

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Mariana Lanzinha dos Santos Luís

**Estudo experimental de bloco leve à base
de aparas de madeira e resíduos de papel**

junho de 2021



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Mariana Lanzinha dos Santos Luís

**Estudo experimental de bloco leve à base
de aparas de madeira e resíduos de papel**

Dissertação de Mestrado

Ciclo de Estudos Integrados em Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação de

Professora doutora Rute Eires

Professor doutor Ricardo Mateus

junho de 2021

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações
CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer à vida. À vida que me foi proporcionada ao longo desta viagem de estudante, às pessoas com quem me cruzei e me acompanharam neste caminho e aos meus pais por me terem dado a oportunidade de o fazer.

Uma dissertação de mestrado exige tempo, esforço e dedicação. Principalmente quando é realizada em situação pandémica como a que o mundo atravessa neste momento. Surgem obstáculos inesperados que apelam à capacidade de aceitação e adaptação a uma nova forma de viver e de estar.

Em especial, agradeço à minha orientadora, Professora Doutora Rute Eires, pelo excelente acompanhamento que fez ao meu trabalho, pela disponibilidade e exigência constantes que garantiram a coerência e a qualidade desta dissertação.

Ao professor Doutor Ricardo Mateus, pelo apoio dado no desenvolvimento do trabalho.

Um especial agradecimento ao técnico do laboratório, Carlos Jesus, por toda a ajuda prestada durante a execução do trabalho prático desenvolvido. Desde a preparação de provetes, à realização dos ensaios, foi incansável.

Aos meus colegas de curso que desenvolviam trabalho prático semelhante em laboratório, pelo apoio ao longo dos trabalhos e por me aturarem nas horas vagas.

A toda a minha família e amigos, pelo suporte emocional e motivação constante para fazer sempre mais e melhor. Não só neste trabalho, mas como na vida.

Por último ao meu namorado, José Eduardo. Agradeço o amor, o apoio e a paciência tanto para mim como para o word!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Esta dissertação de mestrado incide sobre o estudo experimental de blocos leves como solução construtiva de paredes interiores, cuja composição é à base de materiais residuais provenientes de outras indústrias. O objetivo principal é diminuir a pegada ecológica provocada pela indústria da construção, substituindo a utilização de materiais correntes por materiais alternativos e recicláveis.

Para isto, foi elaborado um material compósito constituído por resíduos de papel reciclado, aparas de madeira, ligante e água. Foram realizadas três composições diferentes com três ligantes diferentes: cal aérea, cal hidráulica e cimento, de forma a poder tirar conclusões acerca do diferente comportamento que cada ligante apresenta.

Tendo as proporções de cada material definidas, foram realizados provetes que, após um período de cura (em condições de humidade e temperatura normais), foram submetidos a ensaios de resistência mecânica (flexão e compressão). Os restantes ensaios (absorção de água por capilaridade e por imersão) foram realizados com as misturas que apresentaram melhor desempenho.

Após a análise de resultados conclui-se que o cimento é o ligante que confere maior resistência mecânica ao material.

Verifica-se também que, com a combinação cimento/cal, substituindo 20% de ligante por cimento, obtêm-se maiores resistências mecânicas, mas no entanto não existe uma diferença significativa relativamente à absorção de água. Pode-se concluir que a composição com cal aérea e cimento apresenta um melhor desempenho face à utilização proposta, compósito para produção e blocos para paredes interiores, mostrando que poderá ser viável a sua utilização comparando com o desempenho de blocos à base de cal existentes. No entanto, serão necessários mais estudos de caracterização deste material compósito e otimização da sua composição no sentido de se reduzir a quantidade de cimento utilizada.

Palavras chave: Sustentabilidade, bloco leve, cal, fibras de celulose, aparas de madeira, cimento.

Experimental study of light block based on wood chips and paper waste

ABSTRACT

This master's thesis focuses on the experimental study of light blocks as a constructive solution for interior walls, whose composition is based on residual materials from other industries. The main objective is to reduce the ecological footprint caused by the construction industry, replacing the use of current materials with alternative and recyclable materials.

Thus, a composite material was made up of recycled paper waste, wood chips, binder and water. Three different compositions were made with three different binders: aerial lime, hydraulic lime and cement, to conclude the different behaviour that each binder presents.

Having the proportions of each material defined, samples were made which, after a curing period (under average humidity and temperature conditions), were subjected to mechanical resistance tests (flexion and compression). The remaining tests (water absorption by capillarity and immersion) were carried out with the mixtures that showed the best performance.

After analyzing the results, it is concluded that cement is the binder that gives the material greater mechanical resistance.

It is also verified that with the cement/lime combination, replacing 20% of the binder with cement, greater mechanical strengths are obtained. However, there is no significant difference in water absorption. It can be concluded that the composition with aerial lime and cement presents a better performance compared to the proposed use, composite for production and blocks for interior walls, showing that its use may be viable when compared with the performance of existing blocks based on lime, However, further characterization studies of this composite material and optimization of the composition will be necessary to reduce the amount of cement.

Keywords: Sustainability, light block, lime, cellulose fibres, wood chips, cement.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| AGRADECIMENTOS | 3 |
| 1. Introdução..... | 13 |
| 1.1 Enquadramento..... | 13 |
| 1.2 Objetivos | 13 |
| 1.3 Descrição e metodologia..... | 14 |
| 1.4 Estrutura da dissertação..... | 16 |
| 2. Estado da arte..... | 17 |
| 2.1 Resíduos industriais | 17 |
| 2.1.1 Resíduos da indústria do mobiliário | 18 |
| 2.1.2 Resíduos da indústria do papel | 19 |
| 2.2 Betão leve na construção..... | 20 |
| 2.3 Blocos com agregados leves existentes no mercado..... | 22 |
| 2.3.1 Blocos com aparas de madeira..... | 24 |
| 2.3.2 Blocos com aparas de cânhamo..... | 28 |
| 2.3.3 Blocos com resíduos de papel | 33 |
| 2.3.4 Benefícios térmicos e acústicos deste tipo de blocos..... | 36 |
| 2.3.5 Análise comparativa aos materiais e ensaios estudados no estado da arte | 39 |
| 3. Materiais utilizados..... | 41 |
| 3.1 Ligantes | 41 |
| 3.1.1 Cal..... | 41 |
| 3.1.2 Cimento..... | 43 |
| 3.2 Fibras | 44 |
| 3.2.1 Aparas de madeira | 44 |
| 3.2.2 Resíduos à base de fibras de celulose..... | 49 |
| 3.2.3 Resultados aos ensaios de caracterização das fibras..... | 51 |
| 4. Estudo experimental..... | 54 |
| 4.1 Composições testadas..... | 54 |
| 4.1.1 Dimensionamento das composições..... | 55 |
| 4.1.2 Etapas e misturas realizadas | 56 |
| 4.2 Metodologias utilizadas..... | 56 |
| 4.2.1 Moldagem e preparação de provetes | 56 |
| 4.2.2 Métodos de ensaio | 58 |

| | |
|---|----|
| 4.2.1 Resistência mecânica | 58 |
| 4.2.2 Absorção de água por capilaridade | 59 |
| 4.2.3 Absorção de água por imersão | 60 |
| 5. Análise de resultados..... | 62 |
| 5.1 Resistência mecânica | 62 |
| 5.2 Absorção de água por capilaridade | 69 |
| 5.3 Absorção de água por imersão | 70 |
| 6. Conclusões e trabalhos futuros..... | 71 |
| 6.1. Resistência mecânica | 71 |
| 6.2. Absorção de água..... | 72 |
| 6.3. Trabalhos futuros | 73 |
| 7. Referências | 74 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Fluxograma e método de trabalho | 11 |
| Figura 2 - Processo de gestão de resíduos industriais..... | 17 |
| Figura 3 - Cúpula do panteão de Roma. Construída com betão de agregados leves [10]. | 21 |
| Figura 4 – Tribunal regional e distrital em Frankfurt, Alemanha. Construído com "LWC" [12]..... | 21 |
| Figura 5 - Blocos de betão celular autoclavado - Ytong e Celcom, respetivamente [14]..... | 22 |
| Figura 6 - Construção com "timbercrete" [15]..... | 23 |
| Figura 7 - Blocos de cânhamo - ISOHEMP Natural Building [16] | 24 |
| Figura 8 - Material utilizado como agregado - serrim [21] | 26 |
| Figura 9 - Edifício na Nova Zelândia e na República Checa, respetivamente [25]..... | 30 |
| Figura 10 - Aplicação da parede de betão de cânhamo na câmara climática [33]. | 37 |
| Figura 11 - Casa em alvenaria [34]. | 38 |
| Figura 12 - Casa em cânhamo [34]. | 38 |
| Figura 13 - Imagem termográfica da casa em alvenaria com escala de temperatura [34]..... | 38 |
| Figura 14 - Imagem termográfica da casa em cânhamo com escala de temperatura [34]. | 39 |
| Figura 15 - Aparas de madeira utilizadas no compósito. | 45 |
| Figura 16 - Pesagem do material utilizado no ensaio de peneiração..... | 46 |
| Figura 17 - Coluna de peneiros utilizada no ensaio de peneiração. | 46 |
| Figura 18 - Separação do material acumulado em cada peneiro. | 47 |
| Figura 19 - Resíduo de base celulósica utilizado no compósito..... | 49 |
| Figura 20 – Esquema ilustrativo do método de medição de materiais. | 54 |
| Figura 21 - Água + resíduo de papel antes e após ser triturado..... | 55 |
| Figura 22 - a) 100% aparas de madeira; b) 45% de resíduo de papel + 50% de água; c) 50% de ligante. | 55 |
| Figura 23 - a) Aparas de madeira; b) Resíduo de papel + água; c) Ligante | 56 |
| Figura 25 - Medição da massa do provete | 57 |
| Figura 26 - Medição da secção do provete | 57 |
| Figura 27 - a) Ensaio de flexão; b) Ensaio de compressão. | 58 |
| Figura 28 - Ensaio de absorção por capilaridade | 59 |
| Figura 29 - Os três provetes são colocados numa caixa completamente imersos. | 60 |
| Figura 30 - Nova composição com mistura de ligantes (cal aérea + cimento)..... | 64 |
| Figura 31 - a) 100% de aparas de madeira; b) 45% de resíduo de papel + 50% de água; c) 40% de Cal aérea + 10% Cimento. | 67 |

Figura 32 - 100% de aparas de madeira; b) 45% de resíduo de papel + 50% de água; c) 50% de Cal aérea.

..... 67

Figura 33 - 100% de aparas de madeira; b) 45% de resíduo de papel + 50% de água; c) 50% Cimento67

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Estudos realizados a blocos feitos a partir de resíduos de madeira. | 27 |
| Tabela 2 - Principais constituintes do cânhamo [22]..... | 29 |
| Tabela 3 - Estudos realizados a blocos feitos a partir de cânhamo industrial. | 33 |
| Tabela 4 - Resultado dos ensaios de absorção de água e resistência à compressão [29] e [30]. | 34 |
| Tabela 5 - Resultado dos ensaios de resistência à flexão e condutibilidade térmica [29] e [30]..... | 34 |
| Tabela 6 - estudos realizados a blocos feitos a partir de resíduos de papel..... | 35 |
| Tabela 7 - Resultados dos diferentes materiais aos diversos ensaios..... | 39 |
| Tabela 8 - Características da cal aérea utilizada (Lusical H100) [38]..... | 42 |
| Tabela 9 - Características da cal hidráulica utilizada (NHL 5) [37]..... | 43 |
| Tabela 10 - Características químicas do cimento utilizado (CEM II/B-L 32.5N) [40]. | 44 |
| Tabela 11 - Características mecânicas do cimento utilizado (CEM II/B-L 32.5N) [40]..... | 44 |
| Tabela 12 - Resultados do ensaio granulométrico..... | 47 |
| Tabela 13 - Codificação espectral do ensaio FTIR..... | 53 |
| Tabela 14 - Ensaios realizados aos provetes nas várias etapas. | 56 |
| Tabela 15 - Resultados dos ensaios de resistência aos 14 dias – Etapa1..... | 62 |
| Tabela 16 - Resultados dos ensaios de resistência aos 28 dias – Etapa2..... | 64 |
| Tabela 17 - Resultados dos ensaios de resistência aos 90 dias – Etapa 3..... | 68 |
| Tabela 18 - Resultados do ensaio de absorção de água por imersão..... | 70 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Composição média dos resíduos de madeira produzidos a partir da fabricação de mobiliário [3]..... | 18 |
| Gráfico 2 - Difusão térmica em função da quantidade de madeira existente [18]..... | 25 |
| Gráfico 3 - Variação da resistência à compressão em função da densidade [26] | 31 |
| Gráfico 4 - Curva granulométrica do ensaio de granulometria. | 48 |
| Gráfico 5 - Ensaio DSC (differential scanning calorimeter)..... | 51 |
| Gráfico 6 - Ensaio STA (simultaneous thermogravimetric analysis)..... | 52 |
| Gráfico 7 - Ensaio FTIR (Fourier-transform infrared spectroscopy) | 52 |
| Gráfico 8 - Resistência à compressão aos 14 dias - Etapa 1 | 60 |
| Gráfico 9 - Resistência à flexão aos 14 dias - Etapa 1 | 60 |
| Gráfico 10 - Resistência à compressão aos 28 dias - Etapa 2 | 62 |
| Gráfico 11 - Resistência à flexão aos 28 dias - Etapa 2 | 62 |
| Gráfico 12 - Resistência à compressão aos 90 dias - Etapa 3 | 65 |
| Gráfico 13 - Resistência à flexão aos 90 dias - Etapa 3 | 65 |
| Gráfico 14 – Absorção de água por capilaridade | 66 |
| Gráfico 15 – Coeficiente de capilaridade de cada mistura | 67 |

1. Introdução

1.1 Enquadramento

O conceito de sustentabilidade tem, atualmente, um papel crucial no desenvolvimento de qualquer atividade industrial. A construção, sendo uma dessas indústrias e pertencendo a um dos setores económicos mais importantes da Europa, carece de uma preocupação redobrada no que toca a consumos excessivos de matérias primas, recursos energéticos e elevada produção de resíduos.

Deste modo, podemos considerar que a construção sustentável é um conceito que responde às necessidades de sustentabilidade do planeta. Os princípios que fundamentam este conceito passam pela redução do consumo de recursos e reutilização dos mesmos, ou seja, optar por materiais que possam ser reciclados e reutilizados.

Posto isto, serão reutilizados resíduos de duas superfícies industriais distintas:

- Uma fábrica produtora de móveis de decoração, que apresenta um volume de resíduo de cerca de 1500 m^3 de serrim por ano.
- Uma fábrica da indústria do papel que chega a produzir 10 mil toneladas de fibras de origem celulósica por ano.

Ambas são indústrias que apresentam poucas opções de reaproveitamento dos resíduos que produzem, daí surge a possibilidade do desenvolvimento de um estudo experimental que incida na utilização destes resíduos para produção de blocos leves a implementar na indústria da construção.

1.2 Objetivos

Com o intuito de reduzir o impacto que a indústria da construção provoca no nosso planeta, é prioritário insistir na utilização de materiais residuais provenientes de outro tipo de indústrias e que possam ser reutilizados na construção de edifícios. Assim, será estudada uma possível solução construtiva para paredes interiores utilizando esse tipo de materiais residuais.

O objetivo específico é a produção e caracterização laboratorial de um compósito leve à base de aparas de madeira (de pós-consumo) e de fibras de papel ou celulose (resíduos de papel de pré e pós-consumo), utilizando ligantes convencionais como a cal e o cimento. Este compósito tem como principal finalidade a produção de blocos leves a implementar em elementos construtivos. Essa caracterização do compósito foi feita através de vários ensaios laboratoriais, de forma a concluir qual o compósito que apresenta o melhor desempenho.

1.3 Descrição e metodologia

Deste modo, foram utilizados resíduos de serrações (aparas de madeira) e resíduos de papel (proveniente da indústria de papel, nomeadamente resíduos do fabrico de pasta kraft e de pasta a partir de fibras recicladas) misturados com três tipos de ligantes: cal aérea, cal hidráulica e cimento para produzir uma possível solução construtiva de paredes interiores. A produção e caracterização laboratorial destas diferentes misturas permitiu, através de vários tipos de ensaios, tirar conclusões no que toca ao desempenho geral e resistência mecânica das mesmas.

A metodologia usada baseou-se numa pesquisa inicial sobre o tema, recorrendo, principalmente, a artigos científicos e outras dissertações sobre resíduos utilizados em blocos de construção semelhantes.

Seguindo-se de uma parte prática que consistiu no desenvolvimento do compósito, em que foram realizadas diferentes misturas para serem posteriormente ensaiadas para avaliação do desempenho mecânico e, assim, seleccionar a melhor composição para a produção de blocos e realização dos ensaios de resistência mecânica e absorção de água. Apenas e só se os provetes desenvolvidos apresentaram valores de resistência mecânica minimamente aceitáveis, foram submetidos aos restantes ensaios.

Resumindo, a caracterização laboratorial da composição seleccionada para avaliar o desempenho geral enquanto solução construtiva, baseou-se em duas características principais:

Ao nível da resistência à água;

Ao nível da resistência mecânica.

O esquema seguinte ilustra de forma simples as iterações existentes em cada fase, capítulos e subcapítulos.

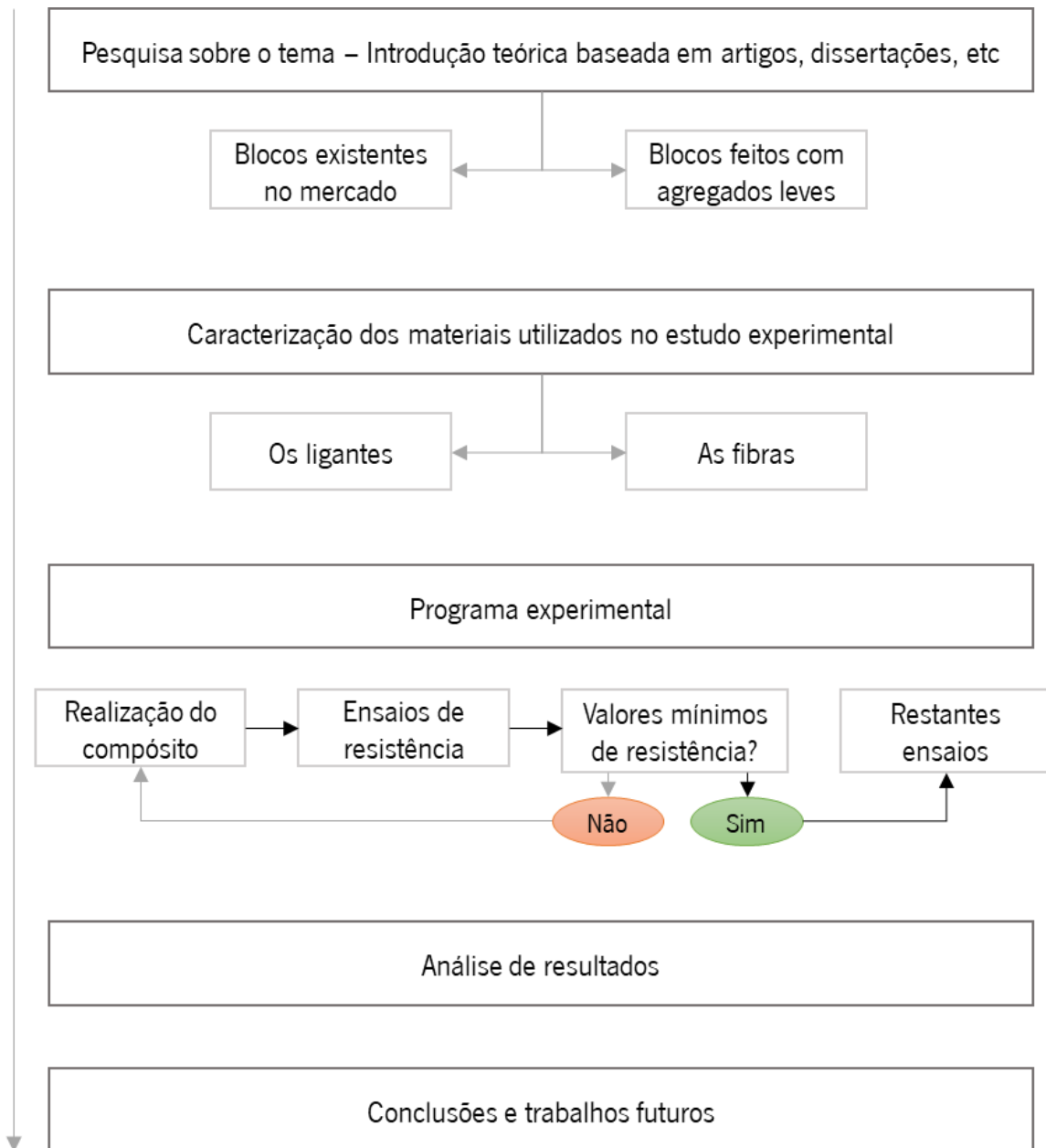


Figura 1 - Fluxograma e método de trabalho

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação de mestrado incide em 5 grandes capítulos.

O estado da arte, que consiste numa revisão bibliográfica acerca de:

- Tipos de resíduos industriais e sua finalidade, principalmente resíduos provenientes da indústria do mobiliário e do papel;
- Blocos comercializados e que já existam no mercado;
- Blocos leves utilizados na construção civil, feitos a partir de madeira, cânhamo e papel.

Breve caracterização dos materiais utilizados:

- Tipos de ligantes e sua constituição e características;
- Origem, análise granulométrica e dimensionamento das aparas de madeira utilizadas;
- Origem e caracterização, com base em vários ensaios, das fibras de celulose utilizadas.

Estudo experimental do compósito elaborado:

- Método de preparação da mistura, medição dos materiais constituintes, moldagem e desmoldagem dos provetes realizados e sua preparação prévia para os ensaios;
- Normas e metodologias de ensaio.

Análise dos resultados obtidos:

- Aos ensaios de resistência mecânica (flexão e compressão);
- Ao ensaio de absorção de água por capilaridade;
- Ao ensaio de absorção de água por imersão;

Conclusões e trabalhos futuros:

- Análise comparativa dos resultados obtidos com a pesquisa bibliográfica;
- Breve argumentação crítica sobre o trabalho realizado;
- Aspectos a ter em consideração noutros trabalhos relacionados.

2. Estado da arte

2.1 Resíduos industriais

A gestão de resíduos, apresentada de um modo esquemático na figura 2, é uma questão que está em foco na área industrial, não só pelo intuito de proteger o meio ambiente como também garantir a diminuição do desperdício de matéria prima [1].

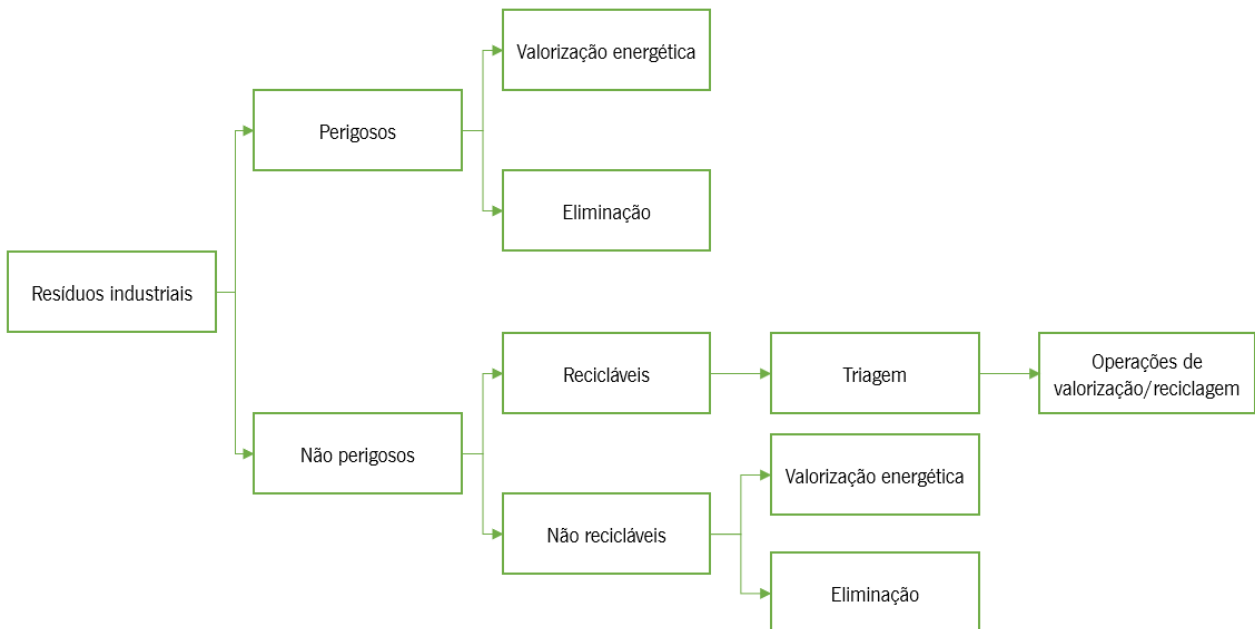


Figura 2 - Processo de gestão de resíduos industriais

As atividades industriais caracterizam-se em quatro grandes grupos:

- ✓ Indústria extrativa;
- ✓ Indústria transformadora;
- ✓ Indústria da produção e distribuição de eletricidade, gás e água;
- ✓ Restauração (catering).

Esta divisão permite, de forma viável, a organização da informação e uma análise correta do universo das atividades consideradas [2].

2.1.1 Resíduos da indústria do mobiliário

A indústria do mobiliário está inserida no grupo das indústrias transformadoras. Durante a década de 80, esta indústria transformadora manteve uma importância constante no contexto da economia nacional [2].

Os principais resíduos gerados pela indústria moveleira são pedaços de madeira, pó de serra, solventes e água da cabine de pintura e cujas características estão diretamente relacionadas com o porte da empresa e matéria prima utilizada [1].

Os resíduos gerados por este tipo de indústria podem ser divididos em dois grupos de maior impacto, os resíduos sólidos e os resíduos líquidos. Em que os primeiros são os derivados diretamente da madeira, como as aparas, as fitas de aplainamento e o pó da madeira [1].

Os resíduos de madeira podem ser utilizados na produção de material combustível, na agricultura, na produção de energia elétrica em termoelétricas, na indústria de painéis reconstituídos e para produção de pequenos objetos. Além disto podem, também, ser utilizados para a produção de adubo pelo sistema de compostagem, onde principalmente a serragem serve de substrato para a degradação mais rápida da matéria orgânica pelos microrganismos [1].

Em Portugal, são produzidas cerca de 2 912 450 toneladas de resíduo industriais de madeira por ano, e, desse valor, 194 551 m³ pertencem ao setor do mobiliário [3].

No gráfico 1 é possível verificar a distribuição de resíduos de madeira produzidos no setor do mobiliário [3].

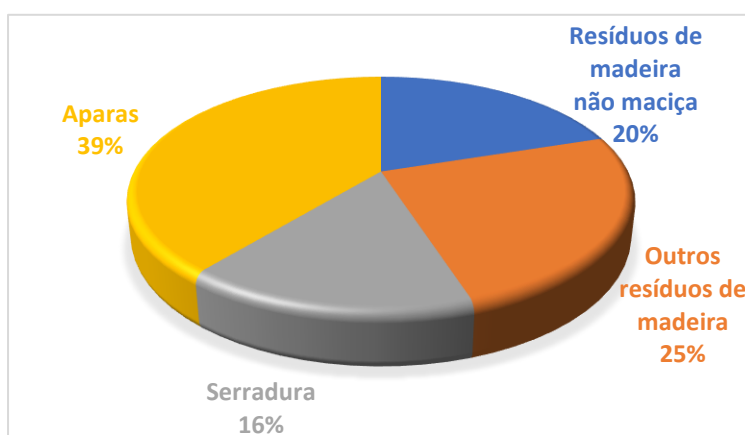


Gráfico 1 - Composição média dos resíduos de madeira produzidos a partir da fabricação de mobiliário [3].

Como se pode observar no gráfico 1, as aparas de madeira apresentam uma percentagem bastante significativa – 39%. Este será um dos materiais utilizados neste estudo.

2.1.2 Resíduos da indústria do papel

Tal como a maioria das outras superfícies de produção industrial, as fábricas produtoras de papel também têm planos de tratamento dos resíduos que produzem.

Há mais de 40 anos, que a DS Smith ajuda várias organizações na Europa a desperdiçar menos e reciclar mais. Esta é uma das principais recicladoras de papel e papelão do continente [4].

Os resíduos da indústria de pasta e papel são gerados em grandes quantidades e provêm de diversas fases de ciclo de produção. O destino destes resíduos, normalmente, é a agricultura (35%) e o aterro (29%), mas como as quantidades são bastante elevadas, há uma necessidade de encontrar outro destino que garanta o escoamento destas quantidades, sendo a construção civil uma boa hipótese [5].

Mais concretamente, o material utilizado neste estudo é a pasta kraft. O seu processo de produção é constituído por várias etapas, começando pela preparação da madeira e cozimento das aparas com a obtenção da pasta crua, seguindo-se a fase do branqueamento, e a transferência para a fábrica de papel, e inclui a recuperação de energia e químicos. O processo envolve ainda uma fase de produção de dióxido de carbono e o tratamento de efluentes [5].

Este processo de produção de pasta gera alguns resíduos como [5]:

- ✓ Rejeitos da crivagem da madeira;
- ✓ Resíduos da clarificação de licor verde e apagamento da cal (“dregs” e “grits”);
- ✓ Lamas do tratamento de efluentes;
- ✓ Cinzas;
- ✓ Areias do leito fluidizado;
- ✓ Casca de eucalipto.

Os resíduos rejeitados da crivagem da madeira foram os utilizados neste estudo experimental. Estes são produzidos no processo de transformação de madeira em pasta. Para além das fibras individualizadas resultam, ainda em pequena percentagem, aglomerados de fibras de maiores ou menores dimensões que têm de ser removidos por crivagem. Os rejeitos da crivagem são constituídos essencialmente por agregados de fibras, deformações da madeira e pedaços de madeira [5].

Mais especificamente, o resíduo utilizado resulta da operação dos equipamentos de crivagem de pasta crua.

2.2 Betão leve na construção

Tal como foi mencionado na introdução, o objetivo deste estudo passa pela análise ao comportamento de blocos feitos a partir de agregados leves, assemelhando-se, assim, ao já existente e bastante conhecido betão leve.

O betão leve é utilizado em edifícios há mais de 90 anos [6]. Este possui uma massa volúmica que varia entre 1440 a 1840 kg/m^3 em comparação com o betão de peso normal, cuja densidade varia entre 2240 a 2400 kg/m^3 . A mistura de betão é feita utilizando agregado grosso leve. Em relação ao agregado fino, este pode ser um produto leve na sua totalidade ou apenas uma proporção [6], [7].

A baixa densidade e a elevada capacidade de isolamento são as melhores e mais óbvias características do betão leve, ao contrário do betão normal.

O betão produzido com agregados leves já é conhecido desde os primeiros dias de Império Romano. Tanto o Coliseu como o panteão, em Roma, foram parcialmente construídos com materiais que podem ser caracterizados como agregados leves (lava triturada, tijolo triturado e pedra pomes) [8].

Nos EUA e Inglaterra, no final do século XIX, o clínquer foi usado na construção do Museu Britânico e em habitação de baixo custo. Foi, também, usado durante a Primeira Guerra Mundial na construção naval e produção de blocos de betão. Agregados como cinzas vulcânicas e pedra pomes de alto forno foram introduzidas em Inglaterra e na Suécia nos anos 30 [9].

Usando como exemplo o panteão de Roma (figura 6), que tem uma altura idêntica a um edifício de 15 pisos e consiste numa cúpula hemisférica com um diâmetro interno de 43 m, apoiada num cilindro com o mesmo diâmetro e a mesma altura. As misturas usadas na confeção do betão deram origem a betões com massas volúmicas que variam entre 1300 kg/m^3 no topo da cúpula, até 2200 kg/m^3 junto às fundações. O panteão foi uma estrutura construída com um vão três vezes maior do que alguma estrutura construída até à data [10].

O betão de agregados leves pode ter aplicação estrutural, de acordo com o American Concrete Institute (ACI), desde que apresente, aos 28 dias, uma resistência à compressão mínima de 17 MPa e uma densidade máxima de 1840 kg/m^3 [11].

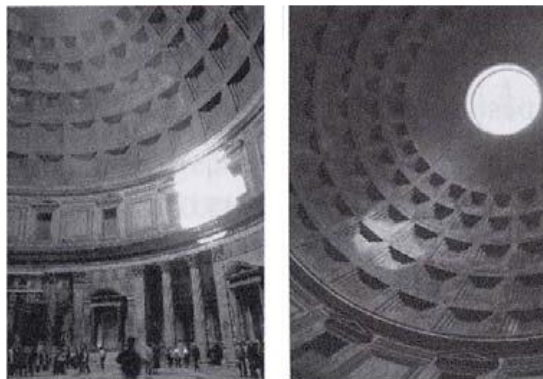


Figura 3 - Cúpula do panteão de Roma. Construída com betão de agregados leves [10].

Existem várias vantagens na utilização deste tipo de betões, como as características térmicas que apresentam, a elevada resistência ao fogo e a redução de carga que resulta em menor custo de mão de obra, transporte, cofragens, etc. (especialmente na indústria de construção de betão pré fabricado) [11].

Um outro exemplo de aplicação de betões de agregados leves é o tribunal regional e distrital em Frankfurt, na Alemanha (figura 7), que foi construído usando um betão leve de classe de resistência LC16/18 [12].



Figura 4 – Tribunal regional e distrital em Frankfurt, Alemanha. Construído com "LWC" [12].

O facto do peso deste tipo de betões ser inferior traz vantagens na construção de edifícios e pontes com vãos mais longos. Em comparação com o betão de peso normal, o betão leve tende a apresentar uma redução na resistência à tração e ao corte. Por outro lado, no que diz respeito a características de fluência e retração, o betão leve apresenta um comportamento mais favorável, visto que se trata de um material com menor rigidez. Esta diferença pode ser atribuída às características do agregado leve [11],[13].

Atualmente, a utilização de materiais residuais na indústria da construção civil tem vindo a aumentar. Estes são utilizados como agregado na produção de blocos e revelam propriedades mecânicas bastante elevadas.

2.3 Blocos com agregados leves existentes no mercado

Em Portugal, a utilização de blocos cerâmicos de furação horizontal com diferentes espessuras é a solução construtiva mais comum para paredes divisórias. Em sistemas de alvenaria estrutural podem ser aplicados blocos cerâmicos de furação vertical de espessura mais reduzida que as paredes resistentes. Outras soluções menos comuns são os blocos de betão celular autoclavado, como os blocos Ytong e Celcom (figura 3), em que este último é um dos tipos de betão leve com boas características estruturais, térmicas, acústicas e de resistência ao fogo. Estes são bastante utilizados na Grã-Bretanha desde 1950 [14].



Figura 5 - Blocos de betão celular autoclavado - Ytong e Celcom, respetivamente [14]

Outro material de construção em alvenaria é o “*timbercrete*” este é resultado da mistura de resíduos de madeira, cimento, areia, ligante e outros materiais. É um produto de construção sustentável usado para fabricar blocos, painéis e pavimentos a implementar em edifícios domésticos, industriais ou comerciais [15].

As principais características deste material são:

- ✓ Baixo impacte ambiental;
- ✓ Apresenta elevada trabalhabilidade;
- ✓ Elevado desempenho térmico e acústico (característica da madeira);
- ✓ Resistência ao fogo;
- ✓ Elevada durabilidade.



Figura 6 - Construção com "timbercrete" [15]

Trata-se, também, de um material visualmente agradável, devido aos seus tons claros associados ao arenito e ao calcário [15].

O uso de blocos de cânhamo é outra das soluções construtivas já existentes no mercado (figura 6), podem ser fabricados com diferentes dimensões e são utilizados tanto para soluções de paredes simples como de paredes duplas [16].

As principais vantagens da utilização deste tipo de blocos são [16]:

- ✓ A regulação natural da temperatura do edifício graças à sua excelente capacidade de difundir o calor acumulado, ou seja, tem a capacidade de proteger do frio no inverno, mantendo o calor no interior por mais tempo e protege do calor no verão, evitando elevadas temperaturas no interior. Devido a esta baixa condutibilidade térmica apresentada pelo material, a temperatura no interior não sofre grandes oscilações;
- ✓ Devido à sua elevada permeabilidade ao vapor de água, o bloco de cânhamo desempenha uma boa regulação de humidade no interior dos edifícios, estabilizando os valores de humidade relativa entre os 50 e os 55%;
- ✓ Elevado isolamento acústico devido à capacidade que este material apresenta de absorção de ondas sonoras;
- ✓ Resistência ao fogo;

- ✓ Trata-se de uma solução construtiva de desenvolvimento sustentável, é fabricado através de processos de baixo consumo energético e usando materiais naturais (calcário e cânhamo), produzidos no local.



Figura 7 - Blocos de cânhamo - ISOHEMP Natural Building [16]

2.3.1 Blocos com aparas de madeira

Os blocos produzidos a partir de compostos de madeira e usando o cimento como ligante já são utilizados na construção desde o início dos anos 60 [17]. Estes materiais apresentam valores de condutibilidade térmica próximos aos do poliestireno expandido e da lã de vidro, assim como vantagens em termos de isolamento acústico devido à sua capacidade de amortecer as ondas sonoras. Ainda neste contexto, os biomateriais constituem uma solução económica e tecnológica interessante, assim como apresentam vantagens a nível de disponibilidade em grandes quantidades e a nível ambiental [17].

Num estudo realizado por Taoukil et. al entre 2006 e 2010 [18] no laboratório energético da faculdade da Tetuan, Universidade Abdelmalek Essaadi, Marrocos, foi utilizado um cimento Portland CPJ35 com agregados de madeira provenientes de resíduos de serração. A mistura tem por base 2/3 de areia e 1/3 de cimento, e uma razão água cimento de 0,6. É realizada a mistura e introduzida em moldes (27x27x27cm). As amostras são preservadas num local com temperatura e humidade relativa constantes (T=20°, HR=60%).

Para medir a condutibilidade térmica, a amostra é colocada entre uma capacidade isotérmica fria e uma fonte de calor de fluxo constante e unidirecional. Quando o regime permanente é estabelecido, é calculada a condutibilidade térmica da amostra. O gráfico 2 representa a evolução da difusão térmica em função da quantidade de agregados de madeira [18].

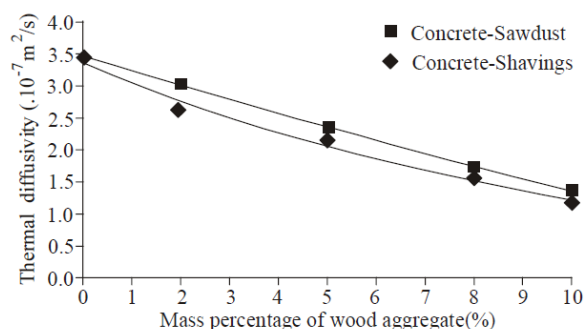


Gráfico 2 - Difusão térmica em função da quantidade de madeira existente [18]

Fazendo uma interpretação dos resultados deste estudo, quanto maior é a percentagem de agregados de madeira, menor é o valor da condutibilidade térmica, ou seja, mais isolante se torna o material.

Com o objetivo de fazer uma caracterização mecânica do betão que contém aparas de madeira como agregado, foi realizado um estudo por Li et al. (2017) [17] em que foi utilizado um cimento Portland CEM II/A-L 42.5 R, aparas de madeira provenientes de resíduos industriais e ainda uma pequena porção de areia de quartzo e água. As proporções de cada material utilizado na mistura são, respetivamente, 267.2, 330.4, 96.3 e 70.1 kg/m^3 .

Os ensaios de resistência à flexão foram realizados em deformação constante de 1 mm/min e os moldes utilizados têm dimensões de $(35 \times 76 \times 890) \text{ mm}$. Foi concluído que o material compósito à base de cimento e aparas de madeira, com uma densidade de, aproximadamente, 765 kg/m^3 , apresenta uma resistência à flexão de $2,5 \text{ MPa}$ [17].

Em relação aos ensaios de resistência à compressão, foram utilizados moldes cúbicos com dimensões de $(35 \times 35 \times 35) \text{ mm}$. E foram obtidas resistências na ordem dos $5,3 \text{ MPa}$ [17].

Analisando, agora, um estudo em que foi utilizado o farelo da madeira, conhecido como serrim. Os materiais utilizados foram cimento Portland, brita, agregados finos e água e as respetivas proporções de 1, 2.78, 1.60 e 0.45 [19].

Os moldes utilizados têm dimensões $(150 \times 150 \times 150) \text{ mm}$. Foram realizados ensaios de compressão aos provetes com tempos de cura de 7 e 28 dias. As percentagens de serrim adicionadas à mistura são de 0, 5, 10 e 15% e os valores dos ensaios de resistência à compressão foram, respetivamente, de 9.67, 11.08, 10.98 e 7.88 Mpa para os 7 dias de cura. Em relação ao período de cura de 28 dias os valores obtidos foram consideravelmente mais elevados, 25.41, 24.20, 23.75 e 17.54 Mpa . Apresentando um decréscimo do valor de resistência quanto maior é a percentagem de serrim adicionada à mistura [19].

O estudo apresentado de seguida, foi realizado por Dadzie et al. (2018) [20] com o objetivo de comparar as propriedades dos blocos de areia que já são utilizados na construção com os blocos cuja areia será, parcialmente, substituída por serrim.

Foi utilizado um cimento Portland, agregados finos (areia), e serrim proveniente de resíduos industriais. Os blocos, produzidos em laboratório, têm dimensões $(100 \times 100 \times 100) \text{ mm}^3$ e as proporções utilizadas foram 1:6 (um de cimento para seis de areia), com uma constante razão água cimento de 0.5. As percentagens de serrim variam entre 0% e 40%, e as respetivas densidades, aproximadamente, entre 1849 e 1585 kg/m^3 , sendo que quanto mais baixa é a percentagem de serrim utilizada, maior é o valor da densidade da amostra.

Os valores de resistência à compressão obtidos foram de 3.00, 3.04, 2.54, 1.97 e 0.98 MPa respetivamente às percentagens de serrim utilizadas de 0, 10, 20, 30 e 40%. Assim como no ensaio de absorção de água no qual foram obtidos valores de 7.95, 8.16, 8.74, 9.62, 11.27%. Concluindo que quanto maior é a quantidade de serrim utilizada, mais absorvente se torna o material.

Analisando, agora, um estudo realizado por Memon et al. (2017) [21] para caracterizar as propriedades mecânicas da adição de serrim em dimensões inferiores, ou seja, em forma de pó (figura 8), em que foi utilizado como ingrediente base um cimento Portland, ao qual foi adicionado água e areia de praia. Foram preparadas várias misturas com razões cimento: serrim de 1:1, 1:2, 1:3 e com razões água cimento de 0.65, 1.00 e 1.40, respetivamente e a quantidade de areia é de 1 em todas as misturas. Os provetes, com dimensões $(100 \times 100 \times 100) \text{ mm}^3$, foram submetidos a ensaios de compressão aos 7, 28, e 56 dias, cujas resistências deram na ordem dos 12, 15 e 20 MPa, respetivamente para uma razão cimento serrim de 1:1, água cimento de 0.65 e uma porção de areia. No que diz respeito aos ensaios de resistência à flexão, os provetes usados têm dimensões de $(100 \times 100 \times 500) \text{ mm}^3$ e para a mesma composição foram obtidas resistências de 3, 4 e 6 MPa para tempos de cura de 7, 28, e 56 dias, respetivamente.



Figura 8 - Material utilizado como agregado - serrim [21]

Na tabela 1 está apresentada uma comparação de resultados dos estudos em cima referidos, sintetizando a informação realmente importante e facilitando uma análise de resultados.

Tabela 1 - Estudos realizados a blocos feitos a partir de resíduos de madeira.

| Estudo; Nome do autor(es); data | Materiais usados (tipo de resíduo e ligante) | Resistência à compressão (MPa) | Resistência à flexão (MPa) | Absorção de água (%) | Difusão térmica ($\cdot 10^{-7}m^2/s$) |
|--|--|---|----------------------------|----------------------|--|
| Propriedades térmicas do betão leve com agregados de madeira; D. Taoukil, A. El-bourdi e H. Ezbakhe et al.; 2006-2010 | Areia Cimento Água Agregados de madeira | – | – | – | 1.0 – 3.5 |
| Caracterização mecânica do betão; M. Li, M. Khelifa, M. El Ganaoui, M.; 2017 | Areia de quartzo Cimento Aparas de madeira Água | 5.3 | 2.5 | – | – |
| Estudo experimental da resistência do betão quando é substituído parcialmente o agregado fino por serrim; C. Engineering; 2018 | Brita Cimento Serrim Água | 7.88 – 11.08 (7 dias de cura) e 17.54 – 25.41 (28 dias de cura) | – | – | – |

| Estudo; Nome do autor(es); data | Materiais usados (tipo de residuo e ligante) | Resistência à compressão (MPa) | Resistência à flexão (MPa) | Absorção de água (%) | Difusão térmica ($\cdot 10^{-7} m^2/s$) |
|--|--|---|--|----------------------|---|
| Estudo comparativo das propriedades de blocos de areia substituindo parcialmente a areia por serrim; Donald Kwabena, George Okyere Dokyi e Nicholas Niakoh; 2018 | Areia Cimento Serrim Água | 0.98 – 3.04 | – | 7.95 – 11.27 | – |
| Propriedades térmicas e mecânicas do betão produzido com serrim como agregado; R. Memon, A. Rahman e M. Sam et al.; 2017 | Areia Cimento Serrim Água | 12 (7 dias) 15 (28 dias) 20 (56 dias) | 3 (7 dias) 4 (28 dias) 6 (56 dias) | – | – |

Pode concluir-se que é possível obter resultados bastante favoráveis, tanto ao nível da resistência mecânica como da absorção de água, tornando este material compósito uma solução alternativa e sustentável para implementação em obra.

Tal como esperado, em relação ao comportamento térmico, a madeira é um material altamente favorável, devido à sua baixa condutibilidade, tornando o elemento construtivo mais eficiente termicamente.

2.3.2 Blocos com aparas de cânhamo

As fibras de cânhamo industrial, *cannabis sativa L*, têm um índice de substância psicotrópica ou THC quase nulo. Este é cultivado para a extração das fibras exteriores da planta pela elevada flexibilidade e resistência que apresentam. Após a remoção dessas fibras sobra o caule que se assemelha a pequenas aparas de madeira, mas com maior leveza e absorção. Também o óleo de cânhamo resultante das sementes desta planta é utilizado no fabrico de produtos de construção como tintas e vernizes, devido às suas propriedades impermeabilizantes [22].

Na tabela 2 são apresentados os principais constituintes do cânhamo.

Tabela 2 - Principais constituintes do cânhamo [22]

| Matéria constituinte | % |
|----------------------|-------|
| Água | 10 |
| Celulose | 45-52 |
| Hemicelulose | 15-20 |
| Lenhina | 20-30 |
| Cinzas | 4-5 |

O betão de cânhamo (mistura de agregados de madeira de caule de cânhamo com um ligante mineral) está entre os materiais mais utilizados na UE [23].

A construção em cânhamo é realizada de diversas formas como por exemplo, fazendo a substituição da parede convencional em tijolo, seja interior ou exterior, incluindo isolamento térmico, acústico e revestimentos. Pode ser aplicada *in situ* com cofragem que permita compactação por camadas ou por utilização de blocos pré fabricados [22].

O que diferencia este tipo de construção em relação à construção convencional, além de ser de origem biológica e de caráter ecológico, é a capacidade de permitir a respiração natural do edifício evitando, assim, condensações no interior. Apresenta, também, elevado isolamento térmico e acústico, devido à porosidade do material e elevada, resistência ao fogo e a bactérias, fungos e insetos [22].

Os blocos de cânhamo são, normalmente, produzidos usando a cal como ligante. Este pode ser à base de cal aérea (hidróxido de cálcio) (viva ou hidratada) ou cal hidráulica natural, misturada com cimento Portland ou outro material pozolânico como escória granulada de alto forno ou cinza volante. Com a proporção correta de cada material, estes blocos podem ser aplicados em diferentes soluções construtivas, para isolamento de coberturas, paredes ou lajes térreas [24].

Analisando um exemplo de aplicação deste material em ambientes com características climáticas distintas. Uma construção feita na Nova Zelândia (figura 9 à esquerda) e outra na República Checa (figura 9 à direita). Em ambos os países é permitido o cultivo de cânhamo industrial [25].



Figura 9 - Edifício na Nova Zelândia e na República Checa, respetivamente [25]

Ambas as construções tinham estruturas relativamente simples. A mistura de cânhamo, cal e água utilizada tinha uma proporção de, aproximadamente, 4:1:1. Esta proporção varia de acordo com a aplicação a que se destina. Tanto na República Checa como na Nova Zelândia o desempenho do cânhamo apresentou resultados positivos, sem necessidade de manutenções inesperadas, concluindo que se trata de um material de fácil adaptação em variados climas e de fácil produção local, reduzindo o processo de transporte e, conseqüentemente, o impacto ambiental [25].

Em comparação com os materiais de construção convencionais, os blocos de cal e cânhamo apresentam baixa resistência mecânica (entre 0.2 e 1.0 MPa) [24].

A resistência à compressão é uma das propriedades mais importantes dos materiais de construção, ou seja, o valor correspondente à resistência de um material sem que haja alteração das suas características mecânicas quando as cargas são aplicadas. Apesar de o ligante mais utilizado neste tipo de material ser a cal, verifica-se um acréscimo do valor da resistência quando é adicionado cimento à mistura.

Devido ao baixo módulo de Young e baixa resistência à compressão, o betão de cânhamo não pode ser utilizado estruturalmente [26]. Além da composição do ligante, observou-se que a resistência à compressão do betão de cânhamo pode ser significativamente aumentada recorrendo a uma técnica de compactação. Este processo não melhora apenas a resistência mecânica do material usando um menor teor de ligante (que é o principal componente de impacte ambiental), como também aumenta a sua capacidade de resistir à deformação antes da falha. Foi então estabelecida uma relação entre densidade, resistência à compressão e compactação. Uma mistura com maior densidade, ou seja, com um alto nível de compactação, dotada de uma maior resistência (gráfico 3) [26],[27].

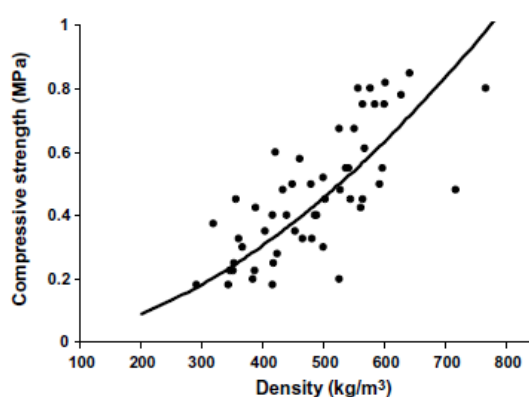


Gráfico 3 - Variação da resistência à compressão em função da densidade [26]

Foi realizado um estudo experimental por L. Arnaud et. Al (2012) [28] de forma a caracterizar as propriedades mecânicas do betão de cânhamo. A mistura é apenas constituída por cal hidratada, aparas de cânhamo e água numa proporção aproximada de 1:2:1, respetivamente. Os provetes cilíndricos realizados têm 160mm de diâmetro e 320mm de altura e uma massa volúmica de 460 kg/m^3 . Após 28 dias de cura em temperatura e humidade relativa constantes, foram realizados ensaios de compressão. Os resultados apresentam resistências muito baixas, na ordem dos 0.18 MPa.

De forma a tentar alcançar resistências mais elevadas, os provetes com as mesmas características e proporções foram submetidos a períodos de cura mais alargados (3 meses, 6 meses, 15 meses e 24 meses). Obtendo, para estes períodos, valores de resistência à compressão entre 0.6 e 1 MPa [28].

A resistência à flexão é outra propriedade mecânica importante de um material de construção. Há fábricas a produzir este tipo de blocos e a comercializá-los mesmo que estes apresentem valores de resistência na ordem dos 0.3 e 0.4 MPa [26].

Visto que as resistências são bastante baixas, foi estudado o comportamento mecânico e desenvolvimento da resistência à flexão de diferentes compostos de cânhamo por um período que 90

dias. Os compósitos foram feitos utilizando um ligante comercial com adições hidráulicas e pozolânicas em diferentes proporções. Verificou-se um aumento da resistência diretamente proporcional ao aumento de ligante com adições [26]. Após algumas pesquisas verificou-se que, inicialmente, a matriz suporta a carga, mas após a ocorrência do primeiro dano macroscópico, a carga é transferida para as interfaces matriz-fibra, provocando uma diminuição da rigidez, ou seja, a falha ocorre progressivamente e apresenta um comportamento mais dúctil. Além disso, foi estabelecida uma relação entre o aumento da densidade e o aumento da resistência à flexão [26].

Em relação ao comportamento térmico dos materiais à base de cânhamo, pode ser caracterizado através da densidade e condutibilidade dos mesmos. As composições que apresentam valores de densidade mais baixos, terão valores de condutibilidade térmica mais baixos, logo o desempenho térmico da amostra será, conseqüentemente, maior.

Num estudo realizado por S. Elfordy, et. Al [27] com o objetivo de caracterizar as propriedades térmicas, foram fabricados blocos de cânhamo e cal com proporções de 65% e 35% em peso, respectivamente. Os provetes cúbicos utilizados têm 50 mm de lado e foram submetidos a 30 dias de cura. Os provetes apresentaram densidades de 417, 475, 496 e 551 kg/m^3 e valores de condutibilidade térmica de 0.179, 0.421, 0.542 e 0.485 (W/m/K), respectivamente.

Podemos concluir que a condutibilidade térmica é diretamente proporcional à densidade do material, ou seja, quanto menor for a densidade, melhor isolamento térmico apresenta.

Na tabela 3 resumem-se os estudos que foram identificados na análise do estado da arte relativa aos blocos feitos a partir de cânhamo industrial.

Tabela 3 - Estudos realizados a blocos feitos a partir de cânhamo industrial.

| Estudo; Nome do autor(es); data | Materiais usados (tipo de resíduo e ligante) | Resistência à compressão (Mpa) | Resistência à flexão (Mpa) | Absorção de água (%) | Condutibilidade térmica (W/m/K) |
|--|--|--|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Estudo experimental dos parâmetros que influenciam as propriedades mecânicas do betão de cânhamo; L. Arnaud e E. Gourlay; 2012 | Cal hidratada Aparas de cânhamo Água | 0.18 (28 dias) 0.6 – 1 (3 – 24 meses) | 0.3 – 0.4 (28 dias) | – | – |
| Propriedades mecânicas e térmicas do betão de cânhamo e cal; S. Elfordy, F. Lucas e F. Tancret; 2008 | Cal Cânhamo Água | – | – | – | 0.179 – 0.542 |

2.3.3 Blocos com resíduos de papel

O betão à base de resíduos de papel, mais conhecido por papercrete é um material de construção recentemente explorado que consiste na mistura entre fibras de papel, água, um ligante, que normalmente é cimento, e, eventualmente, algum tipo de agregado arenoso. Trata-se de um material sustentável, com grande disponibilidade e trabalhabilidade. Apresenta, também, excelentes propriedades tanto a nível térmico como acústico [29]

De forma a caracterizar as propriedades mecânicas do papercrete, foi estudado o uso de resíduos de papel como material adicional numa mistura de betão. Foi utilizado um cimento Portland, areia fina, areia grossa, resíduos de papel provenientes de escolas, escritórios e bibliotecas e, por fim, água. As proporções, em peso, foram [1:1.9:2.5] cimento: agregado fino: agregado grosso e uma razão água cimento de 0.35. Em relação ao resíduo de papel, este foi adicionado em diferentes proporções, de 0%,

5%, 10%, 15% e 20% em relação à massa de cimento e foi calculada a densidade inicial das misturas logo após a sua realização. As massas volúmicas obtidas foram de 2445, 2469, 2203, 2183, 2135 kg/m^3 , respectivamente [29].

Foram realizados ensaios de resistência à compressão, tração e flexão para diferentes períodos de cura, assim como ensaios de absorção de água aos diferentes provetes com diferentes proporções de papel usadas. Nas tabelas 4 e 5 encontram-se os resultados obtidos nos vários ensaios [29],[30].

Tabela 4 - Resultado dos ensaios de absorção de água e resistência à compressão [29] e [30].

| Mistura | Massa volúmica após cura (kg/m^3) | Absorção de água (%) | Resistência à compressão (MPa) | | |
|---------|--|----------------------|--------------------------------|---------|---------|
| | | | 7 dias | 28 dias | 56 dias |
| R | 2140 | 6.3 | 32.6 | 39.7 | 48.7 |
| M5 | 2159 | 5.9 | 33.2 | 42.1 | 49.9 |
| M10 | 2015 | 8.4 | 21.7 | 31.4 | 37.3 |
| M15 | 1989 | 12.4 | 17.4 | 22.2 | 26.9 |
| M20 | 1894 | 14.6 | 11.3 | 16.8 | 21.2 |

Tabela 5 - Resultado dos ensaios de resistência à flexão e condutibilidade térmica [29] e [30].

| Mistura | Resistência à flexão (MPa) | | | Condutibilidade térmica (W/m/K) (56 dias) |
|---------|----------------------------|---------|---------|--|
| | 7 dias | 28 dias | 56 dias | |
| R | 4.4 | 5.5 | 5.8 | 1.13 |
| M5 | 4.3 | 5.4 | 5.7 | 1.21 |
| M10 | 3.4 | 4.4 | 4.8 | 1.08 |
| M15 | 3.2 | 4.1 | 4.3 | 0.92 |
| M20 | 2.4 | 3.4 | 3.6 | 0.79 |

Fazendo uma análise de resultados, conclui-se que a resistência mecânica à compressão, flexão e tração para as misturas (10, 15 e 25%) diminuem com o aumento da quantidade de papel utilizada, enquanto que a mistura com 5% deste resíduo apresenta valores mais elevados de resistências quando comparada com a mistura de referencia (R) [29].

O papel apresenta valores de condutividade térmica bastante inferiores aos apresentados pela composição de referencia. Esta situação faz com que este material compósito designado por papercrete apresente um comportamento muito favorável no que toca a questões de isolamento térmico [31]

No entanto, é possível realizar betão com papel mais leve, tal como no estudo de Y. Shermale et. al [32], em que foram realizados blocos cúbicos com 100 mm de lado em três diferentes proporções de cimento e resíduo de papel. Os ensaios, de forma a caracterizar estas composições, foram realizados aos 28 dias de cura do material e os resultados de resistência à compressão foram de 1.9, 2.3 e 2.5 MPa para densidades de 433, 614 e 793 kg/m³, respetivamente.

Analisando os valores obtidos neste ensaio, conclui-se que o valor da resistência à compressão aumenta proporcionalmente à densidade, ou seja, à quantidade de cimento.

Na tabela 6 resumem-se os estudos que foram identificados na análise do estado da arte relativa aos blocos feitos a partir de resíduos de papel.

Tabela 6 - estudos realizados a blocos feitos a partir de resíduos de papel.

| Estudo; Nome do autor(es); data | Materiais usados (tipo de resíduo e ligante) | Resistência à compressão (MPa) | Resistência à flexão (MPa) | Absorção de água (%) | Condutibilidade térmica (W/m/K) |
|---|--|--------------------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Propriedades mecânicas do “papercrete”; H. Zaki, I. Gorgis e S. Salih; 2018. Propriedades do “papercrete”; Zaki, I. Gorgis e S. Salih; 2017. | Cimento | 11.3 – 33.2 (7 dias) | 2.4 – 4.4 (7 dias) | 6.3 – 14.6 | 0.79 – 1.13 |
| | Areia fina | 16.8 – 42.1 (28 dias) | 3.4 – 5.5 (28 dias) | | |
| | Areia grossa | | 21.2 – 49.9 (56 dias) | | |
| | Fibras de papel | 3.6 – 5.8 (56 dias) | | | |
| Propriedades do “papercrete”: Material de construção; Y. Shermale e M. Varma; 2017 | Cimento | 1.9 – 2.5 | – | – | – |
| | Resíduo de papel | | | | |
| | Água | | | | |

2.3.4 Benefícios térmicos e acústicos deste tipo de blocos

De forma a fazer uma caracterização térmica mais aprofundada deste tipo de blocos, foi recolhida informação acerca do comportamento de blocos leves feitos a partir de cânhamo.

A cadeia produtiva de cânhamo foi reativada para diversos tipos de utilização, designadamente a bioconstrução. As fibras deste material são usadas tanto para efeitos de isolamento como para reforço para gesso ou outros materiais pré-fabricados. Está provado que estas fibras têm ótimo desempenho térmico, pois são aplicadas em soluções de isolamento térmico e em construção com elevada inércia térmica. Para além das características já mencionadas, este material confere à solução construtiva outras vantagens em termos de qualidade do meio ambiente como, por exemplo, a respirabilidade das paredes [33].

Focando no comportamento termo-higrométrico do betão de cânhamo, uma parede de 1 m^2 foi submetida a ensaios em câmara climática (figura 10). Foram realizados dois ciclos a temperaturas constantes, 23° C e 35° C, respetivamente [33].



Figura 10 - Aplicação da parede de betão de cânhamo na câmara climática [33].

A transmissão térmica, considerando um intervalo de tempo de sete dias, foi de $0.21 \text{ W/m}^2\text{K}$ [33].

Foi realizado um outro estudo com base num levantamento termográfico a duas casas com soluções construtivas distintas, uma em alvenaria (figura 11) e outra com blocos de cânhamo (figura 12). Este levantamento, para ser realizado, necessita de condições básicas específicas, como a diferença térmica de 14°C entre o interior e o exterior. Por norma, este tipo de ensaio é realizado no inverno para que seja possível atingir esta diferença térmica [34].

O uso da termografia infravermelha como uma técnica de avaliação não destrutiva, tem como principal objetivo detetar características superficiais como defeitos e anomalias que não podem ser detetados usando técnicas de inspeção padrão. O princípio que sustenta esta técnica é baseado na propagação espacial de um fluxo de calor numa superfície em relação ao tempo e a sua difusão térmica é influenciada pela presença de defeitos internos. Estas anomalias são representadas na imagem de infravermelhos [34].

O objetivo principal desta pesquisa foi capturar imagens termográficas das várias frentes das casas e detetar as perdas de calor significativas através das paredes e das janelas [34].



Figura 11 - Casa em alvenaria [34].



Figura 12 - Casa em cânhamo [34].



Figura 13 - Imagem termográfica da casa em alvenaria com escala de temperatura [34].



Figura 14 - Imagem termográfica da casa em cânhamo com escala de temperatura [34].

Os resultados da pesquisa termográfica indicam que houve perda significativa de calor através das janelas e das paredes da casa em alvenaria em comparação com o ocorrido na casa em cânhamo. Fazendo uma comparação dos resultados obtidos no levantamento das diferentes casas, notou-se que a temperatura das paredes exteriores da casa em alvenaria é ligeiramente mais elevada do que as paredes da casa em cânhamo. Foi também medido o consumo de gás e eletricidade de cada casa e concluiu-se que a casa em alvenaria usou mais energia do que a casa em cânhamo [34].

Pode então concluir-se que o cânhamo apresenta um comportamento favorável no que toca ao isolamento térmico.

2.3.5 Análise comparativa aos materiais e ensaios estudados no estado da arte

As diferenças entre as várias misturas e materiais que as constituem são notáveis. Na tabela 7 apresentam-se, de forma resumida, os valores dos resultados que cada compósito apresenta quando sujeitos aos diferentes ensaios.

Tabela 7 - Resultados dos diferentes materiais aos diversos ensaios.

| Materiais | Resist. à compressão (MPa) | Resist. à flexão (MPa) | Absorção de água (%) | Difusão/Condutibilidade térmica |
|------------------|----------------------------|------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Madeira (serrim) | 0,98 – 25,41 | 2,5 - 6 | 7,95 – 11,27 | 1 – 3,5 |
| Cânhamo | 0,18 - 1 | 0,3 – 0,4 | 40 - 70 | 0,179 – 0,542 |
| Papel | 1,9 – 49,9 | 2,4 – 5,8 | 6,3 – 14,6 | 0,79 – 1,13 |

Os valores de resistência mecânica podem variar bastante ao longo do tempo. Pode-se observar que o mesmo material compósito apresenta valores de resistência à compressão bastante baixos para períodos

de cura curtos e valores mais elevados para períodos de cura mais alargados. Talvez porque as fibras naturais absorvem bastante água e demoram muito tempo a secar, o que atrasa o endurecimento dos compósitos.

Comparando os três materiais entre si (madeira, cânhamo e papel), é possível concluir que o compósito que tem papel na sua constituição apresenta valores de resistência mecânica mais elevados, ao contrário de que acontece com o cânhamo, que apresenta resistências bastante baixas.

Por outro lado, pode concluir-se que o cânhamo supera as características térmicas em relação ao papel e à madeira, visto que apresenta valores de condutibilidade térmica baixos. Isto faz com que seja um material com características de isolamento térmico muito favoráveis.

Em relação à absorção de água, tanto a madeira como o papel apresentam resultados semelhantes e bastante favoráveis. A pequena percentagem de água absorvida deve-se ao facto da existência de vazios que é uma característica muito comum nos blocos de agregados leves, como é o caso. Dados relativos à absorção de água em blocos de cânhamo não foram encontrados nestes estudos.

3. Materiais utilizados

3.1 Ligantes

O ligante é um material capaz de aglomerar uma porção de materiais conferindo-lhes coesão que, quando misturado com água, forma uma pasta que faz presa e endurece, garantindo assim resistência mecânica à composição, influenciando as qualidades e o desempenho da mesma. Os ligantes utilizados neste estudo foram: O cimento, a cal aérea e a cal hidráulica.

3.1.1 Cal

Um dos ligantes artificiais mais antigos é o ligante que resulta da cozedura dos calcários ($CaCO_3$). Associado a este, existe a argila em diferentes quantidades, pois a precipitação do carbonato de cálcio em águas de grande tranquilidade arrasta consigo a argila que porventura esteja em suspensão. Quando a argila é em quantidades inferiores, obtém-se o calcário margoso - $CaCO_3 + argila (< 50\%)$. Quando a argila é em quantidades superiores obtém-se a marga calcária - $argila + CaCO_3 (< 50\%)$. A cozedura do calcário puro origina o óxido de cálcio, que constitui a cal aérea; por outro lado, a cozedura do calcário margoso dá origem à cal mais ou menos hidráulica, conforme o teor de argila [35].

$CaCO_3$ com impurezas até 5% (850°) Cal viva – Cal aérea

$CaCO_3 + argila (8 – 20\%)$ (1000°) Cal \pm hidráulica

Quanto ao teor de impurezas, as cals aéreas dividem-se em gordas e magras. Enquanto que as primeiras derivam de calcários quase puros, são facilmente trabalháveis, bastante macias e de cor branca, as segundas derivam de calcários com teores de argila e outras impurezas, tornando-se menos trabalháveis e menos macias e de cor mais acinzentada [35].

Associado ao calcário está, também, o magnésio. Surgindo calcários com maior ou menor percentagem de dolomite ($MgCO_3$). Assim, a cal aérea pode ser cálcica (CL) quando maioritariamente constituída por óxido de cálcio ou dolomítica (DL) quando constituída sobretudo por óxido de cálcio e óxido de magnésio [35].

O endurecimento da cal aérea dá-se em duas fases, a primeira é uma presa inicial em que ocorre a evaporação da humidade em excesso; na segunda ocorre uma recarbonatação, ou seja, uma reação química lenta, ao ar [36].

A cal aérea utilizada neste estudo foi a Lusical H 100, é uma cal de construção utilizada como ligante, individual ou incorporada nas misturas formuladas [37].

É aplicada principalmente em rebocos, e de uma forma geral na construção civil.

Características físicas e químicas:

- ✓ A granulometria na Lusical H100 otimiza a eficiência do produto acabado;
- ✓ A sua brancura garante uma qualidade constante dos rebocos;
- ✓ O seu elevado teor de hidróxido de cálcio dá ao reboco a trabalhabilidade e garante a permeabilidade do ar.

Tabela 8 - Características da cal aérea utilizada (Lusical H100) [38].

| | |
|-------------------------|--------------|
| Teor em água livre | $\leq 1\%$ |
| Estabilidade (expansão) | $\leq 0.2\%$ |
| Teor em $Ca(OH)_2$ | $\geq 93\%$ |
| Teor em MgO | $\leq 3\%$ |

A cal hidráulica é constituída por silicatos ($SiO_2 \cdot 2CaO$), aluminatos de cálcio ($Al_2O_3 \cdot CaO$) e óxido de cálcio (CaO). Enquanto que os primeiros endurecem na água ou ao ar, o último endurece por carbonatação [35].

Em relação ao seu fabrico é realizado através de fornos compreende três fases:

- ✓ 500° a 700°C ocorre a desidratação da argila;
- ✓ 850°C ocorre a decomposição do calcário;
- ✓ 1000 a 1100°C a sílica e alumina da argila reagem com o óxido de cálcio, originando silicatos e aluminatos.

Repare-se que quanto mais elevada for a temperatura de cozedura e maior for a percentagem de argila, mais completa é a reação [35], [36].

A cal hidráulica utilizada neste estudo para a realização do material compósito foi a NHL 5 – Cal Hidráulica natural. É um ligante constituído por silicatos, aluminatos de cálcio e hidróxido de cálcio, obtida por cozedura de calcário margoso, seguida de moagem [38].

A tabela 8 mostra as principais características químicas e físicas do produto.

Tabela 9 - Características da cal hidráulica utilizada (NHL 5) [37].

| Características químicas | Valor | Norma |
|------------------------------------|--|----------|
| Cal disponível $Ca(OH)_2$ | $\geq 15.0\%$ | EN 459-1 |
| Sulfato | $\leq 2.0\%$ | EN 459-1 |
| Características físicas | Valor | Norma |
| Cor | Beje | - |
| Água livre | $\leq 2.0\%$ | EN 459-1 |
| Baridade | $0.65 \pm 0.05 \text{ kg/dm}^3$ | - |
| Densidade | 2.7 g/cm^3 | - |
| Finura | $90 \mu\text{m} \leq 15.0\%$ $200 \mu\text{m} \leq 2.0\%$ | EN 459-1 |
| Expansibilidade | $\leq 2.0 \text{ mm}$ | |
| Penetração | $>10 \text{ mm e } <50 \text{ mm}$ | |
| Teor de ar | $\leq 5.0\%$ | |
| Início de presa | $> 1 \text{ h}$ | |
| Fim de presa | $\leq 15\text{h}$ | |
| Características mecânicas | Valor | Norma |
| Resistência à compressão (28 dias) | $\geq 5.0 \text{ e } \leq 15 \text{ MPa}$ | EN 459-1 |

Este ligante apresenta uma resistência à compressão máxima aos 90 dias [38].

3.1.2 Cimento

O processo de fabrico do cimento envolve a extração de materiais provenientes de uma pedreira, os quais devem conter, em determinadas proporções, cálcio, sílica, ferro e alumina [39].

O cimento utilizado neste estudo experimental é o cimento Portland de Calcário CEM II/B-L 32.5N, visto que é o mais utilizado na construção civil. Apresenta uma excelente trabalhabilidade e baixo calor de hidratação, tem cor cinzenta e um desenvolvimento de resistências mais lento [40].

Características químicas

Tabela 10 - Características químicas do cimento utilizado (CEM II/B-L 32.5N) [40].

| Propriedades | Método de ensaio | Valor especificado |
|----------------------------|------------------|--------------------|
| Teor de sulfatos em SO_3 | NP EN 196-2 | $\leq 3.5\%$ |
| Teor de Cloretos | NP EN 196-21 | $\leq 0.10\%$ |

Características Mecânicas

Tabela 11 - Características mecânicas do cimento utilizado (CEM II/B-L 32.5N) [40].

| Resistência à compressão (MPa) NP EN 196-1 | | |
|--|-----------|---------------------------|
| Resistência aos primeiros dias | | Resistência de referência |
| 2 dias | 7 dias | 28 dias |
| - | ≥ 16 | ≥ 32.5 e ≥ 52.5 |

3.2 Fibras

3.2.1 Aparas de madeira

As aparas de madeira utilizadas são provenientes de uma fábrica produtora de móveis e as fibras usadas na preparação de provetes e blocos são provenientes dos resíduos produzidos pela fábrica na fase de corte das madeiras.

Para o fabrico dos móveis, esta fábrica utiliza vários tipos de madeiras. Visto que as aparas utilizadas neste estudo (figura 15) são provenientes de resíduos produzidos na fase de corte das madeiras, resulta uma mistura dos vários tipos, que são maioritariamente constituídas por:

- Castanho;
- Carvalho;
- Nogueira;
- Cerejeira.



Figura 15 - Aparas de madeira utilizadas no compósito.

De forma a realizar uma caracterização deste material a nível das suas dimensões, o método mais adequado será a análise granulométrica – método de peneiração.

Este método consiste na separação, através de um conjunto de peneiros, de um material em diversas classes granulométricas de granulometria decrescente. A massa de material retida nos diversos peneiros é relacionada com a massa inicial do material. Os peneiros utilizados são os especificados na EN 933-2 e em conformidade com a ISSO 3310-1 e ISO3310-2. Relativamente à preparação do material e procedimento de ensaio, primeiramente é feita a secagem a uma temperatura de (110 ± 5) °C até alcançar massa constante, deixar arrefecer e pesar. De seguida, despejar o material na coluna de peneiros dispostos de cima para baixo por ordem decrescente da dimensão das aberturas, agitar a coluna de peneiros, evitando perda de material e, por fim, pesar o material retido em cada peneiro. Para os cálculos e expressão de resultados, é utilizada a fórmula: [41], [42].

$$f = \frac{M_1 - M_2 \times P}{M_1} \times 100$$

1

Onde:

M_1 é a massa seca do material de ensaio, em quilogramas;

M_2 é a massa seca do material com granulometria superior a 63 μm , em quilogramas;

P é a massa do material peneirado retido no recipiente do fundo, em quilogramas.

ENSAIO:

1º) É pesada a quantidade de material que será utilizada no ensaio, recorrendo a uma balança de precisão. A massa seca total é de 70,648 g, como se pode observar na figura 16.



Figura 16 - Pesagem do material utilizado no ensaio de peneiração.

2º) É colocado o material na coluna de peneiros que será submetida à máquina de peneiração durante cerca de 20 minutos (figura 18).



Figura 17 - Coluna de peneiros utilizada no ensaio de peneiração.

3º) Por fim, é feita a peneiração manual e individualmente a cada peneiro, registando a massa que fica retida em cada um.

3.2.1.1 Resultados

Como se pode observar na figura 18, a maior parte do material fica retido no peneiro com granulometria igual a quatro milímetros.



Figura 18 - Separação do material acumulado em cada peneiro.

De seguida serão apresentados os resultados graficamente.

Tabela 12 - Resultados do ensaio granulométrico.

| Massa total (g) | 70.648 | | | | | | | |
|----------------------------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| Abertura dos peneiros (mm) | resto | 0.125 | 0.25 | 0.5 | 1 | 2 | 4 | 8 |
| Massa (g) | 0.650 | 0.970 | 1.770 | 2.943 | 7.642 | 16.696 | 36.109 | 3.795 |
| % Cumulativa retida | 0.920 | 1.373 | 2.505 | 4.166 | 10.817 | 23.633 | 51.111 | 5.372 |

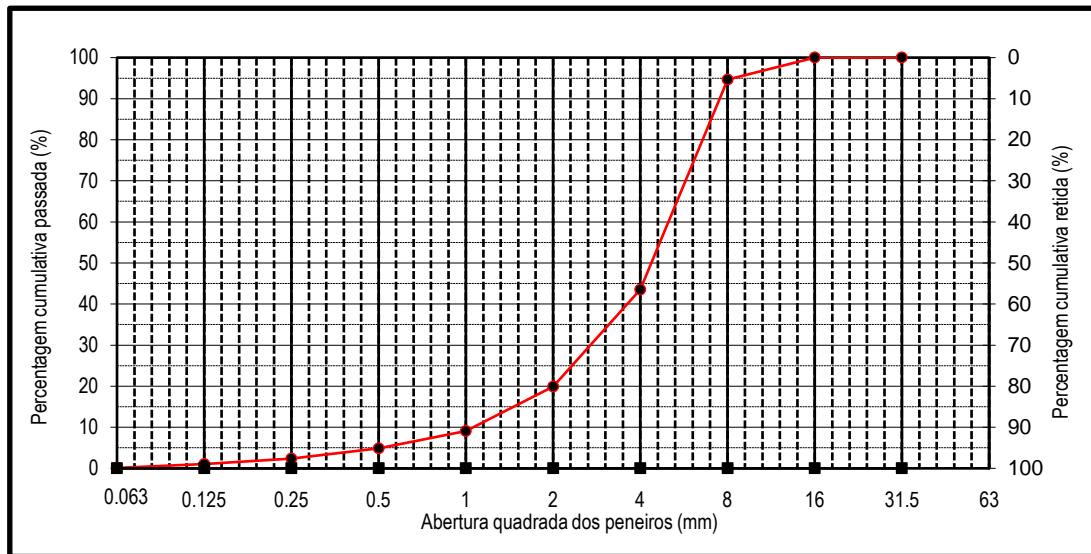


Gráfico 4 - Curva granulométrica do ensaio de granulometria.

Analisando os resultados do ensaio granulométrico, pode concluir-se que este material apresenta uma dimensão bastante diversificada, bem como uma distribuição uniforme pelas diferentes dimensões, como se pode observar pela curva granulométrica do gráfico 4.

De forma a completar o dimensionamento deste material, foram medidas 10 aparas que ficaram retidas em dois dos peneiros:

- ✓ No peneiro de 4 mm, onde foi registado o maior volume de retidos, o comprimento médio das aparas é de 5 mm.
- ✓ No peneiro de 8 mm, que é o que representa as aparas com o maior comprimento, as aparas medem, em média 6 mm.

Visto que se trata de um material com dimensões bastante variadas, pode concluir-se que será uma característica favorável no que diz respeito ao reforço mecânico do compósito desenvolvido.

3.2.2 Resíduos à base de fibras de celulose

Este resíduo à base de fibras de celulose (figura 19), é proveniente da indústria do papel, nomeadamente a partir da produção de pasta kraft e de fibras de papel reciclado. Foi fornecido pela empresa Europac, situada em Viana do Castelo, que produz cerca de 10 mil toneladas deste resíduo por ano [43].



Figura 19 - Resíduo de base celulósica utilizado no compósito

Trata-se de um resíduo resultante da operação dos equipamentos de crivagem de pasta crua e é constituído essencialmente por fibras de celulose, lenhina, sais de sódio e enxofre, areias e outras impurezas [44].

O principal interesse na utilização deste material incide no custo zero que este apresenta, visto que se trata de uma reutilização resultante do processo de transformação de papel/cartão para reciclar. Este resíduo vai ser incorporado num material compósito para a produção de blocos a implementar em soluções construtivas [43].

A reciclagem do papel é conseguida através do aproveitamento das fibras de celulose existentes nos papéis usados. De forma a caracterizar este material, e tendo em conta que é de origem celulósica, foi realizada uma análise avançada de materiais recorrendo a equipamentos da Universidade do Minho.

Os ensaios de caracterização realizados foram o DSC, o TGA e o FTIR, a seguir descritos.

3.2.2.1 DSC

Varredura diferencial de calorimetria, ou *differential scanning calorimeter (DSC)*, em inglês é um ensaio que permite realizar uma análise térmica na identificação e caracterização de materiais têxteis. O DSC mede a quantidade de energia (mW/mg) por unidade de tempo ou temperatura absorvida ou libertada

por uma amostra e um material de referência quando são aquecidos ou arrefecidos, fornecendo dados quantitativos e qualitativos sobre endotérmica (absorção de calor) e exotérmica (evolução de calor).

- ✓ As transições de primeira ordem são caracterizadas por picos de endotérmica (fusão) ou exotérmica (cristalização);
- ✓ A área do pico, diretamente a baixo da curva, é proporcional à entalpia envolvida no processo;
- ✓ As transições de segunda ordem são acompanhadas pela variação da capacidade de calor da amostra sem variações de entalpia. Sem picos.

3.2.2.2 STA

Análise termo gravimétrica simultânea, ou *simultaneous thermogravimetric analysis (STA)*, é um método em que a termo gravimetria (TG) e a análise térmica diferencial (DTA) são medidas em simultâneo. TG mede a variação de massa de uma amostra em função da temperatura ou do tempo em ambiente controlado, ou seja, permite fazer uma análise da perda ou agregação de massa à amostra em temperaturas variadas. DTA mede a diferença de temperatura entre a amostra e o material de referência, enquanto que a temperatura da amostra, numa específica atmosfera, é programada.

3.2.2.3 FTIR

Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier, ou *Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR)*, é uma técnica de caracterização de materiais muito utilizada na identificação da natureza química. Mede a absorção da radiação infravermelha pelo material da amostra em relação ao comprimento de onda. Os comprimentos de onda absorvidos pela amostra são característicos da sua estrutura molecular.

3.2.3 Resultados aos ensaios de caracterização das fibras de celulose

DSC

O ensaio foi realizado fazendo variar a temperatura entre os 18° e os 500°C, a uma velocidade de 10°C/min. O gráfico 5 mostra o resultado do ensaio.

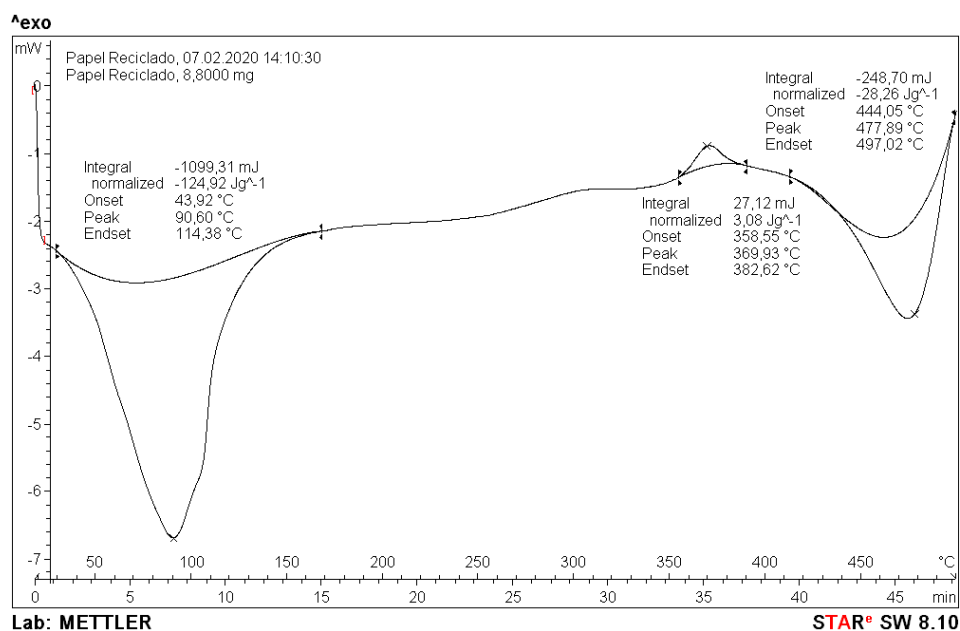


Gráfico 5 - Ensaio DSC (*differential scanning calorimeter*)

Os resultados são interpretados à semelhança do que ocorre nas madeiras em que temos a água livre, ou seja, à volta das fibras de celulose, e a água intrínseca ou de impregnação (dentro das fibras). Nas fibras de celulose, quando submetidas a um aumento de temperatura, a primeira água a sair é a água livre, que se encontra nos espaços vazios das células [45].

- ✓ 1° pico a 90.6°C – Reação endotérmica (perda de energia), perda de massa da amostra por evaporação da água livre e da água de impregnação que ocorre a cerca de 140°.
- ✓ 2° pico a 369.93°C – Reação exotérmica (ganho de energia), onde pode ter ocorrido uma das seguintes reações: Cristalização, reações de polimerização, cura, oxidação, degradação oxidativa ou absorção de algum composto volátil.
- ✓ 3° pico a 477.89°C – Reação endotérmica por ocorrência de perda de massa da amostra e carbonização.

STA

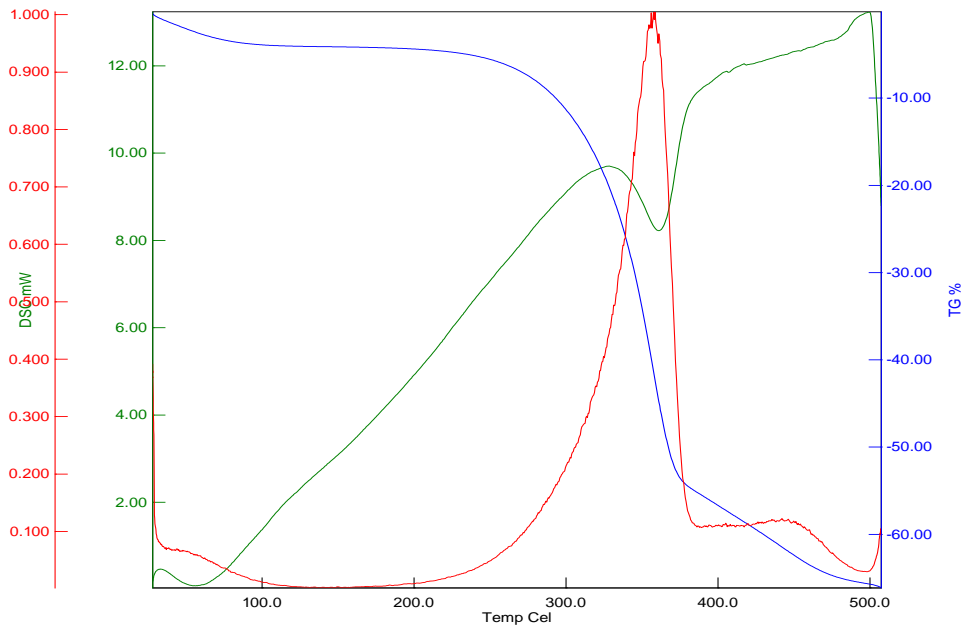


Gráfico 6 - Ensaio STA (*simultaneous thermogravimetric analysis*)

As curvas obtidas de TGA e DTG confirmam a perda de massa nos dois momentos já referidos. O momento da perda de água (água livre e água de impregnação), correspondentes ao patamar observado da curva de TGA e o momento de deterioração ou carbonização do material aos 380°C.

FTIR

A análise de compostos químicos deste material celulósico está representada no gráfico 7.



Gráfico 7 - Ensaio FTIR (*Fourier-transform infrared spectroscopy*)

Com a ajuda das linhas auxiliares representadas no gráfico 7, é possível determinar uma aproximação da codificação espectral:

Tabela 13 - Codificação espectral do ensaio FTIR

| Codificação espectral | Picos da amostra (%) |
|--|----------------------|
| Celulose – Estiramento O-H (3700 – 3600) | 93.0 – 96.5 |
| Celulose – Estiramento C=O (1830 – 1650) | 92.0 – 96.0 |
| Sílica (1100 – 1000) | 80.0 – 88.5 |
| Calcite (1492 – 1429; 879 - 706) | 90.0 – 94.5 |
| Gesso (3500 – 3400; 1700 – 1600; 1150 – 1100; 700 – 600) | 82.5 – 94.0 |
| Caulim (3700 – 3200; 1100 – 1000; 910 – 830) | 80.0 – 96.0 |
| Óxido de zinco (400 – 500) | 78.0 – 81.5 |

Os restantes picos parecem ser referentes a pigmentos orgânicos ou inorgânicos e impurezas presentes nos resíduos de papel, cuja identificação precisa não tem interesse para este estudo.

4. Estudo experimental

Este estudo experimental teve como principal objetivo a caracterização de um bloco leve para implementação em paredes interiores, feito a partir de materiais residuais.

É de salientar que até chegar a composições e a resultados de resistência neste capítulo mencionados, foram realizadas várias misturas e testadas à resistência mecânica, as primeiras apenas com as aparas de madeira como agregado e só de seguida foi adicionado o resíduo à base de fibras de celulose. Ou seja, houve um processo experimental de pré dimensionamento das composições até chegar a valores de resistência aceitáveis.

O material compósito final foi elaborado e é constituído por aparas de madeira, resíduos de papel, ligante e água.

4.1 Composições testadas

Inicialmente foi definido um método de medição para os diferentes materiais constituintes da composição. As medições foram sob forma percentual em relação ao copo da figura 20 sendo que 100% corresponde ao copo cheio e 0% corresponde ao copo vazio. Foi admitido que a massa da água é igual ao seu volume e, assim, por relação linear, foram marcadas as percentagens intermédias necessárias à medição dos diferentes materiais.

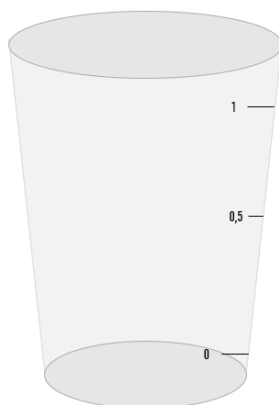


Figura 20– Esquema ilustrativo do método de medição de materiais.

O único material que carece de preparação antes de ser colocado na mistura é o resíduo de papel reciclado. Este tem de ser misturado com água de forma a que amoleça para, recorrendo a uma varinha mágica, ser triturado antes de ser adicionado à mistura. A figura 21 ilustra esse processo. As proporções de papel e água utilizadas neste processo são referidas de seguida.

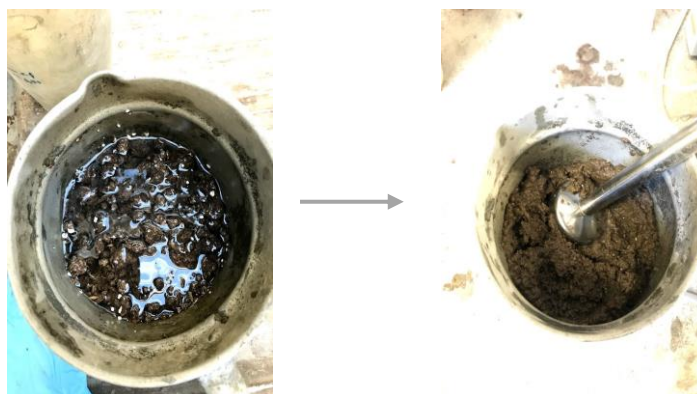


Figura 21 - Água + resíduo de papel antes e após ser triturado.

4.1.1 Dimensionamento das composições

Esta fase do estudo experimental tem como principal objetivo encontrar as quantidades necessárias de cada material.

Após algumas tentativas, foram definidas as quantidades ideais de cada material a utilizar na mistura. Esta escolha teve por base características de trabalhabilidade do compósito, como a textura e a quantidade de água a utilizar.

As misturas são constituídas por: 100% de aparas de madeira; 45% de resíduos de papel; 50% de ligante; e 50% de água, conforme a Figura 22. O que corresponde a um traço em volume de 1 : 0,9 : 2 : 1 (pela seguinte ordem - ligante, resíduos de papel, aparas de madeira e água). A medição é feita em relação ao copo anteriormente referido e como ilustra a figura 23.

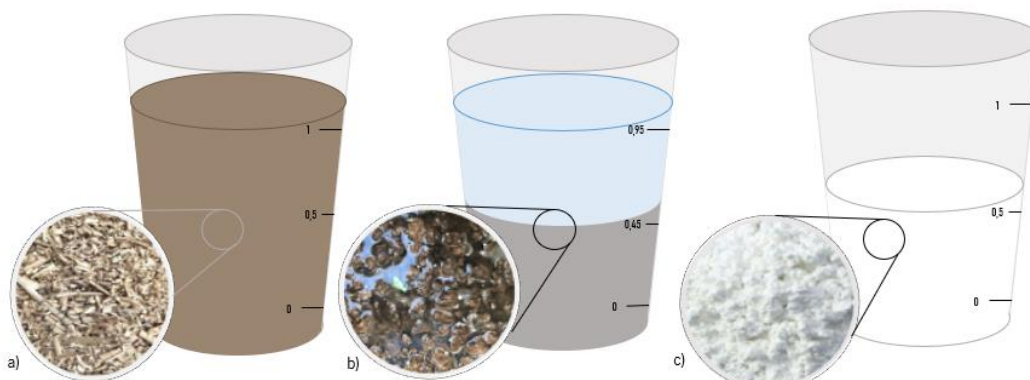


Figura 22 - a) 100% aparas de madeira; b) 45% de resíduo de papel + 50% de água; c) 50% de ligante.

4.1.2 Etapas e misturas realizadas

Na tabela 14 estão apresentadas, de forma clara, as várias etapas deste programa experimental assim como as misturas realizadas e os respectivos ensaios a que foram submetidos os provetes.

Tabela 14 - Ensaios realizados aos provetes nas várias etapas.

| Etapa | Mistura | Ligante | Ensaio |
|---|---------|---------------------|--|
| 1 Avaliação do efeito dos ligantes | M1 | Cimento | Compressão e flexão aos 14 dias. |
| | M2 | Cal aérea | |
| | M3 | Cal hidráulica | |
| 2 Avaliação da combinação de cal aérea/cimento | M4 | Cal aérea | Compressão e flexão aos 28 dias. |
| | M5 | Cal hidráulica | |
| | M6 | Cal aérea + Cimento | |
| 3 Estudo de resistência a longo prazo e durabilidade combinação de cal aérea/cimento | M7 | Cal aérea + Cimento | Compressão e flexão aos 90 dias. Absorção de água por capilaridade e por imersão aos 90 dias. |
| | M8 | Cal aérea | |
| | M9 | Cimento | |

4.2 Metodologias utilizadas

4.2.1 Moldagem e preparação de provetes

Os materiais, nas devidas proporções, foram colocados no mesmo recipiente.



Figura 23 - a) Aparas de madeira; b) Resíduo de papel + água; c) Ligante

De seguida, foi utilizada uma misturadora durante cerca de 5 minutos, facilitando o processo de homogeneização do compósito para que possa ser distribuído de igual forma pelos moldes.

Os moldes utilizados para a realização dos provetes têm dimensão de $(40 \times 40 \times 160) \text{ mm}^3$.

Os provetes, foram desmoldados e submetidos a um período de cura com valores de temperatura e humidade ambiente. De seguida, foram pesados e medidos antes de serem realizados os ensaios de resistência mecânica.

1º) Foi registada a massa de cada provete, recorrendo a uma balança (figura 25):



Figura 25 - Medição da massa do provete

2º) Foi registada a área de secção de cada provete, recorrendo a um paquímetro digital (figura 26):



Figura 26 - Medição da secção do provete

Estes dois processos foram realizados com a devida precisão para que, posteriormente, possa ser calculada a massa volúmica de cada provete.

4.2.2 Métodos de ensaio

Neste subcapítulo é apresentado o método de realização dos vários ensaios aos quais os provetes foram submetidos durante o estudo experimental.

Os ensaios apresentados de seguida foram realizados de acordo com as normas portuguesas e europeias adequadas aos diferentes métodos de ensaio.

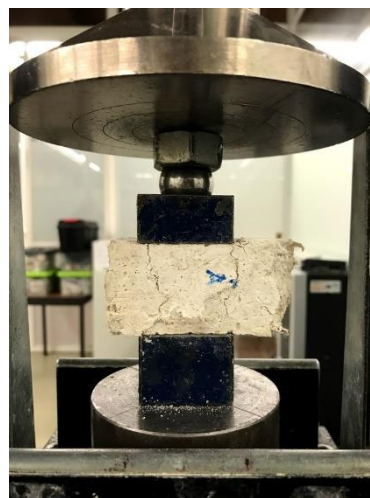
4.2.1 Resistência mecânica

De forma a caracterizar o material compósito em relação à resistência mecânica, foram realizados ensaios de flexão e compressão segundo a norma EN 1015-11: (2019), [46] aos provetes prismáticos de medidas 160x40x40 mm^3 . Para tal foi utilizada a máquina de teste Lloyd LR 50K Plus.

Primeiro são realizados os ensaios de flexão. Este consiste na aplicação de uma força crescente a meio vão do provete, como se pode observar na figura 27 a), até que ocorra a fendilhação do mesmo. De seguida é realizado o ensaio de resistência à compressão, a cada metade do provete, até que ocorra o início do seu esmagamento (figura 27 b)).



Figura 27 - a) Ensaio de flexão;



b) Ensaio de compressão.

O valor da resistência à compressão é obtido através da divisão da força máxima exercida pela área da secção do provete, como mostra a equação. Enquanto que o valor da resistência à flexão é obtido tendo em consideração a largura, a espessura e o vão:

$$T = \frac{F}{A}$$

$$T = 1.5 \times F \times \frac{vão}{largura \times espessura^2} \quad (vão = 100mm)$$

3

Em que:

F – Valor da força exercida

A – Área da secção do provete

T – Valor da resistência

4.2.2 Absorção de água por capilaridade

Este ensaio experimental é usado para determinar a percentagem de água absorvida pelo material compósito em função do tempo e segue o procedimento estabelecido na EN 1015-18: (2002). Esta norma europeia especifica um método para determinar o coeficiente de absorção de água devido à ação capilar das argamassas endurecidas que contém ligantes minerais e agregados leves [47].

Os provetes utilizados neste ensaio foram iguais aos referidos anteriormente (160x40x40) mm^3 .

Numa fase inicial, os provetes foram colocados num forno ventilado capaz de manter uma temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, onde foi feita uma secagem dos mesmos até que atingissem massa constante. A pesagem foi realizada com intervalos de 24 horas e até que a perda de massa não ultrapassasse os 0.2% em relação à massa obtida no dia anterior.

Após este processo de secagem a massa constante, iniciou-se a fase de imersão dos provetes. Em que uma face do provete foi imersa em 5 a 10mm de água (figura 28) por um determinado período e o aumento de massa foi registado. O ensaio deve ser realizado numa câmara ou sala que seja capaz de manter uma humidade relativa de $95\% \pm 5\%$ e $65\% \pm 5\%$. O provete foi partido ao meio e nas faces laterais é aplicado um silicone que funciona como vedante, para que a absorção de água ocorra apenas nas superfícies de rotura do ensaio de flexão com cerca de $40 \times 40 \text{ } mm^2$ [47].

Figura 28 - Ensaio de absorção por capilaridade



No subcapítulo 5.2 serão apresentados os resultados deste ensaio.

4.2.3 Absorção de água por imersão

O ensaio experimental de absorção de água por imersão foi baseado na especificação do LNEC 394:1993 que especifica um método para determinação da absorção de água por imersão

Numa fase inicial, após a cura de provetes, estes são colocados numa estufa ventilada capaz de manter uma temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, onde é feita uma secagem dos mesmos até que atinjam massa constante, à semelhança do que acontece no ensaio de absorção por capilaridade. Considera-se que a amostra atingiu massa constante se duas pesagens consecutivas com 2h de intervalo, não diferem mais que 0.2% da massa da amostra seca [21].

Neste ensaio os provetes são colocados numa caixa com água de forma a estarem completamente submersos, como se pode observar na figura 29, e são registados três valores: O valor da massa seca, o valor da massa saturada não imersa e o valor da massa saturada dentro de água.



Figura 29 - Os três provetes são colocados numa caixa completamente imersos.

Os resultados deste ensaio são apresentados no capítulo seguinte.

5. Análise de resultados

Nesta fase do programa experimental, são apresentados os resultados dos ensaios realizados aos provetes anteriormente referidos.

5.1 Resistência mecânica

Como já foi referido anteriormente, os ligantes utilizados neste estudo foram: O cimento, a cal aérea e a cal hidráulica. Originando, assim, três diferentes composições.

Apesar do principal objetivo ser eliminar ao máximo a utilização de cimento, devido ao impacte ambiental provocado por este material, numa primeira fase foi utilizado na mesma quantidade que os outros dois ligantes estudados (cal aérea e cal hidráulica) de forma a fazer uma análise comparativa do comportamento do material compósito.

Após realizados os provetes, estes foram submetidos a um período de cura de 14 dias, à temperatura ambiente e humidade relativa normal do laboratório, até serem feitos os ensaios de resistência mecânica (compressão e flexão).

Na tabela 15 encontra-se representada a massa volúmica de cada provete (das três composições diferentes), assim como os resultados dos ensaios de resistência realizados aos 14 dias de cura – Etapa 1.

Tabela 15 - Resultados dos ensaios de resistência aos 14 dias – Etapa1.

| Ligante | Massa volúmica Kg/m^3 | Resistência à compressão (MPa) | Resistência à flexão (MPa) |
|----------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Cimento | 1107.642 | 3.015 | 1.570 |
| Cal aérea | 794.981 | 0.188 | 0.149 |
| Cal hidráulica | 905.985 | 0.357 | 0.253 |

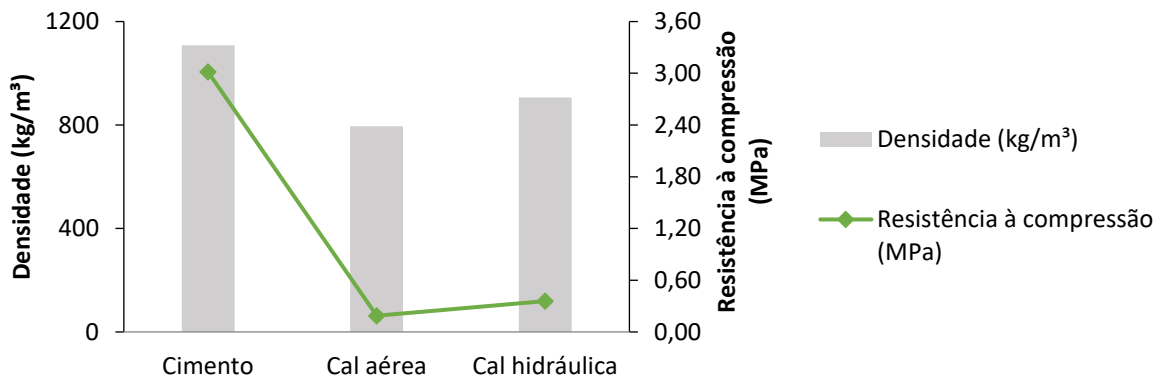


Gráfico 8 - Resistência à compressão aos 14 dias - Etapa 1

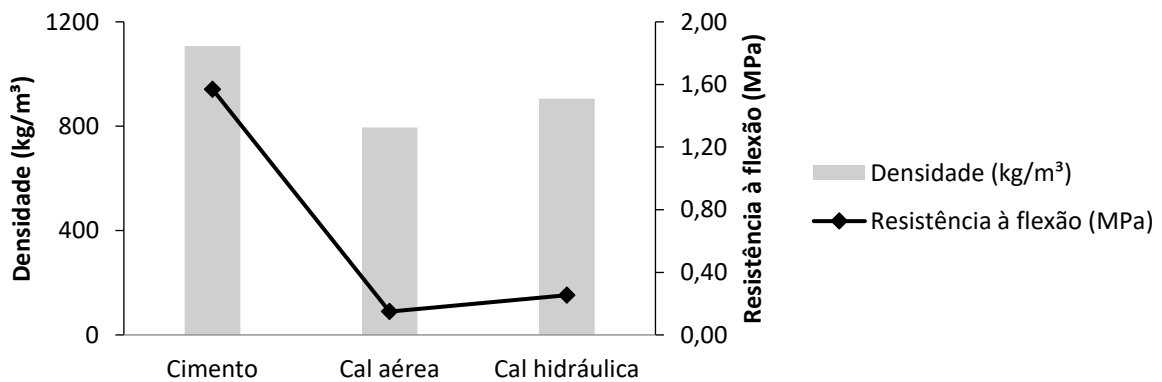


Gráfico 9 - Resistência à flexão aos 14 dias - Etapa 1

Conclusões:

- ✓ Quanto maior a densidade, maior a resistência mecânica;
- ✓ Apenas a composição constituída por cimento apresenta valores de resistência superiores a 1MPa, o valor mínimo obtido por outros autores em compósitos com serrim.
- ✓ Considera-se que a cal, seja aérea ou hidráulica, não apresenta resistência suficiente para o manuseamento de blocos aos 14 dias, pois os valores estão abaixo de 0.5 MPa.
- ✓ Também se verifica que não existem diferenças significativas nos valores obtidos com cal hidráulica face ao uso da cal aérea.

Para a etapa 2, tendo em consideração que o objetivo é utilizar a mínima quantidade de cimento possível, mas é preciso aumentar a resistência da mistura com cal aérea, foi estudada uma quarta composição em que é feita uma combinação de dois ligantes: cimento e cal aérea. Manteve-se o traço em volume: 1 : 0,9 : 2 : 1, com a mesma quantidade de ligante mas, agora, substituindo 20% do ligante por cimento, tal como mostra a figura 30.

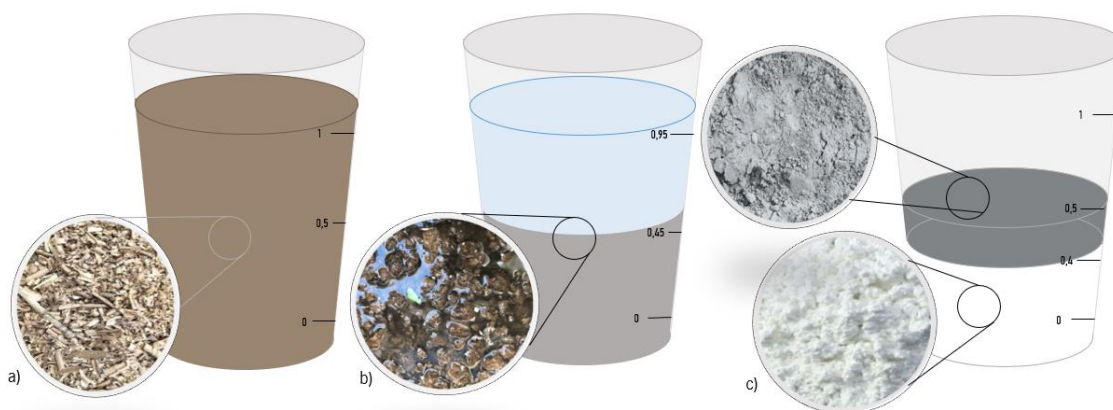


Figura 30 - Nova composição com mistura de ligantes (cal aérea + cimento)

Para além disto, foi também alargado o período de cura para 28 dias. Com estas duas alterações, espera-se um aumento dos valores de resistência.

Na tabela 16 encontra-se representada a massa volúmica e os valores de resistência aos 28 dias – Etapa2.

Tabela 16 - Resultados dos ensaios de resistência aos 28 dias – Etapa2.

| Ligante | Massa volúmica (kg/m^3) | Resistência à compressão (MPa) | Resistência à flexão (MPa) |
|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Cal aérea | 748.472 | 0.654 | 0.154 |
| Cal hidráulica | 856.223 | 1.447 | 1.195 |
| Cal aérea + Cimento | 956.409 | 1.530 | 0.787 |

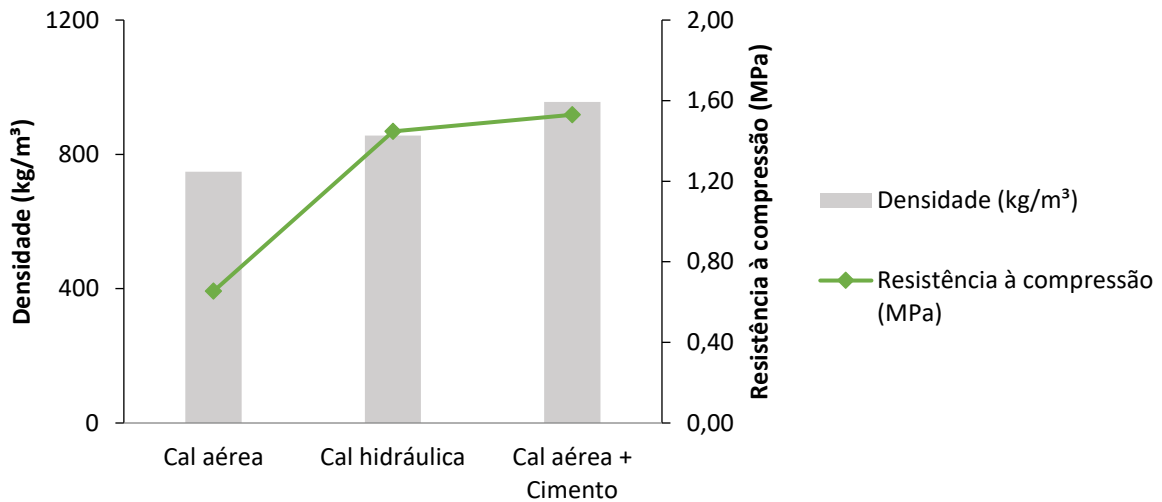


Gráfico 10 – Resistência à compressão aos 28 dias – Etapa

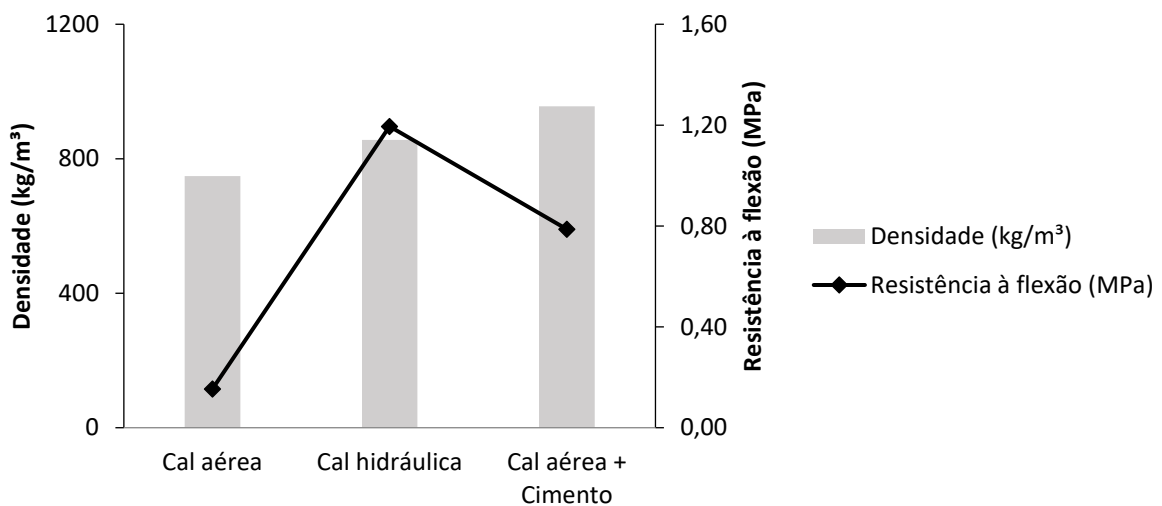


Gráfico 11 – Resistência à flexão aos 28 dias – Etapa 2

Analisando as composições estudadas, conclui-se que os provetes feitos utilizando a cal hidráulica como ligante apresentam um comportamento à compressão bastante semelhante ao dos provetes feitos com cal aérea e cimento, ambas as composições apresentam valores de resistência favoráveis. O que mostra a eficácia da adição de uma pequena percentagem de cimento juntamente com a cal.

Relativamente à resistência à flexão verifica-se que a combinação de cal com cimento apresenta um melhor comportamento.

Deste modo, esta composição foi a selecionada para ser estudada novamente para avaliar as resistências com maior tempo de cura, devido ao uso da cal aérea que aumenta a resistência ao longo do tempo. Analisando-se aos 90 dias as resistências mecânicas e o comportamento face à ação da água.

Para esta etapa 3 foram preparados novos provetes com o traço referido anteriormente, 1 : 0,9 : 2 : 1, usando como ligante cal aérea e 20% de cimento. Para comparação de resultados, foram estudadas também as composições apenas com cal aérea e apenas com cimento.

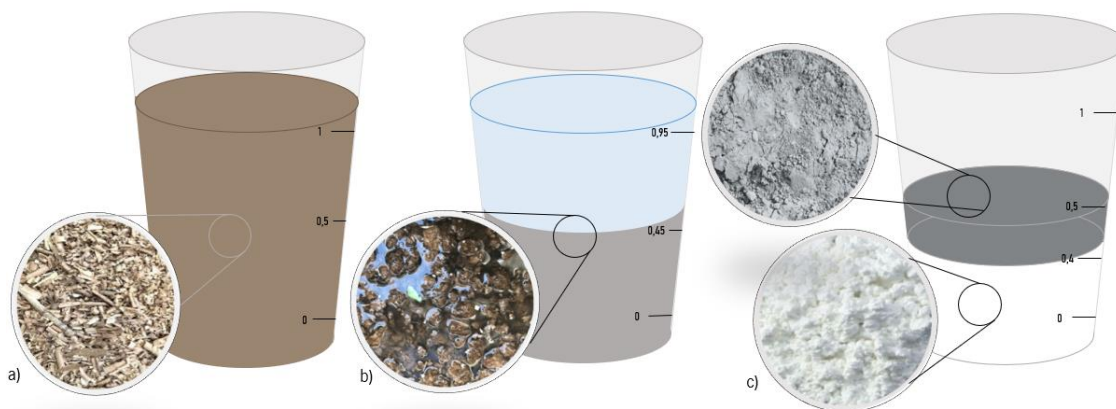


Figura 31 - a) 100% de aparas de madeira; b) 45% de resíduo de papel + 50% de água; c) 40% de Cal aérea + 10% Cimento.

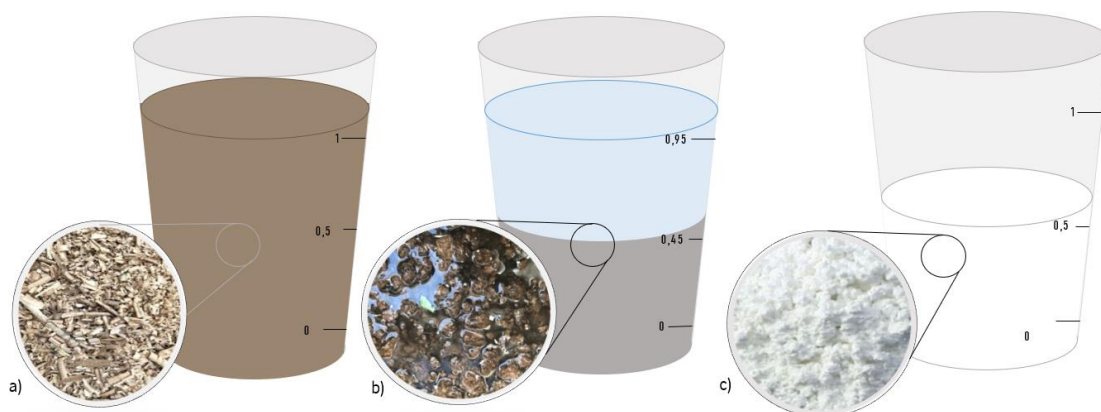


Figura 32 - 100% de aparas de madeira; b) 45% de resíduo de papel + 50% de água; c) 50% de Cal aérea.

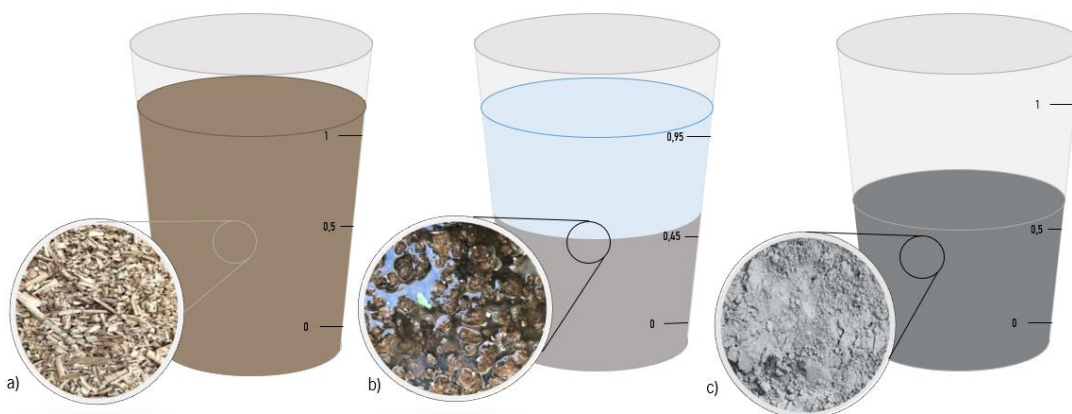


Figura 33 - 100% de aparas de madeira; b) 45% de resíduo de papel + 50% de água; c) 50% Cimento

Os provetes foram submetidos a um período de cura de 90 dias em condições de temperatura ambiente e foram realizados os ensaios de resistência à flexão e compressão, como referido anteriormente.

Tabela 17 - Resultados dos ensaios de resistência aos 90 dias – Etapa 3.

| Mistura | Massa volúmica (Kg/m^3) | Resistência à compressão (MPa) | Resistência à flexão (MPa) |
|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Cal aérea + Cimento | 730.665 | 0.879 | 0.469 |
| Cal aérea | 675.619 | 0.745 | 0.266 |
| Cimento | 1066.952 | 4.161 | 1.994 |

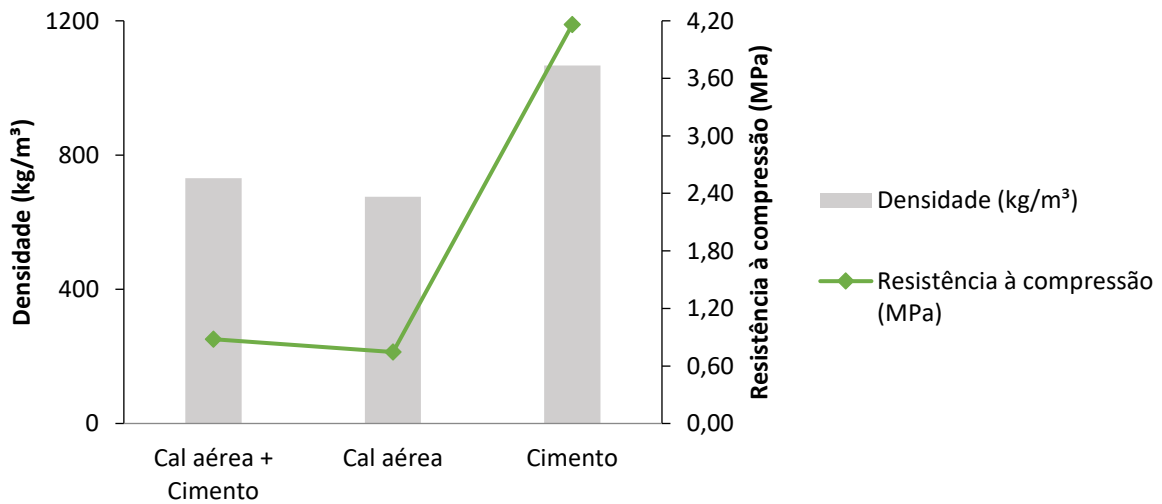


Gráfico 12 – Resistência à compressão aos 90 dias – Etapa 3

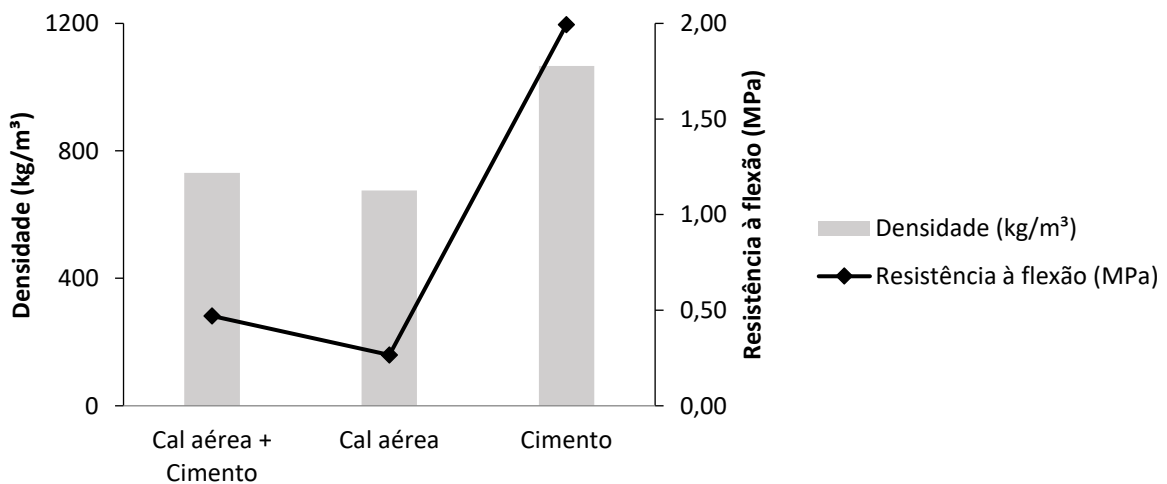


Gráfico 13 – Resistência à flexão aos 90 dias – Etapa 3

Analisando os resultados destes ensaios, pode concluir-se que:

- a resistência mecânica da cal aérea aumentou com o alargamento do período de cura dos provetes, tal como previsto;

- a composição com cal e cimento continua a apresentar valores superiores aos da cal aérea. Contudo, contrariamente ao esperado houve um menor aumento das resistências face ao uso simples da cal (17%), quando comparado com a etapa 2 aos 28 dias em que houve um aumento de 135%

5.2 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado de acordo com a norma e o método descrito anteriormente. De seguida serão apresentados os gráficos com as curvas de absorção dos três diferentes provetes (gráfico 14), assim como o coeficiente da capilaridade (R) de cada mistura (gráfico 15).

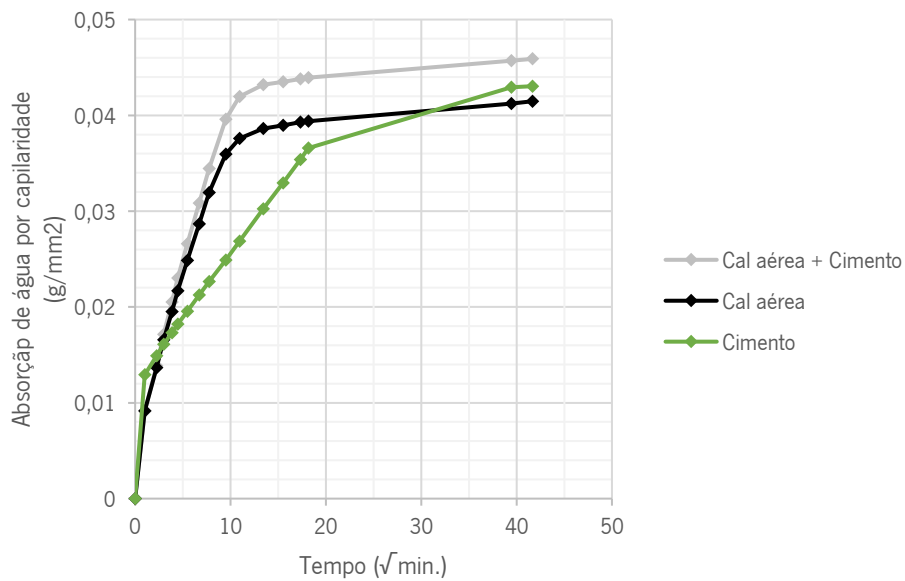


Gráfico 14 – Absorção de água por capilaridade

Analisando os resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade, é possível concluir que todas as composições apresentam resultados semelhantes, com diferenças pouco significativas. Dentro destas pequenas diferenças observa-se que a mistura que é constituída pela combinação dos dois ligantes (cal aérea e cimento) apresenta maior absorção.

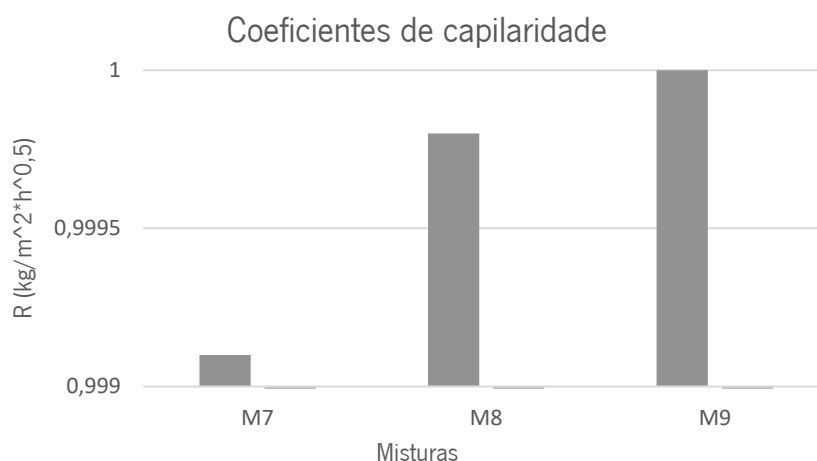


Gráfico 15 – Coeficiente de capilaridade de cada mistura

5.3 Absorção de água por imersão

Este ensaio foi realizado consoante as normas e procedimentos descritos anteriormente.

A tabela 18 mostra os resultados do ensaio de absorção por imersão.

Tabela 18 - Resultados do ensaio de absorção de água por imersão.

| Mistura | Massa saturada não imersa (g) | Massa seca (g) | Massa saturada dentro de água (g) | Absorção (%) |
|----------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------------------|--------------|
| Cal aérea + CEM 32.5 | 326.22 | 183.10 | 76.38 | 174.57 |
| Cal aérea | 285.50 | 153.96 | 57.25 | 173.52 |
| CEM 32.5 | 370.50 | 239.76 | 113.68 | 169.43 |

À semelhança do que acontece no ensaio de absorção de água por capilaridade, a mistura que apresenta maior absorção é a constituída por cal aérea e cimento. No entanto, não existe uma diferença significativa face à composição apenas com cal.

6. Conclusões e trabalhos futuros

Esta dissertação de mestrado foi realizada para desenvolver um compósito para um bloco de construção, feito a partir de agregados leves, para ser implementado em paredes interiores. Para tal, foram realizados ensaios de resistência e de absorção de água aos blocos fabricados a partir de materiais residuais leves.

6.1. Resistência mecânica

Observando, em primeiro lugar, os diferentes resultados obtidos aos ensaios de resistência feitos com períodos de cura e tipos de ligantes distintos:

- ✓ Cal aérea + Cimento – Resistência à flexão e à compressão de 0.5 e 0.9 MPa (28 dias), 0.8 e 1.5 MPa (90 dias);
- ✓ Cal aérea - Resistência à flexão e à compressão de 0.2 MPa (14 dias), 0.2 e 0.7 MPa (28 dias), 0.3 e 0.7 MPa (90 dias);
- ✓ Cimento – Resistência à flexão e à compressão de 1.6 e 3.0 MPa (14 dias), 2.0 e 4.2 MPa (90 dias).

É possível concluir que os blocos feitos a partir de cal aérea ou que têm cal aérea na sua constituição, apenas ganharam valores de resistência considerados aceitáveis para implementação na solução construtiva, a partir dos 28 dias de cura do material.

A mistura onde foi utilizado apenas o cimento como ligante, foi ensaiada aos 14 e aos 90 dias, pois era expectável que a diferença ao nível da resistência mecânica fosse reduzida, isto deve-se ao facto de o cimento conferir resistência a um bloco desde cedo, atingindo a resistência máxima aos 28 dias e não sofrendo alterações a partir daí.

Fazendo agora uma análise comparativa entre os resultados obtidos e os resultados da pesquisa teórica:

- ✓ Materiais cujo ligante é o cimento com agregados de madeira e papel – Resistência à compressão de 2.01 a 25.0 MPa e à flexão de 2.50 MPa.
- ✓ Materiais cujo ligante é a cal com agregados de cânhamo – Resistência à compressão de 0.18 MPa e à flexão de 0.35 MPa.

Como é possível concluir, os blocos produzidos para outros estudos com este tipo de agregados leves, têm como o ligante o cimento. Isto confere maior resistência aos mesmos. Ao contrário de que acontece com os blocos de cânhamo e cal, que apresentam valores mais baixos.

Analisando e comparando com o programa experimental desta dissertação, os resultados são semelhantes, pois é de salientar a perda de resistência diretamente proporcional à diminuição da quantidade de cimento utilizada na mistura.

6.2. Absorção de água

De forma a fazer uma análise do comportamento dos blocos à absorção de água, foram realizados ensaios de absorção por capilaridade e por imersão, os resultados obtidos durante o programa experimental foram:

- ✓ Cal aérea + cimento – 42.80% de absorção de água por capilaridade e 174.57% de absorção de água por imersão.
- ✓ Cal aérea – 41.25% de absorção de água por capilaridade e 173.52% de absorção de água por imersão.
- ✓ Cimento – 27.88% de absorção de água por capilaridade e 169.43% de absorção de água por imersão.

Era espectável que os blocos cujo ligante é a cal aérea absorvessem uma maior percentagem de água, pois são blocos com densidades menores, o que significa que têm uma quantidade maior de vazios. Mas, na realidade, e como se pode observar no esquema acima, os resultados foram diferentes. O bloco que absorveu maior quantidade de água é constituído pelos dois ligantes: cal aérea e cimento. Também se observa que não existe uma diferença significativa da percentagem de água absorvida entre a composição apenas com cal ou com cal e cimento.

Os valores da pesquisa teórica foram:

- ✓ Material constituído por Madeira (serrim), cimento, areia e água – De 7.9 a 11.3% de absorção de água.
- ✓ Material constituído por Fibras de papel, cimento, areia fina e grossa e água – De 6.3 a 14.6% de absorção de água.

Os valores apresentam diferenças bastante significativas. Isso deve-se ao facto de os trabalhos experimentais já realizados noutros estudos apresentem misturas bastante diferentes das realizadas neste trabalho experimental. Apresentam como ligante o cimento e agregados, como é o caso da areia, que se encarrega da ocupação dos vazios existentes no material compósito, evitando assim que estes sejam ocupados por água.

De forma geral, pode-se concluir que a composição com cal aérea e cimento apresenta um melhor desempenho face à utilização proposta, compósito para produção e blocos para paredes interiores, mostrando que poderá ser viável a sua utilização comparando com o desempenho de blocos à base de cal existentes.

6.3. Trabalhos futuros

Futuramente seria interessante realizar ensaios de forma a tirar conclusões acerca do comportamento térmico destes compósitos. O estudo térmico estava previsto para este programa experimental, mas devido a avaria do equipamento e situação pandémica, não foi possível fazê-lo.

Outra das características importantes de um material passa pelo isolamento acústico, seria, também, de interesse realizar ensaios de comportamento acústico a este compósito.

Em relação à composição do material, para trabalhos e estudos futuros, seria conveniente testar mais a utilização apenas da cal como ligante para que o material se mantenha um material leve, e variar as quantidades de agregado leve (preferencialmente resíduos) para ensaiar à resistência, com o objetivo de encontrar um material mais resistente mecânica, térmica e acusticamente e mais sustentável. Como já foi referido no início desta dissertação, o objetivo principal é encontrar um material de construção sustentável e que garanta os requisitos e as características necessárias para que possa ser implementado em obra.

7. Referências

- [1] L. De Souza and M. Elisa, “Reaproveitamento de Resíduos da Indústria Moveleira Reutilization of the Waste from the Furniture Industries,” pp. 23–26, 2009.
- [2] “3350 MINISTÉRIO DO AMBIENTE E DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO,” pp. 3350–3382, 2002.
- [3] E. Do and F. Embalagens, “Madeira recuperável em portugal,” 2008.
- [4] “Gestão de resíduos.” [Online]. Available: <https://www.dssmith.com/pt/recycling/sobre/sobre-nos>.
- [5] E. Modolo, “Valorização de resíduos do sector de pasta e papel em produtos da construção civil,” 2006.
- [6] H. S. Abed, “Production of Lightweight Concrete by Using Construction Lightweight Wastes,” no. January, 2019.
- [7] NRMCA, “CIP 36 - Structural Lightweight Concrete,” *Concrete*, vol. 3, pp. 3–4, 2003.
- [8] Aamer Najim Abbas and Hussain Haider Abdulzahra, “Studying the Properties of Lightweight Concrete Using Construction Materials Waste,” *J. Environ. Sci. Eng. A*, vol. 4, no. 6, 2015.
- [9] A. Dhanalakshmi and A. Poonkuzhali, “Behavioural Study on Lightweight Concrete,” *Int. J. Sci. Res.*, vol. 5, no. December, pp. 3–7, 2016.
- [10] a C. F. D. E. Melo, “Director Industrial da,” *Ponte*, pp. 149–167, 2002.
- [11] O. Access, “We are IntechOpen , the world ’ s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 % Compressive Strength of Lightweight Concrete.”
- [12] C. Thienel, “Application of Lightweight Concrete,” no. February, 2019.
- [13] B. A. Graybeal, “Lightweight Concrete : Shear Performance Lightweight Concrete : Shear Performance,” no. March, 2019.
- [14] Mendonça P. and Lourenço P. B., “PROPOSTA DE UMA SOLUÇÃO INOVADORA E ECO-EFICIENTE,” pp. 185–204, 2011
- [15] A. Introduction, “Timbercrete,” 2015.

- [16] “Hemp blocks.”
- [17] M. Li, M. Khelifa, and M. El Ganaoui, “Mechanical characterization of concrete containing wood shavings as aggregates,” *Int. J. Sustain. Built Environ.*, vol. 6, no. 2, pp. 587–596, 2017.
- [18] D. Taoukil, A. El-bouardi, H. Ezbakhe, and T. Ajzoul, “Thermal proprieties of concrete lightened by wood aggregates,” *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 113–116, 2011.
- [19] C. Engineering, “EXPERIMENTAL STUDY ON STRENGTH OF CONCRETE BY PARTIAL REPLACEMENT OF FINE AGGREGATE WITH SAW DUST,” vol. 119, no. 12, pp. 9473–9479, 2018.
- [20] D. K. Dadzie, G. O. Dokyi, and N. Niakoh, “Comparative Study of the Properties of Sandcrete Blocks Produced with Sawdust as Partial Replacement of Sand,” vol. 9, no. 3, pp. 1357–1363, 2018.
- [21] R. P. Memon, A. Rahman, M. Sam, A. Awal, and L. Achekzai, “Jurnal Teknologi MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES OF SAWDUST CONCRETE,” no. August, pp. 2–7, 2017.
- [22] Eires et al., “Materiais não convencionais para uma construção sustentável utilizando cânhamo industrial, pasta de papel e cortiça,” 2004.
- [23] E. Gourlay, P. Glé, S. Marceau, C. Foy, and S. Moscardelli, “Virtual Special Issue Bio Based Building Materials Effect of water content on the acoustical and thermal properties of hemp concretes,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 139, pp. 513–523, 2017.
- [24] E. Of, H. Walls, S. To, S. Time, and T. F. Curve, “SUBJECTED TO A STANDARD TIME - TEMPERATURE FIRE CURVE,” 2014.
- [25] H. Bedlivá and N. Isaacs, “Hempcrete – An Environmentally Friendly Material ? Hempcrete – an environmentally friendly material ?,” no. December, pp. 5–9, 2016.
- [26] T. Jami, S. R. Karade, and L. P. Singh, “A review of the properties of hemp concrete for green building applications,” *J. Clean. Prod.*, vol. 239, p. 117852, 2019.
- [27] S. Elfordy, F. Lucas, and F. Tancret, “Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete (“ hempcrete ”) manufactured by a projection process,” vol. 22, pp. 2116–2123, 2008.

- [28] L. Arnaud and E. Gourlay, "Experimental study of parameters influencing mechanical properties of hemp concretes," *Constr. Build. Mater.*, vol. 28, no. 1, pp. 50–56, 2012.
- [29] H. Zaki, I. Gorgis, and S. Salih, "Mechanical properties of papercrete Mechanical properties of papercrete," no. May, 2018.
- [30] I. N. Gorgis, H. M. Zaki, and S. A. Salih, "Properties of papercrete," no. March 2018, 2017.
- [31] Y. Shermale and M. B. Varma, "Papercrete : An Efficient Use of Waste Paper Recent Trends in Civil Engineering & Technology Papercrete : An Efficient Use of Waste Paper," no. October 2015, 2017.
- [32] Y. D. Shermale and M. B. Varma, "Properties of Papercrete Concrete : Building Material Properties of Papercrete Concrete : Building Material," no. November, 2017.
- [33] E. Science, "Thermo-hygrometric behavior of hempcrete walls for sustainable building construction in the Mediterranean area Thermo-hygrometric behavior of hempcrete walls for sustainable building construction in the Mediterranean area," 2019.
- [34] T. Yates, "Client Report : Prepared for : Prepared on behalf of BRE by Approved on behalf of BRE by," no. 212020, 2003.
- [35] J. D. S. Coutinho, "4 Cal Aérea E Cal Hidráulica," pp. 31–43, 2002.
- [36] L. Hidr, "Aula 2: Cal Área e Cal Hidraulica," vol. 3, pp. 1–25.
- [37] G. De Abreu and L. Lino, "Caracterização in situ de rebocos com base em cal e metacaulino aplicados em muretes experimentais," 2013.
- [38] N. H. L. Cal and H. Natural, "FICHA TÉCNICA NATURAL LIME NHL 5 NATURAL LIME NHL 5."
- [39] E. De Engenharia, "Elisabete Fernandes Araújo Materiais compósitos com incorporação de cânhamo industrial Elisabete Fernandes Araújo Materiais compósitos com incorporação de cânhamo industrial," 2015.
- [40] ABNT NBR 16697, "Cimento Portland - Requisitos," p. 12, 2018.
- [41] "NP-EN-933-1_2002_Agregados_analise_granulometria.pdf." .
- [42] "NP-EN-933-2_2002_Agregados_peneiros.pdf." .

- [43] “Outubro de 2018,” 2018.
- [44] D. Cristina, M. Rocha, E. Sofia, and R. Jorge, “Valorização de resíduos na indústria de pasta de papel Gestão de resíduos orgânicos gerados no processo Valorização de resíduos na indústria de pasta de papel Gestão de resíduos orgânicos gerados no processo,” 2018.
- [45] J. A. Santos and J. A. Santos, “A secagem e as relações da água com a madeira.”
- [46] E. Standard and N. Europe, “EUROPEAN STANDARD EUROPA EN 1015-11 Methods of test for mortar for masonry Đ Part 11 : Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar,” 1999.
- [47] B. S. En, “Methods of test for mortar for masonry —,” vol. 3, 2002.

ANEXOS

Ensaio de absorção de água por capilaridade - M7

| Data/Hora | Dias | min | vmin | vh | Amostra | Peso da Amostra (g) | Massa Absorvida Por Provete (g) | Média da Massa Absorvida (g) | Percentagem de Massa Absorvida Por Provete (%) | Percentagem Média | Desv.Pad. (%) | Massa Constante | g/mm ² | Média (g/mm2) | Média (kg/m2) |
|--------------|------|---------|-------|------|---------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|--|-------------------|---------------|-----------------|-------------------|---------------|---------------|
| 8/6/20 10:35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | A | 90,576 | 0,00 | - | 0,00% | 0,00% | 0,000% | Não | 0,00E+00 | 0,0000E+00 | 0,0000E+00 |
| | | | | | B | 97,047 | 0,00 | - | 0,00% | 0,00% | 0,000% | | | | |
| 8/6/20 10:36 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,13 | A | 102,067 | 11,49 | 11,36 | 11,26% | 10,81% | 0,632% | OK | 7,18E-03 | 9,1200E-03 | 9,1200E+00 |
| | | | | | B | 108,269 | 11,22 | 11,36 | 10,36% | | | | | | |
| 8/6/20 10:40 | 0,00 | 5,00 | 2,24 | 0,29 | A | 109,721 | 19,15 | 18,94 | 17,45% | 16,81% | 0,899% | OK | 1,20E-02 | 1,3858E-02 | 1,3858E+01 |
| | | | | | B | 115,776 | 18,73 | 18,94 | 16,18% | | | | | | |
| 8/6/20 10:44 | 0,01 | 9,00 | 3,00 | 0,39 | A | 115,026 | 24,45 | 24,17 | 21,26% | 20,50% | 1,065% | OK | 1,53E-02 | 1,7127E-02 | 1,7127E+01 |
| | | | | | B | 120,931 | 23,88 | 24,17 | 19,75% | | | | | | |
| 8/6/20 10:50 | 0,01 | 15,00 | 3,87 | 0,50 | A | 120,591 | 30,02 | 29,57 | 24,89% | 23,99% | 1,275% | OK | 1,88E-02 | 2,0505E-02 | 2,0505E+01 |
| | | | | | B | 126,178 | 29,13 | 29,57 | 23,09% | | | | | | |
| 8/6/20 10:55 | 0,01 | 20,00 | 4,47 | 0,58 | A | 124,733 | 34,16 | 33,58 | 27,38% | 26,38% | 1,416% | OK | 2,13E-02 | 2,3012E-02 | 2,3012E+01 |
| | | | | | B | 130,057 | 33,01 | 33,58 | 25,38% | | | | | | |
| 8/6/20 11:05 | 0,02 | 30,00 | 5,48 | 0,71 | A | 130,671 | 40,10 | 39,32 | 30,68% | 29,56% | 1,593% | OK | 2,47E-02 | 2,6599E-02 | 2,6599E+01 |
| | | | | | B | 135,599 | 38,55 | 39,32 | 28,43% | | | | | | |
| 8/6/20 11:20 | 0,03 | 45,00 | 6,71 | 0,87 | A | 137,566 | 46,99 | 46,12 | 34,16% | 32,98% | 1,667% | OK | 2,94E-02 | 3,0848E-02 | 3,0848E+01 |
| | | | | | B | 142,3 | 45,25 | 46,12 | 31,80% | | | | | | |
| 8/6/20 11:35 | 0,04 | 60,00 | 7,75 | 1,00 | A | 143,373 | 52,80 | 51,88 | 36,82% | 35,63% | 1,692% | OK | 3,30E-02 | 3,4448E-02 | 3,4448E+01 |
| | | | | | B | 148,011 | 50,96 | 51,88 | 34,43% | | | | | | |
| 8/6/20 12:05 | 0,06 | 90,00 | 9,49 | 1,22 | A | 150,675 | 60,10 | 60,10 | 39,89% | 39,07% | 1,160% | OK | 3,76E-02 | 3,9586E-02 | 3,9586E+01 |
| | | | | | B | 157,151 | 60,10 | 60,10 | 38,25% | | | | | | |
| 8/6/20 12:35 | 0,08 | 120,00 | 10,95 | 1,41 | A | 152,859 | 62,28 | 63,90 | 40,75% | 40,52% | 0,313% | OK | 3,89E-02 | 4,1961E-02 | 4,1961E+01 |
| | | | | | B | 162,567 | 65,52 | 63,90 | 40,30% | | | | | | |
| 8/6/20 13:35 | 0,13 | 180,00 | 13,42 | 1,73 | A | 154,028 | 63,45 | 65,86 | 41,20% | 41,25% | 0,071% | OK | 3,97E-02 | 4,32E-02 | 4,3185E+01 |
| | | | | | B | 165,316 | 68,27 | 65,86 | 41,30% | | | | | | |
| 8/6/20 14:35 | 0,17 | 240,00 | 15,49 | 2,00 | A | 154,459 | 63,88 | 66,37 | 41,36% | 41,43% | 0,103% | OK | 4,67E-02 | 4,35E-02 | 4,3505E+01 |
| | | | | | B | 165,908 | 68,86 | 66,37 | 41,51% | | | | | | |
| 8/6/20 15:35 | 0,21 | 300,00 | 17,32 | 2,24 | A | 154,878 | 64,30 | 66,85 | 41,52% | 41,60% | 0,123% | OK | 4,02E-02 | 4,38E-02 | 4,3801E+01 |
| | | | | | B | 166,438 | 69,39 | 66,85 | 41,69% | | | | | | |
| 8/6/20 16:05 | 0,23 | 330,00 | 18,17 | 2,35 | A | 155,037 | 64,46 | 67,07 | 41,58% | 41,68% | 0,151% | OK | 4,03E-02 | 4,39E-02 | 4,3939E+01 |
| | | | | | B | 166,721 | 69,67 | 67,07 | 41,79% | | | | | | |
| 9/6/20 12:30 | 1,08 | 1555,00 | 39,43 | 5,09 | A | 157,726 | 67,15 | 69,91 | 42,57% | 42,70% | 0,171% | OK | 4,20E-02 | 4,57E-02 | 4,5714E+01 |
| | | | | | B | 169,711 | 72,66 | 69,91 | 42,82% | | | | | | |
| 9/6/20 15:30 | 1,20 | 1735,00 | 41,65 | 5,38 | A | 158,002 | 67,43 | 70,20 | 42,67% | 42,80% | 0,172% | OK | 4,21E-02 | 4,59E-02 | 4,5894E+01 |
| | | | | | B | 170,012 | 72,97 | 70,20 | 42,92% | | | | | | |

Ensaio de absorção de água por capilaridade – M8

| Data/Hora | Dias | min | v/min | vh | Amostra | Peso da Amostra (g) | Massa Absorvida Por Provete (g) | Média da Massa Absorvida (g) | Porcentagem de Massa Absorvida Por Provete (%) | Porcentagem Média | Desv. Pad. (%) | Massa Constante | g/mm ² | Média (g/mm ²) | Média (kg/m ²) |
|--------------|------|---------|-------|------|---------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|--|-------------------|----------------|-----------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| 8/6/20 10:35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | A | 86,669 | 0,00 | - | 0,00% | 0,00% | 0,0000% | Não | 0,00E+00 | 0,0000E+00 | 0,0000E+00 |
| | | | | | B | 93,177 | 0,00 | 12,16% | 0,00% | 0,0000% | | 0,00E+00 | 0,0000E+00 | | |
| 8/6/20 10:36 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,13 | A | 98,664 | 12,00 | 11,38 | 10,36% | 11,26% | 1,272% | OK | 1,08E-02 | 9,1469E-03 | 9,1469E+00 |
| | | | | | B | 103,944 | 10,77 | 18,34% | 18,34% | 1,272% | | 1,22E-02 | | | |
| 8/6/20 10:40 | 0,00 | 5,00 | 2,24 | 0,29 | A | 106,134 | 19,47 | 18,59 | 15,98% | 17,16% | 1,670% | OK | 1,51E-02 | 1,3654E-02 | 1,3654E+01 |
| | | | | | B | 110,896 | 17,72 | 21,71% | 21,71% | 1,670% | | 1,50E-02 | | | |
| 8/6/20 10:44 | 0,01 | 9,00 | 3,00 | 0,39 | A | 110,709 | 24,04 | 23,26 | 19,43% | 20,57% | 1,615% | OK | 1,81E-02 | 1,6569E-02 | 1,6569E+01 |
| | | | | | B | 115,649 | 22,47 | 24,82% | 24,82% | 1,615% | | 1,79E-02 | | | |
| 8/6/20 10:50 | 0,01 | 15,00 | 3,87 | 0,50 | A | 115,281 | 28,61 | 27,93 | 22,63% | 23,73% | 1,546% | OK | 2,11E-02 | 1,9493E-02 | 1,9493E+01 |
| | | | | | B | 120,434 | 27,26 | 26,98% | 26,98% | 1,546% | | 2,00E-02 | | | |
| 8/6/20 10:55 | 0,01 | 20,00 | 4,47 | 0,58 | A | 118,696 | 32,03 | 31,42 | 24,85% | 25,92% | 1,505% | OK | 2,33E-02 | 2,1673E-02 | 2,1673E+01 |
| | | | | | B | 123,995 | 30,82 | 29,94% | 29,94% | 1,505% | | 2,31E-02 | | | |
| 8/6/20 11:05 | 0,02 | 30,00 | 5,48 | 0,71 | A | 123,698 | 37,03 | 36,49 | 27,84% | 28,89% | 1,478% | OK | 2,65E-02 | 2,4842E-02 | 2,4842E+01 |
| | | | | | B | 129,134 | 35,96 | 33,18% | 33,18% | 1,478% | | 2,69E-02 | | | |
| 8/6/20 11:20 | 0,03 | 45,00 | 6,71 | 0,87 | A | 129,702 | 43,03 | 42,63 | 31,19% | 32,18% | 1,407% | OK | 3,05E-02 | 2,8679E-02 | 2,8679E+01 |
| | | | | | B | 135,409 | 42,23 | 35,69% | 35,69% | 1,407% | | 3,01E-02 | | | |
| 8/6/20 11:35 | 0,04 | 60,00 | 7,75 | 1,00 | A | 134,77 | 48,10 | 47,86 | 33,82% | 34,76% | 1,321% | OK | 3,38E-02 | 3,1947E-02 | 3,1947E+01 |
| | | | | | B | 140,799 | 47,62 | 38,33% | 38,33% | 1,321% | | 3,37E-02 | | | |
| 8/6/20 12:05 | 0,06 | 90,00 | 9,49 | 1,22 | A | 140,536 | 53,87 | 54,25 | 36,96% | 37,65% | 0,968% | OK | 3,82E-02 | 3,5939E-02 | 3,5939E+01 |
| | | | | | B | 147,808 | 54,63 | 39,31% | 39,31% | 0,968% | | 3,82E-02 | | | |
| 8/6/20 12:35 | 0,08 | 120,00 | 10,95 | 1,41 | A | 142,808 | 56,14 | 56,88 | 38,21% | 38,76% | 0,777% | OK | 4,01E-02 | 3,7585E-02 | 3,7585E+01 |
| | | | | | B | 150,802 | 57,63 | 39,88% | 39,88% | 0,777% | | 4,01E-02 | | | |
| 8/6/20 13:35 | 0,13 | 180,00 | 13,42 | 1,73 | A | 144,156 | 57,49 | 58,52 | 39,99% | 39,44% | 0,625% | OK | 4,13E-02 | 3,86E-02 | 3,8610E+01 |
| | | | | | B | 152,734 | 59,56 | 40,08% | 40,08% | 0,625% | | 4,13E-02 | | | |
| 8/6/20 14:35 | 0,17 | 240,00 | 15,49 | 2,00 | A | 144,631 | 57,96 | 59,09 | 39,25% | 39,66% | 0,582% | OK | 4,17E-02 | 3,90E-02 | 3,8962E+01 |
| | | | | | B | 153,386 | 60,21 | 40,29% | 40,29% | 0,582% | | 4,17E-02 | | | |
| 8/6/20 15:35 | 0,21 | 300,00 | 17,32 | 2,24 | A | 145,14 | 58,47 | 59,60 | 39,46% | 39,87% | 0,586% | OK | 4,20E-02 | 3,93E-02 | 3,9283E+01 |
| | | | | | B | 153,904 | 60,73 | 40,35% | 40,35% | 0,586% | | 4,20E-02 | | | |
| 8/6/20 16:05 | 0,23 | 330,00 | 18,17 | 2,35 | A | 145,3 | 58,63 | 59,77 | 39,53% | 39,94% | 0,583% | OK | 4,21E-02 | 3,94E-02 | 3,9388E+01 |
| | | | | | B | 154,081 | 60,90 | 41,47% | 41,47% | 0,583% | | 4,21E-02 | | | |
| 9/6/20 12:30 | 1,08 | 1555,00 | 39,43 | 5,09 | A | 148,081 | 61,41 | 62,72 | 40,73% | 41,10% | 0,525% | OK | 4,41E-02 | 4,12E-02 | 4,1234E+01 |
| | | | | | B | 157,206 | 64,03 | 41,61% | 41,61% | 0,525% | | 4,41E-02 | | | |
| 9/6/20 15:30 | 1,20 | 1735,00 | 41,65 | 5,38 | A | 148,423 | 61,75 | 63,10 | 40,89% | 41,25% | 0,509% | OK | 4,43E-02 | 4,15E-02 | 4,1472E+01 |
| | | | | | B | 157,625 | 64,45 | 40,89% | 40,89% | 0,509% | | 4,43E-02 | | | |

Ensaio de absorção de água por capilaridade – M9

| Data/Hora | Dias | min | vmin | vh | Amostra | Peso da Amostra (g) | Massa Absorvida Por Provete (g) | Média da Massa Absorvida (g) | Porcentagem de Massa Absorvida Por Provete (%) | Porcentagem Média | Desv.Pad. (%) | Massa Constante | g/mm ² | Média (g/mm ²) | Média (kg/m ²) |
|--------------|------|---------|-------|------|---------|---------------------|---------------------------------|------------------------------|--|-------------------|---------------|-----------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| 8/6/20 10:35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | A | 131,583 | 0,00 | - | 0,00% | 0,00% | 0,000% | Não | 0,00E+00 | 0,0000E+00 | 0,0000E+00 |
| | | | | | B | 157,506 | 0,00 | - | 0,00% | 0,00% | 0,000% | | | | |
| 8/6/20 10:36 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,13 | A | 138,876 | 7,29 | 7,71 | 5,25% | 5,08% | 0,247% | OK | 4,56E-03 | 1,2917E-02 | 1,2917E+01 |
| | | | | | B | 165,625 | 8,12 | 7,71 | 4,90% | 7,30% | 0,406% | | | | |
| 8/6/20 10:40 | 0,00 | 5,00 | 2,24 | 0,29 | A | 141,948 | 10,37 | 10,86 | 7,30% | 7,01% | 0,406% | OK | 2,33E-02 | 1,4890E-02 | 1,4890E+01 |
| | | | | | B | 168,866 | 11,36 | 10,86 | 6,73% | 8,47% | 0,444% | | | | |
| 8/6/20 10:44 | 0,01 | 9,00 | 3,00 | 0,39 | A | 143,759 | 12,18 | 12,79 | 7,84% | 8,16% | 0,444% | OK | 7,61E-03 | 1,6094E-02 | 1,6094E+01 |
| | | | | | B | 170,908 | 13,40 | 12,79 | 7,84% | 9,63% | 0,506% | | | | |
| 8/6/20 10:50 | 0,01 | 15,00 | 3,87 | 0,50 | A | 145,598 | 14,02 | 14,71 | 9,63% | 9,27% | 0,506% | OK | 8,76E-03 | 1,7295E-02 | 1,7295E+01 |
| | | | | | B | 172,912 | 15,41 | 14,71 | 8,91% | 10,52% | 0,589% | | | | |
| 8/6/20 10:55 | 0,01 | 20,00 | 4,47 | 0,58 | A | 147,056 | 15,47 | 16,19 | 10,52% | 10,11% | 0,589% | OK | 9,67E-03 | 1,8217E-02 | 1,8217E+01 |
| | | | | | B | 174,404 | 16,90 | 16,19 | 9,69% | 11,74% | 0,654% | | | | |
| 8/6/20 11:05 | 0,02 | 30,00 | 5,48 | 0,71 | A | 149,094 | 17,51 | 18,31 | 11,74% | 11,28% | 0,654% | OK | 1,09E-02 | 1,9545E-02 | 1,9545E+01 |
| | | | | | B | 176,616 | 19,11 | 18,31 | 10,82% | 12,26% | 0,713% | | | | |
| 8/6/20 11:20 | 0,03 | 45,00 | 6,71 | 0,87 | A | 151,698 | 20,12 | 21,05 | 13,26% | 12,76% | 0,713% | OK | 2,81E-02 | 2,1259E-02 | 2,1259E+01 |
| | | | | | B | 179,497 | 21,99 | 21,05 | 12,25% | 14,53% | 0,871% | | | | |
| 8/6/20 11:35 | 0,04 | 60,00 | 7,75 | 1,00 | A | 153,951 | 22,37 | 23,26 | 14,53% | 13,91% | 0,871% | OK | 1,40E-02 | 2,2640E-02 | 2,2640E+01 |
| | | | | | B | 181,662 | 24,16 | 23,26 | 13,30% | 16,44% | 1,021% | | | | |
| 8/6/20 12:05 | 0,06 | 90,00 | 9,49 | 1,22 | A | 157,478 | 25,90 | 26,85 | 16,44% | 15,72% | 1,021% | OK | 1,62E-02 | 2,4879E-02 | 2,4879E+01 |
| | | | | | B | 185,301 | 27,80 | 26,85 | 15,00% | 18,05% | 1,112% | | | | |
| 8/6/20 12:35 | 0,08 | 120,00 | 10,95 | 1,41 | A | 160,559 | 28,98 | 30,02 | 18,05% | 17,26% | 1,112% | OK | 3,56E-02 | 2,6864E-02 | 2,6864E+01 |
| | | | | | B | 188,572 | 31,07 | 30,02 | 16,47% | 20,67% | 1,288% | | | | |
| 8/6/20 13:35 | 0,13 | 180,00 | 13,42 | 1,73 | A | 165,862 | 34,28 | 35,43 | 20,67% | 19,76% | 1,288% | OK | 2,14E-02 | 3,02E-02 | 3,0243E+01 |
| | | | | | B | 194,081 | 36,58 | 35,43 | 18,85% | 22,61% | 1,378% | | | | |
| 8/6/20 14:35 | 0,17 | 240,00 | 15,49 | 2,00 | A | 170,036 | 38,45 | 39,74 | 22,61% | 21,64% | 1,378% | OK | 3,91E-02 | 3,29E-02 | 3,2939E+01 |
| | | | | | B | 198,534 | 41,03 | 39,74 | 20,67% | 24,28% | 1,441% | | | | |
| 8/6/20 15:35 | 0,21 | 300,00 | 17,32 | 2,24 | A | 173,786 | 42,20 | 43,63 | 24,28% | 23,27% | 1,441% | OK | 2,64E-02 | 3,54E-02 | 3,5372E+01 |
| | | | | | B | 202,571 | 45,07 | 43,63 | 22,25% | 25,05% | 1,418% | | | | |
| 8/6/20 16:05 | 0,23 | 330,00 | 18,17 | 2,35 | A | 175,561 | 43,98 | 45,57 | 25,05% | 24,05% | 1,418% | OK | 4,57E-02 | 3,66E-02 | 3,6583E+01 |
| | | | | | B | 204,671 | 47,17 | 45,57 | 23,04% | 27,70% | 1,468% | | | | |
| 9/6/20 12:30 | 1,08 | 1555,00 | 39,43 | 5,09 | A | 181,984 | 50,40 | 55,73 | 27,70% | 27,81% | 1,468% | OK | 3,15E-02 | 4,29E-02 | 4,2929E+01 |
| | | | | | B | 218,556 | 61,05 | 55,73 | 27,93% | 27,71% | 0,239% | | | | |
| 9/6/20 15:30 | 1,20 | 1735,00 | 41,65 | 5,38 | A | 182,015 | 50,43 | 55,91 | 27,71% | 27,88% | 0,239% | OK | 3,15E-02 | 4,30E-02 | 4,3045E+01 |
| | | | | | B | 218,895 | 61,39 | 55,91 | 28,04% | | | | | | |