



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Elisabete Fernandes Araújo

Materiais compósitos com
incorporação de cânhamo industrial

Elisabete Fernandes Araújo | Materiais compósitos com incorporação de cânhamo industrial

UMinho | 2015

junho de 2015



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Elisabete Fernandes Araújo

Materiais compósitos com
incorporação de cânhamo industrial

Projeto de Investigação Integrado
Mestrado Internacional em
Sustentabilidade do Ambiente Construído

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Rute Maria Gonçalves Eires

AGRADECIMENTOS

O espaço limitado desta secção de agradecimentos, seguramente, não permite agradecer, da melhor forma, a todos os apoios e incentivos que ao longo do meu Mestrado em Sustentabilidade do Ambiente Construído, me ajudaram, direta ou indiretamente, a cumprir os meus objetivos, anseios, ambições e a realizar mais uma etapa da minha formação académica.

Desta forma, e como nenhum dever é mais importante do que a gratidão, subescrevo aqui algumas palavras sucintas, que embora possam parecer curtas, através delas quero transmitir o sentido e profundo sentimento de reconhecido agradecimento.

À orientadora desta dissertação, Professora Rute Eires, pelo total apoio, disponibilidade, pelo saber que transmitiu, pelas opiniões, críticas e sugestões, pela total colaboração no solucionar de dúvidas e problemas que foram surgindo, por todas as palavras de incentivo, e pela dedicação prestada, que mesmo numa fase tão especial da vida, se demonstrou sempre disponível.

Ao Professor Aires Camões, co-orientador desta dissertação, pela sua prestabilidade, colaboração, transmissão de conhecimentos ao nível dos materiais de construção e incentivo neste trabalho de investigação.

À Escola de Engenharia da Universidade do Minho, a oportunidade e privilégio de frequentar este Mestrado que muito contribuiu para o enriquecimento da minha formação académica e científica.

Ao Professor Raúl Figueiro, pelos seus conhecimentos no âmbito das fibras naturais.

A todos os técnicos do Laboratório de Engenharia Civil, em especial o Técnico Carlos Jesus, pela ajuda na realização dos ensaios e amostras, pelas palavras de incentivo, pela disponibilidade, colaboração e transmissão de conhecimentos.

A todas as empresas que cederam de forma voluntária os materiais utilizados no desenvolvimento deste estudo.

À empresa onde estou a crescer profissionalmente, em especial ao departamento de orçamentos onde estou inserida, pelo apoio incondicional e por me dispensarem os dias para melhor desenvolver a minha dissertação.

Agradeço a todas as dificuldades que enfrentei, pois elas foram adversárias dignas, que tornaram as minhas vitórias muito mais saborosas.

Aos meus amigos, ao Gustavo, São João e Patrícia, companheiros deste mestrado, pela partilha, amizade, companheirismo e ajuda. Também uma referência muito especial à Ilda e à Joana, companheiras de muitas batalhas que se travaram desde a licenciatura, pela enorme amizade que criámos, pelos bons momentos, pela ajuda, estímulo nas alturas de desânimo, pelos momentos de gargalhadas que muitas das vezes só nós entendíamos, um muito OBRIGADA, muitos dos meus objetivos, não conseguiria sem vocês.

Por último, tendo a plena consciência que sozinha nada disto teria sido possível, dirijo um agradecimento especial, e com amor, a toda a minha família, aos meus pais, por serem modelos de coragem, pelo seu apoio incondicional, incentivo e preocupação constante, ao meu irmão, um obrigada por acreditares sempre em mim e naquilo que faço, por todos os ensinamentos da vida, por nunca desistires de me ver feliz, à minha cunhada pelo apoio incondicional, e aos meus sobrinhos, que esboçam enormes sorrisos, que me inspiram e transmitem uma enorme força de vontade de nunca desistir e poder ser um exemplo de vida para eles. Espero profundamente, que esta etapa, que agora termino, possa de alguma forma, retribuir e compensar todo o carinho, apoio e dedicação que constantemente me oferecem, a vós dedico todo este trabalho.

RESUMO

Atualmente empregar o conceito da sustentabilidade na construção, tem vindo a ser uma preocupação acrescida por parte dos vários intervenientes do setor. Isto deve-se principalmente aos diversos problemas ambientais criados por alguns componentes dos materiais de construção utilizados, e à conseqüente produção de resíduos, alto ritmo de exploração e destruição dos recursos naturais.

Assim, a presente dissertação tem como propósito o estudo de materiais compósitos com incorporação de cânhamo industrial em conjugação com materiais ligantes, convencionalmente designado por betão de cânhamo ou “hemprete”. O cânhamo é um material natural, uma planta de rápido crescimento que já se encontra a ser cultivada no nosso país. Desenvolveu-se uma nova composição tendo em vista a sua aplicação em elementos de construção não estruturais, como por exemplo, paredes não estruturais, paredes divisórias, revestimentos e regularização de pisos.

Este estudo baseia-se na obtenção de dosagens ótimas de materiais ligantes como a cal, e o caulino, entre outros em conjunto com as fibras interiores de cânhamo, utilizadas como agregado leve para se obter um betão leve. Estas dosagens foram obtidas com base nas misturas mais viáveis, após uma primeira avaliação realizada em pré-testes.

A fim da caracterização e análise da viabilidade para o fim proposto das misturas selecionadas para avaliação do seu desempenho, estas foram sujeitas a diversos testes laboratoriais, tais como, testes de resistência mecânica, absorção de água por imersão e capilaridade e testes de condutividade térmica.

Ao nível das conclusões, a composição desenvolvida, apresentou uma resistência à compressão satisfatória, sendo que os valores obtidos estão dentro de alguns limites já conhecidos; ao nível da condutividade térmica, a composição apresenta um bom comportamento térmico; relativamente à absorção de água por imersão e por capilaridade é onde a composição apresenta algumas limitações.

Palavras-chave: Fibras celulósicas de cânhamo, Materiais não convencionais, Sustentabilidade, Propriedades mecânicas, Propriedades químicas.

ABSTRACT

Currently, employing the concept of sustainability in construction, has been increased by the various stakeholders in the sector concerned. This is mainly due to many environmental problems created by some components of the building materials used, and the consequent waste production, high rate of exploitation and destruction of natural resources.

Thus, the present work has implications for the study of composite materials with industrial hemp embodiment in conjunction with binder materials, conventionally called concrete hemp or "hempcrete". Hemp is a natural material, a fast-growing plant that is already being grown in our country. It has developed a new composition with a view to their application in non-structural building elements, such as bearing walls, partition walls, floor coverings and regularization.

This study is based on obtaining optimal dosages of binder materials such as lime, kaolin and, among other together with the inner hemp fibers, used as lightweight aggregate to obtain a lightweight concrete. These measurements were obtained based on the most viable mixtures after an initial assessment carried out in pre-tests.

In order for the characterization and analysis of the feasibility of the proposed order for the blends selected for evaluation of their performance, they were subjected to various laboratory tests, such as tests of mechanical strength, water absorption by immersion and capillary action and thermal conductivity testing.

In terms of findings, the composition developed, showed a satisfactory compressive strength, the values obtained are within limits already known; the level of thermal conductivity, the composition exhibits good thermal performance; concerning the absorption of water by immersion and capillary action is where the composition has some limitations.

Key words: Cellulosic fibers of hemp, Unconventional materials, Sustainability, mechanical properties and chemical properties.

ÍNDICE

CAPÍTULO I – ENQUADRAMENTO	1
1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	2
3. Metodologia.....	2
4. Estrutura da dissertação	3
CAPÍTULO II – ESTADO DA ARTE.....	5
1. O Cânhamo	5
2. Evolução histórica	9
2.1 Evolução histórica internacional	9
2.2 Evolução histórica em Portugal.....	10
3. Sustentabilidade na utilização do cânhamo (económica, social e ambiente)	11
4. Cânhamo do cultivo à transformação	12
5. O cânhamo industrial na construção – aplicabilidades.....	14
5.1 Hempcrete	14
5.2 Aplicação de fibras em “betão de cânhamo”	17
5.2.1 Blocos pré-fabricados	17
5.2.2 Compactação.....	18
5.2.3 Pulverização.....	18
5.3 Outras aplicabilidades no setor	19
5.4 Construções em cânhamo.....	21
5.5 Avaliação do ciclo de vida	24
5.6 Legislação.....	25
CAPÍTULO III – MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
1. Caracterização dos materiais	27
1.1 Agregado	27
1.1.1 O cânhamo	28

1.1.1.1	Composição utilizada.....	30
1.2	Ligantes	31
1.2.1	A cal.....	32
1.2.1.1	Aplicações na construção.....	36
1.2.1.2	Composições químicas utilizadas	37
1.2.2	O caulino.....	39
1.2.2.1	Aplicação na construção	39
1.2.2.2	Composição do caulino utilizado.....	40
1.2.3	O cimento.....	41
1.2.3.1	Aplicação na construção	41
1.2.3.2	Composição química do cimento utilizado.....	42
1.2.4	Água.....	43
1.3	Aditivos ou Ativadores.....	44
1.3.1	Bórax	44
1.3.1.1	Aplicações na construção.....	45
1.3.1.2	Composições utilizadas.....	45
2.	Preparação e cura dos provetes.....	46
2.1	Testes iniciais – provetes cúbicos de betão leve de cânhamo	46
2.1.1	Preparação dos provetes.....	46
2.1.2	Condições de cura	47
2.1.3	Misturas utilizadas	48
2.2	Testes finais – provetes cúbicos e placas de betão leve de cânhamo	50
2.2.1	Preparação dos provetes.....	50
2.2.2	Condições de cura	50
3.	Procedimento dos ensaios.....	51
3.1	Testes de resistência à compressão	51
3.2	Testes de condutividade térmica	53

3.3	Testes de absorção de água por imersão	55
3.4	Testes de absorção de água por capilaridade	56
CAPÍTULO IV – RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS... 59		
1.	Testes iniciais – provetes cúbicos de betão leve de cânhamo	59
1.1	Resultados obtidos.....	60
1.2	Discussão dos resultados	63
2	Testes finais – provetes cúbicos e placas de betão leve de cânhamo	64
2.1	Testes de resistência à compressão	64
2.1.1	Resultados obtidos	65
2.1.2	Discussão de resultados	67
2.2	Testes de condutividade térmica	68
2.2.1	Resultados obtidos	69
2.2.2	Discussão de resultados	70
2.3	Teste de absorção de água por imersão	71
2.3.1	Resultados obtidos	71
2.3.2	Discussão de resultados	73
2.4	Testes de absorção de água por capilaridade	74
2.4.1	Resultados obtidos	75
2.4.2	Discussão de resultados	80
CAPÍTULO V – CONCLUSÕES FINAIS E ESTUDOS FUTUROS..... 83		
1.	Conclusões Finais	83
2.	Estudos Futuros	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		89

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Espécie Cânhamo (Planfor, 2014)	5
Fig. 2 - Exemplos de cânhamo planta masculina e feminina (M.Santos, 2013).....	6
Fig.3 - Fibras de caule de cânhamo (R.Eires, 2006).....	7
Fig. 4 - Aplicabilidades das fibras de cânhamo (C.Romão, 2000).....	8
Fig. 5 - Sementeira com 100 dias de cultivo (M.Santos, 2013)	13
Fig. 6 - Cerne lenhoso do núcleo da planta de cânhamo (R.Eires, 2006)	14
Fig. 7 - Processo de extração à transformação das fibras de cânhamo (R.Eires, 2006) .	14
Fig. 8 - Constituição do hempcrete.....	15
Fig. 9 - Exemplo bloco pré-fabricado de betão de cânhamo (M.Santos, 2013)	18
Fig. 10 - Exemplo método de compactação (M.Santos, 2013)	18
Fig. 11 - Exemplo do método de pulverização (M.Santos, 2013).....	19
Fig. 12 - Exemplos de isolamento em painel em fibra de cânhamo (R.Eires, 2006)	20
Fig. 13 - Casa construída em cânhamo, E.U.A (E.Pegurier, 2010).....	22
Fig. 14 - Casa construída em cânhamo, Inglaterra (Catraca livre, 2013)	22
Fig. 15 - Casa moderna em cânhamo, França (Cultura, 2014).....	23
Fig. 16 - Casa em cânhamo, Alemanha (Cultura, 2014)	23
Fig. 17 - Casa em cânhamo, África (Smoke Buddies, 2013)	24
Fig. 18 – Planta cânhamo triturado.....	28
Fig. 19 – Cânhamo dividido em partículas grandes e pequenas.....	29
Fig. 20 - Misturadora	29
Fig. 21 - Curva granulométrica.....	30
Fig. 22 - Classificação dos ligantes	32
Fig. 23 - Classificação da cal.....	32

Fig. 24 - Processo de obtenção da cal.....	35
Fig. 25 - Bórax em formato pó e cristal (U.Lisboa, 2009)	45
Fig. 26 - Misturadora Automatic Contrller L5	47
Fig. 27 - Processo de produção da mistura.....	47
Fig. 28 - Processo de produção da mistura.....	51
Fig. 29 - Prensa eletromecânica utilizada.....	53
Fig. 30 - Aparelho Alambeta	55
Fig. 31 - Ensaio de resistência à compressão - roturas	60
Fig. 32 – Gráfico dos valores obtidos.....	63
Fig. 33 - Ensaio de resistência à compressão - roturas	65
Fig. 34 - Gráfico dos resultados obtidos.....	67
Fig. 35 - Ensaio da condutividade térmica	69
Fig. 36 – Procedimento do ensaio de absorção de água por imersão	71
Fig. 37 – Provetes impermeabilizados.....	74
Fig. 38 – Níveis de absorção de água ao longo do tempo	79
Fig. 39 – Coeficiente de absorção de água por capilaridade	79

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Composição - Fibras de cânhamo (R.Eires, 2006).....	7
Tabela 2 – Usos de cânhamo na Europa, 1999 (R.Eires, 2006)	10
Tabela 3- Estudos realizados da resistência à compressão.....	16
Tabela 4 - Utilização das diferentes partes do cânhamo na construção	21
Tabela 5 - Percentagem de cinzas contidas no cânhamo.....	31
Tabela 6 - Tipos de cal aérea.....	33
Tabela 7 - Requisitos químicos da cal.....	33
Tabela 8 - Classificação da cal	35
Tabela 9 - Composição química da cal utilizada.....	37
Tabela 10 – Composição química da cal utilizada	38
Tabela 11 – Composição química da cal hidráulica utilizada	38
Tabela 12 - Composição química do caulino utilizado	40
Tabela 13 - Composição química do cimento utilizado	42
Tabela 14 - Resultados de ensaios mecânicos do cimento utilizado	43
Tabela 15 - Composição das misturas	48
Tabela 16 – Peso e dimensão dos provetes.....	61
Tabela 17 - Resultados obtidos.....	62
Tabela 18- Peso, dimensão e área dos provetes.....	65
Tabela 19 - Resultados obtidos.....	66
Tabela 20 - Resultados obtidos condutividade térmica.....	69
Tabela 21 - Resultados obtidos dos provetes secos.....	72
Tabela 22 - Resultados obtidos dos provetes saturados	72
Tabela 23 - Resultados obtidos dos provetes do teste de absorção de água por imersão	72

Tabela 24 – Percentagem da absorção de água por imersão	73
Tabela 25 – Resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade.....	76
Tabela 26 – Vantagens e desvantagens do uso do cânhamo	84

CAPÍTULO I – ENQUADRAMENTO

1. Introdução

A interpretação da sustentabilidade na construção vem sofrendo algumas alterações ao longo do tempo. Inicialmente, o importante era conseguir lidar com a falta de recursos (especialmente energia) e como reduzir os impactes no ambiente. No entanto, atualmente verifica-se uma alteração deste conceito, isto é, hoje em dia é encarado como a criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, baseado na eficiência de recursos e princípios ecológicos, sem comprometer as gerações futuras.

Assim, a construção sustentável surge de forma a otimizar as práticas tradicionais. Esta gestão engloba não só os princípios enunciados, mas também, o consumo energético dos materiais de construção, a energia despendida durante todo o ciclo de vida do edifício, assim como, existir uma seleção cuidada dos materiais, de forma a reduzir os impactes ambientais.

Como tal, a dissertação apresentada tem como principal fundamento, o desenvolvimento de novas composições como material, assim como, a sua aplicação no âmbito de uma construção sustentável, promovendo a escolha destes materiais considerados “verdes” proporcionando o equilíbrio na conjugação com outros materiais. Esta conjugação, poderá proporcionar uma enorme vantagem ao sistema construtivo, uma vez que, estes respondem a diferentes exigências, que procuram minimizar ao máximo a utilização de produtos de elevado consumo energético e de elevadas taxas de emissão de CO₂, e ao mesmo tempo, compensar os materiais complementares que consomem mais energia, obtendo um sistema favorável, repondo o consumo de energia inicial (R.Eires, 2006).

Deste modo, constatando as inúmeras aplicações do cânhamo industrial, que fazem desta planta uma das mais versáteis do mundo, este material poderá perfeitamente ser uma alternativa ecológica aos diversos materiais, utilizados hoje em dia em vários setores industriais.

Também no sector da construção o cânhamo industrial poderá ser utilizado de diversas maneiras, embora de forma gradual, tendo em conta, a falta de conhecimento por parte do setor das inúmeras vantagens deste, e o preconceito pela implementação de novos materiais.

Verifica-se a existência de várias empresas, organizações e instituições que têm mostrado esforços em promover a utilização deste tipo de material, tendo em conta, a diversidade de pesquisa existente atualmente.

A utilização de cânhamo industrial na construção, inicialmente, surgiu em França, principal país precursor do betão de cânhamo, denominado “*béton de chanvre*” ou “*hemprete*”, seguindo-se outros vários países como a Suíça, Reino Unido, Estados Unidos da América e Austrália. Contudo em Portugal, começa agora a surgir o interesse por este material, podendo-se verificar isso mesmo, quando desde 2013 a CANAPOR – Cooperativa para o Desenvolvimento do Cânhamo, surge, de forma certificada, a fim de produzir, transformar e comercializar este material.

2. Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo principal o estudo da incorporação de fibras de cânhamo industrial num material compósito para a construção, de forma a identificar e avaliar o desempenho da melhor composição tendo em conta a sua aplicação em elementos de construção não estruturais, tais como, revestimentos, paredes não estruturais, paredes divisórias ou regularização de pisos.

3. Metodologia

Para tal, serão estudadas diversas composições de betão de cânhamo que serão sujeitas a diferentes testes. Será utilizado cânhamo industrial fornecido sobre a forma de “granulado”, isto é, será utilizada a parte interna do caule da planta (fibras celulósicas) já separada da fibra externa e triturada.

Assim sendo, para um maior contributo na realização do principal objetivo, serão considerados outros objetivos, nomeadamente: realização de pesquisa bibliográfica sobre os produtos à base de cânhamo para a construção civil, sobretudo sobre o betão de cânhamo;

desenvolver um betão leve à base de cânhamo industrial, através da realização de testes de conjugação de diversos materiais, de forma a escolher a mistura mais viável mediante os testes realizados; compreender os fatores que influenciam o comportamento mecânico das misturas, para auxiliar na seleção das mesmas; e avaliar o desempenho das misturas selecionadas.

Em suma, pretende-se contribuir para uma maior sustentabilidade do setor da construção, promovendo um material ecológico, como alternativa a materiais convencionais, divulgando os seus benefícios quer a nível nacional quer a nível internacional, e conseqüente promoção de novas conjugações de materiais para obtenção de um novo material de alto desempenho.

4. Estrutura da dissertação

A presente dissertação consiste no estudo de materiais compósitos com a incorporação de cânhamo industrial, desenvolvendo um material sustentável para possível aplicação na construção.

Com o objetivo de elaborar esta dissertação, inicialmente foi necessário reunir um conjunto de informação, à base de conhecimentos e estudos anteriormente realizados, que facilitem o desenvolvimento do mesmo. Assim, esta pesquisa inicial, complementa uma pesquisa bibliográfica, com recurso a livros, internet através de sites nacionais e internacionais, assim como, dissertações de mestrado e de doutoramento disponíveis no repositório da Universidade do Minho e outras Universidades, que disponham de informação relativa à temática pretendida. Toda esta pesquisa, insere-se particularmente no capítulo 1 e 2, embora ao longo dos outros capítulos, esteja evidenciada muita pesquisa elaborada relativamente a esta temática.

Seguidamente, e após conciliar toda a informação disponível adequada ao âmbito, o capítulo 3, apresenta de forma clara todos os materiais envolvidos no desenvolvimento deste estudo, onde são demonstradas as suas características particulares, a aplicação no ramo da construção, e as constituições utilizadas. Ainda neste capítulo, são descritos os trabalhos laboratoriais realizados, demonstrando de que forma estes devem e foram realizados, bem como, a preparação dos provetes e respetivos tempos de cura.

Seguidamente, o capítulo 5, expõe todos os resultados obtidos após realização de ensaios e conseqüentemente uma breve discussão dos resultados obtidos.

Finalizados os ensaios, e apurados os resultados, estes serão analisados a fim de apurar qual a melhor solução para o fim proposto, e todas as conclusões inerentes ao estudo. Estas conclusões estão expressas no capítulo 6, onde são apresentados também possíveis estudos futuros, resultado das conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

CAPÍTULO II – ESTADO DA ARTE

1. O Cânhamo

O Cânhamo industrial é uma planta, pertencente à família das Urticáceas, subfamília das Cannaboideas, de origem insuficientemente esclarecida, em que o seu nome científico é *Cannabis Sativa L.*



Fig. 1 - Espécie Cânhamo (Planfor, 2014)

E com os conhecimentos de hoje em dia, pode-se afirmar, sem qualquer dúvida que, a partir desta espécie tudo se faz, menos “fumar”.

Verifica-se cada vez mais um enorme interesse no cultivo e uso da planta cânhamo, uma vez que, esta apresenta um inúmero leque de qualidades e vantagens ecológicas, como a sua elevada rentabilidade, que resultam numa combinação ideal para benefício do seu uso.

É uma planta que cresce de forma natural, após semeada, não precisando de pesticidas nem herbicidas, e proporciona o azoto que a terra necessita para se tornar fértil. Esta também é 30% mais resistente do que o algodão, possuindo um grande poder de absorção (de 20 a 30% do seu peso); não se deteriora; é anti-estática; reflete mais de 95% dos raios UV; resiste ao mofo e aos micróbios; possui um ótimo poder isolante, assim como, melhora a saúde do solo eliminando as ervas daninhas (C.Romão, 2000).

O cânhamo é também uma planta herbácea, e dioica (espécie em que os sexos se encontram separados em indivíduos diferentes), atingindo em condições normais, grande altura, principalmente o indivíduo feminino, apresentando uma das fibras mais longas e mais produtivas da natureza, devido à sua alta resistência. A principal diferença entre o indivíduo feminino o masculino, que só se consegue distinguir quando estas atingem entre mês e meio a dois meses, é que as folhas do indivíduo feminino normalmente são maiores e produzem mais biomassa, assim como, ao contrário das femininas, o indivíduo masculino apresenta um caule delgado, perde as folhas após floração, acentuando-se o dimorfismo sexual e na extremidade superior do caule, começam a aparecer cachos e flores. Os indivíduos femininos apresentam flores de forma agrupada na axila das folhas, localizadas na extremidade dos ramos. Morfologicamente são idênticas no estágio vegetativo e raramente aparecem na mesma planta, aliás, quando acontece há sempre uma predominante (M.Santos, 2013).



Fig. 2 - Exemplos de cânhamo planta masculina e feminina (M.Santos, 2013)

As fibras de cânhamo industrial, *cannabis sativa L*, de um índice quase nulo de substâncias psicotrópicas ou *tetracannabinol*, THC, são da categoria das fibras de juta, sisal, linho e coco. Sendo neste componente a principal diferença entre o cânhamo e a marijuana (C.Romão, 2000).

Ambas vêm da mesma planta, *Cannabis Sativa L*, no entanto, o THC que provém do florescimento da planta é o componente ativo da marijuana, e por outro lado, a planta cânhamo é cultivada pelo seu caule e sementes, não pelas suas flores com um teor

mínimo de THC, em que, os valores da marijuana rondam os 15 a 20%, enquanto que, no cânhamo industrial os 0,3% (C.Romão, 2000).

Assim sendo, esta planta faz parte de um alargado leque de culturas vegetais, biodegradáveis e amigas do ambiente pela sua capacidade renovável e de benefício para os solos, apresentando uma constituição química, apresentada no quadro seguinte, através dos principais componentes.

Tabela 1- Composição - Fibras de cânhamo (R.Eires, 2006)

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

O cânhamo tem sido cultivado para a extração das fibras exteriores da planta pela sua elevada resistência e flexibilidade para inúmeras aplicações. No entanto, após a remoção destas fibras sobra o caule de onde são extraídas, representando cerca de 40 a 60% da massa do caule (4-6 t/ha). Este subproduto, conhecido por “*hemphurds*” ou “*chévenotte*”, assemelha-se a pequenas aparas de madeira, mas diferem pela sua extrema leveza e absorção (R.Eires, 2006).



Fig.3 - Fibras de caule de cânhamo (R.Eires, 2006)

Estas fibras possibilitam diversos usos tais como: na comida, pois contêm um elevado grau de AGE (ácidos gordos essenciais) considerada a melhor para o equilíbrio da saúde humana; cosméticos, pois tem excelentes propriedades regenerativas e hidratantes para a recuperação de doenças de pele; têxteis, desde meias, sapatos, malas e mochilas, cortinas, toalhas de mesa e cordas, utilizadas devido à dimensão da mesma e finura, bastantes delicadas para serem tecidas com seda; combustível, produtor número um de biomassa na terra, sendo um adversário atual e significativo na condição económica do combustível limpo; papel, em que, resiste à decomposição e não se torna amarelo como o papel derivado das árvores; produtos de limpeza, em que, testes Europeus, indicam que os produtos de limpeza com agentes naturais baseados no óleo da semente de cânhamo trabalham de modo igual ou melhor do que outros baseados em óleos como o coco, soja e canoula; tintas, uma vez que, óleo de cânhamo contém agentes de secagem naturais usados nas tintas, nos vernizes e isolantes, que tornam a madeira altamente resistente à água; e, finalmente, materiais de construção, devido à sua alta resistência e durabilidade (C.Romão, 2000).



Fig. 4 - Aplicabilidades das fibras de cânhamo (C.Romão, 2000)

Curiosidades:

«As primeiras calças de ganga azul da Levis, foram trabalhadas em lona de vela de barco, 100% feita de cânhamo. A lona foi importada de Nim-França e assim surgiu o “de Nim” ou “denim”.»

«A Bíblia de Gutenberg - o primeiro livro a ser impresso - foi impresso em papel de cânhamo e 600 anos depois as páginas continuam em boas condições. Os esboços originais da Declaração da Independência e da Constituição Americana foram, também, impressos em papel de cânhamo.»

2. Evolução histórica

2.1 Evolução histórica internacional

O cânhamo foi descoberto pelos chineses a 8500 anos atrás, sendo difundido pela Ásia, Egito e Europa entre 1000 a 2000 A.C. O cultivo na Europa cresceu sobretudo a partir de 500 D.C. com os povos Franceses, Alemães e Vikings pelas suas múltiplas aplicações, como a cordoaria, têxteis, reforço da construção em terra crua ou argila, bem como usos de impermeabilização à base dos óleos. Em 1987, surgem as primeiras construções à base de cânhamo, terra e cal na região de Nantes em França. Entre 1500 a 1600 foi levado para as Américas do Sul e Norte pelos Portugueses e Espanhóis, principalmente para a preparação de cabos e velas para as embarcações. Nos séculos XVIII e XIX o desenvolvimento das culturas do algodão, bem como máquinas de desfibração, e a descoberta de fibras sintéticas provocam uma decadência na cultura do cânhamo. Em 1930 surge a primeira máquina desfibradora do cânhamo, mas no entanto pouco tempo depois surgem as fibras Nylon que levou a uma nova queda. Entre 1971 - 1998 tornou-se ilegal o cultivo de cânhamo na Europa devido à sua possível mistura com o cannabis psicotrópico, a “marijuana” (R.Eires, 2006).

Hoje em dia, já existem companhias industriais a fabricar materiais isolantes, substitutos do betão, da fibra de vidro e plásticos, a partir do caule da planta, principalmente na França e Alemanha. Os maiores produtores atualmente são a China, considerada o maior exportador mundial de têxteis e papel de cânhamo e a França, que em 1994 colheu mais de dez mil toneladas, com crescente aumento de produção (R.Eires, 2006 & CânhamoHouseHemp, 2009).

Tabela 2 – Usos do cânhamo na Europa, 1999 (R.Eires, 2006)

Classe do produto	Quantidade consumida (ton)	Percentagem relativa
Algumas especialidades (papel de cigarro; notas de banco; filtros técnicos e produtos de higiene)	24882	87
Compósitos de carros	1,770	6
Construção e materiais de isolamento térmico	1,095	4
Geotêxteis	234	0,8
Outros	650	2,2
Total	26,821	100

No que se refere ao cultivo agrícola, desde 1999 que se tem observado um crescimento nesta área em alguns países, nomeadamente, a Roménia, que neste mesmo ano semeou 40000 acres (unidade de medida da terra), enquanto que, o Canadá semeou 30000 acres, assim como, o Reino Unido, com apenas 4000 acres, mas com boas perspectivas de crescimento para os anos seguintes (R.Eires, 2006, *CânhamoHouseHemp*, 2009 & CANAPOR, 2013).

2.2 Evolução histórica em Portugal

Em Portugal, o cânhamo já é cultivado desde o séc. VIII, por influência árabe e foi de grande importância por volta dos séc. XV e XVI, época dos descobrimentos, pois era a matéria-prima para a preparação de cabos e velas para as embarcações.

Nos reinados de D. Manuel I (1495-1521) e de D. João III (1521-1557) estabeleceram-se, em território nacional, plantações de cânhamo para a sua posterior transformação e fabricação de massame, amarras, cordame e aparelhagem das frotas marítimas, nas

localidades e regiões escolhidas pela sua capacidade e excelência para a produção de cânhamo (que exige bons solos), controlando a produção, impondo ditames aos lavradores e a sua referida transformação em regime de Monopólio estatal. De 1799 existem dois registos, por ordem de Sua Majestade, intitulados de “Tratado do Cânhamo” e “Descrição sobre a cultura do *Canamo*, ou *Canave*”.

Entre os anos de 1935 e 1970, foram os anos mais impulsionadores desta cultura, à data regente agrícola, o Sr. Celestino Graça, assim como, na indústria transformadora a Companhia de Fiação e Tecidos de Torres Novas.

Em 1939 cultivaram-se 8 hectares, e em 1944 o salto deu-se para os 800 hectares de cultivo de Cânhamo (C.Romão, 2000).

Atualmente, a entidade que mais se destaca no cultivo e exportação da planta é a “CANAPOR – Cooperativa para o desenvolvimento do cânhamo”, contudo, é de referir que em 1998 estavam registados 23 produtores, segundo informações do INGA (GPP, 2011).

Não existem limitações quanto ao cultivo do cânhamo, sendo apenas necessário informar o Ministério da Agricultura e as autoridades nacionais e locais (CANAPOR, 2013).

3. Sustentabilidade na utilização do cânhamo (económica, social e ambiente)

Na ótica do conceito da sustentabilidade, os conceitos associados, como a economia, o desenvolvimento social e a conservação ambiental, são áreas que são abrangidas, com igual interesse, no âmbito da planta em estudo.

Ao nível ambiental, o cânhamo é uma colheita bastante positiva, pois melhora a qualidade do solo à medida que cresce, não precisa de herbicidas e é naturalmente resistente aos insectos, aos fungos e a outras pestes. É uma planta que cresce rapidamente durante o seu período vegetativo, tornando-se alta e grossa, suprimindo as ervas daninhas, assim como, faz sombra e cobre o chão com uma camada de matéria

vegetal que serve para fertilizar a terra que as suas raízes fundas partem e arejam. Estes atributos promovem uma boa saúde microbial do solo e deixam a terra de modo a que seja facilmente trabalhada e capaz de reter humidade durante a época seguinte (C.Romão, 2000).

Relativamente ao nível económico, em 1993 as receitas de vendas a retalho dos produtos de cânhamo atingiram os 5 Milhões de Dólares no mundo inteiro, enquanto no ano 2000 essas mesmas receitas atingiram os 150 Milhões de Dólares, 80 a 90 dos quais, só nos Estados Unidos. Contudo, estas considerações são uma pequena fatia do mercado, tendo em conta o potencial do cânhamo e não contabilizando com a utilização do cânhamo cru para uso industrial, como a indústria automóvel (C.Romão, 2000).

Socialmente, o que se verifica é que, só em tempos de crises mundiais se autoriza massivamente o cultivo desta planta e a valorizam, como se verificou na epopeia dos Descobrimentos; após a independência de 1640, assim como, após a 1º e 2º Guerra Mundial. Contudo, atualmente, ainda é uma planta pouco explorada, cultivada, aplicada, principalmente na área da construção. Assim, e tendo em conta que, ainda vivemos numa sociedade que muito se rege pelo convencional, e associa esta, a outras utilizações, ainda existe muito receio e desinteresse pela sua utilização (CANAPOR, 2013).

Em suma, à medida que a população cresce, a pressão sobre os recursos não-renováveis está a aumentar, e conseqüentemente a exigência por materiais renováveis a acompanhar essa necessidade, e sendo o cânhamo uma planta que em muito contribui para esta compensação, prevê-se um maior investimento nesta indústria e promoção da mesma.

4. Cânhamo do cultivo à transformação

A sementeira é uma etapa fundamental e deve ser realizada numa terra quente e bem seca com uma boa preparação do solo para favorecer uma emergência rápida e homogénea. A densidade de sementeira situa-se entre os 40-70Kg/ha sendo a mais utilizada de 50Kg/ha. Contudo, as sementeiras com alta densidade favorecem a colheita de fibras desenvolvendo-se o caule e dando um mínimo de folhas. Geralmente a

densidade mais procurada é entre 250 e 300 grãos /m² com o objetivo de uma emergência da ordem de 200 a 220 pés/m² (N.Pacheco, 2009).

Sendo uma planta que cresce rapidamente, e podendo atingir uma altura média, entre 1,5 a 4m, tem um período de crescimento de aproximadamente 100 a 120 dias. Esta apresenta um porte ereto, folhas compostas, caule sucoso, com cavidade medular e casca fibrosa recoberta de pequenos pelos ásperos, que depois das plantas secas adquirem ainda maior aspereza. Quando esta é cultivada num espaço limitado, a planta do cânhamo tem tendência a reduzir-se a uma haste única e esguia, caso disponha de muito espaço, é suscetível de se ramificar, quase desde a base, tendo uma aparência de pequeno arbusto (M.Santos, 2013).



Fig. 5 - Sementeira com 100 dias de cultivo (M.Santos, 2013)

As épocas mais propícias para o seu cultivo são a Primavera e o Verão, uma vez que, a planta de cânhamo necessita de um clima quente ou temperado para garantir o seu crescimento. Sendo assim, constata-se que Portugal é um local favorável para o seu cultivo (N.Pacheco, 2009).

Embora, o cultivo desta espécie se empregue a diversas aplicabilidades, a que mais se destaca é a extração das fibras exteriores da planta, que após removidas, fica a sobrar o interior do caule, sendo um cerne lenhoso. Este assemelha-se a pequenas aparas de madeira, mas diferem devido à extrema leveza e absorção, apresentando diversas aplicabilidades, incluindo a construção civil (R.Eires, 2006 e M.Santos, 2013).



Fig. 6 - Cerne lenhoso do núcleo da planta de cânhamo (R.Eires, 2006)

Assim, a extração da fibra, sofre um processo *Billings*, onde se curte a fibra em banho com água a 32°C, expondo esta em seguida ao ar e luz, em que as sementes são retiradas do fruto da flor e através do processo de esmagamento resulta o óleo do cânhamo. No final, coloca-se numa estufa de ar quente (L.Maia, 2013).

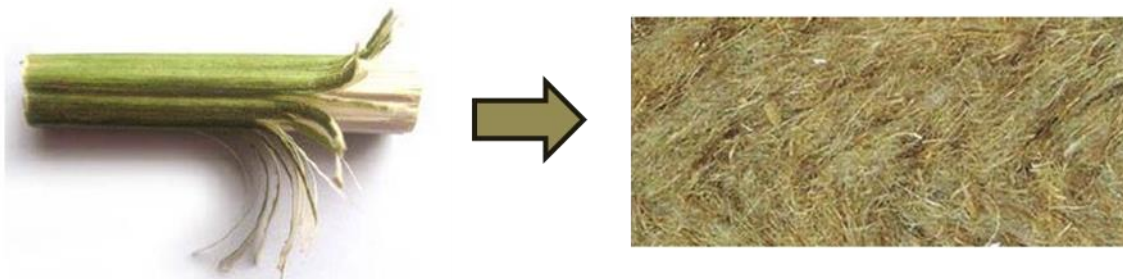


Fig. 7 - Processo de extração à transformação das fibras de cânhamo (R.Eires, 2006)

5. O cânhamo industrial na construção – aplicabilidades

5.1 Hempcrete

Este é a nova alternativa “verde” ao betão e daí o aparecimento deste novo conceito.

Hemp = cânhamo + crete (concrete) = betão

Ou seja, associando que o betão é composto por um agregado, um ligante e aditivos, neste caso concreto, o agregado é o cânhamo, os ligantes a cal aérea e cal hidráulica, e os aditivos podem ser a pozolana, metacaulino, argila em pó, areia e possíveis aditivos

minerais. Assim, este composto é equiparado a um betão, tendo em conta a sua constituição, mas sem base de cimento.



Fig. 8 - Constituição do hempcrete

Sendo um produto de construção único, este apresenta propriedades que lhe conferem a viabilidade do seu uso, nomeadamente, baixa densidade; elevado nível de isolamento térmico e acústico; elevado nível de inércia térmica; boa permeabilidade ao vapor; boa flexibilidade; resistente ao fogo e infestações; pode reduzir significativamente as emissões de CO₂, uma vez que, retém aproximadamente 110Kg por m³ de parede; reduzido nível de desperdícios, assim como, os rigorosos controlos de qualidade no fabrico, asseguram consistência e conformidade na apresentação final seleccionada, isto é, apresenta uma boa estética. Constata-se então, que é um excelente componente de aplicabilidade no setor de construção, quer para edifícios, quer para os espaços habitacionais e de trabalho, proporcionando um ambiente saudável (Raiz verde, 2009).

Além disso, o *Hempcrete* tem a possibilidade de vir a estabelecer a diferença no futuro da construção sustentável.

Contudo, a prática de *design* atual pressupõe que, este componente não contribui para a capacidade estrutural da parede, mas beneficia significativamente a capacidade de carga vertical das vigas de madeira, assim como, aumenta tanto a carga de rotura como a rigidez (Raiz verde, 2009).

Relativamente, à resistência à compressão, existem alguns estudos já realizados, que demonstram as gamas de resistência de compostos, tendo em conta toda a vertente descrita. Na Tabela 3 apresentam-se os estudos analisados, os respetivos materiais e processos de moldagem utilizados, bem como os principais resultados obtidos, as resistências à compressão e a massa volúmica.

Tabela 3- Estudos realizados da resistência à compressão

Referência	Composição(A gregados, ligantes e aditivos)	Processo de moldagem	Principais resultados obtidos (Positivos/ negativos)	Resistência à compressão	Massa volúmica
Eires, 2006	Fibras internas de Cânhamo; pasta de papel; metacaulino e cal. Aditivos - bórax e cloreto de cálcio.	Compactação manual (em cubos 50x50x50mm) e compactação mecânica (em placas 200x200x0,35mm)	- Maior coesão com a pasta de papel adicionada - Endurecimento inicial demorado (2 semanas) - Baixas resistências mecânicas - Elevada absorção de água.	0,5MPa	Cubos - 498Kg/m ³ Placas - 416Kg/m ³
Gross, C. & Walker, P., 2014	Fibras de cânhamo, cal e água	Painéis de parede – espessuras variáveis (2,4x2,4m)	- O tempo de cura afeta a rigidez do composto - Ductilidade - Baixa densidade, que aumenta a resistência	0,35 a 0,45 N/mm ² (varia com quantidades de cânhamo)	
Tradical (Building lime Inovation)	Cana de cânhamo; Cal hidráulica; Pozo lana e materiais minerais	Processo Mecânico	- Auto regulação da humidade - Isolamento suficiente térmico e acústico - Alta elasticidade - Resistente ao fogo e pragas	0,9 Mpa	330 Kg/m ³
Santos, M., 2013 (baseado projeto Grã-Bretanha)	Cerne lenhoso do interior cânhamo, cal hidráulica, água e areia	Blocos de Betão Cânhamo	- Com esta gama de resistência não pode ser utilizado como elemento estrutural - Boa inércia térmica	0,46 Mpa para paredes (resistência baixa, não	

- Boas propriedades térmicas Reciclável	aconselhável para elemento estrutural) e 0,84 para pavimentos
--	---

5.2 Aplicação de fibras em “betão de cânhamo”

O cânhamo é um material que já em tempos passados era utilizado para reforçar tijolos de argila, contudo, atualmente, constata-se que este é mais utilizado no reforço de materiais à base de cimento, tais como, betões, argamassas, blocos e placas. Este reforço utiliza a celulose proveniente das fibras internas do cânhamo, sendo um bio compósito feito a partir do núcleo lenhoso do mesmo, em fragmentos, misturado com um aglutinante. É de salientar que este é extraído do núcleo, devido ao seu alto teor em sílica, permitindo uma boa ligação com a cal, ativando as suas fibras na presença de cal e água, conduzindo a um processo de petrificação (R.Eires, 2006 e M.Santos, 2013).

Existem diversas composições com utilização da cal, nomeadamente aérea ou hidráulica, considerando diferentes aditivos adicionados em quantidades distintas, como é exemplo o gesso, cimento, produtos pozolânicos, pó de pedra e areia.

Assim, o betão de cânhamo tem diversas aplicações, tais como, em coberturas, paredes interiores e exteriores, substituindo assim a parede de tijolo convencional com o isolamento térmico ou acústico e revestimentos com gesso cartonado, existindo três formas de aplicação, por blocos pré-fabricados, por compactação e por pulverização (R.Eires, 2006 e M.Santos, 2013).

5.2.1 Blocos pré-fabricados

Estes, são fabricados em betão de cânhamo, com medidas *standard*, sendo considerado um método seco de construção. Os blocos são semelhantes ao tijolo tradicional, suportados por uma estrutura de madeira, colocados sobre pregos, que encaixam em perfurações pré-feitas nos mesmos, que lhes concede a estabilidade necessária (M.Santos, 2013).

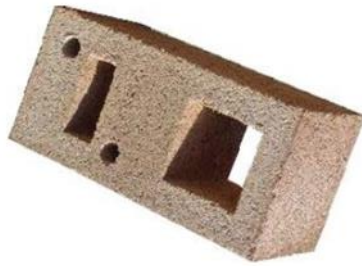


Fig. 9 - Exemplo bloco pré-fabricado de betão de cânhamo (M.Santos, 2013)

5.2.2 Compactação

Este método consiste na utilização de uma estrutura de madeira como suporte de cargas e o seu interior é preenchido com betão de cânhamo. Após cofragem, este é compactado à mão ou com maquinaria própria, resultando num produto duro e sem espaços de ar. Contudo, as fibras não podem ser compactadas de forma excessiva pois as propriedades térmicas irão ser reduzidas (M.Santos, 2013).



Fig. 10 - Exemplo método de compactação (M.Santos, 2013)

5.2.3 Pulverização

Este método é equiparado ao de aplicação do betão projetado, sendo bastante rápida a sua técnica de aplicação, contudo necessita de pessoal especializado para a sua realização (M.Santos, 2013).



Fig. 11 - Exemplo do método de pulverização (M.Santos, 2013)

Uma característica deste tipo de construções é a capacidade de permitir uma boa permeabilidade ao vapor de água, sobretudo com ligantes à base de cal.

Comparando estes processos com o convencional (parede com tijolo e isolamento), para além do fator biológico e de carácter ecológico, têm a capacidade de permitir a respiração natural do edifício, prevenindo a ocorrência de condensações dada à sua capacidade de absorção e resistência à água, sem impermeabilização. Além disso, estes processos apresentam outras vantagens ao nível da construção, nomeadamente: a presença de um alto teor em sílica e porosidade do material concedem boas propriedades térmicas e acústicas; a sua flexibilidade e a capacidade de se ajustar aos movimentos, próprios de qualquer construção, evitam o surgimento de fissuras; e é um material não inflamável e não liberta fumos tóxicos. Existem ainda, outras vantagens em relação a outras construções, como as construções em terra crua ou em fardos de palha, pois é resistente a insetos, fungos e bactérias (R.Eires, 2006 e M.Santos, 2013).

5.3 Outras aplicabilidades no setor

Atualmente, os materiais mais utilizados como isolamento são as fibras de vidro, fibras cerâmicas e fibras de lã de rocha, contudo, estes materiais para além de terem uma elevada energia incorporada, envolvem a produção de bastante resíduos. Assim sendo, o cânhamo é uma ótima alternativa ao uso dos materiais mais convencionais, devido às suas propriedades (R.Eires, 2006 e M.Santos, 2013).

As fibras exteriores, resultantes do caule do cânhamo, são utilizadas como isolamento térmico e acústico em edifícios pelo seu coeficiente térmico muito baixo, cerca de $0,039 \text{ W/m}^\circ \text{K}$, o que o torna um bom material isolante, podendo ser utilizados em paredes, pisos e coberturas. Um outro benefício é a energia incorporada que é de $0,0014 \text{ MJ/Kg}$ (R.Eires, 2006 e M.Santos, 2013).

Aglomerando as fibras de cânhamo, ligeiramente comprimidas, formam-se placas flexíveis, sem qualquer tipo de ligante, apenas sujeitas a um tratamento anti-fogo (R.Eires, 2006 e M.Santos, 2013).

Em suma, verifica-se um crescimento no uso deste material, contudo, devido ao seu preço, comparando por exemplo com a lã mineral, este é um dos principais entraves ao maior crescimento (M.Santos, 2013).



Fig. 12 - Exemplos de isolamento em painel em fibra de cânhamo (R.Eires, 2006)

Utilizando fibras de cânhamo, também se consegue obter MDF (Médium DensityFiberboard), podendo ser aplicadas na construção como placas, vigas e produtos moldados como o mobiliário. Uma outra obtenção, são os bioplásticos, produto totalmente biodegradável, resistente a elevadas temperaturas, em comparação com outros plásticos. Ambos são compósitos fabricados recorrendo a sistemas de compressão adequados e uma cura térmica a elevadas temperaturas (R.Eires, 2006 e M.Santos, 2013).

Após constatações, pode-se afirmar que, para além do forte crescimento na utilização deste material, o cânhamo apresenta diversas utilidades na construção, como podemos verificar no quadro que se segue.

Tabela 4 - Utilização das diferentes partes do cânhamo na construção (M.Santos, 2013)

		Descrição	Aplicação	Produtos
Cânhamo	Fibras	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Matérias-primas renováveis; ▪ Não tóxico; ▪ Com baixas emissões CO₂; ▪ Com baixa energia incorporada; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Materiais de isolamentos: térmicos e acústicos de paredes, pavimentos e coberturas; ▪ Placas (MDF). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Isolamento de cânhamo: <ul style="list-style-type: none"> ○ Bom regulador de humidade; ○ Elevada resistência térmica e acústica; ○ $\lambda=0,038$ W/m °C.
	Cerne lenhoso do interior da planta	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reciclável/reutilizável. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Paredes; ▪ Pavimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Betão de cânhamo: <ul style="list-style-type: none"> ○ Material composto por cânhamo, cal e água; ○ Absorve CO₂; ○ Boa resistência ao fogo; ○ Boa permeabilidade; ○ Elevada resistência térmica e acústica.

5.4 Construções em cânhamo

Existem já inúmeros exemplos da aplicabilidade do cânhamo na construção, que evidenciam a viabilidade da substituição de materiais tradicionais, sendo um lembrete dos incríveis benefícios que podem ser obtidos a partir da integração deste material, nomeadamente:

- Uma casa de 315 metros quadrados feita essencialmente com cânhamo, construída em Ashville, no estado americano da Carolina do Norte;



Fig. 13 - Casa construída em cânhamo, E.U.A (E.Pegurier, 2010)

- Casa construída com fibra de cânhamo resistente a furacões, desenvolvida por arquitetos e pesquisadores da *University of Bath*, na Inglaterra;



Fig. 14 - Casa construída em cânhamo, Inglaterra (Catraca livre, 2013)

- Casa moderna construída com cânhamo na França;



Fig. 15 - Casa moderna em cânhamo, França (Cultura, 2014)

- Casa construída na Alemanha, tendo como agregado o cânhamo, ligante a cal, e alguns aditivos como o caso do gesso, produtos pozolânicos, pó de pedra e areia;



Fig. 16 - Casa em cânhamo, Alemanha (Cultura, 2014)

- Habitação construída em África, mais propriamente em Noordhoek, considerado o “edifício mais sustentável em África”.



Fig. 17 - Casa em cânhamo, África (Smoke Buddies, 2013)

- Em Portugal há conhecimento de apenas uma construção realizada com este material, situada na freguesia de Recarei, Concelho de Paredes, Distrito do Porto, do qual não existe qualquer registo fotográfico na internet.

5.5 Avaliação do ciclo de vida

Uma das principais vantagens da utilização do cânhamo na indústria da construção, é a diminuição da libertação de CO₂, diminuição de materiais tóxicos e a consequente valorização de materiais renováveis, tendo em conta, o enorme impacto ambiental criado por este mesmo setor. Além disso, promove o crescimento da produção agrícola da planta, sendo uma alternativa à desflorestação, assim como, reduz a extração mineral,

pois não é necessário o uso de agregados convencionais, introduzindo-se somente pequenas percentagens na utilização de aditivos (R.Eires, 2006 e M.Santos, 2013).

Relativamente à energia utilizada para a plantação, colheita e extração, tendo em consideração a sua alta leveza como material, esta é mínima, não necessitando de tratamentos químicos. É de salientar também que, os custos associados ao transporte deste material, também serão reduzidos (R.Eires, 2006 e M.Santos, 2013).

Em caso de uma eventual demolição, devido à natureza orgânica da planta, esta permite a sua biodegradabilidade, diminuindo assim o impacto ambiental (R.Eires, 2006 e M.Santos, 2013).

5.6 Legislação

Tendo em conta, a proximidade do cânhamo com a cannabis (marijuana), no ponto de vista de origem, a regulamentação desta cultura é muito restrita, embora estas variem unicamente no seu teor de *Tetra Hidro Cannabiol*, que vai desde 0,2% nas variedades autorizadas a mais de 10% para as variedades utilizadas como droga (DRAPNorte,2001).

No que diz respeito a Portugal, existe o Decreto Regulamentar nº23/99 de 22 de Outubro 1999, que define as regras pelas quais é permitido realizar a cultura do cânhamo industrial, que estabelece a obrigatoriedade na comunicação à Polícia Judiciária da sua plantação (DL nº23/99, 2009).

É de salientar também que, existem apoios previstos, estabelecidos no Regulamento (CE) 1234/2007 de ajuda à transformação até à campanha de comercialização (DRAPNorte,2001).

CAPÍTULO III – MATERIAIS E MÉTODOS

1. Caracterização dos materiais

1.1 Agregado

Segundo a Norma NP EN 13139:2005, os agregados são classificados segundo a origem, as dimensões das partículas e massa volúmica.

No que diz respeito à origem, estes classificam-se em naturais de origem mineral, tendo sido sujeitos apenas a processamento mecânico; em artificiais, também de origem mineral, obtidos através de processos industriais, envolvendo por exemplo modificações térmicas; e em reciclados, que resultam do processamento de materiais inorgânicos anteriormente utilizados na construção.

Relativamente às dimensões das partículas, a norma estabelece a designação de agregado fino como o agregado de menores dimensões, em que D é o menor ou igual a 4mm, sendo D a abertura do peneiro superior; um agregado grosso, quando possui um valor de D de maior ou igual a 44mm e d é maior ou igual a 2mm, em que d é a abertura do peneiro inferior.

Finalmente, segundo a máxima volúmica, estes são classificados, conforme a densidade do material que constitui as partículas.

Deste modo, a qualidade do agregado e a dimensão das partículas são essenciais na produção de uma composição, conferindo-lhe um bom desempenho mecânico, influenciando de forma significativa as características e o comportamento da mesma.

Assim, existem fatores que devem ser analisados, de forma a garantir a viabilidade da composição, nomeadamente, a origem, forma das partículas e a granulometria.

1.1.1 O cânhamo



Fig. 18 – Planta cânhamo triturado

As pequenas aparas de cânhamo utilizadas na realização deste trabalho, foram gentilmente cedidas pela única empresa portuguesa especializada, a CANAPOR, Cooperativa para o Desenvolvimento do Cânhamo, na importação e apoio entre os agricultores interessados e o *Sindicat du Chanvre*, a associação europeia de sementes de cânhamo industrial. Estas fibras resultantes da extração das fibras exteriores da planta de cânhamo, correspondem ao interior celulósico da planta. Estas apresentam uma granulometria, que rondam o 0,2 a 0,25 cm de comprimento.

Contudo, e uma vez que estas foram cedidas de forma separada, ou seja, um saco com partículas mais pequenas e outro com partículas maiores, houve uma necessidade de realizar um teste de granulometria, a fim de apurar a granulometria das mesmas, pois o objetivo será contemplar numa mistura, várias dimensões das aparas.



Fig. 19 – Cânhamo dividido em partículas grandes e pequenas

Assim a determinação da curva granulométrica foi realizada segundo a norma NP-1379, para análise granulométrica de inertes para argamassas e betões em peneiros normalizados, onde é de frisar que, como este material não tem uma forma regular, é mais difícil obter uma granulometria exata.



Fig. 20 - Misturadora

Na amostra de mistura com 50g de cânhamo, que inclui 25g de partículas mais pequenas e 25g de partículas maiores, constatou-se dimensões médias das aparas, essencialmente entre 8 e 0,5 mm.

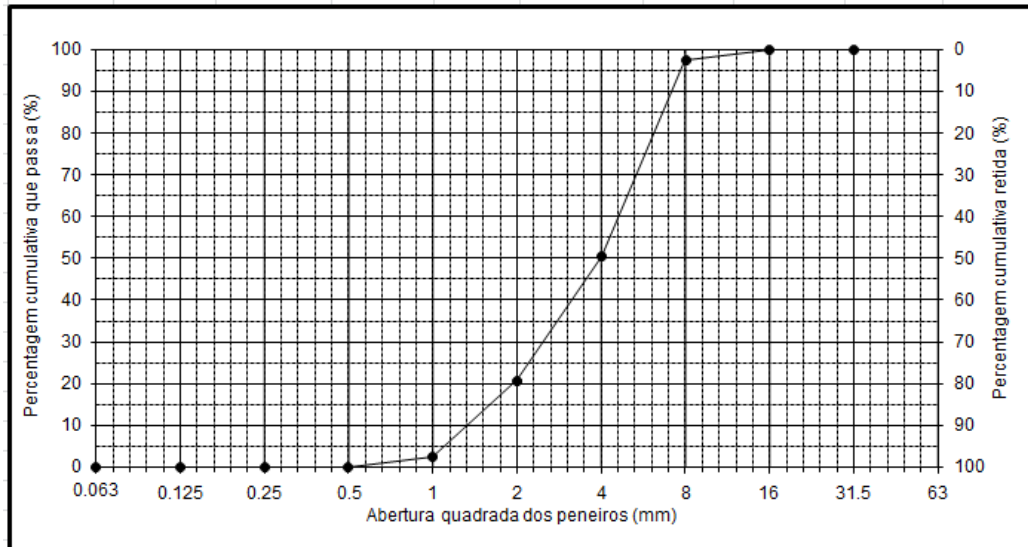


Fig. 21 - Curva granulométrica

As suas características asseguram também o conforto acústico, controlo da humidade, resistência térmica, como também, uma decoração elegante e acolhedora.

1.1.1.1 Composição utilizada

O cânhamo utilizado, foi gentilmente cedido pela empresa CANAPOR, sob a forma de granulado, ou seja, devidamente triturado.

A massa volúmica deste material corresponde em média entre 110 a 150 Kg/m³, característica esta que confere uma extrema leveza aos compósitos em que é empregue, enquanto agregado.

Os agregados apresentam uma densidade que varia entre os 130 e 140 Kg/m³, sendo que isoladamente apresenta uma condutibilidade térmica que ronda os 0,048 W/m.k.

A tabela que se segue, apresenta a percentagem de cinzas contidas no cânhamo utilizado.

Tabela 5 - Percentagem de cinzas contidas no cânhamo

Elemento	% contida nas cinzas do cânhamo utilizado
Óxido de cálcio (CaO)	44,057
Sílica (SiO ₂)	24,649
Óxido de Potássio (K ₂ O)	12,113
Óxido de Sódio (Na ₂ O)	9,783
Óxido de enxofre (SO ₃)	4,641
Óxido de fósforo (P ₂ O ₅)	3,025
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	0,782
Crômio (Cr)	0,156
Óxido de Magnésio (Mg)	0,411
Cloro (Cl)	0,097
Óxido de titânio (TiO ₂)	0,091
Manganésio (Mn)	0,067
Estrôncio (Sr)	0,056
Cobre (Cu)	0,037
Zinco (Zn)	0,018

1.2 Ligantes

Um ligante é um material com capacidade de reunir uma proporção de materiais agregados que, quando misturados com água, formam uma pasta que faz presa e endurece, garantindo coesão e resistência mecânica à composição, influenciando não só as propriedades como o desempenho.

A figura que se segue apresenta, de uma forma esquemática, a classificação dos ligantes.

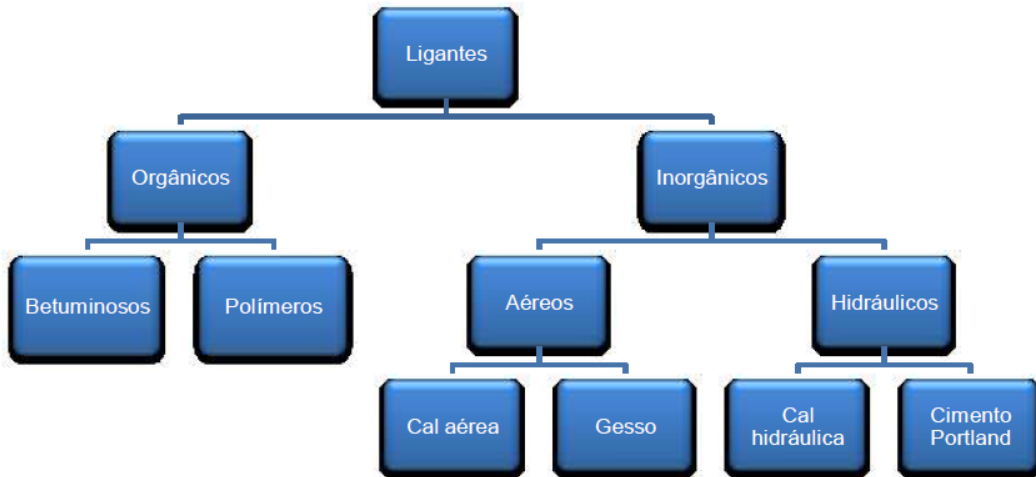
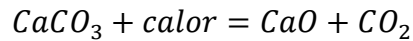


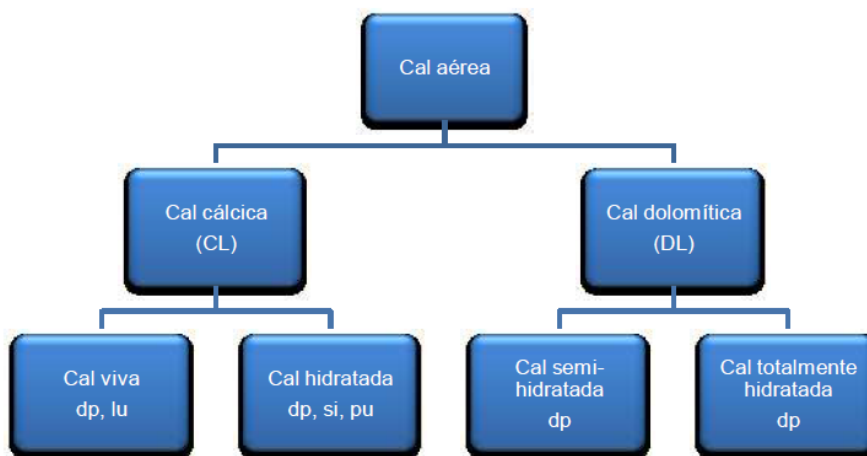
Fig. 22 - Classificação dos ligantes

1.2.1 A cal

A cal, também conhecida como cal viva, cal virgem ou óxido de cálcio, é uma substância obtida através de um processo de combustão, designado por calcinação. Ou seja, o calcário depois de extraído, selecionado e moído, é submetido a elevadas temperaturas em fornos industriais, cerca de 900-1200°C, proporcionando uma reação endotérmica, de onde resulta o óxido de cálcio (CaO) e o dióxido de carbono (CO₂).



Esta pode ser classificada da seguinte forma:



Notas: dp: pó seco; sl: calda (leite de cal); lu: cal viva em pedaços; pu: pasta de cal.

Fig. 23 - Classificação da cal

Em tempos, a cal era classificada em função da percentagem de impurezas, designando-se de cal gorda, se esta deriva-se de calcários puros com menos de 1% de argila e cal magra se tivesse origem de calcários com percentagem de impurezas ou argila entre 1% e 5%.

Atualmente, e de acordo com a NP EN 459-1:2002, existem vários tipos de cals aéreas, classificadas com base no seu teor de óxido de cálcio e óxido de magnésio, apresentando os valores mencionados na tabela seguinte.

Tabela 6 - Tipos de cal aérea

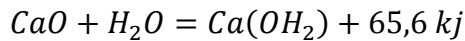
Designação	Notação
Cal cálcica 90	CL 90
Cal cálcica 80	CL 80
Cal cálcica 70	CL 70
Cal dolomítica 85	DL 85
Cal dolomítica 80	DL 80

Tabela 7 - Requisitos químicos da cal

Tipo de cal	CaO + MgO (%)	MgO (%)	CO₂ (%)	SO₃(%)	Cal livre (%)
CL 90	≥ 90	≤ 5 ^c	≤ 4	≤ 2	-
CL 80	≥ 80	≤ 5 ^c	≤ 7	≤ 2	-
CL 70	≥ 70	≤ 5	≤ 12	≤ 2	-
DL 85	≥ 85	≥ 30	≤ 7	≤ 2	-
DL 80	≥ 80	≥ 5	≤ 7	≤ 2	-

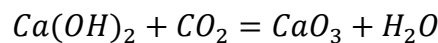
c – é admitido um teor de MgO até 7%, desde que seja satisfeito o ensaio de expansibilidade indicado em 5.3 da EN 459-2-2001.

Para posterior utilização na construção, devido à sua reação exotérmica na presença de água, esta sofre um processo de hidratação, onde é libertada parte da sua energia consumida no processo de combustão.



Consecutivamente, através deste processo surge a cal hidratada, ou também conhecida por cal aérea ou hidróxido de cálcio, que se pode subdividir em duas categorias, a cal cálcica ou a cal dolomítica, que depende da percentagem de cálcio ou óxido de magnésio respetivamente.

No entanto, a fixação da cal hidratada é garantida em contacto com o dióxido de carbono e o ar, sucedendo assim o processo de carbonatação.



Quando utilizado em argamassas, e de forma a assegurar a presa, é utilizado o dióxido de carbono durante a fase de cura, fixando o hidróxido de cálcio como carbonato de cálcio.

Contudo, se forem utilizadas temperaturas superiores a 1200°C na calcinação do calcário e as impurezas argilosas contidas na rocha ultrapassarem os 5%, obtém-se cal hidráulica, dotada de uma estrutura cristalina e com baixa porosidade.

Através da tabela que se segue, consegue-se observar a classificação da cal segundo alguns autores.

Tabela 8 - Classificação da cal

Tipo de cal em função de:			Referências
Composição do calcário de base			Neves, 1993 (in Cristelo, 2001)
Cal Aérea	Quase puro		
Cal Hidráulica	8 a 20 % de argila		
Teor de óxido de magnésio			Fossberg (in Cristelo, 2001)
Cal Aérea	Cálcica	MgO entre 0 e 5%	
	Magnésiana	MgO entre 5 a 20%	
	Dolomítica	MgO entre 20 a 30%	
Teor de óxido de cálcio			Choquet, 1972 (in Cristelo, 2001)
Cal Aérea	Pura	CaO superior a 97%	
	Gorda	CaO entre 85 a 97%	
	Magra	CaO inferior a 85%	

Em suma, para obtenção da cal nos vários estados mencionados, esta necessita de ultrapassar várias fases e processos, esquematizados na figura que se segue.

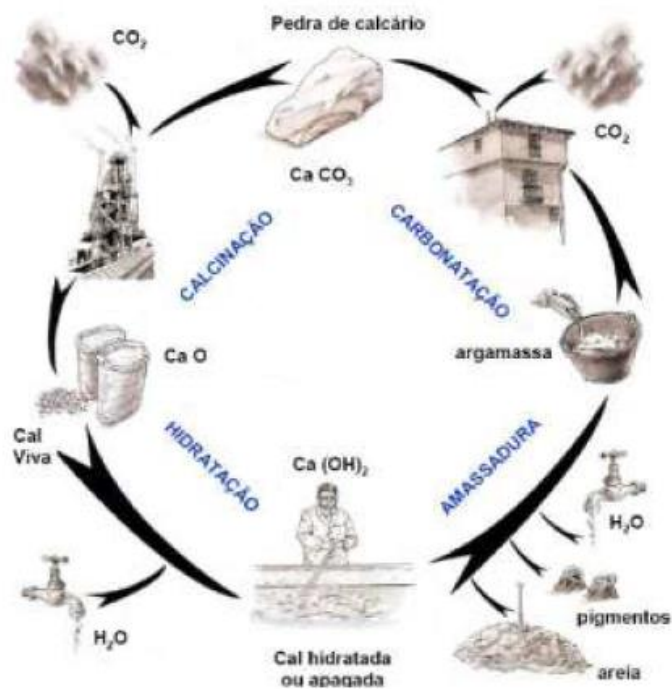


Fig. 24 - Processo de obtenção da cal

1.2.1.1 Aplicações na construção

Tal como o cânhamo, a cal é um material que apresenta uma grande versatilidade, no que se refere ao ramo da construção. Assim, a cal é utilizada em revestimentos de betuminosos, alvenarias, estabilização de solos, pinturas ou caiação, através de uma “leitada” de cal (mistura de cal e água), assim como, em argamassas e betões.

Relativamente aos betuminosos, a utilização de cal hidráulica como *filler* das misturas, provoca uma melhoria das características da camada de desgaste, promovendo uma maior consistência do betuminoso, devido à maior aderência entre este material e os agregados, melhora a resistência à penetração da água retardando o envelhecimento acelerado, como também, aumenta a resistência á fissuração. Segundo Niazi e Jalali, o uso deste material, tanto em pó como em pasta, aumenta a resistência à deformação em quase 30% (A.Coelho, F.Torgal , S.Jalali, 2009).

Nas alvenarias, o que se verifica é a utilização de cal na composição do “Adobe”, palavra que deriva do árabe “*attob*” e significa tijolo seco ao sol, em que, segundo Millogo, a utilização de 10% de cal, neste componente, maximiza a resistência à compressão e minimiza a absorção de água dos blocos. Em Portugal, este material destaca-se especialmente no Algarve, onde existe uma empresa “Construdobe, Sociedade de Construção Civil ecológica, Lda”, que se dedica à construção de habitações à base deste material.

Contudo, atualmente existem blocos de terra comprimida, uma versão mais moderna dos blocos de adobe.

Ao nível da estabilização dos solos, o que se verifica é que a cal faz aumentar a resistência ao corte, reduz o potencial de variação de volume e a plasticidade e aumenta a resistência à desfloculação e à erosão.

Finalmente, a cal tem a sua maior aplicação em argamassas, uma vez que, faz aumentar a resistência mecânica da mistura, embora o tempo de cura influencie essa mesma resistência. Isto é, uma das características das argamassas de cal é o tempo de cura, no

qual a cal leva muito tempo a fixar o CO₂, assim, a resistência inicial das argamassas é baixa nos primeiros tempos de cura, mas endurece muito com o passar do tempo.

O alongamento do processo de cura ocorre devido à cristalização do carbonato de cálcio, que começa a partir do exterior, dificultando a passagem de CO₂ para a camada interior, sendo que, a resistência à compressão após um mês é cerca de 5-10Kgf/m², aumentando para 50-70Kgf/m² após alguns anos (R.Eires, 2006).

1.2.1.2 Composições químicas utilizadas

Cal Viva

Neste estudo foi utilizada cal viva com a seguinte composição química, ilustrada na tabela 9.

Tabela 9 - Composição química da cal utilizada

Parâmetro analítico	%
Humidade	< 0,5 ^{l.q.}
SiO₂	0,188
Al₂O₃	< 0,2 ^{l.q.}
Fe₂O₃	88,4
CaO	0,747
SO₃	< 0,1 ^{l.q.}
CO²	1,5

l.q. – limite de quantificação

Segundo os dados técnicos fornecidos pela empresa Arnaldo da Silva Barreto, a cal viva não apresenta qualquer odor, apresenta uma massa volúmica aparente entre 0,7 a 0,8 g/cm³, e uma basicidade que ronda os 12 e 13 de pH.

Cal hidratada

Neste estudo foi utilizada cal hidratada com a seguinte composição química, ilustrada na tabela 10.

Tabela 10 – Composição química da cal utilizada

Parâmetro analítico	%
Ca(OH)₂	≤ 90
CaO₁	≥ 70
CO₂	≤ 3
H₂O_{livre}	≤ 1,0
MgO	≤ 3,0
SiO₂	≤ 0,35
Fe₂O₃	≤ 0,20
Al₂O₃	≤ 0,20
CaO+MgO	≥ 90

Segundo os dados técnicos fornecidos pela empresa Lusical, a cal hidratada apresenta uma densidade que varia entre 0,3 a 0,6 kg/dm³, um teor de ar inferior a 12%, assim como, uma granulometria que não ultrapassa os 0,2 mm de diâmetro máximo das partículas.

Cal hidráulica

Neste estudo foi utilizada cal hidráulica com a seguinte composição química, ilustrada na tabela 11.

Tabela 11 – Composição química da cal hidráulica utilizada

Parâmetro analítico	%
Ca(OH)₂	15-65
2CaO.SiO₂	10-45
CaCO₃	10-40

Segundo os dados fornecido pela empresa Cimpor, e tendo por base a norma EN 459-1, a cal hidráulica apresenta uma percentagem de finura de 90µm ≤ 15 e 200 µm ≤ 5,

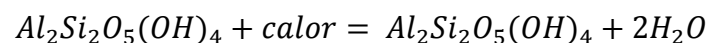
assim como, apresenta uma resistência mecânica à compressão $\geq 2\text{Mpa}$ com sete dias de cura e de $\geq 5\text{ Mpa}$ com 28 dias de cura.

1.2.2 O caulino

O termo caulino deriva da expressão chinesa Kao Ling, nome dado a uma colina na China perto do qual se explorava este material para fabrico de porcelana. Este, é uma argila constituída essencialmente por caulinite ou desilicato de alumínio hidratado $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, sendo uma argila que é muito refractária, isto é, é uma argila sedimentar que se funde a uma temperatura elevada, em que neste caso concreto, funde-se a 1500°C .

A formação dos caulinos resulta da alteração meteórica das rochas ricas em feldspatos e micas, tendo na sua composição não só a caulinite mas também quartzo, feldspatos, micas e muitos outros minerais acessórios.

Submetendo este material a um tratamento térmico na ordem dos 600 a 800°C , designado processo de calcinação, o caulino sofre uma transformação ao nível molecular resultante da desidroxilação quase total dos aluminosilicatos, obtendo-se um novo material, agora modificado, intitulado metacaulino. Este é um processo que merece atenção redobrada, pois a exposição contínua a temperaturas acima das de desidroxilação, promove a recristalização do material, traduzindo-se numa perda de pozolanicidade. O metacaulino consiste portanto num material carregado de energia livre e de reatividade química de forma proporcional à intensidade do tratamento de desidroxilação (R.Eires, 2006).



1.2.2.1 Aplicação na construção

O caulino é um material bastante utilizado essencialmente na composição de cerâmicas, plásticos, pesticidas, fertilizantes, não existindo estudos que demonstrem a sua utilização como ligante na construção. Contudo, e como já referido anteriormente, este após sofrer um tratamento térmico, dá origem a um novo material, o metacaulino, que

como não foi possível adquirir, neste estudo foi utilizado o caulino misturado com cal viva a fim de proporcionar calor à reação, tentando que esta composição adquira-se características do metacaulino.

Em termos funcionais o metacaulino proporciona um aumento das resistências mecânicas, da impermeabilidade e durabilidade a ataques químicos; em termos económicos, as pozolanas adquirem menor custo que o cimento, tendo em conta o consumo de energia no seu fabrico, assim como, ambientalmente contribuem para uma redução do consumo de energia e para a diminuição da libertação de CO₂ (R.Eires, 2007).

Assim, ao nível da construção, o metacaulino é um material que nos últimos anos, tem registado um aumento significativo quando introduzido como adição em argamassas ou em betões, pois proporciona muitas das características referidas no parágrafo anterior, além de que, contribui para a sustentabilidade da construção (D.Cardoso, 2013).

1.2.2.2 Composição do caulino utilizado

Neste estudo foi utilizado caulino com a seguinte composição química, ilustrada na tabela 12.

Segundo os dados fornecido pela empresa Mibal, o caulino apresenta uma densidade que varia entre 2.4 e 2.7, uma absorção de óleo que varia entre 31 e 45%, assim como, um PH<0.3%. A tabela que se segue, apresenta os valores relativos à distribuição granulométrica do material.

Tabela 12 - Composição química do caulino utilizado

Parâmetro analítico	Granulometria
< 30 μm	99 +- 3
< 10 μm	93 +- 5
< 5 μm	82 +- 5
< 2 μm	68 +- 6

1.2.3 O cimento

O processo de fabrico de cimento é feito através da exploração das matérias-primas de uma pedreira, às quais devem conter, em determinadas proporções, cálcio, sílica, alumina e ferro, em que, normalmente é necessário corrigir um ou dois destes elementos recorrendo-se a outras pedreiras ou ao mercado.

Ao extrair a pedra, habitualmente através de explosivos, o objetivo principal é obter blocos com dimensão inferior a 0,5 m³, sendo que, após extração, a matéria passa por um britador com o propósito de se obter material cuja dimensão seja inferior a 9 cm. Ao mesmo tempo que se efetua a redução, procura-se que a mistura dos materiais extraídos se aproxime da composição química desejada.

A seguir à fase da exploração da pedreira e da britagem do material existe uma moagem, denominada moagem de cru, cuja função é reduzir as matérias a uma finura elevada e fazer as correções químicas necessárias à composição pretendida, caso não tenham ficado finalizadas ao nível da pedreira.

Depois da moagem de cru vem a operação de cozedura, através da qual surge, por reacções químicas complexas, um produto granulado denominado clínquer.

Finalmente, este processo culmina com a moagem de cimento, alimentada com clínquer (95%) e gesso (5%), cimento portland puro, onde se procura uma finura em função da classe de resistência pretendida para o cimento. Posteriormente vem a ensilagem, a embalagem e a expedição.

1.2.3.1 Aplicação na construção

Desde que as civilizações começaram a fazer as primeiras tentativas no domínio da construção que se começou a procurar um material que unisse as pedras numa massa sólida e coesa, como é o caso dos Assírios e Babilónios, que usaram a argila como material ligante, enquanto que, os Egípcios descobriram a cal e o gesso, aliás como teria sido possível erguer as pirâmides sem cimento?

Contudo, foram os Romanos que primeiramente desenvolveram um cimento altamente durável, sendo que esta característica é evidenciada em muitas das suas construções, como é o caso dos famosos Banhos Romanos, construídos por volta do ano 27 A.C., o Coliseu e a enorme Basílica de Constantino.

Atualmente o cimento Portland é uma combinação química predeterminada e bem proporcionada, de cálcio, sílica, ferro e alumínio, sujeita a um processo de fabrico complexo, rigorosamente controlado e englobando uma grande variedade de operações. Assim, o cimento é um dos materiais mais utilizados a nível mundial na construção civil, contribuindo tanto na composição do material estrutural mais frequente, o betão armado, como na formulação de argamassas hidráulicas de base cimentícia para os mais diversos fins, como por exemplo, os elementos pré-fabricados (CIMPOR, 2006).

A elevada utilização deste material, é justificada pelas características que o betão adquire com este material, nomeadamente, o desenvolvimento rápido das resistências mecânicas e as elevadas resistências a todas as idades. Hoje em dia são produzidos mais de 10 biliões de toneladas anualmente de betão, sendo a indústria do cimento responsável pela emissão de cerca de 7% das emissões de CO₂ para a atmosfera (A.Camões; M.Anjos, 2014).

1.2.3.2 Composição química do cimento utilizado

Neste estudo foi utilizado cimento com a seguinte composição química, ilustrada na tabela 13.

Tabela 13 - Composição química do cimento utilizado

Parâmetro analítico	%
SiO₂	18,27
Al₂O₃	4,75
Fe₂O₃	3,23
CaO	63,94
MgO	1,31
SO₃	3,5

K₂O	0,57
Na₂O	0,11
Cl	0,09
Cal livre	1,39

Segundo os dados fornecido pela empresa Secil, e submetendo o cimento utilizado a ensaios físicos, este apresenta um peso específico que apresenta 3,1 g/cm³ após um mês e de 3,11 g/cm³ após um ano. Relativamente aos resíduos de peneiração, considerando 45µm, este apresenta 5,1% após um mês e 4,2% após um ano. Quanto à expansibilidade esta mantêm-se de um mês para um ano, apresentando 0,5mm de expansibilidade.

Finalmente submetendo o cimento a ensaios mecânicos, os resultados apresentados por este material estão clarificados na tabela que se segue.

Tabela 14 - Resultados de ensaios mecânicos do cimento utilizado

Idade	Resistência à flexão (Mpa)		Resistência à compressão (Mpa)	
	Mês	Ano	Mês	Ano
2 dias	6,3	6,3	33,5	32
7 dias	8,2	8,3	47,8	47
28 dias	9,3	9,4	59,2	58,5

1.2.4 Água

Os ligantes e os agregados são componentes essenciais na constituição das argamassas, mas a água é também um elemento indispensável para a produção de argamassas.

A quantidade de água de amassadura a ser utilizada na execução de argamassas tem um papel fundamental na qualidade destas, mais precisamente a razão entre a quantidade de água e ligante, pois esta relação vai influenciar as características mecânicas e físicas das argamassas.

Para não haver alterações nos requisitos exigidos às argamassas, a água não deverá conter impurezas, particularmente sais nocivos e matéria orgânica em quantidades tais que podem afetar as propriedades das argamassas.

Foi utilizada água da rede pública de Guimarães com um pH entre 6.4 e 8.3, um índice de cloretos entre 10 e 150 mg/L e sulfatos <10 mg/L.

1.3 Aditivos ou Ativadores

Os aditivos são utilizados numa composição, com a intenção de reforçar as características dos materiais utilizados numa mistura, nomeadamente, a resistência mecânica e a aceleração ou retardação do tempo de cura das argamassas (R.Eires, 2006).

1.3.1 Bórax

O bórax, também conhecido como borato de sódio ou *tetraborato de sódio hexahidratado* ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), é um mineral, existente em depósitos de sais hidratados de sódio e ácido bórico.

Sendo este, um mineral facilmente solúvel em água, é frequentemente formado na natureza como evaporito, isto é, forma-se em lagos temporários através do cíclico processo de evaporação (R.Eires, 2006).

Tendo em conta o processo de formação, este material é encontrado na forma de pequenos cristais agrupados facilmente friáveis, com aparência macroscópica de um pó esbranquiçado, com cristais transparentes e de pequena dureza.



Fig. 25 - Bórax em formato pó e cristal (U.Lisboa, 2009)

1.3.1.1 Aplicações na construção

As variadas características do bórax, fazem do mesmo um material bastante versátil, com diversas aplicações no mundo da construção e não só.

Assim, este pode ser aplicado no curtume para limpeza do couro, em inseticidas, pesticidas e fertilizantes, fabricação de esmaltes para porcelanas, detergentes, etc., sendo ainda um agente dispersor, regulador e que controla a viscosidade.

No ramo da construção, o bórax destaca-se na aplicação de vidros, como também num elemento de proteção dos metais.

Relativamente aos vidros, este composto inserido na composição do mesmo, tornam-no mais resistente a altas temperaturas, choques térmicos e choques químicos. Estes benefícios fazem com que a sua aplicação tenha vindo a aumentar, sobretudo como redutor do consumo de energia necessário para produção destes materiais. Uma outra característica vantajosa deste material é que o mesmo contribui para a limpeza dos metais, ou seja, dissolve os óxidos metálicos formados nas suas superfícies, criando um película de proteção á corrosão (R.Eires, 2006).

1.3.1.2 Composições utilizadas

Tendo em conta que o bórax é um produto convencionalmente comercializado e de fácil acesso, neste estudo são desconhecidas as características e as respetivas quantidades dos seus constituintes.

2. Preparação e cura dos provetes

Inicialmente é de salientar, que os testes iniciais realizados, têm como propósito a escolha da mistura que apresente melhor características aparentes, para posterior estudo aprofundado da considerada mais viável, sendo que, todos os ligantes e aditivos selecionados tiveram por base os melhores resultados obtidos em estudos anteriormente realizados.

Esta situação sucede, tendo em conta a quantidade limitada de cânhamo industrial triturado, uma vez que, não existe maquinaria apropriada nos laboratórios, que garanta esta trituração.

2.1 Testes iniciais – provetes cúbicos de betão leve de cânhamo

2.1.1 Preparação dos provetes

Inicialmente foram selecionadas várias dosagens de materiais, para as respetivas misturas, tendo por base, estudos anteriormente realizados. A variedade de dosagens tem como objetivo selecionar a composição mais viável, quer a nível de material, quer a nível de percentagem de conteúdo, através do método de comparação.

Seguidamente, procedeu-se à pesagem de todos os materiais, para posterior mistura, utilizando uma misturadora de laboratório, *Automatic Controller L5*, durante um minuto, de forma a garantir uma mistura homogénea da solução.

Contudo, um dos ligantes, a água, foi inserido na mistura de forma faseada, a fim de se obter uma uniformidade da mistura.

Foram realizados três provetes para cada mistura, a fim de garantir uma média de valores.



Fig. 26 - Misturadora Automatic Contrller L5

Após garantida a homogeneidade da mistura, esta foi compactada em moldes para provetes. O modo de compactação da mistura foi diferente do convencionalmente realizado por vibração, uma vez que, devido à leveza e forma do material, haveria uma grande probabilidade de desagregação da mistura. Assim, estes foram moldados manualmente, utilizando uma espátula e aplicando a mistura em moldes metálicos, previamente cobertos com óleo descofrante. Tendo sido compactados por camadas com auxílio de um pilão e um maço como se pode observar na figura 22.



Fig. 27 - Processo de produção da mistura

2.1.2 Condições de cura

Os provetes foram curados à temperatura e humidade ambiente (valores médios de 18 a 22°C), sendo que foram desmoldados cinco dias depois de compactados. Após esta fase de cura, os provetes mantiveram-se mais dois dias sem os moldes, nas mesmas

condições, ou seja, os provetes foram sujeitos a testes de resistência mecânica, após sete dias de cura.

A tabela que se segue ilustra as composições das misturas estudadas, sendo que foram realizados mais de que um provete para cada mistura, a fim de garantir uma média de valores, assim como, figuras que ilustram os aspeto da mistura antes e após compactadas.

2.1.3 Misturas utilizadas

As composições testadas são apresentadas por percentagem em função da massa total dos materiais secos (cânhamo e material ligante). A tabela que se segue ilustra as composições das misturas estudadas, assim como são apresentadas figuras que ilustram o aspeto das misturas antes e após a compactação.

Tabela 15 - Composição das misturas

Composições das misturas	Aspeto misturas antes da compactação	Aspeto misturas após compactação
70% Cal hidratada 30% Cânhamo		
60% Cal hidratada 40% Cânhamo		

65% Cal hidratada

35% Cânhamo



70% Cal hidráulica

30% Cânhamo



35% Cal viva

35% Caulino

30% Cânhamo



52,5% Cal viva

17,5% Caulino

30% Cânhamo



70% Cimento

30% Cânhamo



2.2 Testes finais – provetes cúbicos e placas de betão leve de cânhamo

2.2.1 Preparação dos provetes

O processo de preparação das misturas realizou-se da mesma forma do que a mencionada no ponto 2.1.1, contudo, e tendo em conta que os testes finais já só foram realizados com a mistura mais viável, apenas foi utilizada a solução selecionada.

Nestas misturas acresceu-se o aditivo bórax, correspondente a 1% da mistura que foi dissolvido na água antes da sua introdução na mistura.

Com o objetivo de obter resultados ainda mais viáveis, foram realizados provetes cúbicos com um volume maior do que os testes anteriores, ou seja, em vez de provetes de 5x5x5 cm, foram utilizados provetes de 10x10x10 cm. Assim, recorreu-se a um utensílio de auxílio e um martelo pneumático, de forma a garantir a compactação desejada, de forma manual, que não compromete-se as características da mistura, sendo que, a mistura foi colocada no molde por camadas, que foram compactadas de igual modo, isto é, através de cinquenta pancadas, de modo a garantir o máximo de compactação possível. É de frisar também que a compactação foi realizada numa estrutura estável e baixa, a fim de amortecer o impacto.

Relativamente às placas, estas foram realizadas, com o propósito de as sujeitar aos testes térmicos. Para tal, houve a necessidade de criar uma estrutura de moldes, uma vez que, era necessário obter uma placa com pouca espessura, para conseguir resultados fiáveis. Assim, foram realizadas placas com 10x10 cm e com uma espessura de 3 cm, compactadas da mesma forma que os provetes cúbicos de 10x10x10 cm, sendo que os moldes foram previamente cobertos com óleo descofrante.

2.2.2 Condições de cura

Os provetes e as placas foram curados à temperatura e humidade ambiente (valores médios de 18 a 22°C), sendo que foram desmoldados sete dias depois de compactados.

Quanto aos tempos de cura, estes variaram consoante os testes a que foram sujeitos, isto é, para os testes de resistência mecânica, foram realizados provetes cúbicos com sete, catorze, vinte e oito e noventa dias de cura; para os testes de absorção de água foram realizados provetes cúbicos com noventa dias de cura; e para os testes térmicos, foram realizadas placas com noventa dias de cura.

Os tempos de cura foram estabelecidos, a fim de assegurar um leque de conclusões para as misturas realizadas.

A imagem que se segue ilustra todo o processo de produção da mistura e respetivos provetes.

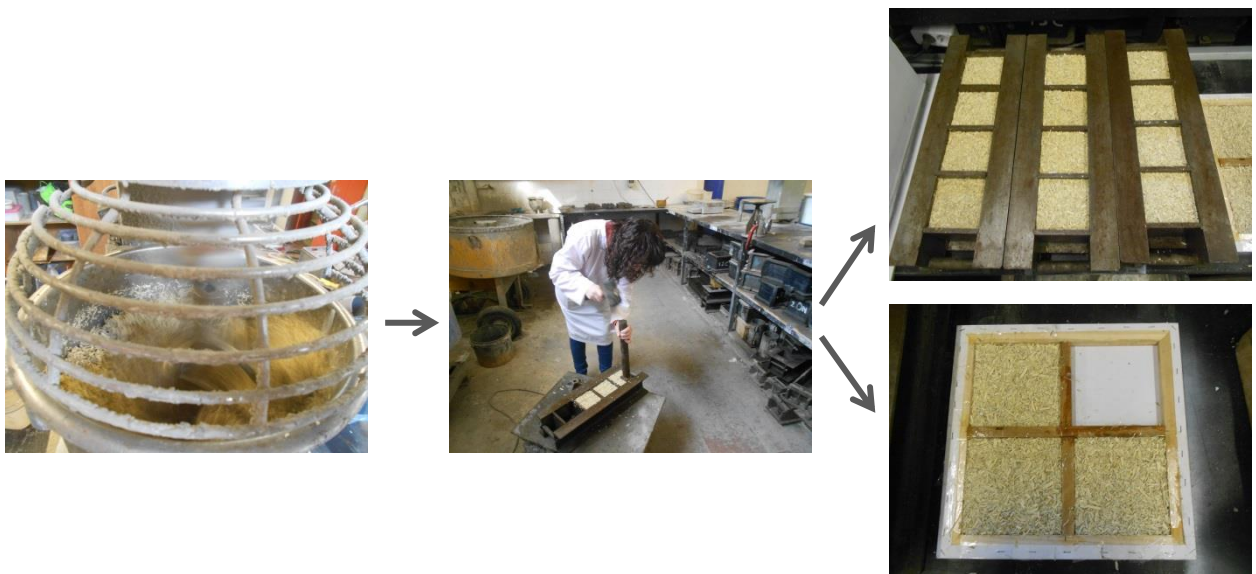


Fig. 28 - Processo de produção da mistura

3. Procedimento dos ensaios

3.1 Testes de resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados segundo a norma EN 1015-11 (1999), sendo que, todos os provetes moldados e curados foram testados numa prensa

eletromecânica, onde os resultados foram obtidos pela resistência média de três provetes, com respectivas idades.

O procedimento do ensaio é descrito do seguinte modo:

- 1) Coloca-se o suporte de ensaio de compressão na prensa eletromecânica;
- 2) Posiciona-se o provete no centro do dispositivo de modo a que a força a ser exercida, seja assegurada pela área de contacto das faces de moldagem. Neste caso concreto os provetes foram posicionados, do lado oposto à compactação;
- 3) Aplica-se a carga no provete até se verificar a rotura do mesmo;
- 4) É registado o valor da força máxima para a qual o provete atinge a rotura de compressão, sendo que, este valor é determinado pelo software associado à prensa;
- 5) Determina-se a resistência à compressão através da seguinte equação:

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

Em que:

F – Força máxima de rotura à compressão (N);

A – Área de aplicação de carga

- 6) O procedimento é repetido para os restantes provetes. Contudo, antes de cada utilização verifica-se sempre se a prensa está livre de sujidade para não haver interferências nos resultados.

Neste ensaio os provetes foram realizados com controlo de força, tendo em conta a fragilidade do material, a uma velocidade de 25N/s.



Fig. 29 - Prensa eletromecânica utilizada

3.2 Testes de condutividade térmica

A avaliação dos parâmetros relacionados com o isolamento térmico, foram realizados com o uso do dispositivo Alambeta, construído por *Hees*, que se encontra nos laboratórios de Engenharia Têxtil, na Universidade do Minho.

A Alambeta é um aparelho que avalia, simultaneamente, as propriedades térmicas estacionárias, como a resistência e a condutividade e as propriedades dinâmicas, como a absorvidade térmica e a difusividade térmica. Este consiste num bloco metálico com temperatura constante (32°C) a qual difere de temperatura da amostra (20°C). Quando a medida se inicia, a cabeça de medida baixa e toca a superfície plana da amostra a medir, a qual se situa na base do aparelho, sob a cabeça de medição. Neste momento, a temperatura da superfície da amostra muda bruscamente e o aparelho regista a evolução do fluxo de calor. Simultaneamente, é medida a espessura da amostra.

Assim, o procedimento do ensaio é descrito do seguinte modo:

- 1) Ligar no botão vermelho e aguardar alguns minutos;
- 2) Verificar que no visor está a informação PRL;
- 3) Alguns minutos depois aparece no visor a informação RDL, e a partir deste momento o equipamento está pronto a ser utilizado;
- 4) Verificar com a placa (cinza) de calibração (o valor deve variar entre 33 e 35);
- 5) Colocar a amostra de forma a cobrir toda a área do sensor térmico;

- 6) Pressionar o botão ST (o tempo de medição varia consoante o material e a espessura);
- 7) Quando a cabeça de medição subir, deve ser pressionado o botão RL, n vezes para obter todos os parâmetros.

Os parâmetros retirados da Alambeta são os seguintes:

- λ (10^{-3}) – Condutividade térmica (propriedade estacionária ou dinâmica – $W/m^{\circ}K$). Este valor exprime a quantidade de calor que flui pelo material, por unidade de comprimento;
- a (10^{-6}) – Difusão térmica (m^2/s). Este valor descreve a velocidade de propagação da temperatura (calor) no material: impulso térmico;
- b – absorvidade térmica (propriedade transitória $-Ws^{\frac{1}{2}} = m^{\circ}K$). Este valor representa o fluxo instantâneo que ocorre quando dois corpos semi-finitos com diferentes temperaturas, entram em contacto físico, em que, quanto maior for o “b”, maior será o fluxo térmico e pior será a sensação de contacto inicial, pois corresponderá a uma superfície mais fria;
- r (10^{-3}) – Resistência térmica (propriedade estacionária – $m^2^{\circ}K/W$). Este valor exprime a resistência oferecida por um dado material ao fluxo de calor, razão entre a espessura e a condutividade térmica;
- h (mm) – espessura do material

O resultado da medição da condutividade térmica é baseado na seguinte equação:

$$\lambda = \frac{Q}{F \tau \frac{\Delta T}{\sigma}} (Wm^{-1} K^{-1})$$

Em que:

Q – Quantidade de calor conduzido (W);

F – Área através do qual o calor é conduzido (m);

τ – Tempo de condução de calor (min);

T – Queda de temperatura (K);

σ – Espessura da amostra



Fig. 30 - Aparelho Alambeta

3.3 Testes de absorção de água por imersão

Os ensaios de absorção de água por imersão foram realizados segundo as especificações E 394 do LNEC, sendo que, este material segundo a norma, é considerado um material orgânico.

O procedimento do ensaio é descrito do seguinte modo:

- 1) Após processo de compactação e cura dos provetes, estes são colocados numa estufa laboratorial a 60°C, para realizar-se a secagem do material, onde ocorre a retração, com a saída da humidade presente na composição;
- 2) Duas horas depois de serem colocados na estufa estes são pesados e colocados novamente na estufa;
- 3) Duas horas após, os provetes são novamente pesados, a fim de averiguar a condição de massa seca que seja menor ou igual a 0,2% da primeira pesagem, obtendo assim a massa seca dos provetes;
- 4) Comprovada a condição, os provetes são colocados num recipiente em água, totalmente submersos, em que, passados quinze minutos são pesados, e colocados novamente no recipiente, para mais uma vez se conseguir obter a condição de diferença de pesagem de 0,2%;
- 5) Após obtenção da condição, o provete é colocado novamente em água, onde é pesado totalmente submerso;

- 6) No final é averiguada a % de absorção do material, tendo como variáveis o peso seco e saturado do material. Esta percentagem foi calculada segundo a seguinte expressão:

$$A_i = \frac{M_{s, sat} - M_{s, dry}}{M_{s, sat} - M_{s, i}} \times 100$$

Em que:

$M_{s, sat}$ – Massa do provete saturado no ar;

$M_{s, i}$ – Massa hidrostática do provete saturado;

$M_{s, dry}$ – Massa do provete seco.

3.4 Testes de absorção de água por capilaridade

Os ensaios de absorção de água por capilaridade foram realizados segundo as especificações da norma EN 1015-18:2002, sendo que, os provetes são colocados num recipiente imerso em água até uma profundidade de 5mm e este é fechado para evitar a evaporação da água.

O procedimento do ensaio é descrito do seguinte modo:

- 1) Após processo de compactação e cura dos provetes, estes devem ser forrados por um material de vedação especificado, até ao limite traçado referido anteriormente, e deixar secar à temperatura ambiente. Neste caso específico foi utilizado silicone nas laterais do cubo e não nas superfícies de modo a garantir a capilaridade da água;
- 2) Submeter os provetes a uma estufa a 60°C, de forma a garantir um material totalmente seco;
- 3) Passadas vinte e quatro horas, os provetes são pesados e colocados novamente na estufa à mesma temperatura;
- 4) No dia seguinte, e passado novamente vinte e quatro horas, os provetes são pesados, a fim de respeitar a condição do peso ser menor ou a igual a 0,2%;
- 5) Seguidamente, os provetes são colocados num recipiente, com 5mm de espessura de água, sobre uma base coberta com uma rede plastificada, que irá

garantir a capilaridade da água, uma vez que assim, os provetes não estarão em contacto direto com a base do recipiente, garantindo a fluidez natural da água por capilaridade;

- 6) Ativar o dispositivo de tempo, mantendo o nível de água constante durante todo o ensaio;
- 7) Após tempos determinados e datas de execução dos testes, que devem ser anotados, os provetes devem ser colocados durante vinte segundos sobre um material que não absorva a água do provete, e seguidamente pesados;
- 8) Este processo deve-se repetir, ao longo de vários tempos, até se obter valores minimamente constantes. Contudo os tempos de dez e noventa minutos devem ser retirados garantidamente, pois é através destes que o valor de absorção é calculado, ou seja, todos os outros tempos permitirão observar a variação da capilaridade.

Os valores da absorção determinam-se em Kg/m^2 , mediante a diferença de massa dos provetes e diversos tempos, segundo a fórmula que se segue.

$$\text{Absorção} = \frac{M1 - M_{dry}}{A}$$

Em que:

M1 – Massa do provete após tempo de absorção determinado;

Mdry – Massa inicial do provete;

A – Área da superfície do provete.

CAPÍTULO IV – RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Enquadramento

Este capítulo apresenta os resultados obtidos da conjugação de materiais, tendo como base o cânhamo industrial, para futuras aplicações no ramo da construção, uma vez que, além de se pretender desenvolver um novo material compósito que seja aplicável a elementos de construção não estruturais, como por exemplo, paredes não estruturais, utilizando blocos pré-fabricados não estruturais, também desenvolver um material sustentável, utilizando materiais com menos impactos no ambiente como é o caso do cimento.

1. Testes iniciais – provetes cúbicos de betão leve de cânhamo

Nestes testes iniciais, e como já referido anteriormente, foram conjugados diversos materiais ligantes ao agregado cânhamo, em diversas quantidades, a fim de selecionar a composição mais viável, quer ao nível de material quer ao nível de proporção. Assim, para cada constituição foram realizados três a quatro provetes, de forma a garantir uma média de valores, aumentando a credibilidade dos respetivos valores.

Os ligantes utilizados foram a cal hidratada, a cal hidráulica, cal viva, caulino, assim como, o cimento. Contudo, o cimento foi utilizado não com o intuito do uso futuro, mas sim, como termo de comparação, visto que, o grande objetivo desta dissertação, é tentar diminuir o uso do cimento, ou seja, a sua introdução nesta composição evidenciará as suas desvantagens perante os outros materiais.

Os provetes realizados foram sujeitos a testes de resistência à compressão com tempos de cura de apenas sete dias, com o intuito de averiguar qual a mais indicada para sujeitar a outras condições de cura, e outros testes, nomeadamente, de absorção de água e

condutividade térmica, no sentido de testar materiais, composições e técnicas de referência no âmbito da construção baseada no cânhamo.

Relativamente a estes testes, verifica-se uma falta de normas aplicáveis para a realização de ensaios deste tipo de material, uma vez que é um betão leve com características específicas que diferem dos betões leves convencionais, pela sua capacidade de deformação contínua. Esta deformação é explicada pela sua constituição, isto é, as fibras, enquanto o processo de endurecimento não está completo, que proporciona a rigidez necessária.

Assim, os provetes foram sujeitos à compressão, no sentido perpendicular à compactação, ou seja, o mais desfavorável, evitando o efeito “elástico” da composição.

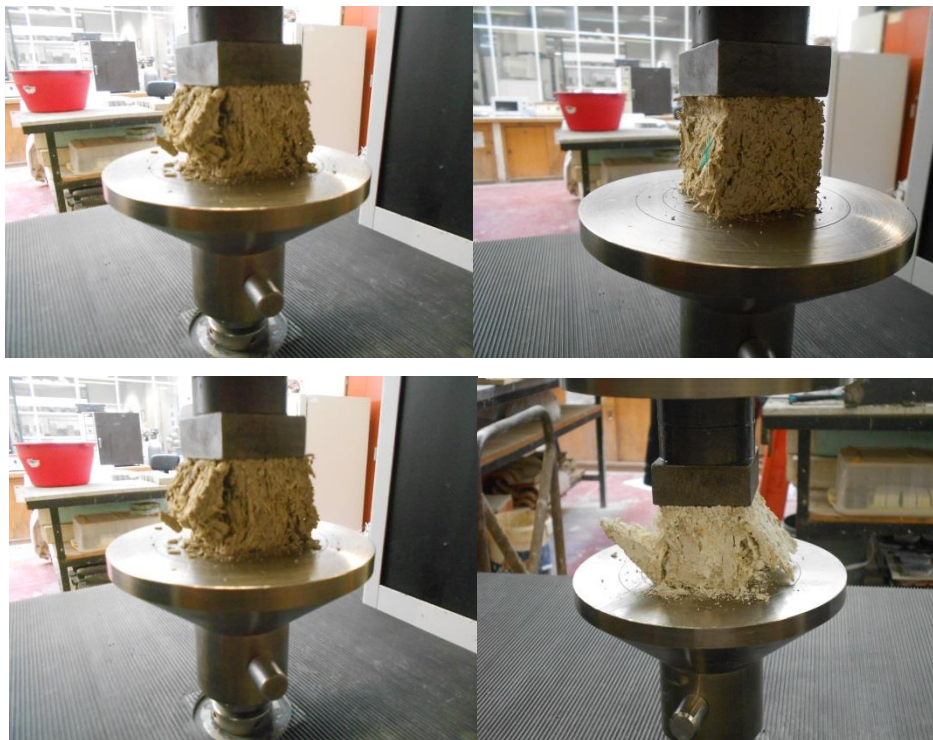


Fig. 31 - Ensaio de resistência à compressão - roturas

1.1 Resultados obtidos

Inicialmente todos os provetes foram devidamente pesados e medidos, uma vez que, estes componentes influenciam diretamente nos resultados obtidos.

Tabela 16 – Peso e dimensão dos provetes

Mistura	Peso (g)	Dimensão (mm)
70% Cal hidratada 30% Cânhamo	113,2	49,86x44,58
	87,4	43,17x50,77
	98,2	44,35x50,48
	93,8	43,97x50,62
60% Cal hidratada 40% Cânhamo	45,9	50,06x50,68
	41,9	50,62x50,63
	39,1	49,79x50,21
	41,3	50,44x50,04
65% Cal hidratada 35% Cânhamo	57,3	51,17x49,90
	58	50,89x51,09
	57,1	50,02x51,11
70% Cal hidráulica 30% Cânhamo	71	50,8x51,1
	72,8	50,8x51,8
	67,7	50,5x51,3
	63,8	51x51,5
35% Cal viva 35% Caulino 30% Cânhamo	74,4	50,8x50,9
	69,4	50,3x51,1
	66,3	50,6x51,76
	62,3	51,3x51,18
52,5% Cal viva 17,5% Caulino 30% Cânhamo	73,4	50,17x50,27
	68,5	50,19x50,46
	69,3	50,01x50,27
70% Cimento 30% Cânhamo	64,2	50,88x50,53
	67	50,48x50,66
	63,9	50,80x50,72

A tabela que se segue demonstra as composições utilizadas e respetivas proporções, assim como, a capacidade de carga máxima de cada composição e respetiva tensão, após sujeitar estes aos testes de compressão.

Tabela 17 - Resultados obtidos

Mistura	Provetes	Carga Máx. (N)	Tensão (Mpa)	Média
70% Cal hidratada 30% Cânhamo	1	1328,54	0,60	0,44
	2	734,34	0,34	
	3	1006,94	0,45	
	4	810,49	0,36	
60% Cal hidratada 40% Cânhamo	1	805,12	0,32	0,30
	2	729,48	0,28	
	3	642,81	0,26	
	4	838,80	0,33	
65% Cal hidratada 35% Cânhamo	1	858,04	0,54	0,46
	2	699,20	0,44	
	3	633,22	0,40	
70% Cal hidráulica 30% Cânhamo	1	585,83	0,23	0,20
	2	531,51	0,20	
	3	527,29	0,20	
	4	423,47	0,16	
35% Cal viva 35% Caulino 30% Cânhamo	1	658,10	0,25	0,22
	2	572,70	0,22	
	3	553,40	0,21	
	4	452,46	0,17	
52,5% Cal viva 17,5% Caulino 30% Cânhamo	1	864,04	0,34	0,31
	2	732,41	0,29	
	3	735,58	0,29	
70% Cimento 30% Cânhamo	1	390,54	0,15	0,16
	2	373,22	0,15	
	3	432,67	0,17	

Utilizando os resultados obtidos, foi realizado um gráfico de barras, que evidencia uma melhor percepção dos valores.

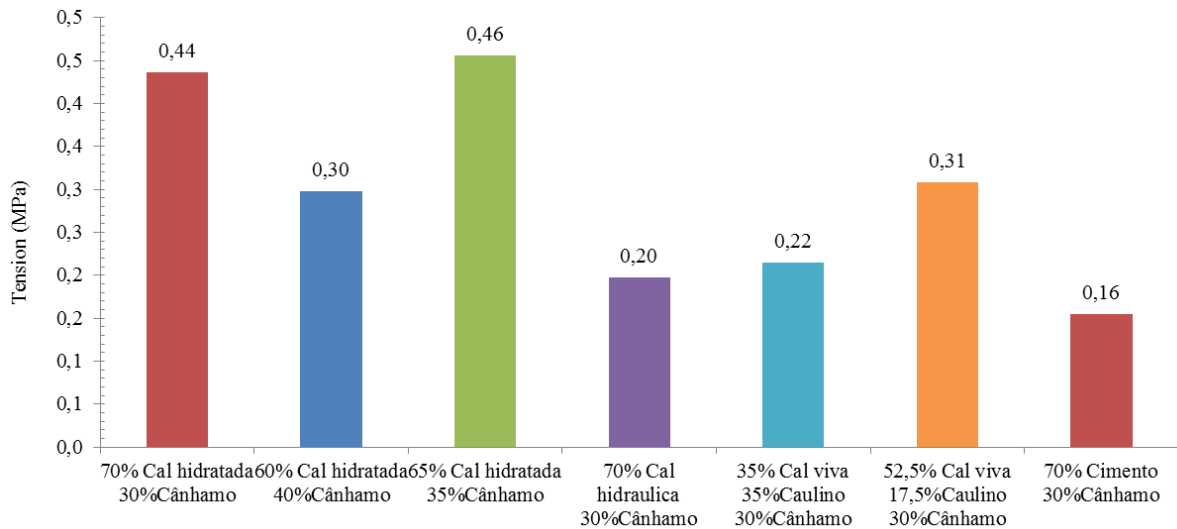


Fig. 32 – Gráfico dos valores obtidos

1.2 Discussão dos resultados

Inicialmente é de frisar que estes primeiros testes permitiram um reajuste da máquina, tendo em conta a reação do material, ou seja, ao longo dos ensaios houve a necessidade de adaptar a força exercida que, passou de N para mm/s, facilitando assim o melhor controlo ao esmagamento.

Ao longo da realização do ensaio constatou-se que, à medida que os cubos eram sujeitos à compressão, verificaram-se nos gráficos alguns declínios ao longo da curva. Esta situação sucede, pois após rotura, que neste ensaio foi até aos 90%, o material já está a ser esmagado.

No entanto, verifica-se também que as roturas apresentadas constatarem um comportamento dúctil por parte do material, ou seja, não apresentam uma rotura clara e frágil, em que, a força exercida no material aumenta progressivamente até à rotura, mas após rotura nota-se uma lenta acomodação da pressão exercida.

Relativamente aos resultados obtidos, destaca-se o facto de comprovar que, entre os ligantes utilizados, o que tem menos capacidade de resistência à compressão é o cimento. Como tal, estes primeiros testes permitiram desde logo comprovar que o

cimento conjugado com o agregado cânhamo, é menos viável do que todos os outros, ou seja, um dos objetivos pré-definidos para este estudo foi alcançado.

No entanto, a composição que oferece mais resistência à compressão é a composta por cal hidratada, que após conjugações de proporções, a que se destaca é a composição com 65% de agregado e 35% de ligante.

Estes testes permitiram também observar que, uma argamassa apresenta uma maior resistência à compressão, quanto maior percentagem tiver de ligante do que agregado, contudo se esta for em demasia, a sua resistência decresce.

Em suma, após constatar o comportamento do material, a composição que apresenta maior viabilidade entre as soluções estudadas é a composta por cal hidratada com 65% de agregado e 35% de ligante. Também, através da ductilidade do material, foi possível verificar desde logo que, estaríamos perante um material aparentemente viável para usos futuros no setor da construção, e daí a viabilidade da continuação do estudo.

2 Testes finais – provetes cúbicos e placas de betão leve de cânhamo

2.1 Testes de resistência à compressão

Nestes testes, e após seleção da mistura aparentemente mais viável, a solução composta por cal hidratada, esta foi sujeita a testes de compressão. Assim, para cada tempo de cura foram realizados três provetes, de forma a garantir uma média de valores, aumentando a credibilidade dos respetivos valores.

Os provetes realizados foram sujeitos a tempos de cura de sete, catorze, trinta e noventa dias, com o intuito de averiguar a capacidade de resistência do material com o passar do tempo.

Após reajuste da máquina nos testes iniciais, a pré-carga utilizada pela máquina foi de 250 N, com uma velocidade de 25 N/s.

Tal como nos testes iniciais, constata-se uma falta de normas aplicáveis para a realização de ensaios deste tipo de material, assim como, estes foram sujeitos no mesmo sentido que os dos testes iniciais, ou seja, perpendicular à compactação.



Fig. 33 - Ensaios de resistência à compressão - roturas

2.1.1 Resultados obtidos

A mistura utilizada contém 65% de cal hidratada, 30% de cânhamo, água, com 1 de relação água ligante e 1% de bórax, como aditivo.

Inicialmente todos os provetes foram devidamente pesados e medidos, uma vez que, estes componentes influenciam diretamente nos resultados obtidos.

Tabela 18- Peso, dimensão e área dos provetes

Tempos de cura (dias)	Peso (g)	Dimensão (mm)	Área (m ²)
7 dias	398,1	90,37x100,11x99,59	0,90
	334,2	90,16x99,76x99,72	0,89
	316,9	84,54x96,90x97,22	0,79
14 dias	252,8	101,7x90,15x100,36	0,92
	240,6	100,8x100,23x86,38	0,87
	258,8	100,5x101,85x93,19	0,95

30 dias	295,8	100,27x90,70x100,54	0,91
	302,4	99,44x89,85x100,24	0,90
	289	100,36x87,86x100,03	0,88
90 dias	237,5	100,19x100,43x99,49	1,00
	239,4	98,76x99,74x99,62	0,98
	299,2	99,77x99,30x99,88	0,99

A tabela que se segue demonstra a capacidade de carga máxima e a respetiva tensão nos vários tempos de cura, para a composição utilizada, sujeita aos testes de compressão.

Tabela 19 - Resultados obtidos

Tempos de cura (dias)	Provetes	Carga Máx. (N)	Tensão (Mpa)	Média
7 dias	1	623,00	0,28	0,19
	2	336,00	0,15	
	3	294,00	0,13	
14 dias	1	1073,00	0,42	0,46
	2	1222,00	0,48	
	3	1190,00	0,48	
30 dias	1	2229,00	1,39	1,42
	2	2254,00	1,41	
	3	2320,00	1,45	
90 dias	1	2123,00	0,82	1,02
	2	1612,00	0,61	
	3	4222,00	1,63	

Utilizando os resultados obtidos, foi realizado um gráfico de barras, que evidencia uma melhor perceção dos valores.

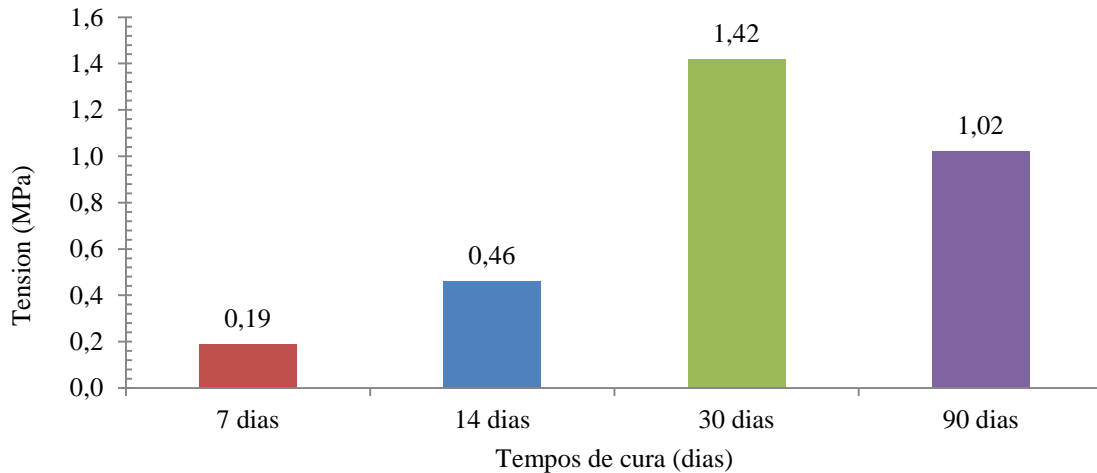


Fig. 34 - Gráfico dos resultados obtidos

2.1.2 Discussão de resultados

Ao longo da realização do ensaio, constatou-se mais uma vez que, à medida que os cubos eram sujeitos à compressão, nos gráficos apareciam alguns declínios ao longo da curva. Esta situação sucede, pois após rotura, que neste ensaio foi até aos 90%, o material já está a ser esmagado.

No entanto, verifica-se também que as roturas apresentadas constatarem um comportamento dúctil por parte do material, ou seja, não apresentam uma rotura clara e frágil, em que, a força exercida no material aumenta progressivamente até à rotura, mas após rotura nota-se uma lenta acomodação da pressão exercida.

Relativamente resultados obtidos, verifica-se que, quanto maior é o tempo de cura do material, maior é a resistência à compressão do mesmo. Embora, o tempo de cura aos noventa dias evidencie uma resistência inferior do que aos trinta dias de cura em modo geral, o que se consegue observar é que, o provete três do tempo de cura de noventa dias, demonstra esta mesma conclusão, isto é, este provete apresenta um resultado muito superior ao atingido por todos os outros.

Esta situação provavelmente sucede, uma vez que, visualmente era notório que, a compactação do provete três com noventa dias de cura, apresentava maior coesão que o

provete um e dois, ou seja, esta situação demonstra que o modo como este material é compactado, deveria ser mais sofisticado.

Estes testes permitiram também observar que, um betão de cânhamo ou hempcrete apresenta uma maior resistência à compressão, quanto maior for o peso da mistura, que são diretamente proporcionais à área ocupada pela mesma.

Uma vez que, não existe norma aplicável a este material, os resultados foram avaliados segundo a norma EN 1015-11 (1999), contudo, o que se verifica é que os valores obtidos, não se encontram dentro dos limites estabelecidos. No entanto, este material embora seja para possível utilização, não contém todas as características estabelecidas na mesma, ou seja, não se consegue comprovar, de certo modo, a viabilidade deste material, para possível utilização, tendo por base dados estabelecidos semelhantes.

Em suma, independentemente dos resultados estabelecidos na norma em que foi baseado o estudo, após constatar o comportamento, nomeadamente a ductilidade do material, e o modo pouco sofisticado mas possível, com que este material foi compactado, através dos resultados à resistência à compressão, consegue-se comprovar que este material consegue oferecer uma resistência capaz de ser utilizado em possíveis elementos não estruturais na construção civil.

Esta afirmação baseia-se na comparação com valores de resistência à compressão estabelecidos nas fichas técnicas de blocos de betão pré-fabricados, por exemplo da empresa PREMAFE, que apresenta valores de resistência à compressão, para as mesmas dimensões, que rondam os 2N/mm^2 , ou seja, valores muito próximos dos valores alcançados neste estudo.

2.2 Testes de condutividade térmica

A fim de apurar a condutividade térmica da mistura selecionada, as placas foram submetidas a testes na alambeta. Para tal, foram realizadas três placas, com a mesma constituição, embora apenas tenha sido utilizada uma, que foi sujeita a cinco ensaios, apurando assim, uma média de valores que garantam credibilidade aos resultados obtidos.

As placas foram sujeitas a tempos de cura de noventa dias, contendo uma dimensão de 15x15 cm.



Fig. 35 - Ensaio da condutividade térmica

2.2.1 Resultados obtidos

A mistura utilizada contém 65% de cal hidratada, 30% de cânhamo, água, com 1 de relação água ligante e 1% de bórax, como aditivo.

A tabela que se segue, demonstra uma média dos resultados obtidos, segundo os testes de condutividade térmica realizados.

Tabela 20 - Resultados obtidos condutividade térmica

AMOSTRA	Condutividade térmica	Difusão térmica	Absorvidade térmica	Resistência térmica	Espessura do material		
	λ	a	b	R	h	p	q
Ensaio 1	0,120	0,00	0,00	0,145	17,30	2,75	2,780
Ensaio 2	0,108	0,00	58,30	0,160	17,20	2,93	0,247
Ensaio 3	0,099	0,00	43,40	0,174	17,20	2,93	0,247
Ensaio 4	0,103	0,00	37,80	0,166	17,10	2,70	0,230
Ensaio 5	0,103	0,00	36,30	0,166	17,10	2,60	0,213
Média	0,11	0,00	35,16	0,16	17,18	2,78	0,74

2.2.2 Discussão de resultados

A condutividade térmica pode ser definida como sendo uma quantificação dos materiais em conduzirem energia térmica. Desta forma, se um material apresenta uma condutividade térmica elevada, possui, regra geral, menor tendência para o isolamento térmico. Ou seja, uma vez que, esta propriedade quantifica os materiais em conduzir energia térmica, quanto menor for o valor, melhor será o seu comportamento.

No decorrer do ensaio, verificou-se que para todas as placas a este submetido, ocorreu o erro 35, detetado automaticamente pela alambeta. Este erro diz-nos que, a amostra apresentava uma espessura muito fina (menos de 5mm), e que consecutivamente a precisão de medição era muito baixa.

Tendo como referência os resultados obtidos na tabela 20 e valores tabelados pela Portolab, Laboratório de Propriedades Termofísicas e Prototipação relativos a vários materiais, a composição desenvolvida neste estudo obteve uma boa média de valores. Ou seja, comparando a alguns materiais, nomeadamente, o betão, o que se verifica é que a composição obteve um valor inferior ao do betão, logo funciona melhor termicamente.

Comparando com materiais orgânicos, como é o caso da borracha ou do linóleo, mais uma vez o cânhamo apresenta valores, que evidenciam a sua melhor funcionalidade a nível térmico, comparando com valores estabelecidos nas tabelas da Portolab, que apresentam um valor de 0,17 de condutividade térmica.

Contudo, comparando com materiais inorgânicos, que são os mais utilizados no mercado nos dias de hoje, como é o caso da lã de rocha ou lã de vidro, o cânhamo apresenta um valor ligeiramente superior ao tabelado nas tabelas já referenciadas, que apresentam um valor de 0,04 de condutividade térmica.

Em suma, e de forma geral, consegue-se comprovar que o cânhamo contém propriedades que garantem que este tem um bom comportamento térmico.

2.3 Teste de absorção de água por imersão

Para a realização deste ensaio, foram utilizados três provetes com a mesma composição, com noventa dias de cura, de modo a obter mais uma vez uma média e consequente precisão de valores.

A fim de averiguar a percentagem de absorção de água por parte deste material, houve a necessidade de recorrer a um elemento que criasse peso nos provetes, pois estes flutuavam quando eram inseridos em água, o que comprova a baixa densidade deste material.

A figura que se segue demonstra o procedimento realizado, para obtenção dos valores pretendidos.

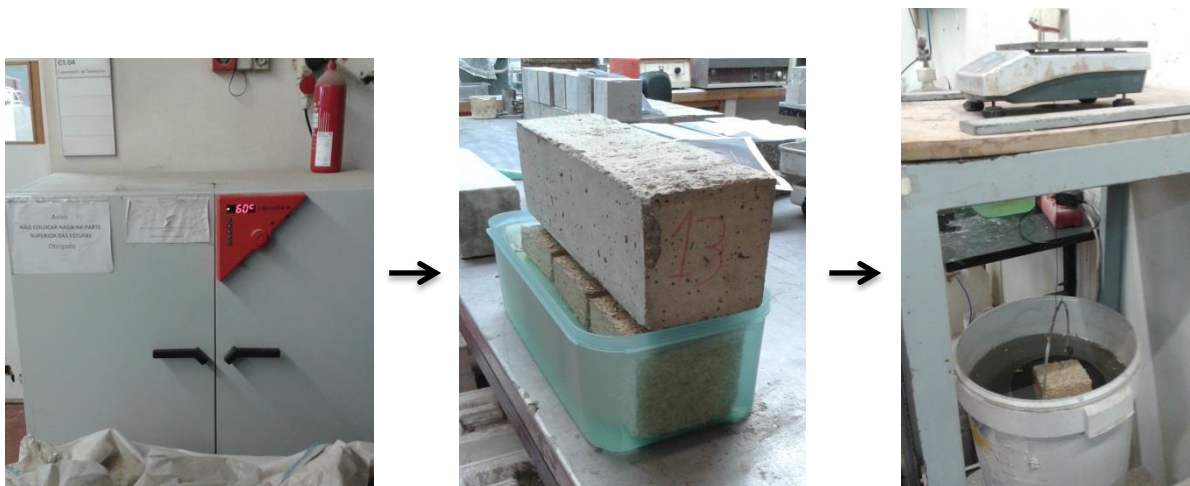


Fig. 36 – Procedimento do ensaio de absorção de água por imersão

2.3.1 Resultados obtidos

De modo a obter a percentagem de absorção de água por imersão, este ensaio foi realizado em três etapas diferentes.

Inicialmente, os provetes foram inseridos na estufa, e de duas em duas horas, foram retirados e pesados, de modo a cumprir com a condição exigida na norma. A tabela que se segue apresenta os respetivos valores do provete seco.

Tabela 21 - Resultados obtidos dos provetes secos

	Provete seco ($W_{0h} \leq 0,2\%$ que W_{2h})	
	W_{0h}	W_{2h}
P1	228,30	227,90
P2	235,50	235,30
P3	236,90	236,70

Seguidamente, e com o objetivo de apurar o peso saturado dos provetes, estes foram colocados num recipiente, totalmente submersos em água, sendo que, de quinze em quinze minutos, foram retirados e pesados, até se verificar a condição imposta. Na tabela seguinte, são apresentados os valores do provete saturado.

Tabela 22 - Resultados obtidos dos provetes saturados

	Provete seco ($W_{0min} \leq 0,2\%$ que W_{2min})	
	W_{0min}	W_{2min}
P1	561,00	561,90
P2	568,90	568,90
P3	597,60	598,80

Finalmente, após saturação dos provetes, estes foram pesados totalmente submersos em água, para obter o peso dos provetes submersos. As tabelas que se seguem apresentam a média da percentagem de absorção de água do material, após realização de todas as etapas.

Tabela 23 - Resultados obtidos dos provetes do teste de absorção de água por imersão

Absorção de água por Imersão					
Mistura	Provete	Secção (cm)	Ms,dry (g)	Ms,sat (g)	Ms,i (g)
65% Cal hidratada 35% Cânhamo	1	10x10x10	2373,70	1782,20	2794,60
	2		2381,10	1744,00	2805,70
	3		2382,50	1762,60	2807,10

Tabela 24 – Percentagem da absorção de água por imersão

Absorção de água por imersão	
Absorção (%)	Média (%)
41,57	40,74
39,99	
40,65	

2.3.2 Discussão de resultados

A absorção de água por imersão é a diferença entre a massa do provete endurecido imerso em água e a massa do mesmo provete quando seco, expressa em termos do seu volume.

Nos resultados apresentados, é de frisar que estes contabilizam o peso do cubo de betão. Assim, através deste ensaio conseguiu-se comprovar uma elevada porosidade deste material, expressa não só pela percentagem de absorção de água, como também, pelo elevado número de pesagens que tiveram de ser realizadas, na segunda etapa deste ensaio, até se obter uma estabilidade de valores, assim como, o facto de os provetes flutuarem quando inseridos em água.

Contudo, é de salientar que os provetes mantiveram-se intactos após saturação, assim como, os resultados obtidos podem ser significativamente influenciados quer pelo tipo de provete (processo de moldagem), quer pelas suas dimensões.

Comparando este material com uma argamassa de cimento, o que se verifica é que o material aqui desenvolvido absorve o dobro, dependendo dos respetivos tempos de cura e moldagem.

Em suma, é visível que este material contém níveis de absorção elevados, limitando assim a futura aplicação na construção civil, que poderá porventura ser resolvido incorporando por exemplo um hidrofugante de superfície após alguns dias de cura.

Estes elementos impermeabilizantes detêm a água, impedindo a sua passagem, reduzindo a porosidade do material e isolando-o da humidade do meio.

2.4 Testes de absorção de água por capilaridade

Os provetes utilizados para a realização deste estudo foram reaproveitados, após estes terem sido utilizados no teste de absorção de água por imersão, sendo que, estes foram devidamente secos, respeitando a condição imposta na Norma, em que este teste foi baseado.

De forma a garantir a viabilidade do estudo, os provetes foram impermeabilizados com recurso a silicone, deixando apenas 5mm por impermeabilizar, assim como, estes foram colocados num recipiente, sobre uma rede plastificada, garantido assim, a fluidez da água por capilaridade.

Houve também a necessidade de realizar o estudo, em curtos espaços de tempo, inicialmente de 5 em 5 minutos, para conseguir observar essencialmente a evolução dos níveis de absorção. No entanto, e de modo a obter o coeficiente de absorção de água por capilaridade, foi obrigatório a realização do estudo aos 10 e 90 minutos do ensaio.

A figura que se segue demonstra o procedimento realizado, para obtenção dos valores pretendidos.



Fig. 37 – Provetes impermeabilizados

2.4.1 Resultados obtidos

Para a determinação da absorção de água por capilaridade, inicialmente os provetes foram pesados totalmente secos, respeitando a condição da Norma que diz que, pesando os provetes de 24 em 24 horas, a diferença percentual de pesagem teria de ser inferior ou igual a 0,02%.

Posteriormente, os provetes foram colocados em água até que estes ficassem com uma altura de água de aproximadamente 5mm, dando-se início à contagem do tempo.

Os provetes foram sendo pesados conforme os intervalos de tempo referidos na tabela que se segue, onde é de salientar que, antes de estes serem pesados, eram colocados durante 20 segundos numa superfície que não absorve-se água, neste caso foi utilizada uma placa cerâmica, assim como, o recipiente onde os provetes estavam inseridos era devidamente coberto, para evitar a evaporação da água, e garantir o máximo de fiabilidade nos resultados obtidos.

A tabela que se segue demonstra os resultados obtidos, da realização deste ensaio.

Tabela 25 – Resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade

Data/Hora	Dias	min	$\sqrt{\text{min}}$	$\sqrt{\text{h}}$	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. (%)
21-3-15 10:00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	276,00	0,00	-	0,00%	0,00%	0,000%
					2	259,70	0,00		0,00%		
					3	269,50	0,00		0,00%		
21-3-15 10:05	0,00	5,00	2,24	0,29	1	348,30	72,30	146,20	20,76%	32,98%	10,584%
					2	451,50	191,80		38,87%		
					3	444,00	174,50		39,30%		
21-3-15 10:10	0,01	10,00	3,16	0,41	1	444,30	168,30	181,03	37,88%	39,07%	1,049%
					2	455,80	196,10		39,45%		
					3	448,20	178,70		39,87%		
21-3-15 10:15	0,01	15,00	3,87	0,50	1	448,80	172,80	184,47	38,50%	39,53%	0,915%
					2	458,70	199,00		39,83%		
					3	451,10	181,60		40,26%		
21-3-15 10:20	0,01	20,00	4,47	0,58	1	451,70	175,70	187,13	38,90%	39,88%	0,886%
					2	461,10	201,40		40,14%		
					3	453,80	184,30		40,61%		
21-3-15 10:40	0,03	40,00	6,32	0,82	1	460,80	184,80	193,83	40,10%	40,76%	0,567%
					2	468,20	208,50		41,05%		
					3	457,70	188,20		41,12%		
21-3-15 10:55	0,04	55,00	7,42	0,96	1	465,10	189,10	197,23	40,66%	41,19%	0,464%
					2	471,10	211,40		41,41%		
					3	460,70	191,20		41,50%		

Materiais Compósitos com incorporação de cânhamo industrial

21-3-15 11:10	0,05	70,00	8,37	1,08	1	468,10	192,10	199,87	41,04%	41,52%	0,419%
					2	473,90	214,20		41,76%		
					3	462,80	193,30		41,77%		
21-3-15 11:30	0,06	90,00	9,49	1,22	1	475,00	199,00	204,70	41,89%	42,12%	0,209%
					2	478,40	218,70		42,31%		
					3	465,90	196,40		42,15%		
21-3-15 11:50	0,08	110,00	10,49	1,35	1	478,80	202,80	208,23	42,36%	42,55%	0,186%
					2	481,90	222,20		42,73%		
					3	469,20	199,70		42,56%		
21-3-15 12:30	0,10	150,00	12,25	1,58	1	484,90	208,90	207,90	43,08%	43,16%	0,148%
					2	487,00	211,00		43,33%		
					3	473,30	203,80		43,06%		
21-3-15 13:00	0,13	180,00	13,42	1,73	1	489,00	213,00	211,43	43,56%	43,57%	0,203%
					2	490,90	214,90		43,78%		
					3	475,90	206,40		43,37%		
21-3-15 14:00	0,17	240,00	15,49	2,00	1	494,50	218,50	216,60	44,19%	45,26%	2,116%
					2	496,50	220,50		47,69%		
					3	480,30	210,80		43,89%		
21-3-15 15:00	0,21	300,00	17,32	2,24	1	499,40	223,40	220,63	44,73%	45,70%	2,120%
					2	500,70	224,70		48,13%		
					3	483,30	213,80		44,24%		
21-3-15 16:00	0,25	360,00	18,97	2,45	1	505,30	229,30	226,07	45,38%	46,29%	2,103%
					2	506,20	230,20		48,70%		
					3	488,20	218,70		44,80%		
21-3-15 17:00	0,29	420,00	20,49	2,65	1	509,30	233,30	263,43	45,81%	49,80%	4,383%
					2	510,30	234,30		49,11%		
					3	592,20	322,70		54,49%		

Materiais Compósitos com incorporação de cânhamo industrial

21-3-15 19:00	0,38	540,00	23,24	3,00	1	516,30	240,30	269,63	46,54%	50,39%	4,182%
					2	517,30	241,30		49,80%		
					3	596,80	327,30		54,84%		
22-3-15 10:00	1,00	1440,00	37,95	4,90	1	557,60	281,60	276,27	50,50%	51,18%	2,180%
					2	559,90	283,90		53,62%		
					3	532,80	263,30		49,42%		
22-3-15 14:00	1,17	1680,00	40,99	5,29	1	562,10	286,10	280,67	50,90%	51,57%	2,173%
					2	564,50	288,50		53,99%		
					3	536,90	267,40		49,80%		
23-3-15 8:30	1,94	2790,00	52,82	6,82	1	578,10	302,10	294,57	52,26%	52,75%	2,021%
					2	576,80	300,80		54,98%		
					3	550,30	280,80		51,03%		
23-3-15 12:30	2,10	3030,00	55,05	7,11	1	580,10	304,10	295,43	52,42%	52,83%	1,995%
					2	577,00	301,00		54,99%		
					3	550,70	281,20		51,06%		
24-3-15 8:30	2,94	4230,00	65,04	8,40	1	581,00	305,00	295,43	52,50%	52,82%	2,033%
					2	577,10	301,10		55,00%		
					3	549,70	280,20		50,97%		

Através dos resultados obtidos, foram elaborados gráficos para uma maior percepção de valores quer a nível da variação dos níveis de absorção de água ao longo do tempo, quer do coeficiente de absorção de água por capilaridade.

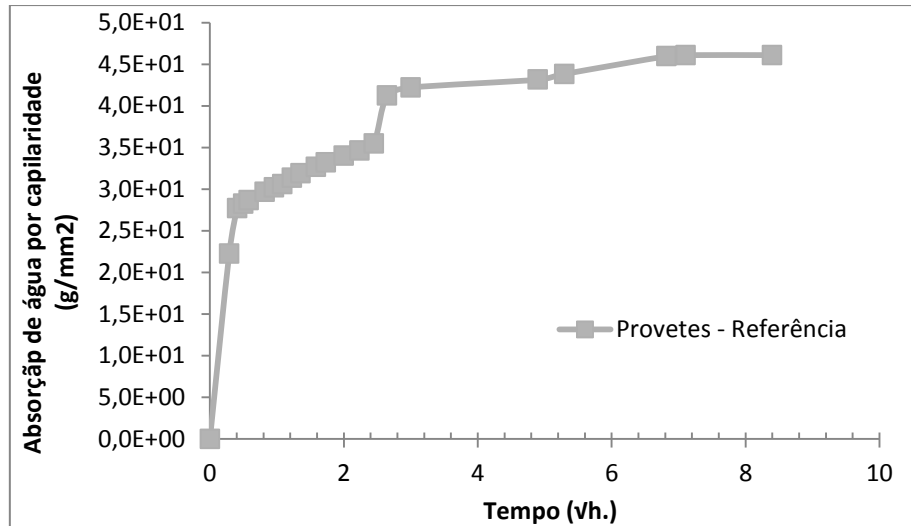


Fig. 38 – Níveis de absorção de água ao longo do tempo

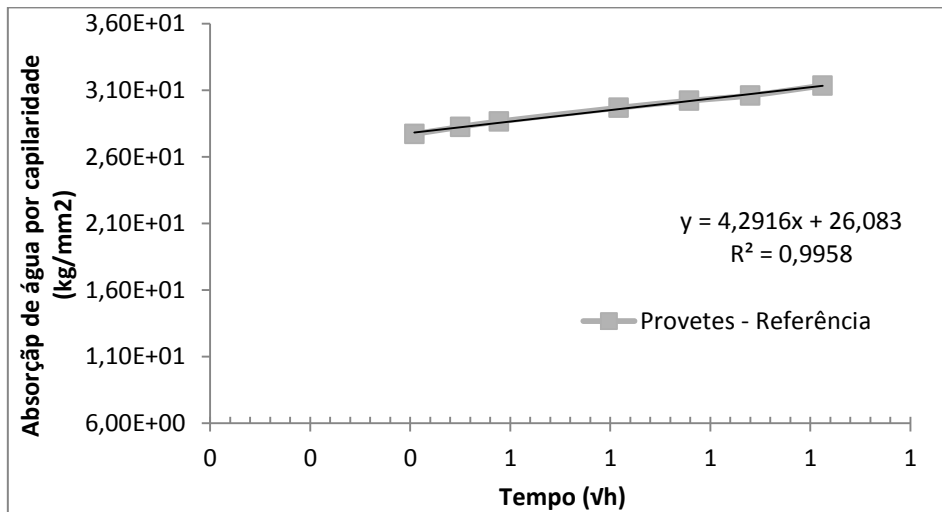


Fig. 39 – Coeficiente de absorção de água por capilaridade

2.4.2 Discussão de resultados

O coeficiente de capilaridade é um fator característico de cada argamassa que permite caracterizar a cinética de absorção destas face ao contacto direto com água, assim, este ensaio é de extrema importância uma vez que, o desenvolvimento da absorção de água por capilaridade constitui um indicador relevante da durabilidade das argamassas, mais concretamente dos mecanismos de degradação associados à absorção de água por sucção, em sentido contrário à gravidade.

Esta absorção é expressa pelo coeficiente de capilaridade, C , o qual descreve a capacidade de uma argamassa endurecida tem de absorver água, de forma natural, sem exercer pressão, traduzida pela massa de água absorvida por área do material, devido a forças capilares (L.Páscoa, 2012). Segundo a norma europeia EN1015-18, este coeficiente é determinado pela diferença de massa entre os 10 e 90 minutos, isto é, admite-se que o ponto de mudança entre a absorção rápida e lenta ocorre aos 90 minutos. No entanto, a norma é referente a provetes de 40 x 40 x 160 mm mas os provetes em causa são mais pequenos, o que pode significar que a região linear possa acabar antes dos 90 min.

De acordo com alguns autores, nomeadamente, Veiga (2004), Santos (2009), Gomes (2009), uma argamassa com maior porosidade está associada a uma argamassa que absorve maior quantidade de água, ou seja, numa argamassa com porosidade elevada, a entrada de água para os poros de argamassa é mais fácil e por isso a quantidade de água que se absorve é superior.

Neste ensaio, observou-se que este se divide em duas fases, sendo que numa fase inicial a absorção de água é bastante rápida, uma vez que, em dois dias comprovou-se a absorção quase total da água, e numa segunda fase, esta absorção é bastante mais lenta. Ou seja, este ensaio permite afirmar, que este material em contacto com água, permite que esta ascenda facilmente, o que pode porventura condicionar as capacidades do material.

Contudo, mais uma vez, os resultados podem estar condicionados ao modo de compactação adquirido, assim como, é de salientar que estes mantiveram-se intactos no final do ensaio, sendo que, o isolamento criado em volta dos provetes, influencia diretamente nesta evidência. No entanto, isolando este material, pode ser uma solução adotar, tendo em conta, os níveis de absorção de água por capilaridade e a necessidade de manter as propriedades do mesmo.

Através da figura 36, é possível observar que o coeficiente por capilaridade deste material é superior, comparando com valores standard das normas e de alguns autores.

Segundo o CSTB (1982), divide em três grupos a classificação dos revestimentos à base de ligantes hidráulicos: forte capilaridade ($C > 4 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$), fraca capilaridade ($1,5 < C < 4 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$) e de muito fraca capilaridade ($C < 1,5 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$). Ainda segundo Flores-Colen (2009), que referencia a DIN18550-1 (1885), citada em Veiga (2001a), Lanzinha (1998) e Gomes (1995), os materiais podem ser classificados nas classes de sucção rápida ($C > 2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$), inibidor de água ($C \leq 2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$), quase impermeável ($C \leq 0,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$) ou impermeável ($C \leq 0,001 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$). Pela NP EN 998 -1 (CEN, 2010), $C \leq 0,2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ em condições severas e $C \leq 0,4 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ em condições moderadas (argamassas leves e monomassas).

Ou seja, constatando que o valor obtido é de $4,29 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$, e através dos valores tabelados, o que se verifica é que estamos perante um material de forte capilaridade e de elevada porosidade.

Em suma, e da mesma forma que o concluído através dos ensaios de absorção de água por imersão, esta desvantagem do material poderá ser resolvido incorporando por exemplo um hidrofugante de superfície após alguns dias de cura.

É de salientar também que o betão de cânhamo pode ser revestido com uma argamassa de reboco e esta sim deverá ser mais impermeável á água.

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES FINAIS E ESTUDOS FUTUROS

1. Conclusões Finais

“De que adianta uma casa se não há um planeta tolerável onde construí-la?” A frase do escritor *Henry David Thoreau* foi dita há mais de um século, mas continua a inspirar as pessoas, ainda mais numa era de procura de respostas para a sustentabilidade do Planeta.

Assim, sendo a indústria da construção responsável por uma parte considerável da degradação ambiental, quer no que diz respeito aos níveis de emissões de poluentes quer no que se refere ao consumo de recursos naturais, existe uma necessidade acrescida de implementar novas técnicas de construção, utilizando materiais ecológicos, com menor nível de consumo energético, menor energia incorporada, menor geração de resíduos, melhores desempenhos, que permitam pelo menos igualar os materiais tradicionais mas de forma sustentável.

Nesta ótica, o cânhamo na construção poderá ser uma via alternativa aos materiais utilizados na construção, sendo este o propósito do desenvolvimento desta dissertação, isto é, evidenciar as potencialidades desta planta como material, inspirada em muitos casos de sucesso já desenvolvidos, como pode ser observado na pág.21 do capítulo II, desta dissertação.

De modo geral, existem inúmeras vantagens e desvantagens, que autenticam o cânhamo como um futuro material a utilizar na construção, quer como blocos não estruturais, argamassas ou revestimentos, demonstradas na tabela que se segue.

Tabela 26 – Vantagens e desvantagens do uso do cânhamo

Vantagens	Desvantagens
- Matéria-prima renovável;	- Aquisição da matéria-prima (importação);
- Elevadas propriedades térmicas;	- Necessidade de mão-de-obra qualificada;
- Boa inércia térmica;	- Resistências mecânicas, não sendo utilizável como elemento estrutural;
- Baixas emissões de CO ₂	- Tempo de secagem lento devido ao uso da cal;
- Baixa energia incorporada;	- Custo;
- Reciclável/reutilizável;	- Necessidade de uma temperatura superior a 5°C, não sendo conveniente a construção durante o Inverno.
- Origem natural	
- Não contem químicos nocivos na sua constituição	
- Baixos níveis de energia incorporada;	
- Neutro em gases efeito de estufa;	
- Cresce rápido;	
- Simples de cultivar	
- Vida útil estimada entre 600 a 800 anos	

Relativamente ao trabalho de investigação apresentado, e tendo como base os resultados obtidos a partir dos testes já descritos e valores standardizados, existem algumas particularidades a salientar, que evidenciam a veracidade, benefício, viabilidade do uso do cânhamo como material, nomeadamente:

O elevado teor de sílica do núcleo do cânhamo, permite que exista uma boa ligação com a cal, ativando as fibras na presença de água e cal;

Dentro das composições utilizadas, existe uma relação material/quantidade a utilizar na composição, que interfere na resistência mecânica do material;

A composição mais adequada é a constituída por 35% de cânhamo, 65% de cal hidratada, utilizando como aditivo o bórax;

O bórax embora retarde o início do endurecimento, aumenta progressivamente as resistências a longo prazo;

Verifica-se a redução da taxa de endurecimento com a diminuição da temperatura;

As composições utilizadas demonstram uma resistência à compressão satisfatória, tendo-se verificado uma influência nos resultados, devido aos tempos de cura, como o modo de compactação utilizado. Contudo, e tendo por base valores conhecidos de alguns centros e pesquisa europeus, como o Building Research Establishment, com resultados de resistência à compressão média de 0,5Mpa, o que se verifica é que os valores alcançados neste estudo estão dentro dos limites já conhecidos;

O comportamento dúctil verificado nos testes de resistência à compressão, demonstra uma característica que pode ser vantajosa no ajuste do material à estrutura da construção;

Este material contribui para uma estrutura leve, de fácil manuseamento e adaptação;

Ao nível da condutividade térmica, o que se verifica é que a composição alcança baixos valores de condutividade térmica, logo apresenta um bom comportamento térmico, embora ligeiramente superior a alguns materiais inorgânicos, muito utilizados na construção;

Este material apresenta algumas limitações quanto à absorção de água, contudo, esta delimitação pode facilmente ser resolvida aplicando um hidrofugante de superfície após alguns dias de cura.

Assim, entende-se que a utilização do cânhamo promove a construção sustentável, uma vez que, os edifícios só podem ser considerados “sustentáveis”, quando todas as dimensões da sustentabilidade estão equilibradas, sendo elas a dimensão ambiental, económica e social.

Relativamente à dimensão social, a utilização de cânhamo na construção tem encontrado diversas dificuldades que impossibilitam a sua solidificação no mercado, tendo em conta a mentalidade da sociedade em querer realizar um investimento e obter um retorno a curto prazo, optando por materiais não sustentáveis, não tendo em conta outros custos associados, que o cânhamo pode minimizar a longo prazo. Uma outra barreira é a origem deste material, que é associada a uma planta com níveis psicotrópicos, onde este trabalho vem contribuir ainda mais para desmistificar esta ideia.

Contudo, refletindo sobre o assunto, o cultivo do cânhamo irá promover a vertente socio-cultural, aumentando por exemplo o repovoamento das regiões interiores, e como estas se encontram próximas da fronteira, a exportação do cânhamo seria facilitada promovendo a sustentabilidade económica.

Na ótica da sustentabilidade ambiental, e tendo em conta que, cada vez mais há uma preocupação ao nível do ambiente por parte de várias entidades, a necessidade da procura de materiais de construção sustentável é pertinente e indispensável, para o bem-estar presente e futuro do Homem e do Ambiente.

Assim, implementar o uso do cânhamo traria bastantes benefícios, uma vez que, haveria diminuição do consumo de recursos naturais, que estão muitas das vezes associados à extração e processamento dos mesmos, é um material que não necessita de qualquer pesticida e herbicida para garantir o seu crescimento, diminuindo a produção de CO₂, assim como, é um material que pode ser reciclado e reaproveitado na produção de novos exemplares.

Quanto à dimensão económica, é onde o cânhamo enfrenta maiores dificuldades, uma vez que, um bloco de betão pré-fabricado não estrutural com dimensão de 50x20x10 custa 0,28€, enquanto que, um bloco de cânhamo com cal e bórax, pode rondar 2,50€.

Contudo, este preço neste momento é justificado, pela necessidade de exportação do cânhamo, pelas barreiras criadas no cultivo do mesmo e pela falta de uso do cânhamo como material de construção, proporcionando um custo elevado, uma vez que, não existem valores concorrenciais.

Em suma, a conquista do mercado e implantação do cânhamo, está unicamente dependente da opção da indústria da construção em ponderar o lado financeiro e ambiental, embora, melhorar a eficiência da técnica de construção utilizando este material ecológico, possa contribuir para a decisão desta mesma ponderação.

2. Estudos Futuros

Aprofundar conhecimentos e futuras aplicações do cânhamo na construção, foi um dos princípios fundamentais desta dissertação, contudo, é necessário que estes sejam contínuos, de forma a tornar os objetivos mais coesos, flexíveis, parametrizáveis e reutilizáveis.

Assim, de acordo com os resultados obtidos nesta dissertação, destacam-se algumas linhas de investigação futuras que podem aprofundar aspetos estudados, ou complementar o trabalho desenvolvido, nomeadamente:

- Avaliação do comportamento acústico da composição estudada;
- Avaliação da reação ao fogo da composição estudada;
- Incorporar novos ligantes e aditivos ao agregado cânhamo, sempre na ótica da sustentabilidade;
- Avaliar o comportamento da composição estudada, quando incorporada numa solução construtiva, nomeadamente em paredes com aplicação de um reboco mais impermeável à água;
- Estudar soluções impermeabilizantes, que combatem a fragilidade da composição, em relação à absorção de água;

- Verificar o desempenho do material quando utilizado em blocos pré-fabricados.
- Desenvolver um método de compactação eficaz que não comprometa as características da composição;
- Desenvolvimento de uma norma que estabeleça valores para utilização deste material.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, Barroso et al. (2014) “Materiais de Construção Sustentáveis – Volume 3”. Guimarães: Universidade do Minho.

Aigbomian, E. (2012). Development of Wood-Crete building materials from sawdust and waste paper. *Construction and Building Materials* 40: 361–366.

Alimentação viva e sustentável (2007). “O cânhamo - super comida e não só” [acedido em Janeiro de 2015].

Algarvio, Maria (2010) *Influência da razão água/ligante nas características das argamassas de cal aérea para rebocos de edifícios antigos*. Lisboa: Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.

BS EN 1015-11 1999. Methods of test for mortar for masonry.

BS 1015-18 2002. Methods of test for mortar for masonry.

CANAPOR: Cooperativa para o desenvolvimento do cânhamo “CRL” www.canapor.com [acedido em Junho de 2014].

CIMPOR – Cimentos de Portugal SA, www.cimpor.pt [acedido em Janeiro de 2015].

Coelho, Ana et al. (2009) “A Cal na Construção”. Guimarães: Universidade do Minho.

Concelho de Arquitectos da Europa. A Green Vitruvius – Princípios e práticas de projecto para uma Arquitectura Sustentável, 1999. Ed. Ordem dos Arquitectos Portugueses, 2001.

Cardoso, Daniel (2013) *Argamassas de cais e metacaulino sujeitas a diferentes condições de cura: evolução das características e dos compostos mineralógicos*

formados com a idade. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Decreto lei N° 23/99, que estabelece as regras relativas ao controlo do mercado lícito de estupefacientes, substâncias psicotrópicas, precursores e outros produtos químicos susceptíveis de utilização no fabrico de droga.

DRAP Norte: Direção Regional de Agricultura e Pescas do Norte – A cultura do cânhamo, 2011. Ministério da agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território, 2011.

Daneberg, J.M. and B.A. (Hons). *Hemp Architecture*. Catalyst Conference at the University of Canberra, 1997. <http://www.hemp.on.net> [acedido em Novembro de 2014].

E 394 1993 LNEC. Determinação da absorção de água por imersão. Ensaio à pressão atmosférica.

Eires, Rute (2006) *Materiais não convencionais para uma construção sustentável*. Guimarães: Universidade do Minho.

Eires, Rute; Jalali, Saíd; Camões, Aires (2007) “Novos compósitos para aplicações não estruturais na construção” Congresso Construção – Universidade Coimbra.

Eires, Rute (2012) *Construção em Terra: Desempenho melhorado com incorporação de biopolímeros*. Guimarães: Universidade do Minho.

E. Pegurier, Ecocidades, www.ecocidades.com [acedido em Fevereiro de 2015].

Evrard, Arnaud. “Hemp concretes – A synthesis of physical properties” – Associação Francesa Construire en Chanvre Edited by Arnaud Evard, May to November 2002.

Fold, www.fold.pt/shop/canhamo.

Gabinete de planeamento e políticas (GPP) - Produção de cânhamo, 2011. Ministério da Agricultura e do Desenvolvimento Rural e das Pescas, 2011.

Gross, C. & Walker, P. (2014). Racking performance of timber studwork and hemp-lime walling. *Construction and Building Materials* 66: 429–435.

Growroom, www.growroom.net [acedido em Janeiro de 2015].

História do cânhamo. <http://www.canhamohousehemp.com> [acedido em Junho de 2014].

Hemp Technology. Hemp Technology Ltd (2010) “Products – hemp and lime construction” www.hemcore.co.uk/hemcrete.htm [acedido em Julho de 2014].

HEES, L (1990); Instruction manuals of the Alambeta instrument SENSORA Liberec Registered Company. Czech Republic.

Honório, Káthia (2005) “Aspetos terapêuticos de compostos da planta *Cannabis sativa*” Brasil: Instituto de Física de São Carlos - Universidade de São Paulo [acedido em Junho de 2014].

Jalali, Said; Eires, Rute (2007) “Terra em Seminário – V Seminário Arquitetura de Terra em Portugal”. Guimarães: Universidade do Minho.

Laboratório Portolab, www.protolab.com.br [acedido em Fevereiro de 2015].

Maia, Lorena (2013) “Fibras Têxteis – Cânhamo” Brasil [acedido em Julho de 2014].

Materiais Não Convencionais. <http://www.icbo.org> [acedido em Junho de 2014].

McLaren, D. (2012). A comparative global assessment of potential negative emissions technologies. *Construction and Building Materials* 90: 489–500.

Meira, João (2001) “Argilas: O que são, suas propriedades e classificações”, www.visaconsultores.pt [acedido em Fevereiro de 2015].

Michka. Building with hemp – A report from France, 1994.

Montedor, Carlos (1997) “O cânhamo como produtor de fibra” Lisboa: Universidade de Lisboa.

NP EN 998-1 2010. Especificações de argamassas para alvenarias.

Pacheco, Nelson (2009) “Como plantar cânhamo em Portugal” Porto.

Paiva, Samantha (2007) “Compósito cimento – lodo de ETE de indústria de papel para aplicação na construção civil” Brasil: Universidade de São Paulo.

Páscoa, Liliana (2012) *Índice de secagem como parâmetro em serviço dos rebocos aplicados em paredes exteriores*. Lisboa: Técnico de Lisboa.

Rai, D., Sodagar, B., Fieldson, R. & Hu, X. (2011). Assessment of CO2 emissions reduction in a distribution warehouse. *Construction and Building Materials* 36: 2271–2277.

Raizverde: Energias renováveis – construção e materiais ecológicos, 2009 [acedido em Julho de 2014].

Romão, Cristina (2000) “Manual do cânhamo” Brasil – São Paulo.

Santos, Mariana (2013) “O cânhamo como material de construção: viabilidade e oportunidade” Porto: Universidade Fernando Pessoa.

Sequeira, Ana; Frade, Dina (2007) “ Cal hidráulica – Um ligante para a reabilitação”. Martigança: Secil SA Portugal.

Small, Ernest and David Marcus. Hemp: “A new crop with new uses for north America”. P.284-326. In: J. Janick and A. Whipkey (eds.), Trends in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA, 2002. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop> [acedido em Outubro de 2014].

Smoke Buddies, www.smkbd.com [acedido em Janeiro de 2015].

Smoky, www.smoky.com.br [acedido em Fevereiro de 2015].

Wooley, Tom; Terry McGrogan (2013) “The Use of Hemp as an Eco-Composite Form of Building Construction”, www.tandfonline.com [acedido em Janeiro de 2015].