

**Análise de cenário atual de produção de Bloco de Terra Comprimida
(BTC)**

Jeferson Fernando Corrêa Antonelli

Mestrando, UNESP, Brasil
j.antonelli@unesp.br

Maximiliano dos Anjos Azambuja

Professor Doutor, UNESP, Brasil
m.azambuja@unesp.br

RESUMO

O principal objetivo deste estudo é identificar os parâmetros que influenciam na qualidade da produção de blocos de terra comprimida (BTC). Assim, foi realizada uma análise do desempenho dos materiais que compõem o produto final, como os aglomerantes que atuam como estabilizadores químicos e os diferentes tipos de solos, também os testes de resistência mecânica e de durabilidade e por fim as normas técnicas que padronizam a sua fabricação. Para tanto, foi realizada uma revisão da literatura em três bases eletrônicas de dados, Scopus, Web of Science e Scielo. Os resultados mostraram preocupações ambientais com a utilização do cimento Portland para estabilização, portanto, 18 % dos estudos utilizaram resíduos agrícolas e 25% utilizaram subprodutos minerais, para substituição parcial ou total do cimento Portland. Solos com índices de plasticidade entre 15% e 30% têm uma taxa de sucesso de estabilização de 69%, enquanto solos com índice de plasticidade menor que 15% têm uma estabilização maior que 93%, que pode ser aumentada para 100% se o solo tiver uma porcentagem de argila e silte entre 21 e 35%. Por outro lado, um índice de plasticidade acima de 30% afeta negativamente a estabilização. A energia de compactação aplicada na fabricação de BTC é um importante parâmetro, pois influencia na densidade, condutividade térmica e resistência mecânica. Dentre as técnicas de construção sustentável, o BTC é uma ótima opção, pois pode ser feito localmente e com facilidade de construção.

PALAVRAS-CHAVE: Solo-cimento. BTC. Tijolo ecológico.

1 INTRODUÇÃO

O abrigo é uma das necessidades básicas do ser humano, e a falta de recursos e o custo cada vez maior dos materiais motivaram os engenheiros e arquitetos a encontrar novas alternativas aos materiais de construção convencionais (aço, concreto e tijolo queimado) por exemplo o BTC, que é fabricado por uma mistura de solo úmido compactado em uma prensa operada manualmente ou mecanicamente, hidráulica ou manual, para obter um bloco de alta densidade.

O desempenho do BTC é gerido pelos requisitos das normas de construção, onde as características do solo, principalmente a distribuição do tamanho dos grãos, são de grande importância, segundo Kasinikota; Tripura (2021) cada fração de solo tem impacto significativo no comportamento mecânico e uma pequena variação na granulometria pode alterar a estrutura do solo, a plasticidade, a coesão e a permeabilidade. Existem alguns fatores que contribuem para a eficácia dos blocos, tais como: granulometria do solo, teor de água de mistura, energia de compactação e tipo e quantidade de estabilizadores. No entanto se o controle tecnológico não for bem executado os blocos podem apresentar desvantagens de limitações de resistência à compressão, perda de resistência à saturação, menor durabilidade, fissuração por contração e baixa estabilidade dimensional, o que também limita o número de andares usados em edifícios (Danso, 2017; Elahi *et al*, 2020).

Outro fator importante para um bom desempenho é a utilização do cimento como um estabilizador químico, pois ele contribui nas propriedades de resistência e durabilidade necessárias para os blocos, em média, 10% de cimento em peso da mistura de solo (Hany *et al* 2021), entretanto, a fabricação do cimento produz quantidades significativas de gases de efeito estufa, que criaram muitos problemas ambientais ao longo dos anos. Por isso, as pesquisas procuram outras fontes de estabilizadores, que sejam sustentáveis e ecológicos, tais como os resíduos e subprodutos industriais (Rivera *et al*, 2021).

As principais vantagens do BTC, em relação aos materiais convencionais, como material de construção são: redução de emissões de óxidos de carbono, alto isolamento térmico e acústico, menor consumo de energia, diminuição dos custos de transporte, além da fácil

acessibilidade, juntamente com melhoria da economia local (Elahi *et al* 2021; Sekhar e Nayak, 2018; Seco *et al*, 2017).

Por tanto, este trabalho distingue os principais achados da literatura recente para produção de blocos de terra comprimida.

2 OBJETIVO

Esse estudo realizou um levantamento de documentos científicos sobre os principais parâmetros que influenciam na qualidade da produção de bloco de terra comprimida (BTC), como aglomerantes, tipos de solo, normas técnicas para produção e análise de desempenho, no período de 2017 a 2021, em três bases de dados Scopus, Web of Science e SCIELO.

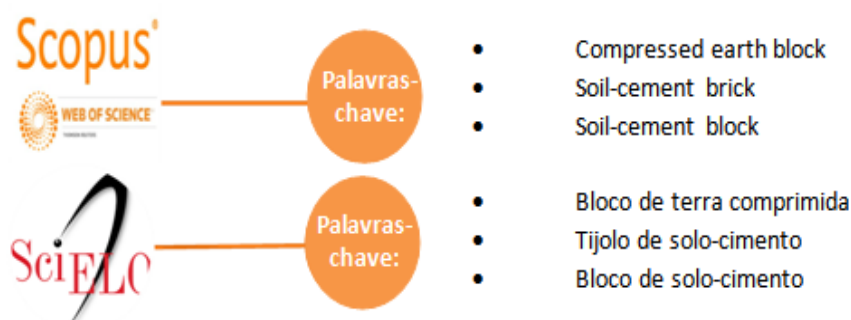
3 MÉTODO

3.1 Bases de dados e palavras-chave

Para executar a busca de documentos que retratasse o objetivo do trabalho, averiguou-se os termos e definições divulgados sobre blocos de solo-cimento na norma brasileira ABNT NBR 10834:2012 que estabelece os requisitos para o recebimento de blocos de solo-cimento, destinados à execução de alvenaria sem função estrutural. Com essas informações preliminares elaborou-se conjuntos de palavras-chave para busca por artigos científicos nos bancos de dados eletrônicos: Scopus, Web of Science e Scielo.

Para Scopus e Web of Science foram utilizadas as palavras-chave: Compressed earth block, Soil-cement brick e Soil-cement block. Para Scielo, por se tratar de uma base de dados brasileira, foram utilizadas as palavras-chave em português: Bloco de terra comprimida, Tijolo solo-cimento e Bloco solo-cimento (Figura 1).

Figura 1: Base de dados e palavras-chave



Fonte: WEB SITE DAS BASES DE DADOS, EDITADO PELOS AUTORES, 2021

3.2 Filtros

Os resultados de número de trabalhos encontrados foram delimitados por filtros (Figura 2), apresentados de F1 a F7:

F1 - Campos selecionados: título do artigo, resumo e palavras-chave.

F2 - Trabalhos publicados no período de 2017 a 2021.

F3 - Somente artigos: exclusão de trabalhos de conferências, capítulos de livros e revisões sistemáticas da literatura.

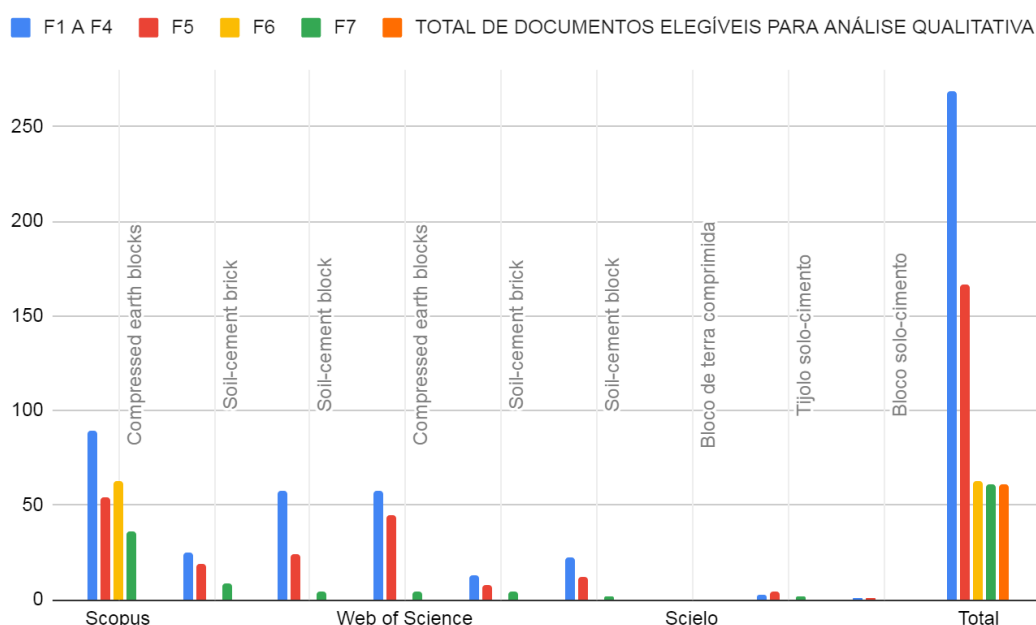
F4 - Artigos restritos às áreas de arquitetura, engenharia, ciências sociais, artes e humanidades.

F5 - Periódicos classificados como A1, A2, B1 e B2 pelo sistema brasileiro de avaliação da qualidade, QUALIS/CAPES, quadriênio 2013-2016.

F6 – Subtração de documentos por duplicidade entre as bases.

F7 – Subtração de documentos por falta de aderência com o objetivo da pesquisa.

Figura 2: Identificação e Filtro de trabalhos



Fonte: AUTORES, 2021

Para análise de conteúdo do presente trabalho, foram inseridos 61 artigos. Os resultados e discussões serão apresentados em 4 seções:

- Análise da produção bibliográfica do recorte
- Materiais
- Métodos de produção de BTC
- Avaliação de desempenho

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise da produção bibliográfica do recorte

Entre os 61 artigos, o ano de 2020 se destaca em publicações, no qual o número de trabalhos mais que dobrou em relação a 2019 (Tabela 1). O interesse em desenvolver tecnologia com o material de terra estabilizado é cada vez maior, isso devido às preocupações com processos de produção de materiais de alvenaria, principalmente com produções de alto consumo de energia incorporada, e emissões de dióxido de carbono. Existe interesse de toda

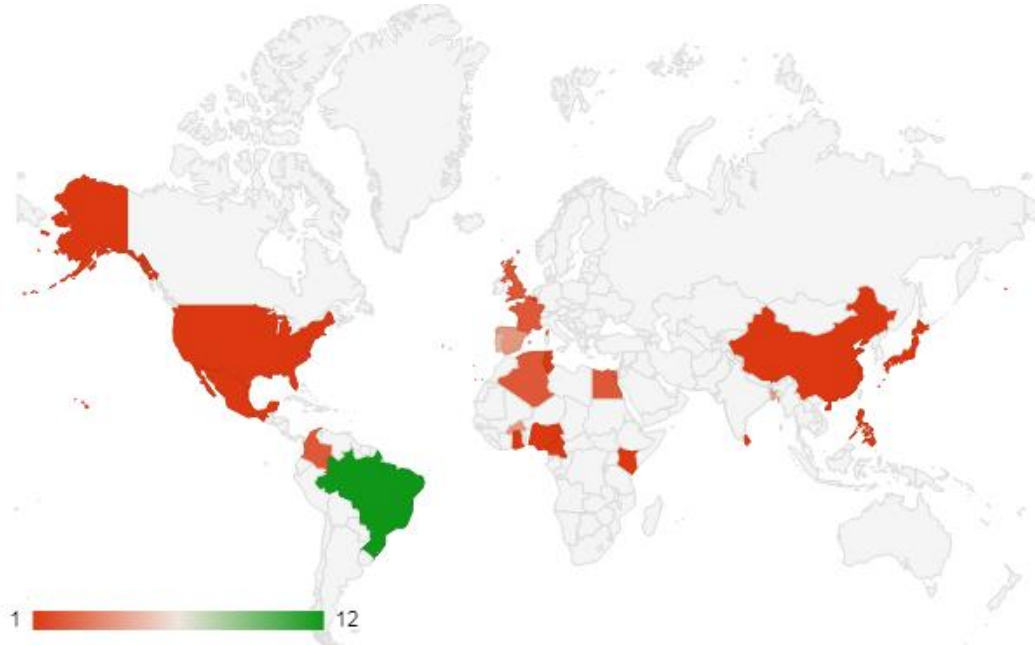
parte do mundo em pesquisar BTC, desde países em desenvolvimento, como Brasil, China e Índia, e nações desenvolvidas como, Espanha, Portugal, Inglaterra, França e EUA (Figura 2).

Tabela 1: Número de documentos versus ano

Ano	2021	2020	2019	2018	2017
Nº de Documentos	11	17	8	13	12

Fonte: AUTORES, 2021

Figura 2: Produção por país



Fonte: AUTORES, 2021

Dos 61 documentos, 31 pertencem ao periódico *Construction and Building Materials*, correspondente a 50,8% do total da amostra. Os autores mais citados no período foram Sekhar; Nayak (2018) com 36 citações na Scopus e 27 na Web of Science. As universidades que mais se destacam no presente recorte são: Bangladesh University of Engineering Technology e Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement de Burkina Faso, com 6 e 5 artigos publicados respectivamente.

4.2 Materiais

4.2.1 Estabilizadores

Para produção de BTC normalmente é utilizado como estabilizador o cimento Portland, em média 10% em massa. Com as preocupações ambientais, sobretudo com as mudanças climáticas, as pesquisas procuram utilizar produtos e/ou subprodutos de baixa pegada ambiental para substituição parcial, ou total do cimento Portland. Nesta pesquisa não foi diferente, 18% das investigações utilizaram resíduos agrícolas, como a cinza de casca de arroz, objeto de seis estudos e a cinza de bagaço de cana-de-açúcar, de três trabalhos. Outros quinze

estudos utilizaram subprodutos minerais: escória granulada de alto forno, metacaulim, sílica ativa, resíduo de carbonato de cálcio, em destaque está a cinza volante com nove análises.

4.2.1.1 Estabilizadores Minerais

Hany *et al* (2021) investigaram a produção de duas misturas de BTC com proporções de 90% de solo + 10% de cimento e preparadas com pressões de compactação diferentes de 9 N/mm² e 16 N/mm², com resultado de resistência à compressão de 6,99 e 8,58 N/mm² respectivamente. Outras seis misturas foram preparadas usando cinza volante, sílica ativa, metacaulim, cinza de casca de arroz e escória granulada de alto forno, como substituição parcial ou total do cimento. O uso de cinzas volantes ativadas por álcali e escória granulada de alto forno como substituição de cimento por proporções de 80% e 100%, respectivamente, foi superior na estabilização de BTC com resistência à compressão competitiva em relação aos estabilizados por cimento. No entanto, a estabilização de cimento em BTC exibe menores vazios e maior resistência à água, resultando em melhor durabilidade em comparação a outros estabilizadores. A substituição de 0,25% de solo por casca de arroz mais adição de 10% de cimento tem um efeito significativo no aumento da resistência à compressão e resistência à água dos BTCs produzidos devido ao seu efeito de reforço.

Elahi *et al* (2020) avaliaram o desempenho de resistência e durabilidade. Os BTCs foram preparados com 4%, 6%, 8% e 10% de cimento e 0%, 10%, 20%, 30% de cinza volante. Para 4% e 6% de cimento, o teor ideal de cinza volante foi de 10%. Para 8% de cimento, 20% de cinza volante, e para 10% de cimento o teor ideal de cinza volante foi de 30%. A resistência à compressão úmida, com 6% de cimento e adição de 10% de cinza volante é adequada para fornecer uma relação de resistência úmida-seca maior que 0,33 atendendo às recomendações de Minguela (2017). O teor de 8% de cimento com 10% de cinza volante atende ao critério, já com 10% de cimento qualquer quantidade de cinza volante é suficiente para tornar os blocos duráveis. Em outro artigo de Elahi *et al* (2021) sobre investigação de desempenho de BTC estabilizado com cimento e cinza volante, concluiu-se que para resistência à compressão o teor de 20% de cinza volante com 5% ou 7% de cimento satisfaz o critério sugerido por diferentes normas. Islam *et al* (2020) encontraram a composição de mistura ideal em termos de resistência, durabilidade, características de deformação e eficácia de custo. A inclusão de 7% ou 8% de cimento e 15% a 20% de cinza volante fornece resistência à compressão seca maior que 5 MPa, resistência à compressão úmida-seca maior que 0,33 e durabilidade suficiente em termos de absorção de água menor que 20%, conforme recomendado pela BS 3921:1985 e Standards Australia:2002.

Sekhar; Nayak (2018) estudaram a utilização de escória granulada de alto forno e cimento na fabricação de BTC. Tanto os BTCs preparados com 75% de solo de argila litomárgica + 25% de escória granulada de alto forno + 10% de cimento, quanto os preparados com 80% de solo laterítico + 20% de escória + 6% de cimento podem ser utilizados para a construção de paredes de suporte de carga. Seco *et al* (2017) em seus experimentos analisaram várias combinações de solo+areia e diferentes estabilizadores, como cimento Portland, cal hidráulica,

PC-8¹, CL-90-S², e escória granulada de alto forno. Os melhores resultados de resistência mecânica e durabilidade foram obtidos com a mistura de PC-8 + escória granulada de alto forno, com valores entre 11,1 e 13,7 MPa.

Akinyemi; Orogbade; Okoro (2021) investigaram as propriedades físicas, mecânicas, térmicas e microestruturais de tijolos de argila de cupinzeiros estabilizados com resíduos de carboneto de cálcio. Foram realizadas quatro diferentes proporções de mistura: 0%, 10%, 20%, e 30% de cimento combinados com substituição de 0%, 10%, 20% e 30% de resíduo de carboneto de cálcio, todas com adição de aditivo químico de 0,1 g. O estudo mostrou que a incorporação de 10% de carbonato de cálcio, 20% de cimento e um aditivo químico 0,1g em solo de argila de cupinzeiro, atingiu resistência à compressão úmida de 3,0 MPa, menor retração e absorção de água abaixo de 15% após 24 hs, em conclusão essa dosagem ajudaria no desenvolvimento de BTC.

Nshimiyimana *et al* (2021) avaliaram a durabilidade de BTCs com 0% a 25% em massa de resíduo de carboneto de cálcio (RCC) e solo. Os indicadores de durabilidade atingiram valores ótimos com 10% a 15% de resíduo de carboneto de cálcio. O coeficiente de absorção capilar ficou abaixo do limite recomendado de 20 g/cm².min^{1/2}, com 15% de resíduo de carboneto de cálcio atingiu-se os valores mínimos de 9,9 g/cm². min^{1/2}. O coeficiente de abrasão dos BTCs estabilizados foi superior aos 7 g/cm² necessários para uso em alvenaria de fachada e atingiu 16 g/cm² com 15% de resíduo de carboneto de cálcio. A estabilização com o RCC de 10% a 25% aumentou a resistência à abrasão e a resistência à compressão dos BTCs após os ciclos de secagem e molhagem. Os autores apontaram que a estabilização com pelo menos 10% de resíduo de carboneto de cálcio é benéfica para a durabilidade a longo prazo dos BTCs. No entanto, a absorção de água aumentou de 18 % para 24% e excedeu os limites de 15% a 20% recomendado para uso em um ambiente úmido. Os mesmos autores em 2020 publicaram um artigo avaliando a resistência à compressão de BTC estabilizado com 0 a 20% em massa de resíduo de carboneto de cálcio, e concluíram que o melhor teor de estabilizante foi de 20% em qualquer solo do estudo.

Chaibedra; Kharchi (2019) estudaram o impacto dos sulfatos no comportamento dos BTCs estabilizados com diferentes formulações de ligantes à base de cimento e cal. Os blocos foram submetidos à cura química de referência, envolvendo sulfatos e água. Os sulfatos são muito prejudiciais no caso do solo fino com incorporação de cal, já o solo grosso estabilizado com cimento resiste melhor ao ataque do sulfato. Bezerra; Azeredo (2019) avaliaram a influência do tempo de absorção capilar e da concentração de íons sulfato em BTCs estabilizados com 12% de cimento, expostos ao ataque de sulfato. O tempo de absorção capilar influenciou no desgaste das amostras, em geral, intervalos de exposição mais longos causaram maiores danos. A fragmentação e o craqueamento ocorreram em amostras testadas com tempo de absorção capilar de 1 semana e de 2 semanas, usando concentração de sulfato de sódio de 10%.

Santos *et al* (2020) estudaram três diferentes teores de cimento Portland 6%, 9% e 12% no solo. Os resultados mostraram resistência à compressão de até 5 MPa aos 28 dias para os tipos de solos estudados com 12% de cimento Portland. Os autores concluíram que 9% de

¹ PC-8 é um subproduto rico em Mg, obtido durante a produção de magnesita calcinada por meio da calcinação de rochas naturais de MgCO₃ até 1100 °C.

² CL-90-S: cal hidratada calcária, obtida a partir de calcário puro queimado.

cimento Portland nos diferentes solos estudados é suficiente para atingir a resistência à compressão mínima exigida pela norma NBR 8491:2012. Outro estudo de estabilização com cimento Portland para BTC foi de Bogas *et al* (2019), foram realizadas duas composições, ambas de solo arenoso com substituição de 15% de agregado reciclado, uma com adição de 8% de cimento e outra com adição de 4% de cimento + 4% de cal, concluíram que BTC estabilizado com 4% de cimento + 4% de cal, foi suficiente para produzir BTC resistente à compressão e absorção de água.

4.2.1.2 Estabilizadores Agrícolas

Hany *et al* (2021) avaliaram o uso de subprodutos industriais como substituição parcial ou total do cimento, como por exemplo, a cinza de casca de arroz, e concluíram que os materiais são promissores na produção de BTC, pois todos os tijolos produzidos satisfizeram os requisitos mínimos exigidos pela norma egípcia para a categoria A. A substituição de 10% de cimento em massa por de cinza de casca de arroz sem nenhum tratamento, alcançou o melhor valor de resistência à compressão entre todas as misturas avaliadas. Yatawara; Athukorala (2021) recomendaram substituir no máximo 7,5% de solo argiloso por cinza de casca de arroz na fabricação de BTC para paredes não estruturais. Nshimiyimana *et al* (2019) estudaram estabilização de BTC com resíduo de carboneto de cálcio tanto misturado com cinza de casca de arroz quanto sem a cinza e descobriram que a cinza de casca de arroz acelera a cura em soluções de mistura para atingir a maturidade da reação em 28 dias, em comparação ao carbonato de cálcio que atingiu a maturação de reação após 45 dias. Segundo Fundi *et al* (2018) a adição de 1% de cinza de casca de arroz em uma mistura de 3% de cal com 6% de cimento pozolânico em solo de laterita, exibiu a maior resistência à compressão aos 28 dias. Ferreira; Cunha (2017) avaliaram a influência de algumas plantas na produção de BTC, entre algumas misturas a cinza de casca de arroz foi adicionada em 10%, 20%, 30% e 40% em substituição ao teor de 10% de cimento. O teor de 10% de cinza de casca de arroz levou à melhor qualidade técnica.

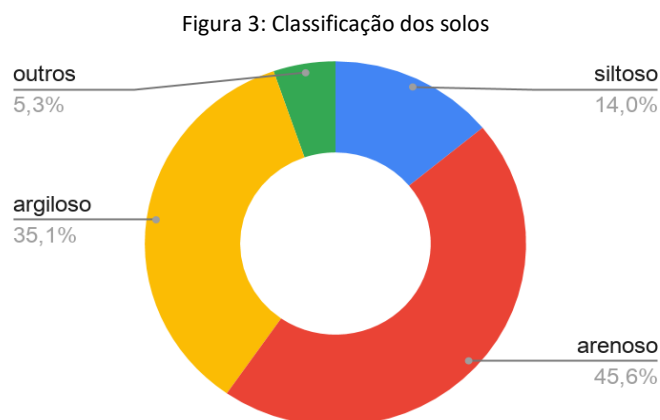
Moura *et al* (2021) caracterizaram e utilizaram a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) como material cimentício suplementar na produção de BTC, nas proporções de 10%, 20% e 50% em massa. A caracterização química da CBC indicou a presença de sílica cristalina na forma de quartzo e cristobalita. A substituição de 20% de cimento por cinza de bagaço de cana-de-açúcar apresentou a maior resistência à compressão simples. Jordan *et al* (2019) avaliaram o efeito da cinza do bagaço da cana-de-açúcar sem tratamento, na resistência à compressão e no índice de absorção de água de BTC. Foram produzidos BTCs com adições de 0%, 30% e 40% de cinza de bagaço de cana-de-açúcar. Os resultados foram de 1,27 MPa, 1,3 MPa e 1,88 MPa, e não atingiram os valores mínimos estabelecidos pela norma NBR 10834:2012 (nem mesmo a composição que não continha cinza de bagaço de cana-de-açúcar), que recomenda resistência à compressão média $\geq 2,0$ MPa e valor absoluto $\geq 1,7$ MPa.

4.2.2 Propriedades do solo

A caracterização da distribuição do tamanho de partícula do solo é uma etapa fundamental na avaliação da aptidão do solo para a construção em terra. O solo é constituído por partículas de tamanho variável, nomeadamente argila, silte e areia (Figura 3), que se

misturam, e seu comportamento é previsto pela presença relativa dessas partículas (LEITÃO *et al*, 2017).

Nesta amostra, a predominância é para solos arenosos, com 28 estudos, seguidos pelos argilosos (21), siltosos (9) e outros com 3 estudos, realizados com finos de pedra, processo de lavagem de agregados e resíduo de calcário.



Fonte: AUTORES, 2021

Azevedo *et al* (2019) utilizaram solo com predominância de argila em sua composição, 49%; um percentual elevado de argila é um grande problema para BTC, pois favorece o aparecimento de fissuras após o processo de hidratação, que afetam a eficácia do produto final, de modo que o autor adicionou à mistura quatro teores de areia de 27%, 25,5%, 24% e 22,5%. Neste contexto, Cottrell *et al* (2021) precisaram corrigir a granulometria do solo, de aproximadamente 22% de argila, 56% de silte e 22% de areia, e o guia seguido pelo autor, Earth Masonry: Design and Construction Guidelines, recomenda um teor entre 25% e 50% de areia, com isso o autor incorporou 20% de areia à mistura. Serbah *et al* (2018) fizeram a correção com 30% de areia natural para atender às recomendações normativas.

Kasinikota; Tripura (2021) alteraram a distribuição do tamanho de grão do solo original, que configurava em 2,65% de areia, 67,21% de silte e 30,14% de argila, pois estavam fora do recomendado pelas normas IS 1725:2013 e HB 195:2002 para produzir BTC, as normas recomendam um teor de areia de 30–75% e 50–80% respectivamente. Os autores reconstruíram a curva granulométrica do solo, com a nova configuração em, 70,41% de areia, 20,53% de silte e 9,06% de argila. Yatawara; Athukorala (2021) também tiveram incompatibilidade da amostra de solo com a norma SLS 1382:2009, os valores foram 33,9%, 27,8% e 38,3% de silte, argila e areia respectivamente. A norma recomenda 5–20% de partículas de silte, 10–15% de partículas de argila e 65% de partículas de areia e cascalho em uma amostra de solo para BTC. Os autores mitigaram o problema com a estabilização do solo com cinza de casca de arroz e cimento. Lavie Arsène *et al* (2020) incorporaram ao solo três tipos de agregados - calcário, arenito e pórfiro - para obter um tamanho de partícula otimizado para BTC.

A resistência final dos blocos está amplamente relacionada à distribuição granulométrica do solo utilizado para obtenção de elementos compactados com propriedades ótimas, incluindo resistência mecânica, baixa permeabilidade e maior durabilidade. Solos com índices de plasticidade entre 15% e 30% têm uma taxa de sucesso de estabilização de 69%,

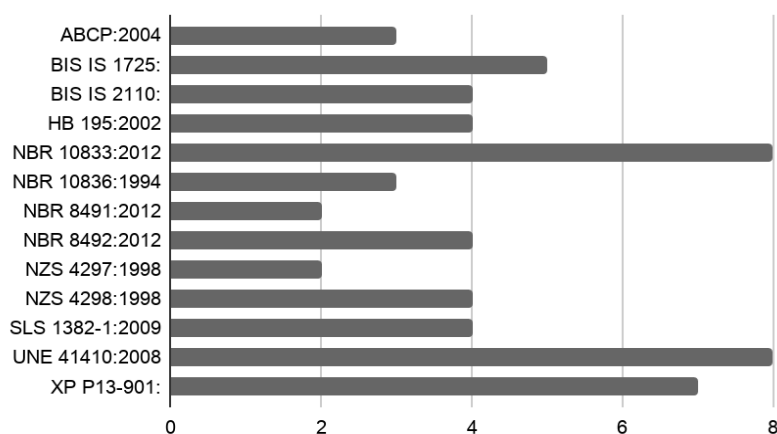
enquanto solos com índice de plasticidade menor que 15% têm uma maior estabilização, acima de 93%, que pode ser aumentada para 100% se o solo tiver uma porcentagem de argila/silte entre 21% e 35%. Por outro lado, um solo com índice de plasticidade acima de 30% afeta negativamente a estabilização (RIVERA, 2020).

4.3 Métodos para produção de BTC

Com os materiais caracterizados e as proporções de mistura definidas, a próxima etapa é destinada à produção do BTC, normalmente esse processo é desenvolvido seguindo recomendações normativas. Os materiais misturados são transportados para moldes que variam de dimensões, influenciados pela máquina de compactação ou pela recomendação normativa. Outros fatores importantes nesse momento são: o teor ótimo de água, densidade seca máxima e a energia de compactação, pois influenciam diretamente na estabilização do BTC.

As normas mais citadas no recorte estão elencadas no gráfico de barras (Figura 4) e o Quadro 1 apresenta suas características. As normas mais seguidas para manufatura de BTC no Brasil - NBR 8491:2012 e NBR 10834:2012 - apresentam os requisitos para tijolo e bloco de solo-cimento, já a NBR 8492:2012 e NBR 10836:2012 relatam o método de ensaio de determinação da resistência à compressão e de absorção de água. A NBR 10833:2012 demonstra o processo de fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com a utilização de prensa hidráulica ou mecânica. As normas brasileiras deixaram de executar o ensaio de durabilidade por congelamento e degelo, uma vez que não há região brasileira onde esse efeito ambiental tenha peso considerável (ABCP, 2004).

Figura 4: Normas mais citadas para produção de BTC



Fonte: AUTORES, 2021

Quadro 1: Parâmetros de produção de BTC

NORMA	SOLO	ESTABILIZADOR (%)	DIMENSÕES (mm)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	RESISTÊNCIA À EROSÃO	MOLHAGEM E SECAGEM
NBR 10833:2012	LL: ≤ 45% IP: ≤ 18%	Cimento	Tipo A: 200X100X50	Média ≥ 2,0	Média ≤ 20	Nada consta	Nada consta
NBR 8491:2012 NBR 8492:2012 BRASIL	100% ≤ 4,75 mm 10% a 50% ≤ 0,075 mm		Tipo B: 240X120X70	Individual ≥ 1,7	Individual ≤ 22		

Quadro 1: Parâmetros de produção de BTC (continuação)

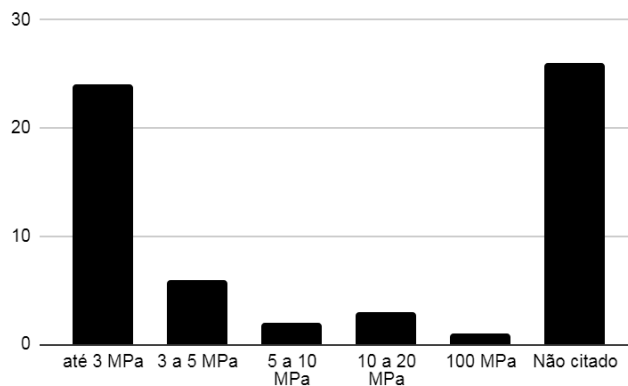
NORMA	SOLO		ESTABILIZADOR (%)	DIMENSÕES (mm)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	RESISTÊNCIA À EROSIÃO	MOLHAGEM E SECAGEM
UNE 41410:2008 ESPANHA	25% ≤ LL ≤ 50%	5% ≤ IP ≤ 25%	Cimento, Cal e Gesso ≤ 15	Fabricante deve determinar, desde que atenda a UNE-EN 772 16:2001	BTC-C1: 1,3 - BTC-C3: 3,0 - BTC-C5: 5,0	Nada Consta	Bloco adequado 0 ≤ D ≤ 10	6 ciclos: sem fissura, rachadura, inchaço, furos, fragmentos e Eflorescência
	Argila: ≥ 10%; Matéria orgânica ≤ 2% e sais solúveis ≤ 2%						Bloco sem adequação D > 10	
XP P13- 901:2001 FRANÇA	25-50	2.5-29	Ligante hidráulico, atender as normas NF P 15 300 e NF P15-301	Mais comuns 295x140x95	Seco: BTC 20 ≥ 2 - BTC 40 ≥ 4- BTC 60 ≥ 6	Nada consta	Nada consta	Nada consta
	Cascalho: 0-40% Areia: 25-80%; Silte: 10-25% e Argila: 8- 30%			220x220x95	Úmido: BTC 20 ≥ 1 - BTC 40 ≥ 2 - BTC 60 ≥ 3			
NZS 4298:1998 NOVA ZELÂNDIA	Nada consta		Cimento ≤ 15	290- 300x140x90- 102	≥ 1.3 ≥ 3.2	Nada consta	Índice de 1 a 5: 0 ≤ D < 20 20 ≤ D < 50; 50 ≤ D < 90; 90 ≤ D < 120 D ≤ 120	6 ciclos: sem fissura, rachadura, inchaço, furos, fragmentos e Eflorescência
SLS 1382- 1:2009 SRI LANKA	IP ≤ 12		Cimento	230x110x75; 240x115x90; 290x140x90; 220x140x130; 220x220x130	Seco: Grau 1: ≥6; Grau 2: ≥4≤6; Grau 3: ≥2,8≤4	<15	<10 mm	Nada consta
	Areia + cascalho > 65%; Silte 5% 20% e Argila 10% - 15%				Úmida: Grau 1: >2.4; Grau 2: >1.6 ≤ 2.4; Grau 3: >1.2 ≤ 1.6			
BIS IS 1725:2013 ÍNDIA	LL ≤ 30		Cimento e Cal	190X90X90 190X90X40 290X190X90 290X140X90 240X240X90	3.5	≤ 18	Nada Consta	Nada consta
	Argila: 5-18 %; Silte: 10-40%; Areia: 50- 80% e Cascalho: 0- 10%							

Fonte: AUTORES, 2021

A energia de compactação aplicada na fabricação de BTC é importante, pois influencia diretamente a resistência e durabilidade dos blocos. Hany et al (2021) demonstraram essa questão através de duas pressões de compactação diferentes, de 9 MPa e 16 MPa, os resultados foram 6,99 e 8,58 N/mm² respectivamente, portanto o aumento na pressão de compactação aumenta a resistência à compressão em cerca de 22,7% devido à diminuição do conteúdo de

vazios. Elahi et al (2021) demonstraram que com o aumento da energia de compactação de 3,33 Kg/cm² para 7,77 Kg/cm², há aumento da densidade das amostras de 4 a 9%, dependendo da quantidade adicionada de cinza e a resistência à compressão é melhorada significativamente de 15 a 29%. Bruno et al (2017) aplicaram uma super energia de 100 MPa e obtiveram como resultado blocos com resistência à compressão de 14,6 MPa. Os autores também relataram que a rigidez e resistência do bloco tendem a crescer à medida que o tempo de carga durante a fabricação aumenta em até 20 minutos. Para tempos de estabilização mais longos a rigidez e a força permanecem praticamente inalteradas. Isso sugere que, embora um tempo de consolidação muito longo seja geralmente desnecessário, uma compactação rápida de apenas alguns segundos, como acontece frequentemente na prática de construção atual, não pode garantir as melhores propriedades mecânicas. De modo geral os estudos utilizam uma carga de no máximo 5 MPa, que são condizentes com as prensas manual e mecânica, com operação hidráulica ou manual, disponíveis no mercado, 24 estudos não citam diretamente a energia de compactação, no entanto referenciam uma norma ou equação (Figura 5).

Figura 5: Energia de compactação



Fonte: AUTORES, 2021

Para determinar a quantidade de água para produzir BTC é realizado o teste proctor, que resulta no teor de umidade em que a densidade seca máxima da mistura é atingida por um determinado esforço de compactação (ELAHI *et al*, 2020). Além do ensaio proctor outras técnicas também são utilizadas, Sekhar e Nayak (2018) fizeram o teste de Drop ball para obter a quantidade de água necessária para adquirir um bloco de boa qualidade, por sua vez, HANY *et al* (2021) utilizaram o teste de queda, conforme as orientações do guia de construção com terra australiano. A norma SLS 1382:1 menciona que o teor de umidade deve ser inferior a 15% e a densidade seca deve ser superior a 1.750 kg/m³.

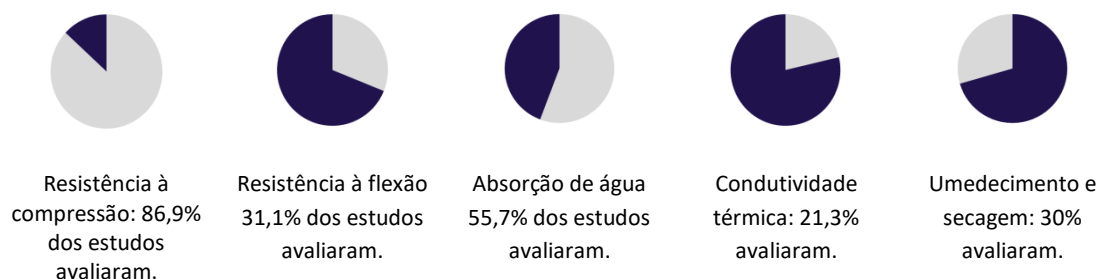
O tamanho de bloco mais utilizado no recorte é 290-300 (mm) comprimento × 140 (mm) largura × 95-100 (mm) altura, com 17 estudos. A escolha da geometria do BTC é um fator importante, pois segundo Cottrell *et al* (2021) ela influencia na resistência mecânica do bloco. Em experimento, com blocos sólidos, blocos com rebaixo na superfície e blocos furados, de dimensões de 300x150x90 mm, o bloco sólido exibiu maior resistência à compressão e flexão

com 6,73 MPa e 1,31 MPa, respectivamente, já o bloco sólido com rebaixo exibiu a menor resistência à compressão e flexão com 3,74 MPa e 0,63 MPa, respectivamente.

4.4 Avaliação de desempenho

Os dados extraídos das normas revelam uma unanimidade, a obrigatoriedade da avaliação de resistência à compressão, entretanto, na presente amostra de 61 artigos, 8 deles não avaliaram (Figura 6), pois os autores focaram no desempenho de durabilidade, por exemplo, Nshimiyimana *et al* (2021) realizaram testes de ciclos de umedecimento e secagem, absorção capilar de água, absorção total de água, resistência à erodibilidade da água e resistência à abrasão, o autor Danso (2017) optou pelo teste de erosão acelerada, por sua vez Bezerra e Azeredo (2019) estudaram a influência do tempo de absorção capilar e da concentração de íons sulfato em BTC expostos ao ataque de sulfato. Giorgi *et al* (2018) avaliaram o BTC sobre dois parâmetros da norma brasileira de desempenho (NBR 15575), habitabilidade (fator estanqueidade à água da chuva e permeabilidade à água) e de sustentabilidade (fator durabilidade) com a realização do ensaio de ação de calor e choque térmico. Em outro estudo dos autores Nshimiyimana *et al* (2019) citaram que quando não há perda de massa total sem fragmentação ou rachadura, é recomendado o monitoramento de resistência mecânica. Outro viés que foi abordado sem levar em conta a resistência à compressão, é a investigação de condutividade térmica, para os estudos de Saidi *et al* (2018); Balaji *et al* (2017); Leitão *et al* (2017).

Figura 6: Avaliação de desempenho de BTC



Fonte: AUTORES, 2021

A resistência à compressão e a absorção de água são as propriedades mais significativas e mais frequentemente usadas por vários pesquisadores para avaliar a adequação dos BTCs na construção (ISLAM *et al* 2020). A norma brasileira NBR 8492:2012 menciona somente os dois ensaios. Por esse motivo, serão apresentados em detalhes os principais resultados das pesquisas que avaliaram a resistência à compressão e a absorção de água.

4.4.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão é geralmente aceita como uma propriedade universal para determinar a qualidade de BTC. Em geral, está relacionada ao tipo de solo, ao tipo e quantidade de estabilizadores, à pressão e ao processo de compactação (Rivera *et al*, 2021; Teixeira *et al*, 2020; Elahi *et al*, 2020; Islam *et al*, 2020).

Os testes de resistência à compressão úmida e seca são conduzidos com o bloco entre as placas de carregamento com folhas de madeira compensada ou placas de aço que variam de 9mm a 15mm de espessura, para garantir uma carga distribuída uniformemente pela amostra. Para o teste de resistência a seco, as amostras são secas em estufa até massa constante e para o teste de resistência a úmido, as amostras são imersas em água por 24 h ou por 6 horas, dependendo da norma técnica.

Hany *et al* (2021) realizaram o teste para três estados de blocos: conforme recebido, seco no forno até peso constante e úmido por imersão em água por 24 h. Os resultados demonstraram que aos 28 dias de idade, o bloco seco teve maior resistência do que os recebidos, em cerca de 4-29%. Para o BTC úmido, houve uma diminuição de 2,5% a 41% em comparação aos recebidos. A maior resistência do bloco seco é atribuída ao aumento das forças entre as partículas de gel, devido à remoção do conteúdo de água como resultado do processo de secagem. Elahi *et al* (2020) fizeram a mesma constatação no aumento na resistência devido a presença de gel C-S-H (Silicato de Cálcio hidratado) que é formado devido à reação entre o cimento e o solo, e esse gel preenche os poros proporcionando maior resistência.

Além disso, Rivera-Gómez *et al* (2021) e Teixeira *et al* (2020) observaram uma correlação direta entre os resultados da densidade aparente seca do BTC e o desempenho mecânico, a maior densidade obtida pela compactação aumenta significativamente a resistência à compressão dos blocos, no entanto os autores ressaltam a atenção com o encolhimento do solo e problemas de cura.

Portanto, para obter um bom resultado de resistência à compressão, deve-se atribuir uma série de medidas de controle consideradas na fabricação dos blocos, como projeto de mistura, teor de água, dosagem de material e pressão de compactação (Cottrell *et al*, 2021).

4.4.2 Absorção de água

Para avaliar a absorção de água, os blocos são completamente secos em estufa mantida entre 100 a 105 °C, em seguida suas massas são registradas, após a pesagem os blocos são imersos na água por 24 horas, então eles são pesados novamente para determinar sua absorção de água. O limite máximo permitido varia de acordo com as normas técnicas, em geral de 15% a 20% (Sravan *et al* 2017; Seco *et al* 2017; Barros *et al*, 2020).

Segundo Nshimiyimana *et al* (2021) o indicador mais desafiador da durabilidade e estabilidade do BTC é a absorção de água, que pode afetar negativamente a resistência mecânica em condições úmidas. González-López *et al* (2018) demonstraram que a absorção de água está relacionada ao tipo e teor de estabilizadores. As amostras estabilizadas com cal absorveram quantidades semelhantes de água para as diferentes forças usadas para compactar. Em contrapartida, as amostras estabilizadas com cimento absorveram menos água e a ação de compactação com maior força resultou em um decréscimo de até 38%. Igualmente observado por Sekhar e Nayak (2018) onde a absorção de água diminui com o aumento do teor de cimento. Isso ocorreu devido à redução dos espaços vazios entre as partículas de solo que foram preenchidos pela formação de gel dos produtos pozolânicos e de hidratação do cimento. Os autores ainda relataram que a diminuição da absorção de água dos blocos estabilizados deve-se às interações do cimento com os silicatos de alumínio presentes no solo, reduzindo assim os vazios. Fundi *et al* (2018) produziram BTC com solo de laterita, e indicaram que o aumento da

dosagem de cimento levou à redução da absorção de água, devido o cimento unir as partículas de laterita, reduzindo os tamanhos dos poros. Os autores relataram também que a cal hidratada é usada na modificação do solo, pois os íons de cálcio da cal hidratada migram para a superfície das partículas de argila e deslocam a água e outros íons. Isso tem o efeito de secar o solo por meio da floculação das partículas. Os resultados mostram que a adição de 2% de cal na presença de 6% de cimento tem um efeito positivo no aumento da resistência à absorção de água dos blocos.

Rivera *et al* (2021) mencionaram que as propriedades dos blocos estão intimamente ligadas ao tipo de solo utilizado, sendo a textura do solo um parâmetro muito importante para a fabricação de BTC, nesse contexto, Seco *et al* (2017) observaram diferença significativa para os valores de absorção de água, que diminuíram com o aumento da porcentagem de areia. Conforme a porcentagem de areia nas amostras aumentava, a absorção capilar de água era mais rápida, mas como a areia tem uma afinidade menor com a água do que a argila, a quantidade total de água absorvida foi menor. Santos *et al* (2020) observaram que para compactação de solo argiloso é necessário maior volume de água, no entanto houve uma ligeira diminuição na absorção de água quando o teor de cimento aumentou no solo. Lavie *et al* (2020) reduziram a absorção de água do solo através da substituição de argila por agregados de menor absorção de água.

Outro fator observado sobre o teste de absorção de água pelos autores Gutiérrez-Orrego *et al* (2017) é que a absorção de água não variou de forma detectável quando o tempo de imersão foi aumentado de 24 h para 96 h, pois teve um aumento de apenas 1% após 96 h de imersão em água.

Por fim, vale ressaltar que a capacidade de absorção de água dos BTCs não é afetada apenas pelo tipo e quantidade de estabilizadores, mas também o tipo de solo, além dos parâmetros de produção, como a pressão de compactação e as condições de cura, portanto, a capacidade final de absorção de água dos blocos pode ser controlada pela otimização da produção inicial e pelas condições de cura (Nshimiyimana *et al*, 2020; Jordan *et al*, 2019; França *et al*, 2018).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa no período de 2017 a 2021, em três bases de dados - Scopus, Web of Science e SCIELO - reuniu dados relevantes para produção de bloco de terra comprimida (BTC) destacados a seguir.

O interesse de pesquisar BTC está por toda parte do mundo, desde países em desenvolvimento, como Brasil, China e Índia, a países desenvolvidos como, Espanha, Portugal, Inglaterra, França e EUA. Aproximadamente 51% da amostra dos documentos estudados foram publicados no periódico Construction and Building Materials. O autor mais citado no período foi Sekhar; Nayak (2018) com 36 citações na Scopus e 27 na Web of Science.

Atualmente existem preocupações com a utilização do cimento Portland para estabilização de BTC, devido às altas taxas de CO₂ geradas durante a produção do cimento, por isso, notou-se um crescimento de estudos que utilizaram outros estabilizantes. Cerca de 18% dos estudos utilizaram subprodutos agrícolas, como a cinza de casca de arroz e a cinza de bagaço de cana-de-açúcar e outros 15 estudos utilizaram resíduos minerais, tais como, escória

granulada de alto forno, metacaulim, sílica ativa, resíduo de carbonato de cálcio, em destaque a cinza volante, com 9 estudos, para substituição parcial ou total do cimento Portland.

Solos com índices de plasticidade entre 15% e 30% têm uma taxa de sucesso de estabilização de 69%, enquanto solos com índice de plasticidade menor que 15% têm uma estabilização maior que 93%, que pode ser aumentada para 100% se o solo tiver uma porcentagem de argila e silte entre 21 e 35%. É possível realizar correções no solo para aprimorar a qualidade do BTC produzido. A norma SLS 1382:1 menciona que o teor de umidade deve ser inferior a 15% e a densidade seca deve ser superior a 1.750 kg/m³.

A geometria do bloco influencia na resistência mecânica dos BTCs, os blocos sólidos exibem maior resistência à compressão em relação aos blocos sólidos com rebaixo ou furos. A energia de compactação aplicada na fabricação de BTC é muito importante, pois influencia na resistência dos blocos, com o aumento da energia de compactação obtém-se aumento de densidade e de resistência à compressão e diminuição da absorção de água.

A resistência à compressão é geralmente aceita como uma propriedade universal para determinar a qualidade de BTC. Em geral, a resistência à compressão está relacionada ao tipo de solo, ao tipo e quantidade de estabilizadores, à pressão e ao processo de compactação. Por fim, o indicador mais desafiador da durabilidade e estabilidade do BTC é a absorção de água.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP – Campus de Bauru) pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKINYEMI, B. A.; OROGBADE, B. O.; OKORO, C. W. The Potential of Calcium Carbide Waste and Termite Mound Soil as Materials in the Production of Unfired Clay Bricks. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123693, jan. 2021.
- AZEVEDO, A. R. G. et al. Assessing the Potential of Sludge Generated by the Pulp and Paper Industry in Assembling Locking Blocks. **Journal of Building Engineering**, v. 23, p. 334–340, maio 2019.
- BALAJI, N. C.; MANI, M.; VENKATARAMA REDDY, B. V. Thermal Conductivity Studies on Cement-Stabilised Soil Blocks. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials**, v. 170, n. 1, p. 40–54, fev. 2017.
- BARROS, M. M. et al. Ecological Bricks from Dimension Stone Waste and Polyester Resin. **Construction and Building Materials**, v. 232, p. 117252, jan. 2020.
- BEZERRA, W. V. D. C.; AZEREDO, G. A. External Sulfate Attack on Compressed Stabilized Earth Blocks. **Construction and Building Materials**, v. 200, p. 255–264, mar. 2019.
- BOGAS, J. A.; SILVA, M.; GLÓRIA GOMES, M. Unstabilized and Stabilized Compressed Earth Blocks with Partial Incorporation of Recycled Aggregates. **International Journal of Architectural Heritage**, v. 13, n. 4, p. 569–584, 19 maio 2019.
- BRUNO, A. W. et al. Mechanical Behaviour of Hypercompacted Earth for Building Construction. **Materials and Structures**, v. 50, n. 2, p. 160, abr. 2017.
- CHAIBEDDRA, S.; KHARCHI, F. Performance of Compressed Stabilized Earth Blocks in Sulphated Medium. **Journal of Building Engineering**, v. 25, p. 100814, set. 2019.
- COTTRELL, J. A. et al. An Investigation into the Influence of Geometry on Compressed Earth Building Blocks Using Finite Element Analysis. **Construction and Building Materials**, v. 273, p. 121997, mar. 2021.
- DANSO, H. Improving Water Resistance of Compressed Earth Blocks Enhanced with Different Natural Fibres. **The Open Construction and Building Technology Journal**, v. 11, n. 1, p. 433–440, 29 dez. 2017.

ELAHI, T. E. et al. Effectiveness of Saw Dust Ash and Cement for Fabrication of Compressed Stabilized Earth Blocks. **Construction and Building Materials**, v. 259, p. 120568, out. 2020a.

ELAHI, T. E. et al. Suitability of Fly Ash and Cement for Fabrication of Compressed Stabilized Earth Blocks. **Construction and Building Materials**, v. 263, p. 120935, dez. 2020b.

FERREIRA, R. de C.; CUNHA, A. H. N. Quality Evaluation of Soil-Cement-Plant Residue Bricks by the Combination of Destructive and Non-Destructive Tests. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 8, p. 543–549, ago. 2017.

FRANÇA, B. R. et al. Durability of Soil-Cement Blocks with the Incorporation of Limestone Residues from the Processing of Marble. **Materials Research**, v. 21, n. suppl 1, p. e20171118, 2018.

FUNDI, S. I.; KALULI, J. W.; KINUTHIA, J. Performance of Interlocking Laterite Soil Block Walls under Static Loading. **Construction and Building Materials**, v. 171, p. 75–82, maio 2018.

GIORGI, P. et al. Avaliação de sustentabilidade e habitabilidade de blocos de solo-cimento segundo a norma ABNT NBR 15575. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, n. 3, 18 out. 2018.

GONZÁLEZ-LÓPEZ, J. R. et al. Compaction Effect on the Compressive Strength and Durability of Stabilized Earth Blocks. **Construction and Building Materials**, v. 163, p. 179–188, fev. 2018.

GUTIÉRREZ-ORREGO, D. A.; GARCIA-ARISTIZABAL, E. F.; GOMEZ-BOTERO, M. A. Mechanical and Physical Properties of Soil-Cement Blocks Reinforced with Mineral Wool and Sisal Fiber. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 29, n. 3, p. 04016225, mar. 2017.

HANY, E. et al. Investigating the Mechanical and Thermal Properties of Compressed Earth Bricks Made by Eco-Friendly Stabilization Materials as Partial or Full Replacement of Cement. **Construction and Building Materials**, v. 281, p. 122535, abr. 2021.

ISLAM, M. S. et al. Effectiveness of Fly Ash and Cement for Compressed Stabilized Earth Block Construction. **Construction and Building Materials**, v. 255, p. 119392, set. 2020.

JORDAN, R. A. et al. MANUFACTURE OF SOIL-CEMENT BRICKS WITH THE ADDITION OF SUGARCANE BAGASSE ASH. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 1, p. 26–31, fev. 2019.

KASINIKOTA, P.; TRIPURA, D. D. Evaluation of Compressed Stabilized Earth Block Properties Using Crushed Brick Waste. **Construction and Building Materials**, v. 280, p. 122520, abr. 2021.

LAVIE ARSÈNE, M.-I.; FRÉDÉRIC, C.; NATHALIE, F. Improvement of Lifetime of Compressed Earth Blocks by Adding Limestone, Sandstone and Porphyry Aggregates. **Journal of Building Engineering**, v. 29, p. 101155, maio 2020.

LEITÃO, D. et al. Thermal Performance Assessment of Masonry Made of ICEB's Stabilised with Alkali-Activated Fly Ash. **Energy and Buildings**, v. 139, p. 44–52, mar. 2017.

MINGUELA, A. F. Bio-Composites to Tackle UK Built Environment Carbon Emissions: Comparative Analysis on Load-Bearing Capacity, Hygroscopic and Thermal Performance of Compressed Earth Blocks with Addition of Industrial Hemp Waste. **The Open Construction and Building Technology Journal**, v. 11, n. 1, p. 395–412, 30 nov. 2017.

MOURA, E. M. de et al. Caracterização e uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em tijolos de solo-cimento. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 1, p. 69–80, jan. 2021.

NSHIMIYIMANA, P. et al. Chemico-Microstructural Changes in Earthen Building Materials Containing Calcium Carbide Residue and Rice Husk Ash. **Construction and Building Materials**, v. 216, p. 622–631, ago. 2019.

NSHIMIYIMANA, P. et al. Physico-Chemical and Mineralogical Characterization of Clay Materials Suitable for Production of Stabilized Compressed Earth Blocks. **Construction and Building Materials**, v. 241, p. 118097, abr. 2020.

NSHIMIYIMANA, P.; MESSAN, A.; COURARD, L. Hydric and Durability Performances of Compressed Earth Blocks Stabilized with Industrial and Agro By-Product Binders: Calcium Carbide Residue and Rice Husk Ash. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 33, n. 6, p. 04021121, jun. 2021.

RIVERA, J. et al. Compressed Earth Blocks Stabilized with Glass Waste and Fly Ash Activated with a Recycled Alkaline Cleaning Solution. **Journal of Cleaner Production**, v. 284, p. 124783, fev. 2021.

RIVERA, J. F. et al. Compressed and Stabilized Soil Blocks with Fly Ash-Based Alkali-Activated Cements. **Construction and Building Materials**, v. 264, p. 120285, dez. 2020.

RIVERA-GÓMEZ, C. et al. Sample Key Features Affecting Mechanical, Acoustic and Thermal Properties of a Natural-Stabilised Earthen Material. **Construction and Building Materials**, v. 271, p. 121569, fev. 2021.

SAIDI, M. et al. Stabilization Effects on the Thermal Conductivity and Sorption Behavior of Earth Bricks. **Construction and Building Materials**, v. 167, p. 566–577, abr. 2018.

SANTOS, L. M. A.; SILVA NETO, J. A. da; AZERÉDO, A. F. N. de. Soil Characterization for Adobe Mixtures Containing Portland Cement as Stabilizer. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 1, p. e-12565, 2020.

SECO, A. et al. Estimated and Real Durability of Unfired Clay Bricks: Determining Factors and Representativeness of the Laboratory Tests. **Construction and Building Materials**, v. 131, p. 600–605, jan. 2017.

SEKHAR, D.; NAYAK, S. Utilization of Granulated Blast Furnace Slag and Cement in the Manufacture of Compressed Stabilized Earth Blocks. **Construction and Building Materials**, v. 166, p. 531–536, mar. 2018.

SERBAH, B. et al. Dredged Sediments Valorisation in Compressed Earth Blocks: Suction and Water Content Effect on Their Mechanical Properties. **Construction and Building Materials**, v. 158, p. 503–515, jan. 2018.

SRAVAN, M. V.; NAGARAJ, H. B. Potential Use of Enzymes in the Preparation of Compressed Stabilized Earth Blocks. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 29, n. 9, p. 04017103, set. 2017.

TEIXEIRA, E. R. et al. Mechanical and Thermal Performance Characterisation of Compressed Earth Blocks. **Energies**, v. 13, n. 11, p. 2978, 10 jun. 2020.

YATAWARA, M.; ATHUKORALA, S. Potential of Replacing Clay Soil by Rice Husk Ash (RHA) in Enhancing the Properties of Compressed Earth Blocks (CEBs). **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 3, p. 3474–3486, mar. 2021.