



QIC2016

2º ENCONTRO NACIONAL SOBRE QUALIDADE E INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

Lisboa • LNEC • 21 a 24 de novembro de 2016

BIOCOMPÓSITOS.

UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A CONSTRUÇÃO

Luís E. Pimentel Real

Engenheiro Químico, PhD Engenharia Química e Chimie, LNEC-DED-NAICI, lpimentel@lnec.pt

Resumo

Sendo a indústria da construção o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e mais utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais, quer relacionados com o consumo de matéria e energia, quer associados à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. O setor da construção civil tem um papel fundamental para a realização dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável.

Nesse sentido, o recurso a materiais de construção ambientalmente mais favoráveis constitui um contributo muito positivo para minimizar os impactos ambientais provocados pela construção.

Nesta comunicação, apresenta-se uma síntese do estado da arte sobre a utilização de biocompósitos no setor da construção. Descrevem-se as características e propriedades dos biocompósitos, as suas vantagens e desvantagens, referem-se as suas aplicações na construção, refere-se a experiência do LNEC na avaliação destes materiais e indicam-se os aspetos que devem ser objeto de investigação para melhorar o seu desempenho em aplicações de construção.

Esta apresentação permite concluir que, embora os produtos biocompósitos já apresentem um desempenho satisfatório em muitas aplicações na construção, estes ainda carecem de melhoramento em algumas características específicas que estão a ser objecto de investigação e desenvolvimento tecnológico, prevendo-se que, num futuro próximo, os biocompósitos apresentem maior durabilidade, maior resistência ao fogo e à acção da humidade e um melhor desempenho de isolamento térmico e acústico, conduzindo a um incremento significativo da sua utilização no domínio da construção.

Palavras-chave: Construção sustentável / Biocompósito / Fibra natural / Biopolímero / Energia incorporada

Introdução

O desenvolvimento sustentável visa amenizar problemas ambientais, garantindo um equilíbrio entre o desenvolvimento económico, científico e tecnológico e a preservação do meio ambiente, de forma a melhorar a qualidade de vida humana.

Os desafios para o setor da construção são diversos. Porém, em síntese, consistem fundamentalmente na redução e otimização do consumo de materiais e energia, na redução dos resíduos gerados, na preservação do ambiente natural e na melhoria da qualidade do ambiente construído.

Como a inovação arquitetónica e a utilização de materiais e métodos de construção mais avançados tem permitido melhorias significativas ao nível do isolamento térmico e dos sistemas de condicionamento ambiental interior, contribuindo para que o consumo de energia nos edifícios possa decrescer, a redução de consumo da energia indireta passou a ter mais relevância do que o desenvolvimento tecnológico para redução da energia direta, pelo que atualmente há mais interesse em reduzir a energia incorporada nos materiais de construção.

Os materiais tradicionalmente utilizados pela indústria da construção provêm de recursos não renováveis, emitem gases com efeito de estufa em quantidade significativa durante o seu fabrico, e no fim do seu ciclo de vida são enviados para aterros, incinerados ou reciclados mediante recurso a métodos de uso intensivo de energia para produzir materiais de menor qualidade.

Por exigência da sociedade e dos consumidores há um incentivo crescente à utilização de alternativas sustentáveis, nomeadamente a materiais ambientalmente mais favoráveis. Para atingir esse objetivo ambiental, há necessidade de limitar o uso de materiais não-renováveis, de reduzir a poluição e os custos de energia durante a produção de materiais de construção e de usar produtos que tenham maior potencial de reutilização após demolição, ou seja, reduzir a energia incorporada.

Os compósitos reforçados com fibras têm menor energia incorporada do que os tijolos, o aço, o alumínio ou o contraplacado de madeira e aquela é tanto menor quanto mais natural for a resina polimérica e as fibras. No caso dos biocompósitos, utilizam-se resinas e fibras feitas a partir de recursos renováveis. Existem também fortes evidências de que estes materiais têm potencial para substituir compósitos reforçados com fibra sintética e outros materiais tradicionalmente usados na construção.

Embora a construção tenha sido sempre um mercado difícil de penetrar, principalmente porque os cadernos de encargos, as especificações do produto e as práticas construtivas geralmente excluem materiais não tradicionais, as fibras naturais têm sido desde há muito utilizados em edifícios e aplicadas na construção, como material de reforço para uma gama de produtos sustentáveis e ambientalmente mais favoráveis, maioritariamente em países em que estes aspetos são valorizados.

Nos últimos anos, as propriedades mecânicas, o custo e a qualidade das fibras vegetais foram melhorados significativamente com o desenvolvimento de tecnologia, alargando a sua utilização a aplicações mais exigentes, embora não sujeitas a cargas elevadas.

Entre as várias aplicações correntes dos compósitos, verificou-se um crescimento significativo no domínio da construção, quer em componentes não estruturais como semiestruturais, designadamente em coberturas energeticamente eficientes e construção passiva, paredes estruturais leves, revestimentos de paredes exteriores, isolamento, aplicações acústicas especiais, geotêxteis, janelas, portas, tapumes, cercas, telhados, pavimentos, elementos decorativos, painéis solares e estruturas de energia eólica, bem como na construção de tabuleiros de pontes pedonais, docas, estradas pedonais, passeios e lajes de pavimentação.

Materiais biocompósitos. Definição

Os biocompósitos constituem uma nova classe de materiais de construção, ambientalmente mais favoráveis, que têm custos de energia e poluição reduzidos durante a sua produção, bem como um maior potencial de reutilização após demolição. Além disso, ajudam a eliminar o custo crescente da

utilização de materiais à base de petróleo, mantendo ao mesmo tempo as vantagens dos compósitos de matriz plástica tradicionais, tal como menor peso e menores custos de fabrico.

Os biocompósitos resultam da combinação de fibras naturais (biofibras)¹ com matrizes poliméricas ou inorgânicas obtidas a partir de recursos renováveis ou não renováveis.

O termo "biocompósitos" abrange os seguintes materiais: (i) polímeros não biodegradáveis derivados de petróleo, reforçados com biofibras; (ii) biopolímeros reforçados com biofibras (os ambientalmente mais favoráveis, designados "compósitos verdes"); (iii) biopolímeros reforçados com fibras sintéticas tais como vidro ou carbono; e (iv) materiais inorgânicos contendo na sua composição fibras naturais

Alguns biocompósitos, feitos de fibras naturais e de resinas de plástico biodegradável (como, por exemplo, poli-hidroxi-butilato, PHB), são também biodegradáveis [Billington et al; 2014]. Estes biocompósitos são no entanto suficientemente estáveis para utilização em mobiliário, em pavimentos e numa grande variedade de outros materiais de construção. Para se degradarem, estes materiais têm de ser mantidos ao abrigo do ar, como por exemplo, serem enterrados num aterro sanitário, pois a sua decomposição depende da existência de micro-organismos que vivem em ambientes anaeróbicos. À medida que se degradam, estes materiais libertam gás metano que pode ser capturado e queimado para efeitos de recuperação de energia ou reutilizado para produzir mais biocompósitos. Assim, é possível a utilização de resíduos como elementos de ligação para produzir biocompósitos mais baratos.

Os biocompósitos utilizados em edifícios também podem ser classificados em dois grupos principais: materiais compósitos estruturais e não estruturais, conforme tenham ou não de suportar cargas durante a sua utilização, respetivamente. Exemplos de biocompósitos estruturais são os aplicados em paredes de suporte, escadas, sistemas de cobertura e pavimentos. Constituem exemplos de biocompósitos não estruturais os usados em aplicações diversas, tais como telhas, mobiliário, janelas, portas e outros produtos de menor exigência estrutural.

Propriedades dos materiais biocompósitos

Em termos de propriedades mecânicas, os biocompósitos têm uma resistência à tração na gama 300 a 900 MPa e um módulo de elasticidade de 10 a 80 GPa [Yatim et al.; 2013].

A resistência dos biocompósitos em flexão, compressão e cisalhamento, é comparável com a resistência da madeira e seus derivados, na direção paralela à das fibras e ultrapassa a mesma no sentido perpendicular. O módulo de elasticidade dos biocompósitos é de cerca de 35% a 75% do valor do módulo de elasticidade da madeira no sentido paralelo ao do grão [Maya & Thomas; 2008; Billington et al; 2014].

A resistência à tração e o módulo de elasticidade, bem como algumas propriedades específicas dos materiais compósitos reforçados com fibras naturais, aumentam com o aumento do teor de fibras até um determinado limite e são, em alguns casos, melhor do que materiais compósitos com fibras de vidro, o que sugere que os compósitos de fibras naturais têm um potencial para substituir os compósitos sintéticos de fibras de vidro em muitas aplicações que não exijam grande capacidade de carga [Maya & Thomas S.; 2008; Wambua et al; 2003].

Uso de compósitos reforçados com fibras (FRP) na construção

Os materiais compósitos reforçados com fibras (FRP) têm sido submetidos a um rápido desenvolvimento nas últimas quatro décadas, em parte devido à sua massa reduzida e à sua elevada rigidez. Para além de terem uma menor energia incorporada, permitem também uma grande flexibilidade arquitetónica, que é uma característica muito útil para criar estruturas mais eficientes.

¹ As fibras naturais podem ser de celulose (de madeira de árvores folhosas e de coníferas) ou de outras plantas e origens, tais como palha e casca de arroz, palha de trigo, milho, aveia, centeio e cevada, folhas de palma, fibras de kenaf, cânhamo, ramie, couro, banana, coco, abacaxi, ananás, cana-de-açúcar, juta, sisal, algodão, linho, biomassa de produção de óleo de palma, bambu, polissacáridos, lignina, entre outras.

A maioria dos FRP utilizados na construção é baseada em resinas de poliéster ou epóxico reforçada com fibras contínuas de vidro ou de carbono e existem alguns exemplos de estruturas eficientes de elevada durabilidade, constituídas por estes materiais, o que tem facilitado e promovido a aceitação dos FRP na construção.

Os FRP têm sido usados para reparar estruturas de betão e na renovação de tubagens enterradas. As vigas de materiais compósitos também têm sido usadas numa série de pontes, devido ao seu peso relativamente baixo e à sua elevada resistência. Assim, as vigas e as régua para pavimento em FRP já constituem uma alternativa eficiente para substituir lajes de cimento antigas, com vão reduzido que já não satisfaçam as exigências atuais nas pontes, de uma forma eficaz em termos de custo e prazo de instalação, principalmente porque a maioria dos componentes em FRP são pré-fabricadas [Alampalli et al.; 2002].

Uso de biocompósitos na construção

O uso de fibras naturais em biocompósitos em vez das habituais fibras de vidro e de carbono não é novo [Yatim et al.; 2013].

O bagaço de cana, o bambu, a madeira, o trigo, a palha de cereais, azevém e arroz, caules de girassol, coco, cânhamo, algodão, kenaf, banana, abacaxi e a folha de tabaco, foram largamente utilizados entre os anos 70 e 90 para fabrico de painéis [Yatim et al.; 2013].

Na Índia, uma variedade de materiais de construção, utilizando resíduos industriais e agrícolas integrando cimento e materiais cimentícios como ligantes, foram utilizados para fazer placas, ladrilhos, telhas e revestimentos resistentes às intempéries [Yatim et al.; 2013].

O fibrocimento (compósito de cimento reforçado com fibras) foi um dos materiais mais promissores para utilização no exterior e interior de edifícios, sob a forma de tapumes, vedações, telhados, revestimentos exteriores, forros interiores, pavimentos, paredes, tijolos, corrimões, elementos decorativos e placas para várias aplicações na construção.

Como outros exemplos de materiais envolvendo uma mistura de fibras naturais com materiais inorgânicos pode referir-se a construção monolítica de cal com fibras de cânhamo, material este que pode ser reciclado como fertilizante, ou misturas de cânhamo e cal para agregados. Entre os benefícios potenciais referem-se a permeabilidade ao ar e ao vapor, importantes propriedades higroscópicas e uma baixa condutividade térmica. A cal também oferece proteção aos componentes do cânhamo (evitando a necessidade de tratamentos químicos tóxicos), ao fogo e aos vermes. As fibras naturais também podem ser usadas como reforço em painéis de betão pré-fabricados, normalmente aplicados para estabilização de encostas e retenção de solos.

Os compósitos de fibrocimento, contendo cimento e madeira, têm sido muito utilizados para substituir os produtos antigos de fibrocimento, produzidos com amianto, assim como muitos outros materiais de construção não estruturais, designadamente chapas finas para revestimento, tapumes, produtos a imitar madeira de cedro, telhas, bases para aplicação de azulejos, elementos arquitetónicos, substitutos de derivados de madeira [Madhuri et al.; 2005]. Estes compostos têm maior resistência ao fogo, à humidade, aos fungos, ao ataque de insetos e, conseqüentemente, exibem uma maior durabilidade do que a madeira convencional. Porém alguns destes materiais continuam a ter problemas e a exibir degradação por exposição a ciclos de humidade e secagem, pelo que exigem manutenção e proteção mediante aplicação de revestimentos de pintura.

Os biocompósitos de fibras naturais, designadamente os compósitos de madeira-plástico (WPC) são muito usados em aplicações exteriores, como substitutos de produtos de madeira maciça e derivados de madeira, tais como mobiliário de jardim e de piscinas, em régua de pavimento, revestimentos de parede, portas e janelas.

Os WPC's são também muito usados como materiais de isolamento, em docas, guardas, pavimentos e coberturas, tetos falsos, painéis interiores, revestimentos de parede, beirais de telhado, e como elementos decorativos em paredes e tetos, bem como para aplicações acústicas especiais (paredes de absorção sonora e para amortecimento de transmissão de som) [Yatim et al.; 2013].

Os sistemas de cofragem perdida, à base de biocompósitos, são um desenvolvimento dos sistemas de cofragem perdida em polipropileno, os quais vieram substituir, com vantagens, os sistemas de cofragem em madeira tradicionais. Estes sistemas são utilizados em diversas aplicações, designadamente as seguintes [Yatim et al.; 2013], [Cassaforma Muro; 2016]:

- para separar os vãos de vigas das pontes, substituindo o aço, porque são mais leves, porosas e porque têm a capacidade de serem facilmente quebrados em caso de necessidade para inspeção do pavimento da ponte pela parte inferior;
- para betonagem de muros de elevação, vigas invertidas e sapatas de fundação, reduzindo drasticamente os tempos de realização das fundações;
- para preenchimento de vazios entre as vigas para realização de lajes nervuradas;
- para realização de tanques de recolha e/ou dispersão de águas, obras que são cada vez mais necessárias nos mais variados contextos de construção;
- para construir pisos e lajes de betão armado aligeirados;
- para realização simultânea de vigas de fundação e laje;
- para construir, numa única fase, a laje superior (de câmaras de ar) e as vigas de fundação externas e internas de uma obra;
- para qualquer obra que exija, pelos mais variados motivos, de cofragens elaboradas e geometricamente complexas.

As propriedades destes sistemas, designadamente a sua porosidade (permitindo a evaporação da água através dos elementos, evitando a corrosão dos elementos metálicos em pontes), resistência mecânica (capazes de suportar grandes cargas, sem vigas), baixo peso e modularidade, têm inúmeras vantagens em relação aos sistemas tradicionais.

Para além de permitirem ao projetista alterar os parâmetros geométricos para se adaptar a todas as situações com grande liberdade arquitetónica, têm diversas vantagens económicas, designadamente por serem fáceis e rápidos de montar sem precisar de mão de obra especializada, por permitirem a betonagem simultânea das vigas de fundação e da laje (o que permite poupança de tempo na cofragem e descofragem), por não exigirem limpeza (pois estes sistemas apresentam-se perfeitamente lisos e limpos), e permitirem poupança de custos de armazenagem, depósito e transporte (pois o material das cofragens é pouco volumoso e é resistente às intempéries).

Os biocompósitos reforçados com fibras de ramie são usados em painéis à prova de bala, permitindo atingir uma resistência à penetração balística de nível II, em compósitos com matriz de poliéster, ou de nível III em painéis híbridos de poliéster e kevlar (absorção de energia de 1362 J a 624 m/s ou de 3185 J a 837 m/s em painéis com espessura de 15 e 25 mm respetivamente) [Faruk & Sain; 2014].

Para além das utilizações atrás referidas, os biocompósitos encontram-se atualmente em muitas outras aplicações comuns no domínio da construção, designadamente em corrimões, revestimentos, tapumes, pavimentos, cercas e coberturas, mobiliário de jardim e de interior (bancos, cadeiras, mesas), uma grande variedade de painéis para portas e perfis de janela, balcões, lavatórios de cozinha, produtos e acessórios sanitários, chapas corrugadas, tetos falsos, telhas, guardas, telheiros e pequenas construções (bungalows, etc.), materiais ecológicos de isolamento térmico, escadas, docas, suportes para passagem de cabos, pontes pedonais, grelhas de drenos, coberturas energeticamente eficientes e produtos diversos para casas passivas.

Desempenho dos biocompósitos

As vantagens das fibras naturais e dos biocompósitos são de vários tipos [Faruk & Sain; 2014]:

- ambientais: representam recursos renováveis e requerem pouca energia durante a produção;
- biológicas: são produtos orgânicos naturais e pouco perigosos para a saúde, pois não originam efeitos dérmicos adversos no seu manuseamento e não apresentam perigo biológico aquando da sua alienação;
- tecnológicas: têm boas propriedades mecânicas (ao nível do amortecimento e da rigidez, por

exemplo), são mais leves, são dotados de boa capacidade de isolamento térmico, elétrico e acústico (devido à estrutura tubular das fibras, com muitos vazios), excelente desempenho a baixa temperatura, baixa dilatação térmica, versatilidade para formas 2D complexas, não-abrasivos e dotados de grande flexibilidade de processamento;

- económicas: as biofibras são mais baratas do que as fibras sintéticas;
- sociais: têm benefícios ao nível da agricultura, porque constituem um rendimento secundário para os agricultores e também porque estão disponíveis a uma escala mundial, mais generalizada;
- de risco: as biofibras exibem um comportamento mais seguro em ensaio, menos suscetível de provocar acidentes durante a fragmentação e estilhaçamento.

As desvantagens e inconvenientes dos biocompósitos estão relacionados com a sua durabilidade em aplicações em ambientes húmidos e com a sua menor resistência ao fogo.

Estes materiais são sensíveis à ação da humidade e ao ataque microbiano que resulta na dilatação volumétrica das fibras que origina perda das suas propriedades de reforço. Esta dilatação pode também levar ao enfraquecimento da ligação interfacial com a resina e à formação de micro-fissuras, as quais aumentam ainda mais o transporte da humidade e a sua absorção. Além disso, algumas fibras naturais (como as de linho, por exemplo) exibem uma elevada tendência para o enrolamento e uma baixa permeabilidade.

Existem diversos fatores que afetam as propriedades e o desempenho de biocompósitos:

- tipo de fibras (curtas ou longas);
- propriedades das fibras, tais como a sua massa volúmica, resistência à tração, módulo de elasticidade, e teor de humidade;
- teor de fibras;
- orientação das fibras (unidirecional, transversal ou aleatória);
- ligação interfacial
- tipo de matriz polimérica;
- processo de fabrico.

Os coeficientes de difusão molecular da água nos biocompósitos são comparáveis aos que ocorrem na madeira, mas têm valores mais elevados que nos compósitos sintéticos, tal como é de esperar devido à hidrofiliabilidade das fibras naturais.

As variações de volume nas fibras associadas à adsorção de humidade pode reduzir a adesão fibra-matriz e danificar a matriz. A hidrofiliabilidade induz o enfraquecimento da ligação fibra-matriz na interface e causa danos permanentes porque o compósito após saturação e secagem não retoma as propriedades mecânicas (tensão-deformação) originais [Billington et al; 2014].

O grau de adsorção de humidade dos biocompósitos depende também da higroscopicidade da resina polimérica, porque há casos em que esta é hidrófila, enquanto noutras é hidrofóbica. A diferença de higroscopicidade entre as fibras e a resina também compromete a sua compatibilidade. Uma vez que a fibra natural é hidrofílica e a maioria dos polímeros são hidrofóbicos, existem problemas significativos de compatibilidade entre as fibras naturais e a matriz polimérica, conduzindo a uma má ligação interfacial entre ambos.

Geralmente, espera-se que o aumento da capacidade de adsorção de humidade conduza à deterioração das fibras, conduzindo a uma diminuição contínua da rigidez no sentido longitudinal e a uma perda de resistência e de deformação na rotura. No entanto, a classificação final de cada propriedade pode ser diferente conforme o sistema compósito e esta tendência não pode ser generalizada. De facto, num estudo desenvolvido anteriormente para desenvolvimento de produtos biocompósitos, com participação do LNEC (BIOBUILD), algumas fibras naturais estudadas apresentaram um valor ótimo de adsorção de humidade relativa, variável entre 65% e 90%, dependendo da propriedade mecânica analisada, e a razão específica disso mantém-se por esclarecer.

As principais desvantagens e limitações dos biocompósitos em aplicações a longo prazo são as

seguintes [Faruk & Sain; 2014]:

- baixa estabilidade térmica, de que resultam dificuldades para encontrar uma técnica de fabrico adequada;
- fraca resistência à adsorção de humidade, devido à natureza hidrofílica das fibras, o que compromete as propriedades de adesão na zona de ligação interfacial entre as fibras e a matriz;
- baixa resistência à radiação e conseqüente degradação fotoquímica quando expostos à radiação UV;
- baixo ponto de fusão;
- baixa resistência ao fogo e baixa classificação de reação ao fogo;
- decomposição em ambientes alcalinos;
- suscetibilidade de ataque biológico;
- instabilidade dimensional das fibras, devido às tensões residuais induzidas durante o processamento;
- elevada variabilidade das propriedades físicas e mecânicas, porque dependem dos materiais, do meio ambiente e da tecnologia de transformação.

Todos estes fatores comprometem as propriedades mecânicas dos biocompósitos, bem como a sua estabilidade dimensional e composição química, limitando a potencialidade de aplicação dos biocompósitos em aplicações no domínio da construção [Faruk & Sain; 2014].

Para aumentar a durabilidade e o desempenho dos materiais biocompósitos, é necessário atuar em várias direções, tal como ao nível do tratamentos e modificação da superfície das fibras, aditivação de resinas naturais e no revestimento de produtos finais de biocompósitos.

Necessidades de investigação

O efeito negativo de alguns destes fatores pode ser reduzido, mas não integralmente eliminado. Na circunstância, é necessário continuar a fazer investigação, principalmente nos seguintes aspetos:

- tratamento das fibras para melhorar a interação entre as fibras e a matriz, mediante modificações físicas e químicas das fibras;
- conceção estrutural (orientação e enrolamento das fibras para configuração e desempenho ótimos);
- mecanismo de cura (forma como a resina reticula), no que se refere ao calor produzido e à libertação de humidade, porque estes são efeitos que afetam significativamente as propriedades globais do compósito;
- estabilização fotoquímica das fibras naturais;
- biodegradabilidade e reciclabilidade;
- desenvolvimento da tecnologia de revestimento e de vedação, de forma a melhor proteger os produtos compósitos finais, melhorando também assim a resistência ao fogo e à exposição natural aos agentes atmosféricas;
- otimização das tecnologias de produção, através do:
 - desenvolvimento de sistemas práticos para processamento em larga escala: pultrusão e processos contínuos ou semicontínuos de moldagem e laminagem por compressão de painéis, chapas, perfis planos e laminados (estruturas tipo sanduíche), com formas geométricas mais complexas, para revestimento de fachadas;
 - controlo contínuo da temperatura e da pressão da linha de produção, para manter o equilíbrio correto entre a degradação da fibra, a qualidade do processo de cura e a velocidade de processamento, bem como para supervisionar o uso de energia e as emissões, de forma a minimizar também para o impacto ambiental e a energia incorporada dos produtos;

- otimização da industrialização, por meio de técnicas mais automatizadas e de introdução de nanotecnologias, para ter acesso ao mercado das aplicações estruturais.

Entre estas necessidades de investigação, as mais importantes são os métodos de tratamento das fibras e as tecnologias de conceção estrutural, pois são as que permitem atuar mais eficazmente sobre a ligação interfacial fibras-matriz, aspeto da maior importância para o bom desempenho dos biocompósitos.

Tratamento de fibras

O tratamento das fibras visa melhorar a ligação interfacial entre a fibra e a resina, proporcionando um compósito mais homogéneo e de maior estabilidade dimensional, com melhor desempenho e com maior durabilidade.

Entre diferentes possibilidades, a modificação da superfície das fibras e o tratamento químico das fibras, são os mais eficazes para se obter um decréscimo de higroscopicidade (aumento da resistência à absorção de humidade e menor suscetibilidade de retração ou dilatação volumétrica das fibras em resultado da adsorção / desadsorção de água), uma melhoria das propriedades mecânicas, com maior resistência à degradação UV, ao ataque microbiano e à ação do fogo.

A modificação da superfície das fibras faz-se por meio de técnicas de enxerto e reticulação, por revestimento ou com compatibilizadores. A modificação da estrutura superficial das fibras ou o aumento da energia superficial têm o efeito de melhorar a ligação interfacial, devido ao bloqueio dos pontos hidrofílicos disponíveis e aumento da rugosidade, impedindo o processo de absorção de humidade e reduzindo assim os danos decorrentes da dilatação volumétrica das fibras [Yatim et al; 2013.; Billington et al; 2014].

A impregnação das fibras naturais com polímero ou com monómeros, seguido de polimerizado in situ, permite aumentar a resistência das fibras de 60 a 250%. Para o efeito são usados acrilatos, metacrilatos, epóxidos ou monómeros de melamina.

Os tratamentos químicos (com silanos ou peróxidos, ou por acetilação ou benzoilação), reduzem os problemas associados à natureza hidrofílica das fibras, por alteração da tensão superficial e da polaridade da superfície das fibras [Yatim et al.; 2013].

Outros métodos de tratamento visando o aumento da durabilidade dos biocompósitos são a irradiação do polímero e das fibras e a inclusão na formulação do compósito de aditivos com características especiais. A irradiação permite melhorar as propriedades mecânicas do compósito [Mohammed & Sain M.; 2014] e a utilização de aditivos, tais como agentes antimicrobianos de baixa toxicidade (biocidas), absorventes fotoquímicos e retardadores de chama, permite combater ativamente a biodegradação, melhorar a resistência aos UV e o desempenho à ação do fogo, respetivamente. No entanto, deve ter-se em consideração que as soluções de aditivação podem ter um impacto ambiental negativo.

Para cada caso, o efeito dos tratamentos selecionados pode ser avaliado com base na medição da hidrofobicidade e da dilatação volumétrica das fibras sob condições de humidade. É também importante avaliar a adsorção de humidade nas fibras, em função da humidade relativa do ar e da sua absorção por imersão em água, assim como avaliar também as propriedades mecânicas (tais como a rigidez, resistência e a deformação) após adsorção de humidade e absorção de água. Esta avaliação pode ser complementada com observação por microscopia eletrónica de varrimento (SEM) após fratura, de forma a extrair uma conclusão acerca das melhores opções para tratamento das fibras dos biocompósitos em análise.

Desenho estrutural

A arquitetura (enrolamento e orientação das fibras) e a natureza das fibras são parâmetros importantes para selecionar a configuração que assegura o melhor desempenho, em função da durabilidade e das propriedades mecânicas.

Portanto, de forma a seleccionar a melhor configuração estrutural, os seguintes parâmetros de desempenho e métodos devem ser investigados sistematicamente e otimizados de acordo com o método de processamento [Biobuild; 2012]:

- grau de torção dos fios das fibras e enrolamento nas madeixas nos pré-impregnados; este deve ser reduzido tanto quanto possível, mas mantendo um nível suficiente de "resistência em seco", a fim de manter os fios e o tecido de preforma manuseáveis e sem alterações, para processamento posterior do compósito;
- métodos para a produção de preimpregnados unidireccionais, combinando diretamente camadas unidireccionais de fibra (unidas por fios de ligação ou por um polímero ligante pulverizado) com as matrizes seleccionadas.

A experiência do LNEC

O LNEC participou, como parceiro do consórcio, num projeto europeu designado BioBuild (High Performance, Economical and Sustainable Biocomposite Building Materials), que foi parcialmente financiado pela Comissão Europeia, através do Sétimo Programa-Quadro da União Europeia (FP7 2007-2013), na chamada EEB (Edifícios Energeticamente Eficientes) [BioBuild; 2012].

O objetivo do projeto BioBuild foi desenvolver produtos à base de materiais biocompósitos, de forma a reduzir a energia incorporada de fachadas, da estrutura de suporte e de divisórias internas, em pelo menos 50% em relação aos materiais tradicionais atualmente usados para os mesmos fins e sem perda de desempenho e nenhum aumento de custo.

Neste projeto, foram desenvolvidos quatro sistemas de construção (figuras 1 e 2):

- painel de parede exterior (EWP) - sistema de fachada unitário, que pode ter capacidade de isolamento térmico, entre outras;
- kit de revestimento exterior (ECK) - sistema de proteção à ação do vento e da chuva;
- kit de partição interna (IPK) - sistema de paredes divisórias interiores;
- kit de teto suspenso (SCK) - sistema para tetos, com características arquitetónicas.

O LNEC foi o principal responsável pelo pacote de trabalho de ensaios de caracterização de materiais e produtos desenvolvidos no âmbito do projeto, e teve um papel importante também no pacote de trabalho para a definição das diretrizes, normas e regulamentação, seguidos para a avaliação dos produtos Biobuild, designadamente a ETAG 016 - Partes 1 & 3 ("external wall panels"), ETAG 034 - Partes 1 & 2 ("external cladding kits"), ETAG 003 ("internal partition kits") e EN 13964: 2004 + A1: 2006 ("suspended ceiling kits").

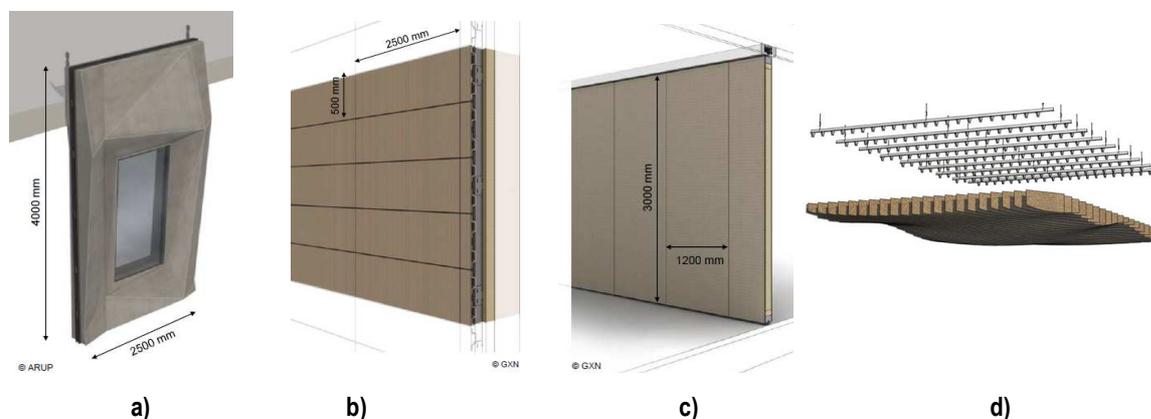


Figura 1: Representação esquemática de produtos Biobuild [Carra; 2014]: a) EWP; b) ECK; c) IPK; d) SCK



a)



b)



c)



d)

Figura 2: Produtos Biobuild expostos durante a exposição EcoBuild (Stand N6042, ExCel, Londres, 3 a 5 de março de 2015): a) EWP; b) ECK; c) IPK; d) SCK

O programa de ensaios foi organizado de acordo com os requisitos estabelecidos no Regulamento dos produtos da construção (CPR) [EU, 2011]:

- segurança em caso de incêndio (reação ao fogo e resistência ao fogo);
- higiene, saúde e meio ambiente (por exemplo, estanquidade, permeabilidade ao vapor, libertação e/ou teor de substâncias perigosas, e variação dimensional);
- segurança e acessibilidade na utilização (por exemplo, a resistência à ação do vento, resistência mecânica, resistência ao impacto, comportamento higrotérmico, segurança contra acidentes pessoais mediante contacto);
- proteção contra o ruído (isolamento a sons aéreos e absorção sonora);
- economia de energia e retenção de calor (propriedades de isolamento térmico, permeabilidade ao ar);
- uso sustentável dos recursos naturais (por exemplo, resistência à deterioração, robustez e rigidez, identificação dos materiais e produtos).

No Quadro 1 apresentam-se alguns resultados mecânicos obtidos com vários materiais biocompósitos caracterizados no LNEC, sob supervisão do autor, permitindo confirmar que biocompósitos com fibras naturais têm potencial para substituir os compósitos reforçados com fibras sintéticas em muitas aplicações não sujeitas a cargas elevadas.

Quadro 1: Propriedades mecânicas determinadas em biocompósitos no LNEC

Propriedade	Resultado
Módulo de Elasticidade (ISO 527), GPa	6,9 (IPK); 8.0 (ECK)
Resistência à tração (ISO 527), MPa	30,4 (IPK); 37.5 (ECK)
Resistência à flexão (ISO 14125), MPa	47,3 (IPK); 85.4 (ECK)
Resistência ao corte interlaminar (ISO 14130), MPa	4,9 (IPK); 12.1 (ECK)

Verificou-se que os compósitos de base biológica têm um fraco desempenho ao fogo, tendo-se conseguido como melhor classificação obtida de reação ao fogo “B, s2-d0”. Embora este aspeto melhore com revestimentos intumescentes de proteção, estes exibem durabilidade insuficiente para exposição às intempéries.

Na figura 3 apresentam-se imagens de um ensaio de reação ao fogo de um produto biocompósito desenvolvido no âmbito do projeto BioBuild.



Figura 3: Imagens extraídas durante as diferentes fases de um ensaio de reação ao fogo em produtos biocompósitos, gentilmente cedidas pelo Eng^o Carlos Pina dos Santos (LNEC)

Conclusões

Como os recursos de petróleo diminuem e os custos de energia aumentam, a energia incorporada vai-se tornando cada vez mais não só um objetivo ambiental, como também comercial.

Assim, os bioprodutos feitos a partir de biomateriais e fibras naturais começam a ser materiais de seleção, originando o desenvolvimento de produtos biocompósitos por um número significativo de indústrias e um número de aplicações gradualmente crescentes na construção.

Embora as aplicações dos biocompósitos na construção já sejam muitas, quer em aplicações de menor exigência de desempenho, quer em combinação com outros materiais de maior resistência, estes materiais ainda não são amplamente utilizados devido à sua suscetibilidade de degradação pela ação da humidade e por não terem tão boa classificação de reação ao fogo como os materiais de construção convencionais.

Para colmatar algumas lacunas ao nível da durabilidade e do seu desempenho, é necessária mais investigação e desenvolvimento tecnológico.

Uma combinação de tratamentos de proteção, a aplicação de revestimentos e o uso de retardadores de fogo adequados (ecológicos e não tóxicos) pode ser a melhor abordagem para atingir a classe B de reação ao fogo.

Assim, prevê-se que num futuro próximo os materiais biocompósitos apresentem maior durabilidade, e que estejam disponíveis produtos com um melhor desempenho de isolamento térmico e acústico, adequados para as aplicações mais exigentes no domínio da construção.

Referências bibliográficas

Alampalli, S., O'Connor, J. and Yannotti, A., 2002 – **Fiber reinforced polymer composites for superstructure of a short-span rural bridge**, Composite Structures, Vol. 58-1, pp 21-27

Billington S.L., *et al.*, 2014 – **Renewable Biobased Composites for Civil Engineering Applications**, in “Sustainable Composites. Fibers, Resins and Applications”, Chapter 11, Anil N. Netravali and Christopher M. Pastore (editors), 562 pages, DEStech Publications Inc., ISBN 978-1-60595-111-9.

Carra, G., 2014 – **The BioBuild case studies (ARUP & GXN)**. [Consult. 14 de março de 2016]. Disponível em http://biobuildproject.eu/wp-content/uploads/2014/09/3-Guglielmo-Q9_The-BioBuild-Case-Studies_GC_Arup_IIG_final.pdf

Cassaforma Muro, 2016 – **Cofragens perdidas para betonagem simultânea de vigas de fundação e laje**. [Consult. 14 de março de 2016]. Disponível em <http://www.daliform.com/pt/cofragem-muro/>

Christian and Billington, 2013 – **Mechanical Characterization and Structural Assessment of Biocomposites for Construction**, TR No. 168, John A. Blume Earthquake Engineering Center Technical Report Series, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University. [Consult. 11 de fevereiro de 2016]. Disponível em <https://purl.stanford.edu/gw924yv6972>

EU, 2011– **Construction Products, Regulamento (UE) Nº. 305/2011** do Parlamento Europeu e do Conselho de 9 de Março de 2011

Faruk & Sain (Editors), 2014 – **Biofiber Reinforcements in Composite Materials**, 1st Edition, Woodhead Publishing, 772 pp., ISBN 9781782421276

Madhuri, B. M., *et al.*, 2015 – **Review of Recent Trends & Developments in Biocomposites**, Madhuri, B. M., Prashant, S. K, Aravin, P. & Lavate S. Cotton Bangladesh. [Consult. 11 de fevereiro de 2016]. Disponível em <http://www.cottonbangladesh.com/April2014/DevelopmentinBioComposite.htm>

Maya & Thomas, 2008 – **Biofibers & Biocomposites**. Carbohydrate Polymers, vol. 71 (3), pp.343-364

Projeto BioBuild, 2012. Resultados disponíveis em <http://biobuildproject.eu/>

Yatim, J. M., *et al.*, 2003 – **Biocomposites for the construction materials and structures**. Yatim J. M., Khalid N. H. B. A. and Mahjoub R. Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, pp. 29, [Consult. 11 de fevereiro de 2016]. Disponível em https://www.academia.edu/1266940/biocomposites_for_the_construction_materials_and_structures

Wambua, P., *et al.*, 2003 – **Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?** Wambua, P., Ivens, J., Verpoest, I. Composites Science and Technology 63 , pp. 1259–1264