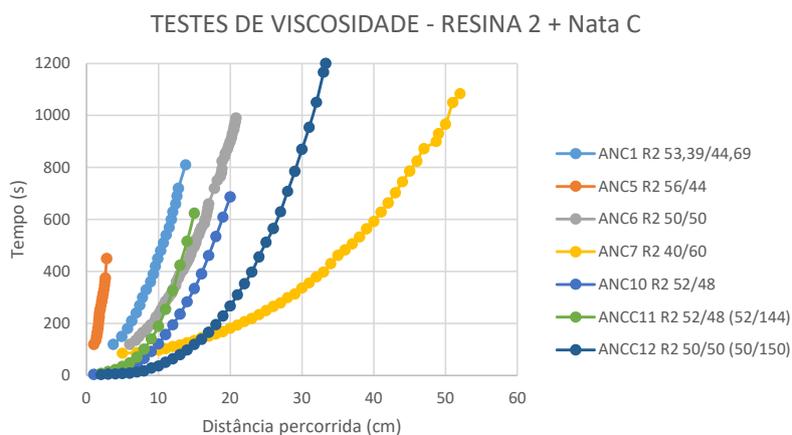
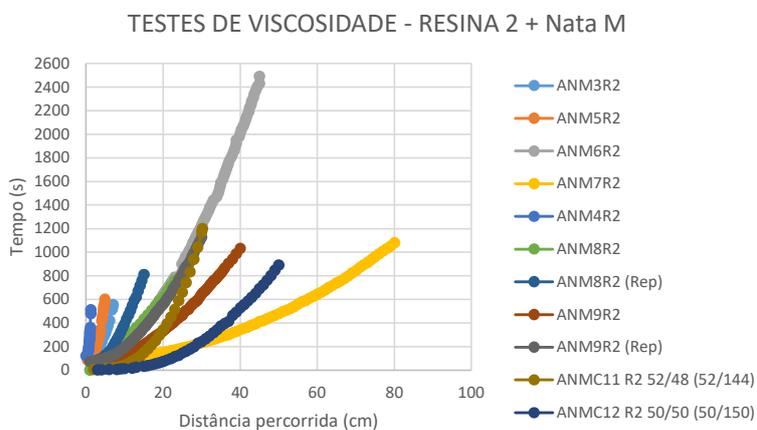


Figura 25 – Tempo vs Distância na determinação das viscosidades das diferentes amostras nata calcária.



Cofinanciado por:





INEDITBROWN



37

Figura 26 – 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.

4.2.5. Formulação de argamassa constituída unicamente por “nata” (T2.5.)

Antes de se partir para formulações com resina, realizaram-se algumas experiências unicamente com nata, a pequena escala. A nossa experiência resultante de trabalhos anteriores com natas provenientes do corte e polimento de rochas ornamentais carbonatadas, a que não é alheio também, o facto de todas as condicionantes provocadas pela pandemia ter-nos atrasado a investigação, em relação ao cronograma inicial, a equipe optou por não investir num estudo profundo neste capítulo.

Na realidade, o fraco poder aglutinante e a baixa trabalhabilidade da nata, algo evidenciada pelo resultado obtido nos limites de Atterberg, não garante que a nata só por si constitua argamassa e funcione como ligante numa formulação.

A comprová-lo foi o resultado obtido nos ensaios prévios, onde se adicionou à nata uma pequena percentagem de resina.

A sequência fotográfica da figura 27, ilustra o que foi descrito atrás, observando-se na foto A a nata de mármore tal e qual de cor branca e a nata de mármore calcinado de cor creme. Na foto B observa-se alguns resultados, onde está bem patente o aspeto desagregado da nata. Note-se que se realizou uma mistura de 85% de nata e 15% de resina. Na foto C está o resultado de uma mistura manual de 80% de nata de mármore calcinado e 20% de resina poliéster.

Apesar do carácter empírico destas experiências, elas foram determinantes para a fase seguinte, pois permitiram uma aproximação das proporções entre nata e resina.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN

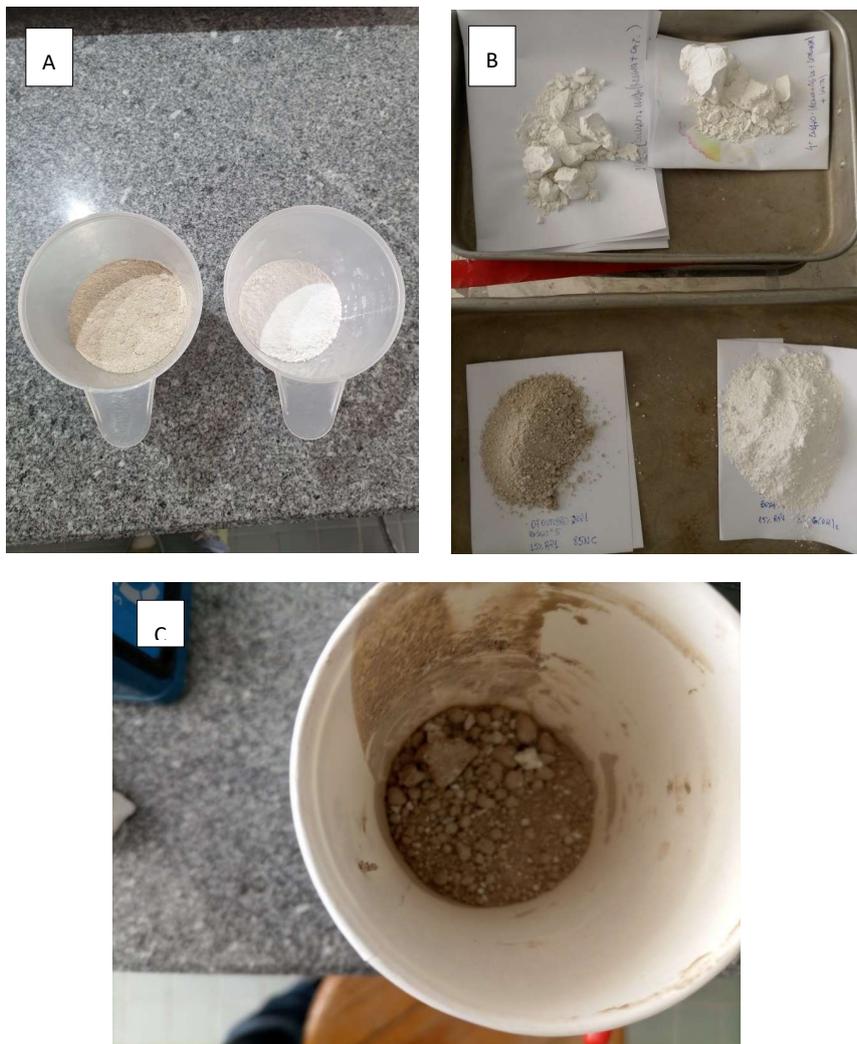


Fig. 27 – Misturas manuais de nata com pequena percentagem de resina poliéster.

4.2.6. Caracterização física, química e mecânica da argamassa (T2.6.)

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



39

Pelo que foi referido no ponto anterior, a equipe decidiu não investir nesta linha de investigação, apostando em formulações que garantissem algum sucesso como ligante, pelo que não faria qualquer sentido avançar-se para provetes de maiores dimensões, nem com a caracterização física, química e mecânica.

4.2.7. Formulação de argamassas com diferentes contributos percentuais de nata e resina (T2.7.)

Estes ensaios foram inicialmente realizados em pequenos copos plásticos e com mistura manual, tendo-se optado fundamentalmente por testar natas calcinadas com resina Crystic 446 (Poliester), referida na tabela 7 como Res 1, tendo-se efectuado também alguns ensaios preliminares em nata tal e qual.

Tabela 7 – Formulações preliminares.

NCc + H2O + Res 1 (85% + 15%)	Nata calcário calcinado (85%) reagido com água e resina 1 (15%)
NCc + H2O + Res 1 (50% + 50%)	Nata calcário calcinado (50%) reagido com água e resina 1 (50%)
NCc + H2O + Res 1, 70% + 30%	Nata calcário calcinado (70%) reagido com água e resina 1 (30%)
NMc + H2O + Res 1, 50% + 50%	Nata mármore calcinado (50%) reagido com água e resina 1 (50%)
NMc + H2O + Res 1, 70% + 30%	Nata mármore calcinado (70%) reagido com água e resina 1 (30%)
NMc + Res 1, 70% + 30%	Nata mármore calcinado (70%) e resina 1 (30%)
NMc + Res 1, 50% + 50%	Nata mármore calcinado (50%) e resina 1 (50%)
NCt&q + Res1, 50% + 50%	Nata de calcário tal e qual (50%) e resina 1 (50%)
NCt&q + Res1, 70% + 30%	Nata de calcário tal e qual (70%) e resina 1 (30%)
NMt&q + Res1, 50% + 50%	Nata de mármore tal e qual (50%) e resina 1 (50%)
NMt&q + Res1, 70% + 30%	Nata de mármore tal e qual (70%) e resina 1 (30%)

Dos testes realizados sobressai o facto de as natas calcinadas e previamente sujeitas à reacção exotérmica com a água, após a adição com a resina, resultou numa mistura difícil com a libertação da água devido à imiscibilidade entre esta e a resina. Após secagem à temperatura ambiente resultaram provetes com superfícies irregulares, se bem que apresentando um aspecto relativamente homogéneo no seu interior, porém com uma proliferação generalizada de nódulos de nata (Figura 28).

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



40

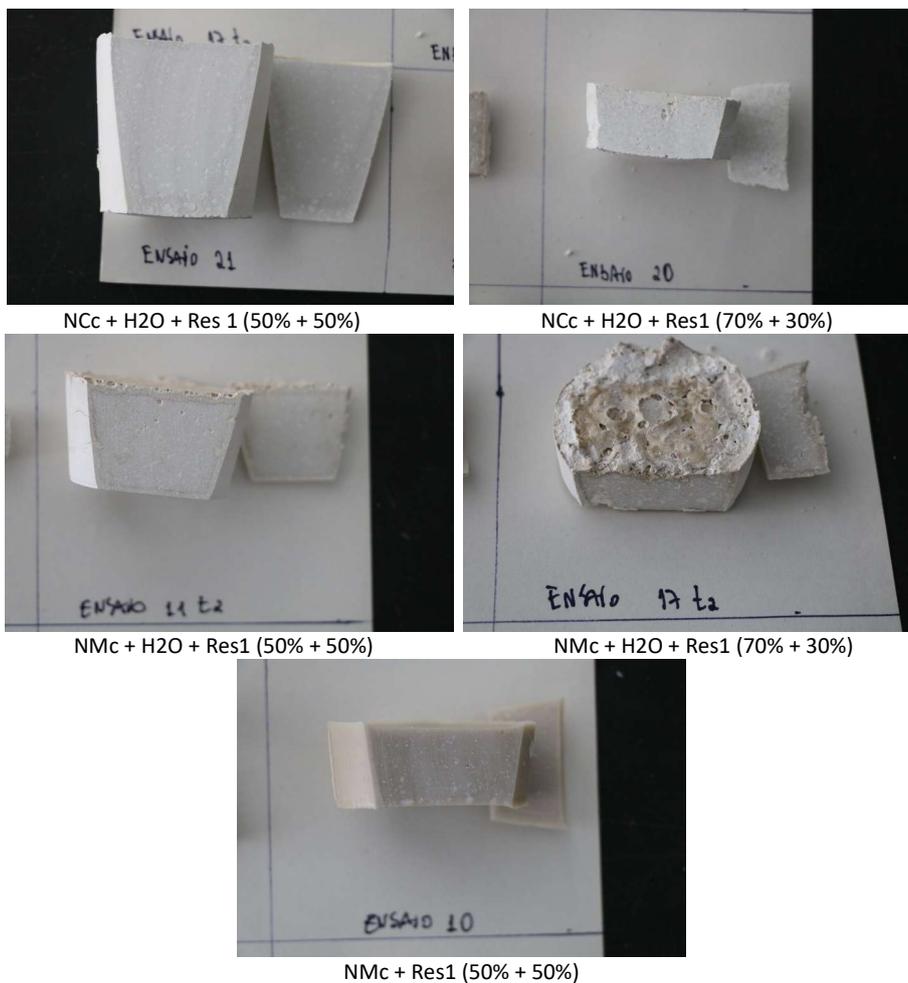


Fig. 28 – Provets resultantes do ensaio preliminar, onde se procedeu à mistura de natas calcinadas e resina 1 (Crystic 446).

Na figura 29 abaixo, pode-se observar os provets resultantes das misturas de nata (não calcinada) e resina. Notou-se melhor trabalhabilidade da mistura, resultando em provets mais homogéneos.

Cofinanciado por:

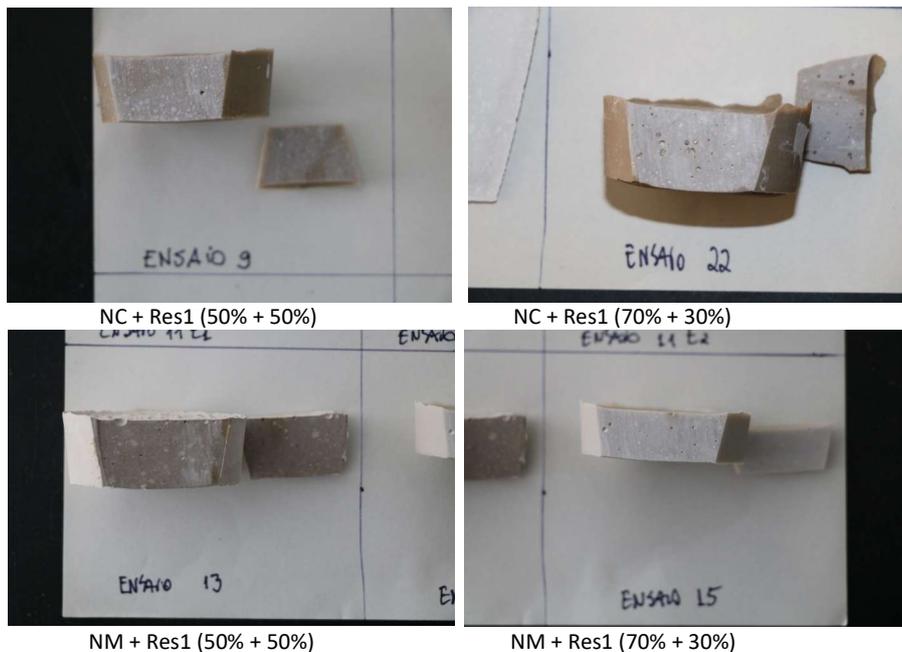




INEDITBROWN



41



NC + Res1 (50% + 50%)

NC + Res1 (70% + 30%)

NM + Res1 (50% + 50%)

NM + Res1 (70% + 30%)

Fig. 29 – Provetes resultantes das misturas de nata e resina 1 (Crystic 446).

Das amassaduras de nata (não calcinada) resultaram provetes compactos. Porém, à semelhança do observado nos provetes realizados com nata calcinada, também estes revelaram proliferação de nódulos brancos, sendo esse o principal “defeito” observado. Estamos em crer que tal se deveu ao facto da homogeneização das misturas se ter realizado manualmente (Figura 30), não tendo sido possível desagregar-se eficazmente todos os grânulos de nata.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



42



NCc + H₂O + Res 1 (70% + 30%)



NMc + Res 1 (50% + 50%)

Fig. 30 – Exemplos de misturas manuais.

A figura anterior é reveladora da expulsão da água, na mistura de nata de calcário calcinado, reagido previamente com água e posteriormente misturado com resina. Tal fenómeno não se verifica no segundo exemplo, onde se efectuou somente a mistura da nata de mármore calcinado com a resina. No entanto, são visíveis os grânulos que após secagem se revelariam no interior dos provetes.

Com vista à eliminação de algumas dúvidas surgidas relativamente ao comportamento da nata calcinada misturada com a resina, numa segunda fase realizaram-se ainda mais ensaios, tendo-se confirmado os resultados anteriormente obtidos.

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 31, 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).

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



43

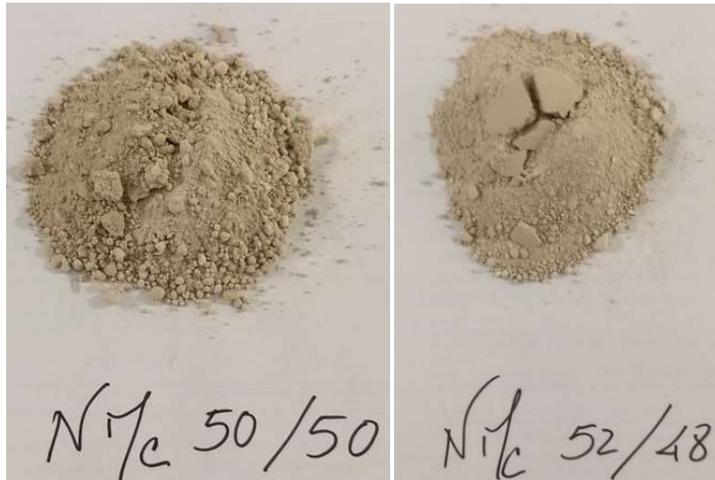


Figura 31 – Nata de mármore calcinada nas proporções de 50/50 e 52/48.

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 32.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



44

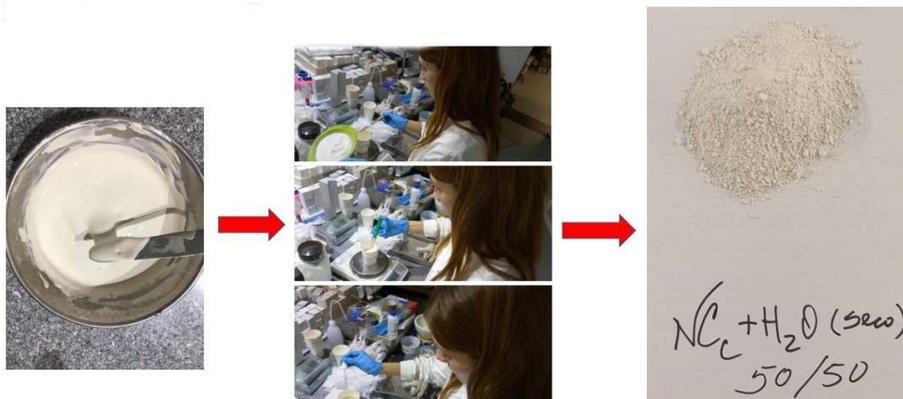


Figura 32 – Sequência do ensaio com nata calcária calcinada na proporção de 50/50.

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. 33), tendo sido facilmente miscíveis e permitindo conformação como pode ser observado na figura abaixo.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



45

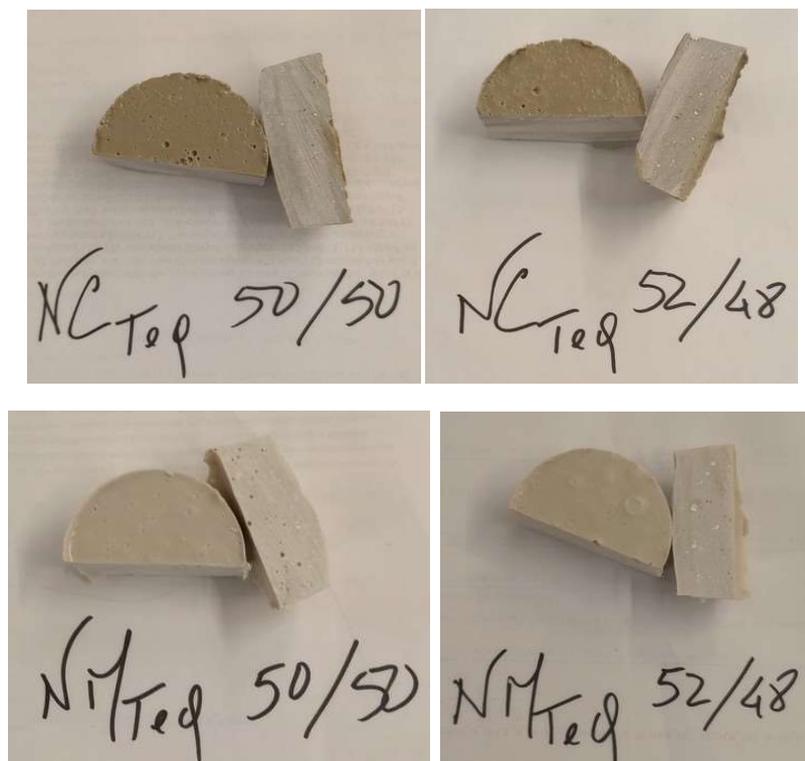


Figura 33 – Misturas de nata calcária e marmórea tal e qual com resina R2.

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.

4.2.8. Caracterização mecânica da argamassa constituída por nata e resina (T2.8.)

A caracterização mecânica da argamassa é fundamental para validar o desempenho do ligante, uma vez que o seu comportamento mecânico será condicionante do comportamento mecânico dos compósitos que o incorporem.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



46

Nesta fase importava avaliar a resistência à compressão uniaxial das diversas formulações em apreciação. Com base nos resultados assim obtidos, em conjugação com os resultados da caracterização física dessas formulações referidas anteriormente, será então possível definir a composição ótima do ligante.

Assim, foram preparadas várias formulações de ligante (argamassa) para moldagem de provetes. O processo de mistura foi agora realizado de forma mecânica.

As amassaduras foram preparadas, tendo a mistura sido efetuada com recurso a um misturador mecânico e depositadas em moldes de 15 cm x 15 cm x 15 cm conforme ilustrado na figura 34.



Fig. 34 – Mistura mecânica e deposição no molde da argamassa.

Na figura 35 observa-se duas formulações já depositadas em moldes e previamente vibradas mecanicamente para a sua compactação e libertação das bolhas de ar, seguindo-se um período de cura até à desmoldagem.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



47



Fig. 35 – Moldes cúbicos preenchidos com as amassaduras de ligante.

Por corte posterior destes provetes, obtiveram-se provetes cúbicos de 5 cm x 5 cm x 5 cm. Deste modo, por cada amassadura foram obtidos 27 provetes que foram posteriormente ensaiados com 3 tempos de cura (7 dias, 14 dias e 28 dias).

A figura 36 ilustra os cubos após desmoldagem, constatando-se a uniformidade das superfícies e aparentemente não evidenciando defeitos estruturais.



Fig. 36 – Cubos de ligante após desmoldagem.

Terminado os primeiros sete dias de cura, as formulações foram desmoldadas e procedeu-se ao seu corte (Fig. 37) em provetes cúbicos (5 cm x 5 cm x 5 cm) (Fig. 38) .

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



48



Fig. 37 – Corte com recurso a um charriot munido de disco diamantado.



Fig. 38 – Provetes cúbicos de uma formulação de ligante para realização de ensaios de compressão uniaxial.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



A determinação da resistência à compressão uniaxial foi feita de acordo com a norma NP EN 1926:2008.

A título de exemplo, nas tabelas 8 e 9 estão registados os resultados dos ensaios de compressão dos provetes resultantes de amassaduras preparadas com natas diferentes e com a mesma percentagem de resina 1 e 2, respetivamente.

Tabela 8 - Resistência à compressão dos provetes elaborados com 44% de resina Crystic 446MPA35 e 56% de nata em 3 idades distintas.

Tipo	Idade	Referência	R(Mpa)	Desvio Padrão (MPa)
Formulação com NC	7 dias	RC_ANC1 R1_7dias (56%/44%)	89,5	10,9
	14 dias	RC_ANC1 R1_14dias (56%/44%)	86,6	11,2
	28 dias	RC_ANC1 R1_28dias (56%/44%)	117,8	9,1
Formulação com NM	7 Dias	RC_ANM1 R1_7dias (56%/44%)	99,8	9,2
	14 dias	RC_ANM1 R1_14dias (56%/44%)	110,6	12,7
	28 dias	RC_ANM1 R1_28dias (56%/44%)	102,3	6,9

Tabela 9 - Resistência à compressão dos provetes elaborados com 50% de resina Recapoli 2196 e 50% de nata em 2 idades distintas.

Tipo	Idade	Referência	R(Mpa)	Desvio Padrão (MPa)
Formulação com NC	14 dias	RC_ANC4 R2_14dias (50%/50%)	86,1	1,1
	28 dias	RC_ANC4 R2_28dias (50%/50%)	102,1	1,4
Formulação com NM	14 dias	RC_ANM4 R2_14dias (50%/50%)	81,1	2,2
	28 dias	RC_ANM4 R2_28dias (50%/50%)	98,4	3,0

Cruzando os dados preliminares de resistência à compressão uniaxial com os dados obtidos nos testes de viscosidade das diferentes amassaduras, foi possível perceber que a resina Recapoli 2196 apresenta melhor desempenho, razão pela qual foi esta a resina escolhida para a continuação dos trabalhos e desenvolvimento do protótipo. Do mesmo modo foi ainda possível definir que a melhor formulação para o ligante corresponde a 52% de nata / 48% Resina Recapoli 2196.

4.3. Construção de protótipos (A3)

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 intercalar nº 02/2022 já é feita uma abordagem às formulações constituídas por agregado marmóreo, composto por bago

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



50

de arroz, brita 1 e brita 2, provenientes da Empresa Marvisa, e ligante constituído por nata e resina Recapoli 2196 (R2).

4.3.1. Elaboração de provetes com mistura de agregado britado de mármore em argamassas selecionadas (T3.1.)

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. 39A). 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. 39B), seguindo-se uma fase de vibração com equipamento vibrador (Fig. 39C), para libertação de bolhas de ar (Fig. 39D) e compactação da mistura.



Cofinanciado por:





INEDITBROWN



Figura 39 – 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 10, tendo-se variado a nata calcária (Nata Cal) e a nata marmórea (Nata Mar) no ligante.

Tabela 10 – 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)

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



52

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. 40) e cortadas em provetes cúbicos com 5 cm de aresta (Fig. 41), tendo-se obtido 27 provetes que foram posteriormente ensaiados com os 3 tempos de cura em ensaio de resistência mecânica à compressão.



Figura 40 – Desmoldagem de uma das formulações.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



53



Figura 41 - 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.

4.3.2 Caracterização físico-mecânica dos provetes (T3.2.)

A caracterização 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 11 resumem-se os valores obtidos para cada uma das formulações.

Tabela 11 – Resistência mecânica à compressão efetuada às diferentes formulações.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



54

	Formulações	R (MPa)	Desvio Padrão	Nº Provetes
7 Dias	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
	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
14 Dias	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
	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
28 Dias	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
	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.

4.3.3. Elaboração de provetes com mistura de agregado britado de mármore e argamassas selecionadas – Nova Fase (T3.1.)

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

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



55

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. 41) e as pesagens efetuadas na véspera dos dias das formulações.

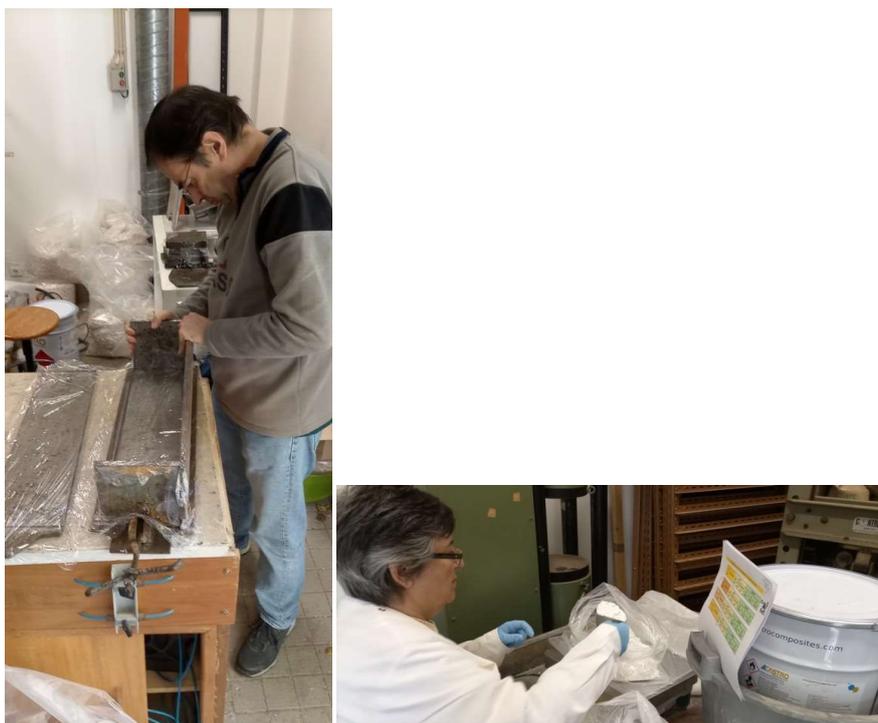


Figura 41 – Preparação dos moldes e pesagem das matérias-primas.

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. 42).

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. 42).

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



56

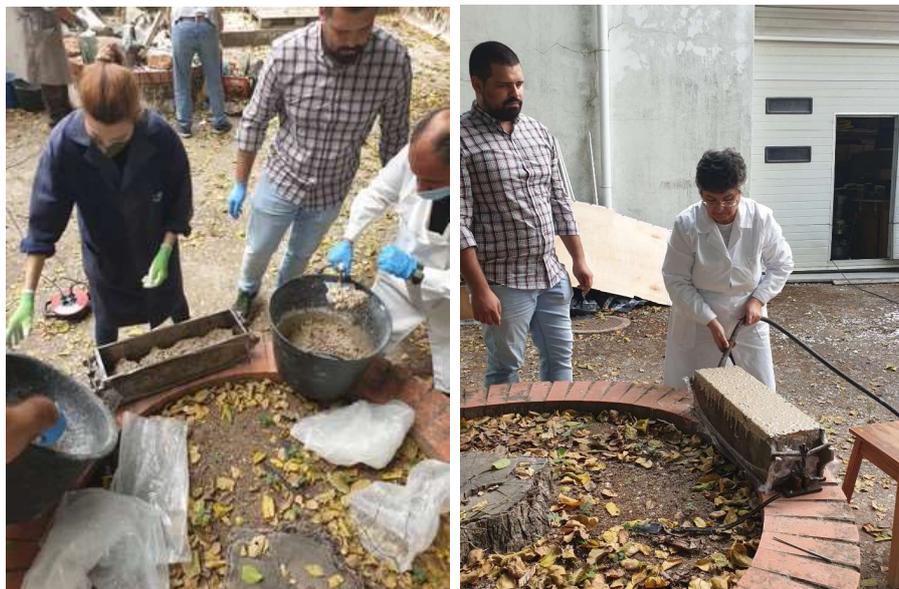


Figura 42 – Despejo para o molde grande das amassaduras efetuadas em dois baldes, seguido de vibração.

4.3.4. Caracterização físico-mecânica dos provetes – Nova Fase (T3.2.)

Terminado o tempo de cura de 14 dias procedeu-se à desmoldagem e ao corte (Fig. 43).

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



57



Figura 43 – 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 paralelepípedicos 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 12 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 constituídas por 52% Agregados (40%BA / 40%B1 / 20%B2) + 48% Ligante (52% Nata / 48% Resina 2).

Tabela 12 – Resultados de resistência mecânica à compressão dos provetes da nova fase.

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

Na tabela 13 estão anotados os valores obtidos nos ensaios de resistência mecânica à flexão.

Tabela 13 – Resistência mecânica à flexão.

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

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



58

4.3.5. Ensaios Complementares

A prorrogação do fim do projeto até finais de junho de 2023, trouxe a possibilidade da realização de novos ensaios de caracterização dos compósitos com as formulações selecionadas, uma com nata marmórea e outra com nata calcária.

Para o efeito foi serrada com recurso a uma máquina de corte tipo ponte, uma placa de 55 cm x 15 cm x 2 cm em cada um dos blocos obtidos, tendo sido polidas numa linha de polimento de ladrilho de marca Pedrini e com acabamento manual, na unidade de transformação da Empresa António Galego e Filhos Lda (Fig. 44).

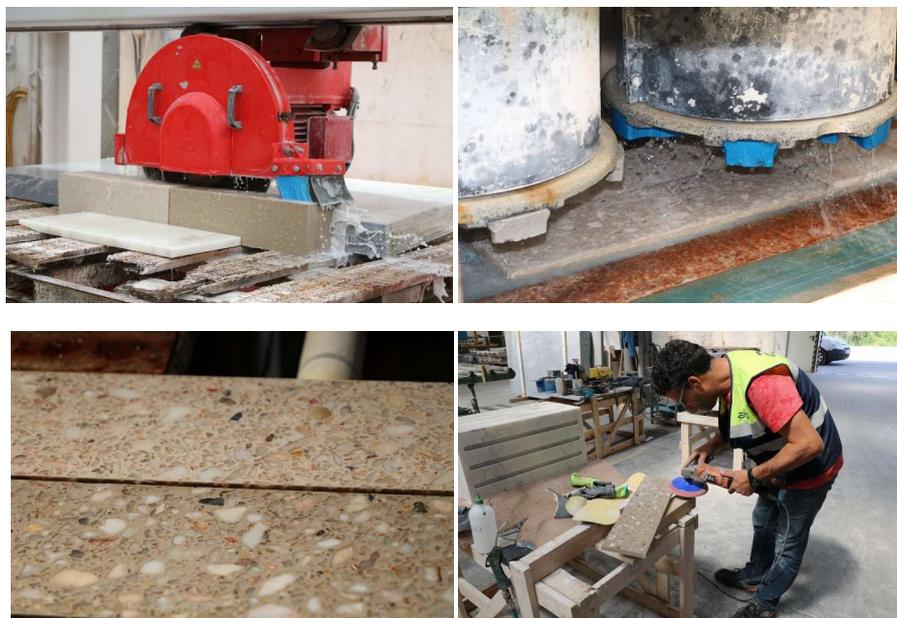


Fig. 44 – Corte e polimento de uma placa de compósito obtida de cada um dos blocos formulados com nata de mármore e calcário.

4.3.5.1. Ensaios de resistência à flexão e à compressão após ensaio de gelo-degelo e após ciclos de envelhecimento por choque térmico.

Os ensaios foram efetuados segundo as normas EN 12372 (Resistência à Flexão em carga centrada), EN 1926 (Resistência à compressão Uniaxial) e EN 12371 (Determinação da resistência ao gelo).

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



59

A resistência ao gelo dos materiais é determinada através de um ensaio constituído por ciclos de gelo ao ar e de degelo em água (Fig. 45). Os provetes, caso se justifique devido a possíveis modificações em certas propriedades físicas e mecânicas, podem ser objeto de medições por intermédio de um ou mais dos seguintes ensaios não destrutivos: módulo de elasticidade dinâmico de acordo com a EN 14146, VPU de acordo com a EN 14579, porosidade aberta de acordo com a EN 1936, realizados nos provetes antes e após os ciclos de gelo, caso contrário, pode apenas ser efetuada uma análise visual dos defeitos ao longo dos vários ciclos. O número de ciclos poderá ser ajustado sendo que no mínimo se recomenda a realização de 28 ciclos. As temperaturas mínimas poderão ir até -30°C .



Fig. 45 – Exemplo da câmara utilizada para ensaios de gelo-degelo.

O ensaio de resistência à flexão consiste em carregar centralmente um provete prismático que está simplesmente apoiado até a rotura (com velocidade uniforme). O resultado permite obter a resistência à flexão do material (que é igual à carga por unidade de área). O resultado é apresentado em MPa (força por unidade de área). Esta propriedade é importante para todas as aplicações em revestimentos, tendo o ensaio sido realizado antes e após 56 ciclos de gelo.

O ensaio de resistência à compressão uniaxial consiste em carregar em duas faces paralelas até a rotura (com velocidade uniforme) um provete cúbico ou prismático. O resultado permite estimar a resistência à compressão do material em MPa (que é igual à carga por unidade de área). Esta característica é fundamental para estudar os efeitos de degradação na estrutura do material, tendo o ensaio sido realizado antes e após 56 ciclos de gelo.

Trata-se de um ensaio destrutivo para a determinação da resistência ao envelhecimento por choque térmico, tendo como objectivo a determinação da variação de possíveis modificações do compósito por efeito de variações súbitas da temperatura (choque térmico). Após secagem à temperatura de $(40 + 5)^{\circ}\text{C}$ durante uma semana, os provetes são submetidos a ciclos sucessivos,

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



60

cada um deles constituído por secagem a $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$ imediatamente seguida de imersão em água a $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$. A potencial perda de resistência é determinada de acordo com a EN 12372 ou EN 1926.

Relativamente aos resultados, encontram-se apresentados nas tabelas seguintes.

Tabela 14 – Resistência à compressão após 56 ciclos de gelo e degelo.

Cura (dias)	Compósito	Resistência à compressão (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
28	Mármore	78,29	7,70	10
	Calcário	67,83	8,15	12

Tabela 15 – Resistência à compressão após choque térmico.

Cura (dias)	Compósito	Resistência à compressão (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
28	Mármore	63,36	9	14
	Calcário	59,04	11	19

Tabela 16 – Resistência à flexão após gelo e degelo.

Cura (dias)	Compósito	Resistência à flexão (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
28	Mármore	15,70	2,17	14
	Calcário	10,25	2,19	21

Tabela 17 – Resistência à flexão após choque térmico.

Cura (dias)	Compósito	Resistência à flexão (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
28	Mármore	9,09	1,18	13
	Calcário	7,69	1,19	15

Relativamente à resistência à compressão do compósito antes e após 56 ciclos de gelo, observaram-se diferenças de 11% e 26% respetivamente para os compósitos contendo natas de mármore e natas de calcário.

Tipicamente, a variação observada para a mistura com nata de mármore está dentro da tolerância aceite para o decaimento desta propriedade (max. 15%), o que significa que este compósito apresenta um comportamento que garante uma durabilidade adequada ao gelo.

No caso da nata de calcário, esta variação é mais elevada o que leva à conclusão de que será preferível aplicar esta tipologia de compósitos em locais menos propensos à formação de gelo.

Relativamente à resistência à compressão do compósito antes e após ensaios de envelhecimento por choque térmico, observaram-se diferenças de 28% e 36% respetivamente para as misturas

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



61

contendo natas de mármore e natas de calcário. O ensaio de choque térmico teve um impacto maior do que o impacto de ensaios de envelhecimento ao gelo. Provavelmente esta situação está relacionada com o impacto da temperatura (positiva) da degradação prematura da resina que constitui o compósito.

Relativamente à resistência à flexão do compósito antes e após 56 ciclos de gelo, observaram-se diferenças de 24% para o compósito contendo natas de calcário e não se observam diferenças significativas para o compósito com nada de mármore. No caso da nata de mármore seria aconselhável a realização de mais provetes por forma a aumentar a amostragem para despistar potenciais desvios.

Relativamente à resistência à flexão do compósito antes e após ensaios de envelhecimento por choque térmico, observaram-se diferenças de 41% e 43% respetivamente para as misturas contendo natas de mármore e natas de calcário. Estas diferenças estão de acordo com as que foram observadas nos ensaios de compressão e mostram que o efeito da temperatura positiva é mais crítico nos compósitos do que o efeito causado pelo envelhecimento por temperaturas negativas.

4.3.5.2. Resistência ao escorregamento

O ensaio foi realizado segundo a Norma Portuguesa NPEN 14231, 2006. Método de ensaio para pedra natural. Determinação da resistência ao escorregamento por intermédio do pêndulo de atrito (Fig. 46).

Este ensaio permite assim, determinar a resistência ao escorregamento de uma superfície da face à vista de elementos utilizados em pavimentos.

O pêndulo de atrito possui um deslizador em borracha que permite medir o atrito entre o referido deslizador e a superfície ensaiada, fornecendo um valor normalizado de resistência ao escorregamento (SRV), sendo medido em condições secas e húmidas.

Trata-se de um ensaio cujo resultado é fortemente condicionado pelo tipo de superfície do provete. No caso particular das duas placas ensaiadas, estas foram polidas, resultando valores completamente discrepantes caso fossem com outro tipo de acabamento, podendo ainda estar dependentes da eficiência do polimento, pelo que os valores obtidos são meramente indicadores para este tipo de compósitos e para o tipo de acabamento a que foram sujeitas.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



Fig. 46 – Pêndulo de atrito e ensaio de resistência ao escorregamento.

Relativamente aos resultados do ensaio (Tabela 18) e para termos comparativos, quanto maior o valor de SRV, melhor será a resistência ao deslizamento. Assim, em superfícies horizontais valores entre 11 e 18 SRV considera-se má resistência, para valores entre 51 e 70 SRV representam boa resistência e igual ou superior a 70 SRV muito boa resistência.

Tabela 18 - Resultados obtidos no ensaio de resistência ao escorregamento.

		1	2	3	4	5	6	Média	SRV médio
Placa NC	Ensaio Seco	44	42	40	40	40	42	40,8	42
		Rotação 180°						43,4	
	Ensaio Húmido	14	13	13	12	12		12,8	12
		Rotação 180°						11,4	
Placa NM	Ensaio Seco	30	33	30	30	31		30,8	32
		Rotação 180°						32,4	
	Ensaio Húmido	13	12	11	11	11		11,6	11
		Rotação 180°							
		11	10	10	10	10		10,2	

SRV – Resistência ao Escorregamento em seco e em húmido.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



63

Pela análise dos resultados obtidos e tendo em consideração os valores de referência, conclui-se que as placas molhadas possuem má resistência ao escorregamento, enquanto secas apresentam uma resistência média.

4.3.5.3. Ensaio de brilho – Gloss

O brilho foi medido no laboratório de ensaios mecânicos da Universidade de Évora, através de um medidor de brilho que consiste num instrumento usado para medir a reflexão especular (brilho) de uma superfície. O brilho é determinado projetando um feixe de luz com intensidade e ângulo fixos numa superfície e medindo a quantidade de luz refletida num ângulo igual, mas oposto. Neste projeto o brilho dos provetes foi medido com um Gloss Checker IG330 com fonte de luz LED no comprimento de onda de 80 nm (ângulo do feixe de luz refletido = 60°).

Os resultados apresentam-se nas figuras 47 e 48.

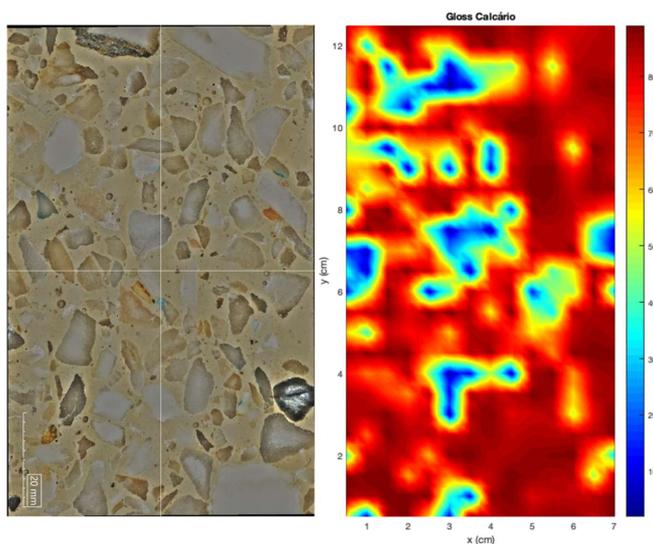


Figura 47 – Mapa de Gloss em placa polida de compósito de calcário.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



64

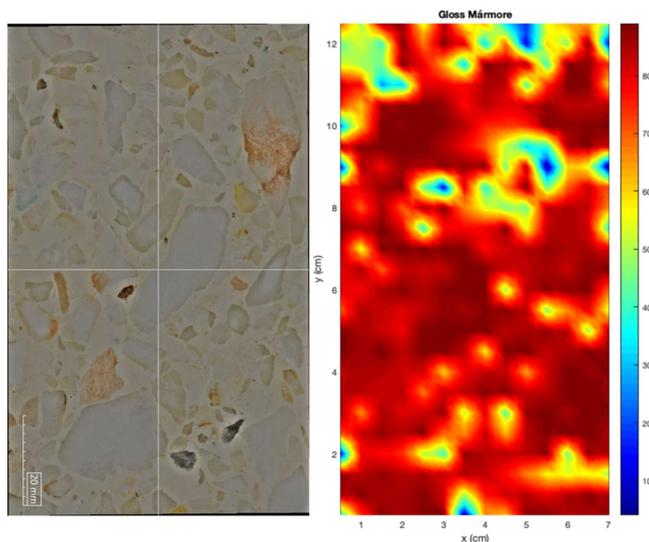


Figura 48 – Mapa de Gloss em placa polida de composto de mármore.

Tal como se observa em amostra de mármore e em amostras de calcário, os compostos de nata de mármore registaram valores de brilho mais elevados do que os compostos com nata de calcário. Esta característica é apenas informativa e não tem relação com a performance dos dois tipos de composto.

4.3.5.4. Ensaio de rugosidade – Hirox

A rugosidade e a topografia 3D dos provetes foram efetuados no laboratório HERCULES (Universidade de Évora) com a ajuda de um microscópio Hirox HRX-01 com luz superior ativa em 400X ampliação. A rugosidade foi expressa como R_a , R_q e R_z e estes parâmetros foram medidos por um MITUTOYO SURFTEST SJ-210 (padrão de calibração ISO1997). As medições foram efetuadas selecionando um comprimento de exploração de 4,80 mm e uma velocidade do sensor de 0,5 mm/s. A rugosidade padrão, R_a , é referida à aritmética, valor médio dos desvios (tomado como valor absoluto) do perfil real da superfície em relação à linha média. R_q é definido como a média quadrada dos desvios dos pontos do perfil a partir da linha média. Este parâmetro permite efetuar uma melhor gestão e análise estatística dos resultados e permite resultados estáveis, pois não é significativamente afetado por riscos e contaminação superficial. R_z é definido como a distância entre duas linhas paralelas à linha média que passa, em média, entre os cinco picos mais altos e os cinco vales mais baixos dentro dos limites do comprimento básico.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



65

Os resultados apresentam-se nas figuras 49 e 50.

Comentado [U2]: Colocar aqui tabela com resultados

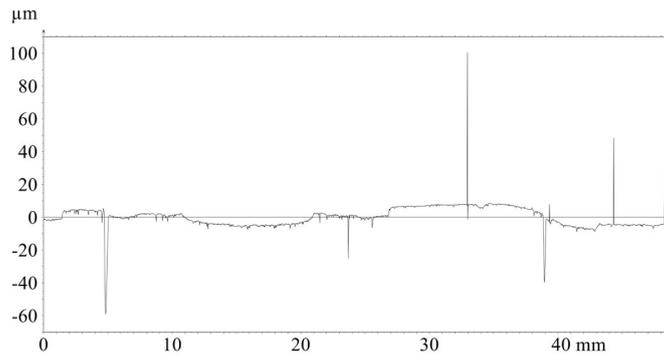


Figura 49 – Perfil de rugosidade em placa polida de compósito de calcário.

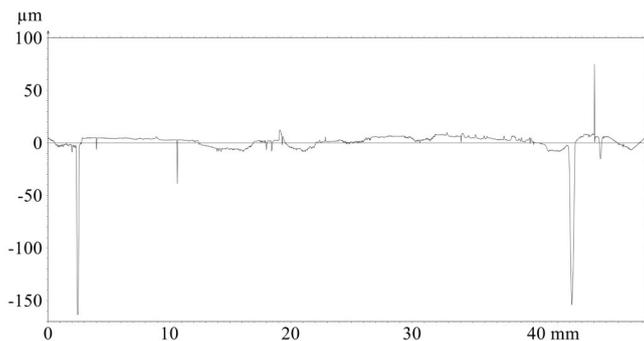


Figura 50 – Perfil de rugosidade em placa polida de compósito de mármore.

Os perfis de rugosidade obtidos foram medidos em amostras polidas e mostram que não existem diferenças significativas entre os compósitos efetuados com nata de mármore e os compósitos efetuados com nata de calcário. As depressões observadas são sobretudo poros resultantes da cura da resina, pelo que se trata de um ensaio fortemente dependente das condições de formulação do compósito e do próprio polimento. Refira-se o facto, das formulações não terem sido submetidas a câmara de vácuo.

4.3.5.5. Medição da cor

O ensaio de medição da cor foi realizado no Departamento de Ciências da Terra da F. C. T. Nova, laboratório de Rochas Ornamentais.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



66

O equipamento utilizado foi um colorímetro CR-400 da Minolta (Fig. 51) e a metodologia usada foi a CIE $L^*a^*b^*$ - CIELA. A metodologia CIELAB, também conhecida como “espaços de cor”, relaciona as variações de cor e correlaciona-as com a percepção visual. As cores são ordenadas por 3 coordenadas: tonalidade, luminosidade e saturação.

As diferenças de cor são definidas pela comparação numérica entre a amostra e um padrão, segundo os seguintes parâmetros:

- ΔL - diferença em mais claro e escuro (+ = mais claro, - = mais escuro);
- Δa - diferença em vermelho e verde (+ = mais vermelho, - = mais verde);
- Δb - diferença em amarelo e azul (+ = mais amarelo, - = mais azul);
- ΔE - diferença total de cor.

Os valores expressam a diferença existente entre uma amostra e um padrão, podendo esse padrão ser uma amostra do mesmo material que não tenha sofrido alteração de cor. Este ensaio é muito utilizado para avaliar a degradação e a alteração da cor causada por agentes externos em condições reais. No caso particular deste ensaio, não existindo um padrão, permitirá a comparação entre a placa constituída com nata de mármore (NM) e a placa constituída com nata de calcário (NC).



Fig. 51 – Ensaio de medição de cor com recurso a um colorímetro CR-400 da Minolta.

As leituras foram realizadas segundo três perfis de 6 leituras ao longo das placas, numeradas de 0 a 5. Os valores obtidos constam da tabela 19 .

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



67

Tabela 19 - Resultados dos ensaios de cor às duas placas.

Sample Name	L*	a*	b*	Sample Name	L*	a*	b*
Placa NC				PLACA NM			
Placa_NC_Perfil 1_00	67,91361	-3,48195	10,51531	Placa_NM_Perfil 1_00	65,37324	-1,11604	15,70887
Placa_NC_Perfil 1_01	60,31547	-1,35454	13,96089	Placa_NM_Perfil 1_01	67,69506	2,194719	23,63845
Placa_NC_Perfil 1_02	56,28649	-1,09318	13,93515	Placa_NM_Perfil 1_02	68,70343	-1,10013	14,67543
Placa_NC_Perfil 1_03	61,23173	-0,69758	16,42608	Placa_NM_Perfil 1_03	63,69178	-1,52086	14,54403
Placa_NC_Perfil 1_04	65,89632	-1,16043	12,02584	Placa_NM_Perfil 1_04	66,57719	0,076457	16,17101
Placa_NC_Perfil 1_05	63,51031	-1,56894	14,52624	Placa_NM_Perfil 1_05	71,04775	-2,40591	12,77302
Placa_NC_Perfil 2_00	58,71612	-0,69513	16,28839	Placa_NM_Perfil 2_00	68,38971	-1,19011	15,71267
Placa_NC_Perfil 2_01	58,2651	-0,86722	12,71	Placa_NM_Perfil 2_01	70,53316	-2,40194	11,35312
Placa_NC_Perfil 2_02	59,9961	-1,07823	14,97829	Placa_NM_Perfil 2_02	68,24188	-1,36919	16,17812
Placa_NC_Perfil 2_03	58,98451	-0,884	15,28318	Placa_NM_Perfil 2_03	69,77117	-1,62789	14,46647
Placa_NC_Perfil 2_04	61,48041	-0,85571	15,76108	Placa_NM_Perfil 2_04	68,22061	-0,71025	17,33584
Placa_NC_Perfil 2_05	58,23113	0,636608	21,06141	Placa_NM_Perfil 2_05	64,92286	-1,76228	15,57647
Placa_NC_Perfil 3_00	57,49586	-0,61563	15,6991	Placa_NM_Perfil 3_00	68,14793	-0,74036	16,93387
Placa_NC_Perfil 3_01	73,15057	-4,07896	5,320133	Placa_NM_Perfil 3_01	67,84039	-1,4365	15,42501
Placa_NC_Perfil 3_02	56,63234	-1,08832	13,56801	Placa_NM_Perfil 3_02	55,02389	2,16544	16,28869
Placa_NC_Perfil 3_03	58,56389	-1,36086	14,04485	Placa_NM_Perfil 3_03	64,687	-1,30031	13,32549
Placa_NC_Perfil 3_04	59,06677	-0,76494	14,41356	Placa_NM_Perfil 3_04	66,24778	-0,95066	16,27217
Placa_NC_Perfil 3_05	59,16452	-0,27551	17,49956	Placa_NM_Perfil 3_05	68,72156	-1,52167	15,6055
Média	60,82785	-1,18247	14,33428	Média	66,8798	-0,92875	15,66579

Do resultado dos ensaios obtêm-se a seguinte diferença de parâmetros:

$$\Delta L = 66,88 - 60,83 = 6,05$$

$$\Delta a = -1,18 - (-0,93) = -0,25$$

$$\Delta b = 15,67 - 14,33 = 1,34$$

Estes resultados de ΔL mostram que os compósitos com nata de calcários são mais escuros que os compósitos com nata de mármore.

Os resultados de Δa mostram que, nos provetes ensaiados existe uma ligeira tendência para que os mesmos possuam uma tonalidade mais verde do que vermelha.

Os resultados de Δb mostram que em ambas os casos os provetes possuem uma tonalidade mais próxima dos tons amarelos.

Tipicamente

A diferença total de cor é dada pela expressão:

$$\Delta E^* = [\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2]^{1/2}$$

Aplicando ao caso em estudo:

$$\Delta E^* = [6,05^2 + (-0,25)^2 + 1,34^2]^{1/2} = 7,14$$

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



68

É importante referir que a diferença total de cor é tipicamente utilizada para avaliar diferenças de cor ao longo do tempo quando os materiais possam estar sujeitos a condições de envelhecimento causados, por exemplo, por agentes externos como a radiação UV, a temperatura, a água, a poluição, entre outros.

Neste caso a comparação (ΔE^*) entre as duas tipologias de compósitos: com nata de mármore e com nata de calcário mostra que a diferença de cor, de 7,14, está situada num nível que é perceptível ao olho humano (tipicamente acima de 2 – 3). De um modo geral são compósitos com tonalidade diferentes: uma mais escuro e outro mais claro com pequenas nuances entre as restantes coordenadas de cor.

Comentado [VP3]: Isso tinha de ser feito com photo shop e eu não tenho. Acho que está Ok assim honestamente.

4.4. Otimização de Resultados laboratoriais (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 tecnologicamente complicada e energeticamente comprometedora. 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.

De acordo com o calendário, a Actividade 2 ficou terminada em março de 2022, com a definição do ligante com melhor desempenho, no entanto, a equipa 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 consideráveis.

De realçar o facto de ter havido mudança de bolsheiro, tendo o Mestre Antônio Soares Azzalini rescindido o contrato com o Projecto, sendo posteriormente admitida na equipa 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 equipa técnica, sem encargos para os Recursos Humanos do Projecto.

4.4.1. Tratamento de resultados (T5.1.)

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

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



69

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 salienta-se 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).
Mármore: 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 1ª fase apresentou sempre valores inferiores às formulações com nata marmórea, nestes primeiros ensaios na 2ª 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

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



70

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).
Mármore: 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.

Analisando os resultados obtidos após os ensaios de 56 ciclos de gelo-degelo e choque térmico, constata-se que a resistência à compressão e à flexão revela valores da formulação com NM sempre superiores à formulação com NC.

As diferenças de valores entre o material antes e após os ensaios, no caso da formulação com MN é de 11% e da formulação com MC é de 26%. No caso particular da formulação com NM mostra um valor que se considera dentro da tolerância aceite (máx. 15%), revelando um desempenho em relação ao gelo dentro dos parâmetros normais.

Esta discrepância entre as duas formulações realça o papel determinante da nata inserida no ligante, na medida em que o agregado utilizado em ambas formulações foi de origem marmórea.

A diferença mais acentuada observada na formulação com NC leva a restrições da sua aplicação em obra, não sendo aconselhável o seu uso em exteriores.

Note-se as diferenças significativas de valores obtidos antes e depois do ensaio de choque térmico, tendo ambas as formulações piores desempenhos do que no ensaio de gelo-degelo.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



71

Relativamente ao ensaio de escorregamento, a formulação com NC apresentou melhores resultados que a formulação com NM e considerando os valores de referência, conclui-se que as placas molhadas possuem má resistência ao escorregamento, enquanto secas apresentam uma resistência média.

Atendendo ao facto do agregado usado em ambas formulações ser mármore, mais uma vez se prova que a nata utilizada no ligante com a resina influencia o desempenho dos compósitos.

O pior desempenho da placa com NM em relação à placa com NC, deve-se ao facto do grau de cristalinidade da nata de mármore ser superior à da nata de calcário.

Também a cristalinidade da nata de mármore manifesta-se no ensaio de brilho, com os compósitos de nata de mármore a registarem valores de brilho mais elevados do que os compósitos com nata de calcário.

O ensaio de rugosidade não nos parece de importância relevante, visto estarem fortemente dependentes das condições de fabrico e de tratamento de superfícies. Mais uma vez realça-se o facto dos ensaios laboratoriais, terem sido executados com misturadores mecânicos ligeiros e as massas após terem sido despejadas nos moldes terem sido secas à temperatura ambiente e sem terem sido submetidas a câmara de vácuo.

O ensaio de colorimetria permitiu de forma científica comprovar aquilo que é perfeitamente visível a olho nu, constatando-se que a placa com nata de mármore apresenta-se com uma tonalidade mais clara do que a placa com nata de calcário (Fig. 52).



Fig. 52 – Diferenças de cor entre a Placa NM e a Placa NC.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



72

4.5. Divulgação e disseminação (A6)

4.5.1. Criação e dinamização de website do projecto (T6.1.)

A referência e divulgação do Projeto foi realizada através do site da Universidade de Évora em <https://www.uevora.pt/investigar/projetos?id=4946>, onde foram indicados os principais dados de identificação do projeto e um resumo.

Foi criada uma página do projeto, já referida no relatório de progresso:

<https://sites.google.com/uevora.pt/calcinata/in%C3%ADcio?authuser=0>, (Fig. 53), estruturada da seguinte maneira:

- Página Inicial;
- Início;
- Parceiros;
- Projeto (Planificação e Calendarização; Links Úteis);
- Relatórios públicos; Divulgação (Eventos; Publicações).

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



73

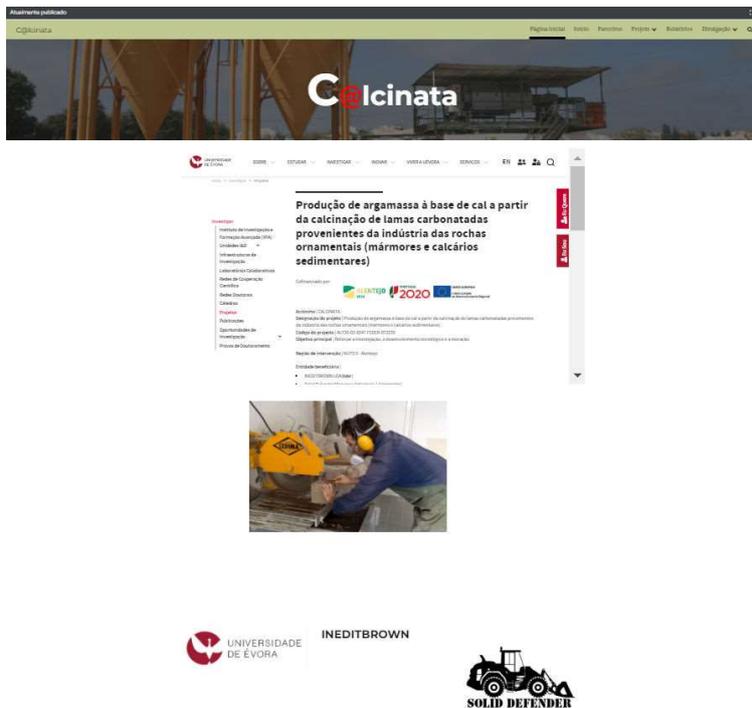


Fig. 53 – Página inicial do Projeto Calcinata.

4.5.2. Emails de comunicação dos resultados aos parceiros

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>,

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



74

Paulo Mira Mourão <pamm@uevora.pt>,
Vera Pires <vlcp@uevora.pt>,
Tânia Peças <tania.pecas@clustermineralresources.pt>,
Fátima Sofia Teixeira Simões <fstst@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 – Mármore SA e Mármore Almeida-Sociedade Industrial de Mármore, Lda.

Resina Recapoli 2196 (Poliéster) fornecida pela empresa Castro Composites, Espanha.

Agregados provenientes da britagem de mármore, produzidos na Empresa Marvisa, Mármore 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>,

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



75

Vera Pires <vlcp@uevora.pt>,
Tânia Peças <tania.pecas@clustermineralresources.pt>,
Fátima Sofia Teixeira Simões <fst@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)

4.5.3. Participação em congressos, conferências técnicas, seminários e feiras (T6.2.)

1 – IV Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento. 10 e 11 de março de 2022, ITECONS, Coimbra.

Apresentação em comunicação oral por Antônio Azzalini (Fig. 54), intitulada Calcinata – produção de argamassa à base de cal a partir da calcinação de lamas carbonatadas provenientes da indústria das rochas ornamentais.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



76



Fig. 54 – Apresentação da comunicação no IV Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento.

2 – Georesilience Congress 2023, Cardiff University, País de Gales, 27 a 29 de março de 2023. Apresentação em comunicação oral por Ruben Martins intitulada “Mortar Based on Sludge from Carbonate Dimension Stone Processing Industry - an Experimental and Feasibility Approach” (Fig. 55).

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



77

Mortar Based on Sludge from Carbonate Dimension Stone Processing Industry - an Experimental and Feasibility Approach

Paula AFONSO, Ruben MARTINS, António AZZALINI, Paula FARIA, Luís LOPES, Paulo MOURÃO, Vera PIRES

Logos: C@lcinata, GEORESILIENCE, BGA, UNIVERSIDADE DE ÉVORA, ALENTEJO 2020, PORTUGAL 2020, União Europeia, Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

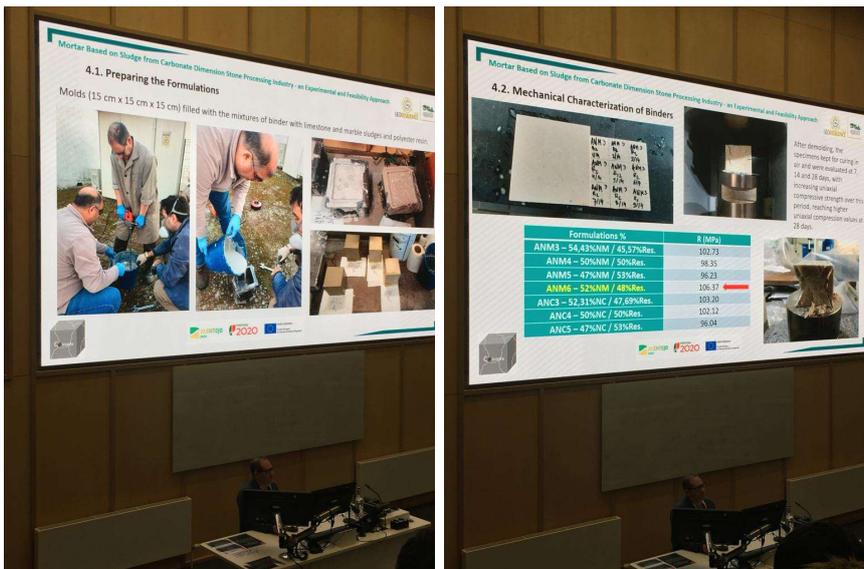


Fig. 55 – Apresentação da comunicação no Georesilience Congress 2023.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



3 - 18º Congresso Nacional de Geotecnia, Universidade de Évora, 14 – 17 de maio de 2023.
 Apresentação em comunicação oral por Paula Afonso intitulada “Escombreyras e depósitos de lamas provenientes da indústria de rochas ornamentais carbonatadas – um caso de estudo de aplicação de “natas” na produção de ligantes à base de resina para a produção de compósitos pétreos”. / Waste and sludge deposits from the carbonated ornamental rock industry – a case study on the application of “natas” in the production of resin-based binders for the production of stone composites” (Fig. 56).



ESCOMBREIRAS E DEPÓSITOS DE LAMAS PROVENIENTES DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS CARBONATADAS
 Caso de estudo de aplicação de “natas” na produção de ligantes à base de resina para a produção de compósitos pétreos

Afonso, P.^a, Azzalini, A.^a, Lopes, L.^{a,b}, Faria, P.^{a,c}, Mourão, P.^d, Martins, R.^a, Pires, V.^e

- ^a Departamento de Geociências, Universidade de Évora
- ^b Instituto de Ciências da Terra, Polo de Évora, Universidade de Évora
- ^c GeoBioTec, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro
- ^d Departamento de Química e Bioquímica, CHANGE & MED, Universidade de Évora
- ^e Laboratório HERCULES, Universidade de Évora

* pafonso@uevora.pt



Cofinanciado por:





INEDITBROWN



79



Fig. 56 – Apresentação da comunicação no 18º Congresso CNG.

4 - Relatório de Actividades do Grupo G3 – Recursos Minerais ICT, FCUP, 31 de maio de 2023. Apresentação em comunicação oral realizada por Luís Lopes sobre a Divulgação dos resultados do projeto Calcinata (Fig. 57).



Cofinanciado por:





INEDITBROWN



Fig. 57 – Apresentação no encontro sobre o Relatório de Actividades do Grupo G3 – Recursos Minerais.

5 - 7th Global Stone Congress 2023, Batalha, 18 a 23 de junho de 2023.

Apresentação em poster intitulada “Application of Resinous Binders with Incorporation of Carbonated Sludges from the Dimension Stone Industry in the Production of Stone Composites” (Fig. 58).

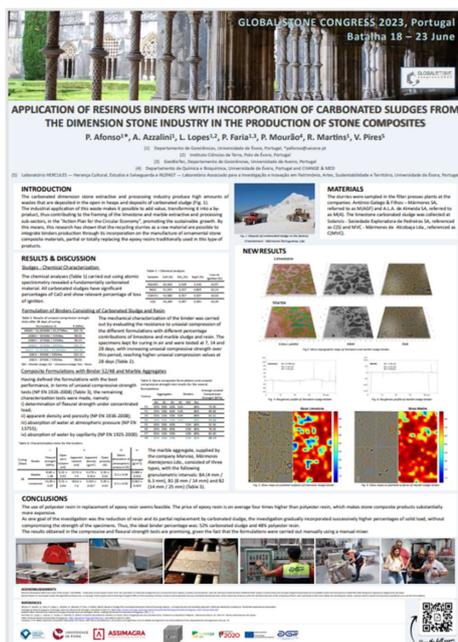


Fig. 58 – Apresentação de poster e provetes polidos no 7th Global Stone Congress 2023.

Cofinanciado por:



Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



INEDITBROWN



81

4.5.4. Realização de open day e workshop de divulgação do projecto (T6.3.)

1 – Workshop – Divulgação de Resultados de Progresso do projeto Calcinata (31/10/2022) (Fig. 59).

Apresentação oral realizada por Ruben Martins, com recurso a powerpoint (Fig. 60) onde se fez a descrição do projeto, a evolução dos trabalhos e resultados obtidos até à data.



Fig. 59 – Folheto de divulgação do workshop.



Fig. 60 – Página de rosto do powerpoint.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



82

2 – Open day realizado na fábrica da empresa Inedit Brown, 14 de julho de 2023. Comunicação oral realizada por Paula Afonso sobre os resultados obtidos durante a execução do Projeto Calcinata e após o Desenvolvimento do Conceito (A2), a Construção de Protótipos (A3) e a Otimização de Resultados (A5), com a apresentação da composição-tipo com melhores desempenhos (Fig. 61).



Fig. 61 - Apresentação oral no Open Day nas instalações da Inedit Brown.

4.5.5. Publicação de artigos científicos e técnicos (T6.4.)

- Faria, P.; Martins, R.; Lopes, L. Mourão, P.; Pires, Vera 2021. CALCINATA – Desenvolvimento do trabalho Laboratorial. Universidade de Évora. Évora. 11p. O documento corresponde à planificação detalhada do desenvolvimento do trabalho laboratorial a realizar na Universidade de Évora. URI: <http://hdl.handle.net/10174/31837>.

- Faria, P.; Martins, R.; Lopes, L. Mourão, P.; Pires, Vera 2021. CALCINATA – Apresentação do Desenvolvimento do trabalho Laboratorial_Maio 2021. Universidade de Évora. Évora. 18p. O documento corresponde à apresentação do desenvolvimento do trabalho laboratorial em reunião realizada a 3 de Maio de 2021, com as empresas líder e parceiras do Projeto. URI: <http://hdl.handle.net/10174/31846>.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



83

- Martins, R., Faria, P., Lopes, J. L., Almeida Ribeiro, V., Mourão, P., Azzalini, A. 25-Mar-2021. RELATÓRIO Nº 01/2021 ENTREGÁVEL Nº E1.1 – RELATÓRIO PRELIMINAR. URI: <http://hdl.handle.net/10174/31722>.

- Martins, R., Faria, P., Lopes, J. L., Almeida Ribeiro, V., Mourão, P., Azzalini, A. RELATÓRIO Nº 01/2022 ENTREGÁVEL Nº E2.1 – RELATÓRIO SOBRE AS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA NATA E DA ARGAMASSA. URI: <http://hdl.handle.net/10174/33766>.

- Martins, R., Lopes, L., Faria, P., Pires, V., Afonso, P., Mourão, Paulo., Velez, J. 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. To collection: GEO – Relatórios. <http://hdl.handle.net/10174/33701>.

- Martins, R., Afonso, P., Faria, P., Lopes, L., Mourão, P., Pires, V., Velez, J. Calcinata – Produção de argamassa à base de cal a partir da calcinação de lamas carbonatadas provenientes da indústria das rochas ornamentais. 31/10/22 Évora Workshop Divulgação de Resultados de Progresso do Projecto Calcinata. Projecto nº 72239. URI: <http://hdl.handle.net/10174/33806>.

- 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 (Fig. 62). Na Coleção: GEO - Publicações - Artigos em Revistas Nacionais Sem Arbitragem Científica. Identificador: <http://hdl.handle.net/10174/31478>.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



Fig. 62 – Publicação do IV Simpósio.

- Afonso, Paula; Azzalini, Antônio; Lopes, Luís; Faria, Paula; Mourão, Paulo; Martins, Ruben, Pires, Vera. 2023. Escombreiras e depósitos de lamas provenientes da indústria de rochas ornamentais carbonatadas – um caso de estudo de aplicação de “natas” na produção de ligantes à base de resina para a produção de compostos pétreos. In: Isabel Duarte, João Marcelino, Antônio Pinho, Paula Faria, Luís Lopes, Pedro Pereira (Editores). 2023. Atas do 18º Congresso Nacional de Geotecnia (18CNG). Geotecnia e Alterações Climáticas, Évora, 14 a 17 de maio de 2023. Maio de 2023. Sociedade Portuguesa de Geotecnia pp. 263-272. ISBN: 978-989-54038-9-9.

https://drive.google.com/file/d/1NApfcNvopsvec19189HfmpePsevnsmQ/view?usp=drive_link

- Paula Afonso, Antônio Azzalini, Paula Faria, Luís Lopes, Ruben Martins; Paulo Mourão, Vera Pires. 2023. Mortar Based on Sludge from Carbonate Dimension Stone Processing Industry - an Experimental and Feasibility Approach, pp. 7. GeoResilience 2023, The British Geotechnical Association, Cardiff on 28-29 March 2023. <https://georesilience2023.org/>

- P. Afonso, A. Azzalini, L. Lopes, P. Faria, P. Mourão, R. Martins, V. Pires. 2023. Application of resinous binders with incorporation of carbonated sludges from the dimension stone industry in the production of stone composites. In: Lopes. L.; Peres, M; Marques, C. (Editores). Proceedings

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



85

of the VII Global Stone Congress, Batalha, Portugal, 18-23 June 2023. Luís Lopes, Marta Peres, Célia Marques (Eds.). Departamento de Geociências da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, Portugal. pp. 396–401. ISBN: 978-972-778-327-4.

4.5.6. Artigos previstos após encerramento do projeto

Revista: Cement and Concrete Research

Artigo submetido - "A novel approach for the reuse of waste from the extractive and processing industry of natural stone - binders development for stone composites"

Previsto ainda dois artigos para a revista Cement and Concrete Composites.

4.6. Gestão do projeto (A7)

A gestão do projeto é garantida pela Dr^a 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.
- 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=170D4BD6399C2CC53134C177FA4705416 consulta em 20 de janeiro de 2020.
- 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.

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



86

- 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; *Kerâmica*, 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, 25 de setembro de 2023

Cofinanciado por:





INEDITBROWN



87

Investigador Responsável

Ruben Varela Martins

Cofinanciado por:

