

Calcinata

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

Afonso, P., Faria, P., Lopes, L., Martins, R., Mourão, P., Pires, V., Velez, J.

Workshop
2022
Universidade de Évora

Projecto nº 72239



INEDITBROWN



Cofinanciado por:



Introdução

Objetivo do Projeto: apresentar uma alternativa de utilização para os resíduos provenientes do corte e polimento de rochas ornamentais carbonatadas, agregando valor aos resíduos de produção, transformando-os em subprodutos para utilização como matéria-prima na produção de argamassas à base de carbonato de cálcio, com vista à sua integração na produção de compactos pétreos ornamentais em substituição total ou parcial de resinas epóxi e acrílicas, tradicionalmente utilizadas como ligantes neste tipo de produtos.



Diminuição dos impactes ambientais:

- 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;
- impacte visual.



Alguns Detalhes

O propósito principal deste projeto visa 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.

É comprovado o excelente poder aglomerante da cal hidratada, normalmente utilizada em argamassas visto contribuir para uma melhor fluidez, plasticidade e trabalhabilidade.

Seja como único ligante, ou em mistura com outros ligantes 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.

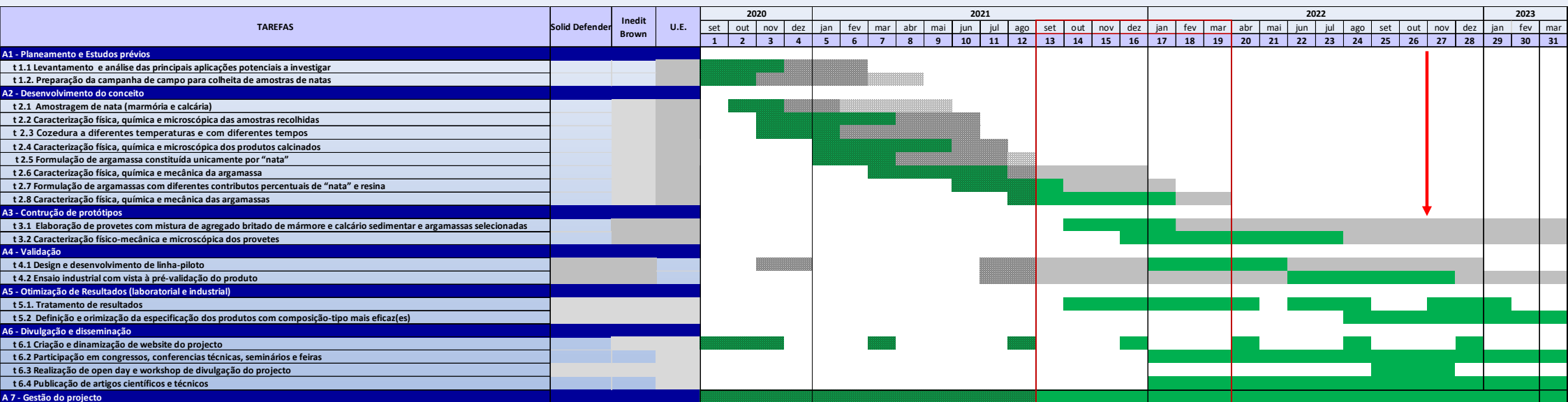
Porquê Calcinata?

99,80% das partículas inferiores a 40 μm (0,04 mm), característica que potencia a possibilidade de utilização quase directa noutras aplicações.


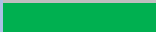

Análises químicas revelaram, tratar-se de um material carbonatado com um elevado grau de pureza, bem patente nos valores de óxido de cálcio ($\text{CaO} > 50\%$) e perda ao rubro ($\text{CO}_2 > 40\%$) [Martins, 1997], confirmando assim a elevada pureza das rochas carbonatadas.

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.

Cronograma



Legenda:

-  Alterações das datas do cronograma submetidas no pedido de alteração nº1
-  Previsto em sede de candidatura
-  Execução

Dois aspectos fortemente condicionantes ao desenvolvimento da investigação da Universidade de Évora:

- 1 – Comunicação da aprovação da candidatura em Dezembro de 2020 e arranque dos trabalhos em Janeiro de 2021;
- 2 – Dificuldades em todo o processo quer de investigação, quer de aquisição de materiais e seriação de bolseiro, durante a fase mais problemática da pandemia.

Nº da Atividade	Designação da Atividade	Classificação	Promotor responsável	
			Nº	Abreviatura
1	Planeamento e Estudos prévios	Desenvolvimento experimental	3	U.E.
2	Desenvolvimento do conceito	Desenvolvimento experimental	3	U.E.
3	Construção de protótipos	Desenvolvimento INDUSTRIAL	1	IB
4	Validação	Desenvolvimento INDUSTRIAL	1	IB
5	Otimização de Resultados (laboratorial e industrial)	Desenvolvimento Industrial	1	IB
6	Divulgação e disseminação	Gestão Técnica	1	IB
7	Gestão do Projeto	Gestão Técnica	1	IB

Materiais

Lamas carbonatadas “natas” provenientes da atividade extrativa e transformadora do Anticlinal de Estremoz e do Maciço Calcário Estremenho.

Agregados marmóreos provenientes de pedreiras do Anticlinal de Estremoz e produzidos na Empresa Marvisa, Mármore Alentejanos Lda.

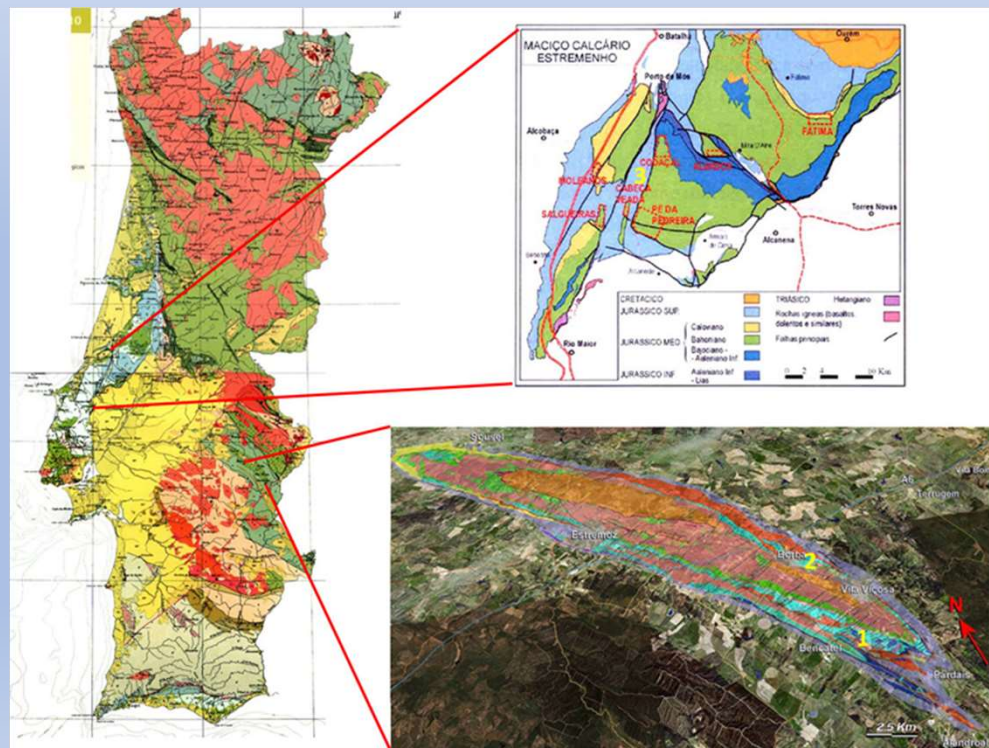


Natas de mármore:

- Colheita – Serração da António Galego e Filhos SA;
- Proveniência - Pedreira do Texugo (zona da Lagoa- Vila Viçosa)
- Colheita - Serração A.L.A. de Almeida, Lda;
- Proveniência - Pedreira JPL (zona de Borba);

Natas de calcário:

- Colheita – Serração SOLANCIS - Sociedade Exploradora de Pedreiras SA
- Serração MVC - Portuguese Limestones
- Proveniência - Cabeça Veada (Mendiga-Leiria).



Amostragem

Recolha das amostras de nata efetuada à saída dos equipamentos de filtro- prensagem:

C(S) – Calcário, Solancis;

C(MVC) – Calcário, MVC;

M(A) – Mármore, A.L.A. Almeida;

M(AGF) – Mármore, António Galego e Filhos



Amostragem
(Solancis)



Amostragem
(AGF)

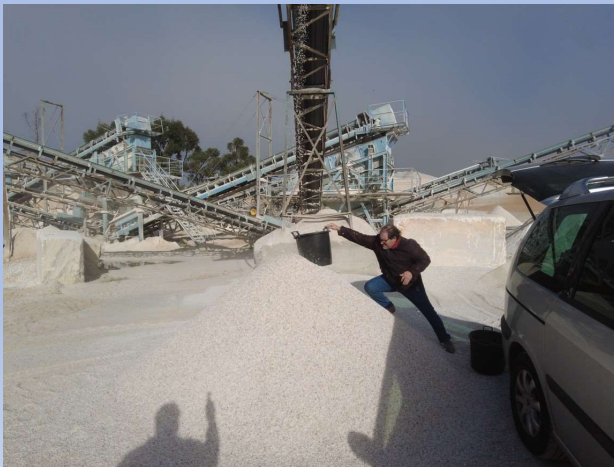


Recolha das amostras de agregado efetuada à saída dos tapetes na unidade de britagem da empresa Marvisa:

Bago de Arroz

Brita 1

Brita 2



Amostragem
(MVC)



Preparação das Amostras

1 - Desagregação manual;

2 - Secagem em duas etapas:

- Evaporação do excesso de água à temperatura ambiente;
- Secagem em estufas à temperatura de 40°C até atingir massa constante.



3 – Desagregação em moinho de maxilas Retsch BB200, com maxila móvel posicionada no ponto zero da escala de aberturas.

4 - Acondicionamento em sacos de 1 kg, 2 kg e 5 kg.



Caracterização da Matéria-prima

- **Composição Mineralógica:** Difração de Raios-X – Amostra total - Partículas < 63 μm . Difrátômetro Bruker D8 Discover, efetuada no Laboratório Hercules da Universidade de Évora;
- **Composição Química:** Espectrometria de Emissão Atómica com Fonte de Plasma, Perkin-Elmer, OPTIMA 8300, efetuada no Laboratório Ambiterro, da Universidade de Évora ;
- **Análise Granulométrica:**
 - **a) fração > 63 μm** determinada por peneiração, segundo a Norma E234-1969, Especificação LNEC, Agregados;
 - **b) fração < 63 μm ,** utilizando-se um sedimentógrafo da marca Micrometrics, modelo Sedigraph 5100, esta última efetuada no Laboratório Ambiterro da Universidade de Évora;
- **Calcinação** em mufla Termolab MLM12-12L com ciclos de calcinação a temperaturas e tempos variados: Temperaturas: 750 °C (15min), 850°C (15min), 950°C(15min, 45 min e 8h), 1000°C(15min), 1100°C(15min);
- **Ensaio de Reatividade** de acordo com a norma ASTM C110- 15, com quantidades adaptadas devido à limitação de material disponível;
- **Determinação de Densidades** da nata calcinada através do picnómetro de hélio (Lab. Hércules) e da nata tal e qual através da Norma NP EN 1097-7 2002 - Determinação da massa volúmica do filler – Método do Picnómetro.;
- **Ensaio de Viscosidade** em plano graduado e inclinado a 45°.

Resultados

Composição Mineralógica, DRX

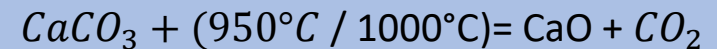
Pico da calcite bem definida para todas as natas;

M(A) e M(AGF) – Calcite dominante, com picos expressivos na Ilite / Muscovite e no Quartzo.

NMcT315 e NMcT345 - Óxido de Cálcio dominante, Portlandite, Quartzo e Dolomite com picos expressivos.

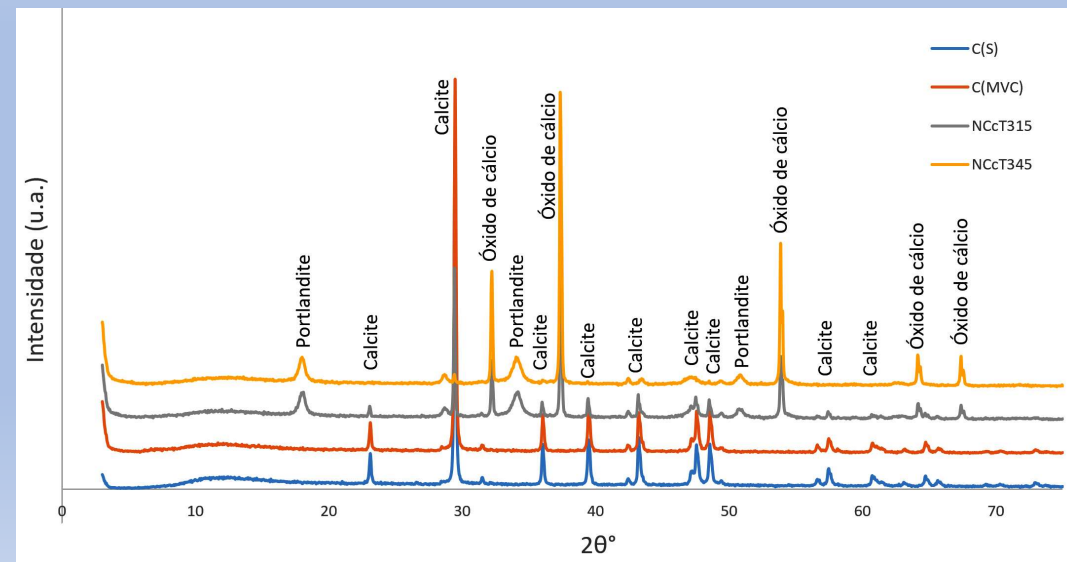
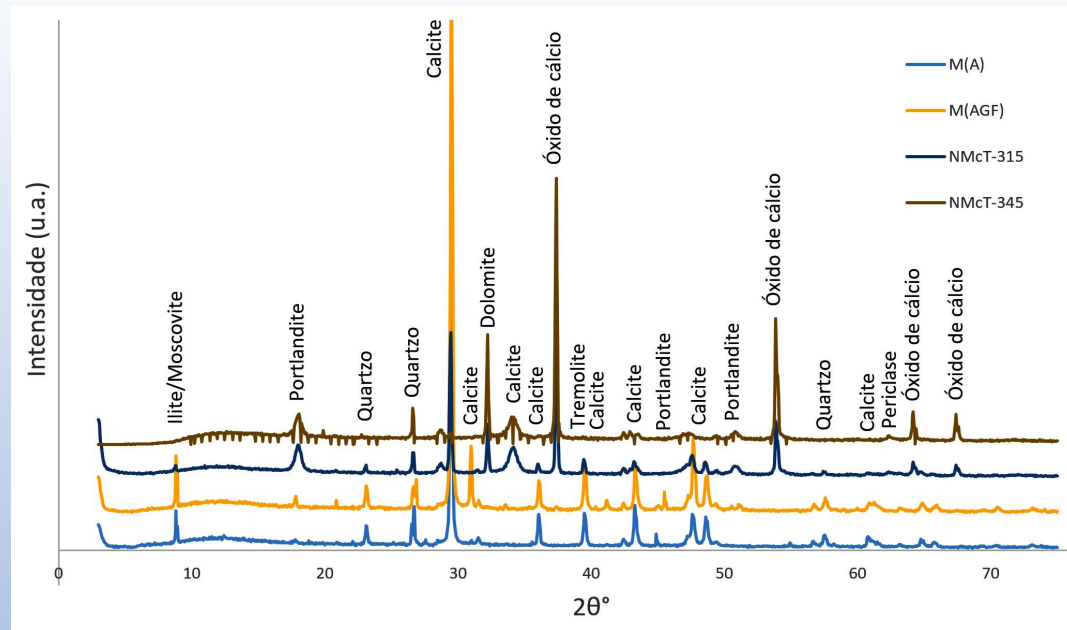
C(S) e C(MVC) – Calcite dominante.

NCcT315 e NCcT345 – Óxido de Cálcio dominante, Portlandite.



NMcT315, NCcT315 - Nata calcinada a 950°C durante 15 min.

NMcT345, NCcT345 - Nata calcinada a 950°C durante 45 min.



Resultados

Composição Química, FRX

AMOSTRAS	Al2O3 (%)	SiO2 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Fe2O3 (%)	K2O (%)	Na2O (%)	MnO (%)	P.R. (%)
NCcT315	0,325	0,386	64,260	0,364	0,104	0,068	0,513	0,005	29,34
NCcT345	0,379	0,473	77,877	0,438	0,115	0,070	0,469	0,005	15,48
NCcT415	0,346	0,466	71,580	0,446	0,102	0,076	0,526	0,005	23,59
NCcT515	0,404	0,447	78,830	0,461	0,111	0,059	0,461	0,005	16,35
C(MVC)	0,278	0,357	52,580	0,337	0,089	0,092	0,583	0,004	43,50
C(S)	0,276	0,297	54,189	0,301	0,089	0,143	0,620	0,004	43,30
M(AGF)	0,545	2,549	45,504	3,156	0,228	0,253	0,564	0,030	42,97
M(A)	0,716	3,537	51,555	0,829	0,274	0,362	0,670	0,008	42,15
NMcT315	0,711	3,574	60,337	2,365	0,282	0,348	0,589	0,022	30,43
NMcT345	0,883	4,575	76,117	3,168	0,344	0,421	0,660	0,029	14,70
NMcT415	0,779	3,934	65,497	2,821	0,304	0,392	0,581	0,026	25,76
NMcT515	0,934	4,785	75,817	2,575	0,360	0,344	0,633	0,024	12,45

NCcT315 – Nata Calcário calcinado, 950°C, 15 min
 NCcT345 – Nata Calcário calcinado, 950°C, 45 min
 NCcT415 – Nata Calcário calcinado, 1000°C, 15 min
 NCcT515 – Nata Calcário calcinado, 1100°C, 15 min

NMcT315 – Nata Mármore calcinado, 950°C, 15 min
 NMcT345 – Nata Mármore calcinado, 950°C, 45 min
 NMcT415 – Nata Mármore calcinado, 1000°C, 15 min
 NMcT515 – Nata Mármore calcinado, 1100°C, 15 min

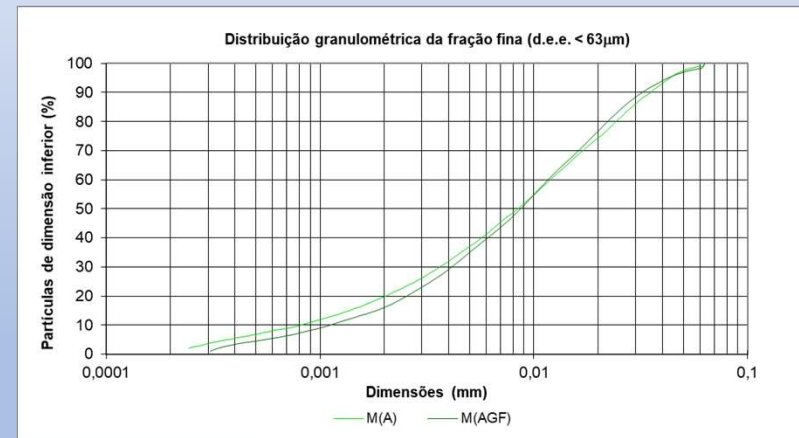
C(MVC) – Calcário
 C(S) – Calcário
 M(AGF) – Mármore
 M(A) – Mármore

Resultados Análise Granulométrica

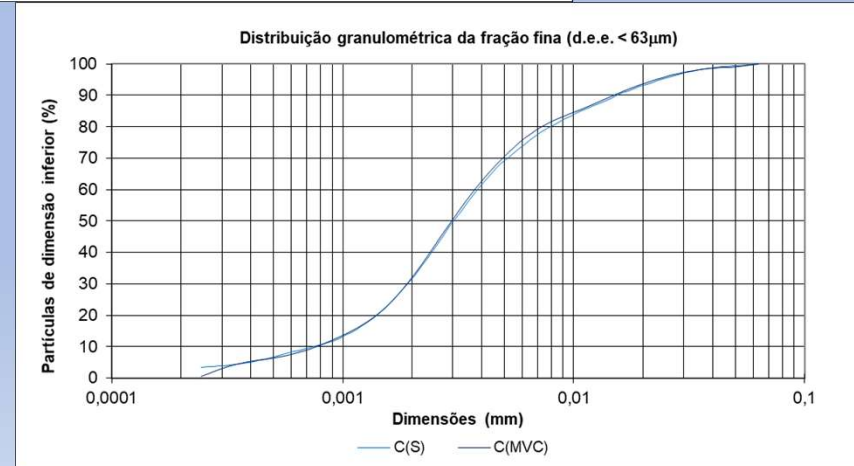
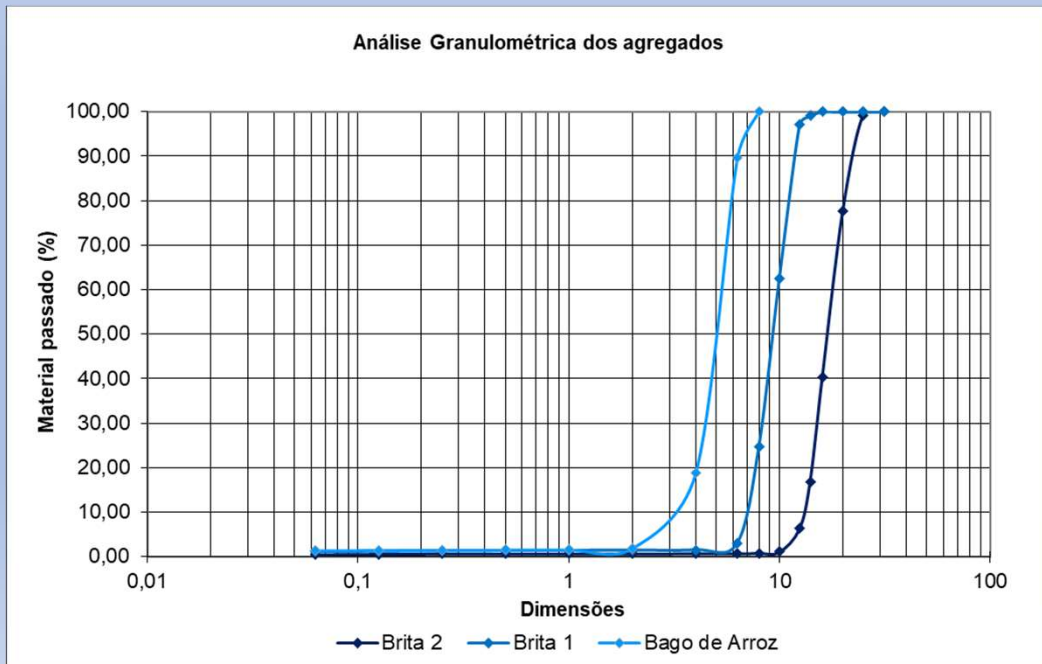
Análise granulométrica efectuada no laboratório da Universidade de Évora

Agregado	U.E. (mm)
Bago de Arroz	4 / 6,3
Brita 1	8 / 14
Brita 2	14 / 25

(> 63µm)	Máx. Dimensão (mm)	Passados Acumulados
M(A)	1	99,93%
M(AGF)	0,250	99,96%
C(S)	0,5	99,79%
C(MVC)	2	99,98%

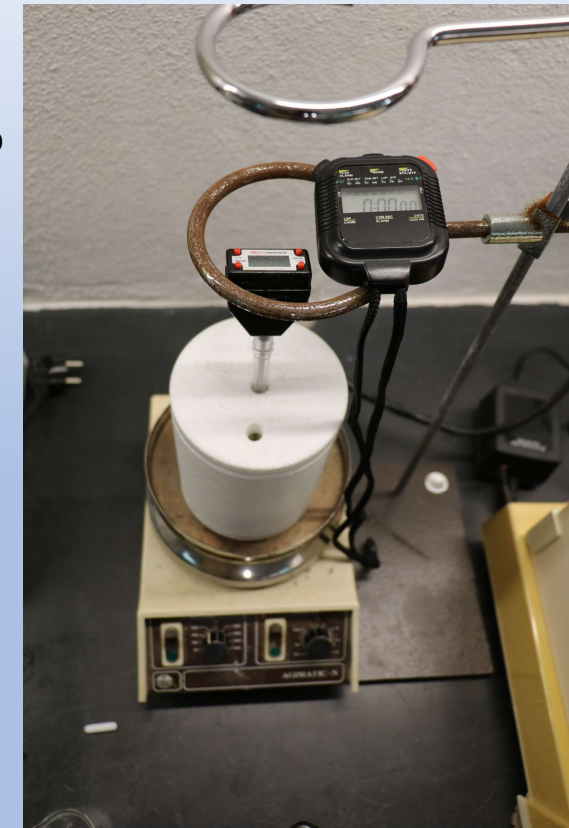
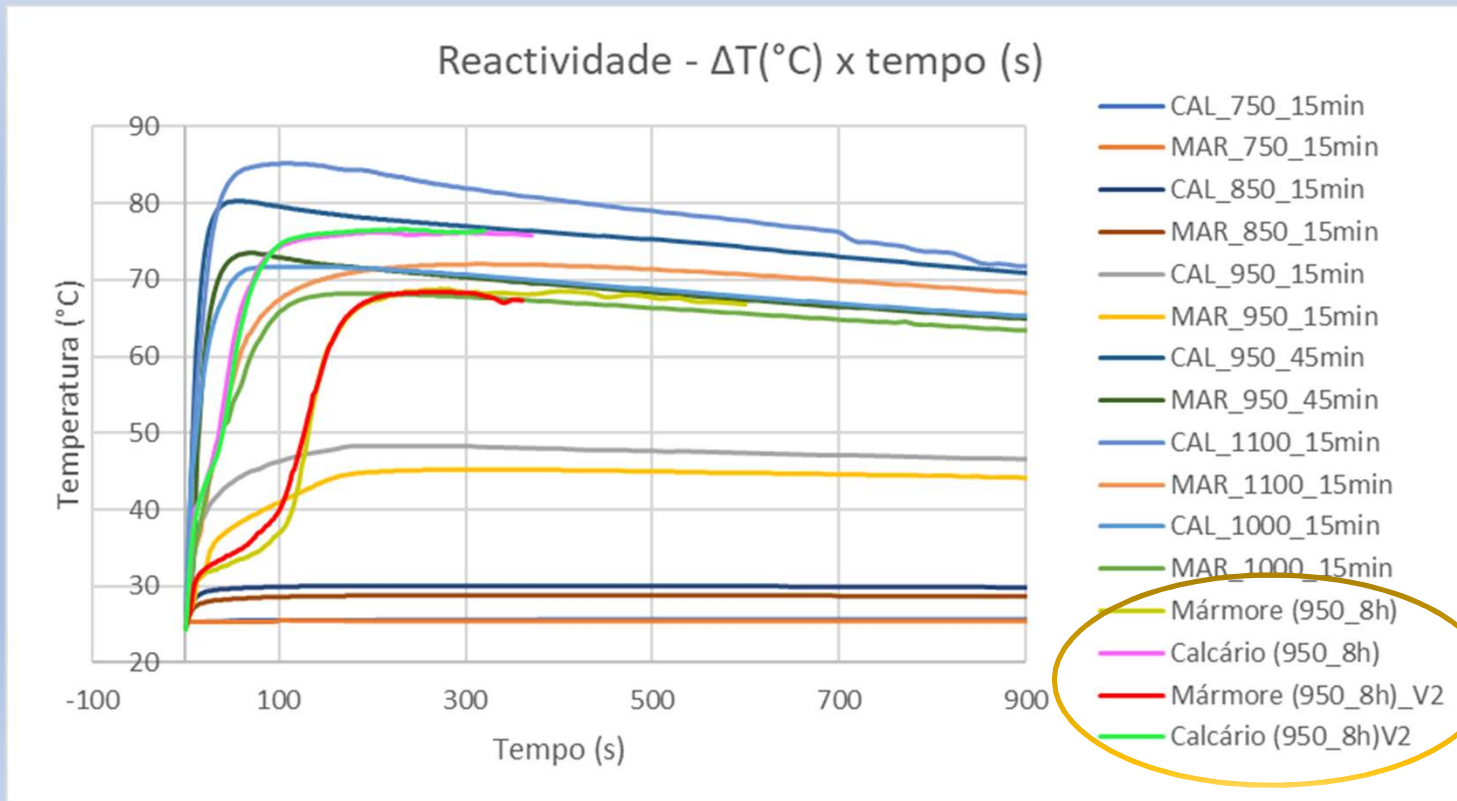


Natas



Resultados - Ensaio de Reactividade

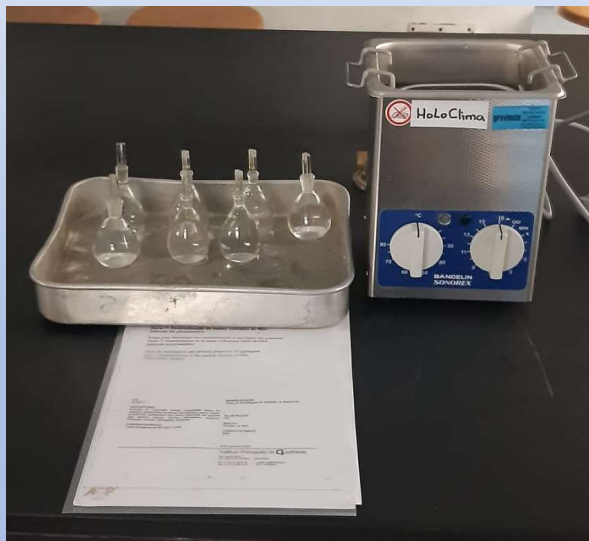
- Os ensaios de reatividade com as natas calcinadas revelaram uma evolução na temperatura proporcional à decomposição térmica de CaCO_3 , com temperaturas máximas atingindo os 85°C ;
- Para o mesmo tempo de calcinação e mesma temperatura todas as amostras de calcário calcinado revelaram picos maiores que os do mármore calcinado.



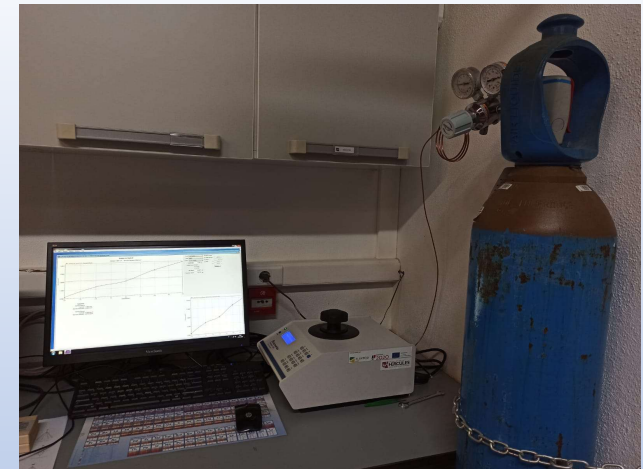
Resultados

Determinação de Massas Volúmicas

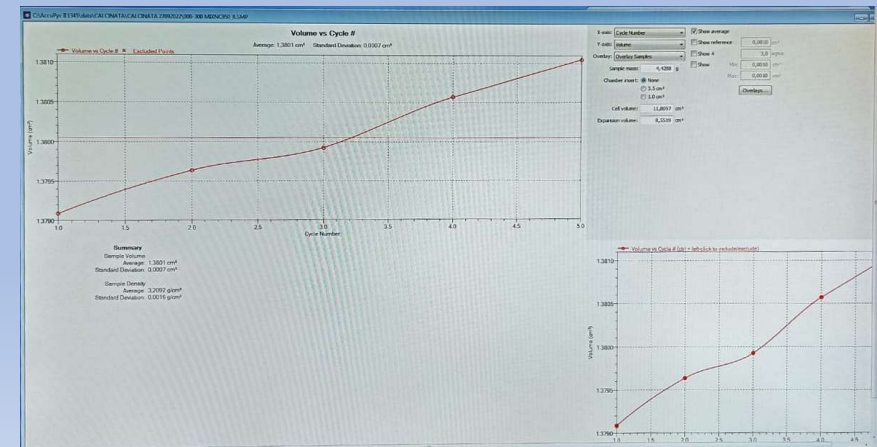
Nata - NP EN 1097-7 2002 - Determinação da Massa Volúmica do Filler
Método do Picnómetro (Lab. Dep. Geociências)



Material Nata	Massa volúmica (g/cm ³)
M(A)	2.537
M(AGF)	2.559
C(S)	2.490
C(MVC)	2.493



Nata Calcinada
Picnómetro de Hélio (Lab. Hércules)
NP EN 1936
Mix NMc 950°C; 8h – 3,21 g/cm³
Mix NCc 950°C; 8h – 3,24 g/cm³



Bago de Arroz - NP 581 1969

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

Brita 1

Massa Volúmica:	
- Material impermeável	2,72 ±0,05 Mg/m ³
- Partículas secas	2,70 ±0,05 Mg/m ³
- Partículas saturadas	2, 71 ±0,05 Mg/m ³
- Absorção de água	0,4%±0,5%

Brita 2

Massa Volúmica:	
- Material impermeável	2,73 ±0,05 Mg/m ³
- Partículas secas	2,71 ±0,05 Mg/m ³
- Partículas saturadas	2, 72 ±0,05 Mg/m ³
- Absorção de água	0,5%±0,5%

Resultados – Viscosidades (Nata + Resina)



Medição da velocidade de fluência da mistura em plano graduado e inclinado a 45°.

- Após a adição “nata” + resina + secante – mistura manual - 60s;
- Enchimento da seringa (30 ml) e despejo no plano inclinado - 90s;
- Início da medição (distância x tempo).

Resinas

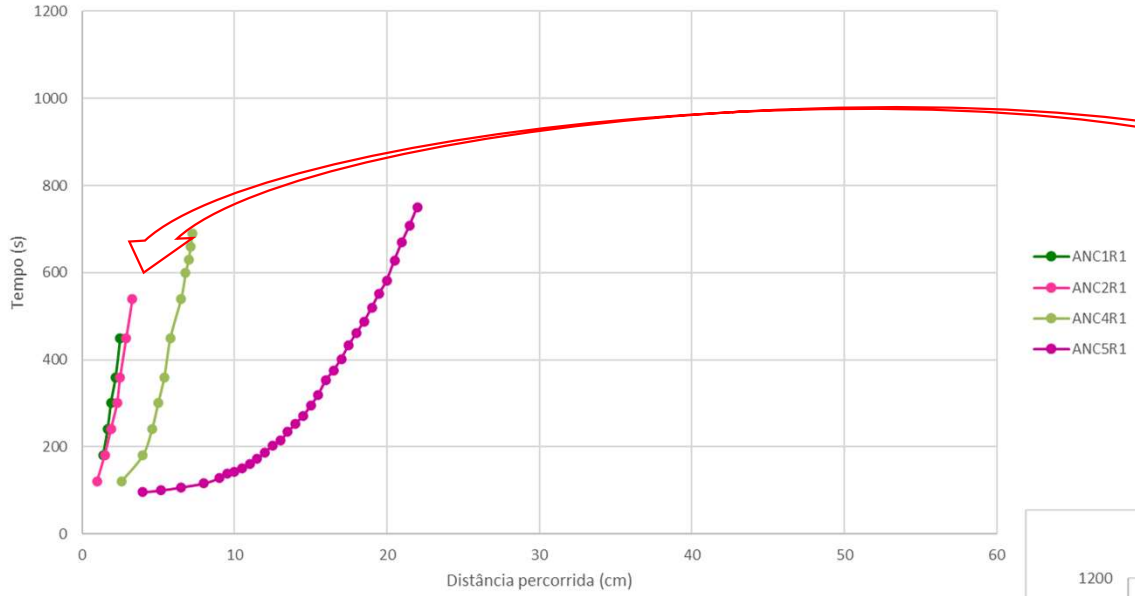
	Dureza Barcol	Viscosidade (cp)	Tempo de Gel	Resistência	Preço
Recapoli 2196 (Poliéster)	40-45	360-620	19` - 23`	56MPa (tensão) 83 MPa (flexão)	169€/25kg
Crystic 446PALV (Poliéster)	40	100 - 140	17`	52 MPa (tensão)	130€/25kg

Recapoli - Resina poliéster do tipo transparente e com filtro UV para evitar amarelecimento. Ideal para vazamento sobre molde de silicone na fabricação de peças decorativas de grande transparência, maquetes, protótipos, etc.

Crystic - Possui mudança de cor do azul a uma leve tonalidade cor mel devido ao catalisador adicionado à resina.

- Porque não resina Epoxi? Ex. Resoltech 1050 – Viscosidade (cp) – 251; Preço – 665€ / 25 kg

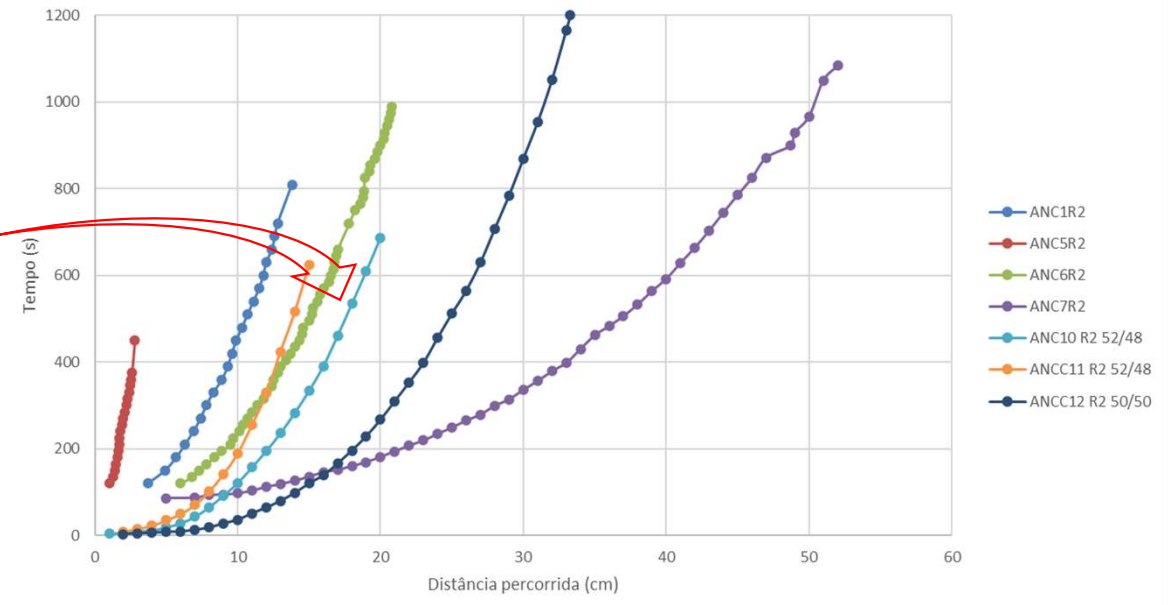
TESTES DE VISCOSIDADE - RESINA 1 + Nata C



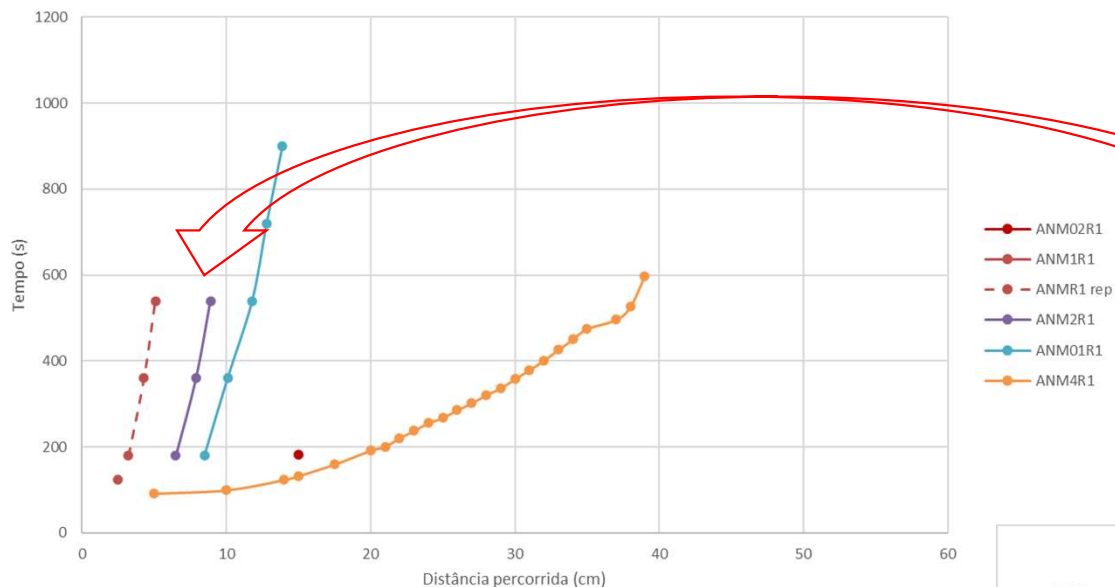
	N/R1
ANC1R1	56/44
ANC2R1	53/47
ANC4R1	50/50
ANC5R1	40/60

	N/R2
ANC1R2	53,39/46,61
ANC5R2	56/44
ANC6R2	50/50
ANC7R2	40/60
ANC10R2	52/48
ANCc11R2	52/48
ANCc12R2	50/50

TESTES DE VISCOSIDADE - RESINA 2 + Nata C



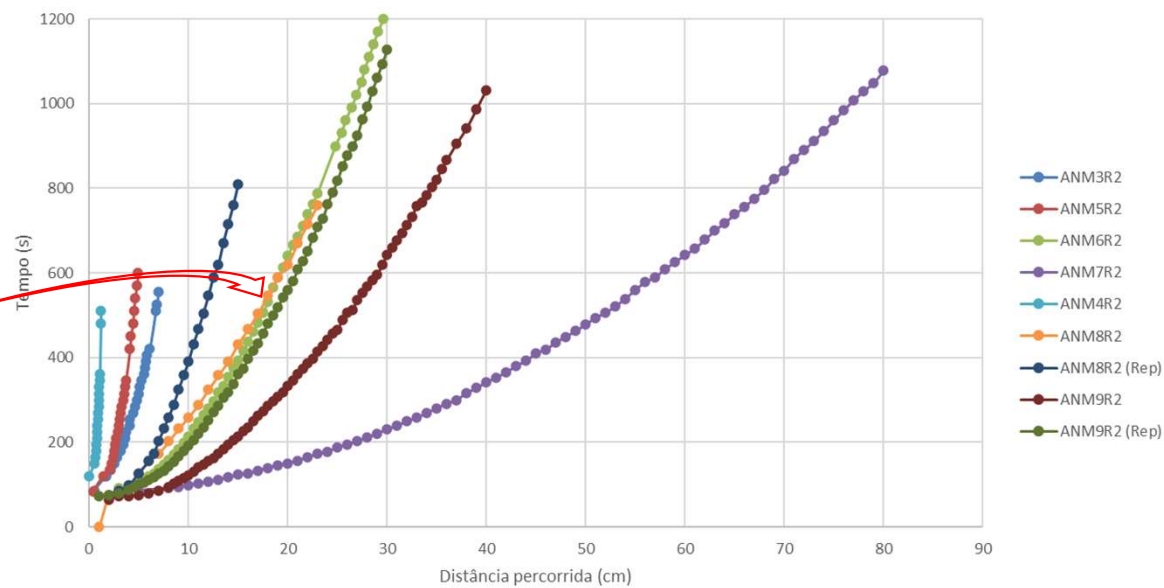
TESTES DE VISCOSIDADE - RESINA 1 + Nata M



	N/R1
ANM02R1	58N/42R
ANM1R1	56N/44R
ANM1R1 rep	56N/44R
ANM2R1	53N/47R
ANM01R1	50N/50R
ANM4R1	40/60

	N/R2
ANM3R2	54,43/45,57
ANM5R2	56/44
ANM6R2	50/50
ANM7R2	40/60
ANM4R2	60/40
ANM8R2	52/48
ANM9R2	47/53

TESTES DE VISCOSIDADE - RESINA 2 + Nata M



- Inicialmente a resina R1 é mais fluida que a resina R2, contudo a R1 perde fluidez muito mais rapidamente que a resina R2 que percorre comprimentos maiores até parar.

- Tanto nos ligantes (mistura de resina com nata) preparados com resina R1, como nos ligantes preparados com resina R2, verifica-se que os que são preparados com Nata de mármore são mais fluidos (menos viscosos) do que os preparados com nata de calcário.

- O compromisso pela redução da resina sem comprometer a fluidez da mistura e ao mesmo tempo ser relativamente rápida a ganhar presa, associada aos valores de resistência mecânica à compressão, leva-nos a optar pela mistura ANM8R2 – 52%Nata / 48% Resina.

Ensaio Preliminares - Ligante

Res. 1 - Crystic 446

NMc (80%) + Res. 1 (20%)

Ensaio 9 – NC (50%) + Res. 1 (50%)

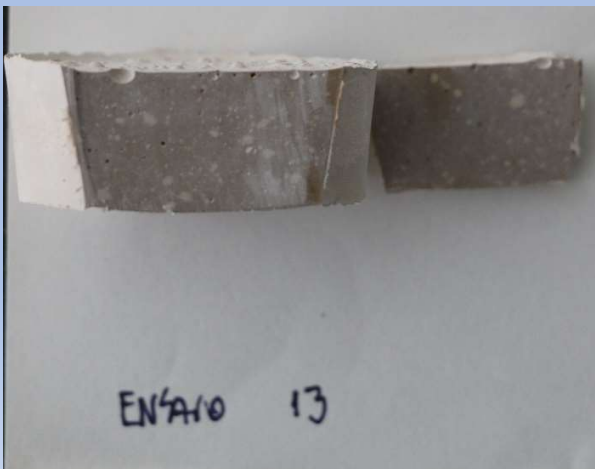
A formulação apresenta pequenas vesículas/espacos (< 2mm) resultantes da mistura nata + resina. São visíveis também pequenos aglomerados de nata (< 2mm), contudo a formulação apresenta uma textura homogénea, fina e compacta, não apresentando fraturas visíveis a olho nu. Revela ainda um aspecto plástico.

Ensaio 13 - NM (50%) + Res. 1 (50%)

A formulação apresenta-se parcialmente destruída, apresentando uma separação física do bordo da amostra. São visíveis pequenas vesículas/espacos (< 1mm) no interior, o topo apresenta-se irregular e com bolhas. São ainda visíveis pequenos aglomerados de nata (< 3mm).



Nota: É visível um forte degradação no ensaio 13 após vários meses, apesar de ter sido caso único!





Ensaio 10 – NMc (50%) + Res. 1 (50%)

A formulação apresenta pequenas vesículas/espacos (< 1mm) resultantes da mistura nata + resina. São ainda visíveis pequenos aglomerados de nata (< 3mm) em grande quantidade. A formulação apresenta uma textura homogénea, fina e compacta, não sendo detetadas fraturas a olho nu. Saliente-se o aspecto plástico.

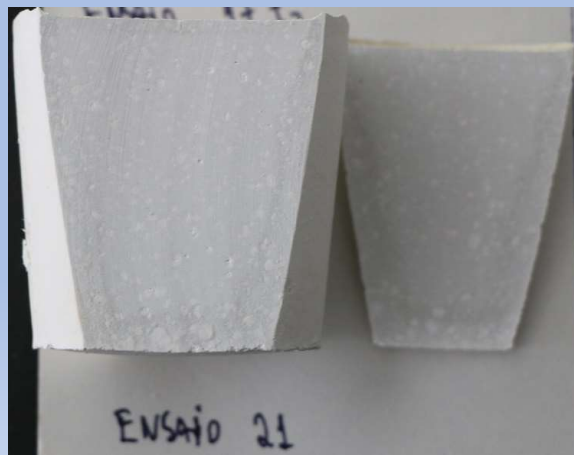
Ensaio 11 t2 – NMc + H2O (50%) + Res. 1 (50%)

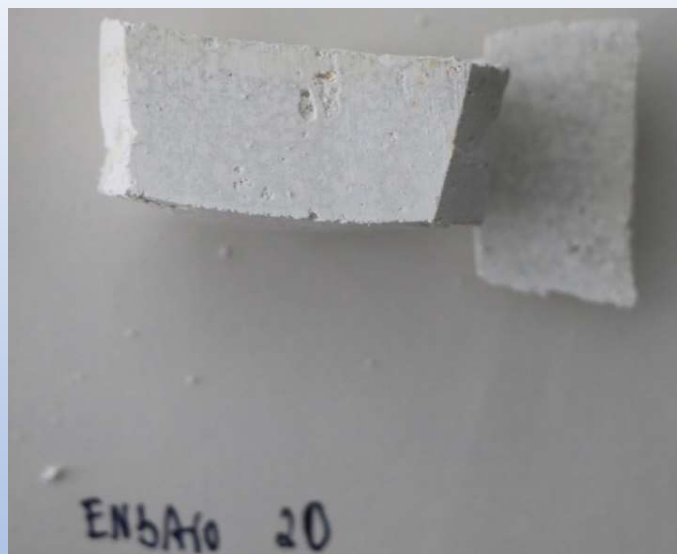
A formulação apresenta algumas vesículas/espacos (< 2mm) resultantes da mistura nata + água + resina. No bordo da amostra é visível uma orelha que apresenta diversas fraturas. O topo apresenta-se irregular e com bolhas derivadas da reação exotérmica com a água.



Ensaio 21 - NCc + H2O (50%) + Res. 1 (50%)

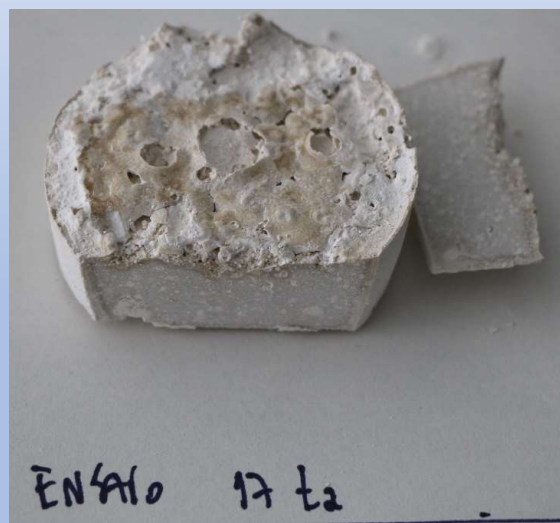
A formulação apresenta diversos aglomerados de nata (< 2 mm). É visível uma orelha com aproximadamente 5 mm de espessura. O interior da amostra, passado alguns meses apresenta-se visivelmente fraturada e ligeiramente expandida. A formulação em comparação com as que não levam água, apresenta um aspeto frágil e uma textura irregular e pouco homogénea.





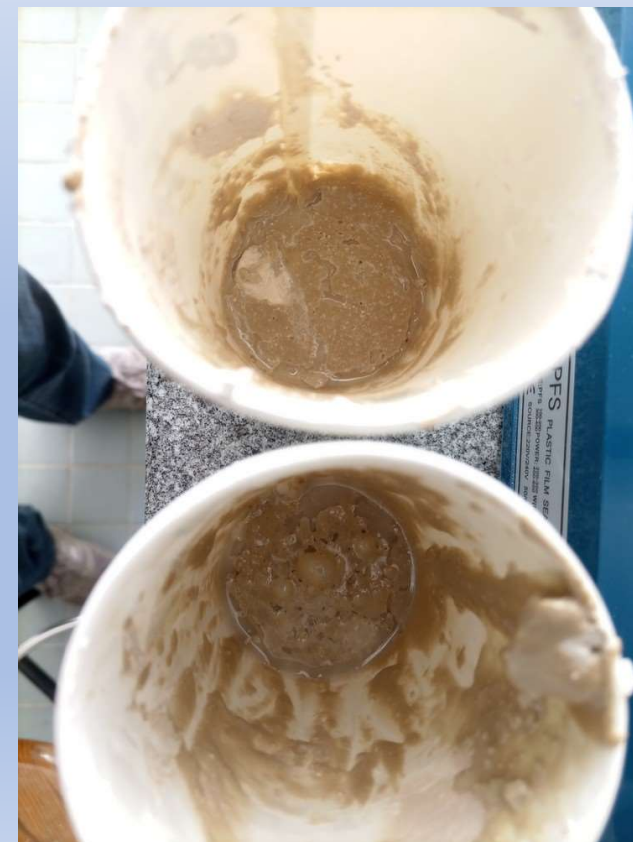
Ensaio 20 - NCc + H2O (70%) + Res. 1 (30%)

A formulação apresenta vesículas/espacos (< 5mm) irregulares. A amostra apresenta-se irregular e a textura é pouco homogénea. São ainda visíveis aglomerados de nata.



Ensaio 17 t2 – NMc + H2O (70%) + Res. 1 (30%)

A formulação apresenta diversos aglomerados de nata (< 4 mm). O topo da amostra apresenta-se irregular e a textura da formulação é pouco homogénea. É visível ainda uma orela, podendo por vezes apresentar pequenas fraturas.



Resina 2 – Recapoli 2196

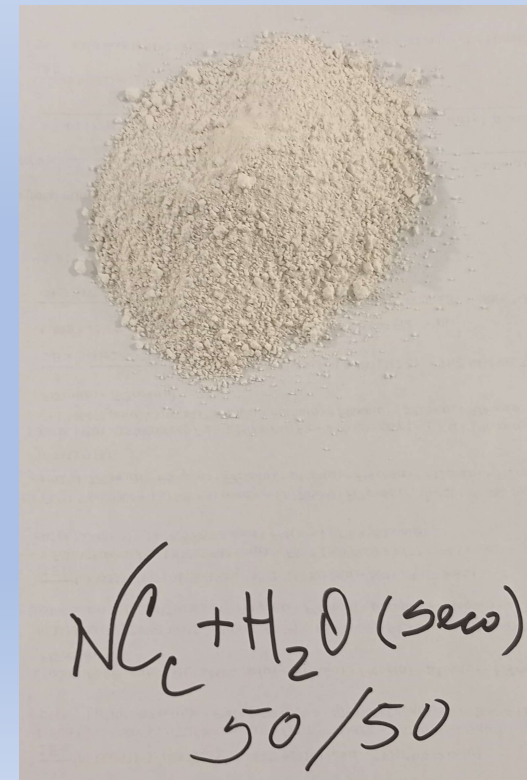
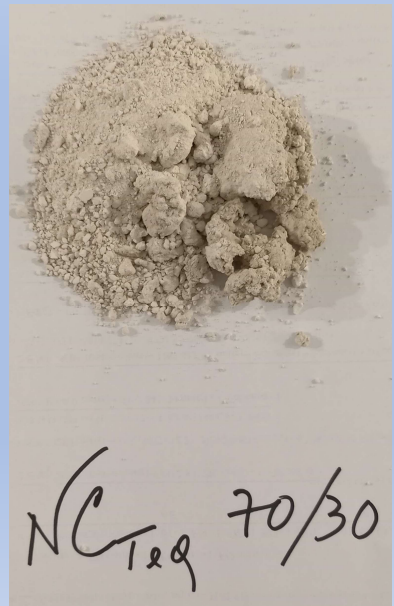
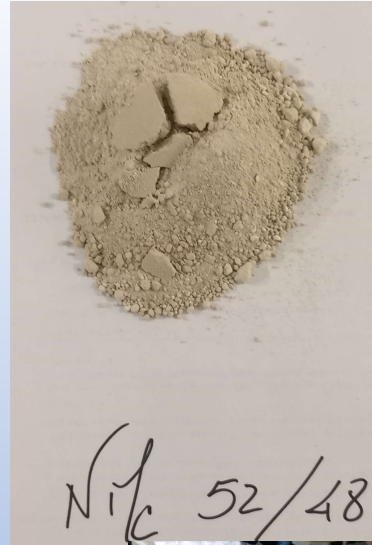
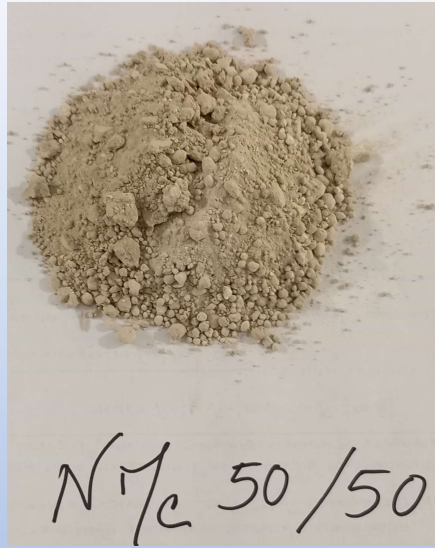
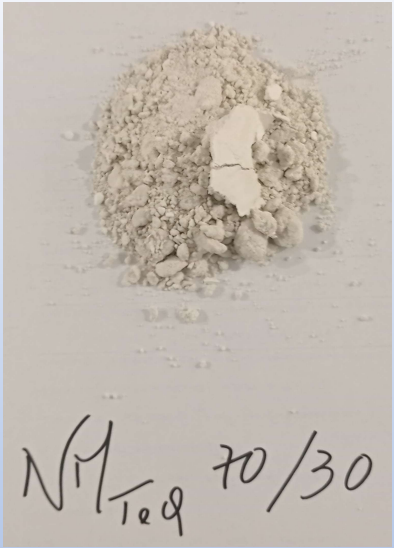
NMc – Nata marmórea calcinada

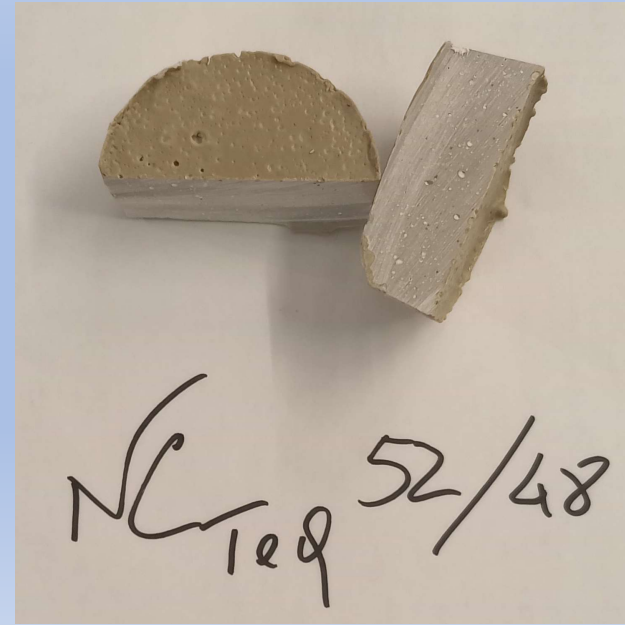
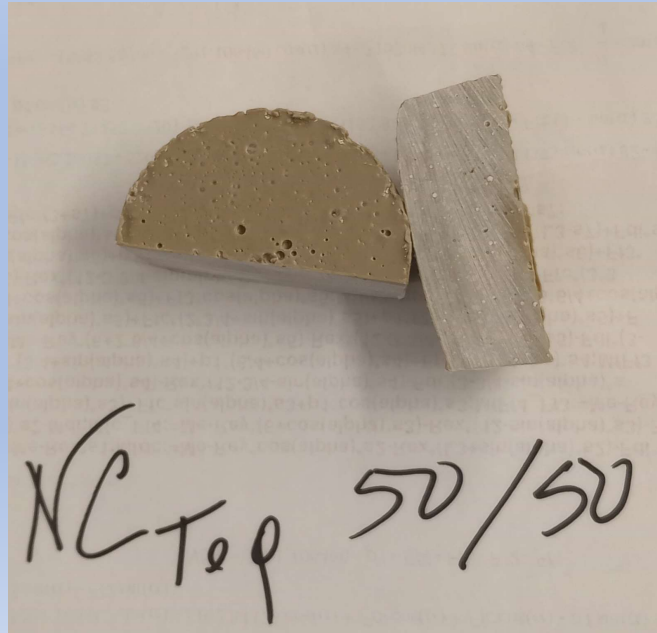
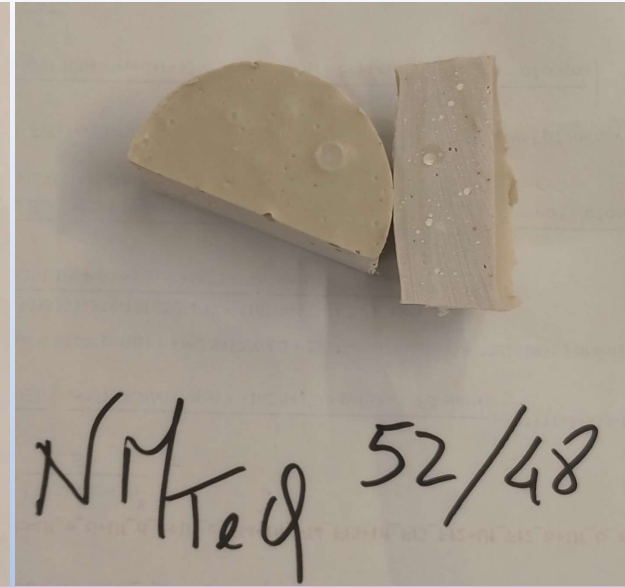
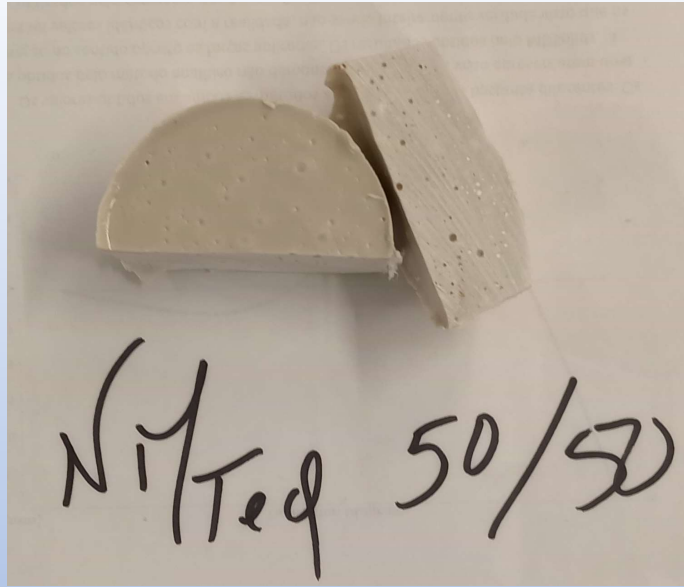
NCc – Nata calcária calcinada

$NM_{T\&Q}$ – Nata marmórea

$NC_{T\&Q}$ – Nata calcária

X/Y – Nata / Resina





Formulação de Ligantes

Objectivo: avaliar a resistência à compressão uniaxial das diversas formulações de nata mármore (calcário) + resina 2 (Recapoli).

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. Foram assim preparadas várias formulações de ligante (argamassa) para moldagem de provetes.

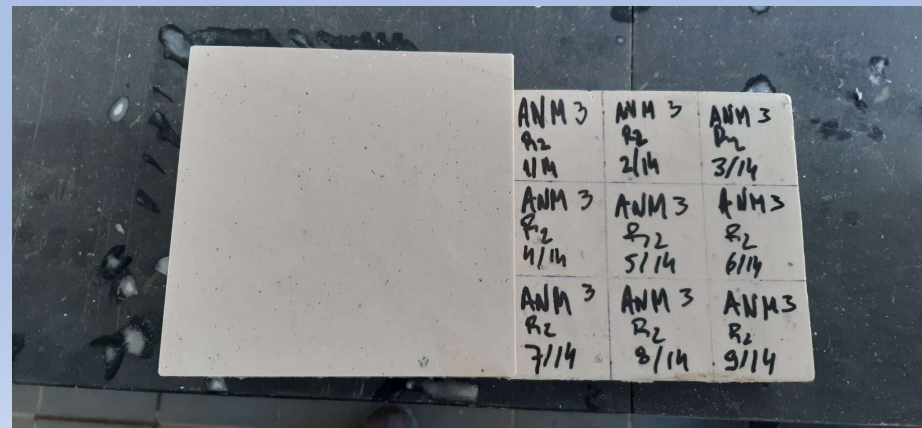


Corte dos Provetes e Ensaios de Resistência Mecânica à Compressão

A partir do provete principal foram obtidos provetes cúbicos (5 cm x 5 cm x 5 cm), com recurso a um Charriot Cedima munido de disco diamantado de 50 cm de diâmetro, para ensaios de R.M.C. a três tempos de cura: 7 dias, 14 dias e 28 dias.



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



Resultados dos Ensaio de Resistência Mecânica à Compressão aos Ligantes

	Formulações	R (MPa)	D.P.	Nº Prov.
28 Dias	ANM0R1 - 50%NM / 50%R1	125,70	7	5
	ANM1R1 - 56%NM / 44%R1	104,38	4	8
	ANM2R1 - 53%NM / 47%R1	108,50	5	7
	ANM3R2 - 54,43%NM / 45,57%R2	102,73	2	9
	ANM4R2 - 50%NM / 50%R2	98,35	3	9
	ANM5R2 - 47%NM / 53%R2	96,23	1	9
	ANM6R2 - 52%NM / 48%R2	106,37	3	7
	ANC1R1 - 56%NC / 44%R1	114,45	6	5
	ANC2R1 - 53%NC / 47%R1	108,31	7	8
	ANC3R2 - 52,31%NC / 47,69%R2	103,2	2	9
	ANC4R2 - 50%NC / 50%R2	102,12	1	9
	ANC5R2 - 47%NC / 53%R2	96,04	2	9

Foram realizadas 12 misturas:

- 5 com resina R1 e 6 com resina R2;
- 7 com Nata de Mármore e 5 com Nata de Calcário.

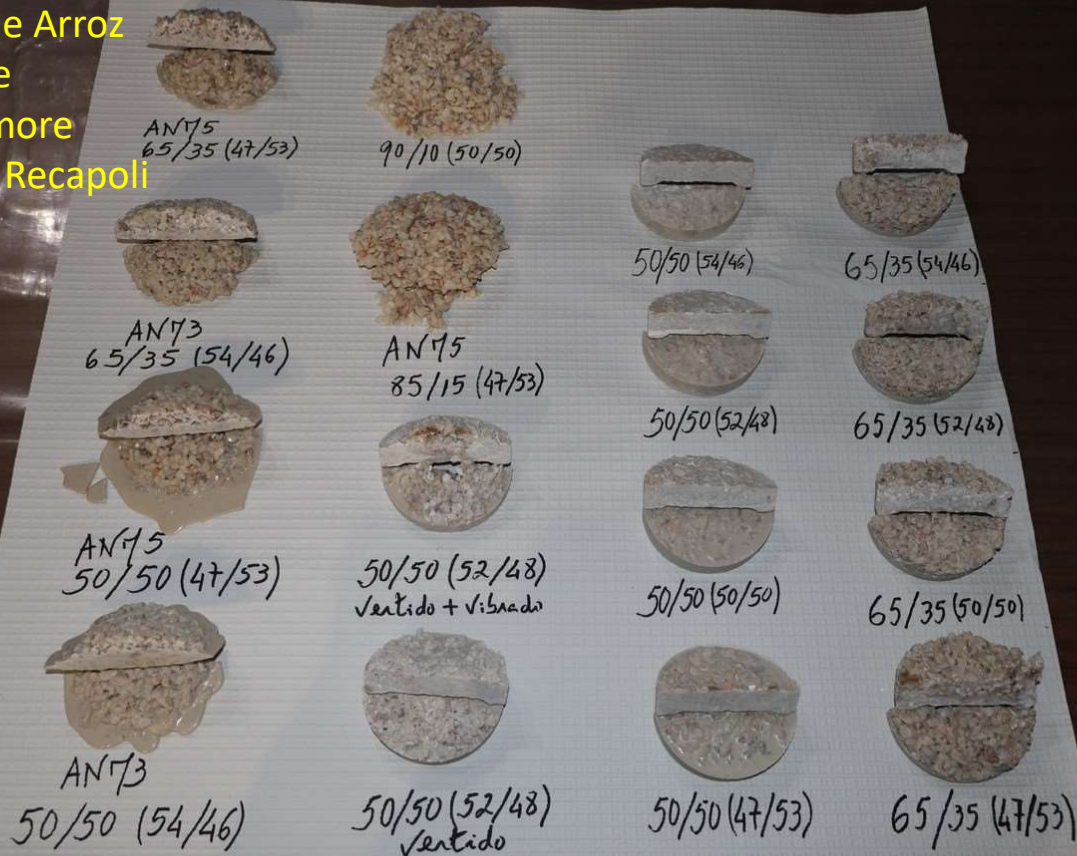
As formulações com proporções próximas de 52%/48%, não revelando os valores mais altos, mostram melhores reprodutibilidades e com valores de R.M.C. que não comprometem.

Ensaio Preliminares com Bago de Arroz + Ligante

A mistura manual de bago de arroz e ligante antecedeu os ensaios nos moldes e com os três tipos de agregado, tendo-se revelado fundamental, na medida em que permitiu ter uma melhor noção das misturas a realizar posteriormente.

Nomenclatura – % BA / % Lig (%Nata / %R2)

BA – Bago de Arroz
Lig. - Ligante
Nata - Mármore
R2 – Resina Recapoli



A primeira coluna da esquerda e a parte superior da segunda coluna correspondem aos provetes vertidos. Os restantes provetes foram deixados a secar nos copos e posteriormente desmoldados.

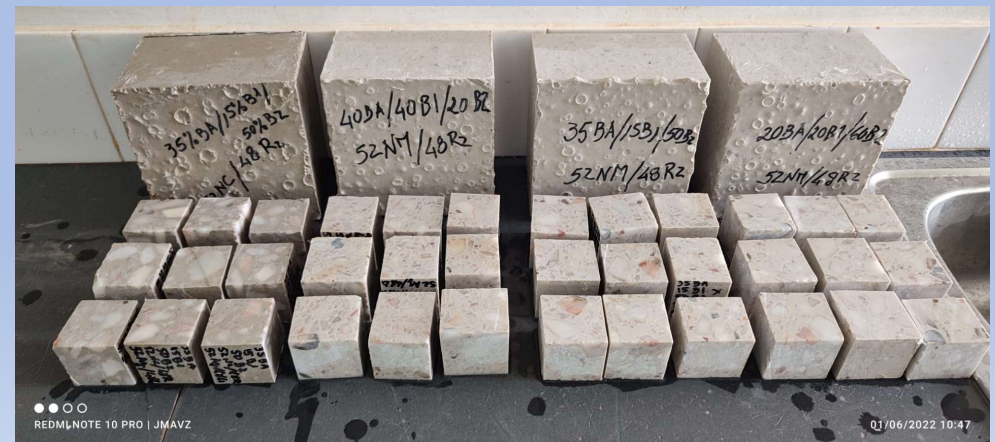
Realça-se o espalhamento do ligante nas formulações 50/50(47/53) e 50/50(54/46), revelando fluidez considerável.

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.

Formulação de Misturas (Agregado + Ligante)

Foram realizadas 8 misturas, onde foi incorporado em todas elas agregado marmóreo Bago de Arroz, Brita 1 e Brita 2):

- 4 com ligante calcário;
- 4 com ligante marmóreo.



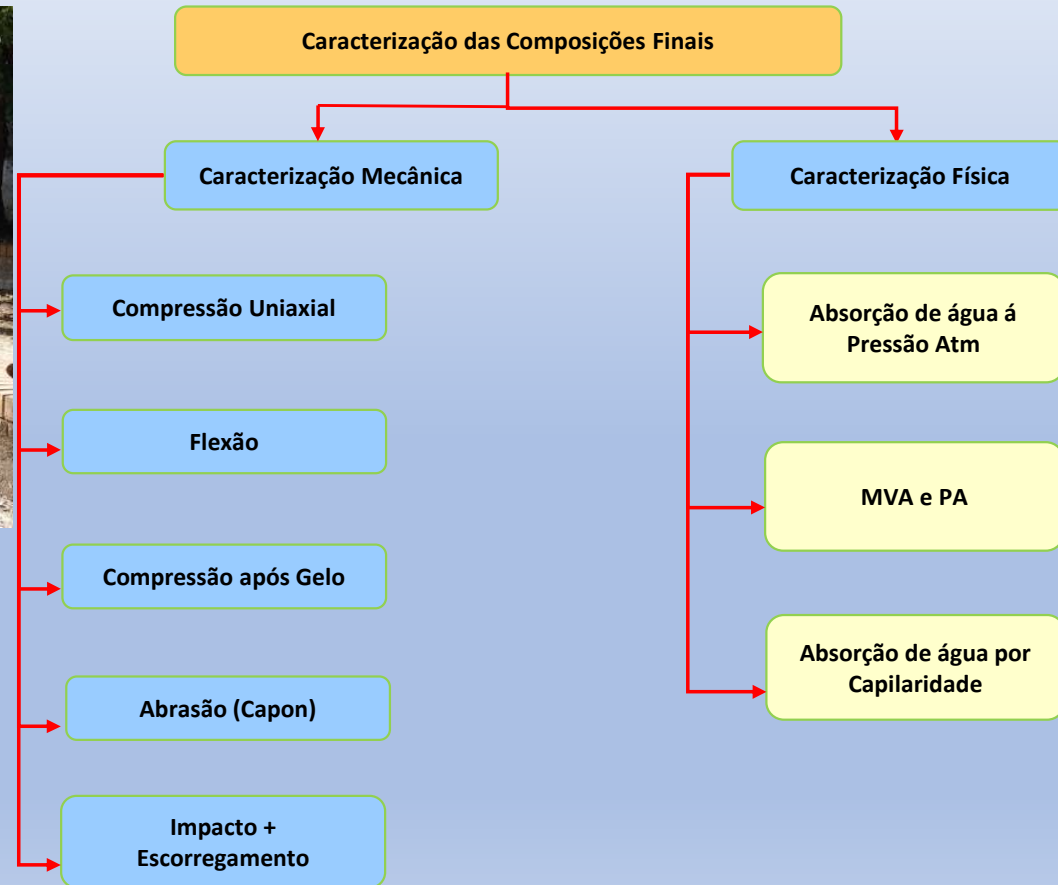
Resultados dos Ensaios de Resistência Mecânica à Compressão das Misturas

	Formulações	R (MPa)	D.P.	Nº Prov.
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)	61,93	4	4
	Agregados 40%BA/40%B1/20%B2+ Ligante(52%Nata Calc+48%Recapoli)	73,34	4	6
	Agregados 30%BA/30%B1/40%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)	50,66	3	4
	Agregados 30%BA/30%B1/40%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli) Rep.	74,80	3	7
	Agregados 20%BA/20%B1/60%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)	76,50	2	6
	Agregados 35%BA/15%B1/50%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)	81,44	3	7
	Agregados 40%BA/40%B1/20%B2+ Ligante(52%Nata Mar+48%Recapoli)	85,68	5	5

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

Ensaio a Decorrer

- O projecto entrou numa nova fase, com a realização de formulações NM 52(40/40/20) / 48 (52/48) e NC 52(40/40/20) / 48 (52/48) em moldes de maiores dimensões (55 cm x 15 cm x 15 cm) para a obtenção de provetes para mais ensaios de caracterização.



Primeiros Dados da Nova Fase

Resistência Mecânica à Compressão

52% Agregados (40%BA+ 40%B1+ 20%B2) + 48% Ligante (52% nata **Mármore** + 48% Resina 2):

- 14 dias – 81,00 MPa

- 28 dias – 88,19 MPa

52% Agregados (40%BA+ 40%B1+ 20%B2) + 48% Ligante (52% nata **Calcário** + 48% Resina 2):

- 14 dias – 77,08 MPa



Resistência Mecânica à Flexão

52% Agregados (40%BA+ 40%B1+ 20%B2) + 48% Ligante (52% nata **Mármore** + 48% Resina 2):

- 14 dias – 16,70 MPa

- 28 dias – 15,49 MPa

52% Agregados (40%BA+ 40%B1+ 20%B2) + 48% Ligante (52% nata **Calcário** + 48% Resina 2):

- 14 dias – 15,54 MPa.



Dados a Reter:

1. Composição Mineralógica

- M(A), M(AGF), C(S) e C(MVC) – Natas marcadamente carbonatadas, com picos na DRX, bem definidos na Calcite, corroborado com a presença de CaO nas natas calcinadas.

2. Composição Química

- Todas as natas com percentagens significativas de CaO e na perda ao rubro. M(AGF) e M(A) com expressão na SiO₂ e M(AGF) algo magnésiana (MgO).

3. Análise Granulométrica

- Para a fracção > 63 µm, verifica-se alguma variabilidade nas dimensões máximas das diferentes natas, provavelmente relacionadas com os diferentes processos de produção das serrações (M(A) – 1 mm; M(AGF) – 0,250 mm; C(S) – 0,5 mm; C(MVC) – 2 mm).

- Para a fracção < 63 µm, verificam-se curvas granulométricas com traçados semelhantes em todas as natas.

4. Reactividade

- Após calcinação todas as natas de calcário revelaram-se mais reactivas que as de mármore.

- Temperatura máxima, mármore (950 °C – 8h) – 68,5 °C

- Temperatura máxima, calcário (950 °C – 8h) – 76,5 °C

- Consumo energético médio por cada 600 g calcinadas – 122 KWh. Para 0,2023€/KWh – 24,68€

5. Massas Volúmicas

- M(A) – 2,537 g/cm^3
- M(AGF) – 2,559 g/cm^3
- C(S) – 2,490 g/cm^3
- C(MVC) – 2,493 g/cm^3
- Mix NMc – 3,21 g/cm^3
- Mix NCc – 3,24 g/cm^3
- Bago de Arroz – 2,77 g/cm^3
- Brita 1 – 2,70 g/cm^3
- Brita 2 – 2,71 g/cm^3

6. Viscosidades

- O compromisso pela redução da resina nas formulações do ligante e uma quantidade de resina suficiente para garantir a fluidez da mistura e ao mesmo tempo ser relativamente rápida a ganhar presa, levou-nos a optar pela mistura ANM8R2 – 52%Nata / 48% Resina.

- A Resina Crystic juntamente com a nata torna-se menos fluida e menos trabalhável que a Recapoli.

7. Ensaio Preliminares com Nata e Nata Calcinada

- Utilização de nata calcinada calcária ou marmórea (cal viva) depois de reagida com água (hidratada), esta é expulsa com a adição da resina revelando imiscibilidade.

- Nata calcinada calcária ou marmórea não permite mistura com resina 2.
- Nata calcinada depois de misturada com água e seca até massa constante, também não permitiu mistura com a resina.
- A nata marmórea e calcária permite mistura com a resina, com proporções de 50%/50% e 52%/48%.

8. Resistência Mecânica à Compressão aos Ligantes

- As R.M.C. às formulações com a resina Crystic (R1) revelaram resistências superiores às da resina Recapoli (R2) em todos os tempos de cura, apesar da difícil trabalhabilidade.
- As formulações com a R2, aos 7 dias não estavam completamente curadas, mostrando deformação dos bordos sobre pressão dos dedos, tendo-se optado pelos tempos de cura de 14 e 28 dias.
- Aos 7 dias, os ligantes, com as mesmas proporções de nata / resina R2 (50/50 e 47/53) revelaram valores de R.M.C. ligeiramente maiores (entre 3 a 5 MPa), com a nata calcária do que com a nata marmórea.
- Aos 28 dias a proporção 50/50 de calcário teve um valor de 4MPa superior à de mármore.
- A proporção 47/53 mostrou valores iguais nas duas formulações.
- A proporção 52/48 a formulação com a nata de mármore revelou uma R.M.C. 3MPa superior à do calcário.
- As formulações com proporções próximas de 52%/48%, não revelando os valores mais altos, mostram melhores reprodutibilidades e com valores de R.M.C. que não comprometem.

9. Ensaio Preliminares com Bago de Arroz + 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.
- De referir que nas proporções com menos resina, os grãos mostraram-se solidários entre si, mesmo durante o processo de corte com disco diamantado.

10. Resultados dos Ensaios de Resistência Mecânica à Compressão (R.M.C.) das Misturas

- 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 – 74,67 MPa
- 14 dias – 77,11 MPa
- 28 dias – 85,68 MPa

Para Comparar (valores de R.M.C.):

Calcários: Pedra de Ançã (23 MPa) – Banco de Baixo (167 MPa).

Mármores: Rosa Venado (70 MPa) – Branco Venado (102 MPa).

Granitos: Amarelo Vila Real (70 MPa) – Cinzento Alpalhão (253 MPa).

11. Resultados dos Ensaios de Resistência Mecânica à Compressão (R.M.C.) e Flexão (R.M.F.) das Misturas da Nova Fase

- As formulações com proporções **52% Agregados (40%BA+ 40%B1+ 20%B2) + 48% Ligante (52% NM / 48% R2)**:

- 14 dias – 81,00 MPa
- 28 dias – 88,19 MPa

Os ensaios de Resistência Mecânica à Flexão revelaram:

- 14 dias – 16,70 MPa
- 28 dias – 15,49 MPa

Para Comparar (valores de R.M.F.):

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

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

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

Obrigado pela Atenção

