



Os cilindros de 100mm de diâmetro foram preenchidos com solos argilosos locais

Para reduzir a pegada de carbono da construção civil e, ao mesmo tempo, aproveitar materiais que acabam se acumulando em aterros, pesquisadores sugerem uma solução inusitada e de baixo custo

Papelão reciclado é a aposta de uma equipe de engenheiros australianos e chineses para reduzir a pegada de carbono da construção civil, setor responsável por 39% das emissões globais de gases de efeito estufa relacionadas à energia. Diante da pressão internacional por alternativas mais limpas capazes de substituir os materiais convencionais, especialmente o cimento e o concreto, os cientistas apresentaram uma solução ousada: misturar tubos feitos de fibra de celulose com uma adaptação da tradicional técnica da taipa de pilão.

A proposta dos pesquisadores é usar tubos de papelão como forma e, ao mesmo tempo, confinamento estrutural para a terra compactada. Nos testes, cilindros de 200mm de altura e 100mm de diâmetro foram preenchidos com solos argilosos locais e aglomerado em camadas. Diferentes espessuras de condutos de celulose (de 1mm a 4 mm) foram avaliadas para verificar o impacto no desempenho mecânico. Após 28 dias de secagem, os protótipos foram submetidos a ensaios de compressão em laboratório, que fizeram a análise em MPa — medida de pressão, tensão e resistência do Sistema Internacional de Unidades.

Os resultados, publicados na revista *Structures*, surpreenderam os próprios cientistas. Enquanto tubos de papelão sozinhos resistiram a pressões que variaram de 0,25 MPa (1mm de espessura) a 0,72 MPa (4mm), os cilindros combinados com terra apiloadada não estabilizada alcançaram de 3,91 MPa a 8,32 MPa — um aumento de mais de 10 vezes.

Resistência

Isso significa que a composição, nomeada pelos cientistas de *cardboard-confined rammed earth* (CCRE), ou taipa confinada em papelão, teve resistência comparável à terra apiloadada estabilizada com cimento (média de 6,36 MPa), mas sem necessidade de adicionar aglutinantes artificiais. A pesquisa sugere que espessuras iguais ou superiores a 3mm garantem melhor estabilidade e comportamento consistente, tornando o material viável para edificações de pequeno porte.

Embora não chegue à performance do concreto tradicional, que suporta cargas muito mais altas, o CCRE se mostrou suficiente para estruturas de baixo gabarito, construções temporárias ou edificações em regiões que priorizam baixo custo e baixo impacto ambiental, destaca o artigo. Outra vantagem é que a deformação do material antes da ruptura é maior, o que aumenta a segurança estrutural em caso de sobrecarga.

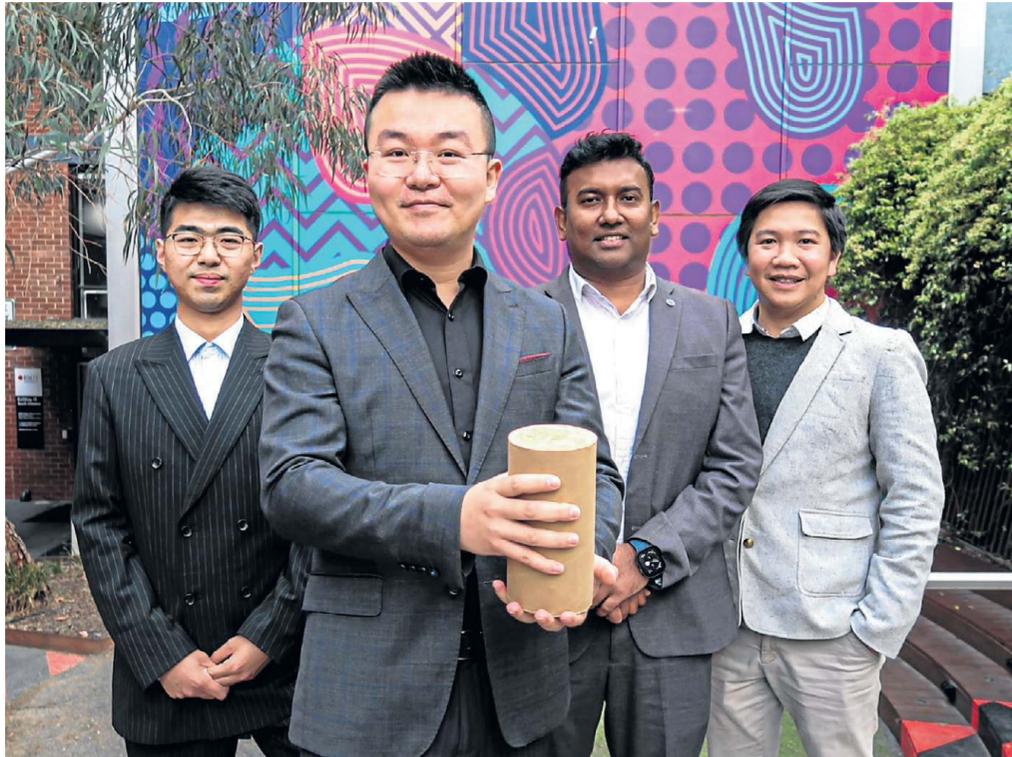
“Usando simplesmente papelão, terra e água, podemos tornar as paredes robustas o suficiente para suportar edifícios baixos”, disse, em nota, Jiaming Ma, pesquisador do Instituto Real de Tecnologia de Melbourne, na Austrália, e um dos autores do estudo. “Essa inovação pode revolucionar o projeto e a construção de edifícios, utilizando materiais de origem local que são mais fáceis de reciclar. Também reflete o renascimento global da construção com base em terra, impulsionada por metas de zero emissões líquidas e pelo interesse em materiais sustentáveis locais.”

Embalagens

O papelão, um material de baixo custo e produzido em larga escala, é tradicionalmente associado ao setor de embalagens. No Brasil, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) estima em 8,57 milhões de toneladas a quantidade do material e do papel destinada a aterros anualmente.

Aproveitar esse passivo ambiental como insumo na construção pode transformar um problema crônico em solução, acreditam os autores da pesquisa. A ideia não é totalmente inédita: o arquiteto japonês Shigeru Ban havia demonstrado o

RMIT University/Divulgação



Jiaming Ma (à frente) com a equipe: cientistas ficaram surpresos com o desempenho e a resistência do material

Os "vilões" das edificações

Na construção civil, diferentes etapas — da produção de materiais até a obra em si — liberam gases de efeito estufa (GEE). Os principais são:

Dióxido de carbono (CO₂)

- O mais abundante. É emitido principalmente na fabricação de cimento (calcinação do calcário), na produção de aço e tijolos, e também pela queima de combustíveis fósseis no transporte de materiais e uso de máquinas.

Metano (CH₄)

- Presente em menor quantidade, mas muito mais potente que o CO₂. Pode ser liberado no transporte de combustíveis, em aterros de resíduos de construção e demolição, e em algumas cadeias de fornecimento de energia usada na obra.

Óxido nitroso (N₂O)

- Emitido em processos industriais de alta temperatura, em usinas que fornecem energia e na combustão de diesel em equipamentos pesados.

Gases fluorados (HFCs, PFCs, SF₆)

- Utilizados em sistemas de refrigeração, ar-condicionado e alguns isolantes. Embora sejam liberados em quantidades muito menores, têm potencial de aquecimento global milhares de vezes superior ao do CO₂.

AS MAIORES FONTES DENTRO DA CONSTRUÇÃO CIVIL:

- Produção de cimento e concreto: responsável por cerca de 7% a 8% das emissões globais de CO₂.

- Produção de aço e outros metais: grande consumo energético e liberação de CO₂.

- Transporte e operação de máquinas: emissões de CO₂, N₂O

e partículas ligadas à queima de diesel e gasolina.

- Obras e demolições: geração de resíduos que podem liberar metano em aterros.

- Instalação e manutenção de sistemas prediais: especialmente refrigeração e climatização, que podem liberar gases fluorados.

potencial do papelão em abrigos temporários e pavilhões. A novidade, agora, é integrá-lo de forma permanente a uma técnica milenar — a taipa de pilão —, usada há milhares de anos em regiões da África e da Ásia, em prática no Brasil desde o período colonial.

Segundo Yi Min Mike Xie, autor correspondente do estudo publicado na *Structures* e especialista na área de otimização estrutural, a taipa confinada com papelão pode ser

produzida no canteiro de obras, compactando a mistura de solo e água dentro da forma de papelão, manualmente ou com máquinas. Para ele, o avanço pode impulsionar uma abordagem mais enxuta e sustentável para a construção.

“Em vez de transportar toneladas de tijolos, aço e concreto, os construtores precisariam apenas trazer papelão leve, já que quase todo o material pode ser obtido no local”, afirma Xie. “Isso reduziria

significativamente os custos de transporte, simplificaria a logística e reduziria a demanda inicial de materiais.” A taipa, lembrou Jiaming Ma, também é uma solução para conforto térmico: “Edifícios com taipa são ideais em climas quentes porque sua alta massa térmica regula naturalmente a temperatura e a umidade internas, reduzindo a necessidade de resfriamento mecânico e diminuindo as emissões de carbono.”

Antonio Dillard/Divulgação



Melhorar a durabilidade do material é um dos desafios dos pesquisadores

Ganhos ambientais expressivos

Se no campo da engenharia estrutural os resultados obtidos na pesquisa publicada na revista *Structures* são animadores, no balanço ambiental, os ganhos são ainda mais expressivos. Um pilar padrão de *cardboard-confined rammed earth* (CCRE), a combinação de papelão reciclado e taipa de pilão, tem pegada de carbono de 17,41 kgCO₂e, contra 28,37 kgCO₂e do equivalente em terra apiloadada estabilizada com cimento e 77,95 kgCO₂e do concreto.

A nova técnica chega a reduzir em quase 80% as emissões associadas ao material em comparação aos materiais tradicionais da construção civil. Isso se deve tanto ao caráter natural e pouco processado da terra quanto à reciclabilidade do papelão, que tem origem em fluxos de resíduos abundantes.

Os cálculos de custo ao longo do ciclo de vida também reforçam o potencial econômico: enquanto um pilar de concreto somaria cerca de 35,86 dólares australianos (R\$ 125,50), o mesmo elemento em CCRE custaria 17,68 dólares australianos (R\$ 61,88) — uma economia de quase 64%. Apesar de ainda ser levemente mais caro que a versão estabilizada com cimento, a tendência de queda no preço do papelão reciclado pode tornar a mistura ainda mais competitiva.

Limitações

Os autores do estudo, do Instituto Real de Tecnologia de Melbourne, na Austrália, lembram que ainda há limitações que precisam ser superadas, antes de o material se tornar comercialmente viável. A principal delas se refere à durabilidade do papelão em ambientes sujeitos à umidade, biodegradação e ciclos de gelo e degelo.

Os pesquisadores destacam, contudo, que existem estratégias testadas para prolongar a vida útil do papelão, como aplicação de revestimentos hidrorrepelentes e proteção arquitetônica contra intempéries. Também sugerem investigar aditivos naturais ou geopoliméricos — materiais de baixo impacto ambiental, boa resistência à compressão e alta durabilidade —, capazes de melhorar a resistência da terra sem comprometer a baixa pegada de carbono.

Outro desafio é avaliar o desempenho em escala real, já que os experimentos foram conduzidos com cilindros de tamanho reduzido em condições controladas. Testes com colunas maiores e em situações de carga dinâmica, como sismos, são apontados pelos cientistas como etapas futuras imprescindíveis para garantir a segurança do material.