



ARQUIMEMÓRIA 6
SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS NA CONSTRUÇÃO EM TERRA: UMA (BREVE) REVISÃO SISTEMÁTICA DOS BIOMATERIAIS

*INCORPORACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN LA CONSTRUCCIÓN DE TIERRA:
UNA (BREVE) REVISIÓN SISTEMÁTICA DE BIOMATERIALES*

*INCORPORATION OF AGROINDUSTRIAL WASTE IN EARTH CONSTRUCTION: A (BRIEF)
SYSTEMATIC REVIEW OF BIOMATERIALS*

Eixo 3 – Os saberes do patrimônio

Andrieli de Lima Biasi

Arquiteta e urbanista mestranda em engenharia civil no programa de pós-graduação PPGEI,
Universidade Federal da Integração Latino-Americana, UNILA [e-mail](#)

Gabriel Rodrigues da Cunha

Doutor em Arquitetura e Urbanismo, professor na Universidade Federal da Integração Latino-
Americana, UNILA [e-mail](#)

Resumo:

Os setores da construção civil e agroindustrial são responsáveis por grandes emissões de gases de efeito estufa, especialmente o dióxido de carbono. Para mitigar esse problema, a construção com terra tem sido revalorizada, incluindo o uso de aditivos vegetais e animais, como óleos, esterco e sangue, que atuam como estabilizantes ou ligantes, melhorando as propriedades dos materiais terrosos. Contudo, as preocupações com os impactos ambientais do agronegócio estão em destaque, e a utilização de aditivos de origem animal, provenientes de resíduos da indústria pecuária, surge como uma alternativa viável. Este estudo visa apresentar um panorama atualizado sobre o resgate de técnicas tradicionais na construção com terra e o manejo de resíduos agroindustriais na criação de novos biomateriais. A metodologia adotada foi uma revisão sistemática da literatura, focando nas técnicas, quantidades, proporções e suas influências nas características químicas e mecânicas dos materiais com adição de resíduos naturais. Após a seleção dos artigos, avaliou-se os resultados e discutiu-se sob perspectivas tecnológicas, sociais, ambientais e culturais. Identificou-se uma lacuna significativa na análise da composição química dos materiais, na gestão de resíduos, na aplicação em larga escala na construção civil, no ciclo de vida dos materiais e no contato com o usuário. Este estudo propõe uma investigação mais aprofundada da relação entre a combinação de terra e resíduos naturais, enfatizando a análise da composição química para uma gestão eficaz e o ciclo de vida útil dos materiais, dado que os biomateriais apresentam resultados promissores. Este artigo é um desdobramento da dissertação de mestrado em Engenharia Civil, que abordará a incorporação de resíduos de biodigestores em blocos de terra.

Palavras-chave: Construção com terra. Resíduos. Agroindustriais. Sustentabilidade.



ARQUIMEMÓRIA 6

SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

Resumen:

Los sectores de la construcción civil y agroindustrial son responsables de una parte significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente el dióxido de carbono. Para mitigar este problema, la construcción con tierra ha sido revalorizada, incorporando el uso de aditivos vegetales y animales, como aceites, estiércol y sangre, que actúan como estabilizantes o aglutinantes, mejorando las propiedades de los materiales terrosos. Sin embargo, las preocupaciones sobre los impactos ambientales del agronegocio también están en el centro de atención, y el uso de aditivos de origen animal derivados de residuos de la industria ganadera surge como una alternativa viable. Este estudio tiene como objetivo presentar una visión actualizada sobre el rescate de técnicas tradicionales en la construcción con tierra y el manejo de residuos agroindustriales en la creación de nuevos biomateriales. La metodología adoptada fue una revisión sistemática de la literatura, centrada en técnicas, cantidades, proporciones y sus influencias en las características químicas y mecánicas de los materiales con residuos naturales añadidos. Después de seleccionar los artículos, se evaluaron los resultados y se discutieron desde perspectivas tecnológicas, sociales, ambientales y culturales. Se identificó una laguna significativa en el análisis de la composición química de los materiales, en la gestión de residuos, en la aplicación a gran escala en la construcción civil, en los ciclos de vida de los materiales y en la interacción con el usuario. Este estudio propone una investigación más profunda sobre la relación entre la combinación de tierra y residuos naturales, enfatizando el análisis de la composición química para una gestión efectiva y el ciclo de vida útil de los materiales, dado que los biomateriales muestran resultados prometedores. Este artículo es un desarrollo de una tesis de maestría en Ingeniería Civil, que abordará la incorporación de residuos de biodigestores en bloques de tierra.

Palabras-clave: Construcción con tierra. Residuos. Aditivos agroindustriales. Sostenibilidad.

Abstract:

The construction and agro-industrial sectors are responsible for significant greenhouse gas emissions, especially carbon dioxide. To mitigate this issue, earth construction has been revalued, incorporating the use of plant and animal additives, such as oils, manure, and blood, which act as stabilizers or binders, improving the properties of earthen materials. However, concerns about the environmental impacts of agribusiness are also in focus, and the use of animal additives derived from livestock industry waste emerges as a viable alternative. This study aims to present an updated overview of the revival of traditional techniques in earth construction and the management of agro-industrial waste in the creation of new biomaterials. The adopted methodology was a systematic literature review, focusing on techniques, quantities, proportions, and their influences on the chemical and mechanical characteristics of materials with added natural waste. After selecting the articles, the results were evaluated and discussed from technological, social, environmental, and cultural perspectives. A significant gap was identified in the analysis of the chemical composition of materials, waste management, large-scale application in civil construction, material life cycles, and user interaction. This study proposes a deeper investigation into the relationship between the combination of earth and natural waste, emphasizing the analysis of chemical composition for effective management and the useful life cycle of materials, given that biomaterials show promising results. This article is a development of a master's thesis in Civil Engineering, which will address the incorporation of waste from biodigesters into earth blocks.

Keywords: Construction with earth. Residuous. Agro-industrial additives. Sustainability.



INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS NA CONSTRUÇÃO EM TERRA: UMA (BREVE) REVISÃO SISTEMÁTICA DOS BIOMATERIAIS

INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é frequentemente objeto de pesquisa devido à crescente demanda habitacional e ao significativo impacto ambiental causado pela utilização de cimento. Este setor é responsável por 70% das emissões de gases de efeito estufa, utiliza recursos naturais limitados e gera uma grande quantidade de resíduos sólidos (Hao et al. 2023; Gomes et al. 2021). No Brasil, são geradas cerca de 48 milhões de toneladas de RCD (Resíduos de Construção e Demolição), o que equivale a 228 quilos por habitante (Portal Sustentabilidade 2024).

De maneira similar, o setor agrícola é o segundo maior emissor de gases de efeito estufa no mundo, degradando recursos hídricos, florísticos e edáficos. Essa degradação ocorre principalmente por meio de práticas de manejo inadequadas, que resultam em poluição difusa desses ecossistemas. A necessidade urgente de práticas sustentáveis na agroindústria torna-se evidente, e o reaproveitamento de resíduos agroindustriais na construção civil pode contribuir não apenas para mitigar essa degradação, mas também para a sustentabilidade do setor.

A poluição pontual proveniente da criação de animais em sistemas de confinamento, especialmente nos processos realizados em abatedouros, gera grandes quantidades de efluentes contaminantes, como o metano — um gás de efeito estufa que é 28 vezes mais poluente que o dióxido de carbono (Pacheco, Santos e Moreira 2022; Pereira et al. 2024). Estima-se que sejam produzidas 180 milhões de toneladas de efluentes de animais confinados (Embrapa, 2024). A gestão desses efluentes frequentemente resulta na produção de biogás e biofertilizantes. Contudo, a Embrapa (2024) afirma que o tratamento anaeróbico da gordura animal — uma fase crucial para a produção de biogás — requer o uso de elementos químicos externos para dissolver a gordura, um desafio similar ao encontrado com o sangue animal, que, devido à sua alta carga proteica, necessita de mistura com outros materiais para uma destinação adequada. Nesse contexto, as indústrias enfrentam dificuldades para gerenciar esses resíduos e garantir seu descarte correto no meio ambiente.

Enquanto a construção civil e a agroindústria são responsáveis por altas emissões de gases de efeito estufa, a integração de práticas sustentáveis, como a utilização de resíduos agroindustriais na construção, pode oferecer uma solução eficaz para reduzir esse impacto. O aproveitamento de subprodutos agrícolas e resíduos da agroindústria na composição de novos materiais construtivos tem sido uma estratégia adotada para gerenciar esses poluentes, ao mesmo tempo em que busca garantir novos caminhos para a sustentabilidade (Beraldo 2020).

O conhecimento sobre materiais construtivos que incorporam aditivos vegetais e animais fundamenta-se em técnicas construtivas antigas, predominantes em patrimônios históricos que resistem até os dias atuais. Essas práticas tradicionais, enraizadas em saberes ancestrais, promovem não apenas o uso de materiais locais, mas também demonstram que a inovação na construção civil pode ser alcançada por meio da valorização e redescoberta desse conhecimento. Trata-se, em grande medida, de arquitetura vernácula, reconhecida por sua sustentabilidade e baixo custo em comparação com a arquitetura convencional contemporânea. No entanto, embora essas técnicas que utilizam a terra como material de construção sejam valorizadas por sua eficiência sustentável, ainda enfrentam preconceitos econômicos e sociais. Além disso, devido à diversidade



ARQUIMEMÓRIA 6

SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

de solos, muitas vezes é necessário ajustar as características físicas e mecânicas dos materiais, o que se torna um dos principais desafios para a difusão e aplicação dessas técnicas na construção civil (Gonçalves e Gomes 2012).

Com isso, o objetivo deste trabalho é realizar uma breve revisão sistemática da literatura para analisar pesquisas e experiências envolvendo materiais de construção que incorporam resíduos agroindustriais de origem animal ou vegetal, com ênfase na construção com terra. Considerando que a terra é um material construtivo transitório, cujas propriedades dependem das características geográficas do local de aplicação, é fundamental compreender o impacto de cada resíduo adicionado e a técnica utilizada para elaborar um material que atenda às necessidades econômicas, sustentáveis e ambientais. A expectativa de resultados positivos dos biomateriais ressalta a importância de investigar a utilização de resíduos agroindustriais, apresentando uma solução viável para os desafios enfrentados pela construção civil contemporânea.

MÉTODO DE PESQUISA

Este tópico aborda o processo de elaboração da revisão sistemática, que consiste em estabelecer critérios de elegibilidade a partir do título e resumo dos artigos, passando pelas etapas de identificação, seleção e avaliação dos resultados. Para compreender os parâmetros e o estado da arte na produção de novos materiais construtivos que utilizam resíduos agrícolas, foi realizada uma análise do uso de resíduos orgânicos de origem animal e vegetal como aditivos ou substitutos de materiais tradicionais na construção civil. Muitas novas tecnologias se baseiam em antigos preceitos, relatados principalmente em técnicas vernaculares.

O objetivo desta revisão foi levantar os seguintes dados: as técnicas construtivas em que os materiais foram utilizados; a definição do uso como aglutinante, estabilizante, aditivo ou reforço; a tipologia estrutural (fechamento, revestimento ou acabamento); os métodos de ensaio para avaliação dos resultados; o desempenho positivo e negativo das características estudadas para cada material; e as limitações e avanços tecnológicos na área da construção com terra.

Para a análise, foram considerados trabalhos nas bases de dados das plataformas Scopus e Science Direct, escolhidas pela qualidade dos periódicos e relevância das temáticas abordadas, além de pesquisas práticas em todo o mundo. A busca foi realizada utilizando termos em inglês, uma vez que todos os artigos apresentam obrigatoriamente resumos e palavras-chave nesse idioma, o que amplia a busca sistemática. Operadores booleanos, conforme sugerido por Gatelli (2022), foram utilizados para aprimorar os resultados da busca. O operador “AND” estabeleceu a conexão entre “construção” e “material”, enquanto “OR” foi empregado para alternar entre os tipos de resíduos.

Dado que o tema é específico, mas pode ser abordado com diferentes termos técnicos, foram realizadas duas buscas nas bases de dados, classificadas como Busca Geral e Busca Específica. Na Busca Geral, o objetivo foi identificar quais materiais orgânicos tinham maior potencial na construção civil e como eram associados aos materiais comumente utilizados. Já na Busca Específica, foram incluídos apenas resíduos provenientes de fontes agrícolas utilizados em técnicas de construção com terra. Para complementar essa busca, foi aplicado o operador booleano “NOT” para restringir resultados relacionados ao concreto como material construtivo. Por fim, a “string” de busca validou como palavras-chave os termos “waste” (resíduo em inglês) para delimitar resíduos, rejeitos e materiais reciclados, e “natural additive” para incluir materiais de origem orgânica e natural. O uso de termos em inglês se justifica pela variabilidade linguística presente nos artigos de



ARQUIMEMÓRIA 6

SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

ambas as plataformas. Para ordenar as fases da pesquisa, foi elaborado um protocolo de busca (tabela 1), que detalha os critérios que embasam a pesquisa, as bases de dados citadas, o uso de cada termo de pesquisa e os operadores booleanos aplicados, além dos critérios de exclusão adotados para filtrar títulos e resumos.

PROTOCOLO	
Critérios de pesquisa: uso de resíduo ou aditivo orgânico vegetal ou animal na construção civil; comparação entre técnicas e resultados do desempenho do material; tipo de aplicação; composição aditiva; avaliação dos resultados; melhorias e avanços tecnológicos;	
↓	
BASE DE DADOS	
SCOPUS	SCIENCE DIRECT
↓	
STRINGS DE BUSCA	
Somente em títulos, resumos e palavras-chave:	
BUSCA GERAL	"construction material" AND (organic waste OR animal waste OR natural additive)
BUSCA ESPECÍFICA	"agricultural waste" AND construction AND Earth NOT concrete
↓	
CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO	
TÍTULO	Foram excluídos artigos cujo título continha somente o estudo de resíduo de lodo, lama, resíduo mineral, resíduo industrial, compostagem ou construção de composteira, resíduo de construção de demolição, tijolos de barro cozidos e concreto.
RESUMO	Foram excluídos artigos que não traziam diretamente no resumo: os materiais utilizados e o objetivo da pesquisa. Também foram excluídos resíduos agrícolas que são considerados inorgânicos ou que não eram propriamente um resíduo de descarte.

Tabela 1: Protocolo de Busca e Identificação.
Tabela realizada pela autora, 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados foram organizados em duas categorias principais: análise quantitativa e análise qualitativa. A análise quantitativa revelou a quantidade de pesquisas realizadas em diferentes regiões do mundo, permitindo identificar claramente os objetivos de cada país, tendo em vista questões socioeconômicas locais. Por exemplo, algumas regiões estão focadas na incorporação de resíduos específicos, enquanto outras exploram técnicas variadas de estabilização do solo. A análise qualitativa, por sua vez, proporciona uma compreensão mais profunda das motivações, desafios e tendências emergentes na pesquisa. Essa abordagem ajuda a identificar lacunas na literatura e as necessidades específicas de cada contexto regional. A combinação das análises quantitativa e qualitativa oferece um panorama abrangente das pesquisas atuais sobre a integração de resíduos agroindustriais na construção com terra.



ARQUIMEMÓRIA 6

SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

Análise Quantitativa

Os dados obtidos no protocolo de busca foram organizados em um fluxograma (Figura 1), que apresenta a quantidade de resultados nas plataformas de busca. A duplicidade dos termos de pesquisa resultou em disparidade nos registros identificados; a base Scopus apresentou mais resultados do que a Science Direct em ambas as pesquisas. A Busca Geral identificou resultados não encontrados na Busca Específica, com 5 dos 100 resultados sendo duplicados.

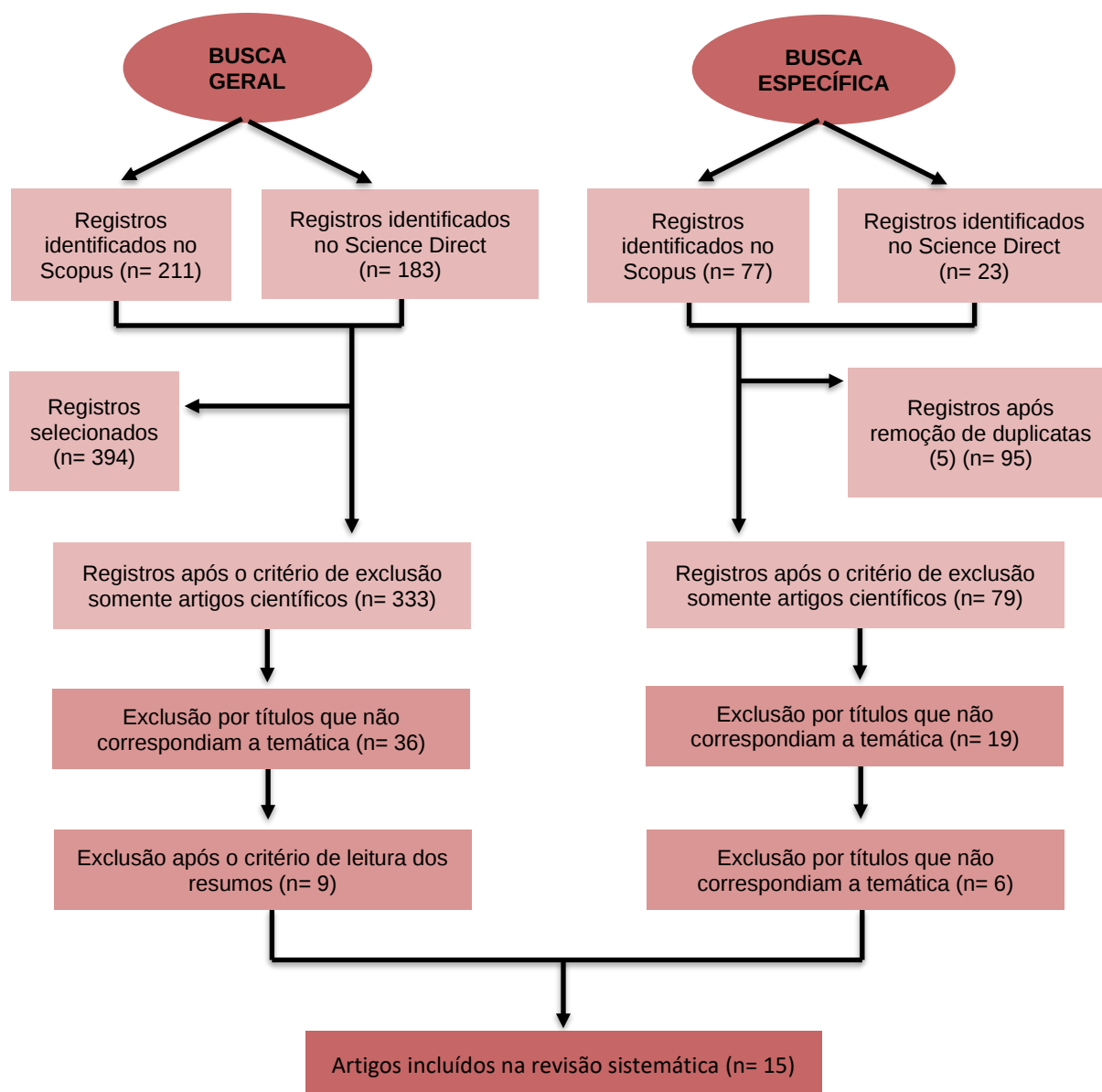


Figura 1: Fluxograma de identificação dos estudos através das bases de dados.
Fluxograma realizado pela autora, 2024.

Na figura 2, estão apresentados os termos mais encontrados. O termo de maior destaque foi relacionado a resíduos de origem vegetal, que compuseram quase metade dos artigos



ARQUIMEMÓRIA 6

SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

selecionados, seguido dos resíduos animais. Em 7% das pesquisas, foi possível encontrar materiais construtivos que adotaram o uso conjunto dos resíduos animais e vegetais para melhorar a composição do material.

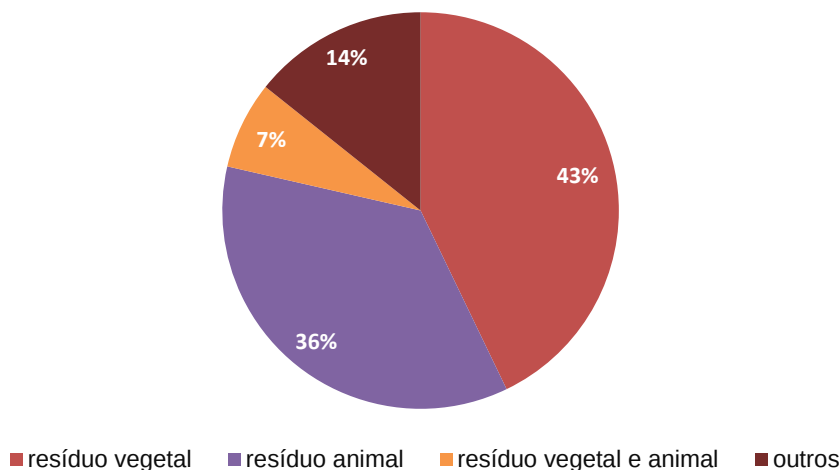


Figura 2: Relação dos resultados por tema de busca.
Gráfico realizado pela autora, 2024.

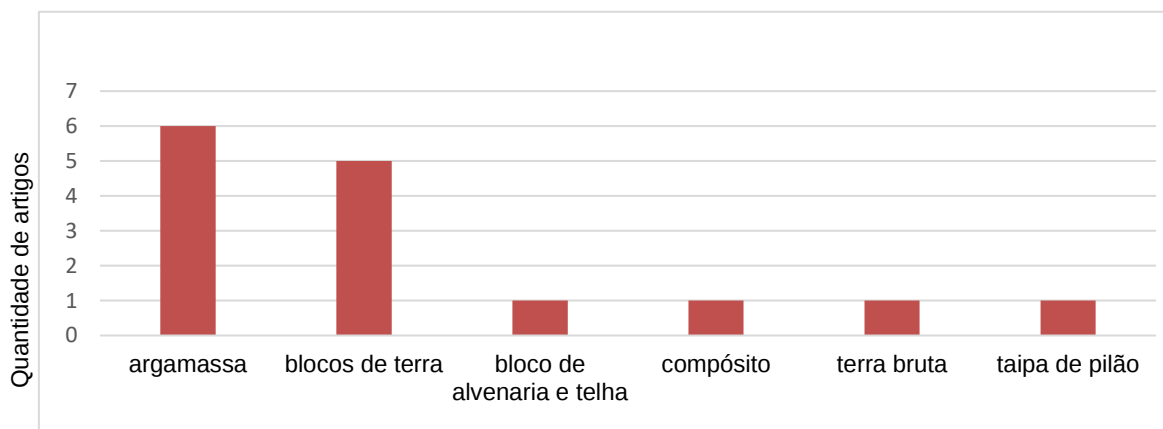


Figura 3: Materiais construtivos adotados para estudo nos artigos selecionados.
Gráfico realizado pela autora, 2024.

Na figura 3, destacam-se os materiais construtivos estudados nos artigos selecionados. O estudo de argamassas à base de resíduos se destacou em relação aos outros materiais encontrados, pois materiais terrosos reagem melhor com componentes naturais do que quando misturados a produtos químicos, melhorando suas propriedades e capacidade como material construtivo. O uso de aditivos naturais funciona como ligantes, proporcionando à argamassa maior aderência à superfície (Ventol et al. 2011).

Os blocos de terra também avançaram nas pesquisas, em virtude da necessidade de melhorar sua resistência física e mecânica em relação aos estabilizadores. Como demonstrado na figura 3, os blocos de terra ocupam um lugar de destaque nas pesquisas científicas, após as argamassas, devido à sua resposta positiva a estabilizantes naturais, como a fibra natural.



ARQUIMEMÓRIA 6

SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

Os parâmetros mundiais apresentados na figura 4 mostram a tendência das pesquisas nos artigos analisados. Países em desenvolvimento, como a Índia, enfrentam um grande déficit habitacional e social, com 1,4 milhão de habitantes por 3.287.000 km², resultando em maior consumo, produção de resíduos e escassez de recursos (Guimarães 2022). A Índia também se destaca na produção agrícola, o que aumenta a necessidade de gerenciar esses resíduos de forma eficiente. De acordo com Dighe et al. (2020), edificações históricas feitas de terra foram analisadas e demonstraram a utilização de aditivos naturais em sua composição. Outro ponto importante é a valorização das origens construtivas em países como Marrocos, Turquia, Malásia e Bangladesh, que buscam preservar técnicas tradicionais de construção em terra. Em contrapartida, no Brasil, essas origens muitas vezes são ignoradas, substituídas pela cultura arquitetônica imposta pelos colonizadores, desconsiderando as técnicas tradicionais à base de terra (De Souza et al. 2024).

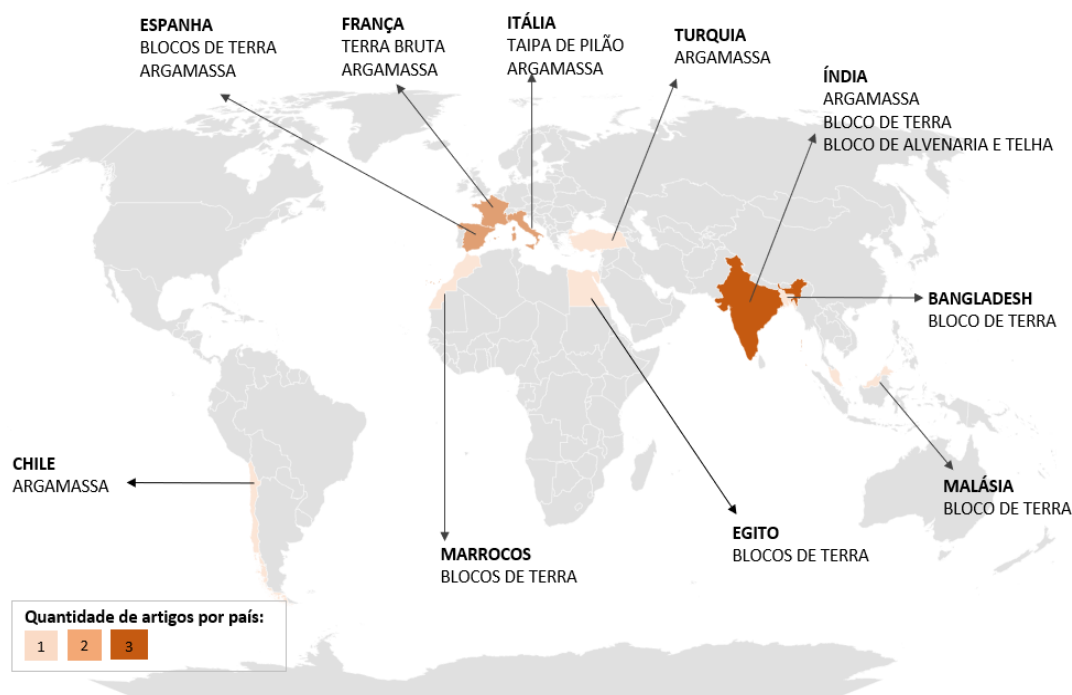


Figura 4: Produção científica por países.
Gráfico realizado pela autora, 2024.

Análise Qualitativa

Os artigos foram organizados em categorias com base na incidência de cada material construtivo. A argamassa e o bloco de terra destacam-se como os principais materiais utilizados na incorporação de resíduos agroindustriais, enquanto outros, como a taipa e diferentes tipos de blocos, foram identificados em menor escala. Essa subdivisão ilustra as abordagens de cada técnica e aponta as direções atuais das pesquisas sobre o uso de resíduos agroindustriais na construção civil.

Para os blocos de terra, há uma necessidade crescente de aprimorar as características físicas e mecânicas do material por meio da adição de resíduos agroindustriais, tanto em forma sólida quanto líquida. Em relação às argamassas, o foco está na utilização de materiais com propriedades ligantes ou aglutinantes, que promovam elasticidade e impermeabilidade. Além disso, os resultados obtidos com materiais construtivos que incorporam resíduos agrícolas revelam a necessidade de estabilização e reforço desses materiais.



ARQUIMEMÓRIA 6

SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

Blocos de terra incorporados com resíduos agroindustriais

Nos artigos encontrados, cinco tratavam sobre o estudo dos blocos de terra, com ênfase nos blocos não cozidos e compactados, especialmente os conhecidos como BTC (blocos de terra comprimido). Dos cinco artigos, quatro abordam a utilização de resíduos orgânicos nos blocos, enquanto apenas um estudo menciona a casca de ovo, um material residual de origem animal que, segundo Jannat et al. (2022), possui grande capacidade de substituir o cimento na produção de blocos de terra (Tabela 2).

Título	Fonte do resíduo	Autor(es)	País
Influências dos resíduos agrícolas nas propriedades físico-mecânicas e de durabilidade de blocos de argila crus	Casca de ovo, serragem, casca de coco	JANNAT, N. ET AL (2022)	Bangladesh
Implicações dos resíduos agroindustriais na durabilidade e nas características de erosão de blocos de solo não queimados reforçados com fibras de palha de arroz: Construção sustentável em terra	Pó de mármore, cinza de bagaço de cana-de-açúcar e fibra de palha de arroz	SHARMA, T. ET AL (2024)	Índia
Investigação sobre a utilização de coprodutos da indústria do azeite em tijolos de terra	Resíduo de águas efluentes do azeite	CHRAIBI, H. ET AL (2022)	Marrocos
Propriedades termo físicas e mecânicas de blocos de terra compactada contendo fibras: subproduto da planta de quiabo e resíduos de polímeros	Fibra de quiabo resíduo de sachê de água	NSHIMIYIMANA, P. ET AL (2020)	Espanha
Análise experimental de Bloco de Terra Comprimido (CEB) com fibras de bananeira resistindo a forças de flexão e compressão	Fibras de bananeira	MOSTAFA, M.; UDDIN, N (2016)	Egito

Tabela 2: Artigos com bloco de terra como material construtivo.
Tabela realizada pela autora, 2024.

A utilização de fibras para estabilização é comum em blocos de terra. Na literatura, é possível encontrar resultados que abordam a resistência mecânica e física do material, com ensaios específicos de compressão e flexão para analisar a resistência estrutural, além de testes de erosão, que conferem a capacidade de absorção de água de cada fibra incorporada. Nos estudos de Jannat et al. (2022), a casca de ovo é utilizada em grãos finos para estabilização do solo e tem grande potencial para substituir o cimento. Os materiais utilizados individualmente nos blocos de adobe aumentaram a densidade do material, a resistência à compressão e a absorção capilar de água.

Nos estudos de Nshimiyimana et al. (2020), a fibra de quiabo reduziu a densidade e aumentou a porosidade do material, influenciando a abertura dos poros, onde a água é absorvida. Sharma et al. (2024) explicam que o tamanho da fibra altera a capacidade de compressão e compactação, uma vez que a distribuição uniforme da composição dentro da fôrma permite uma maior amplitude na capacidade de cada material. Esse fenômeno também é observado por Mostafa e Uddin (2016), que destacam que a fibra de bananeira, além de atuar como estabilizante, liga as partículas de solo,



ARQUIMEMÓRIA 6

SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

prevenindo o surgimento de rachaduras; no entanto, não analisam as propriedades de absorção da fibra de banana.

Chraibi et al. (2022) substituem a água da mistura para a obtenção de blocos de terra por efluentes de lagares de azeite, que carecem de uma gestão adequada de resíduos na produção agrícola. Os resultados indicam que a diferença entre o uso do resíduo líquido e do bagaço resulta em variações na erosão e resistência do bloco. Embora os limites de porosidade sejam considerados adequados, não superam a média. O tamanho do bagaço interfere nos vazios dentro do bloco, enquanto os resíduos líquidos contêm grandes quantidades de gordura, o que obstrui os poros. A diferença de interferência entre cada fibra adicionada é ilustrada na figura 5, que apresenta uma tabela comparativa e um gráfico de classificação.

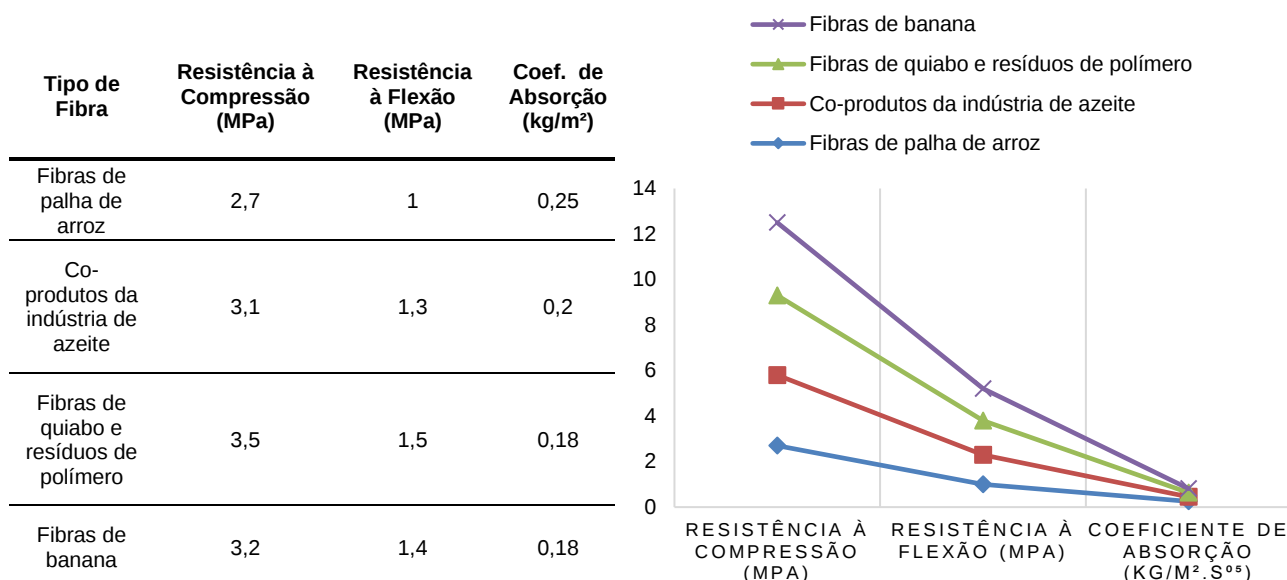


Figura 5: Resultados de resistência das fibras analisadas.
Realizado pela autora, 2024.

Como constatado, os estabilizantes foram utilizados em diferentes tamanhos em cada pesquisa, e quanto mais próximo do formato de pó ou de microfibras, os estabilizantes trazem respostas positivas aos resultados de resistência à compressão e flexão, absorção de água e erosão dos blocos de terra, conforme visto na figura 6. A quantidade de material estabilizador deve ser adequada para não comprometer sua eficácia. Excesso ou insuficiência de estabilizante pode levar a desequilíbrios nas propriedades mecânicas do material, resultando em um desempenho abaixo do esperado. As propriedades químicas de cada estabilizante interferem na composição química da terra, especialmente a argila, podendo reagir de forma positiva ou negativa. Hejazi et al. (2012) obtiveram esses resultados ao descobrir que estabilizantes de fibras, ao absorverem as partículas de água contidas na terra, tendem a secar e eliminar essas partículas, criando vácuos que ocorrem na erosão, afetando a fragilidade do material como um todo. Portanto, o controle cuidadoso da proporção de estabilizantes é crucial para otimizar as características do bloco de terra e garantir sua durabilidade em aplicações construtivas.



ARQUIMEMÓRIA 6

SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

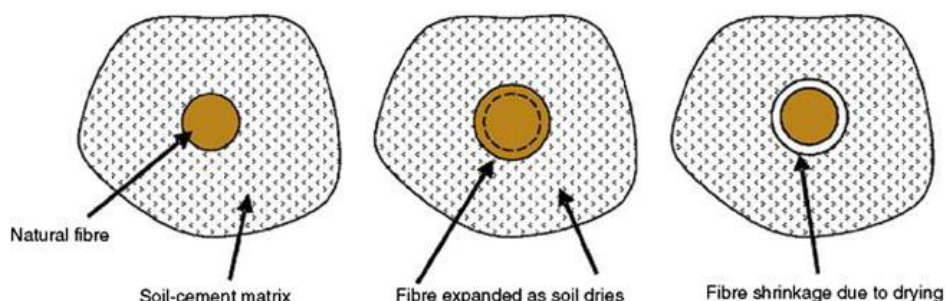


Figura 6: Expansão da fibra estabilizadora.
Fonte: Hejazi et al., 2012.

Os estudos de Jannat et al. (2022) destacam as reações químicas da casca de ovo ao entrar em contato com a água e argila dos blocos. A casca de ovo contém cálcio e calcário, que, quando misturados com água, geram hidróxido de cálcio, que, ao se juntar à matriz de argila, resulta em uma reação pozolânica com propriedades semelhantes às da cal tradicional. Essas propriedades químicas também são encontradas no pó de mármore e no sangue de animais, materiais que serão discutidos mais adiante e que possuem grandes propriedades ao serem adicionados em bases terrosas. No entanto, é importante ressaltar a proporção ideal de cada material ao reagir com a argila e os outros componentes dos blocos de terra. As pesquisas que propuseram ensaios com mais de um dos elementos mencionados frequentemente encontraram perdas em algumas propriedades físicas do corpo de prova ensaiado. A implementação dos resíduos deve ser proporcional às necessidades de cada solo para estabilização, levando em conta também as diferenças regionais que podem impactar os resultados e a reprodutibilidade dos ensaios. Por fim, os materiais citados têm grande potencial para substituir materiais tradicionais, como cimento e cal, na construção de blocos de terra.

Argamassas com adição de resíduos agroindustriais

Os estudos sobre argamassas associadas a resíduos naturais, os resultados foram diferentes dos encontrados nos ensaios destinados à confecção de blocos de terra, uma vez que 4 dos 6 resultados analisados apresentam resíduos animais em sua composição (tabela 3). A argamassa aditivada com resíduos naturais possui um forte precedente histórico; os estudos baseados em relatos antigos revelam que materiais construtivos eram frequentemente associados a aditivos de origem animal, que eram a principal fonte de recursos da época. O uso desses materiais foi amplamente difundido na produção de rebocos, argamassas e blocos de alvenaria, sendo que, para estes últimos, é considerado difícil confirmar as propriedades nas edificações devido à degradação que o tempo provoca nos materiais naturais.

A temática histórica da argamassa é discutida em 3 dos estudos, nos quais seus precedentes são vinculados a edificações antigas. Por exemplo, os autores Dighe, Singh e Pokharia (2020) ressaltam a importância de relacionar materiais à sua composição para melhorar o ambiente interno das construções. Materiais de construção, eletrodomésticos, aquecedores e fuligem de cozinha são os principais poluentes modernos do interior das edificações, o que torna necessário compensar esses efeitos com materiais adequados. Materiais repelentes, resistentes ao fogo e antioxidantes já eram utilizados em rebocos, como forma de proteger a estrutura e preservar o local.



ARQUIMEMÓRIA 6

SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

Título	Fonte do resíduo	Autor(es)	País
Misturas de argamassa com sangue de boi: antecedentes históricos, modelos de receitas e propriedades	Sangue de boi	ZHANG, K. ET AL (2018)	Itália
Aproveitamento de resíduos de sangue animal como aditivo em argamassas à base de cal hidráulica	Sangue animal	DINÇ-ŞENGÖNÜL, B. ET AL (2023)	Turquia
Eficácia de novas fibras naturais no desempenho mecânico-dano de argamassas	Fibra de pelo de porco	ARAYA-LETELIER, G. ET AL (2017)	Chile
Efeito da temperatura elevada em argamassas de casca de ovo e pó de casca de ovo para aplicações em alvenaria	Casca de ovo	CREE, DUNCAN; PLIYA, PROSPER (2019)	França
Aditivos orgânicos tradicionais melhoram argamassas de cal: novos materiais antigos para restauração e construção de tecidos de pedra natural	Nopal, cola animal, caseína e azeite	VENTOL, L. ET AL (2011)	Espanha
Antigas técnicas indianas para rebocos decorativos de barro sustentáveis e ecológicos das Cavernas Karla e Bhaja, Índia	Resíduo agrícola, fibras arbórea e casca de arroz	DIGHE, B.; SINGH, M. R.; POKHARIA, A. K (2020)	Índia

Tabela 3: Artigos com argamassa como material construtivo.
Tabela realizada pela autora, 2024.

Esses conhecimentos também são importantes nos relatos de Zhang et al. (2018), que estudaram manuscritos de origem italiana e francesa descrevendo a fórmula para a produção de argamassas aditivadas com sangue animal. A pesquisa constatou a veracidade das informações e destacou a dificuldade do manejo do sangue, cuja coagulação é quase impossível de ser evitada fora do ambiente de laboratório. A forma líquida do sangue só pode ser mantida por meio da adição de sal, congelamento do resíduo ou agitação durante o abate.

A importância histórico-cultural é ressaltada nos estudos de Ventol et al. (2011), que indicam que as tradições e técnicas associadas à argamassa foram quase totalmente perdidas em países ocidentais após a Revolução Industrial. Apenas alguns registros são encontrados em áreas rurais de países latino-americanos. A hegemonia do concreto fez com que países em desenvolvimento substituíssem suas raízes construtivas por tecnologias atuais que não se adequam à realidade local, enquanto as técnicas e conhecimentos tradicionais foram gradualmente esquecidos (Cunha e Moassab 2022).

Em relação às características do material, a argamassa, ao contrário dos blocos de terra, requer maleabilidade, menor retração, impermeabilidade e tempo de pega adequado. Por essa razão, os materiais naturais analisados apresentaram diferentes resultados, embora esses possam contrastar com as necessidades da produção de argamassa, tendo potencial para substituir as argamassas químicas tradicionais. Tanto Zhang et al. (2018) quanto Dinç-Şengönül et al. (2023) relataram uma melhoria na argamassa após a utilização do sangue de boi como material aglutinante na composição. O cálcio e a proteína, propriedades encontradas no sangue, conferem capacidade de impermeabilização, repelindo a água. A combinação de argila e sangue resulta em um material



ARQUIMEMÓRIA 6

SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

fortemente ligante, ampliando suas aplicações para cerâmicas em paredes e gesso. A resistência ao congelamento é mencionada por Zhang et al. (2018) e confirmada nos ensaios de Dinç-Şengönül et al. (2023). Em relação à porosidade, embora tenha aumentado, permanece dentro dos limites apropriados.

O tempo de pega das argamassas de cal e sangue foi significativamente mais rápido do que o das convencionais, devido à presença de cálcio. Ventol et al. (2011) relatam que a casca de ovo melhora o endurecimento das argamassas; no entanto, embora tenha uma composição semelhante, o sangue é utilizado de forma líquida, enquanto a casca do ovo precisa ser aquecida para a remoção da camada orgânica, o que limita seu uso em formato de pó. Além disso, o uso da casca de ovo pode afetar negativamente a resistência do material, ao contrário da cola animal, que é composta por colágeno e proteína com propriedades adesivas obtidas por hidrólise e utilizada como aditivo em argamassas para melhorar o desempenho mecânico e hidrofílico (Dighe et al. 2020). Na tabela 4, é possível observar, em um comparativo, as alterações nas propriedades do material que cada aditivo proporcionou às argamassas.

Tipo de Aditivo	Resistência à Compressão (MPa)	Ductilidade (%)	Coefficiente de Absorção (kg/m²)	Observações
Sangue de boi (oxblood)	5	8	0,35	Melhora a durabilidade e a estética.
Sangue animal	6,5	10	0,3	Aditivo orgânico melhora propriedades.
Fibras naturais	4,2	12	0,25	Fibras aumentam a resistência à tração.
Pó de casca de ovo	3,8	7	0,28	Alteração de propriedades por temperatura.

Tabela 4: Resultados de resistência dos aditivos analisados.
Tabela realizada pela autora, 2024.

A adição de fibras e óleos também foi estudada, a adição de azeite aumenta a capacidade impermeabilizante assim como foi dito nos relatos antigos, mas perde desempenho (Dighe et al. 2020). Enquanto o pelo de porco, discutido por Dinç-Şengönül et al. (2023), teve bons resultados no desempenho mecânico e resistência ao impacto, uma vez que seu tamanho é fácil de agregar a mistura, como acontece nos blocos de cimento com fibras de bananeira.

Materiais de construção compostos de resíduos agrícolas

Aditivos naturais associados às técnicas de construção com terra desempenham um papel crucial na modulação de propriedades como densidade, porosidade, estabilização e desempenho físico e mecânico. Conforme apontado por Losini et al. (2021), uma variedade de reagentes naturais é incorporada na forma de aditivos, aglutinantes e estabilizadores, adaptando-se às necessidades específicas de cada técnica construtiva. Materiais como taipa de pilão, blocos de terra e argamassas frequentemente requerem correções mecânicas para otimizar seu desempenho e garantir a durabilidade das estruturas.

Esses aditivos não apenas aumentam a resistência e reduzem a permeabilidade, mas também conferem características isolantes e de impermeabilidade, essenciais para a longevidade das construções. A pesquisa sobre a utilização de aditivos naturais na construção com terra representa



ARQUIMEMÓRIA 6

SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

uma abordagem inovadora e sustentável, promovendo a preservação de técnicas tradicionais enquanto se adapta às demandas modernas de desempenho e durabilidade. Na tabela 5, fica clara a difusão entre os aditivos nos diversos tipos de materiais construtivos, inclusive incrementados em novas tecnologias como o compósito.

Título	material	Autor(es)	País
Revisão de estudos de última geração sobre a capacidade de absorção de água de compósitos poliméricos reforçados com fibras agrícolas	Compósito	NOR ARMAN, N. S.; CHEN, R. S.; AHMAD, S. (2021)	Malásia
Aditivos naturais e biopolímeros para estabilização de construções em terra bruta – uma revisão	Terra bruta	LOSINI, A. E. ET AL (2021)	França
Reaproveitamento de resíduos pecuários para reforço de materiais de taipa de pilão: investigação sobre desempenhos mecânicos	Taipa de pilão	PARLATO, M. C. M.; RIVERA-GÓMEZ, C.; PORTO, S. M. C. (2023)	Itália
Novos compósitos leves de lama estabilizada com cimento Portland Pozzolana (PPC) usando migalhas de borracha e resíduos agrícolas	Bloco de alvenaria e telha	KUMAR SINGH, B.; KUMAR, R. (2023)	França

Tabela 5: Artigos com compostos agrícolas como material construtivo.
Tabela realizada pela autora, 2024.

Os resultados da revisão realizada por Losini et al. (2021) destacam que os materiais naturais estudados apresentaram características químicas significativas, como proteínas e seus derivados. O uso de proteínas encontradas no sangue de animais como estabilizador na taipa de pilão substituiu a água na mistura, resultando em um aumento de 36% na resistência da amostra em comparação à mistura comum. Segundo os autores, a coagulação do sangue contribui para o endurecimento da matriz durante o período de secagem. Além disso, proteínas como caseína, colágeno, queratina e albumina, presentes em ovos, leite e sangue, ao interagirem com argilas, são capazes de separar as moléculas de água hidrofílicas das partículas finas, enquanto as moléculas hidrofóbicas se agrupam na camada externa. Essa interação gera uma maior resistência à ação da água. Da mesma forma, a caseína e o caseinato de sódio demonstram a capacidade de aglutinar os grãos de solo, devido à sua interação eletrostática (Figura 7).

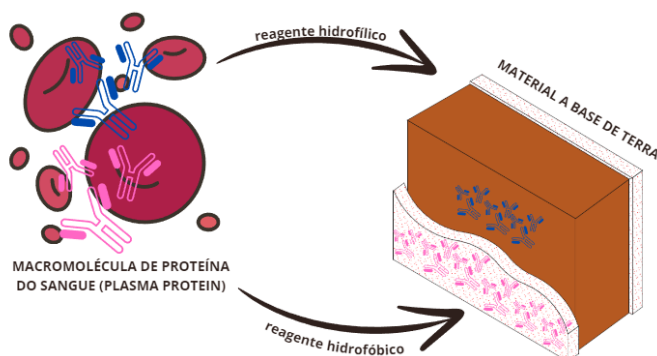


Figura 7: Divisão dos reagentes da proteína em materiais argilosos.
Esquema realizado pela autora, 2024.



ARQUIMEMÓRIA 6

SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

Os estudos de Nor Arman, Chen e Ahmad (2021) confirmam que os materiais compostos, referidos por eles como "compósitos", são formados pela combinação de diferentes materiais que mantêm suas propriedades originais, independentemente da técnica construtiva aplicada. Esses compósitos, que podem incluir resíduos agrícolas, demonstraram um aumento na porosidade e na absorção de umidade quando fibras naturais são utilizadas, impactando a capacidade de captação de água. Esse fenômeno é semelhante ao observado em blocos de terra estabilizados com fibras, que também apresentam desafios em relação à absorção de água. O tamanho das fibras é um fator crucial que determina as propriedades mecânicas dos compósitos. Por exemplo, Parlato, Rivera-Gómez e Porto (2023) destacam que o uso de lã de ovelha descartada melhorou significativamente o desempenho da taipa de pilão, ressaltando a importância de selecionar adequadamente os materiais para otimizar as características dos compósitos na construção.

Nos estudos de Kumar Singh e Kumar Rajesh (2023), as propriedades térmicas foram analisadas em uma mistura de palha, miolo de borracha e bagaço, que se mostraram positivas ao serem aplicadas em um protótipo residencial, reduzindo sua temperatura em 6 °C. O mesmo material formou telhas cozidas e blocos de alvenaria feitos de resíduos e cimento. Para regiões quentes, essa proposta se faz eficaz, no entanto, o uso de cimento como agregado torna a solução dependente de produtos químicos industriais, o que compromete a pesquisa que visa a utilização de resíduos. O uso de materiais reciclados em construções é essencial para minimizar o impacto ambiental das indústrias da construção civil e agrícola, promovendo uma construção mais sustentável e alinhada com os objetivos de desenvolvimento sustentável.

Em síntese, as análises realizadas nas três categorias de materiais de construção evidenciam a relevância e a eficácia da incorporação de resíduos agroindustriais e naturais em práticas construtivas. Os estabilizantes utilizados em blocos de terra melhoram significativamente suas propriedades mecânicas, enquanto a adição de resíduos animais em argamassas resgata práticas históricas e demonstra seu potencial contemporâneo para promover sustentabilidade. Além disso, o uso de compósitos agrícolas proporciona melhorias na resistência e nas características térmicas dos materiais, reduzindo a dependência de recursos não renováveis e contribuindo para a durabilidade das construções. Assim, a adoção dessas práticas inovadoras não apenas otimiza o desempenho dos materiais, mas também reafirma o compromisso com a construção sustentável e a preservação do meio ambiente.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS

As pesquisas atuais destacam a utilização de resíduos animais e vegetais em técnicas de construção com terra. No que diz respeito aos resíduos vegetais, observou-se que eles influenciam positivamente as propriedades mecânicas e físicas dos materiais, além de melhorar a impermeabilidade e a estabilidade, efeitos que já eram conhecidos há muito tempo. Em contrapartida, os resíduos animais apresentam registros teóricos, mas sua aplicação concreta é escassa, uma vez que é difícil encontrá-los em edificações históricas existentes. As novas investigações desmistificam a teoria anteriormente sustentada apenas por relatos históricos, demonstrando a viabilidade de aplicação desses resíduos em associação com materiais terrosos.

Os materiais naturais de origem animal têm grande potencial para substituir os materiais tradicionais na construção civil, devido às suas características químicas, como a presença de cálcio e proteínas. O aumento populacional, aliado à crescente demanda por insumos, tem gerado preocupações, pois tanto a produção de alimentos quanto a de habitações impactam a economia, a sociedade e o meio ambiente. A indústria desses setores gera uma quantidade significativa de resíduos e energia



ARQUIMEMÓRIA 6

SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

acumulada nos processos de fabricação. Por essa razão, a gestão de resíduos é crucial para enfrentar os desafios populacionais, econômicos e ambientais.

A gestão de resíduos agrícolas reaproveitados na construção civil demonstrou viabilidade ao aplicar resíduos animais e vegetais em técnicas de construção com terra. Essa abordagem não apenas melhora a qualidade do material, mas também promove o gerenciamento eficiente de resíduos, especialmente em patrimônios históricos. Assim, é possível desenvolver novas tecnologias que integrem o restauro de edificações com a preservação cultural. No entanto, ainda são necessários mais estudos que explorem a utilização de resíduos animais como aditivos em diversas técnicas de construção com terra, são eles:

1. **Composição Química e Propriedades:** Há uma necessidade de estudos mais aprofundados sobre a composição química dos biomateriais utilizados na construção com terra. Compreender como diferentes aditivos (como fibras naturais e resíduos agroindustriais) influenciam as propriedades físicas e mecânicas dos materiais é essencial para otimizar suas aplicações.
2. **Ciclo de Vida e Sustentabilidade:** Embora existam algumas pesquisas sobre o ciclo de vida de biomateriais, há uma lacuna significativa na análise abrangente do impacto ambiental desses materiais ao longo de seu ciclo de vida. Isso inclui a extração, processamento, uso e descarte, além da avaliação da pegada de carbono e da eficiência dos recursos.
3. **Normatização e Padronização:** Existe uma falta de normas e padrões específicos para a utilização de biomateriais na construção com terra. Isso dificulta a aceitação e a aplicação desses materiais em projetos de construção civil. A criação de diretrizes e certificações é fundamental para garantir a qualidade e a segurança.
4. **Desempenho em Condições Variáveis:** Poucas pesquisas abordam o desempenho de biomateriais em condições climáticas extremas ou em ambientes específicos, como regiões úmidas ou secas. Entender como esses materiais se comportam em diferentes condições pode ampliar sua aplicabilidade.
5. **Integração com Tecnologias Modernas:** A pesquisa sobre como integrar biomateriais com tecnologias modernas de construção, como impressão 3D ou sistemas de monitoramento inteligente, é escassa. Explorar essas interações pode levar a inovações significativas na construção sustentável.
6. **Aspectos Sociais e Culturais:** A aceitação e o uso de biomateriais na construção com terra também dependem de fatores sociais e culturais. Há uma lacuna na compreensão de como as percepções, tradições e práticas locais influenciam a adoção desses materiais em diferentes comunidades.

Este estudo propõe a realização de pesquisas futuras relacionadas ao avanço da reciclagem de resíduos aplicados a materiais terrosos, especialmente no que diz respeito a blocos de terra, uma área que ainda não foi explorada nos artigos revisados, mas que possui grande potencial. Uma nova análise regional é necessária, considerando que o Brasil é um dos maiores produtores agrícolas do mundo e ainda carece de estudos que incluam o aproveitamento de resíduos, especialmente efluentes, cuja gestão muitas vezes é inadequada, resultando no despejo direto de resíduos de matadouros no solo. Por fim, a metodologia de estudo deve considerar tanto a produção em larga escala quanto a produção manual, que está ligada às técnicas de construção com terra. A especificação da proporção correta dos materiais e o manejo adequado dos resíduos podem trazer soluções que beneficiem tanto a sociedade quanto o meio ambiente.



ARQUIMEMÓRIA 6

SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

RECONHECIMENTOS

Os autores agradecem à PRPPG/UNILA pelo apoio à pesquisa, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGECI) e ao apoio financeiro à pesquisa realizado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

REFERÊNCIAS:

Araya-Letelier, G., C. Araya, M. C. V. I. Hernández, e M. P. N. P. Matos. 2017. "Effectiveness of New Natural Fibers on Damage-Mechanical Performance of Mortar." *Construction and Building Materials* 152: 672–682.

BERALDO, Antonio Ludovico. 2020. *Utilização de Resíduos Agroindustriais na Construção*. São Paulo: Unicamp.

Brasil Produz 48 Milhões de Toneladas de Resíduos de Construção e Demolição. 2024. *Portal Sustentabilidade*, 23 de janeiro de 2024. <https://portalsustentabilidade.com/2024/01/23/brasil-produz-48-milhoes-de-toneladas-de-residuos-de-construcao-e-demolicao/#:~:text=O%20Brasil%20produziu%20cerca%20de%2048%20mil%C3%B5es%20de,Empresas%20de%20Limpeza%20P%C3%ABlica%20e%20Res%C3%ADduos%20Especiais%20%28Abrelpe%29.>

CHRAIBI, H., T. Benkhilil, A. O. Fadli, e A. Abba. 2022. "Investigation on the Use of Co-Products from Olive Oil Industry in Earth Bricks." *Materials Today: Proceedings* 58: 1044–1048.

CUNHA, Gabriel R., e Andréia Moassab. 2022. "Modernidade-Colonialidade na Construção da Hegemonia Tecnocientífica do Concreto Armado dos Países Dependentes." *PosFAUUSP* 29 (54): e176921. <https://doi.org/10.11606/issn.2317-2762.posfauusp.2022.176921>.

DE SOUZA, E. A., A. S. S. Val, M. B. N. A. M. A. R. da Silva, e A. M. R. dos Santos. 2024. "3D Printed Sustainable Low-Cost Materials for Construction of Affordable Social Housing in Brazil: Potential, Challenges, and Research Needs." *Journal of Building Engineering* 87: 108985.

DIGHE, B., M. R. Singh, e A. K. Pokharia. 2020. "Ancient Indian Techniques for Sustainable and Environmentally Friendly Decorative Earthen Plasters of Karla and Bhaja Caves, India." *Materials Today: Proceedings* 32: 536–543.

DINÇ-ŞENGÖNÜL, B., O. S. Erhan, e T. D. Kayalı. 2023. "Utilization of Waste Animal Blood as an Additive in Hydraulic Lime-Based Mortars." *Construction and Building Materials* 400: 132909.

CREE, Duncan, e Prosper PLIYA. 2019. "Effect of Elevated Temperature on Eggshell, Eggshell Powder and Eggshell Powder Mortars for Masonry Applications." *Journal of Building Engineering* 26: 100852.

EMBRAPA. "Tratamento de Dejetos Animais - Mudanças Climáticas." Disponível em: <https://www.atermaisdigital.cnptia.embrapa.br/web/mudancas-climaticas/mitigacao/tratamento-de-dejetos-animais>. Acesso em: 29 jun. 2024.

GATELLI, Rúbia. 2022. "Operadores Booleanos." *Biblioteca FURG*. https://biblioteca.furg.br/images/Novo_PortalCapes_OperadoresBooleanos1.pdf.



ARQUIMEMÓRIA 6

SALVADOR-BAHIA-BRASIL 2024

GOMES, C. P., F. M. Da Silva, e J. A. S. Chaves. 2021. "Impacto Ambiental e Gerenciamento de Resíduos Sólidos Advindos da Construção Civil no Brasil: Uma Revisão de Literatura." *Revista de Psicologia* 15 (55): 729–742.

GONÇALVES, Dias, e Maria Idália Gomes. 2012. "Construção de Terra Crua: Potencialidades e Questões em Aberto." *Cidades e Desenvolvimento*.

GUIMARÃES, Thays. 2022. "Superpopulação e Indústria Suja: Por Que Nova Délhi é uma das Cidades Mais Poluídas do Mundo." Disponível em: <https://oglobo.globo.com/mundo/noticia/2022/12/geografia-superpopulacao-e-industria-suja-por-que-nova-delhi-e-uma-das-cidades-mais-poluidas-do-mundo.ghml>. Acesso em: 29 jun. 2024.

HAO, Hong, Kaiming Bi, Wensu Chen, e Thong M. Phan. 2023. "Towards Next Generation Design of Sustainable, Durable, Multi-Hazard Resistant, Resilient, and Smart Civil Engineering Structures." *Engineering Structures* 277: 115477.

HEJAZI, Sayyed Mahdi, F. K. Zandi, e A. B. Ahmad. 2012. "A Simple Review of Soil Reinforcement by Using Natural and Synthetic Fibers." *Construction and Building Materials* 30: 100116.

JANNAT, N., Y. Z. Ali, e M. R. A. F. Faheem. 2022. "Influences of Agro-Wastes on the Physico-Mechanical and Durability Properties of Unfired Clay Blocks." *Construction and Building Materials* 318: 126011.

KUMAR SINGH, B., e Rajesh Kumar. 2023. "Novel Lightweight Portland Pozzolana Cement (PPC) Stabilized Mud Composites Using Crumb Rubber & Agricultural Waste: Physico-Mechanical and Thermal Performance." *Materials Today: Proceedings*.

LOSINI, A. E., M. S. C. Ferreira, e P. R. Campestrini. 2021. "Natural Additives and Biopolymers for Raw Earth Construction Stabilization – A Review." *Construction and Building Materials* 304: 124507.

MOSTAFA, M., e N. UDDIN. 2016. "Experimental Analysis of Compressed Earth Block (CEB) with Banana Fibers Resisting Flexural and Compression Forces." *Case Studies in Construction Materials* 5: 53–63.

NOR ARMAN, N. S., R. S. CHEN, e S. AHMAD. 2021. "Review of State-of-the-Art Studies on the Water Absorption Capacity of Agricultural Fiber-Reinforced Polymer Composites for Sustainable Construction." *Construction and Building Materials* 302: 124174.

NSHIMIYIMANA, P., P. M. K. T. Nshimiyimana, e H. B. Thep. 2020. "Thermophysical and Mechanical Properties of Compressed Earth Blocks Containing Fibres: By-Product of Okra Plant and Polymer Waste." *WIT Transactions on The Built Environment* 195: 149–161.

PACHECO, CSGR, RP SANTOS, JF ARAÚJO, e MB MOREIRA. 2022. "Impactos da Agricultura Convencional sobre o Solo, a Água e os Processos Produtivos Agrícolas: A Necessidade de Transição Agroecológica em Áreas Paleodunares." *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais* 13 (5): 23-40. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.005.0003>.

PARLATO, M. C. M., C. RIVERA-GÓMEZ, e S. M. C. PORTO. 2023. "Reuse of Livestock Waste for the Reinforcement of Rammed-Earth Materials: Investigation on Mechanical Performances." *Journal of Agricultural Engineering* 54 (2): 1 ago.

PEREIRA, L. A., M. CAROLINA, e T. A. PEREIRA. "[A Agricultura e Suas Relações com o Ambiente.]" 2024. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/875476/1/A-agricultura-e-sua-relacoes-com-o-ambiente..pdf>. Acesso em: 08 de jun. 2024.



SHARMA, T., et al. 2024. "Implications of Agro-Industrial Wastes on the Durability and Erosion Characteristics of Unfired Soil-Blocks Reinforced with Paddy Straw Fibers: Sustainable Earth Construction." *Journal of Engineered Fibers and Fabrics* 19: 1 jan.

VENTOL, L., e M. C. Leão. 2011. "Traditional Organic Additives Improve Lime Mortars: New Old Materials for Restoration and Building Natural Stone Fabrics." *Construction and Building Materials* 25 (8): 3313–3318.

ZHANG, K., et al. 2018. "Mortar Mixes with Oxblood: Historical Background, Model Sample Recipes and Properties." *Advances in Geosciences* 45: 19–24.