

NOVOS COMPÓSITOS ECO- EFICIENTES PARA APLICAÇÕES NÃO ESTRUTURAIS NA CONSTRUÇÃO

R. EIRES

S. JALALI

A. CAMÕES

Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho

rute@civil.uminho.ptsaid@civil.uminho.ptaires@civil.uminho.pt

PORTUGAL

PORTUGAL

PORTUGAL

SUMÁRIO

Este artigo resulta de um trabalho de investigação que tem como pressuposto o desenvolvimento de novos materiais compósitos utilizando granulado de cortiça, um subproduto da indústria corticeira, pasta de celulose, elaborada a partir de desperdícios de papel, e fibras de cânhamo. O ligante utilizado é uma mistura de pozolânica de metacaulino e cal ou a própria pasta de celulose. Pretende-se que estes materiais sejam utilizados em aplicações não estruturais na construção civil, como por exemplo em paredes divisórias e revestimento de tectos ou na regularização de pisos e enchimento. No trabalho de investigação, desenvolveu-se uma mistura compósita reforçada com fibras de cânhamo incorporando metacaulino e cal como ligante. Sendo também desenvolvidos compósitos com pasta de papel e granulado de cortiça incorporando pequenas quantidades de material polimérico, ligante e aditivos minerais. Estes compósitos foram submetidos a testes para determinar as suas propriedades físicas e mecânicas. Além disso, foi estudada a conjugação destes compósitos com elementos estruturais leves como suporte. Este artigo apresenta as propriedades principais e os métodos de manufactura utilizados para produzir os materiais mencionados com potencial eco-eficiente, uma vez que representam uma alternativa para utilizar desperdícios industriais como novos materiais de construção com excelentes propriedades térmicas e acústicas.

Palavras-chave: recuperação de resíduos, materiais verdes, cânhamo industrial, cortiça, desperdícios de papel.

1. INTRODUÇÃO

A economia sustentável a nível mundial cresceu e a qualidade de vida das pessoas depende agora do uso de produtos alternativos na arquitectura e construção, como por exemplo, os desperdícios industriais, convencionalmente designados de “materiais verdes”. O granulado de cortiça, um subproduto da indústria da cortiça, a pasta de celulose, obtida de desperdícios de papel reciclável e fibras de cânhamo são claramente materiais que podem ser utilizados para este propósito. Estes materiais poderão ser usados em placas compósitas e argamassas para elementos de construção não estruturais, como paredes divisórias, revestimento de tectos ou regularização de pisos.

A cortiça (parte da planta *Quercus Suber L*, de designação comum sobreiro) é um material, largamente produzido em Portugal, cujas características são de considerável interesse para a indústria da construção. Pode ser considerado como um material estratégico com um enorme potencial e variedade de usos. A cortiça é secularmente conhecida pela sua reduzida densidade, elasticidade, compressibilidade, impermeabilidade e isolamento eficiente de absorção vibrátil, térmica e acústica [1, 2]. Este material é normalmente usado na construção sem funções estruturais e tem um comportamento similar ao poliestireno expandido, vermiculite, perlite expandida, vidro expandido e argila expandida de pequena dimensão.

As fibras naturais de cânhamo, *cannabis sativa L*, espécie desprovida de substâncias psicotrópicas, podem ser utilizadas como reforço com propriedades semelhantes às fibras de juta, sisal, linho e coco. Estas fibras têm competido com as fibras sintéticas no que se refere às propriedades químicas, físicas e mecânicas, especialmente na tensão à flexão, no isolamento térmico e acústico e em características bactericidas [3, 4].

Inicialmente as fibras de cânhamo, cujo teor em sílica é grande, era utilizado no reforço de tijolos de argila e actualmente tem sido aplicado em produtos cimentícios, como betão, argamassas, blocos e placas. Sendo ser realizado um betão com a parte celulósica das fibras de cânhamo designado de “hemprete”, denominado neste artigo de betão de cânhamo. Neste betão as fibras são activadas alcalinamente na presença de cal e água, tendo em conta o elevado teor em sílica, levando a um processo citado de petrificação [3, 4].

Este tipo de material de construção tem sido estudado e aplicado em alguns países, especialmente em França, Reino Unido e Alemanha. Como resultado destes estudos, actualmente são conhecidas diversas composições baseadas no uso da cal hidratada ou hidráulica e diversos aditivos, adicionados em quantidades distintas. O hemprete é correntemente aplicado de diferentes modos como paredes divisórias ou paredes exteriores, substituindo o sistema convencional de alvenaria de tijolo com camadas de isolamento térmico.

A pasta de celulose ou as misturas de cal-pozzolana são utilizadas como ligantes dos novos compósitos híbridos desenvolvidos neste trabalho de investigação. A quantidade óptima de metacaulino e cal foi determinada e utilizada para produzir o ligante para o compósito leve, reforçado com fibras de cânhamo, desenvolvido para a realização de paredes não estruturais *in situ*, blocos e placas, que foi testado revelando propriedades promissoras. Foram produzidos, a título experimental, diversos compósitos com pasta de celulose ou papel e granulado de cortiça, incorporando fibras têxteis de cânhamo, pequenas quantidades de ligante polimérico e aditivos minerais, para avaliar a melhor composição segundo os testes físicos e mecânicos efectuados. Sendo também estudada a combinação da melhor composição em placa sanduíche com um material estrutural leve em favo de abelha.

Os resultados obtidos mostram que estes compósitos de potencial eco-eficiente podem ser facilmente manufacturados possuindo excelentes propriedades térmicas e acústicas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Mistura de metacaulino e cal para compósito de cânhamo

O metacaulino seleccionado foi obtido de uma indústria cerâmica portuguesa, cuja composição química é rica em sílica, SiO₂, e alumina, Al₂O₃, e de uma finura média.

Foi utilizada uma cal hidratada comercial apresentando um elevado índice de pureza, 90% de CaO, e um diâmetro máximo de partículas de 0,2mm.

Para determinar a quantidade ótima de metacaulino e cal para o novo ligante do compósito, foram produzidas duas misturas utilizando diferentes percentagens de metacaulino/cal e submetidas a testes de compressão a diferentes tempos de cura. A influência da temperatura de cura nas argamassas com pozolana também foi analisada.

2.2 Compósito leve de cânhamo para blocos e placas

As fibras de cânhamo seleccionadas, resultantes da extracção das fibras têxteis exteriores (conhecidas como linho de cânhamo) representam a parte interna do caule da planta. Estas fibras partidas são compostas por pequenos paralelepípedos, de 5 a 30 mm, justificando a aparente semelhança com aparas de madeira. A densidade deste cânhamo é em média de 110 a 150 kg/m³, característica que lhes confere uma extrema leveza, sendo uma mais valia quando utilizadas como agregado nos compósitos. A sua composição química é constituída essencialmente de óxido de cálcio (CaO, 44.057 %), sílica (SiO₂, 24.649 %), óxidos potássio e de sódio (K₂O e Na₂O, 12.113 e 9.783 %, respectivamente).



Figura 1 – Fibras de cânhamo (caule).

Após os estudos desenvolvidos com o propósito de avaliar o efeito de diferentes aditivos minerais, Foram realizadas três composições, com diferentes percentagens de pasta de celulose com dois aditivos minerais, para produzir betão leve reforçado com fibras de cânhamo. A pasta de papel foi preparada em laboratório triturando desperdícios de papel com água numa misturadora convencional. Como ligante destes compósitos foi utilizada a mistura ótima de metacaulino/cal na proporção de 75/25% (ver em resultados e discussão). A tabela 1 mostra as composições realizadas na produção de pequenos blocos de betão de cânhamo.

Tabela 1 – Composição dos blocos de betão de cânhamo produzidos.

Composição	Referência da amostra		
	B6	B7	B8
Fibras de cânhamo (5-15mm comprimento, espessura>2mm)	24 %	29 %	34 %
Desperdícios de papel para pasta (em massa)	10 %	5 %	-
Metacaulino	53 %	53 %	53 %
Cal	13 %	13 %	13 %
Aditivo 1	2 % da cal	2 % da cal	2 % da cal
Aditivo 2	2 % da cal	2 % da cal	2 % da cal
Teor de água na pasta de papel	86 % do papel	86 % do papel	-
Água/ligante	1	1	1

Foi utilizada compactação mecânica para produzir placas utilizando as composições referidas na Tabela 1. Estas placas poderão ser empregues em diversas aplicações, como paredes divisórias ou revestimento de tectos.

2.3 Placas compósitas com granulado de cortiça e pasta de papel

O granulado utilizado é um subproduto de uma indústria portuguesa, contendo diversas partes de cortiça e diferentes tamanhos (Figura 2a) A densidade aparente é 384.5 kg/m^3 e o peso específico é 160.0 kg/m^3 .



Figura 2 – Materiais para placas compósitas - a) granulado de cortiça e b) fibras de cânhamo.

A pasta de papel ou celulose foi preparada em laboratório seguindo o mesmo procedimento da pasta incorporada no betão de cânhamo.

Foram produzidas várias composições utilizando diferentes percentagens de pasta de papel, granulado de cortiça e pequenas quantidades de material ligante. Para melhorar as resistências mecânicas, a absorção de água e melhor comportamento ao fogo foram incorporadas fibras de cânhamo (20mm de comprimento, figura 2 b) e um aditivo mineral. As misturas foram preparadas juntando os aditivos minerais e o gesso em água e misturando esta solução com os materiais sólidos, pasta de papel e granulado de cortiça.

Tabela 2 – Composições e processos de cura.

Compósito	Granulado de cortiça %	Pasta de celulose %	Fibras de cânhamo % de cortiça + celulose (massa)	Aditivo Mineral % de cortiça + celulose (massa)	Ligante % de cortiça + celulose (massa)	Tempo de cura	Temperatura °C
P1	71	29		-	-	7d	20
P2	55	45		6	34 de cola PVA	6d	50
P5	34	66	4,01	4	-	24h	50
P6	55	45	-	-	Resina fenólica	24h	100
P7	55	45	-	4	-	24h	100
P8	55	45	-	4	5 de Gesso	24h	100
P9	25	75		2,5	20 de Gesso	3d	23
P10	25	75		2,5	5 de Gesso	3h, 5h e 10h	110
P11	25	75		2,5	20 de Gesso	2d	110

Numa primeira fase, foram desenvolvidas misturas simples, com dois ligantes poliméricos e com gesso, em diferentes tempos e temperaturas de cura seguindo um processo simples de compressão/descompressão e a posterior cura. Na fase posterior, foi utilizado uma nova metodologia de cura. Após o processo de mistura e colocação em moldes, as placas foram sujeitas em simultâneo a condições de cura térmica e compressão. Este método foi testado com diferentes tempos e temperaturas de cura a fim de minimizar a energia e tempo utilizado (ver Tabela 2). Adoptando este procedimento é possível obter placas com uma coesão satisfatória e com uma textura completamente lisa. Amostras das placas foram submetidas a testes de absorção a fim de estudar o comportamento na presença de água. Para avaliar o comportamento térmico, foram realizados três testes para determinar o coeficiente de condutividade térmica em placas de $500 \times 500 \times 40 \text{ mm}^3$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Quantidade óptima de metacaulino/cal como material ligante

A fim de determinar a melhor quantidade de metacaulino/cal como novo material ligante, foram realizadas pastas pozolânicas utilizando diferentes percentagens dos dois materiais. Amostras destas pastas foram submetidas a testes de compressão a diversos tempos de cura. Nestas composições foi utilizada a mesma quantidade de água, 60% da massa sólida, e as amostras foram acondicionadas à temperatura ambiente em uma caixa hermeticamente fechada, mantendo uma humidade constante. Os melhores resultados foram obtidos na mistura de 75% de metacaulino com 25% de cal (ver Figura 3).

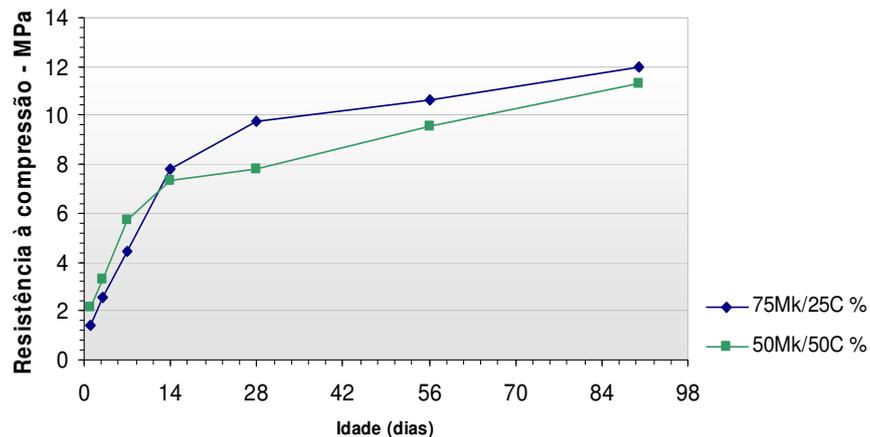


Figura 3 – Resistência à compressão de composições com diferentes percentagens de metacaulino/cal.

3.2 Compósito de cânhamo para blocos e placas

3.2.1 Blocos

A figura 4 mostra o típico aspecto apresentado pelo betão de cânhamo, antes e após a cura. Observa-se que durante a compactação as fibras ficam orientadas maioritariamente numa direcção.



Figura 4 – Amostras do compósito de cânhamo antes e depois da cura, a) e b) respectivamente.

As amostras das três composições produzidas (B6, B7 e B8) foram submetidas a testes de resistência à compressão na direcção paralela às fibras, mecanicamente, considerada a direcção mais desfavorável.

Como se pode observar na figura 5, na generalidade, foram obtidas melhores resistências nas composições B6 e B7 com o uso de pasta de papel. Os resultados à compressão, com amostras à temperatura ambiente, não indicam um crescimento contínuo da resistência com o tempo de cura. A razão deste comportamento não é claro até ao momento.

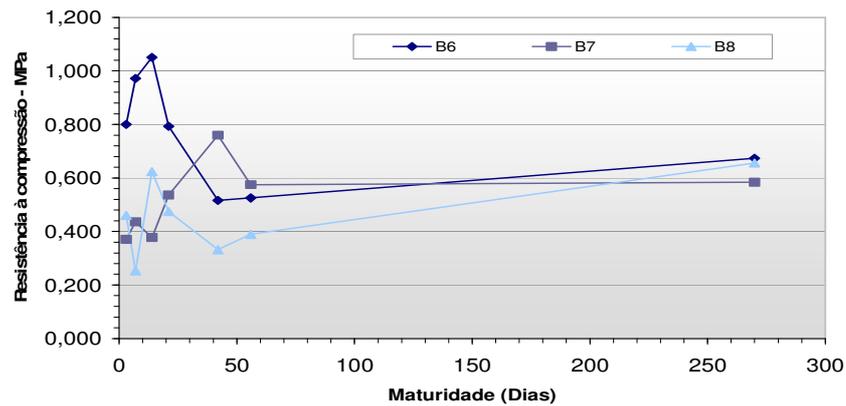


Figura 5 – Variação das resistências à compressão até aos 270 dias.

As figuras 6 e 7, a) e b), mostram que todas as composições têm uma rotura dúctil. Como a figura 6 mostra, após se observar o pico de rotura a amostra continua a deformar a uma força constante.

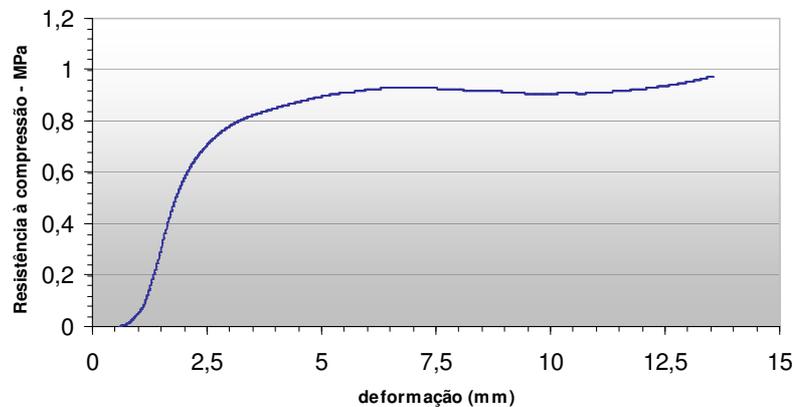


Figura 6 – Deformação da composição B6 durante o ensaio à compressão.



Figura 7 – Comportamento à compressão do composto de cânhamo - a) durante a rotura inicial e b) após a rotura.

Considerando que este betão composto desenvolvido, tal como os existentes betões de cânhamo [1, 4], não é um material estrutural mas pressupõe ser utilizado na combinação com outros elementos estruturais, este comportamento dúctil poderá ter interesse uma vez que este melhora a adaptação e ajuste entre os elementos estruturais e não estruturais. Isto é, recupera a absorção de pequenos deslocamentos e descargas que sempre ocorrem nos edifícios.

Além disso, todas as composições mostram uma resistência satisfatória para as aplicações não estruturais previstas. A média final da resistência à compressão obtida, 0,6MPa, é similar às resistências observadas por outros centros de investigação na Europa [4, 7]. Resistências que são, normalmente, consideradas adequadas para betão leve não estrutural e o comportamento mecânico observado indica que este material pode ser utilizado em várias aplicações onde são empregadas betão leve convencional.

O compósito desenvolvido poderá ter múltiplas aplicações não estruturais na construção. A figura 8a, mostra o compósito aplicado como um betão de cânhamo/cal tradicional. É uma construção semelhante à taipa de pilão (compactação manual ou mecânica) utilizada na construção em terra. A figura 8b mostra uma nova aplicação que utilizando a mesma técnica de compactação mas utilizando um suporte de polímero reforçado com fibras de vidro (FRP).

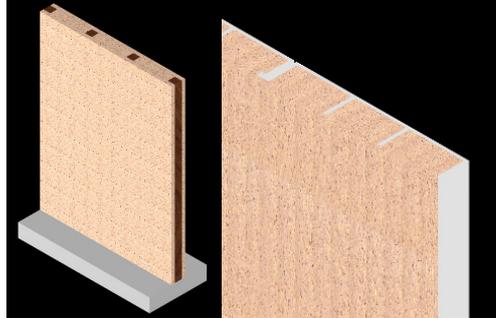


Figura 8 – Exemplos de aplicação de compósito de cânhamo/metacaulino/cal. a) construção tradicional de betão de cânhamo e b) conjugação com suporte de polímero reforçado com fibras.

Existem ainda aplicações com o enchimento e isolamento de paredes e a regularização e isolamento de pisos com mostra a figura 9.

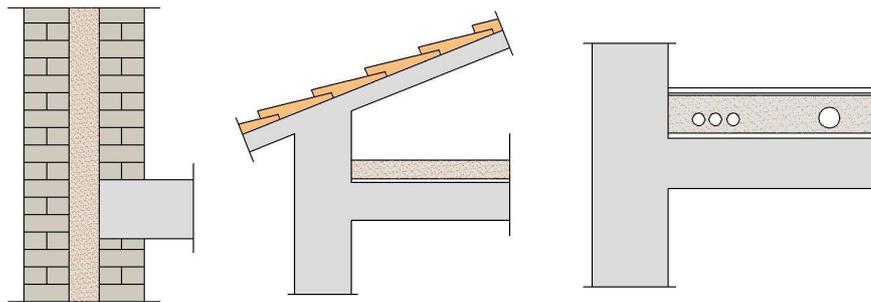


Figura 9 – de aplicação de compósito de cânhamo/metacaulino/cal.

3.2.2 Placas

A Figura 10 apresenta o aspecto e a textura das placas produzidas. Nestas placas as fibras de cânhamo são dispersas em várias as direcções, o que melhora o comportamento mecânico do material. Como se observa nas blocos de cânhamo, nas placas compactadas verifica-se o mesmo comportamento dúctil quando submetidas a testes de compressão [8].



Figura 10 – Placas de compósito de cânhamo produzidas sob compactação mecânica. a) placa após a compactação e b) textura da placa (escala 1:1).

3.3 Compósito de granulado de cortiça e pasta de papel em placas

Foram produzidas diversas placas compósitas utilizando diferentes quantidades de pasta de papel e granulado de cortiça (ver materiais e métodos). Para melhorar o comportamento mecânico e as resistências à água e ao fogo, foi incorporado um aditivo mineral e fibras de cânhamo (20mm de comprimento). Numa fase posterior foi adicionado gesso como material ligante. O aspecto típico das placas realizadas pode ser observado na figura 11.



Figura 11 – Placas de pasta de papel e granulado de cortiça reforçadas com fibras de cânhamo. a) aspecto geral da placa e b) textura da placa (escala 1:1).

Nestas placas foram utilizados diferentes métodos de cura. Após a moldagem, as placas, foram simultaneamente submetidas a compressão e cura térmica.

Os melhores resultados foram obtidos utilizando uma compactação de 375 kPa e cura térmica à temperatura de 110°C durante 3 horas ou, em alternativa à temperatura ambiente durante 3 dias.

Este procedimento permite obter placas com uma coesão satisfatória e com uma textura completamente lisa. A figura 12 mostra uma placa produzida sob estas condições de cura.



Figura 12 – Placa de pasta de papel e granulado de cortiça após a cura. a) aspecto final da placa e b) textura da placa (escala 1:1).

As placas mostram-se frágeis à flexão, sendo a média da resistência à flexão 400 kPa.

É comum utilizar um teste de compressão/descompressão para avaliar o comportamento mecânico deste tipo de compósitos contendo cortiça. Durante este teste o material não sofreu mudanças significativas sob compressão, uma deformação até 4% e recuperou 28% da deformação durante a fase de descompressão.

Foram submetidas a testes de absorção amostras de placas realizadas. Estes testes revelam que o material original apresenta um elevado índice de absorção (cerca de 160%). Deste modo, foram também aplicados os materiais de impermeabilização e resistência à água utilizados no betão de cânhamo. A aplicação destes produtos reduz significativamente o efeito absorção. Os resultados revelam uma redução da absorção para 50% com óleo de linhaça, 80% com verniz e 100% com PVA.

Para determinar o coeficiente de condutividade térmica foram realizados três testes com placas de 500x500x40 mm³, sendo obtida média de $\lambda_{10}=0,084\text{W/m}^{\circ}\text{C}$. Quando comparado com o coeficiente de materiais

para aplicações similares, pode-se considerar que o compósito desenvolvido tem uma boa condutividade térmica (ver Tabela 3).

Tabela 3 – Condutividade térmica de diferentes materiais utilizados na construção.

Materiais	Condutividade térmica (W/m°C)
Gesso/pasta de papel	0,36
Gesso cartonado	0,18
Betão de cânhamo com cal	0,13-0,19
Compósito desenvolvido – pasta de papel/cortiça	0,084
Compósito de cortiça expandida	0,036-0,40
Cortiça	0,045
Lã de rocha	0,045
Isolamento de fibras de cânhamo	0,040
Poliestireno	0,03

A fim de melhorar o comportamento à flexão do compósito desenvolvido, combinou-se o material com materiais de suporte em favo de abelha de papel reciclado e polipropileno (PP) para formar placas sanduíche. Esta combinação, tendo um suporte rígido e um melhor comportamento à flexão poderá ser aplicada em paredes divisórias e revestimentos interiores.

Observou-se que a presença de água nas estruturas de papel reciclado afecta significativamente a rigidez e a resistência das placas comprometendo a sua aplicação. Contudo, as placas combinadas de pasta de papel/cortiça com o favo de abelha de polipropileno apresentam não só um melhor comportamento mecânico e resistência à água como também uma melhor consistência e aparência. A figura 13 mostra esta combinação do suporte polimérico leve com o compósito desenvolvido.



Figura 13 – Placa sanduíche de pasta de papel/cortiça e favo de abelha PP.

Na figura 14 observam-se os resultados dos ensaios de resistência à flexão para avaliar o comportamento à flexão das placas sanduíche. Como se pode constatar, o melhor comportamento obteve-se com a combinação do compósito com o favo de abelha PP. Comparando estes resultados com outros materiais utilizados em placas divisórias e revestimentos, podemos ver que as resistências à flexão obtidas são similares às resistências das placas de gesso cartonado e mostram um comportamento mais dúctil.

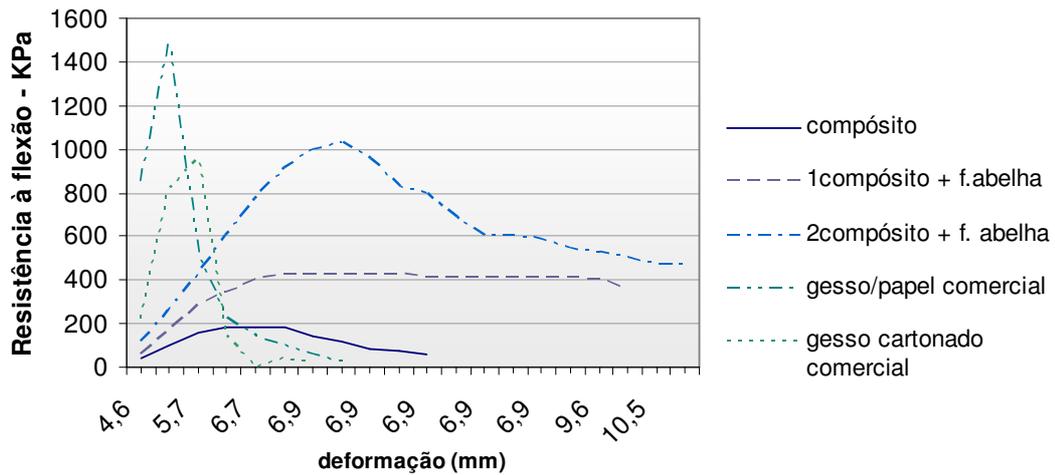


Figura 14 – Comportamento à flexão de diferentes placas.

O coeficiente de condutividade térmica foi também determinado para as placas produzidas com favo de abelha. Obteve-se um valor similar ao determinado no compósito original apenas de pasta de papel/cortiça ($\lambda_{10} = 0.085 \text{ W/m}^\circ\text{C}$).

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos durante este trabalho de investigação experimental podem ser considerados encorajadores uma vez que revelam novas possibilidades de aplicação de compósitos eco-eficientes na indústria da construção. A generalização do uso destes “materiais verdes” será muito útil ao permitir a substituição de outros materiais, considerados prejudiciais ao ambiente. Este estudo mostra que o granulado de cortiça, um subproduto da indústria corticeira, a pasta de celulose ou papel, obtida de desperdícios recicláveis e as fibras de cânhamo poderão ser incorporadas com sucesso em novos compósitos que poderão ser utilizados na construção como materiais não estruturais.

O melhor ligante para o compósito eco-eficiente desenvolvido nesta investigação foi a mistura de 75% de metacaulino com 25% de cal. Observou-se que temperaturas mais elevadas aumentam as resistências deste compósito.

O compósito de cânhamo desenvolvido mostra um comportamento dúctil que poderá ser considerado compatível com a maioria das aplicações não estruturais possíveis.

Os compósitos de granulado de cortiça/pasta de papel também provam ter propriedades adequadas para várias aplicações não estruturais, como por exemplo, paredes divisórias e revestimento de paredes e tectos. Além disso, as placas em sanduíche, produzidas com a combinação do compósito desenvolvido com favo de abelha de poliprolileno, mostram uma melhoria significativa no comportamento à flexão destes materiais amigos do ambiente.

Poderá dizer-se que estes compósitos têm boas características térmicas.

A recuperação destes materiais, considerados desperdícios ou subprodutos de baixo custo, aliados ao facto de possuírem boas propriedades térmicas, poderá vir a proporcionar melhores perspectivas tanto para a construção civil como para as empresas nacionais e europeias que habitualmente produzem este tipo de resíduos. Alternativa que visa não só um caminho para a sustentabilidade, pela valorização de resíduos, favorecendo uma poupança energética e ambiental, mas é também um contributo para o crescimento e prestígio, já existente, na indústria corticeira portuguesa.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar o seu agradecimento à Escola de Engenharia da Universidade do Minho à Fundação Portuguesa da Ciência e Tecnologia (FCT) através do projecto POCI/ECM/55889/2004 pelo financiamento deste trabalho de investigação.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Gil, L. “*Cortiça: da Produção à Aplicação*”, Ed. Câmara Municipal do Seixal – Ecomuseu Municipal do Seixal, 2005.
- [2] Gil, L. “*Aglomerado de Cortiça para Isolamento Térmico: Propriedades, Vantagens e normas para Aplicação*”. Sociedade Corticeira Robinson Bros, Lda. , 1960.
- [3] Danenberg, J.M. and Hons, B.A.. “*Hemp Architecture*”. Catalyst Conference at the Univesity of Canberra, <http://www.hemp.on.net> , 1997.
- [4] Evrard, A. “*Hemp concretes - A synthesis of physical properties*”. French Association Construire en Chanvre Edited by Arnaud Evrard, Maio-Novembro, 2002.
- [5] Rojas, M. F. and Cabrera, J. “*The effect of temperature on the hydration rate and stability of the hydration phases of metakaolin–lime–water systems*”, Cement and Concrete Research 32, 2002, pg. 133-138.
- [6] Rocha, C. S. “*Plasticidade do Papel e Design*”. Ed. Plátano Editora, S.A., 2000.
- [7] Yates T, “*Final Report on the Construction of the Hemp Houses at Haverhill, Suffolk*”. Building Research Establishment, Watford, report 209-717 Rev1, 2002.
- [8] Bütschi, P.-Y., Deschenaux, C., Miao, B., and Srivastava, “*Utilisation du chanvre pour la préfabrication d’éléments de construction*”. Dans Bâtir notre civilisation. 31º Congrès annuel de la société canadienne de génie civil, Moncton, 4 au 7 juin, Société canadienne de génie civil, Montréal (Qué.). N.K., 2003. Pg. 336-1 – 336-6

R. EIRES

Dep. Eng. Civil, FCTUC
rute@civil.uminho.pt
PORTUGAL

S. JALALI

Dep. Eng. Civil, FCTUC
said@civil.uminho.pt
PORTUGAL

A. CAMÕES

Dep. Eng. Civil, FCTUC
Aires@civil.uminho.pt
PORTUGAL