

Uroboro

CADERNO DE ANEXOS

Mestrado Design de Produto
Marco Balsinha
ESAD.CR 2015

UROBORO
Caderno de anexos

Orientador: José Manuel Frade
Coorientador: Luís Pessanha

ÍNDICE

1. ANEXO 1	4
1.1 Estudo da técnica de vermicompostagem	4
1.1.1 Sistema A1	5
1.1.2 Sistema A2	7
1.1.3 Sistema B1	9
1.1.4 Sistema C1	12
1.1.5 Sistema D1	15
1.1.6 Sistema E1	18
1.2 Relação entre sistemas	20
1.3 Conclusões finais	21
2. ANEXO 2	22
2.1 Ensaios em laboratório	22
2.2 Matérias-primas	23
2.3 Procedimentos de mistura e preparação	26
2.4 Referências	32
2.5 Ensaios	37
2.5.1 Ensaio de resistência mecânica à flexão	37
2.5.2 Absorção de água	37
2.5.3 Ensaio de velocidade de ascensão capilar	38
2.6 Discussão dos resultados	52
2.7 Teste de protótipo à escala laboratorial	56
2.7.1 Teste de migração de água no sentido ascendente	56
2.7.2 Teste de migração de água no sentido descendente	58
3. ANEXO 3	61
3.1 Produção dos modelos	61
3.1.1 Moldes de gesso	61
3.1.2 Enchimento	67
3.1.3 Acabamentos	68
3.1.4 Enfornamento e queima	70
3.1.5 Vidragem	70
3.1.6 Aplicação de decalques	70

4. ANEXO 4	74
4.1 Manual de iniciação do sistema	74
5. ANEXO 5	78
5.1 Formulário da família Clemátis	78
5.2 Formulário da família Pessanha	80
5.3 Testemunho da família Correia	82
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
7. ÍNDICE DE FIGURAS	83
8. ABREVIATURAS E GLOSSÁRIO	84

1. ANEXO 1

1.1 ESTUDO DA TÉCNICA DE VERMICOMPOSTAGEM

Com base em bibliografia especializada sobre o tema (Appelhof, 1997 e Pilkington, 2005), foram feitos estudos que permitiram entender o processo de vermicompostagem e que à medida da evolução do estudo se tornaram mais complexos, explorando a experiência entre o utilizador e o objeto, posição das minhocas no sistema, controlo de humidade (chá de húmus¹) e de mosquitos.

Para estas experiências, foram adquiridas minhocas e contentores comercialmente disponíveis. As minhocas foram adquiridas na empresa Biorecycle Ecominhocas, que se dedica à criação e venda a nível internacional. Para iniciar cada um dos sistemas descritos, foi preparada uma mistura à base de terra, borras de café, jornal húmido (evitando páginas com cor) e folhas secas, que constituía a chamada “cama das minhocas” (Pilkington, 2005) e que potenciará um início do sistema mais estável².

1 Líquido gerado pelo processo de vermicompostagem (Pilkington, 2005).

2 Esta é a técnica mais difundida e que comprovadamente cria condições para um início da vermicompostagem sem que as minhocas se sintam desconfortáveis e saiam do sistema na fase inicial.

▼ Fig. 1

A mistura para iniciar a vermicompostagem contou com os materiais: terra (A), borras de café (B), folhas de jornal (C) e folhas secas (D).



1.1.1 SISTEMA A1

Sistema constituído por três contentores (Fig. 2) em PP translúcido (310 x 190 x 170 mm) empilháveis com múltiplos furos de 1 mm ao longo de toda a superfície da base nos dois contentores superiores para a drenagem de líquidos. Tampa em HDPE com dois rasgos quadrangulares de 10 x 10 mm e tapados com malha de fibra de poliéster com 0,5 mm de trama e fixa com fita-cola de dupla face.

Para esta experiência, foram utilizados 500 gr de minhocas que, após estabilizadas³ no sistema, receberam o depósito semanal de 200 gr de Resíduos Biodegradáveis Vegetais (RBV) frescos com no máximo três dias de maturação⁴ prévia. Inicialmente, não houve o cuidado de tapar os resíduos, criando condições de exposição para os mosquitos da fruta povoarem os RBV com ovos que mais tarde se verificou eclodirem dentro do sistema. De forma a mitigar esta situação, tentou-se secar a superfície da pilha de resíduos⁵ cobrindo-a com folhas secas diversas, que posteriormente foram substituídas por serrim de madeira (mais eficiente) (Fig. 3).

A deficiente drenagem de líquidos provenientes da degradação dos RBV resultou num processo anaeróbico e respetivo afogamento parcial da população de minhocas. No sentido de resolver este

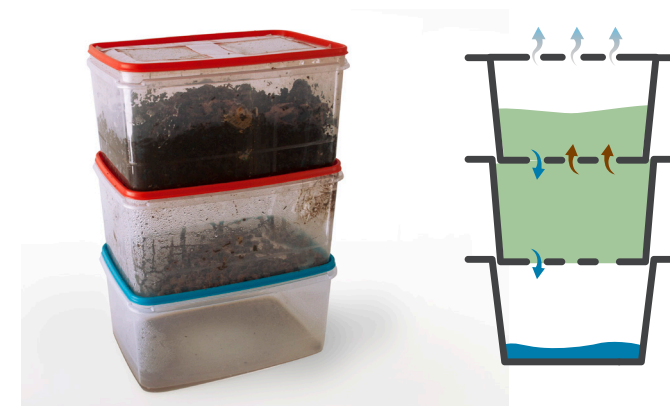
3 Refere-se “fase em que o sistema está estável” quando não existe registo de saída de minhocas e/ou quando se verifica uma transformação de RBV sem excesso de humidade (quando o composto se encontra visivelmente encharcado) e cheiro intenso.

4 A maturação dos resíduos era feita depositando-os num contentor separado e destapado.

5 Observou-se que os mosquitos da fruta eram atraídos pela humidade existente nos RBV.

► Fig. 2

À direita: sistema A1; à esquerda: esquema de evaporação, deslocação de minhocas e coleta de líquidos do sistema A1.



problema, na base de um contentor à parte (com as mesmas características que os referidos) foi depositada uma camada irregular de gravilha e pedras (com diâmetro menor ou igual a 10 mm) e por cima a pilha de composto e minhocas proveniente da anterior experiência.

Conclusões

A secagem da zona superior do composto evitou a proliferação de mosquitos (criando uma barreira) evitando expor o processo ao ar na fase de degradação dos resíduos. Adicionar irregularidades na base da pilha (neste caso, recorrendo a gravilha e a pedras) melhora a drenagem do sistema, evitando o entupimento dos orifícios da base. No entanto, por não criar uma barreira física para as minhocas, verificou-se com frequência a presença de algumas minhocas no compartimento inferior (zona de recolha do chá de húmus), propiciando o seu afogamento.



◀ Fig. 3
Sistema A1 com serrim de madeira, e na fase final de experimentação.

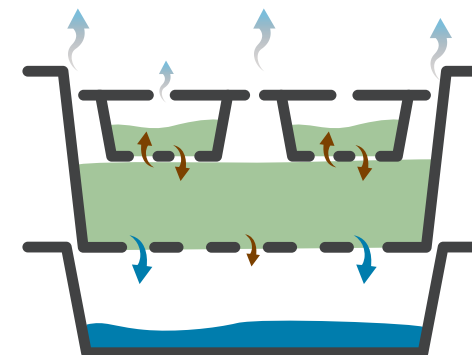
1.1.2 SISTEMA A2

Sistema constituído por dois contentores (Fig. 4) em PP translúcido (310 x 190 x 170 mm). Contentor superior com múltiplos furos de 5 mm ao longo de toda a superfície da base, coberto com gravilha e pedras (com diâmetro menor ou igual a 10 mm). Tampa em HDPE com dois rasgos quadrangulares de 10 x 10 mm, tapados com malha de fibra de poliéster com 0,5 mm de trama e fixa com fita-cola de dupla face. O reservatório inferior serve de suporte e recolha do chá de húmus. Foram utilizados também para este teste dois contentores em PP translúcido (150 x 150 x 100 mm) com base e tampa (em PP) perfuradas.

▶ Fig. 4
Sistema A2.



▶ Fig. 5
Esquema de evaporação, deslocação de minhocas e coleta de líquidos do sistema A2.



A experiência foi iniciada da mesma forma que a anterior: após estabilizado o sistema, foram colocados os dois contentores de menores dimensões (Fig. 6) diretamente por cima da cama das minhocas com 100 gr de RBV. De início, estes foram cobertos com tampas sem furos, tendo sido substituídas posteriormente por tampas de furos múltiplos.

Conclusões

Durante a experiência, verificou-se uma deslocação acentuada de minhocas para a zona onde se encontravam os contentores e no interior destes. A humidade acelerou o processo de degradação dos RUB, principalmente quando cobertos com tampa sem furos, mas criou ao mesmo tempo condições para uma intensificação da proliferação de mosquitos da fruta, obrigando a que os RUB fossem tapados com serrim de madeira. Esta experiência permitiu confirmar a possibilidade de controlar a posição de minhocas de forma parcial no sistema. Este controlo foi possível uma vez que o escoamento de líquido atraía as minhocas para a sua origem.



◀ Fig. 6
Contentores de menores dimensões depositados por cima da cama das minhocas.

1.1.3 SISTEMA B1

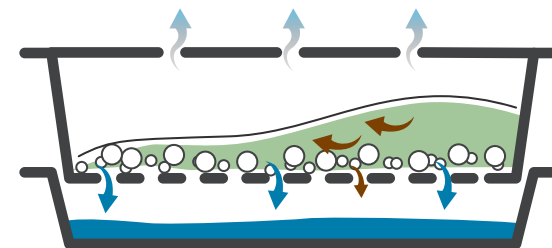
Sistema constituído por contentores (Fig. 7) em PP translúcido (850 x 350 x 170 mm) tapados com filme preto, que evita a passagem de luz. Base pontualmente perfurada (nas zonas de rebaixamento da superfície da base (Fig. 9)) e coberta com grilha e pedras (com diâmetro menor ou igual a 10 mm), colocadas por cima dos furos (Fig. 10). Tampa em PP com rasgos ortogonais, coberta com malha de fibra de poliéster com 0,5 mm de trama e fixa com fita-cola de dupla face.

Por cima da grilha e das pedras, foram depositados 400 gr de RBV com até três dias de maturação⁶ e cobertos com composto contaminado de minhocas originário dos anteriores sistemas. Passados 10 dias, o

▶ Fig. 7
Sistema B1



▶ Fig. 8
Esquema de evaporação, deslocação de minhocas e coleta de líquidos do sistema B1.



⁶ A maturação do RBV era feita recorrendo a um contentor separado.

sistema foi semanalmente reabastecido com as mesmas quantidades de RBV, até preencher toda a superfície da base. O aparecimento de mosquitos da fruta no sistema obrigou mais uma vez a que o mesmo fosse coberto, desta vez com filme (o mesmo usado para evitar a passagem da luz) (Fig. 11), no topo da pilha do composto.

Conclusões

A deposição de composto contaminado de minhocas por cima de RBV com pelo menos três dias de maturação constitui também uma solução para se iniciar um sistema de vermicompostagem (em oposição à mistura inicialmente referida para criar a cama das minhocas), abreviando a fase de estabilização do sistema. Caso os RBV não se encontrem na fase de decomposição e/ou degradação (pré-degradados com pelo menos três dias de maturação), estes não constituem um alimento direto para as minhocas, uma vez que estas só se alimentam dos resíduos na fase de liquidificação. Assim, se em vez dos RBV pré-degradados forem utilizados RBV frescos, as minhocas terão de esperar pela sua degradação, podendo mesmo sair do sistema por falta de alimento.

A utilização de uma cobertura não permeável aumenta a concentração de humidade e, desta forma, a proliferação da atividade microbiana, que resulta no aumento da velocidade da degradação dos resíduos e, conseqüentemente, no processo de vermicompostagem. Esta situação, combinada com o bloqueio da luz (estendendo a atividade das minhocas



◀ Fig. 9
Contentores de menores dimensões depositados por cima da cama das minhocas.

mesmo durante o dia) e o alargamento da área de circulação das minhocas no sentido horizontal, contribui para um aumento da quantidade de RBV processados. A deposição consecutiva de RBV lado a lado funciona igualmente como incentivo à deslocação de populações de minhocas horizontalmente. Esta situação só acontece se os RBV frescos depositados no sistema se encontrarem em contacto direto com a pilha de composto, permitindo que a sua humidade se infiltre, servindo de engodo às minhocas.

Posteriormente, o sistema B1 serviu de incubadora de minhocas, que alimentou os demais sistemas experimentados. A sua constante manutenção até à data de entrega do presente documento levou ao preenchimento total da sua área e à colheita de cerca de 5 kg de húmus.

▶ Fig. 10
Sistema B1 com RBV e folhas por cima.



▶ Fig. 11
Sistema B1 com RBV e coberto com filme em metade da superfície.



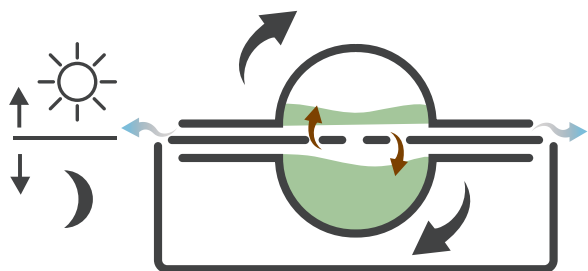
1.14 SISTEMA C1

Sistema constituído por duas chapas em PET translúcido conformadas num semicilindro (300 x 150 x 300 mm) com canais de drenagem numa das superfícies (Fig. 12). As duas metades iguais perfazem um cilindro completo, que foi separado por uma laje de barro vermelho com múltiplos furos de 5 mm (Fig. 14). Uma caixa com o interior isolado da luz serve de base para o sistema, que tapa uma metade do cilindro e deixa exposta a outra metade.

Foram colocados 100 gr de RBV juntamente com composto contaminado de minhocas provenientes do sistema B1 numa das metades do sistema que foi tapado com a laje de barro e com a outra metade.



◀ Fig. 12
Sistema C1 com RBV.



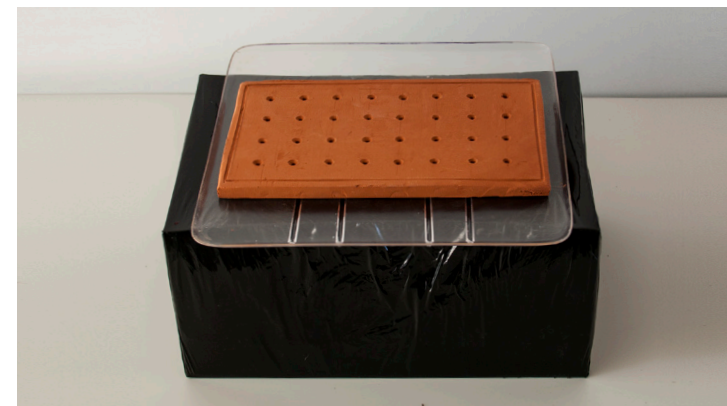
◀ Fig. 13
Esquema de evaporação, deslocação de minhocas, e funcionamento do sistema C1.

O sistema foi colocado com a metade povoada de minhocas dentro da caixa. Passados oito dias o sistema foi rodado (expondo a metade povoada de minhocas à luz) e foram depositados mais 100 gr de RBV na outra metade do cilindro.

Conclusões

Pretendeu-se com este sistema explorar as características fotofóbicas das minhocas. Quando rodado, o sistema expõe a metade povoada de minhocas à luz, criando um incentivo a que as mesmas se deslocassem para outras zonas, neste caso para o compartimento inferior, já com RBV frescos. O chá de húmus proveniente da degradação dos resíduos da primeira fase (primeira metade do cilindro), fértil em micróbios em plena atividade, foi escoado diretamente por cima dos novos RBV (em baixo), estimulando e

▶ Fig. 14
Laje de barro vermelho que separa dos dois compartimentos do sistema C1.



▶ Fig. 15
Um dos compartimentos do sistema C1 com RBV e minhocas.



acelerando a sua degradação..

Assume-se aqui que as minhocas se deslocaram para o compartimento inferior pelo déficit de comida e porque a exposição à luz as força a deslocarem-se para zonas mais confortáveis do sistema (neste caso, para a zona inferior coberta).

O sistema não se encontrava preparado para escoar corretamente a humidade em excesso gerada durante a experiência, provocando o entupimento dos canais criados para o efeito (devido ao húmus gerado). Inicialmente, o excesso de humidade foi absorvido pela laje de barro, atenuando a humidade no interior, que, quando totalmente saturada, deixou de responder adequadamente. Consequentemente, sentiu-se odores desagradáveis provenientes da putrefação da população de minhocas mortas e que consequentemente deu origem à proliferação de mosquitos. Desta forma resolveu-se interromper a experiência.



◀ **Fig. 16**
Sistema B1 com resíduos e minhocas nos dois compartimentos separados pela laje de barro saturada de humidade.

1.1.5 SISTEMA D1

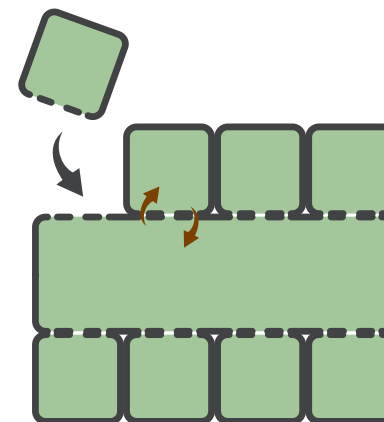
Sistema constituído por um contentor (contentor principal) em PVC opaco (600 x 370 x 210 mm) com laterais perfuradas que coincidem com os contentores destacáveis (abastecedor) (Fig. 17). Base com superfície curva que escoar a humidade gerada para os rasgos localizados na interseção com as paredes (Fig. 19), coberta por uma tampa em madeira natural sem tratamento.

Oito abastecedores (100 x 100 x 150 mm) que se acoplam ao contentor principal com perfurações numa das laterais e na sua base, cobertos com tampa em PP com malha de fibra de poliéster com 0,5 mm de trama e fixa com fita-cola de dupla face (Fig. 20). Foram marcados seis pontos de medição de humidade e de

▶ **Fig. 17**
Sistema D1 sem a tampa.



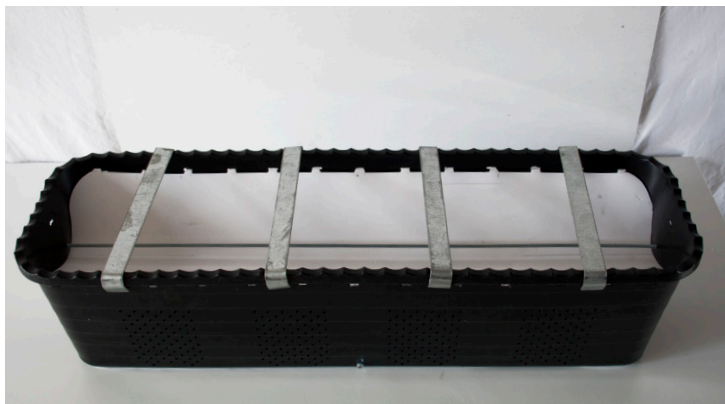
▶ **Fig. 18**
Esquema de adição de abastecedores ao sistema D1.



pH no sistema (Fig. 22). A base do sistema foi coberta com RBV pré-degradados e por cima foi depositado composto contaminado de minhocas originário dos sistemas anteriores. Estabilizado o sistema (passados 10 dias), foram feitas as leituras e colocado o primeiro abastecedor, com 400 gr de RBV frescos, processo que foi repetido a cada dois dias.

Conclusões

A adição de abastecedores com RBV criou condições para que as minhocas fossem atraídas para o seu interior. Assume-se, no entanto, que se os abastecedores fossem protegidos da luz, o processamento dos RBV seria mais rápido, estendendo a atividade das minhocas mesmo durante o dia. Com o tempo e a constante adição de novos abastecedores, verificou-se a dispersão das minhocas pelo sistema, tornando o processo de vermicompostagem incompleto em alguns dos abastecedores. A deficiente drenagem de humidade nos abastecedores (por falta de gravilha na base), contrariamente ao contentor principal, criou condições para que no interior de alguns desses abastecedores ocorresse um processo anaeróbico, impossibilitando o reinício do ciclo (reabastecendo novamente o sistema). As leituras da humidade revelaram oscilações nas zonas onde existia a adição de novos contentores, mas o pH, como esperado, manteve-se dentro dos parâmetros adequados⁷ para a sobrevivência das minhocas.



◀Fig. 19
Sistema D1 invertido.

⁷ Valores que permitam a sobrevivência das minhocas (Ph entre 4-9, humidade entre os 65-70% e temperatura entre os 18-23°C (Pilkington, 2005)). Existem valores mais propícios a aumentar a produtividade das minhocas: temperatura 20°C, humidade 70% e pH 7.

▶Fig. 20
Abastecedor do sistema D1.



▶Fig. 21
Sistema D1 completo.



▶Fig. 22
Sistema D1 com RBV e um dos pontos de leitura de pH visível.



1.1.6 SISTEMA E1

Para o sistema E1, foram produzidos dois contentores em barro vermelho (220mmx130mm Ø) (Fig. 23), cada um com uma base perfurada no contentor principal e uma peça com base convexa (Fig. 24) que se encaixa no topo com a cavidade para cima, servindo de vaso. Foi utilizado um prato na base apenas para recolher o chá de húmus gerado. No interior de cada contentor-base, foi depositada uma camada de gravilha com 10 mm de altura, e a peça do topo (vaso) foi enchida com terra, para onde foi transplantada uma planta aromática. Dentro de cada contentor, e em simultâneo, foram depositados 150 gr de RBV pré-degradados, sendo cada um deles preenchido no topo com 20 mm de composto contaminado de minhocas originário do sistema B1. O sistema foi tapado com o vaso, que comprimiu o composto, isolando-o de possíveis mosquitos. Passados oito dias, destapou-se o sistema para colocar mais 150 gr de RBV, processo que foi repetido à medida da degradação visível destes resíduos⁸. Entretanto, a planta foi regada com regularidade. Esta experiência prolongou-se por todo o tempo restante de desenvolvimento do presente projeto até à data de entrega deste documento.



◀ Fig. 23
À esquerda: sistema E1;
à direita: esquema de
deslocação do vaso do
sistema E1.

⁸ A degradação era perceptível pela mutação de cor para negro e pela transformação dos resíduos num aspeto granulado.

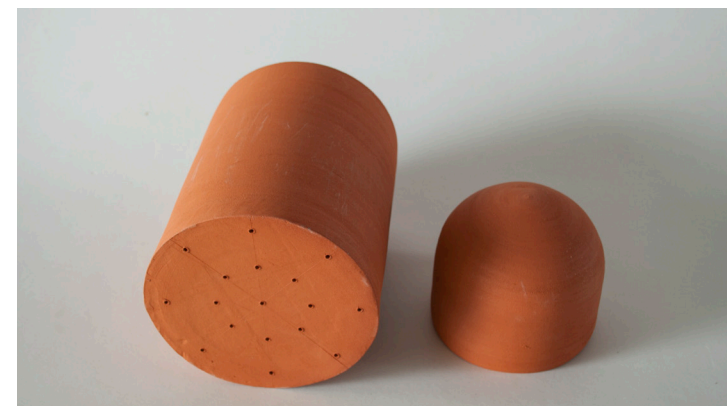
Conclusões

A transformação dos RBV num granulado negro confirmou que o processo de vermicompostagem se desenrolou normalmente, embora em pequenas quantidades devido às dimensões dos sistemas. Não foi registada presença de minhocas fora do sistema, o que concluiu a estabilização dos dois sistemas experimentados.

O vaso que era colocado diretamente por cima dos RBV, compactando-os, deslocava-se ao ritmo da degradação dos resíduos pela sua perda de volume, e a humidade proveniente da rega da planta era transmitida para a pilha do composto diretamente por baixo. Esta transmissão era feita por intermédio do próprio material poroso.

A humidade presente no interior do sistema era perceptível pelas manchas criadas no barro, confirmando-se um alto nível de evaporação, motivo pelo qual não se registou a acumulação de humidade no prato de cada sistema. O barro serviu ao mesmo tempo de filtro de odores, permitindo a oxigenação do interior, e de mediador de temperatura. O vaso com base côncava não ajudou a estabilizar a planta no sentido vertical, razão pela qual foi substituído por peças idênticas mas com base convexa.

▶ Fig. 24
Sistema D1 com RBV.

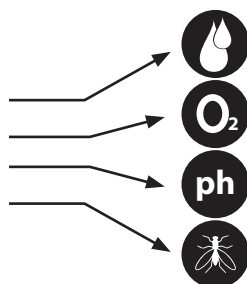
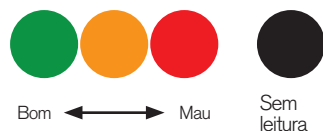


1.2 RELAÇÃO ENTRE SISTEMAS

Para a análise comparativa dos diversos sistemas experimentados foram consideradas quatro características:

humidade;
oxigénio;
pH;
pragas / mosquitos.

Estas características foram representadas por uma escala de cores (Fig. 17) que permitiu chegar às conclusões finais.



▲ Fig. 25
Legenda das características da tabela 1.

◀ Fig. 26
Escala de cores

Sistema	Classificação
A1	
A2	
B1	
C1	
D1	
E1	

◀ Tab. 1
Tabela comparativa dos diferentes sistemas de acordo com as características e escala de cor.

1.3 CONCLUSÕES FINAIS

Das experiências realizadas, conclui-se que a humidade do sistema é um dos fatores mais importantes do processo, existindo vantagens na utilização de materiais permeáveis que permitam a evaporação e, ao mesmo tempo, a oxigenação da pilha de composto, atenuando simultaneamente os odores provenientes da degradação dos RBV. Estes são disseminados gradualmente, de forma pouco perceptível para os utilizadores.

A reposição de humidade torna-se também mais homogênea e lenta com a utilização do barro vermelho. Este controlo permite evitar mosquitos e acelerar o processo de degradação de RBV. O controlo da posição das minhocas é possível, embora seja mais útil para sistemas de maiores dimensões (por exemplo, vermicompostores comunitários) rentabilizando a área de vermicompostagem.

A leitura do pH revelou-se constantemente neutra nos sistemas indicados na Tab. 1.

Da leitura geral da Tab. 1, destaca-se o sistema E1 em barro vermelho por responder a todos os problemas verificados. A utilização da peças telescópicas (como o vaso do Sistema E1) serve de interface de comunicação com o utilizador, fazendo-o aperceber-se da velocidade da degradação sem que este necessite de contactar diretamente com o processo e população de minhocas no interior.

Finalmente, a configuração circular (em oposição às paralelepípedicas também utilizadas) confere condições para a não acumulação de minhocas nos cantos, obrigando-as a circular permanentemente. Na generalidade, esta situação, perceptualmente verificada, pode estimular e acelerar o processo de vermicompostagem, contribuindo positivamente para a sua eficiência.

2. ANEXO 2

2.1 ENSAIOS EM LABORATÓRIO

A realização dos testes em laboratório contou com a disponibilidade do Laboratório do Centro de Formação Profissional para a Indústria Cerâmica (CENCAL), localizado nas Caldas da Rainha.

O propósito destes testes prende-se com a possibilidade de encontrar pastas mais absorventes e que assim reduzam e/ou desloquem humidade entre compartimentos, proveniente da degradação dos RBV e do humedecimento da terra da planta. O aumento do índice de absorção da pasta é considerado favorável para o estudo do projeto que se apresenta, possibilitando a sua migração através da matéria. Sugere-se como referência deste fenómeno o projeto Waterworks, dos designers Thomas Linssen e Jana Flohr, disponibilizado pela House of Thol (Fig. 27)(Houseofthol, 2015). O contentor em vidro com água humedece a ponteira em barro vermelho, que, por sua vez, humedece a terra em baixo, alimentando a planta. A transferência resulta das características de permeabilidade e de absorção de humidade do barro, que, conjugadas com a força da gravidade, permitem a migração da água no sentido descendente. Com base neste projeto, pretende-se trabalhar o processo de migração de água no sentido descendente como referido, mas também no sentido ascendente.



◀ Fig. 27
Projeto Waterworks (2013)

2.2 MATÉRIAS-PRIMAS

Foram desenvolvidas e testadas pastas cerâmicas obtidas a partir de diferentes misturas de matérias-primas e aditivos, e cozidas a diferentes temperaturas. Os testes laboratoriais permitiram identificar as pastas que melhor respondem aos requisitos do objetivo do trabalho: aumentar a capilaridade e a absorção de água sem comprometer significativamente a resistência mecânica do material. Fixaram-se as seguintes condições para aumentar as características absorventes do barro vermelho com base nas pastas de referência adquiridas:

- A porosidade da pasta deve aumentar, relativamente à pasta de referência, pela presença de determinados aditivos para o efeito;

- A pasta aditivada, após cozedura, deve apresentar mais porosidade que a pasta de referência, sem comprometer a resistência mecânica.

Foram selecionadas três pastas vermelhas de diferentes proveniências, que foram aditivadas (serrim de madeira, pó de cortiça, argila expandida, diatomite e calcite). As pastas aditivadas foram cozidas a três temperaturas: 850°C, 950°C e 1050°C⁹.

▶ Fig. 28
Algumas pastas e aditivos preparados para a mistura.



⁹ O trabalho com baixas temperaturas constitui um requisito importante, respondendo diretamente a preocupações de sustentabilidade e adaptação técnica à indústria vigente.

Pastas de referência

- Pasta A, proveniente da loja do ceramista, utilizada tendo em conta as suas características de elevada disponibilidade no mercado e pela versatilidade de trabalhabilidade;

- Pasta B, proveniente da empresa Val do Sol Cerâmicas, S.A., utilizada tendo em conta as suas características adequadas para a produção industrial de louça utilitária;

- Pasta C, proveniente da empresa PreCeram, S.A., utilizada como cerâmica de construção, que alarga o teste para campos onde a cerâmica é mais porosa e menos processada.

Aditivos selecionados

Pretendia-se para este estudo encontrar aditivos que, misturados com pastas de referência, potenciasssem a porosidade da pasta cerâmica. A seleção destes aditivos foi feita com base em bibliografia específica sobre o efeito de aditivos na estrutura e comportamento de absorção de corpos cerâmicos ((Lyckfeldt, Ferreira, & Eur, 1998), (Dutra & Pontes, 2002) e (Prevenção e controlo integrados da poluição, 2006)), conjugada com entrevistas a técnicos do setor das argilas em Portugal (Sorgila – Sociedade de Argilas, S.A. e CENCAL Caldas da Rainha).

Deste estudo, resultou a seleção de cinco aditivos (Tab. 2), que foram agrupados em três grupos:

- Grupo 1: Serrim de madeira e pó de cortiça. Materiais orgânicos que na fase da queima desaparecem, deixando as cavidades (poros) que ocuparam na pasta;

- Grupo 2: Argila expandida. Material pré-processado a partir de argilas naturais e não poluente¹⁰, servindo comercialmente como matéria-prima e absorvendo a humidade. Trata-se de um material com um alto nível de absorção¹¹, que foi processado a uma temperatura de cozedura situada entre 1140°C e 1300°C;

¹⁰ Características descritas pelo fornecedor (Argex, 2015).

¹¹ Segundo a empresa Argex, que gentilmente cedeu este material, os índices de absorção de água são caracterizados com uma percentagem de 27% relativa à granulometria entre 0-2 mm.

¹² Calcite – Origem: serra de Aires e Candeeiros; Composição química: carbonato de cálcio; Diatomite – Origem: Rio Maior/Óbidos; Composição química: Restos fossilizados de diatomites (a composição pode variar, mas é principalmente sílica e água) (Fontes: CENCAL).

- Grupo 3: Diatomite e calcite. Materiais minerais que, dadas as suas características químicas¹² após a cozedura, sofrem alterações de fase por vezes instáveis, consoante a temperatura a que são submetidos, e que origina a porosidade das pastas.

Temperaturas de cozedura

Espera-se que com o aumento da temperatura de cozedura, aumente a resistência mecânica, diminua a porosidade, desde que não se verifique sobrecozedura que provoque a destruição das estruturas dos materiais. Neste sentido, foram experimentados, três patamares de cozedura (850°C, 950°C e 1050°C).

Preparação das pastas

Todas as pastas foram secas, fragmentadas e colocadas em estufa a 110°C, tendo em vista a eliminação da humidade residual.

Preparação dos aditivos

Os aditivos inorgânicos (argila expandida, diatomite e calcite) foram submetidos ao processo de moagem em moinho húmido¹³ e posteriormente peneirados. Quanto aos aditivos orgânicos (madeira e cortiça), foram adquiridos em pó e peneirados. Todos os aditivos foram peneirados com malha de 35 U.S. MESH, resultando num grão igual ou inferior a 0,5 mm, e secos em estufa a 110°C, eliminando a humidade residual.

► **Fig. 29**
Peneiração do pó de cortiça.



¹³ No processo de moagem, foi adicionado cerca de 20-30% de água.

2.3 PROCEDIMENTOS DE MISTURA E PREPARAÇÃO

Com exceção das pastas de referência, todas as restantes foram aditivadas nas percentagens indicada na Tabela 2, para obter uma amostra de 600 gr (de pasta seca) (Tab. 3), e posteriormente diluídas e misturadas em água. Devido à falta de plasticidade na fase de extrusão dos provetes, as percentagens dos aditivos orgânicos tiveram de ser ajustadas, reduzindo-as. As misturas aquosas das pastas foram vertidas para moldes de gesso para as desumidificar e, posteriormente, as pastas aditivadas secas foram colocadas em sacos plásticos durante 24 horas.

Foram criadas referências de identificação (Fig. 31) para cada pasta segundo a temperatura da fornada, pasta original, a temperatura, a pasta original, a percentagem e tipologia de aditivo. As fornadas foram classificadas por ordem crescente, onde 1 corresponde

Aditivo	Percentagem	Origem
A - Serrim de madeira	5%, 10%, 15%	ESAD cr
B - Pó de cortiça	5%, 10%, 15%	Vicitcork
C - Argila expandida	10%, 20%, 30%	PreCeram
D - Diatomite	10%, 20%, 30%	CENCAL
E - Calcite	10%, 20%, 30%	CENCAL

◀ **Tab. 2**
Percentagens de aditivos nas pastas de referência.



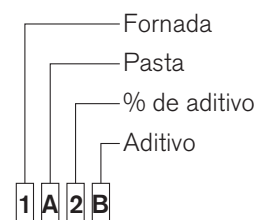
◀ **Fig. 30**
Fragmentação da pasta Val do sol e preparação para secar em estufa.

▶ **Tab. 3**
Conversão da percentagem de aditivo em massa para 600g de pasta aditivada

%	Aditivo	Pasta
5%	30 gr	570 gr
10%	60 gr	540 gr
15%	90 gr	510 gr
20%	120 gr	480 gr
30%	180 gr	420 gr

a 850°C, 2 corresponde a 950°C e 3 a 1050°C. No caso das três pastas originais, foi-lhes retirado o dígito referente ao aditivo.

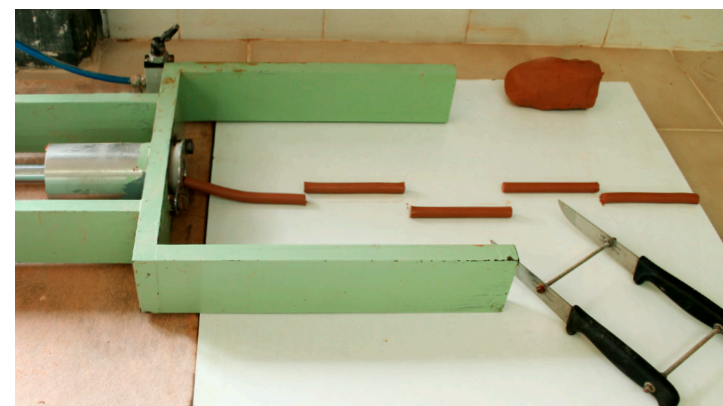
▼ **Fig. 31**
Sistema de codificação das pastas.



Produção de provetes

Foram extrudidos 30 provetes de 10 cm (Fig. 32) e dois provetes de 20 cm de comprimento. Os provetes conformados foram colocados em bandejas com papel de jornal por baixo, e secos em estufa a 50°C, durante 24 horas, e posteriormente em estufa a 110°C, por mais 24 horas, tentando-se minimizar problemas de deformação. Os provetes referenciados foram agrupados em bandejas de chacota em pares¹⁴, de acordo com a Tab. 4 (8 provetes de 10 cm + 1 ou 2 provetes de 20 cm de comprimento), segundo as temperaturas mencionadas anteriormente. Na Tab. 5, apresenta-se o programa utilizado para cada ciclo térmico e a referência das argolas de buller usadas para cada temperatura de cozedura no forno (Induzir TC 405).

▶ **Fig. 32**
Extrusão e corte dos provetes.



¹⁴ Tentando manter as percentagens de aditivos idênticos, próximos no forno.



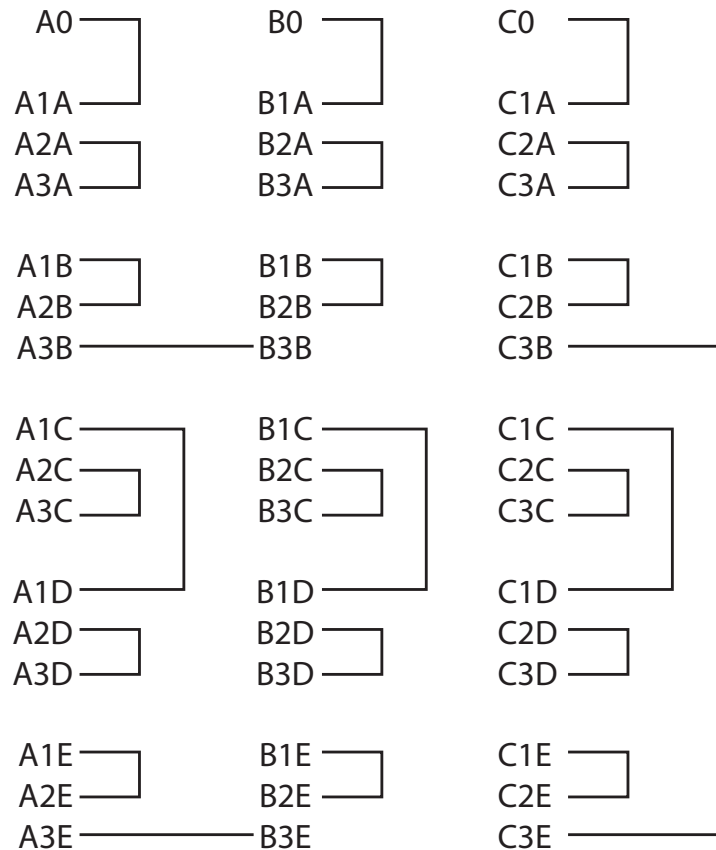
◀Fig. 33
Enfornamento das bandejas com provetes.

▶Tab. 5
Programas dos ciclos térmicos de cozedura.

Fornada 850°	Fornada 950°	Fornada 1050°
400°C - 180 ch 850°C - 180 ch 850 - 30´	400°C - 180 ch 1060°C - 200 ch 1060 - 30´	400°C - 180 ch 950°C - 180 ch 950 - 30´
Fumeiro aberto até 600°	Fumeiro aberto até 600°	Fumeiro aberto até 600°
Argolas de buller ref. 89	Argolas de buller ref. 55	Argolas de buller ref. 55

Nas bandejas, as referências das pastas foram identificadas utilizando o reaproveitamento de metades de argolas de buller e tinta de chumbo (Fig. 32). Foram registadas as posições das bandejas no forno e o espaço da mufla foi organizado de forma a homogeneizar a temperatura nos três patamares das bandejas (Figs. 34, 35, 36 e 37). Foi igualmente colocada uma argola de buller no centro de cada patamar para confirmar a temperatura real de ensaio.

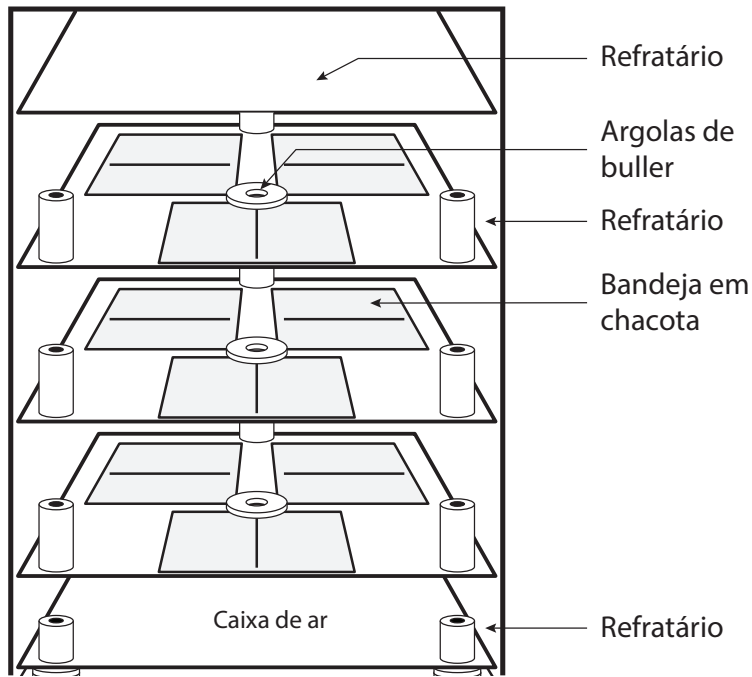
De seguida, é representado o *layout* da mufla, bem como as posições de cada bandeja com as respetivas pastas, e as leituras das argolas de buller para cada ciclo de cozedura nos diferentes níveis.



◀Tab. 4
Cada bandeja em chacota foi utilizada para cozer 20 provetes (+/-) de duas referências diferentes (Fig. 32). Nesta tabela é apresentada a distribuição dos pares em cada bandeja.

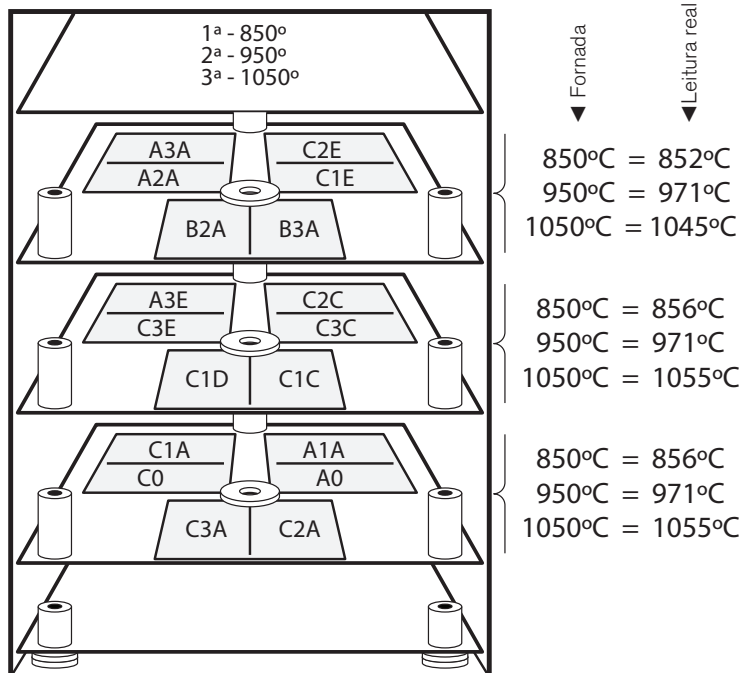
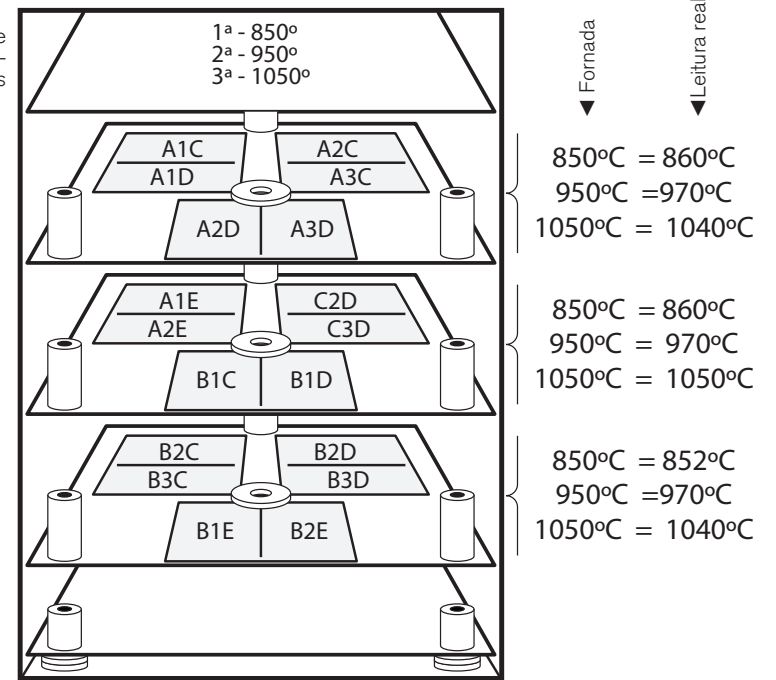
▶Fig. 32
Provetes identificados nas bandejas de chacota.





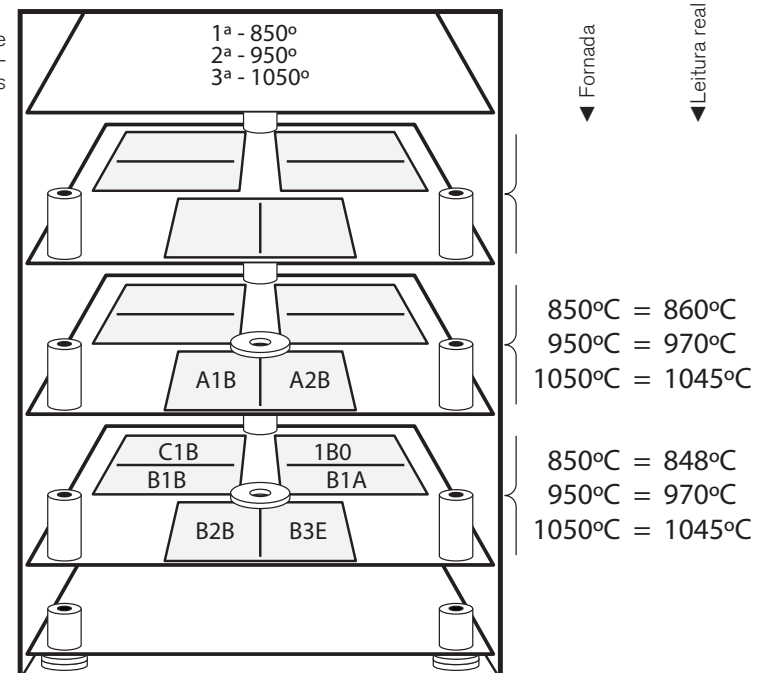
◀ **Fig. 34**
Organização das peças no forno.

▶ **Fig. 36**
Layout da fornada B e leitura das temperaturas máximas atingidas em cada patamar.



◀ **Fig. 35**
Layout da fornada B e leitura das temperaturas máximas atingidas em cada patamar.

▶ **Fig. 37**
Layout da fornada C e leitura das temperaturas máximas atingidas em cada patamar.



24 REFERÊNCIAS

Ref.	Pasta de ref.	Aditivo	% de aditivo	Temperatura
1A0	A	-----	-----	850°C
1A1A		A - serrim de madeira	5%	
1A2A			10%	
1A3A			15%	
1A1B		B - pó de cortiça	5%	
1A2B			10%	
1A3B			15%	
1A1C		C - Argila expandida	10%	
1A2C			20%	
1A3C			30%	
1A1D		D - Diatomite	10%	
1A2D			20%	
1A3D			30%	
1A1E		E - Calcite	10%	
1A2E			20%	
1A3E	30%			
2A0	A	-----	-----	950°C
2A1A		A - serrim de madeira	5%	
2A2A			10%	
2A3A			15%	
2A1B		B - pó de cortiça	5%	
2A2B			10%	
2A3B			15%	
2A1C		C - Argila expandida	10%	
2A2C			20%	
2A3C			30%	
2A1D		D - Diatomite	10%	
2A2D			20%	
2A3D			30%	
2A1E		E - Calcite	10%	
2A2E			20%	
2A3E	30%			

◀ **Tab. 6**
Listagem de referências.

Ref.	Pasta de ref.	Aditivo	% de aditivo	Temperatura
3A0	A	-----	-----	1050°C
3A1A		A - serrim de madeira	5%	
3A2A			10%	
3A3A			15%	
3A1B		B - pó de cortiça	5%	
3A2B			10%	
3A3B			15%	
3A1C		C - Argila expandida	10%	
3A2C			20%	
3A3C			30%	
3A1D		D - Diatomite	10%	
3A2D			20%	
3A3D			30%	
3A1E		E - Calcite	10%	
3A2E			20%	
3A3E	30%			
1B0	B	-----	-----	850°C
1B1A		A - serrim de madeira	5%	
1B2A			10%	
1B3A			15%	
1B1B		B - pó de cortiça	5%	
1B2B			10%	
1B3B			15%	
1B1C		C - Argila expandida	10%	
1B2C			20%	
1B3C			30%	
1B1D		D - Diatomite	10%	
1B2D			20%	
1B3D			30%	
1B1E		E - Calcite	10%	
1B2E			20%	
1B3E	30%			

Ref.	Pasta de ref.	Aditivo	% de aditivo	Temperatura
2B0	B	-----	-----	950°C
2B1A		A - serrim de madeira	5%	
2B2A			10%	
2B3A			15%	
2B1B		B - pó de cortiça	5%	
2B2B			10%	
2B3B			15%	
2B1C		C - Argila expandida	10%	
2B2C			20%	
2B3C			30%	
2B1D		D - Diatomite	10%	
2B2D			20%	
2B3D			30%	
2B1E		E - Calcite	10%	
2B2E			20%	
2B3E	30%			
3B0	B	-----	-----	1050°C
3B1A		A - serrim de madeira	5%	
3B2A			10%	
3B3A			15%	
3B1B		B - pó de cortiça	5%	
3B2B			10%	
3B3B			15%	
3B1C		C - Argila expandida	10%	
3B2C			20%	
3B3C			30%	
3B1D		D - Diatomite	10%	
3B2D			20%	
3B3D			30%	
3B1E		E - Calcite	10%	
3B2E			20%	
3B3E	30%			

Ref.	Pasta de ref.	Aditivo	% de aditivo	Temperatura
1C0	C	-----	-----	850°C
1C1A		A - serrim de madeira	5%	
1C2A			10%	
1C3A			15%	
1C1B		B - pó de cortiça	5%	
1C2B			10%	
1C3B			15%	
1C1C		C - Argila expandida	10%	
1C2C			20%	
1C3C			30%	
1C1D		D - Diatomite	10%	
1C2D			20%	
1C3D			30%	
1C1E		E - Calcite	10%	
1C2E			20%	
1C3E	30%			
2C0	C	-----	-----	950°C
2C1A		A - serrim de madeira	5%	
2C2A			10%	
2C3A			15%	
2C1B		B - pó de cortiça	5%	
2C2B			10%	
2C3B			15%	
2C1C		C - Argila expandida	10%	
2C2C			20%	
2C3C			30%	
2C1D		D - Diatomite	10%	
2C2D			20%	
2C3D			30%	
2C1E		E - Calcite	10%	
2C2E			20%	
2C3E	30%			

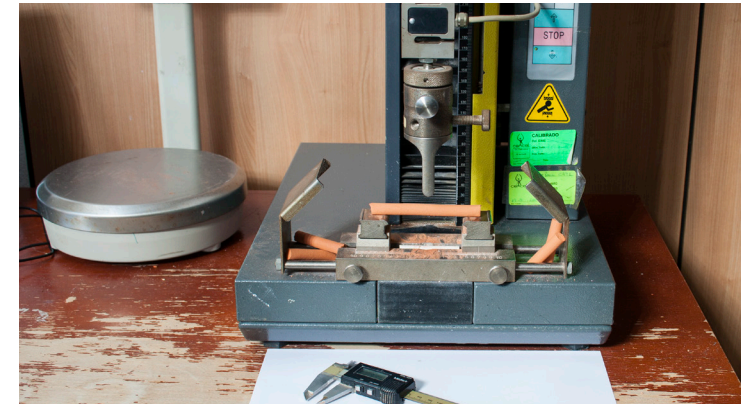
2.5 ENSAIOS

Os ensaios físico-químicos permitem medir as características ou propriedades dos materiais em estudo: resistência mecânica à flexão, absorção de água e velocidade de ascensão capilar.

2.5.1 Ensaio de resistência mecânica à flexão (RF)

Para estes testes, foi utilizado um equipamento modelo Zwick Material Prüfung (Zwick 1120) (Fig. 39). O teste de RF permite obter valores para cada pasta experimentada para posterior comparação dos resultados. Este teste consiste na leitura da

► **Fig. 39**
Ensaio de resistência mecânica à flexão.



¹⁵ É importante mencionar que os provetes foram submetidos aos referidos testes sem serem totalmente secos, tendo em vista a aproximação às condições naturalmente esperadas na fase de utilização das peças do projeto final.

resistência de um provete de 10 cm de comprimento apoiado em dois pontos a uma distância de 7 cm entre si. Estes dados são registados pela máquina e convertidos em kg/cm². Foram feitas sete leituras para cada pasta e calculado o valor médio com significado estatístico.

2.5.2 Absorção de água

Os provetes provenientes do teste anterior foram pesados em ambiente natural¹⁵. Posteriormente, foram mergulhados durante 24 horas em água, passados numa toalha húmida e voltaram a ser pesados. A percentagem de absorção de água foi obtida segundo a fórmula da Fig. 40.

▼ **Fig. 40**
Formula utilizada para determinar a percentagem de absorção de água.
A = peso seco
B = peso húmido

$$\frac{A-B}{B} \times 100$$

Ref.	Pasta de ref.	Aditivo	% de aditivo	Temperatura
3C0	C	-----	-----	1050°C
3C1A		A - serrim de madeira	5%	
3C2A			10%	
3C3A			15%	
3C1B		B - pó de cortiça	5%	
3C2B			10%	
3C3B			15%	
3C1C		C - Argila expandida	10%	
3C2C			20%	
3C3C			30%	
3C1D		D - Diatomite	10%	
3C2D			20%	
3C3D			30%	
3C1E		E - Calcite	10%	
3C2E			20%	
3C3E	30%			

◀ **Fig. 38**
Armazenamento dos provetes em sacos com a devida referência antes dos ensaios.





◀ **Fig. 41**
Ensaio de Absorção de água. À esquerda: provetes submersos em água e à direita, os provetes já passados por um pano húmido.



◀ **Fig. 42**
Passagem dos provetes por um pano húmido.

2.5.3 Ensaio de velocidade de ascensão capilar (VAC)

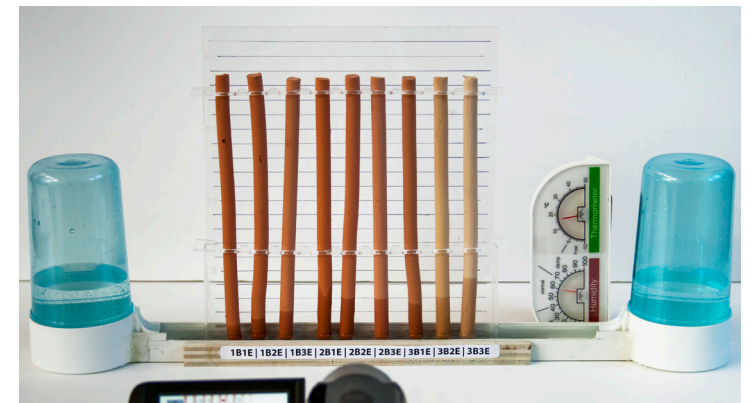
Foi desenvolvido um novo sistema de ensaio de velocidade de ascensão capilar dos provetes cerâmicos, que está em processo de registo de patente. Pretendeu-se com este teste medir a velocidade de ascensão capilar num intervalo de 60 minutos nas várias pastas estudadas. Os provetes de ensaio foram previamente colocados dentro de um exsiccador (Fig. 43) por um período de 24 horas. Posteriormente, foram alinhados em grupos de nove num suporte com base que permite o seu mergulho a uma cota constante. A evolução da capilaridade, perceptível pela mudança cromática dos provetes pela sua humedificação (Fig. 44), foi registada com

o auxílio de uma câmara de vídeo ao longo dos 60 minutos de exposição, e as condições de humidade e temperatura do ensaio foram medidas através de um higrómetro e de um termómetro, respetivamente, para garantir condições constantes de ensaio.

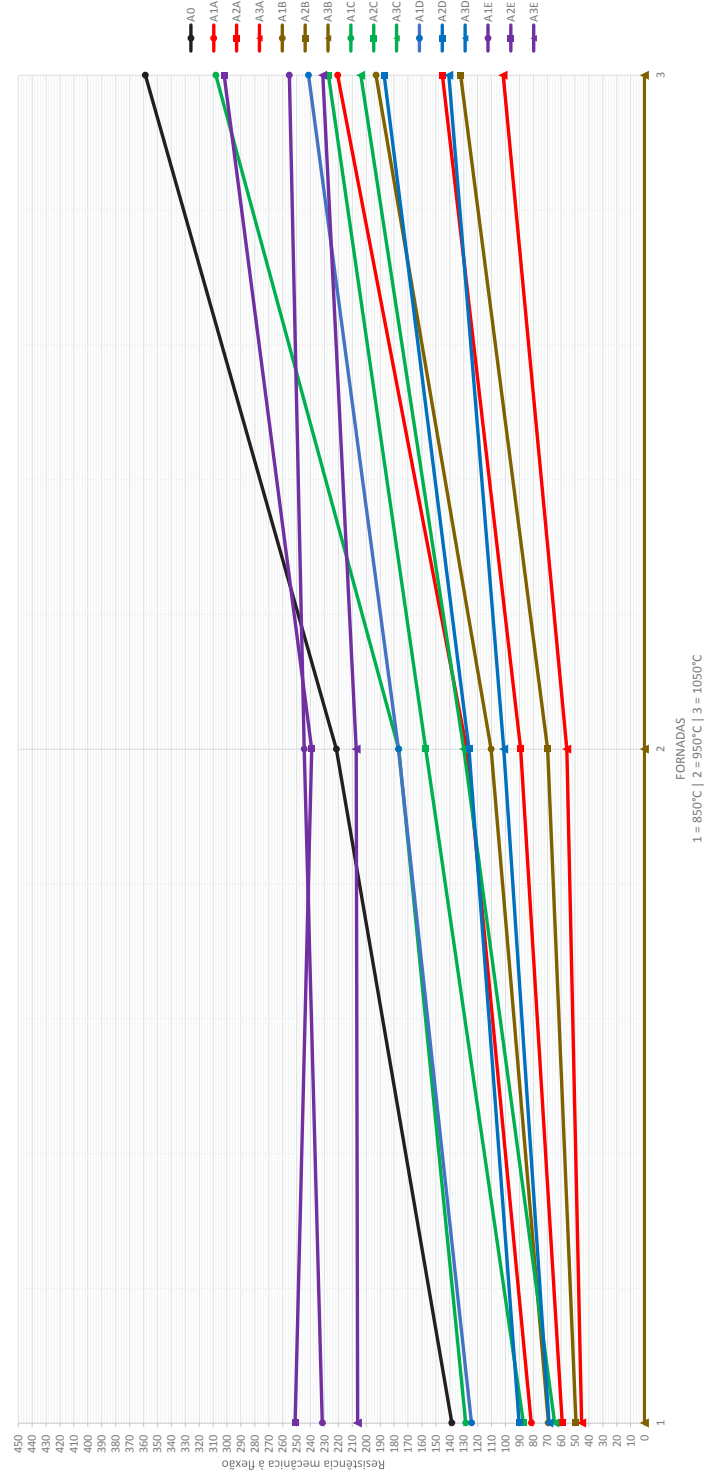
▶ **Fig. 43**
Provetes no exsiccador.



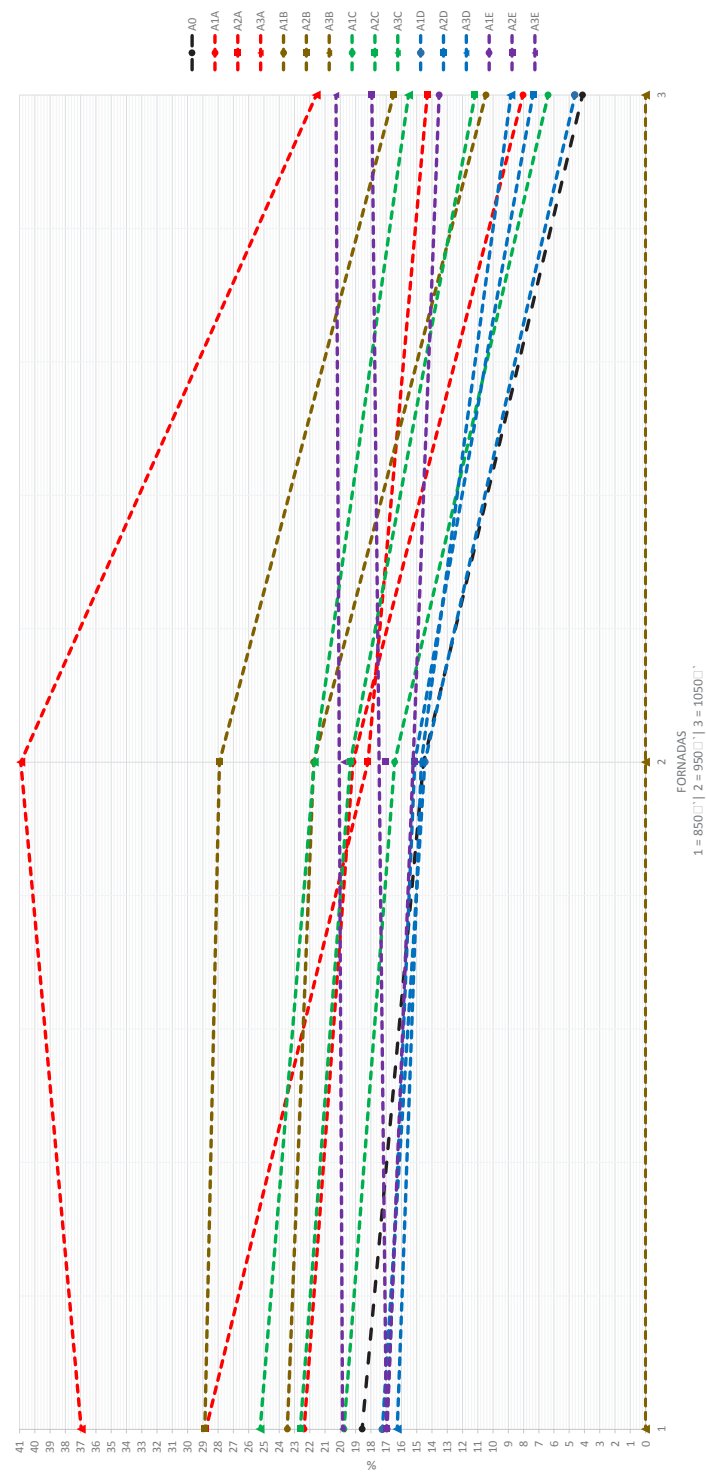
▶ **Fig. 44**
Ensaio de velocidade de ascensão capilar.



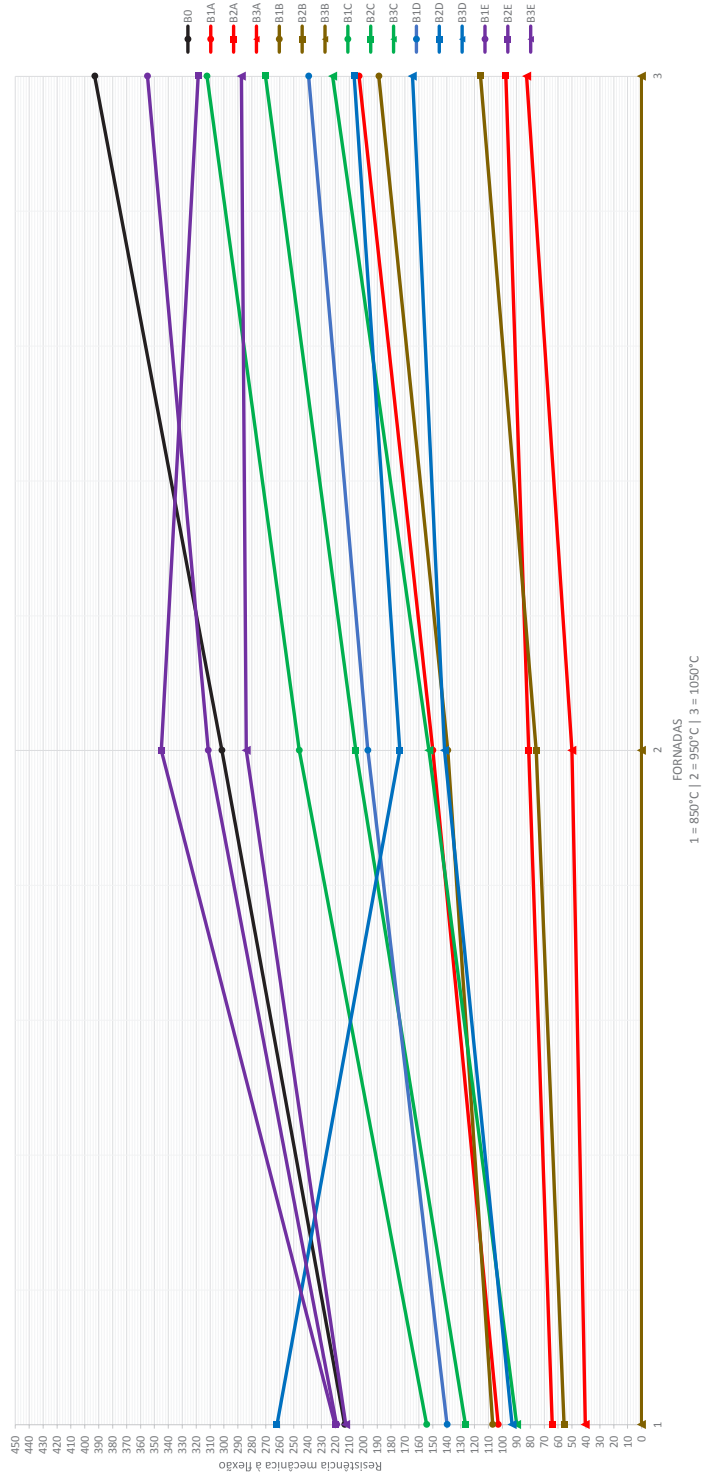
▼ Gráf. 1: Resistência mecânica à flexão da Pasta A



▼ Gráf. 2: Absorção de água da Pasta A

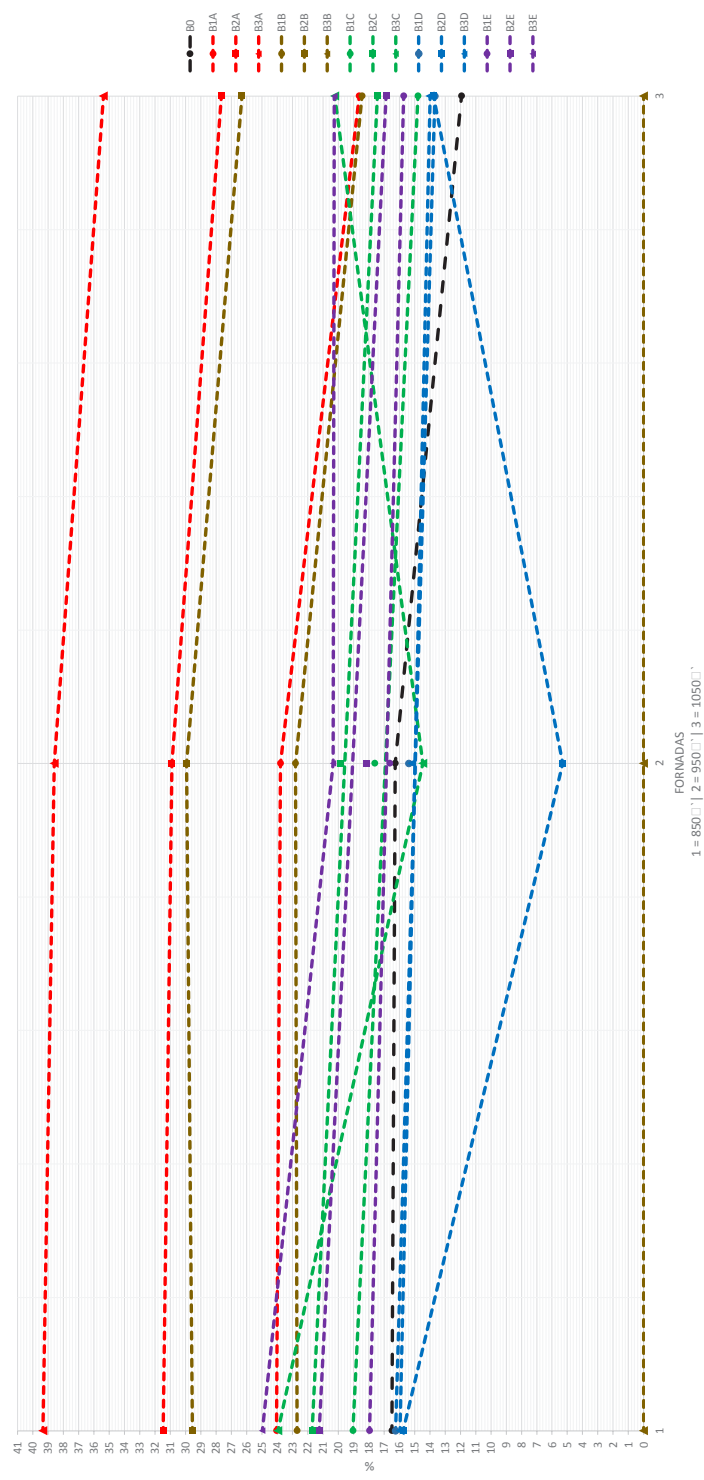


▼ **Gráf. 3:** Resistência mecânica à flexão da Pasta B



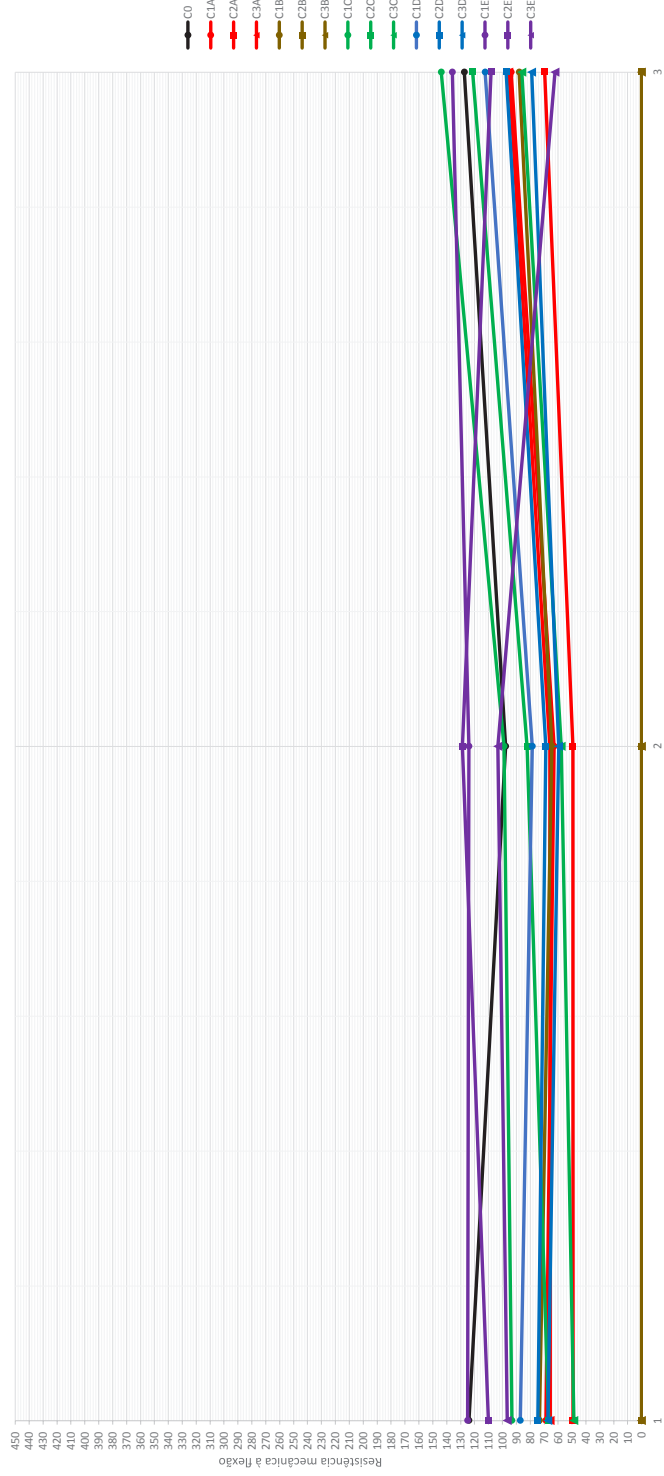
Resistência mecânica à flexão

▼ **Gráf. 4:** Absorção de água da Pasta B

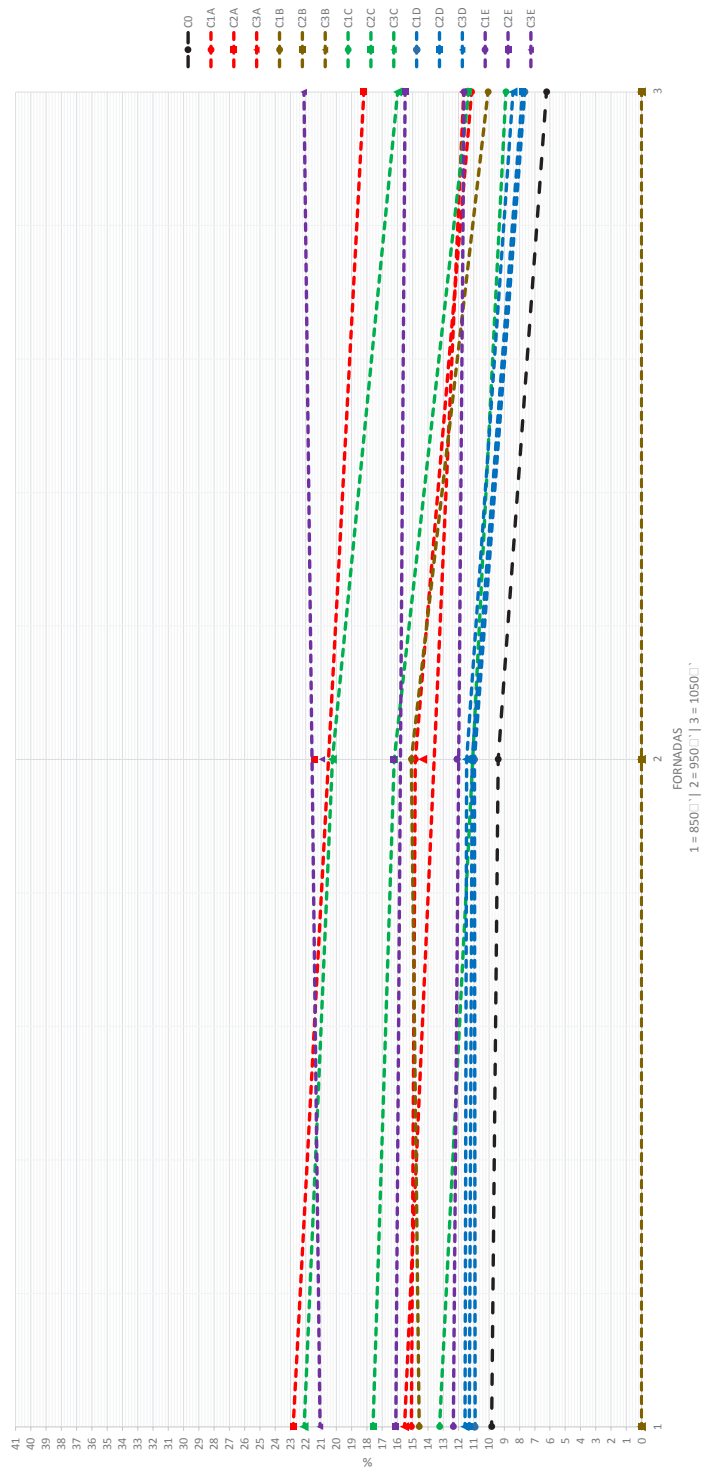


%

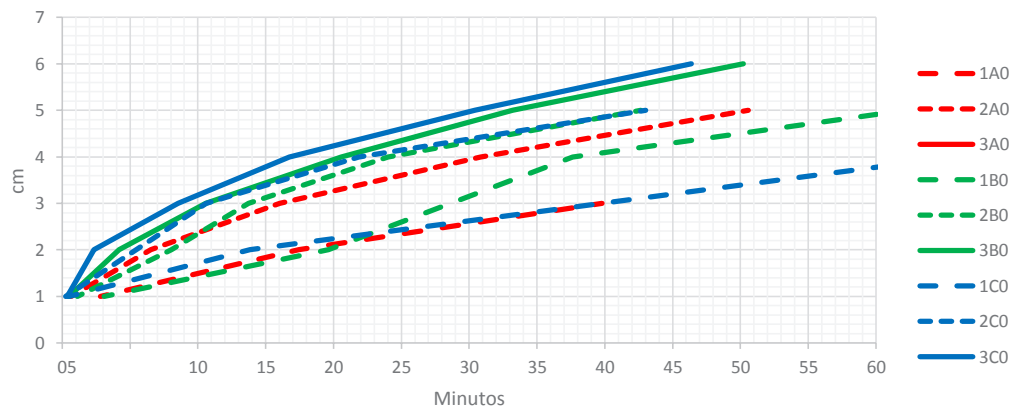
▼ **Gráf. 5:** Resistência mecânica à flexão da Pasta C



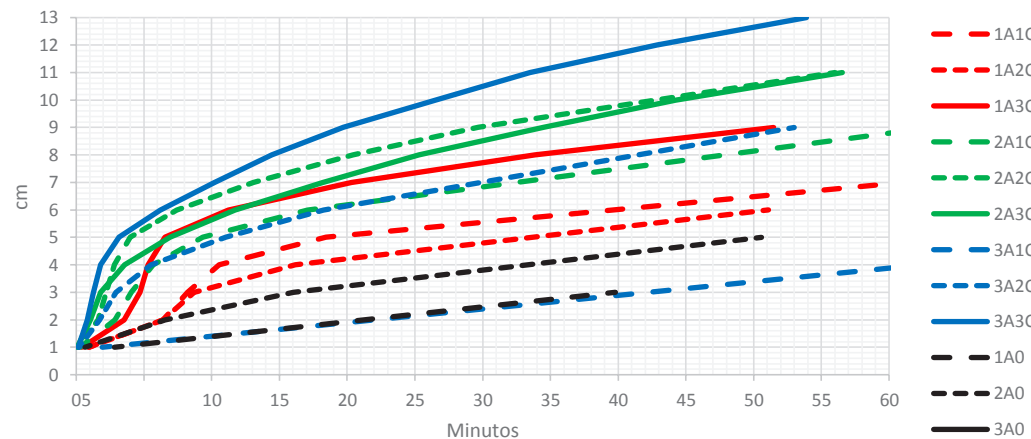
▼ **Gráf. 6:** Absorção de água da Pasta C



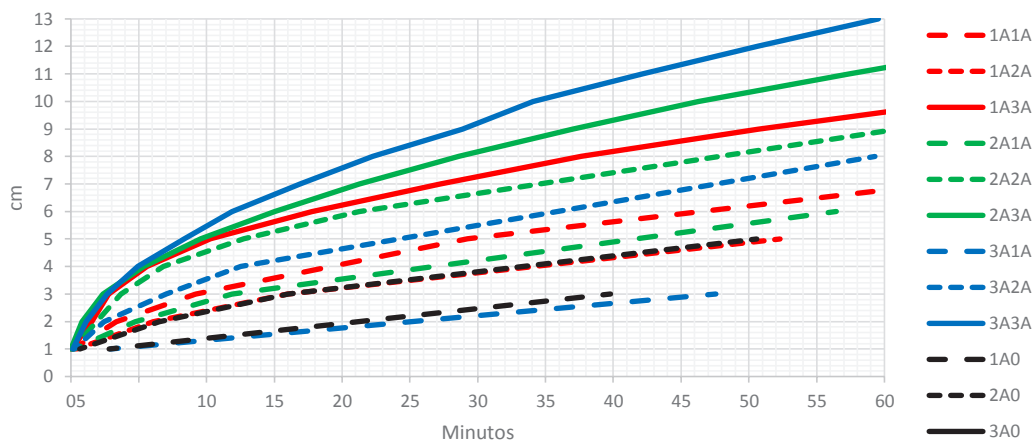
▼ Gráf. 7: Resultados de VAC - Pastas de referência



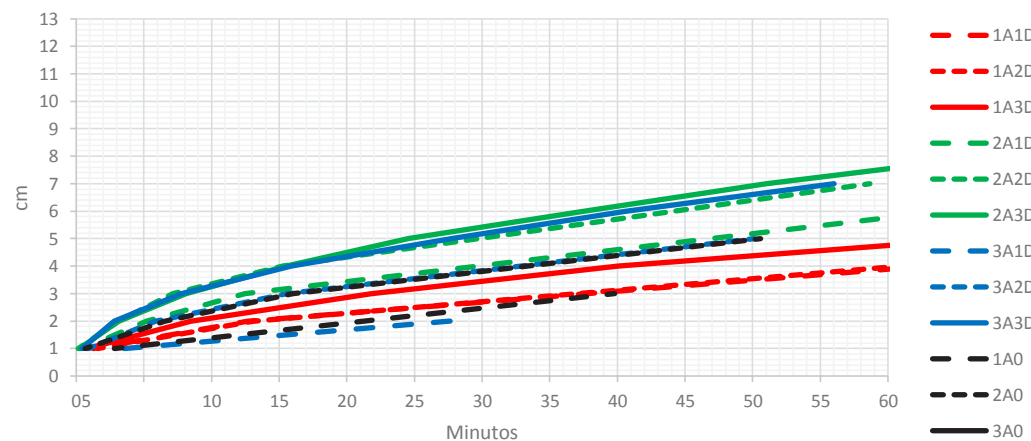
▼ Gráf.10: Resultados de VAC - Pastas A + Argila Expandida



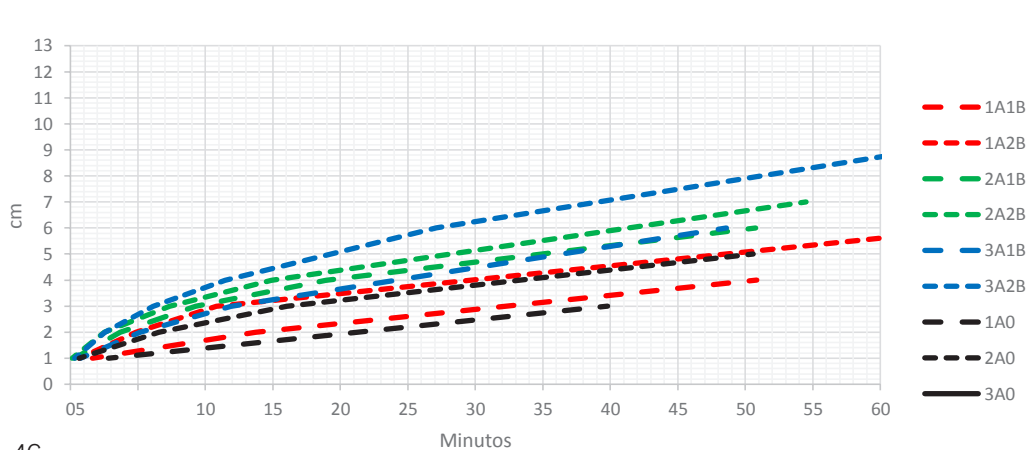
▼ Gráf. 8: Resultados de VAC - Pastas A + Serrim de Madeira



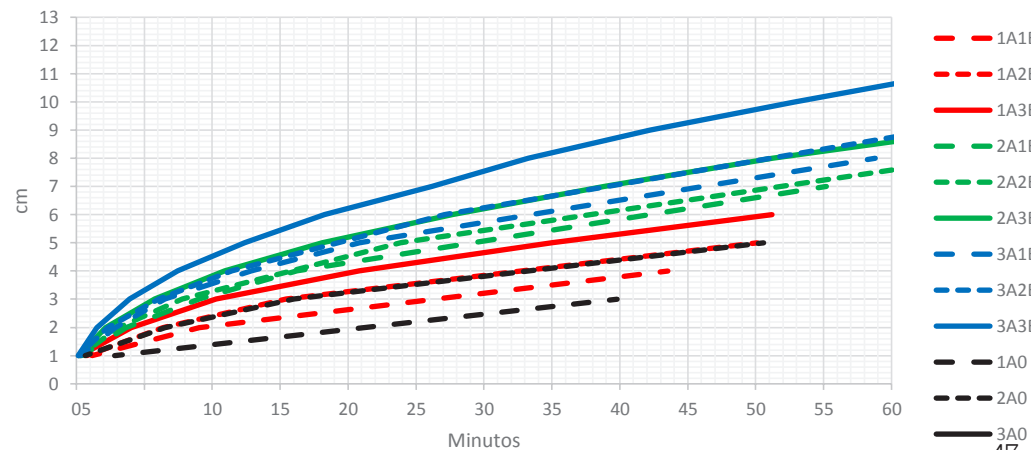
▼ Gráf. 11: Resultados de VAC - Pastas A + Diatomite



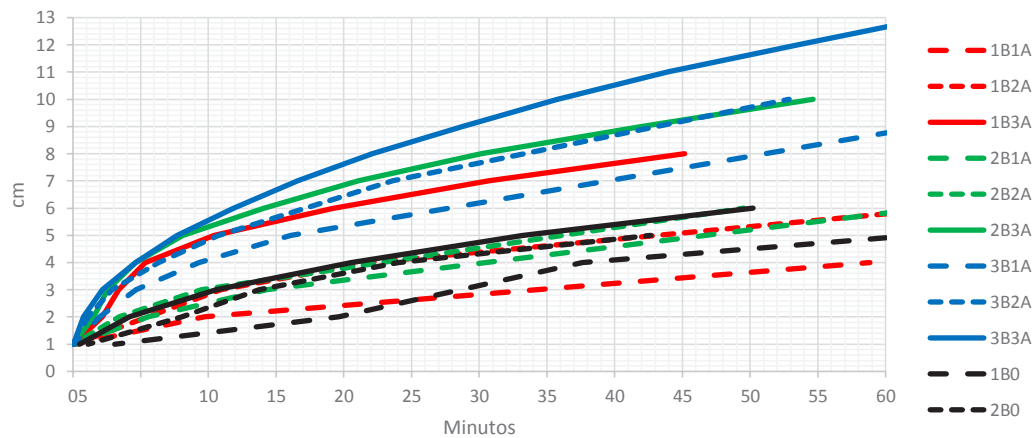
▼ Gráf. 9: Resultados de VAC - Pastas A + Pó de cortiça



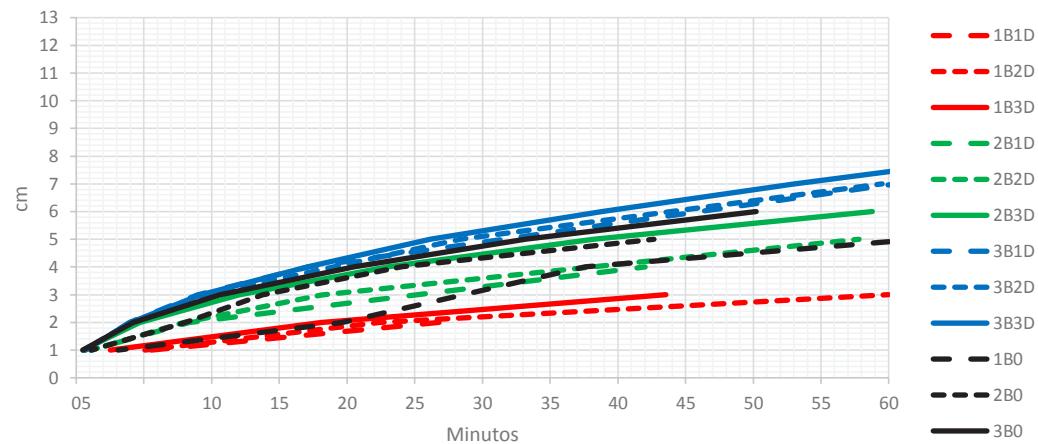
▼ Gráf. 12: Resultados de VAC - Pastas A + Calcite



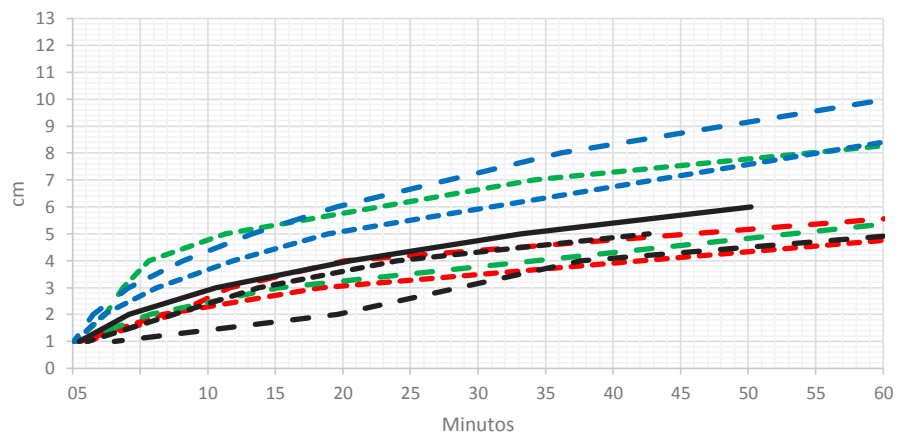
▼ Gráf. 13: Resultados de VAC - Pastas B + Serim de Madeira



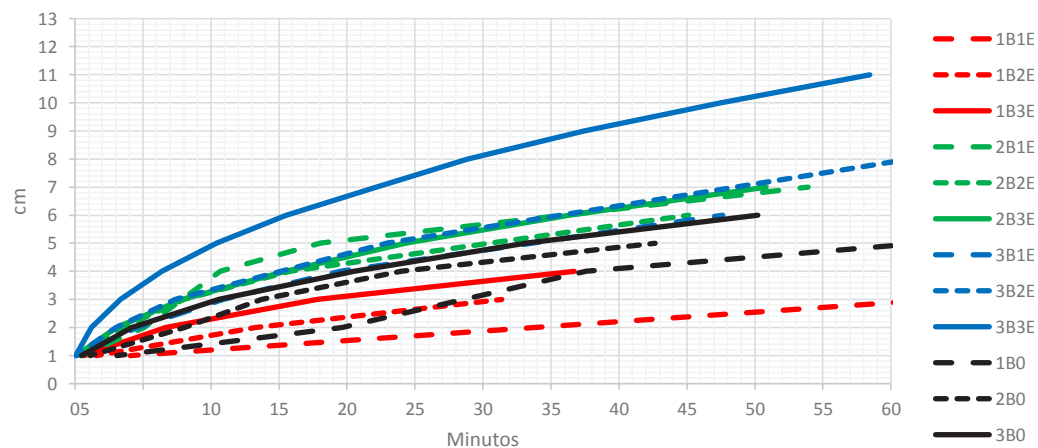
▼ Gráf. 16: Resultados de VAC - Pastas B + Diatomite



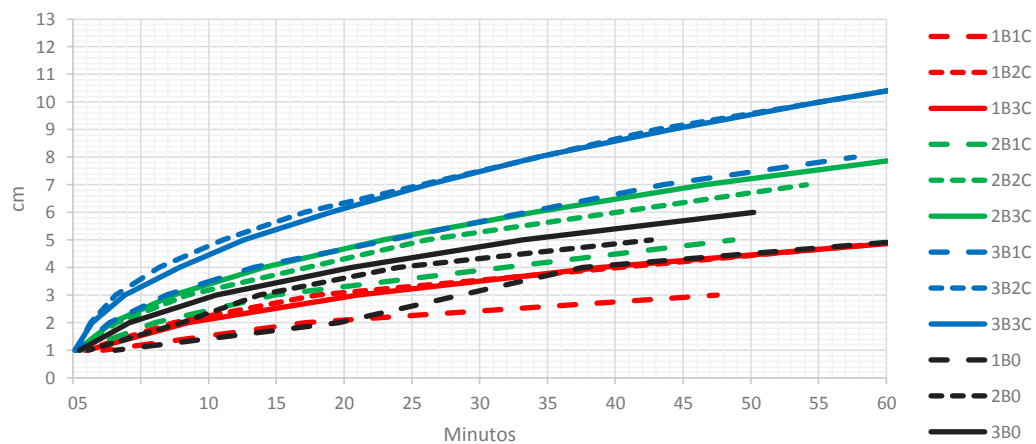
▼ Gráf. 14: Resultados de VAC - Pastas B + Pó de cortiça



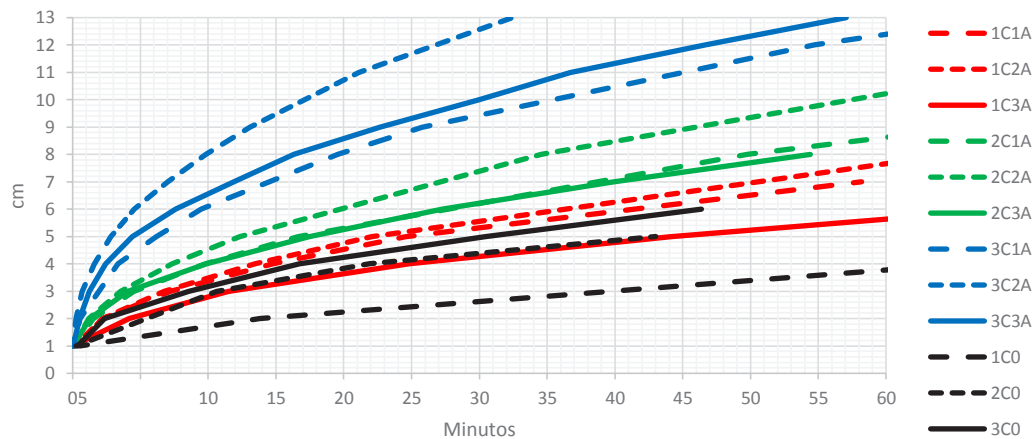
▼ Gráf. 17: Resultados de VAC - Pastas B + Calcite



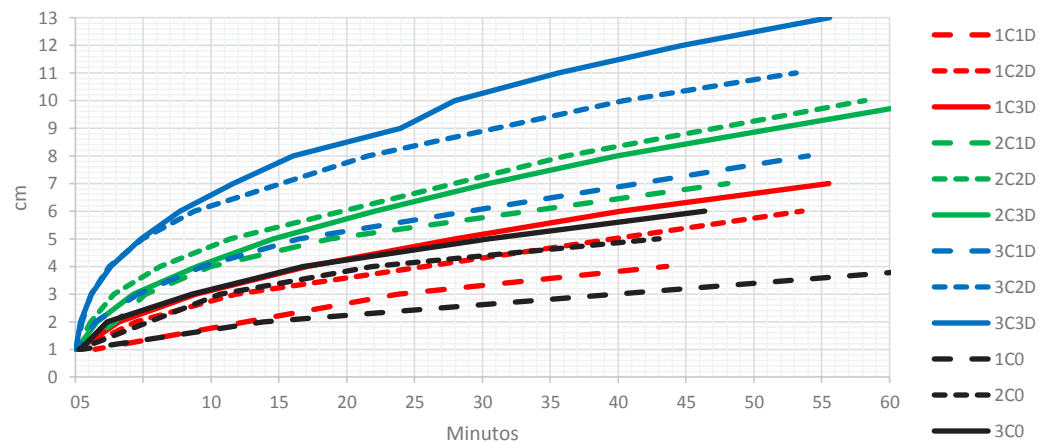
▼ Gráf. 15: Resultados de VAC - Pastas B + Argila Expandida



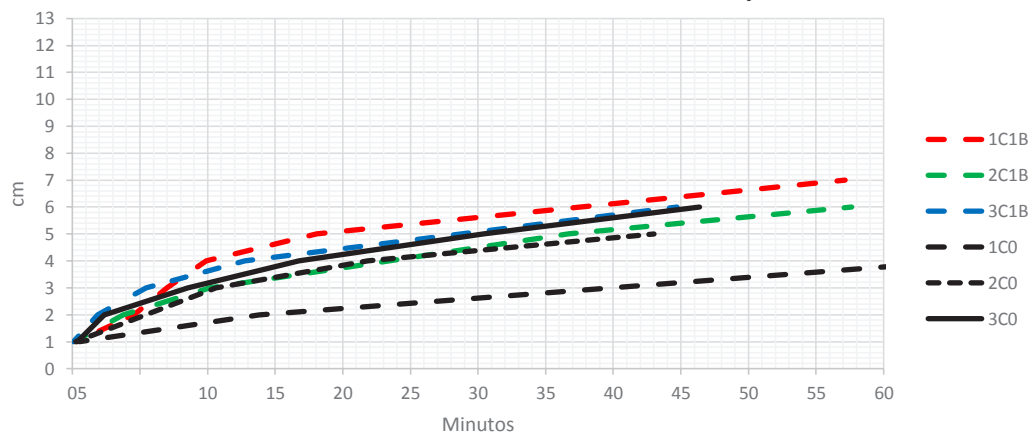
▼ Gráf. 18: Resultados de VAC - Pastas C + Serrim de Madeira



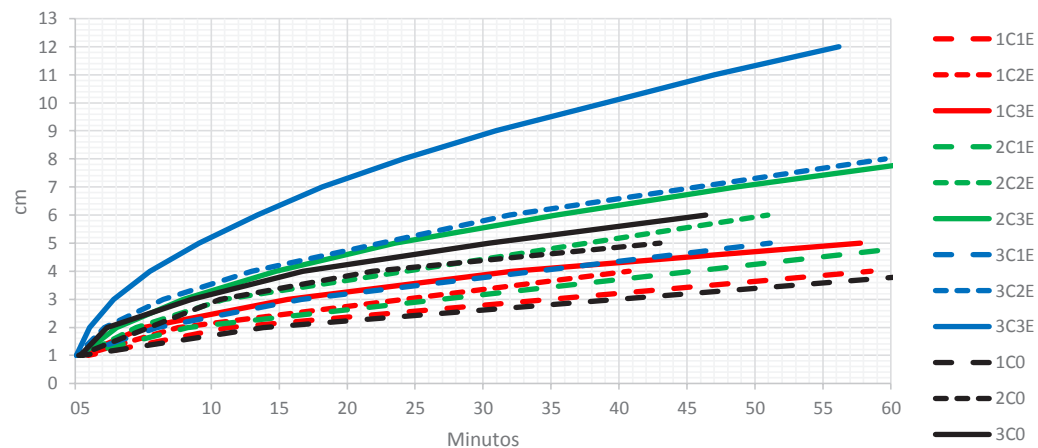
▼ Gráf. 21: Resultados de VAC - Pastas C + Diatomite



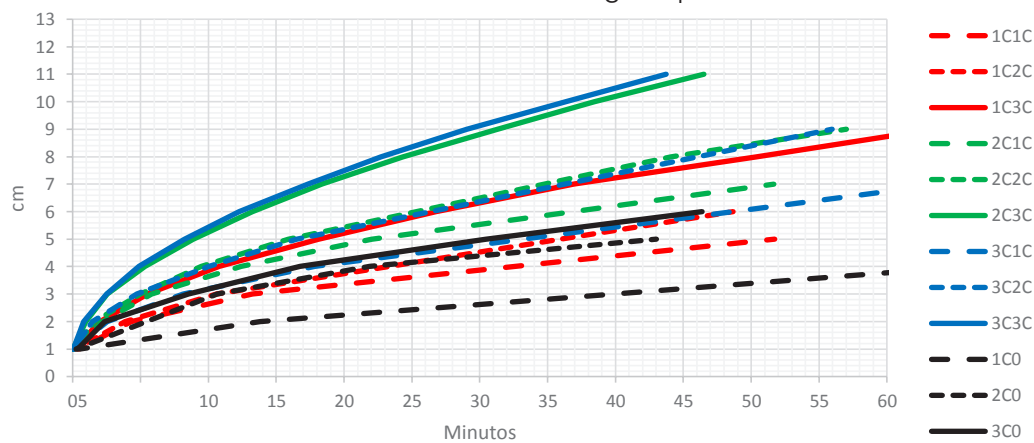
▼ Gráf. 19: Resultados de VAC - Pastas C + Pó de cortiça



▼ Gráf. 22: Resultados de VAC - Pastas C + Calcite



▼ Gráf. 20: Resultados de VAC - Pastas C + Argila Expandida



2.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nos Gráficos 1 a 22 são apresentados os resultados relativos aos ensaios da resistência mecânica à flexão, absorção de água e ascensão capilar das várias pastas experimentadas.

Uma primeira conclusão a retirar da análise comparativa entre os Gráficos 1, 3 e 5 é que a pasta C, como referência ou aditivada, é aquela que tende a apresentar os menores valores de resistência mecânica à flexão e que, genericamente, a adição de aditivos reduz esta característica dos materiais. O aditivo que aumenta a resistência mecânica relativamente às pastas de referência é a calcite, sobretudo às duas temperaturas mais baixas de ensaio, nomeadamente 850°C e 950°C, e para percentagens de adição até 20%.

Apesar de uma melhor regularidade no comportamento físico experimentado, os sofríveis resultados de resistência mecânica à flexão da pasta C levam-nos a concluir que este material não é solução para o produto que se procura desenvolver, nomeadamente por não dar tantas garantias de estabilidade estrutural para a peça utilitária em vista quando comparada com as restantes pastas de referência selecionadas neste estudo (pastas A e B).

As pastas de referência A e B aditivadas com 20% de calcite mostram curvas qualitativas de RF distintas entre o intervalo das duas maiores temperaturas experimentadas, sendo que no caso da pasta de referência A a RF aumenta, enquanto na pasta de referência B diminui, o que pode indicar uma microestrutura material mais aberta neste caso.

Se excepcionarmos as pastas de referência, conclui-se genericamente que a diatomite é o aditivo que minimiza a absorção de água das pastas aditivadas nos casos em estudo. Este resultado deve estar associado às características específicas que este aditivo incute na microestrutura dos materiais, já que esta redução de absorção de água (compatível com uma menor porosidade

aberta do material) não corresponde a resistências à flexão comparativamente mais altas, conforme o que foi já discutido anteriormente, e que se verificam para o aditivo calcite. Pelo contrário, genericamente, os aditivos orgânicos adicionados em maior quantidade nas pastas são aqueles que favorecem a absorção de água do material. No entanto, são simultaneamente os que reduzem a resistência mecânica à flexão, o que não é compatível com os requisitos fixados qualitativamente para as características mecânicas do produto em desenvolvimento. Para uma mesma temperatura, verifica-se que a porosidade aumenta com o aumento da percentagem de aditivo presente na pasta.

Nota-se que o efeito da diatomite sobre as características físicas das pastas é menos intenso do que o dos restantes aditivos e ainda que as dificuldades que resultaram da mistura dos aditivos orgânicos com diferentes pastas se fazem sentir num comportamento mais irregular e, por isso mesmo, menos esperado, nomeadamente nos resultados obtidos para o serrim de madeira na pasta C. É importante referir que é também esta pasta que é menos influenciada pelo efeito da adição e da variação da temperatura de cozedura nas propriedades de RF e de porosidade. Considera-se que o ensaio de porosidade obtido para a amostra com 10% de diatomite na pasta B cozida a 950°C terá provavelmente resultado de um erro experimental que merecia repetição.

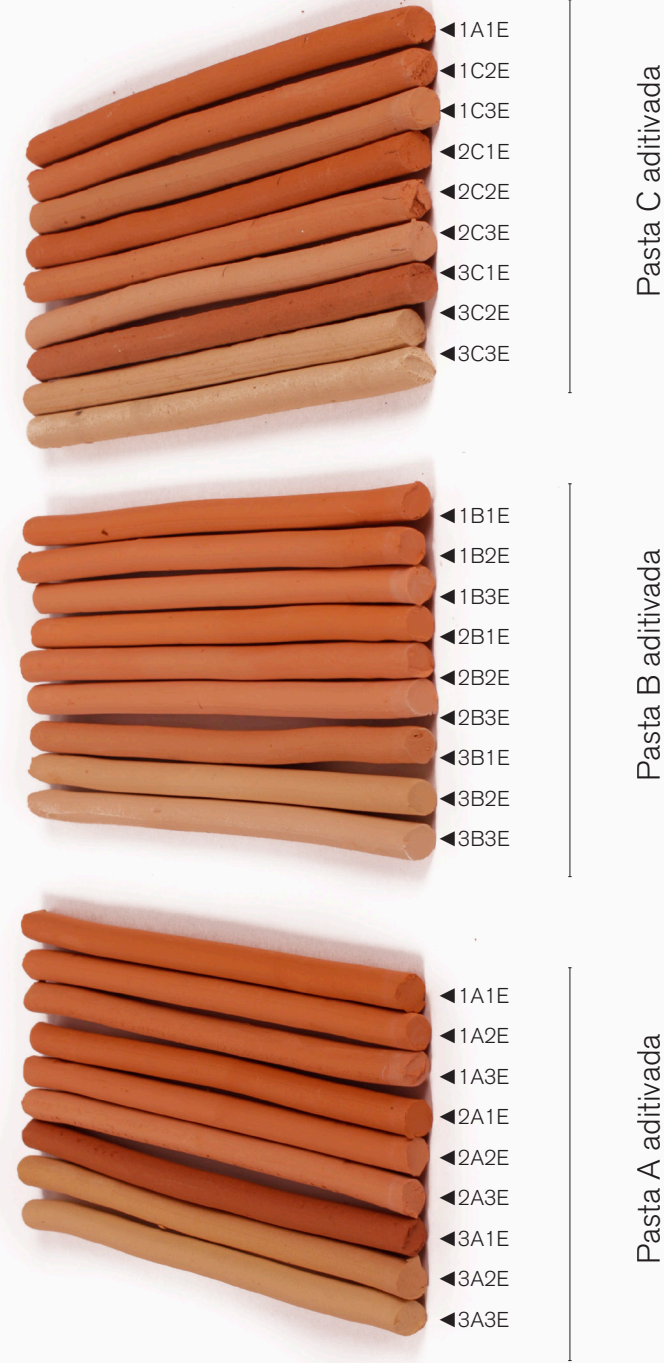
Com base nos gráficos de velocidade de ascensão capilar (Gráfs. 7 a 22), conclui-se genericamente que a aceleração é mais elevada para os intervalos mais baixos de tempo (declive das curvas) e que, ao longo dos 60 minutos de ensaio, não se atingiu a saturação porque as curvas não entraram em patamar indicador de que estas pastas têm elevado potencial de absorção de água por capilaridade, um dos objetivos que pretendíamos para o produto que se pretende desenvolver. Verifica-se também, com base nos mesmos gráficos, que a ascensão de água por capilaridade é mais rápida à medida que aumenta a percentagem de um mesmo aditivo nas pastas. Este resultado está em linha com o esperado aumento da porosidade pela adição dos

diferentes aditivos, o que se confirma pelos resultados obtidos nos gráficos. No entanto, a mesma conclusão não se pode tirar relativamente à temperatura, isto é, a ascensão de água por capilaridade mostra uma tendência de aumento com o aumento da temperatura. Este resultado pode ter explicação em alterações estruturais da microestrutura dos materiais, nomeadamente do diâmetro dos poros capilares, que podem ser mais efetivos para fins de ascensão capilar nas microestruturas que resultam das temperaturas de cozedura mais elevadas, resultado que só poderia ser confirmado através de técnicas de microscopia avançada, que não se consideraram no âmbito deste trabalho até pela falta de disponibilidade de meios para esse efeito. Note-se que a porosidade responsável pela absorção de água, conforme os gráficos 2, 4 e 6, pode não ser exatamente a mesma que ativa os mecanismos de ascensão capilar.

Com base na discussão anterior, mantendo a exclusão da pasta C como seleção de material para o projeto, verifica-se que a diatomite não favorece a propriedade de acessão capilar. Por outro lado, o serrim de madeira e a cortiça originam dificuldades de processamento, nomeadamente na fase de conformação, tal como reduzem significativamente a resistência mecânica das pastas aditivadas, tornando-as inapropriadas para o objetivo deste trabalho.

Os resultados da resistência mecânica são favoráveis para os aditivos argila expandida e calcite. A comparação do custo e disponibilidade entre estes dois aditivos é vantajosa para a calcite. Os ensaios de análise de cor para as amostras com 30% de calcite revelaram um desvio da cor vermelha pretendida para o produto final. O compromisso esperado entre uma elevada resistência mecânica e uma elevada porosidade verifica-se preferencialmente nas condições de aditivação da pasta B, que é, aliás, a pasta que foi utilizada nos ensaios-piloto realizados em ambiente industrial durante este trabalho, o que nos leva a selecionar, com base neste estudo, as pastas B aditivadas com 10% e/ou 20% de calcite como os materiais que devem ser considerados nos estudos e produção do *Uroboro*.

▼ Fig. 45: Relação cromática* entre as três pastas (A, B e C) aditivadas com calcite.



*Chama-se à atenção que se trata de uma fotografia com todos os provetes alinhados num mesmo cenário podendo assim ser feita uma relação cromática entre os provetes retratados. No entanto devido à possibilidade de alteração durante a edição da fotografia e/ou durante a impressão deste documento as cores poderão ter sofrido alterações relativas à cor real dos provetes.

2.7 TESTE DE PROTÓTIPO À ESCALA LABORATORIAL

Com o objetivo de comprovar algumas das conclusões da discussão anterior, foram produzidas peças que permitiram fazer uma comparação perceptual direta entre duas pastas: pasta de referência B e pasta B aditivada com 20% de calcite. Ambas as pastas foram cozidas a 950°C, que, segundo a informação obtida nesta fase do trabalho, eram as utilizadas em ambiente industrial na empresa Val do Sol. A seleção da pasta aditivada com 20% de calcite justifica-se por ser aquela que mostra um melhor compromisso entre resistência mecânica à flexão e ascensão capilar, e uma menor alteração cromática, afastando-se menos da desejável cor característica das pastas de barro vermelho.

Neste estudo, foram utilizadas duas peças referentes ao protótipo final (que nesta fase se encontrava em protótipo virtual), as peças A e C do projeto *Uroboro*, por serem as peças onde os fenômenos de migração de humidade se esperavam sentir com maior intensidade.

2.7.1 Teste de migração de água no sentido ascendente

Para os testes de ascensão capilar, foram produzidas quatro peças A à escala 1:2 (duas com a pasta B de referência e outras duas com pasta B aditivada com 20% de calcite, cozidas numa mufla a 950°C) com base no modelo final do *Uroboro* (Fig. 46). As peças foram envolvidas em plástico translúcido que foi preenchida na zona inferior com areia de rio seca posteriormente compactada à mão (Fig. 47), de forma a criar condições favoráveis à ascensão da água através dos grãos de areia, entrando em contacto com a base da peça. A cavidade das peças também fora enchida com a mesma areia. Utilizou-se um higrómetro e um termómetro para garantir condições aproximadamente constantes de

ensaio. As peças foram colocadas num depósito que continha areia e água, que originou a ascensão capilar visível nas próprias peças (Fig. 48). Ao fim de 24 horas, confirmou-se por tato a ascensão capilar nas peças das duas pastas, sendo que se observou uma cota desta ascensão superior na peça produzida com pasta B aditivada (Fig. 49).

► Fig. 46
Peças A (escala 1:2)
envolvidas numa cinta
transparente.



► Fig. 47
Compactação da areia
de rio.





◀ **Fig. 48**
As peças A (escala 1:2) foram alinhadas num contentor cheio de água e areia.

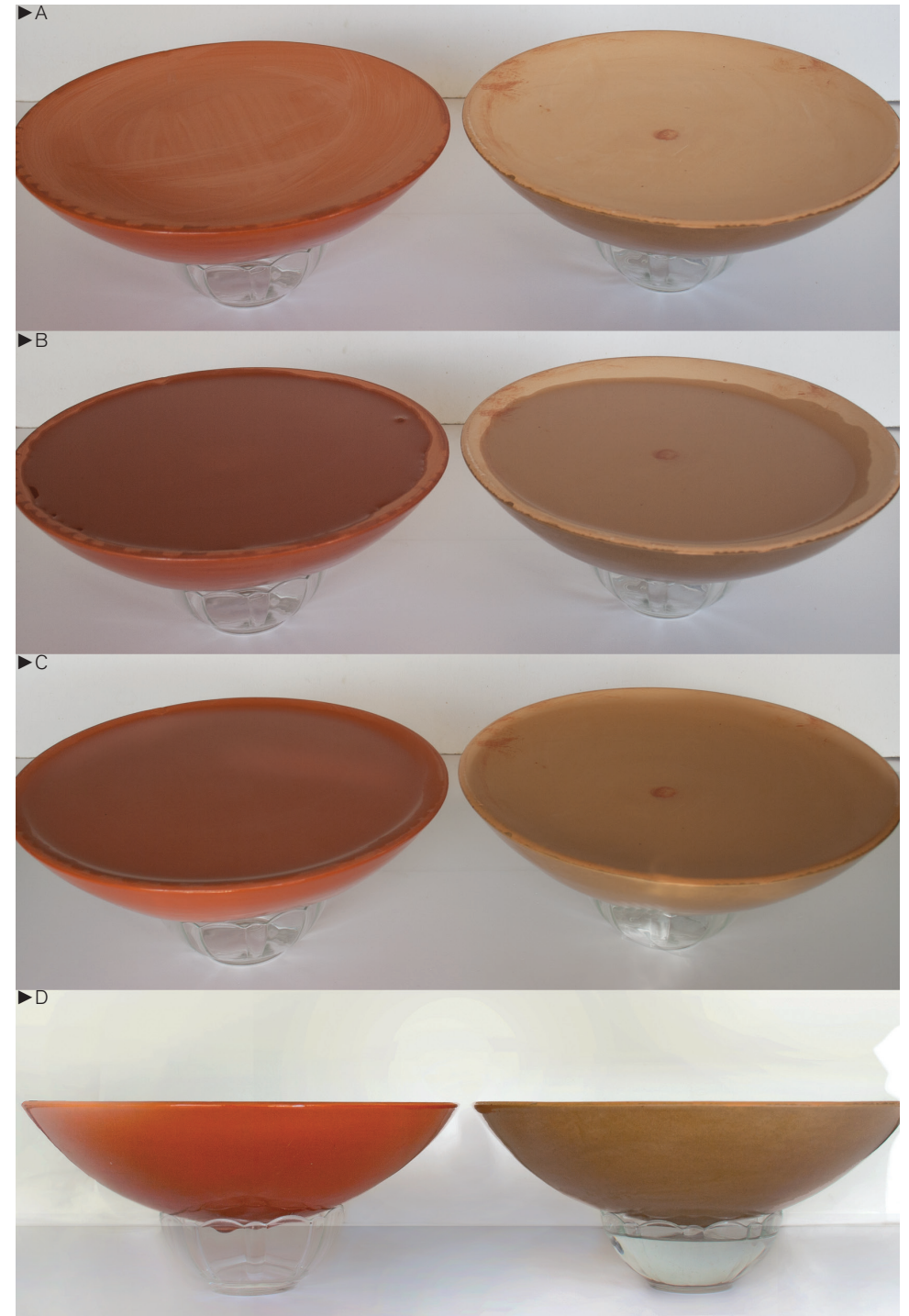


◀ **Fig. 49**
Momento da verificação das peças A (escala 1:2).

2.7.2 Teste de migração de água no sentido descendente

Para este teste, foram produzidas duas peças C à escala real (Fig. 50) com pastas de características idênticas às utilizadas no teste anterior. As peças designadas surgiram na continuação da produção dos modelos finais na empresa Val do Sol (Anexo 3). As peças foram cozidas no forno contínuo industrial da empresa com temperaturas a rondar os 1005°C e foram vidradas na parede externa inferior.

▶ **Fig. 50**
Evolução da absorção da água na peça C. A direita: peça cozida a 1005°C com pasta de referência B ; à esquerda: peça cozida a 1005°C com pasta de referência B aditivada com 20% de calcite.



Para este teste, utilizaram-se duas tigelas (100 mm Ø X 50 mm) em vidro que serviram ao mesmo tempo de contentor e suporte às peças secas. Na Fig. 50A, B, C e D), no lado esquerdo, encontra-se a peça C de pasta B de referência, e do lado direito, a pasta B aditivada com 20% de calcite. Por cima de ambas as peças, foram derramados 220 ml de água. Ao fim de duas horas, houve a oportunidade de verter mais 220 ml no caso da peça com pasta aditivada. Na pasta de referência, não foi oportuno verter mais água, dado que a superfície da peça se mantinha coberta de água, indicador de que o seu índice de absorção é inferior ao da pasta aditivada.

Durante a evolução do teste, percebeu-se que a pasta, à medida que absorvia a água, ia mudando de cor e que, passado algum tempo, começou a libertar água para o reservatório colocado por baixo dela, indicador de que ultrapassou o seu limite de absorção (ponto de saturação de humidade), de tal forma que o reservatório ficou totalmente cheio ao fim de 24 horas (Fig. 50D).

Conclusões

Conclui-se que a pasta B aditivada com 20% de calcite favorece a migração de água em ambos os sentidos, embora a velocidade de migração no sentido descendente seja largamente superior. No entanto a adição de calcite confere ao barro uma mutação cromáticas e que por esse motivo se torna menos alinhado com os objetivos do projeto em desenvolvimento, afastando-se das demais peças produzidas para o sistema *Uroboros*.

3. ANEXO 3

3.1 PRODUÇÃO DOS MODELOS

A produção dos modelos finais de projeto foi realizada na empresa Val do Sol Cerâmicas, S.A., na continuação de um acordo genérico entre a empresa e a ESAD Caldas da Rainha, IP Leiria. Este acordo permitiu ter acesso a tecnologia e matéria-prima otimizada em contexto industrial, gentilmente cedida pela empresa. Permitiu igualmente, através de modeladores experientes, obter modelos mais rigorosos, respondendo às necessidades de encaixe de determinadas peças do projeto. Antes de se passar para a produção dos modelos, os desenhos de projeto foram validados pelo engenheiro de produção da empresa e tiveram em conta a percentagem de contração da pasta relevada pela empresa (6%).

3.1.1 Moldes de gesso

Recorreu-se a um torno mecânico para a realização dos modelos de gesso (Fig. 51) de cada uma das peças que serviram de base para os moldes. Para o efeito, utilizou-se gesso para moldes de enchimento. Cada molde foi constituído por duas partes, embora inicialmente, no caso das peças A e B, tivessem sido produzidos moldes com três partes, que mais tarde foram alterados. A redução do número de partes de cada molde permitiu melhorar a produtividade do

► **Fig. 51**
Modelo da peça A. Fase em que o modelo foi marcado com os limites de cada parte do molde e ensaboado. Foram feitas incisões no topo para que o gesso do molde se pudesse agarrar ao modelo.



processo de enchimento, tornando-o mais rápido, de mais fácil extração e com acabamentos menos complexos, o que, aliás, foi melhorando com a própria prática intrínseca ao desenvolvimento deste trabalho.

No caso da produção da primeira versão do molde da peça B, foi usado “gesso podre” para cobrir metade do modelo. A outra metade foi coberta com gesso bom¹⁶ (uma das metades do molde) (Fig. 52). De seguida, foi possível remover facilmente o “gesso podre”, por ser quebradiço e verter em sua substituição gesso bom, que, após endurecer, deu origem à segunda metade do molde. As arestas e cantos foram chanfrados, aligeirando o peso e tornando a absorção da humidade da pasta líquida mais homogênea. Para as peças B e D, foram feitas incisões que permitiram marcar a zona de corte das peças conformadas por estes moldes (Figs. 56 e 60).

No caso da produção da segunda versão dos moldes da peça B, recorreu-se a cintas em PET e planos em MDF para delimitar a zona onde seria vertido o gesso bom, cobrindo metade do modelo da peça B. Após o seu endurecimento, foi enchida a outra metade do molde também com gesso bom.

No caso da peça C, torneou-se metade do modelo, que foi posteriormente preenchido com gesso para produzir a primeira parte do molde (Fig. 53). Recorreu-se a uma rolha de cortiça com um diâmetro aproximado do pretendido no modelo final para criar

O “gesso podre” é uma técnica que foi explorada na empresa Val do Sol. Este era obtido pela mistura do gesso com água com recurso a um turbo diluidor ao qual, a meio do processo, era misturada mais uma porção de água (50%), tornando o gesso posteriormente frágil e quebradiço. Este gesso pôde facilmente ser removido quando uma das partes do modelo já se encontrava seco.



◀ Fig. 52
Modelo parte do molde da peça B. Fase em que o “gesso podre” é retirado para dar lugar ao gesso de parte do molde final.

¹⁶ Refere-se “gesso bom” ao gesso adequadamente misturado e secado para os moldes finais.

a boca de enchimento. Posteriormente, o conjunto foi invertido e reposicionado novamente no torno (Fig. 54). Esta fase necessitou da ajuda do modelador da empresa para centrar a peça no ponto zero do torno, recorrendo a acessórios como arames fixados na parede ou na base do torno, que permitiam perceber o seu desalinhamento ao centro enquanto o torno girava. Fixou-se a peça com barro fresco e modelou-se a zona inferior, que posteriormente foi ensaboada e enchida com gesso bom para a segunda parte do molde.

Para os restantes moldes, foram feitas bocas de enchimento com 60 mm de altura. No caso da peça C, devido ao reduzido diâmetro da boca de enchimento,

► Fig. 53
Modelo da peça C com parte do molde e boca de enchimento.



► Fig. 54
Modelo da peça C invertida e reposicionada no torno, preparada para a segunda parte da modelação.



houve necessidade de recorrer a garrafas de plástico para garantir um abastecimento de pasta líquida constante durante a fase de secagem no molde (Fig. 63). Os moldes foram secados e abertos numa estufa a uma temperatura média de 50°C¹⁷ durante quatro dias, de forma a acelerar o processo.



◀ **Fig. 55**
Modelo da peça D com incisões para marcar as peças de barro que servem de guia para o corte e acabamento final.



◀ **Fig. 56**
Molde da peça D onde é indicada a marca da incisão no molde e que serve de guia para o corte e acabamento da peça retirada em barro.

¹⁷ Não se consegue precisar exatamente a temperatura, visto tratar-se de uma estufa constantemente utilizada pela empresa para secar as peças em barro frescas nos carros. Esta situação necessitava de um constante abrir e fechar das portas, levando à perda inevitável de energia no interior da estufa.

▶ **Fig. 57**
Molde da peça C fechada.



▶ **Fig. 58**
Molde da peça C aberta.



▶ **Fig. 59**
Molde da peça B: primeira versão.





◀ **Fig. 60**
 Molde da peça B:
 segunda versão.



◀ **Fig. 61**
 Molde da peça A:
 primeira versão.



◀ **Fig. 62**
 Molde da peça A:
 segunda versão.

▶ **Fig. 63**
 Enchimento dos moldes
 em cima de mesas de
 enchimento aquecidas.



▶ **Fig. 64**
 Peças ainda com o barro
 húmido nos carros. Algu-
 mas para serem acaba-
 das (na parte de cima) e
 outras já acabadas (parte
 de baixo).



3.1.2 Enchimento

Para o enchimento dos moldes, recorreu-se à pasta de barro vermelho líquida usada pela empresa. A pasta armazenada em tanques foi vertida para os moldes, recorrendo a pistolas com ponteiros que inibiam a criação de bolhas de ar. O processo ocorreu nos meses de verão, registando-se oscilações na espessura da pasta, provocadas pela secagem da mesma, o que originou a necessidade de adicionar água para torná-la mais líquida, refletindo-se também na necessidade de ajustar o tempo de secagem da pasta no molde. Estabeleceu-se um tempo médio de uma hora e 15 minutos no molde até a pasta ser retirada, e o enchimento foi feito em mesas aquecidas

que aceleravam o tempo de secagem no molde (Fig. 63). No caso da peça C, esse tempo foi reduzido para uma hora, obtendo-se assim uma espessura de parede idêntica em todas as peças, ficando entre os 5 e os 8 mm antes de ser cozida.

3.1.3 Acabamentos

Os acabamentos das peças consistiram no corte das bocas de enchimento e zonas marcadas para o efeito, prosseguindo-se o esponjado. No caso do corte da boca de enchimento da peça B, na primeira versão do molde houve necessidade de recorrer a peças D, que serviram de suporte estabilizando a peça ainda fresca. Posteriormente, com a evolução dos novos moldes, esse corte foi feito diretamente no molde antes de esta sair.

As peças foram colocadas separadamente em carros e tapadas com plásticos para que a secagem fosse feita de forma lenta e gradual, evitando rachas ou empenos (Fig. 64). Esta medida não evitou, no entanto, que as peças acabassem por empenar, ao ponto de impossibilitar o seu encaixe final, bem antes da sua queima, obrigando a repensar o processo de secagem. A forma encontrada para contornar este problema foi secar as peças já encaixadas, obrigando a que a deformação provocada pela secagem das mesmas se fosse acomodando aos seus pares (Fig. 69). De mencionar que os novos moldes também contribuíram favoravelmente para a solução deste problema identificado.



◀ Fig. 65
Peça A antes (à esquerda) e depois (à direita) dos acabamentos.

▶ Fig. 66
Peça B antes (à esquerda) e depois dos acabamentos (à direita).



▶ Fig. 67
Peça C antes (à esquerda) e depois dos acabamentos (à direita).



▶ Fig. 68
Peça D antes (à esquerda) e depois dos acabamentos (à direita).



3.1.4 Enfornamento e queima

Para evitar que as peças se deformassem no forno, estas foram colocadas nas vagonas já montadas e invertidas (Fig. 69). A inversão de todo o conjunto teve como objetivo evitar que a peça D se deformasse ainda fresca com o peso das restantes. Todas as peças foram submetidas a uma temperatura de 1005°C (a temperatura usada pela empresa) em forno contínuo industrial com um ciclo total de oito horas e com 30 minutos de alto fogo. Para o arrefecimento, foram necessárias mais nove horas. De seguida, foi feito um controlo de qualidade, descartando as peças partidas e rachadas.

3.1.5 Vidragem

Utilizou-se o “vidro mel” (apelidado pela empresa) com pouco brilho. Esta seleção deveu-se à necessidade de tentar evitar escurecer as peças vidradas, ao ponto de as afastar cromaticamente das peças não vidradas (também presentes no conjunto). A aplicação recorreu a mecanismos industriais existentes na empresa (Figs. 70 e 71), e o excesso de vidro foi removido à mão, com recurso a uma esponja húmida. De seguida, as peças vidradas foram novamente cozidas em condições de ciclo térmico semelhantes às da primeira cozedura. Após a queima, foi feito um novo controlo de qualidade, onde foram descartadas as peças rachadas, partidas ou com defeitos.

3.1.6 Aplicação de decalques

Foram criados desenhos vetoriais (Fig. 72), que deram origem aos decalques para aplicação nas peças A e B. Para a sua aplicação, as peças foram pré-aquecidas num forno contínuo a 60°C.

No caso das peças A vidradas, os decalques foram previamente colocados numa bandeja com água morna e de seguida aplicados diretamente com a ajuda de uma borracha para tirar o ar entre a peça e o decalque (Figs. 74 e 75) e finalizado com um pano húmido. No caso das peças B não vidradas, na zona onde seria colocado o decalque foi previamente pincelado com

► Fig. 69
Conjuntos preparados nas vagonas para o forno.



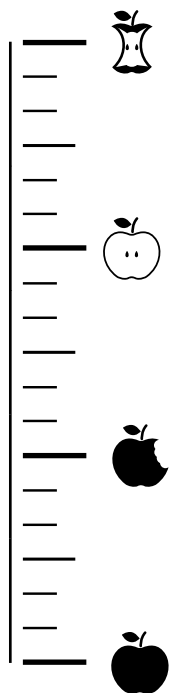
► Fig. 70
Vidragem das peças A.



► Fig. 71
Vidragem das peças C.



uma cola adequada para o efeito e posteriormente colocado o respetivo decalque (Fig. 76). Esta cola, quando submetida a altas temperaturas, desapareceu. Devido aos poucos exemplares existentes, nesta fase houve um expressivo auxílio de um técnico experiente da empresa. Finalmente, as peças foram novamente ao forno, nas mesmas condições de ciclo térmico referidas anteriormente.



◀Fig. 72
Desenho do decalque do vaso.



◀Fig. 73
Pré-aquecimento das peças no forno a 60°C.

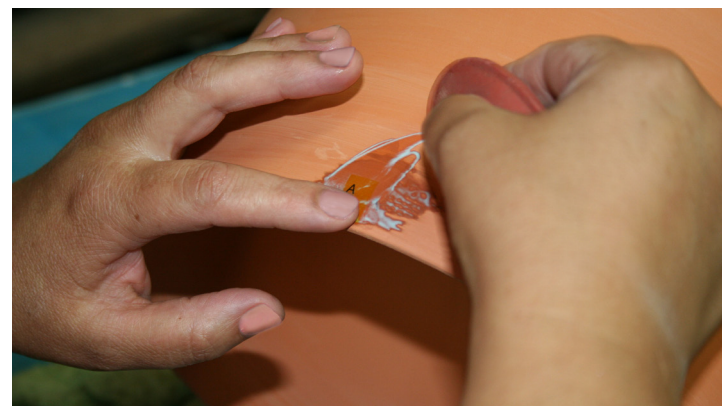
▶Fig. 74
Colocação de decalques na peça A.



▶Fig. 75
Colocação de decalques na peça A.



▶Fig. 76
Colocação de decalques na peça B.



4. ANEXO 4

4.1 MANUAL DE INICIAÇÃO DO SISTEMA

1° - Depois do sistema devidamente montado e posicionado num local perto de uma janela sem que o sol incida diretamente, colocar uma folha de jornal (de preferência sem tinta colorida) que servirá de base para tapar as juntas das peças.

2° - Misturar num recipiente à parte borras de café + um pouco de terra (que vai originar a atividade microbiana) + folhas secas (ou palha) e depositar por cima do jornal na bases.

3° - Cortar tiras de jornal (de preferência sem tinta colorida), encharcar em água e depositar por cima da mistura anterior.

4° - Colocar as minhocas por cima.

5° - Colocar os RUB (0.5 kg) por cima (evitar cebola, alho, citrinos e tomate que aumentam a acidez do sistema)

6° - Colocar o vaso por cima de tudo sem terra e esperar entre 1 a 2 semanas.

7° - Abastecer com mais resíduos (0.5kg) e colocar terra até 2/3 no vaso no máximo, semear ou plantar e regar. A planta poderá ser escolhida pelo utilizador.

8° - Abastecer semanalmente o sistema com cerca de 0.5 Kg de RUB e gradualmente aumentar a cadência entre cada abastecimento. Sempre que for abastecido ou seja detetar alguma situação preencher o formulário PDF enviado por e-mail. Boa compostagem

....

► Fig. 77
1ª Fase



► Fig. 78
2ª Fase.



► Fig. 79
3ª Fase





◀ **Fig. 80**
4ª Fase



▶ **Fig. 82**
7ª Fase



◀ **Fig. 81**
5ª Fase



▶ **Fig. 83**
Imagem referência.



◀ **Fig. 75**
6ª Fase

52 FORMULÁRIO DA FAMÍLIA PESSANHA

Bio-Sistema

Teste de protótipo em ambiente familiar

	Coloquet resíduos sólidos	Deletar data	Dimensões	Ha resíduos sólidos	Sistema	sons
30/08/2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Melancia. Mancha de humidade
31/08/2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nos anexos a em DVD a la ma e en u
01/09/2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	a de melancia e la ara
09/09/2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	imen a a a a a i c
11/09/2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	a ca mel cen u
12/09/2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	u e melancia. e e du
13/09/2015	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ue lana n a e e
24/09/2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	e e a cen u a anana M
26/09/2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Melancia cen u Minh ca
27/09/2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ace i i i.
30/09/2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	imen cen u aci u e e e
3/10/2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Melancia.
12/10/2015	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	a ecimen de m u i
21/10/2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	anana ma e a ce ca ca
1/11/2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	en u a cul
5/11/2015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	a ca a ia i n e e
—/—/—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
—/—/—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
—/—/—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
—/—/—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
—/—/—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Obrigado pela sua participação

5.3 TESTEMUNHO DA FAMÍLIA CORREIA

"1º a 2º semana: Na duração das primeiras semanas foi inserida a terra e plantadas plantas aromáticas (erva-cidreira). Por várias vezes foram encontrados mosquitos fora do recipiente. O vaso foi levantado várias vezes nestas primeiras semanas (a maioria das vezes por curiosidade nossa ou familiares e amigos) o que provavelmente terá dada origem a essa situação. Não era comum encontrar muitas minhocas ao levantarmos o vaso e os restos demoravam vários dias a degradar-se até ficarem negros.

2ª semana a 4º semana: A curiosidade inicial passou e o sistema entrou num ciclo rotineiro de abertura ao fim de semana (para um carregamento grande) e uma a duas vezes por semana em dia aleatório. A degradação dos restos passou a ser mais rápida (fase de comida negra) mas a ausência de minhocas notava-se ainda. Passou a ser bastante mais raro a presença de mosquitos embora ainda existisse. Apareceram alguns insectos não voadores mas foi caso único.

4º semana até ao presente: Continuação do ciclo rotineiro de carregamentos à semelhança do que se vinha fazendo. A localização do equipamento foi mudada (por uma questão de preferência) por umas duas vezes consoante a posição do resto do mobiliário da sala. É provável que a localização mais recente tenha sido um impedimento para o crescimento mais rápido das plantas de chá. Foi recentemente mudada para a posição original e acrescentadas duas novas plantas. Uma que vinha a ser preparada numa lata (cuja terra colapsou), outra uma planta de abacaxi que estava a ser preparada em imersão para aparecimento de raízes. As minhocas começaram a aparecer em número muito superior (é possível que a localização do vaso cuja exposição à luz era menor possa ter sido um factor importante para isto). Os mosquitos só aparecem agora quando o vaso é levantado muitas vezes seguidas (como foi no caso da tua visita)."

Pedro Correia

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

//Appelhof, M. (1997). Worms eat my garbage (2ª Edição ed.). Michigan: Flower Press.

//Houseofthol. (20 de Setembro de 2015). Waterworks. Obtido de Houseofthol: <http://www.houseofthol.nl/waterworks>

//Pikington, G. (2005). Composting with worms. Bristol: Eco-Logic books.

//Argex. (29 de Setembro de 2015). O produto. Obtido de Argex: <http://argex.pt/produto.html>

//Dutra, R., & Pontes, L. (2002). Cerâmica 48. Cerâmica 48, 294.

//Lyckfeldt, O., Ferreira, J. M., & Eur, J. (1998). Ceram. Soc. 18, 2 . Ceram. Soc., 131.

//Prevenção e controlo integrados da poluição. (Dezembro de 2006). Documento de referência sobre as Melhores Técnicas Disponíveis na Indústria Cerâmica. COMISSÃO EUROPEIA, DIRECÇÃO-GERAL JRC CENTRO DE INVESTIGAÇÃO CONJUNTA, Instituto de Estudos de Tecnologia Prospectiva. Obtido de <http://www.apicer.pt/apicer/admin/EXPLORER/ficheiros/pdf/estudos/DocRefSobreMelhoresTecDisplnduCeramica.pdf>

7. ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 20: Projeto Waterworks (2013), Houseofthol <http://www.houseofthol.nl/waterworks>, acedido a 20 de Setembro 2015

*Restantes figuras são da autoria de Marco Balsinha.

8. ABREVIATURAS E GLOSSÁRIO

CENCAL – *Centro de Formação Profissional para a Indústria Cerâmica*

HDPE – **Polietileno de alta densidade**

MDF – *Medium Density Fiberboard*

PET – **Politereftalato de etileno**

PP – **Polipropileno**

PVC – **Policloreto de vinila**

RBV – Resíduos Biodegradáveis Vegetais: resíduos domésticos provenientes de vegetais, frutas e legumes processados ou não, e sem contacto com gordura animal.

RF – Resistência à flexão ou Resistência mecânica: Esforço físico que é exercido perpendicularmente ao eixo de um espécime até este se partir. Este esforço é traduzida por um valor (por exemplo esforço por cm³).

RU – Resíduos urbanos: resíduos provenientes de habitações bem como outros resíduos que, pela sua natureza ou composição, sejam semelhantes aos resíduos provenientes de habitações. (Fonte: Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho)

RUB – Resíduos urbanos biodegradáveis: resíduos que podem ser sujeitos à decomposição anaeróbia ou aeróbia, como os resíduos alimentares e de jardim, o papel e o cartão. (Agência Portuguesa do Ambiente, I.P., 2013)

WCED – World Commission on Environment and Development

