

ESTUDO SOBRE EMPREGO DE ISOLANTES TERMOACÚSTICOS ECOLÓGICOS NA ARQUITETURA E NA CONSTRUÇÃO CIVIL

STUDY OF THE USE OF ECOLOGICAL THERMOACOUSTIC INSULATORS IN ARCHITECTURE AND CIVIL CONSTRUCTION

ESTUDIO SOBRE EL USO DE AISLANTES TERMOACÚSTICOS ECOLÓGICOS EN ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN CIVIL

ISABELLA SABRINA FERNANDES DOS SANTOS | USP - Universidade de São Paulo, Brasil.

AKEMI INO, DRA. | USP - Universidade de São Paulo, Brasil.

RESUMO

O uso da madeira de plantios florestais como material construtivo mostra-se uma alternativa mais sustentável no meio da construção civil, seu uso em painéis pré-fabricados faz-se interessante como solução de vedação leve para edificações mais econômicas e otimizadas. Mas, há de se considerar a necessidade de isolamento termoacústico nesses painéis, e aqui se insere a proposta do artigo, que visa preencher a lacuna de pesquisas sobre materiais isolantes ecológicos. A partir de investigação nas literaturas técnico-científicas e no mercado, nacional e internacional, foi constatado que existem muitos materiais naturais ou reciclados com propriedades adequadas para o emprego como materiais isolantes na construção civil, e inclusive alguns desses já são comercializados no exterior com preços competitivos. No Brasil, esse mercado ainda é incipiente, entretanto percebe-se o potencial no uso de resíduos agrícolas como isolantes, tendo em vista a alta produção do país.

PALAVRAS-CHAVE

Sustentabilidade; Isolamento termoacústico; Isolantes ecológicos.

ABSTRACT

The use of wood from forest plantations as a building material proves to be a sustainable alternative in the field of civil construction, its use in prefabricated panels becomes interesting as a lightweight sealing solution for more economical and optimized buildings. However, the need for thermoacoustic insulation in these panels must be considered, and this is where the proposal of the article is inserted, which aims to fill the gap in research on ecological insulating materials. From research in the technical-scientific literature and in the national and international market, it was found that there are many natural or recycled materials with suitable properties for use as insulating materials in civil construction, and even some of these are already sold abroad with competitive prices. In Brazil, this market is still incipient, however the potential in the use of agricultural residues as insulators is perceived, in view of the high production in the country.

KEYWORDS

Sustainability; Thermoacoustic insulation; Ecological insulators.

RESUMEN

El uso de madera procedente de plantaciones forestales como material de construcción es una alternativa más sostenible en la industria de la construcción, su uso en paneles prefabricados es interesante como solución de sellado



ligero para edificios más económicos y optimizados. Sin embargo, debe considerarse la necesidad de aislamiento termoacústico en estos paneles, y esta es la propuesta del artículo, que pretende cubrir el vacío de investigación sobre materiales aislantes ecológicos. A partir de investigaciones en la literatura técnico-científica y en el mercado nacional e internacional, se constató que existen muchos materiales naturales o reciclados con propiedades adecuadas para ser utilizados como aislantes en la construcción civil, e incluso algunos de ellos ya son comercializados en el exterior a precios competitivos. En Brasil, este mercado aún es incipiente, sin embargo, se percibe el potencial en el uso de residuos agrícolas como aislantes, en vista de la alta producción del país.

PALABRAS CLAVE

Sostenibilidad; Aislamiento termoacústico; Aislantes ecológicos.



1. INTRODUÇÃO

A Construção Civil, englobando toda sua cadeia produtiva, é responsável por grandes impactos ambientais ao consumir grande quantidade de recursos naturais, de energia, de materiais, gerar alta quantidade de resíduos e emitir gases de efeito estufa (GEE). Os materiais usados convencionalmente nessa indústria compartilham fortemente a responsabilidade desse impacto; como por exemplo o concreto, que tem sido o elemento base da construção civil e utiliza o cimento como aglomerante. Atualmente, a produção de cimento passa de 4 bilhões de toneladas por ano, e é responsável pela emissão de mais de 1,5 bilhão de toneladas de CO₂, compondo 8% das emissões globais (LEHNE; PRESTON, 2018).

O Brasil ocupa o preocupante 6º lugar entre os maiores emissores de GEE, com 3,2% do total mundial (SEEG, 2019). Em meio a este cenário, para que se impeça o agravamento do efeito estufa, é necessário que haja redução das emissões de GEE e também maneiras de sequestrar e armazená-los. Desta forma, a Construção Civil pode diminuir seu impacto ambiental através da adoção da madeira de plantios florestais como material de construção, visto que ela pode contribuir em ambos os aspectos por ser nula em relação às emissões de carbono, e os benefícios podem ser ainda maiores ao adicionar o uso da madeira à pré-fabricação (GHELLERE, 2020).

A madeira é um material de pouco impacto, ainda mais se comparado aos materiais de construção convencionais, ela possui características positivas em diversos aspectos: é um material de fonte renovável que permite um ciclo fechado; possui processos menos complexos de transformação e de menor energia incorporada; apresenta facilidade de execução no canteiro de obras (equipamentos e ferramentas mais leves, unidades produtivas menores, proximidade produção-consumo); maior facilidade na formação e qualificação de mão de obra (INO, 2016). O Brasil, apesar de apresentar grande potencial de produção madeireira por sua dimensão continental e clima favorável, demonstra baixa demanda de construção com este material. Esse entrave pode ser consequência de um ciclo vicioso que engloba questões culturais, falta de especialização de profissionais envolvidos, preferência de madeireiros na produção de celulose e a consequente falta de qualidade da madeira que se tem no mercado atual. Em meio a discussões acerca da sustentabilidade, o uso da madeira como material de construção no país pode vir a crescer e mudar esse cenário, sua produção efetiva vem acompanhada de geração de renda e novos empregos,

além da mitigação do efeito estufa.

Um outro ponto a se considerar é o uso da pré-fabricação. Sua aplicação possibilita maior controle do processo produtivo, permitindo maior rapidez de execução, economia de materiais, agilidade com mão de obra, e consequente economia financeira, aumento da qualidade do produto e diminuição na geração de resíduos. E, ao ser executada no canteiro de obra, simplifica ainda mais o processo logístico, reduzindo os gastos com transporte e maquinários pesados, diminuindo o consumo de combustíveis e energia. A associação da madeira em painéis pré-fabricados vai ao encontro da temática sustentabilidade. De acordo com as experimentações com painéis de madeira para pré-fabricação feitas por Ghellere (2020) pode-se chegar a algumas conclusões: painéis com camada única apresentam menor custo e complexidade, facilitando a execução, porém resultam em pouco conforto térmico. O aumento da espessura do painel poderia resolver esse aspecto, mas encareceria a construção; uma alternativa mais viável seria a produção de um painel duplo com uma camada de isolamento.

Finalmente, a respeito do isolamento, os materiais isolantes convencionais da construção civil, em sua maioria, são derivados do petróleo e não recicláveis, como a lã de rocha, a fibra de vidro e o poliestireno expandido (EPS). Havendo assim, uma lacuna a respeito de isolantes ecológicos, que são pouco difundidos e dificilmente encontrados no mercado nacional. Tendo em vista os pontos discutidos até então, e a necessidade do emprego de isolantes em painéis de madeira pré-fabricados, a pesquisa a respeito da utilização de isolantes ecológicos torna-se de profunda relevância. Materiais esses que se caracterizam pela baixa condutividade térmica, e que por vezes podem ser empregados como isolantes térmicos e acústicos (termoacústicos). Por serem ecológicos e naturais, além da função isolante que tem importância contra o desperdício de energia, podem ter menor custo, serem biodegradáveis e recicláveis, adotando uma iniciativa mais sustentável; exemplos desses materiais a serem estudados incluem a terra palha e fibras naturais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil, o setor de edificações foi responsável pela expressiva parcela de 52% do consumo de energia elétrica no país em 2019; Dentro desse segmento as residências responderam por 26% desse consumo, e o restante atribuído a estabelecimentos comerciais (17%) e prédios públicos (9%) (EPE, 2020). O alto índice de consumo de

energia dos edifícios ressalta a significativa importância da indústria da Construção Civil na sociedade, e a urgência de se firmar seu compromisso com a sustentabilidade.

As estratégias para se alcançar a maior eficiência energética de um edifício estão presentes desde o início, é preciso que o projeto inclua esse pensamento em todo o processo de produção, desde fabricação, transporte e construção até demolição. Uma construção energeticamente eficiente traz benefícios econômicos, ambientais e principalmente positivos para os usuários, possibilitando edifícios mais confortáveis a menor custo. Portanto, um projeto pensando na eficiência energética e sustentabilidade da construção deve levar em consideração uma das principais causas do alto consumo de energia: o uso excessivo de equipamentos climatizadores. Neste aspecto, é de grande contribuição a utilização de materiais isolantes no edifício, sendo eles térmicos e/ou acústicos.

O isolamento na construção civil pode ser resultante do próprio sistema construtivo adotado, mas também pode ser obtido ao se adicionar materiais isolantes ao sistema; como por exemplo acrescentar uma camada de material isolante em meio ao painel duplo de madeira ao invés de se usar um painel único de grande espessura. Além do conforto do usuário, as vantagens em se utilizar sistemas de isolamento englobam a economia de energia devido à redução das necessidades de climatização do ambiente interior, redução do peso das paredes e das cargas permanentes sobre a estrutura e diminuição do gradiente de temperaturas a que são sujeitas as camadas interiores das paredes (NAVROSKI et al., 2010).

Referente a temperatura, a condutividade térmica está associada a ligações na estrutura atômica ou molecular de um material, os metais, por exemplo, são bons condutores de calor por terem seus elétrons mais externos livres para transportar energia, ao contrário de materiais como madeira, lã, vidro e poliestireno, que são maus condutores por possuírem os elétrons mais externos firmemente ligados (NAVROSKI et al., 2010). Para fins de simplificação, um material pode ser considerado como um isolador térmico se o seu índice de condutividade térmica (λ) for inferior a 0,07 W/m.K (ASDRUBALI et al., 2015).

Em relação específica à acústica, o tratamento inclui isolar ou absorver ondas sonoras. O isolamento acústico atua na diminuição do nível de ruído que entra e sai do ambiente, e é expresso pelo índice de redução sonora ponderado (R_w) expresso em dB, que caracteriza a habilidade de uma estrutura prevenir e dificultar a passagem de som através de si mesma. Quanto maior o índice de redução sonora, maior o isolamento acústico da estrutura

(ASDRUBALI et al., 2015). Materiais de alta densidade superficial minimizam a transmissão de energia sonora de um ambiente a outro, isolando-os, como o concreto, vidro e chumbo. A absorção sonora trata do fenômeno que minimiza a reflexão das ondas sonoras em um determinado ambiente, ou seja, diminui ou elimina o nível de reverberação, que por sua vez é responsável por comprometer a inteligibilidade do meio (BASTOS et al., 2010). A capacidade de materiais e sistemas de dissipar a energia acústica incidente é dada pelo coeficiente de absorção sonora (α), adimensional. Os materiais utilizados para absorver som são os de baixa densidade, fibrosos ou porosos, como por exemplo as lãs minerais sintéticas, como as de vidro ou de rocha, a espuma de poliuretano, as fibras cerâmicas, os tecidos e etc.

Os materiais isolantes convencionais da construção civil, em sua maioria, são derivados do petróleo e não naturais, como a lã de rocha, a fibra de vidro e o poliestireno expandido (EPS), e podem trazer problemas tanto em seu processo de produção quanto de instalação. Como por exemplo as lãs minerais, apesar do baixo custo podem prejudicar a saúde durante o manuseio, como irritação de pele e problemas respiratórios devido à inalação. Já os materiais porosos, como as espumas de poliuretano, além de possuírem maior custo de produção, ainda são mais agressivos ao meio ambiente devido a emissão de gases tóxicos (ASDRUBALI et al., 2012).

Em meio a essa série de desvantagens que acompanham os isolantes convencionais, o uso de materiais isolantes naturais se faz pertinente, estes podem ter menor custo, são biodegradáveis e recicláveis, requerem menor quantidade de energia, fazem uso limitado de fontes não-renováveis adotando uma iniciativa mais sustentável, como por exemplo as fibras vegetais. Os materiais isolantes naturais podem ser comparados, em termos de desempenho, aos materiais convencionais, e já são encontrados comercialmente no exterior a um preço acessível, porém no Brasil ainda há certa dificuldade em encontrá-los.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A abordagem inicial utilizada para o desenvolvimento deste trabalho foi de levantamento bibliográfico, pesquisando por artigos científicos, dissertações e teses publicadas até o momento em referência: 2022.

Primeiramente, foi realizada pesquisa bibliográfica sobre: eficiência energética e o papel dos materiais isolantes nesse contexto; as normas brasileiras de desempenho em edificações habitacionais; e, finalmente, materiais

isolantes naturais, sendo também considerados materiais reciclados. Para a busca, foram utilizadas as palavras-chave: materiais isolantes, isolantes construção civil, isolantes sustentáveis, isolantes naturais, isolantes térmicos, isolantes acústicos, e suas respectivas traduções para o inglês, a fim de explorar os materiais isolantes sustentáveis que estão sendo estudados e testados nacional e internacionalmente. A partir dos resultados encontrados, foram selecionadas e analisadas pesquisas com materiais naturais ou reciclados com potencial de uso como isolante térmico e/ou acústico na construção civil, sendo algumas dessas pesquisas compiladas de outras, obtendo ampla gama de insumos.

Posteriormente, foi feita uma busca por empresas, nacionais e internacionais, que comercializam os materiais naturais indicados como bons isolantes na construção civil pela bibliografia; e também por projetos construídos que utilizem os mesmos materiais. Para assim, ao final, organizar uma tabela de fácil consulta sintetizando todos os dados levantados.

4. RESULTADOS

Os resultados da pesquisa foram divididos em três partes, e são elas: isolantes ecológicos encontrados na literatura,

isolantes ecológicos encontrados no mercado e, por último, projetos que utilizam materiais isolantes ecológicos.

4.1. Isolantes ecológicos encontrados na literatura

A partir do levantamento bibliográfico de pesquisas sobre isolantes ecológicos, foi possível encontrar uma gama de materiais, sejam eles naturais ou reciclados, que se mostraram promissores para o emprego na construção civil devido a propriedades térmicas e acústicas adequadas. Ainda, foi percebido que falta uma melhor caracterização dos materiais, pois por se tratarem de materiais naturais estão mais expostos a adversidades como parasitas, fungos e umidade; e também se mostra muito necessário testes a respeito de resistência mecânica e ao fogo.

A Tabela 01 sistematiza os dados coletados a respeito desses materiais. A tabela contém para cada material, além de uma breve descrição, a variação de valores obtidos nos ensaios das seguintes propriedades: densidade (d) dada em kg/m^3 , condutividade térmica (λ) em W/m.K , coeficiente de absorção sonora (α), grandeza adimensional, para frequência de 500 Hz, e índice de redução sonora (R_w) dada em dB, o número entre colchetes ao lado do material relaciona-se com a referência da pesquisa.

Material	Descrição	d (kg/m^3)	λ (W/m.K)	α	R_w (dB)
Abacaxi [1]	placas compostas por fibra de folha de abacaxi e látex de borracha natural como aglutinante (1:3)	210	0,035	-	-
Açaí [2]	painéis compostos por fibra de açaí com ligante a base de acrilato e água	-	-	0,45	-
Arroz [3]	casca seca de arroz	149	0,049	-	-
Arroz [4]	compósito com palha de arroz e madeira (20% do peso em palha de arroz)	-	-	0,30	-
Bambu [5]	amostra a partir de fibra de bambu	120	-	0,40	-
Cana-de-açúcar [6]	bagaço da cana-de-açúcar	100	0,048	-	-
Casca de pinheiro [7]	casca de pinheiro triturada seca	250	0,069	-	-
Coco [8]	fibra de casca e coco sem utilização de ligantes	-	0,041	0,31	12,5
Coco [2]	painéis de fibra de coco	-	-	0,29	-
Dendê [4]	amostra de fibra de dendê	100	0,055	-	-
Dendê [2]	painel composto por fibra de dendê e ligante a base de acrilato e água	-	-	0,19	-
Denim [8]	painel composto por denim, jeans reciclado, sem utilização de ligantes	-	0,038	0,03	11,5
Durião [4]	amostra de aglomerados compostos por casca de durião	428	0,064	-	-

Material	Descrição	d (kg/m ³)	λ (W/m.K)	α	Rw (dB)
Hastes de algodão [4]	placas feitas a partir da fibra da haste de algodão sem aglomerante químico	-	0,059	-	-
Junco [4]	painel composto por junco	130 - 190	0,045 - 0,056	0,50	-
Junco + cânhamo [5]	amostra composta por uma camada de 5 cm de junco e 7 cm de cânhamo	-	-	1,20	-
Kenaf [9]	placa dura com fibra de kenaf com 50 mm de espessura	30	-	0,74	-
Lã de ovelha [10]	amostra com composição de diferentes qualidades de lã de ovelha	30	-	0,45	-
Linho [5]	amostra com espessura de 10 mm de estopa, sem adição de aglutinantes	-	-	0,56	-
Milho [6]	placa composta por sabugo de milho triturado	130	0,058	-	-
Palha [11]	placa composta por palha com 8,25% de umidade	76	0,053	-	-
Poliuretano derivado do óleo de mamona [12]	espuma de poliuretano derivado do óleo de mamona, biodegradável	-	0,045	-	-
Sisal [8]	placas de fibra de sisal sem ligantes	-	0,039	0,29	12,1
Taboa [4]	fibra de taboa	200 - 400	0,044 - 0,061	-	-

Tabela 1: Materiais isolantes naturais encontrados na LITERTURA.
Fonte: Autoras.

Alguns materiais se destacaram entre os encontrados no levantamento bibliográfico, tanto pelas propriedades apresentadas quanto pela potência no contexto brasileiro. Os materiais são: a fibra de açai, a fibra de coco, o denim e o poliuretano derivado do óleo de mamona, que serão melhor abordados a seguir.

4.1.1. Açai

Bastos et al. (2021) realizou ensaios com painéis compostos por fibras de açai a fim de testar sua aplicabilidade na melhoria da inteligibilidade da fala em sala de aula. Os resultados indicaram que embora apresente valores baixos nas frequências graves (até 500 Hz), o material analisado se comporta como um bom absorvedor acústico, considerando que acima de 2.000 Hz a absorção sonora é superior a 80%, os coeficientes de absorção sonora estão indicados na Tabela 02.

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
α	0,33	0,18	0,36	0,56	0,80	0,87

Tabela 2: Coeficientes de absorção sonora do painel de fibra de açai por banda de oitava.
Fonte: BASTOS et al., 2021.



Figura 1: a) Formação das camadas de fibras de açai; b) Painéis de fibra de açai.
Fonte: BASTOS et al., 2021.

4.1.2. Coco

Araujo et al. (2015) testou amostras de fibras de coco verde e seca minimamente processadas, em uma solução composta por óleo da castanha de caju, objetivando estimar suas características térmicas. Essas amostras foram produzidas com densidades variáveis para identificar as mais apropriadas em termos de desempenho térmico, segundo a norma francesa NF EN 12664 onde foi utilizado o método fluximétrico. A partir dos resultados obtidos, pode-se determinar que a melhor relação entre a densidade e a condutividade térmica de fibra de coco verde é 0,046 W/m.K para densidade de 57,87 kg/m³, e para a fibra de coco seco é 0,041 W/m.K para densidade de 89,34 kg/m³.

Navacerrada et al. (2021) desenvolveu ensaios com placas de fibra de coco sem a utilização de ligantes,

graças a utilização da máquina de punção, e a partir do resultado de valor de condutividade térmica $\lambda = 0,041 \text{ W/m.K}$ à 10°C foram determinados os valores de rigidez dinâmica de 4 MN/m^3 ; frequência de ressonância $f_0 = 93 \text{ Hz}$; índice de redução sonora $R_w = 12,5 \text{ dB}$; e para o coeficiente de absorção sonora obteve-se os valores expostos na Tabela 03.



Figura 2: Painel de fibra de coco minimamente processada.
Fonte: ARAUJO et al., 2015

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
α	0,21	0,15	0,31	0,40	0,77	0,82

Tabela 3: Coeficientes de absorção sonora do painel de fibra de coco por banda de oitava.
Fonte: NAVACERRADA et al., 2021



Figura 3: Painel de fibra de coco minimamente processada.
Fonte: ARAUJO et al., 2015

4.1.3. Denim

O denim tem como grande fonte de matéria prima o jeans reciclado, material que descartado pode contaminar o solo e água. Sua utilização como material isolante foi estudada por Navacerrada et al., (2021), que realizou vários ensaios com placas compostas por suas fibras sem utilização de ligantes, obtendo os seguintes valores: condutividade térmica (λ) de $0,038 \text{ W/m.K}$ à 10°C ; rigidez dinâmica de 6 MN/m^3 ; frequência de ressonância $f_0 = 105 \text{ Hz}$; índice de redução sonora $R_w = 11,5 \text{ dB}$; e para o coeficiente de absorção sonora (α) obteve-se os valores mostrados na Tabela 04.

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
α	0,08	0,06	0,03	0,71	0,96	0,96

Tabela 4: Coeficientes de absorção sonora do painel de denim por banda de oitava.
Fonte: NAVACERRADA et al., 2021



Figura 4: Placa composta por fibra de denim.
Fonte: NAVACERRADA et al., 2021

4.1.4. Poliuretano derivado do óleo de mamona

Os materiais isolantes de poliuretano mais comercializados são geralmente derivados de petróleo. No entanto, há o poliuretano derivado de óleo de mamona (*Ricinus communis*), que além de suas propriedades químicas e físicas de sua espuma oferecem diversas vantagens como leveza, fácil manuseio e instalação, resistência, menor volume ocupado, alta durabilidade, baixa condutividade térmica, e também biodegradável.

Cardoso (2010) caracterizou a espuma rígida de poliuretano (PU) derivada de óleo de mamona (*Ricinus communis*) para aplicação como forro na isolamento térmica de sistemas de cobertura. A partir do método de fio quente paralelo, foram determinadas a condutividade térmica da espuma de $0,045 \text{ W/m.K}$, calor específico de $4.607,15 \text{ J/kg.K}$ e difusividade térmica: $2,65 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Também foi realizado estudo comparativo entre quatro células de teste para análise do comportamento térmico do forro isolante com dados coletados em canteiro experimental, (Figura 05). Os resultados obtidos comprovaram a eficiência da espuma nas trocas térmicas, visto que a célula com o forro isolante apresentou até $6,8^\circ\text{C}$ de diferença em relação à célula sem o forro. Além disso, a espuma rígida de poliuretano apresentou propriedades termomecânicas compatíveis para utilização como isolante térmico em temperaturas abaixo do ambiente, e em temperaturas acima de 100°C



Figura 5: a) Colocação das placas de PU; b) Placas de PU aplicadas no forro.
Fonte: CARDOSO, 2010.

4.2. Isolantes ecológicos encontrados no mercado

Com base no levantamento bibliográfico de materiais naturais ou reciclados que podem funcionar como isolantes térmicos e ou acústicos foi feita uma busca a fim de encontrar esses mesmos materiais oferecidos no mercado. Pôde-se notar de imediato maior facilidade em encontrar produtos no mercado internacional em comparação ao nacional, destacando maior quantidade de empresas europeias.

Para a sistematização da busca realizada foi elaborada a Tabela 05, contendo os produtos comercializados encontrados que utilizam como princípio materiais naturais

ou reciclados para a produção de isolantes na construção civil. As propriedades expostas são as mesmas apresentadas na Tabela 01, na coluna do nome comercial foram incluídos os países de origem de cada produto e, novamente, o número entre colchetes relaciona-se com a empresa de referência.

A partir do levantamento dos produtos oferecidos pelo mercado internacional, foram selecionados três distintos produtos de materiais naturais e/ou reciclados para maior detalhamento. E apresentando, posteriormente, seus respectivos preços de comercialização no mercado a fim de realizar um breve comparativo de valores com os materiais convencionais locais.

Nome comercial	Descrição	d (kg/m ³)	λ (W/m.K)	α	Rw (dB)
Acoustic Panels Letônia [13]	painel com 25 mm de lã de madeira e 60 mm de air gap	-	0,066	0,55	-
Aglomerado de Cortiça Expandida Portugal [14]	aglomerado de cortiça expandida, até 30 cm de espessura	110	0,039	-	-
Agribiopanel Índia [15]	painéis compostos 90% palha e 10% ligante	800	0,013	-	40,0
alfaWall Espanha [16]	painel estrutural de palha (arroz, trigo e centeio) prensada com estrutura de madeira	120	0,067	-	49,0
Coco Portugal [17]	placas rígidas e duras compostas por fibras de coco	110 - 140	0,043	-	-
Echo Eliminator EUA [18]	algodão reciclado com espessura de 2,5 cm	96	0,039	0,86	-
Eco-Core Eco Friendly Insulation EUA [19]	painel composto por celulose, papel e algodão reciclado com 5 cm de espessura	-	-	1,18	-
EcoCocon Eslováquia [20]	painel feito de palha prensada com espessura de 40 cm e camada externa de fibra de madeira	110	0,065	-	54,0
Fibra de Coco Brasil [21]	placas de fibra de coco com espessura de 4 cm	-	0,053	0,45	4,0
Painel ROOTMAN Chile [22]	material com raízes como base	120 - 140	0,035	0,67	48,0
Quiet Batt EUA [23]	composto 80% de algodão reciclado, espessura de 76 cm	-	0,476	0,99	-
RH50 Itália [24]	painel 92% fibras de palha de arroz 8% fibras termofusíveis de poliéster, espessura 4,5 - 20 cm	50	0,039	-	46,0 - 48,0
Sheepwool Irlanda [25]	rolos de lã de ovelha	20	0,036	-	-
Steico flex 036 Alemanha [26]	painel composto por fibra de madeira	60	0,036	-	-
Thermo Hemp Combi Jute Alemanha [27]	58% fibras de cânhamo, 29% fibras de juta reciclada, 9% fibras de PET reciclada	37	0,039	0,70	-
Ultrawool Reino Unido [28]	composto 75% lã de ovelha e 25% poliéster reciclado, espessura de 5 cm	31	0,035	0,85	41,0

Tabela 5: Materiais isolantes termoacústicos naturais encontrados no MERCADO.

Fonte: Autoras.

4.2.1. Thermo Hanf

A Thermo Hanf é uma empresa alemã que produz placas isolantes compostas 58% fibras de cânhamo, 29% fibras de juta reciclada, 9% fibras de PET reciclada, apresenta coeficiente de absorção acústica de 0,7 a 500 Hz e condutividade térmica de 0,039W/m.K, se mostrando bom isolante térmico e absorvedor acústico, suas características de absorção sonora variando com a espessura estão expostas na Tabela 06.

α	e (mm)	f (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
	40	0,20	0,45	0,70	0,85	0,90	0,95
	160	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabela 6: Coeficientes de absorção sonora do painel Thermo Hanf por banda de oitava de acordo com a espessura.
Fonte: Thermo Hanf, 2022.



Figura 6: Placas Thermo Hanf.
Fonte: Thermo Hanf, 2022.

4.2.2. Eco-Core

A Eco-Core é uma marca norte americana que produz placas específicas para absorção acústica compostas por celulose, papel e algodão reciclados, suas características de absorção sonora variando com a espessura estão expostas na Tabela 07.

α	e (mm)	f (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
	25	0,09	0,21	0,84	1,05	1,05	1,05
	50	0,39	0,51	1,18	1,11	1,06	1,09

Tabela 7: Coeficientes de absorção sonora do painel Eco-Core por banda de oitava de acordo com a espessura.
Fonte: Acoustic Mac, 2022.



Figura 7: Placas Eco-Core.
Fonte: Acoustic Mac, 2022.

4.2.3. Sheep Wool Insulation

A Sheep Wool Insulation é uma empresa irlandesa que comercializa rolos de lã de ovelha para isolamento térmico, a condutividade térmica do produto é de 0,036W/m.K.



Figura 8: a) Rolos Sheep Wool Insulation; b) Aplicação dos rolos.
Fonte: Sheepwool Insulation, 2022.

4.2.3. Comparativo de custos

Em relação a custos, no site dessas empresas foi possível consultar o valor de seus produtos, sendo que variam de acordo com densidade, espessura e modelo. Para a empresa irlandesa Sheep Wool Insulation, o valor do metro quadrado de seus produtos variou entre €9,75 e €45,12. O metro quadrado do produto estadunidense Eco-Core variou entre \$12,31 e \$34,48. Já a empresa alemã Thermo Hanf oferece o metro quadrado entre £6,78 e £15,99.

Também foi feito o levantamento do preço dos materiais isolantes tradicionais em dois dos mesmos países, para fins de referência. Na empresa de materiais de construção irlandesa Build 4 Less foi encontrado lã mineral com metro quadrado entre €6,41 e €9,28, lã de rocha com metro quadrado de €98,92, e fibra de vidro com metro quadrado de €4,24. Na loja de isolamento acústico estadunidense Acoustimac foi possível encontrar isolantes de lã de rocha com o metro quadrado variando entre \$17,07 e \$40,96.

Analisando os valores levantados, pode-se perceber que no mercado dos respectivos países os isolantes naturais encontram-se na mesma faixa de preço que os tradicionais, entendendo que há competitividade dos materiais naturais no mercado internacional.

4.3. Projetos que utilizam materiais isolantes ecológicos

Após o levantamento de materiais na literatura e no mercado, foi feita uma busca por projetos construídos que utilizassem algum dos materiais isolantes ecológicos já estudados. Assim, foram selecionados dois projetos de interesse que serão melhores abordados a seguir: a Hemp House e as 13 Maisons en Bois-Paille. Ambas se tratam de habitações localizadas na Europa, com estrutura em madeira.

4.3.1. Hemp House

A Hemp House, dos arquitetos Bach Mühle Fuchs e Ljubica Arsić, é um projeto de 2021, localizado na Sérvia e se relaciona fortemente com seu entorno predominante natural, utilizando de métodos simples de construção e materiais ecológicos. A estrutura é de madeira e a vedação é feita de “hempcrete”.



Figura 9: Fachada da Hemp House.
Fonte: ArchDaily.

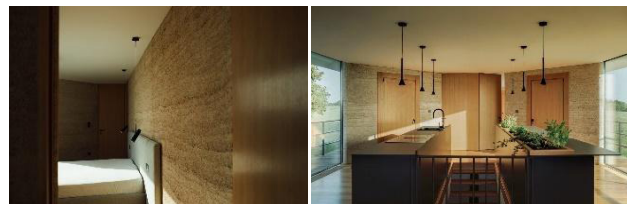


Figura 10: Interior.
Fonte: ArchDaily.

Hempcrete é a contração do inglês concrete hemp, em português: concreto de cânhamo. Trata-se de um composto ecológico de lascas de cânhamo com cal ou solo cimento, ele é leve e não estrutural, pode ser moldado no local ou pré-fabricado em componentes de construção, dentre suas propriedades está inclusa o isolamento térmico.



Figura 11: Detalhe da parede.
Fonte: ArchDaily.



Figura 12: Processo de construção.
Fonte: ArchDaily.



Figura 13: Processo de construção.
Fonte: ArchDaily.

4.3.2. 13 Maisons en Bois-Paille

O projeto 13 maisons en bois-paille à Nogent-le-Rotrou, de 2019, trata de 13 casas populares localizadas em Nogent-le-Rotrou, ao norte da França, tendo como escritório de arquitetura responsável NZI Architectes. As residências são organizadas em três blocos conectados por um caminho pedonal, e nelas foram exploradas técnicas construtivas sustentáveis, em que a eficiência energética foi tomada como aspecto importante ao se priorizar o conforto da construção.



Figura 14: Implantação.
Fonte: NZI Architectes.



Figura 15: Revestimentos de madeira com diferentes tratamentos.
Fonte: NZI Architectes.

As casas são constituídas de painéis de madeira preenchidos com fardos de palha comprimida de 36 cm de espessura e revestimento de madeira, sendo esta, madeiras de acabamentos variados. Os painéis pré-fabricados possibilitaram que o projeto fosse construído 70% na oficina, reduzindo custos, tempo e desperdícios materiais, além disso, a leveza dos painéis facilita o manuseio, transporte e proporciona o uso de equipamentos menos pesados.



Figura 16: Processo de pré-fabricação dos painéis.
Fonte: NZI Architectes.



Figura 17: Processo de finalização e transporte dos painéis.
Fonte: NZI Architectes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desta pesquisa foi possível constatar que existem muitas alternativas no uso de materiais naturais ou reciclados como isolantes térmicos e/ou acústicos na construção civil. Essa constatação pode ser confirmada pela quantidade expressiva apresentada no quadro síntese elaborado a partir do levantamento bibliográfico e da pesquisa de mercado de empresas que vêm investindo nesse ramo, principalmente as europeias. Para a realidade

brasileira, se configura como uma oportunidade de investimento pela sua produção agrícola significativa que resulta também, em muitos casos, em geração de resíduos, os quais poderiam ser destinados à produção de isolantes naturais. Neste sentido, há um campo de pesquisa ainda pouco explorado, e para tanto é necessário maior investimento nas pesquisas nacionais, e mais testes de caracterização dos materiais, como por exemplo para resistência mecânica, ao fogo e adversidades ambientais.

Em relação ao mercado de isolantes naturais, o europeu se destaca pelo número de empresas e opções de produtos; países onde já se é comum a comercialização de isolantes naturais na construção civil apresenta preços competitivos com os tradicionais, sendo uma opção viável e aos consumidores. Além disso, também foram encontrados projetos construídos que utilizaram de isolantes naturais para isolamento, confirmando a potencialidade que esses materiais têm, não só no conforto ambiental, mas também na qualidade arquitetônica.

Em suma, há uma ampla opção de materiais naturais a serem utilizados como isolantes na construção civil e os países europeus são prova, visto a sua comercialização já estabelecida. O Brasil tem insumos suficientes para gerar a matéria prima de muitos dos materiais naturais apresentados neste trabalho, mas ainda falta um aprofundamento nas suas caracterizações e investimento para que se viabilize a inserção desses produtos no mercado nacional. Reforça-se também a importância da disseminação da inserção do isolamento térmico e acústico nas residências, visto a falta de conforto ambiental nas casas populares brasileiras.

REFERÊNCIAS

13 MAISONS EN BOIS-PAILLE A NOGENT LE ROTROU. Nouveau Blog - NZI Architectes, 2019. Disponível em: <<https://www.nzi.fr/logements-nogentt>>. Acesso em: 01 de ago. de 2022.

A.MARTINS. A.Martins - madeiras e derivados. **Componentes de isolamento.** Disponível em: <<https://www.a-martins.pt/componentes-isolamento>>. Acesso em: 09 de jul. de 2022. [17]

ACOUSTIMAC. Acoustimac - always sound your best. **Eco Core Acoustic Insulation.** Disponível em: <<https://www.acoustimac.com/acoustic-insulation-materials/acoustic-insulation/eco-core-acoustic-insulation>>. Acesso em: 08

de jun. de 2022. [19]

ACOUSTIMAC. Acoustimac - always sound your best. **ROCKWOOL Acoustic Insulation**. Disponível em: <<https://www.acoustimac.com/acoustic-insulation-materials/acoustic-insulation/mineral-wool-acoustic-insulation>>. Acesso em: 06 de jul. de 2022.

ASDRUBALI, F.; D'ALESSANDRO, F.; SCHIAVONI, S. A review of unconventional sustainable building insulation materials. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 4, p. 1-17, jun. 2015.

ASDRUBALI, F.; SCHIAVONI, S.; HOROSHENKOV, K. V. A review of sustainable materials for acoustic applications. **Building Acoustics**, v. 19, n. 4, p. 283-311, dez. 2012.

BASTOS, L. P.; MELO, G. S. V.; SOEIRO, N. S. Avaliação do Desempenho Acústico de Painéis Fabricados a Partir de Fibras Vegetais em Câmara Reverberante em Escala Reduzida. VI **Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**, Campina Grande (PB), Brasil, 2010.

BONDED LOGIC. Bonded Logic. Homepage. Disponível em: <<http://www.bondedlogic.com/>>. Acesso em: 08 de jun. de 2022.

BUILD4LESS. Build 4 Less - Ireland's Leading Provider of Building Supplies. **Cavity Wall Insulation**. Disponível em: <<https://www.build4less.ie/insulation-materials/cavity-wall-insulation.html>>. Acesso em: 06 de jul. de 2022.

CARDOSO, G. T. **Caracterização da espuma rígida de poliuretano (PU) derivada de óleo de mamona (Ricinus communis) para isolamento térmico na construção civil**. 2010. 82p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

CEWOOD. Cewood - wood wool panels. **Products**. Disponível em: <<https://www.cewood.com/products-eng>>. Acesso em: 01 de jul. de 2022.

COCO VERDE. **Coco verde reciclado**. Tratamento acústico. Disponível em: <<http://www.cocoverderj.com.br/tratamento-acustico.htm>>. Acesso em: 05 de maio de 2022.

D'ALESSANDRO, F.; PISPOLA, G. Sound absorption

properties of sustainable fibrous materials in an enhanced reverberation room. **Proceedings of Internoise 2005**. Rio de Janeiro, Brazil, 2005.

DEL REY, R. et al. Characterization of sheep wool as a sustainable material for acoustic applications. **Materials**, v. 10, n. 11, p. 1277, 2017.

ECOCOCON. **EcoCocon**. The Panel. Disponível em: <<https://ecococon.eu/the-panel>>. Acesso em: 18 de maio de 2022.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Nota Técnica - Ações para Promoção da Eficiência Energética nas Edificações Brasileiras: no Caminho da Transição Energética**. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 2020.

GHELLERE, F. B. **Painel de vedação vertical pré-fabricado em madeira**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

GRUPO AMORIM. **Amorim cork insulation**. Produtos. Disponível em: <<https://www.amorimcorkinsulation.com/produtos/>>. Acesso em: 05 de maio de 2022.

HEMP HOUSE / BACH MÜHLE FUCHS + LJUBICA ARSIĆ. **ArchDaily**, 2022. Disponível em: <<https://www.archdaily.com/986188/hemp-house-bach-muhle-fuchs-plus-ljubica-arsic>>. Acesso em: 03 de ago. de 2022.

HEMPFLAX. Thermo Hanf - insulate ecologically with hemp and jute. **Thermo Hanf® Combi jute insulations mats**. Disponível em: <<https://www.thermo-hanf.de/en/products/thermo-hemp-combi-jute-insulation-mat/>>. Acesso em: 01 de jul. de 2022.

INO, A. **Tecnologias Construtivas de Baixo Carbono: a madeira e novos paradigmas para a construção civil**. Tecnologias Construtivas de Baixo Carbono (TCBCs), São Carlos, ed. 1, p. 0-37, 2016.

LEHNE, J.; PRESTON, F. **Making Concrete Change**. Innovation in Low-carbon Cement and Concrete, 2018.

MANOHAR, K. et al. Biodegradable fibrous thermal insulation. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 1, p.

45-47, mar. 2006.

NAVACERRADA, M. Á. et al. Comportamiento acústico y térmico de materiales basados en fibras naturales para la eficiencia energética en edificación. **Informes de la Construcción**, v. 73, n. 561, p. e373-e373, 2021.

NAVROSKI, M. C. et al. Avaliação do isolamento térmico de três diferentes materiais usados na construção e preenchimento de paredes externas. **Revista Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science), v. 1, n. 1, p. 10-12953/2177-6830. v01n01a04, 2010.

OKAMBUVA. Okambuva bioconstrucción. **Alfawall**, módulos prefabricados de paja. Disponível em: <<https://www.okambuva.coop/frontpage/alfawall-modulos-prefabricados-de-paja/>>. Acesso em: 19 de maio de 2022.

PRUTEANU, M. Investigations Regarding the Thermal Conductivity of Straw. **Buletinul Institutului Politehnic Din Iasi**, Iasi, v. 56, n. 3, p. 9-16, 2010.

RICE HOUSE. Rice House - per un'architettura possibile. **Products for a possible architecture**. Disponível em: <<https://www.ricehouse.it/en/products/>>. Acesso em: 25 de maio de 2022.

ROOTMAN. Rootman - la naturaleza es nuestra fábrica. **Construcción**. Disponível em: <<https://www.rootman.com/que-hacemos/>>. Acesso em: 01 de jun. de 2022.

SEEG, **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa**. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019. 2020.

SHEEP WOOL INSULATION. Sheep Wool Insulation. **Thermal Insulation 100% Pure SheepWool With IONIC PROTECT®**. Disponível em: <<https://www.sheepwoolin-sulation.com/store/thermal-insulation/>>. Acesso em: 01 de jun. de 2022.

SOUNDPROOF COW. Soudproofing & Acoustic Solutions - Soundproof Cow. **Sound Absorption Materials**. Disponível em: <<https://www.soundproofcow.com/product-category/sound-absorption-materials/>>. Acesso em: 08 de jun. de 2022.

SPINELLI, R. et al. Isolamento Térmico de Fachadas com

Utilização de Elemento Vegetal. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 686-703, 2020.

STEICO. Steico - engineered by nature. **Insulation Materials**. Disponível em: <<https://www.steico.com/en/solutions/product-advantages/steico-insulation-materials/>>. Acesso em: 01 de jul. de 2022.

STRAWCTURE ECO. Strawcture Eco - eco-friendly building materials. **Agribiopanel**. Disponível em: <<https://strawcture.com/agribiopanel/>>. Acesso em: 25 de maio de 2022.

TANGJUANK, S. Thermal insulation and physical properties of particleboards from pineapple leaves. **International Journal of Physical Sciences**, v. 6, n. 19, p. 4528- 4532, set. 2011.

THERMAFLEECE. Thermafleece® - nature's finest insulation. **Our products**. Disponível em: <<https://www.thermafleece.com/our-products/>>. Acesso em: 02 de jun. de 2022.

WOOD AND STRAW HOUSING / NZI ARCHITECTES. **ArchDaily**, 2022. Disponível em: <https://www.archdaily.com/918820/wood-and-straw-housing-nzi-architectes?ad_medium=office_landing&ad_name=article>. Acesso em: 03 de ago. de 2022.

YARBROUGH, D. W. et al. Apparent thermal conductivity data and related information for rice hulls and crushed pecan shells. **Thermal Conductivity**, v. 27, p. 222-230, 2005.

AGRADECIMENTOS

Esse artigo é resultado de uma pesquisa de iniciação científica da vertente de ensino, e financiada pela Pró Reitoria de Graduação da Universidade de São Paulo através do Programa Unificado de Bolsas.

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3023-8296>

ISABELLA SABRINA FERNANDES DOS SANTOS,
GRADUANDA | Universidade De São Paulo (USP) |
Arquitetura e Urbanismo | São Carlos (SP) - Brasil |
Correspondência para: Av. Trab. São Carlense, 400 - Parque
Arnold Schimidt, São Carlos - SP, 13566-590 | e-mail: isa-
bellasfs@usp.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5362-4242>

AKEMI INO, PROFESSORA DOUTORA | Universidade De
São Paulo (USP) | Arquitetura e Urbanismo | São Carlos
(SP) - Brasil | Correspondência para: Av. Trab. São Carlense,
400 - Parque Arnold Schimidt, São Carlos - SP, 13566-590 |
e-mail: inoakemi@sc.usp.br

COMO CITAR ESTE ARTIGO

SANTOS, Isabella Sabrina Fernandes dos; INO, Akemi. Estudo Sobre Emprego de Isolantes Termoacústicos Ecológicos na Arquitetura e na Construção Civil. **MIX Sustentável**, v. 9, n. 4, p. 99-112, 2023. ISSN 244-73073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia/mês/ano doi: <<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n4.99-112>>.

SUBMETIDO EM: 01/06/2023

ACEITO EM: 01/07/2023

PUBLICADO EM: 30/08/2023

EDITORES RESPONSÁVEIS: Lisiane Ilha Librelotto e Paulo Cesar Machado Ferrolli

Registro da contribuição de autoria:

ISFS: Conceituação, Curadoria de dados, Investigação, Escrita - rascunho original.

AI: Conceituação, Aquisição de financiamento, Administração de projetos, Supervisão, Escrita - revisão e edição.

Declaração de conflito: nada foi declarado.