

Materiais alternativos na construção civil: um comparativo entre o uso de materiais convencionais e recicláveis, tijolos e concretos para construções sustentáveis

Mauricio Dias Marques

Mestre, doutorando, UNESP, Brasil.
md.marques@unesp.br

Vitor Hugo Santana da Silva Quatroque

Mestrando, UNESP, Brasil
Vitor.quatroque@unesp.br

Rebeca Delatore Simões

Professora Doutora, UNESP, Brasil.
rebeca.simoes@unesp.br

Sérgio Silva Braga Junior

Professor Doutor, UNESP, Brasil.
sergio.braga@unesp.br

RESUMO

A construção civil causa impacto ambiental, porquanto consome recursos naturais e gera enorme quantidade de resíduos sólidos, trazendo preocupações sobre a sobrevivência das populações futuras. Por isso tem se procurado materiais sustentáveis, para agregar-se materiais não convencionais à massa que dá forma a tijolos, blocos, pavimentos ou compõem paredes nas construções em barro, economizando cimento, areia, cal e pedra. Este trabalho tem por objetivo apresentar os agregados que já foram experimentados, testados, e que podem compor a matéria-prima com resultados menos desastrosos ao ambiente. Fez-se um apanhado na literatura, onde se encontrou artigos, monografias, dissertações que abordam o assunto. Deles se fez um apanhado da viabilidade, oportunidade e positividade do uso dos agregados, trazendo resultado comparativo. A pesquisa pode ser útil como elemento básico para nortear quem pretende aplicar tais materiais, bem como para desencadear e subsidiar novos estudos, com novos testes e experimentos, tanto destes materiais apresentados, como de outros que ainda podem surgir.

PALAVRAS-CHAVE: Construção Sustentável, Agregados, Materiais Sustentáveis, Desempenho Mecânico.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é um dos pilares fundamentais de qualquer economia, porém, sua expansão e magnitude demandam cautela devido ao potencial impacto ambiental. O setor, reconhecidamente poluente, acarreta uma série de consequências para o meio ambiente, desde as emissões de dióxido de carbono (CO₂) durante a produção do clínquer, componente do Cimento Portland, até a geração de resíduos provenientes dos processos de construção, manutenção e demolição (CHARITA et al., 2021). Urge, portanto, a adoção de técnicas e produtos menos agressivos ao meio ambiente.

De grande relevância para a economia brasileira, a construção civil emprega diretamente 1.977.927 pessoas e impulsiona o comércio de insumos (IBGE, 2022). Apesar de sua importância na criação de infraestrutura e espaços para moradia, trabalho e lazer, o setor é notório por seu alto consumo de recursos naturais e pela geração significativa de resíduos nas cidades brasileiras (JOHN, 2017; ABRELPE, 2022).

Diante desse cenário surge a perspectiva da construção sustentável, como uma abordagem que prioriza os princípios da "economia verde" e a implementação de práticas que aprimoram o desempenho socioambiental (CNI; CBIC, 2012). Isso se reflete na seleção criteriosa de materiais menos impactantes ao ambiente e à saúde humana, desde a fase inicial do projeto até a execução da edificação.

Uma das vertentes da construção sustentável é a busca por materiais não convencionais, como resíduos de matérias-primas naturais, seja de origem mineral, vegetal ou animal (CHARITA et al., 2021) ou ainda com resíduos considerados atóxicos, como vidro, retalhos de madeira (MDF, MDP) e subprodutos da própria construção civil, como rebocos e concretos (CONAMA, 2002). Esses materiais podem substituir parcial ou integralmente os componentes convencionais do concreto (cimento, areia, brita, terra e água).

Um marco importante nessa busca por materiais sustentáveis é a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 5 de julho de 2002, que classifica os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em categorias passíveis de serem reciclados para uso como agregado de concreto, classe "A", os que podem ser empregados em outras áreas da construção civil, classe "B", resíduos ainda sem tecnologia para serem reciclados e empregados na construção civil, classe "C", e por fim os resíduos prejudiciais a saúde, classe "D" (CONAMA, 2002). O impacto positivo da resolução é sobretudo em sua função como um norte para as

políticas de Estado que acabam diminuindo o desperdício e a geração de RCD no setor da construção civil (SÁ, MALHEIROS, SANTANA, 2018). Outro ponto importante é o fato da Resolução 307 estar alinhada com a Agenda 2030 da ONU, especificamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nº 11 e nº 12, que visam melhorar a qualidade de vida e reduzir o impacto ambiental das cidades.

Este estudo busca apresentar resultados e conclusões de experimentos com diferentes resíduos e materiais alternativos utilizados como "novo material agregado", a partir das perspectivas de diversos autores que exploraram tais experimentações.

METODOLOGIA

Este estudo consiste em uma revisão bibliográfica que abrange a análise de artigos, dissertações e teses relacionadas à utilização de diferentes tipos de agregados na composição de materiais empregados na construção civil.

De acordo com Noronha e Ferreira (2000), a revisão bibliográfica é caracterizada pela seleção dos trabalhos mais relevantes, comparação e integração dos principais enfoques sobre o tema, além de reunir publicações recentes para oferecer uma interpretação atualizada do caso estudado.

Os dados utilizados neste artigo fazem parte de um trabalho maior em que foram obtidos por meio de uma ampla pesquisa realizada no Portal de Periódicos Capes, que abriga diversas bases de dados renomadas, como ACM Digital Library, Library, Information Science & Technology Abstracts, Nature, Oxford Journals, Science (AAAS), Scopus, entre outras. As buscas foram direcionadas para termos como "modelos de construção civil sustentável"; "construção sustentável" and "materiais"; "tipos" and "construção sustentável"; "construção civil sustentável" and "métodos"; "construção civil sustentável" and "técnicas ou materiais"; "modos de construção civil sustentáveis"; "construção civil sustentável"; "materiais" and "construção sustentável".

Dessa seleção, foram priorizadas as publicações que abordavam os agregados utilizados na composição de materiais para a construção civil. A análise comparativa entre seus diferentes tipos foi realizada pelos autores deste artigo, sintetizando as conclusões obtidas por pesquisadores que conduziram experimentos com os materiais descritos na revisão bibliográfica.

RESULTADOS

Seguem, individualizados, resultados do uso de diversos materiais não convencionais que foram introduzidos como substitutos integral ou parcial dos materiais convencionais na composição de origem a artefatos ou peças usadas na construção civil.

Agregado com cerâmica vermelha

No estudo de Pins, Paliga e Torres (2021), houve a substituição no aglomerante e no agregado por porções de Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV). Os traços escolhidos foram 1:3

e 1:6 (cimento: agregado). Para substituição do aglomerante testou-se 5% e 10% de RCV e para substituição do agregado testou-se 10%, 15% e 20%. Foram avaliados: resistência à compressão axial em 7, 28 e 63 dias com 4 corpos de provas por idade; resistência à tração na flexão axial em 28 dias, com 3 corpos de provas; absorção por imersão e absorção por capilaridade em 28 dias com 5 corpos de prova para cada uma.

Concluíram que a ação do RCV é desigual conforme suas proporções na mistura. Nas argamassas de cimento e areia, o comportamento de resistência à tração na flexão é melhor com menor consumo de cimento (traço 1:6); enquanto na resistência à compressão, os traços de maior consumo de cimento têm melhor desempenho. As argamassas com substituição no agregado apresentaram piores resultados, contudo as com substituições de materiais por RCV apresentaram bom desempenho mecânico; no comportamento físico argamassas com menor consumo de cimento (traço 1:6) têm melhores desempenhos. A absorção por imersão é diferente da absorção por capilaridade. Em geral, a aplicação do RCV é uma realidade para vários tipos das argamassas (substituição e traço), com vasta possibilidades de reciclagem deste resíduo.

Kwai (2013) já defendia como compreensíveis os resultados apresentados por Pins, Paliga e Torres (2021). O trabalho de Kwai (2013), propôs investigar o uso de materiais sustentáveis que seriam aplicados na construção de um Centro de Vivências na UNESP de Rio Claro, sob os aspectos econômicos, sociais e ambientais. Seu trabalho é um guia para os tomadores de decisão nessa construção.

Fala sobre uso de cimento com resíduos de construção e demolição, escória de alto forno e pó de calcário; uso de agregados com resíduos de construção, escoria de aciaria, cinzas de bagaço de cana, cinzas de casca de arroz, cinzas volantes, cerâmica vermelha, pneu inservível e vidro. Também materiais como: madeira, bambu, terra, tijolo solo-cimento, isopet, tubopet, gesso, stell frame e wood frame, termoativos, vidros, tintas (minerais e com PET).

Agregado com cinzas volantes

No Brasil, os maiores produtores da cinza volante (do carvão mineral) são os Estados: RS, MA e CE, com 2,66 milhões de toneladas/ano (CIRINO et al., 2021). Este resíduo, de acordo com a NBR 10004:2004, é considerado da Classe I (Perigoso) na análise lixiviação e da Classe II A (Não Inerte) na análise de solubilização CANDIDO ET AL (2016).

Vasconcelos, Barroso, Vieira e Almeida (2019) realizaram estudo para avaliar a utilização de cinzas de carvão mineral, provenientes de uma termelétrica em Fortaleza/CE, em camadas dos pavimentos, tendo concluído que representam alternativa viável, tanto econômica como autossustentável. *“As cinzas volantes são materiais sílico-aluminosos, que resultam da combustão do carvão pulverizado”* (p. 3). Foram utilizados três materiais: cinzas de carvão, solo e cal hidratada, em quatro etapas de um programa experimental. *“As misturas M3 (50% solo + 50% cinza) e M4 (95% cinza + 5% CAL) foram aptas do ponto de vista técnico e ambiental para serem empregadas na proposição de projetos estruturais de pavimentos”* (p. 15).

Kwai (2013), traz informação de que no agregado com cinzas volantes provenientes do carvão mineral das usinas termelétricas pode-se reduzir fissuras, aumentar a resistência,

aumentar a trabalhabilidade e ter menor impacto ambiental. Na Figura 1 pode-se ter ideia da forma de apresentação da cinza volante.

Figura 1 - Cinza volante



Fonte: Crusherinc; Kwai (2013)

Agregado com lodo, resíduo de estação de tratamento de água (RETA)

Araújo et al. (2015) conduziram um estudo sobre o aproveitamento do lodo, um resíduo de estação de tratamento de água, na confecção de materiais de construção sustentáveis (Figura 2). O objetivo era diminuir o impacto ambiental causado pelo lançamento desse resíduo nos cursos de água. O estudo envolveu ensaios de consistência, granulometria, microscopia e espectroscopia. Foi demonstrado que o lodo pode ser utilizado como substituto parcial do solo e/ou da areia, até o limite de 5%, e que contém óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, tornando-o resistente após a queima e com potencial uso na produção de elementos de vedação quando misturado com cimento.

Figura 2: (*) Imagem de satélite da área da ETA Meia Ponte (a); Lagoa de secagem em operação (b); Lagoa de secagem cheia (c); Disposição do resíduo em área ao lado da lagoa (d).



Fonte: Araújo et. al. (2015)

Agregado com PET e/ou Isopet

Paschoalin Filho et al. (2019) desenvolveram peças de concreto para pavimento intertravado, utilizando resíduos de Politereftalato de Etileno (PET) em flocos como alternativa sustentável para a destinação desses resíduos e substituição de parte dos agregados naturais. Houve a realização de ensaios de resistência à compressão, absorção de água e viabilidade monetária.

Foram estudados 11 traços, sendo estes divididos em dois grupos (G1 e G2). No primeiro grupo traços com diferentes porcentagens, em volume, de PET (2,5%, 5,5%, 9,5%, 15%, 22% e 36%), tanto do agregado miúdo, quanto do graúdo, exceto o primeiro traço (padrão) sem utilização de PET. O segundo grupo não teve resíduos de PET em sua composição.

Os produtos com adição de PET tiveram custos mais elevados do que os convencionais e houve uma tendência de queda na resistência à compressão com o aumento do percentual de PET. No entanto, a resistência à compressão foi próxima à do grupo controle e atendeu às normas vigentes. Além disso, os produtos com adição de PET apresentaram melhor desempenho na absorção de água.

Marques et al (2016), estudaram efeitos da incorporação de resíduos de garrafa PET em Poliuretano (PU). Os corpos de prova foram preparados com proporções de 35, 45 e 50% de PET em matriz de PU, incorporando-se retardador de chama, a alumina. Feitos ensaios de isolamento térmico, acústico, resistência mecânica e inflamabilidade. Concluiu-se que a incorporação de resíduos de PET não afeta o isolamento térmico e acústico do PU, mas reduz sua resistência mecânica. A adição de retardador de chama melhora a resistência mecânica e o desempenho em relação ao fogo. Essa é uma alternativa viável para o reuso de PET, uma vez que o material apresentou uniformidade visual e preserva as propriedades térmicas e acústicas do PU.

Kwai (2013), informa que os blocos ISOPET (Figura 3) intertravados são feitos em concreto leve com isopor (EPS) reciclado e utiliza garrafas plásticas inteiras recicladas, na horizontal ou na vertical. Apresentam encaixes laterais em forma de macho e fêmea (saliências e reentrâncias) que geram o intertravamento. Sua utilização contribui na redução da extração de materiais naturais, como a areia, do consumo de energia elétrica, humana e mecânica, além das vantagens de leveza, baixo custo e melhorias termoacústicas.

Figura 3 – Bloco de Isopet



Fonte: TIOGEGECA; Kwai (2013).

Agregado com resíduos de construção e demolição

Bessa et al. (2019) avaliaram o comportamento mecânico de blocos e alvenarias de terra comprimida produzidos com RCD, com foco na resistência à compressão, absorção e durabilidade. O estudo mostrou a viabilidade técnica de utilizar RCD em componentes ecoeficientes, em associação com materiais de menor impacto ambiental, comprovando a compatibilidade entre o solo, o RCD e o cimento.

Já a pesquisa realizada por Bins et al. (2021) investigou a utilização de RCD em pisos intertravados de concreto na pavimentação de vias, estacionamentos e calçadas. Em substituição ao agregado miúdo, foram utilizadas quatro dosagens de RCD (0%, 25%, 50% e 100%), e ensaios de resistência à compressão e absorção de água foram realizados. Os resultados mostraram não alcance das exigências normativas estabelecidas pela NBR 9781 (ABNT, 2013) quanto à resistência à compressão e absorção de água. No entanto, a dosagem de 25% de RCD apresentou potencial de uso para pisos de tráfego leve.

Uma outra pesquisa, realizada por Waskow, Santos e Tubino (2019), buscou identificar, do ponto de vista estático, um conjunto de amostras de RCD, em substituição do agregado natural, e identificar as possibilidades de aplicações das mesmas. Foram definidos três conjuntos de amostras (de argamassa, concreto e cerâmica: CA1: cerâmica e concreto; CA2: argamassa e cerâmica; CA3: argamassa e concreto), com dois tipos de materiais, conseguindo-se determinar valores de argamassa e concreto e cerâmica. A conclusão foi que o conjunto CA1 é mais adequado para resíduos de argamassa, o CA2 para resíduos de concreto e o CA3 para resíduos cerâmicos. O CA3 pode ser aplicado a qualquer um dos três conjuntos de amostras.

Lima e Santos (2020) procuraram avaliar compósitos de diferentes traços ou diferentes composições de solo-cimento e resíduos da construção e demolição (RCD), para futura aplicação em tijolos de vedação em habitações populares na Ilha de São Luís - MA. Confeccionou-se corpos de prova com 20, 40 e 60% de RCD em adição à mistura de solo e cimento; após a cura estes foram submetidos às análises de propriedades tecnológicas (ensaio de granulometria dos solos, de retração linear, de resistência à compressão e de absorção de água). Concluiu-se pela viabilidade de determinadas composições e que é uma alternativa viável, tanto tecnológica quanto ecologicamente em comparação aos tijolos convencionais.

Patricio et al. (2013) avaliaram a utilização RCD como agente pozolânico na fabricação de blocos solo-cal. Os resíduos foram separados de materiais indesejáveis, beneficiados por um britador de mandíbulas e moinho de galga, peneirados e armazenados em sacos plásticos. O solo foi seco ao ar, destorroado e peneirado. Aplicados os seguintes ensaios: massa específica real, área específica, análise granulométrica por peneiramento e por difração a laser, limites de liquidez e plasticidade, análise química e difração de raios X. Formou-se corpos de prova com substituição da cal por resíduos nas proporções de 0, 10, 25, 30, 40, 50 e 75%, e curados por períodos de 28, 60 e 90 dias, sendo determinada resistência à compressão simples e absorção de água. Os resultados apontaram viabilidade técnica no aproveitamento de RCD para uso na fabricação de blocos solo-cal sem função estrutural, uma vez que evidenciaram valores superiores aos convencionais.

Estudo de Lima e Lima (2020) sugere a incorporação de resíduo de argamassa de cimento e areia, do assentamento e revestimento de paredes, na produção de blocos de solo-

cimento, para fechamentos e vedações verticais de moradias. Foram realizados estudos, ensaios e análises de desempenho técnico dos blocos moldados, com traços com 12,5% de cimento e 0%, 20%, 40% e 60% de resíduo em substituição à massa de solo. Feitos ensaios de absorção e durabilidade aos 7 dias, e resistência à compressão simples aos 7 e 28 dias. Os resultados mostraram que todos os traços com resíduo são indicados para confecção de bloco de terra compactada, de solo-cimento-resíduo, e aquele com 20% de resíduo teve melhores resultados.

Silva et al. (2017) apresentam estudo em que se analisa a aplicabilidade de blocos confeccionados com entulhos gerados da construção civil. Buscou-se artigos e livros relativos ao assunto, bem como usou-se o laboratório de Engenharia Civil da PUC-MG para a realização dos ensaios e as instalações da empresa Projetar Ladrilhos e Artefatos de Concreto para moldagem e produção dos blocos. Concluiu-se que o bloco de resíduos é inapropriado para uso estrutural ou de vedação, mesmo sendo similar em termos de resistência ao bloco tradicional. Na verdade, as experimentações identificaram que *“os blocos... de resíduos da construção civil, ... da usina ... da Prefeitura de Belo Horizonte... não podem ser empregados na indústria da construção civil para quaisquer funções, ... por não possuir resistência característica mínima de 3,0 Mpa”* (p. 39).

Os pesquisadores Pederneiras et al. (2020) analisam o comportamento de blocos de concreto produzidos com RCD. Feita substituição de 100% de agregados naturais miúdos e graúdos por agregados reciclados na confecção dos blocos. Avaliadas resistência mecânica e absorção de água, e testes extras sobre sua microestrutura. Observou-se não haver diferenças significativas entre estes blocos e a amostra de referência (0% de RCD). Resultados satisfatórios para aplicação em ruas de baixo movimento e baixa carga, calçadas e jardins.

Segundo Kwai (2013), o agregado reciclado (RCD) pode agir como substituto parcial do agregado natural, para o mesmo traço, sem perda de resistência. Esses resíduos, se misturados em uma argamassa ou em um concreto em proporções corretas, não impactam negativamente.

Agregado com resíduo de mineração

Dyer et al. (2022) avaliaram a viabilidade técnica e econômica do uso de Areia Descartada de Fundição (ADF) como agregado em artefatos de cimento. Eles testaram uma mistura com 33% de ADF em massa de cimento, resultando em uma economia de 1 a 10% e benefícios de descarte de ADF. Durante o processo produtivo da siderurgia, os moldes arenosos são descartados após o uso, gerando um significativo volume de ADF, que é composto principalmente de sílica (areia mineral), traços de metais (da fundição) e resinas (usados como aglomerantes). O reuso de ADF como agregado em artefatos ou blocos de cimento (sem função estrutural) não só é viável, mas também traz benefícios econômicos e ambientais.

Ramos Filho et al. (2021) estudaram sobre aplicação conjunta do resíduo de scheelita e do pó de pedra com cal e cimento, formulação em 50% de cada resíduo, 6% de cimento e 12% de cal. Realizados ensaios de Resistência à Compressão Simples (RCS), Absorção de Água (AA) e análise das fases químicas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Difração de Raios-X (DRX), apresentaram resultados promissores para uso na fabricação de materiais de construção cimentícios. Viável na fabricação de tijolos e blocos construtivos, destacando o uso racional e a contribuição para a redução dos impactos ambientais.

A pesquisa de Costa, Gumieri e Brandão (2014) mostra viabilidade técnica do aproveitamento do rejeito de *sinter feed*, proveniente de atividades mineradoras de ferro, na produção do concreto para elementos pré-fabricados para pavimentação. Realizados ensaios de caracterização física, química e ambiental do rejeito, caracterização física dos demais agregados utilizados e de qualidade do rejeito no tocante a resistência à compressão. As peças para piso intertravado foram submetidas aos ensaios resistência à compressão, absorção e desgaste por abrasão, por amostragem. Notou-se que a grande relevância do uso do rejeito de *sinter feed* é ambiental. É um resíduo granular do processo de produção do minério de ferro submetido a operações de lavagem e peneiramento, sem contaminantes e com razoável regularidade granulométrica. Vem sendo depositado em pilhas próximas à siderúrgica, com alturas próximas a um prédio de cinco ou seis andares e contém significativa quantidade de ferro.

Uliana et al. (2015) fizeram estudo sobre utilização do resíduo de serragem dos blocos de rochas ornamentais, que após tratamento térmico e moagem chega-se a uma lama com potencial aplicação como substituto parcial do cimento. Assim, apresenta características de pozolanicidade. Aproximadamente 25% de cada bloco serrado é convertido em resíduo com água da serragem. O tratamento térmico dessa lama do beneficiamento de rochas ornamentais (LBRO) pode produzir uma pozolana a ser aplicada como *filler* em matrizes cimentícias substituindo o cimento e mantendo a resistência em baixos teores de substituição. Têm até maiores resistências à compressão e elasticidade. Considera-se promissora sua aplicação.

Agregados em sistemas construtivos com terra

Nakagawa (2017) traz comentários sobre os sistemas construtivos com terra: *Adobe, bloco de terra comprimida e Taipa de pilão*.

O adobe é uma mistura de argila, areia, água e palha normalmente em formato de tijolo. A mistura é colocada em fôrmas, secada no sol, e retirada depois da cura (15 a 20 dias), pronta para uso. Depois, a construção é realizada como com o tijolo convencional, mas utilizando-se argamassa de terra. A Figura 4 ilustra a sequência de produção de tijolos de adobe. Destaca-se que se trata de um método construtivo natural, econômico, resistente e de grande durabilidade desde que as paredes sejam protegidas da umidade e da chuva. Produz conforto térmico, não exige mão de obra qualificada, mas precisa ser vedada pois a palha de sua composição pode propiciar estalagem para o bicho barbeiro.

Os Blocos de Terra Comprimidos (BCT), Figura 5, também conhecidos como tijolos ecológicos, são feitos de argila, areia e água, prensados e retirados da fôrma imediatamente. Sua fôrma e encaixes ajudam no controle do prumo.

Taipa de pilão é uma “mistura de argila, areia, água e palha apiloadas (socadas), comprimida entre taipais, que são fôrmas de madeira ou aço desmontáveis, removidas logo após estar completamente seca” (p. 42). Forma-se assim uma parede resistente como a de cimento, com isolamento térmico natural, baixo custo e resistente ao fogo. A confecção das fôrmas requer atenção especial, devendo ser resistentes ou pode-se usar a fôrma uma só vez a deixando como parte da parede. As Figuras 6 (a) e (b) demonstram construções em taipa de pilão.

Mendes e Bessa (2022) destacam a taipa de pilão como uma técnica milenar que está sendo resgatada em função da necessidade de se investir em construções sustentáveis. Torna-

se uma alternativa de baixo impacto ambiental quando comparada às tecnologias convencionais. A evolução da taipa de pilão contemporânea é analisada em duas vertentes: análise tecnológica do material e do sistema construtivo. Hoje em dia, além da correção granulométrica do solo, fibras naturais ou sintéticas e cimento são adicionados para melhorar a resistência e durabilidade da estrutura. No entanto, a improvisação de equipamentos para mecanização pode levar a desperdício de materiais.

Figura 4 - construção de blocos estruturais em adobe



Fonte: Brandão (2009); Nakagawa (2017).

Figura 5 - modelos de blocos de terra comprimida



Fonte: Farias Filho et al. (2011); Nakagawa (2017).

Figura 6 – Taipa de pilão: (a) construção contemporânea, (b) processo de produção de paredes.



Fonte: Heise (2015); Nakagawa (2017)



Fonte: Brandão (2008); Nakagawa (2017)

Argamassa de revestimento com terra

Vitor, Lisbôa e Librelotto (2020) avaliaram a aderência e aplicabilidade de argamassas de revestimento com terra, utilizando duas camadas: emboço, reboco e acabamento final com caiação. Eles concluíram que a categorização do solo a ser utilizado na elaboração dessas argamassas é de grande importância. O material é composto de argamassa com uso de terra, principal material, mais adições com fibra, cal e/ou cimento, e foi empregado para acabamento de um protótipo experimental em bambu, conhecido como bahareque, técnica que utiliza o bambu para criar o sistema estrutural e de vedação interno e externo.

Foram identificadas as composições e técnicas mais apropriadas para as argamassas de revestimento e avaliaram a vedação e o acabamento. Os resultados validaram o uso do solo na composição de argamassas para revestimento quando caracterizado e estudado sobre a necessidade ou não de aditivos estabilizantes. As Figuras 7 a 10 demonstram exemplos de aplicação do revestimento com terra.

Figura 7 - aplicação do emboço com cal



Figura 8 - aplicação do emboço com cimento



Fonte: Vitor; Lisboa; Librelotto (2020)

Figura 9 - aplicação do reboco



Figura 10 - aplicação de tinta



Fonte: Vitor; Lisboa; Librelotto (2020)

Argamassa de revestimento com terra

Os pesquisadores Durante et al. (2022) fizeram investigação sobre um sistema inovador, o Solo-Cimento Autoadensável (SCAA), uma massa líquida composta por terra, cimento, água e aditivos, sem grande espessura, aplicada em fôrmas sem a necessidade de vibração ou compactação, processo rápido, pouco cimento, redução de CO₂ e que pode agregar resíduos. A desvantagem é que precisa de fôrmas bem confeccionadas que não admitam vazamento. Pode ser utilizado em moradias de assentamentos da reforma agrária.

Tijolo ecológico (de solo cimento) ou Bloco ecológico

Pesquisas de Silva e Aguiar (2017) - (tijolos confeccionados com pó da casca de banana, solo argila-arenosa e cimento); Rocha et al. (2021) - (tijolos com resíduos de casca de ovo triturada e hidratada e vinhaça e água; Gonçalves et al. (2017) - (cinza de bagaço de cana, pó de serra e PET); Segantini e Wada (2011) - (dosagem ótima para o solo-cimento com RCD) dão conta da aplicabilidade desses materiais.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O Quadro 1 demonstra as vantagens, desvantagens, resultado de uma análise superficial e condições de viabilidade de uso dos agregados apontados acima, fruto de observações dos trabalhos de pesquisa dos autores que fizeram algum experimento com a aplicação dos resíduos como agregado na mistura da massa para fabricação de tijolos, pavimentos, paredes em barro e outros materiais para uso numa construção sustentável.

Quadro 1 – Resumo das vantagens, desvantagens e viabilidade dos materiais sustentáveis

MATERIAL	AUTOR PESQUISA	VANTAGENS	DESVANTAGENS	RESULTADO	VIABILIDADE
Agregado com cerâmica vermelha	Pins, Paliga; Torres (2021); Kwai (2013)	Melhor desempenho mecânico e comportamento físico; < consumo de cimento	Não apontadas	Positivo	Sim
Agregado com cinzas volantes	Vasconcelos; Barroso; Vieira; Almeida (2019); Kwai (2013)	Aptas ambientalmente; redução de fissuras; aumento durabilidade resistência, aumento da trabalhabilidade	Não apontadas	Positivo	Sim
Agregado com lodo	Araújo et al. (2015),	Material resistente, uso potencial em tijolos, telhas e mistura concreto	Não apontadas	Positivo	Sim
Agregado com PET e/ou Isopet	Paschoalin Filho et al. (2019); Marques et al (2016); Kwai (2013)	Resistência à compressão normal; superioridade de absorção de água; não altera isolamento termo-acústico; leveza	Custo maior; queda de resistência mecânica a compressão	Duvidoso	Sim
Agregado com resíduos de construção e demolição	Bessa et. al. (2019); Bins et. al. (2021); Waskow; Santos; Tubino (2019); Lima; Santos (2020); Farias Filho et. al. (2011); Patricio et al (2013); Lima; Lima (2020); Silva et al (2017); Pederneiras et al (2020); Kwai (2013)	Ganhos no impacto ambiental e custos; pode agir como substituto parcial mínimo	Não alcance das exigências normativas; durabilidade inferior; falta de resistência mínima; maior controle tecnológico da composição granulométrica	Negativo	Uso sem função estrutural
Agregado com resíduo de mineração	Dyer et. al. (2022); Ramos Filho et. al. (2021); Costa; Gumieri; Brandão (2014); Uliana et al. (2015);	Benefícios econômicos e ambientais; resultados promissores na fabricação de tijolos e blocos; relevância ambiental; mesma resistência com baixos teores de substituição	Não apontadas desvantagens significativas	Duvidoso	Viável para função não estrutural
Agregado em adobe e bloco de terra comprimida	Nakagawa (2017)	Econômico, resistente, com durabilidade qdo protegido de umidade e chuva, conforto térmico	Acabamento grosseiro; presença do inseto barbeiro	Duvidoso, se não houver cuidados	Sim
Agregado em taipa de pilão	Nakagawa (2017); Nakagawa (2017); Mendes e Bessa (2022)	Isolamento térmico natural; resistente ao fogo; baixo custo; baixo impacto ambiental, redução de energia	Desperdício com improvisação de equipamentos	Duvidoso	Sim
Agregado em argamassa de revestim.c/terra:	Vitor; Lisbôa; Librelotto (2020),	Adição de fibras traz benefício ecológico	Pode necessitar de aditivos estabilizantes	Duvidoso	Sim

emboço, reboco e acabam final)					
Agregado em solocimento autoadensável – SCAA -	Durante et al. (2022)	Sistema inovador, que pode agregar resíduos.	Necessidade de fôrmas que não permitam vazamento	Negativo, necessita mais estudos	Não, por enquanto
Tijolo ecológico ou Bloco ecológico (tijolo de adobe)	Silva e Aguiar (2017); Rocha et al (2021); Gonçalves et al. (2017); Segantini; Wada (2011).	Redução do impacto ambiental; economia de recursos hídricos; não necessita queima; satisfaz compressão mecânica; < qtidade de cimento; saliências e rebaixos permitem perfeito encaixe; leves, diminui o peso da obra; > durabilidade e resistência; isolamento termoacústico	Alguns apontam pouca resistência a impactos, dependendo do material usado em sua fabricação	Positivo	Sim, melhor com uso não estrutural

Fonte: os autores

Da observação das considerações que sustentam os estudos realizados, para efeito de comparação, pode-se concluir que têm uma aplicação positiva os agregados com cerâmica vermelha, com cinzas volantes, com lodo de tratamento de água, e o tijolo ecológico em que há aplicação de fibras, sendo os três primeiros totalmente viáveis e o último terá sua viabilidade, na maioria das vezes, quando aplicado em função não estrutural.

Lançam dúvida em sua aplicação, os agregados com pet ou isopet, com resíduos de mineração, bloco de terra, taipa de pilão, argamassa de revestimento com terra. Considere-se que o agregado com pet é viável, apesar do custo; os agregados nos sistemas construtivos com terra também são viáveis, se tomados os devidos cuidados.

Já os agregados com resíduos da construção ou demolição e o solo cimento autoadensável tornam-se negativos; o primeiro pela fragilidade e o segundo por ainda não terem sido realizados estudos mais aprofundados. Mesmo assim, poderiam ser utilizados em funções não estruturais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se uma análise dos materiais viáveis totalmente ou viáveis em parte, para compor um produto ou ingrediente material para uso na construção civil. Nota-se a possibilidade de se trabalhar com agregados na fabricação de blocos, em pavimentos, em paredes de barro, que tornem o custo de construção menor e que apresentem grande progresso em relação à sustentabilidade, pois retira do “lixo” algo que ainda pode ser aproveitado, amenizando o impacto ambiental.

A classificação apontada no Quadro 1 pode ser útil para estudo ou experiência com o uso desses materiais, já que se pode realizar uma ação, com algum elemento básico, sabendo-se de antemão que o uso ou aplicação de determinado material já se demonstrou viável. Assim, este trabalho contribui com a ciência como subsídio para novas pesquisas, a sustentabilidade no que se refere ao reaproveitamento de materiais descartados pelas indústrias e o respeito ao meio ambiente quanto à economia na exploração de recursos naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, F. C.; SCALIZE, P. S.; ALBUQUERQUE, A.; ANGELIM, R. R. Caracterização física do resíduo de uma estação de tratamento de água para sua utilização em materiais de construção. **Cerâmica** 61, 2015, 450-456. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613601931>. Acesso em 03 mar. 2023

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. Brasil, 2022.

BESSA, Sofia Araujo Lima; MELLO, Tiago Augusto Gonçalves; BELO, Bárbara Rodrigues; MIRANDA, Mariana Alves; OSÓRIO, Roberto Pinto; BEZERRA, Augusto Cesar da Silva. Comportamento mecânico de alvenarias de terra com resíduos de construção e demolição. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v.5, n.4, p.53-64, out./2019. Disponível em <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n4.53-64>. Acesso em 02 mar. 2023

BINS, Gabriel de Oliveira; ARROYO, Felipe Nascimento; CHRISTOFORO, André Luis; PANZERA, Túlio Hallak; SILVA, Diogo Aparecido Lopes Silva. Análise de pisos intertravados com substituição do agregado miúdo por resíduo de construção e demolição. **Revista Principia**, Vol. 59, N. 2, 2021. Disponível em DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id4975>. Acesso em 02 mar. 2023

BRANDÃO, M.G.S. **Ecologia urbana: potencialidades e possibilidades: sustentabilidade na construção civil**. Monografia (Especialização em Engenharia Urbana). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009

BRASIL (2002). Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução CONAMA nº 307**, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da Construção Civil. Publicada no DOU de 17 de julho de 2002, Seção 1, p. 95 e 96.

CHARITHA, V. et al. Use of different agro-waste ashes in concrete for effective upcycling of locally available resources. **Construction and Building Materials**, v. 285, Mar./2021.

CÂNDIDO, Francisca Elaine Alves; SILVA, Maria Nataniela da/ SANTOS, André Bezerra dos; NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do; VIDAL, Carla Bastos. Caracterização química das cinzas do carvão para classificação quanto sua periculosidade. In: **VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campina Grande/PB – 21 a 24/11/2016 IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais**

CIRINO, Miguel Adriano Gonçalves; CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra; SILVA, David Alison Araújo; SAMPAIO, Kalil Nobrega Hissa. Caracterização e avaliação da atividade pozolânica das cinzas provenientes da queima de carvão mineral das termelétricas do Pecém, Ceará, Brasil. **Revista Matéria**, v.26, n.4, 2021.

CNI; CBIC: Construção verde: **Desenvolvimento com sustentabilidade**. Brasília, 2012. (In: OLIVEIRA, 2015)

COSTA, A. V.; GUMIERI, A. G.; BRANDÃO, P. R. G. Interlocking concrete blocks produced with sinter feed tailings. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**. V. 7, N. 2, abril/2014, p. 228-259 ou IBRACON Structures and Materials Journal • 2014 • vol. 7 • nº 2 - ISSN 1983-419

DURANTE, Luciane Cleonice; VENERE, Paulo César; BACANI, Taisa de Deus; BELLÉ, Tiago Augusto Zanaty; ARCANJO, Yasmin Rhayara Ferreira. Potencial inovativo do solo-cimento autoadensável para aplicação em habitações rurais. **E&S - Engineering and Science**, Volume 11, Edição 11:3, 2022 - ISSN: 2358-5390. Disponível em DOI: 10.18607/ES20221114741. Acesso em 01 mar. 2023

DYER, Paulo Paiva Oliveira Leite; SILVA, Silvelene Alessandra; KLINSKY, Luiz Miguel Gutierrez; COPPIO, Gustavo Lauer; CIVIDANES, Luciana Simones; LIMA, Maryangela Geimba de. Artefatos com areia descartada de fundição e sua viabilidade. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v.8, n.4, p.97-106, set/2022. Disponível em <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n4.97-106>. Acesso em 02 mar. 2023

FARIAS FILHO, J.; MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; SANTANA, N. L. Santana; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Estudo da durabilidade de argamassas alternativas contendo resíduos. **Cerâmica**, v. 57, 2011, p. 395-403

GONÇALVES, Edkeyse Dias; BLANCO, Cláudio José Cavalcante; WATRIN, Vanessa da Rosa; COSTA, Carlos Eduardo Aguiar de Souza. Análise experimental e custos de telhados verdes comerciais e fabricados com garrafas pet para

redução de cheias urbanas na Amazônia. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v.7, n.2, p.57-66, abr/2021. Disponível em <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n2.57-66>. Acesso em 03 mar. 2023

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PAIC - Pesquisa Anual da Indústria da Construção. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html?t=destaques>. Acesso em 06 mai. 2023.

KWAI, Luana Ly. **Tecnologia, conceitos e propostas de materiais de construção sustentável do Centro de Vivências da UNESP, Rio Claro/SP**. Trabalho de conclusão de curso Engenharia Ambiental, UNESP, Rio Claro, 2013, 70 f.

LIMA, Fabíola Xavier Rocha Ferreira; LIMA, Paulo Castilho. Resumo de tese: Blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v.6, n.3, p.183-184, jun./2020.

LIMA, Julyana da Silva; SANTOS, Denilson Moreira. Compósito de solo-cimento e resíduos: perspectivas de materiais sustentáveis em São Luís-MA. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v.6, n.3, p.117-128, jun/2020. Disponível em <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n3.117-128>. Acesso em 05 mai. 2023

MARQUES, Diego. V.; SILVA, Heloisa Regina Turatti,; ARAÚJO, Hércules; EGERT, Paola; MAGNAGO, Rachel Faverzani. Propriedades de isolamento térmico, acústico e de resistência à compressão de placas de PU com a incorporação de resíduo de PET e alumina. **Mix Sustentável**, 2016, v. 2, n.1, 29–36. Disponível em <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2016.v2.n1.29-36>. Acesso em 05 mai. 2023

MENDES, Ludmila Cardoso Fagundes; BESSA, Sofica Araújo Lima. Análise da evolução tecnológica da taipa de pilão contemporânea. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v.8, n.1, p.66-77, jan/2022; Disponível em <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n1.66-77>. Acesso em 05 mai. 2023

NAKAGAWA, Bem-Hur Yoshio Mudrek. **Aplicações de ecotécnicas na construção civil e comparação com técnicas tradicionais**. Trabalho de conclusão em Engenharia Civil, UNESP, Guaratinguetá, 2017, 81 f.

NORONHA, D. P.; FERREIRA, S. M. S. P. **Revisões da Literatura**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2000. p. 191-198

OLIVEIRA, Debora Negri. **Proposta de adequação à construção sustentável: tecnologias e alternativas para instituições de ensino**. Trabalho de conclusão de curso Engenharia Ambiental, UNESP, Rio Claro, 2015, 40 f.

PASCHOALIN FILHO, João Alexandre; PIRES, Giselle Waldtraut Mathes Orcioli Pires; REZEMDE, Levy Von Sohsten; SANTANA, José Carlos Curvelo. Resistência a compressão e absorção de água de peças de piso intertravado manufaturadas com resíduos de PET. **Holos**, ano 35, v.1 e6591, 2019.

PATRICIO, S. M. R.; FIGUEIREDO, S.S.; BEZERRA, I.M.T.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Blocos solo-cal utilizando resíduo da construção civil. **Cerâmica** 59 (2013) 27-33. Disponível em <https://doi.org/10.1590/S0366-69132013000100003>. Acesso em 02 mai. 2023

PEDERNEIRAS, Cinthia Maia; DURANTE, Maria Del Pilar; AMORIM, Ênio Fernandes; FERREIRA, Ruan Landolfo da Silva. Incorporation of recycled aggregates from construction and demolition waste in paver blocks. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, vol. 13, no. 4, e13405, 2020

PINZ, Francielli Priebbernow; PALIGA, Charlei Marcelo; TORRES, Ariela da Silva. Avaliação do desempenho mecânico e físico de argamassas com resíduo de cerâmica vermelha. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Paranoá, 31, Jul/Dez de 2021. Disponível em DOI: <http://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n31.2021.05>. Acesso em 02 mai. 2023

RAMOS FILHO, Ricardo Eugênio Barbosa; SOUZA, Jonatas Macêdo de; DUARTE, João Batista; SILVA, Vamberto Monteiro da; ACCHAR, Wilson Acchar. Compósito de resíduos de mineração com cimento e cal para materiais de construção sustentáveis **Revista Princípia – Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, nº 54, João Pessoa, 2021

ROCHA, Rafael Rodrigues da; BARROS, Gustavo Henrique Vieira; SILVA, Renan Jhoni da; SIMÕES, Rebeca Delatore. Resistência mecânica de tijolos adobe reforçados com resíduo de casca de ovo. **Colloquium Exactarum**, v. 13, n1, Jan-Mar. 2021, p.30–37. Disponível em DOI: [10.5747/ce.2021.v13.n1.e347](https://doi.org/10.5747/ce.2021.v13.n1.e347). Acesso em 03 mai. 2023

SEGANTINI, Antonio Anderson da Silva; WADA, Patrycia Hanna. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. **Acta Scientiarum. Technology** Maringá, v. 33, n. 2, p. 179-183, 2011. Disponível em DOI: 10.4025/actascitechnol.v33i2.9377. Acesso em 03 mai. 2023

SILVA, Diego; AGUIAR, Mateus Bravo de. A utilização da casca da banana como substituição de parte do cimento na produção de tijolos ecológicos: a busca por alternativas sustentáveis. **Percorso Acadêmico**, Belo Horizonte, v. 7, n. 13, Jan/Jun, 2017

SILVA, Luan Domingues da; FARIA, Cláudio Oliveira; SILVA, Leonardo Fidélis; CAMPOS, Igor Jamar; JACOB, Raquel Sampaio Jacob. Um estudo da viabilidade técnica do uso de agregados reciclados provenientes de resíduos da construção civil para confecção de blocos de vedação. **Percorso Acadêmico**, Belo Horizonte, v. 7, n. 13, Jan./Jun. 2017

ULIANA, J.G.; CALMON, J. L.; VIEIRA, G. L.; TEIXEIRA, J. E. S. L.; NUNES, E. Heat treatment of processing sludge of ornamental rocks: application as pozzolan in cement matrices. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, Volume 8, Number 2, April/2015, p. 100-123 • ISSN 1983-4195 Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952015000200004>. Acesso em 03 mai. 2023

VASCONCELOS, Sarah Denise. BARROSO, Suelly Helena de Araújo; VIEIRA, Francisco de Assis Franco; ALMEIDA, Helmer Boris Fernandes. Avaliação do uso de cinzas de carvão mineral produzidas em usina termelétrica na construção de pavimentos. **Revista Transportes**, Volume 27, Número 2, 2019 (www.revistatransportes.org.br, ISSN: 2237-1346)

VITOR, Alexandre Oliveira; LISBÔA, Sumara; LIBRELOTTO, Lisiane Ilha. Argamassas de revestimento com terra: finalização do protótipo experimental em bambu da UFSC. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v.6, n.1, p.29-44, mar/2020. Disponível em <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n1.29-44>. Acesso em 03 mai. 2023

WASKOW, Regis Pereira; SANTOS, Viviane Lopes Gschwenter dos; TUBINO, Rejane Maria Candiota. Delineamento amostral de agregados de construção e demolição. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v.5, n.4, p.79-88, out./2019. Disponível em <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2019.v5.n4.79-88>. Acesso em 02 mai. 2023