



RENATA RENZO

**USO DE REJEITO DE MINERAÇÃO, BAGAÇO DE CANA E
BABA DE CUPIM SINTÉTICA NA PRODUÇÃO DE ADOBES**

**LAVRAS-MG
2023**

RENATA RENZO

**USO DE REJEITO DE MINERAÇÃO, BAGAÇO DE CANA E BABA DE CUPIM
SINTÉTICA NA PRODUÇÃO DE ADOBES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos, para obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes
Orientador

Dr. Danilo Wisky Silva
Co-orientador

Dra. Lays Camila Matos
Co-orientadora

**LAVRAS-MG
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Renzo, Renata.

Uso de rejeito de mineração, bagaço de cana e baba de cupim
sintética na produção de adobes / Renata Renzo. - 2023.

74 p. : il.

Orientador(a): Lourival Marin Mendes.

Coorientador(a): Danilo Wisky Silva, Lays Camila Matos.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Rejeito de mineração. 2. Construção em terra. 3. Reforço. I.
Mendes, Lourival Marin. II. Silva, Danilo Wisky. III. Matos, Lays
Camila. IV. Título.

RENATA RENZO

**USO DE REJEITO DE MINERAÇÃO, BAGAÇO DE CANA E BABA DE CUPIM
SINTÉTICA NA PRODUÇÃO DE ADOBES**

**USE OF MINING TAILINGS, SUGARCANE BAGASSE AND SYNTHETIC
TERMITE SALIVA IN THE PRODUCTION OF ADOBES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 17 de março de 2023.

Dr. Lourival Marin Mendes – UFLA

Dr. José Benedito Guimarães Júnior – UFLA

Dra. Andrea Aparecida Ribeiro Correa – UFLA

Dra. Luciana Barbosa de Abreu - UFLA

Dra. Lina Bufalino - UFRA

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes

Orientador

Dr. Danillo Wisky Silva

Coorientador

Dra. Lays Camila Matos

Co-orientadora

**LAVRAS-MG
2023**

AGRADECIMENTOS

A minha família, meu companheiro, meus filhos e amigos.

À FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, FAPES- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Espírito Santo, Fundação Renova e demais colaboradores.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao programa de Pós-graduação em Engenharia de Biomateriais, pela oportunidade.

A realização desse trabalho só foi possível graças à colaboração direta e indireta de muitas pessoas. Manifesto minha gratidão a todas elas, em especial aos meus orientadores: Prof. Dr. Lourival Marin Mendes, Danillo Wisky Silva e Lays Camila Matos pela orientação, apoio e confiança.

A toda a equipe do Complexo BIOMAT por me ajudarem na execução desse trabalho e a todos que contribuíram para a minha formação.

RESUMO

O adobe produzido a partir de matérias-primas residuais oriundas de processos de extração mineral, agrícola e industriais se apropria das seguintes potencialidades: baixo consumo energético na sua produção; bom desempenho térmico; e diversidade de aplicação. Entretanto, alguns parâmetros precisam de atenção, como absorção de água, baixa resistência mecânica, durabilidade e retratibilidade. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é verificar a viabilidade da engenharia proposta e a caracterização dos adobes produzidos com rejeito de mineração provenientes do rompimento da barragem do Fundão, localizada no município de Mariana-MG, reforçados com partículas de bagaço de cana-de-açúcar e estabilizados com baba de cupim sintética. Foram produzidos os seguintes tratamentos: tratamento referência produzido apenas com rejeito; tratamentos com adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar (3,0; 5,0; e 7,0% em massa seca); tratamentos com adição de baba de cupim sintética (0,07; 0,10; e 0,20% em massa seca). Os materiais e produtos finais passaram por caracterizações. Nos adobes foram avaliadas: propriedades físico-mecânicas; propriedades térmicas; e microestruturas. O reforço com bagaço de cana-de-açúcar e baba de cupim sintética promoveram a redução da densidade dos adobes, com uma redução de até 41%, quando comparado ao tratamento referência. Porém, os mesmos tratamentos apresentaram expansão em até 9,36mm e contração em até 6,40mm. Os adobes, com ambos reforços, apresentaram absorção de água entre 6,44% e 2,15%, com redução na altura da absorção por capilaridade. Com relação à resistência à compressão e flexão, os tratamentos com reforços apresentaram redução em sua capacidade. Para os valores de condutividade térmica, que ficaram entre 0,2264 e 0,2456 W*m/°C, os adobes reforçados se mostram materiais com excelente conforto térmico. Os resultados sugerem que o rejeito de mineração, mostra-se promissor na produção de adobes, além do uso de bagaço de cana-de-açúcar e baba de cupim sintética como reforços do compósito, considerando sua aplicação em sistemas de vedação.

Palavras-chave: Resistência mecânica. Estabilização. Reforço. Construções com terra.

ABSTRACT

The adobe produced from residual raw materials from mineral, agricultural and industrial extraction processes appropriates the following potentialities: low energy consumption in its production; good thermal performance; and diversity of application. However, some parameters need attention, such as water absorption, low mechanical strength, durability and retractability. However, some parameters need attention, such as water absorption, low mechanical strength, durability and retractability. Thus, the objective of this work is to verify the feasibility of the proposed engineering and the characterization of the adobes produced with mining tailings from the rupture of the Fundão dam, located in the municipality of Mariana-MG, reinforced with sugarcane bagasse particles and stabilized with synthetic termite saliva. The following treatments were produced: reference treatment produced only with tailings; treatments with the addition of sugarcane bagasse particles (3.0, 5.0; and 7.0% in dry mass); treatments with the addition of synthetic termite saliva (0.07; 0.10; and 0.20% dry mass). The final materials and products have undergone characterizations. In the adobes, the following were evaluated: physical-mechanical properties; thermal properties; and microstructures. The reinforcement with sugarcane bagasse and synthetic termite saliva promoted the reduction of the density of the adobes, with a reduction of up to 41%, when compared to the reference treatment. However, the same treatments showed expansion in up to 9.36mm and contraction in up to 6.40mm. The adobes, with both reinforcements, presented water absorption between 6.44% and 2.15%, with a reduction in the height of capillary absorption. Regarding compressive and flexural strength, the treatments with reinforcements showed a reduction in their capacity. Regarding compressive and flexural strength, the treatments with reinforcements showed a reduction in their capacity. For the thermal conductivity values, which were between 0.2264 and 0.2456 W*m/°C, the reinforced adobes are materials with excellent thermal comfort. The results suggest that the mining tailings show promise in the production of adobes, in addition to the use of sugarcane bagasse and synthetic termite saliva as composite reinforcements, considering its application in sealing systems.

Keywords: Mechanical strength. Stabilization. Reinforcement. Buildings with earth.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

Figura 1 – Distribuição da construção em terra no Mundo.	13
Figura 2 – Cidade de Bam, Irã.....	14
Figura 3 – Província de Fujian, China.....	15
Figura 4 – Grande Mesquita de Djenné, no Mali.	16
Figura 5 – Haus Rath, edifício de sete andares em terra não estabilizada.....	17
Figura 6 – Centro Histórico de Salvador.	18
Figura 7 – Igreja dos Santos Cosme e Damião.....	19
Figura 8 – Modos de estabilização do barro para adobes.....	27
Figura 9 – Faturamento por substância mineral em 2021.	31
Figura 10 – Modos de estabilização do barro para adobes.....	32
Figura 11 – Mapa de conflitos de mineração no Brasil em 2020.....	34
Figura 12 a) – Desastre ambiental ocorrido em Mariana-MG em 2015.....	35
Figura 12 b) – Desastre ambiental ocorrido em Brumadinho-MG em 2019.....	35

SEGUNTA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

Figura 1 – Sequência de produção do adobe.	55
Figura 2 – Representação esquemática da obtenção das medidas das dimensões dos adobes.	56
Figura 3 – Representação esquemática do teste de capilaridade.....	56
Figura 4 – Representação esquemática dos testes de compressão e flexão.....	57
Figura 5 – Resultados médios de absorção de água e capilaridade dos adobes com bagaço de cana e dos adobes com baba de cupim sintética.....	63
Figura 6 – Resultados médios de resistência à compressão e módulo de elasticidade dos adobes com bagaço de cana e dos adobes com baba de cupim sintética	64

Figura 7 – Resultados médios de resistência a flexão e módulo de elasticidade dos adobes com bagaço de cana e dos adobes com baba de cupim sintética.....	66
Figura 8 – Micrografias dos tratamentos controle e reforçados com bagaço de cana.....	67
Figura 9 – Micrografias dos tratamentos controle e reforçados com baba de cupim sintética.....	68
Figura 10 – Resultados médios de condutividade térmica dos tratamentos.....	69

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

ARTIGO 1

Tabela 1 – Metodologias de caracterização do rejeito.....	52
Tabela 2 – Propriedades do bagaço de cana-de-açúcar.....	53
Tabela 3 – Propriedades do solo in natura.....	59
Tabela 4 – Resultados médios de densidade aparente.....	60
Tabela 5 – Resultados médios encontrados para retração linear.....	61

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	9
1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Arquitetura de terra: contexto histórico	12
2.1.1	O uso da terra na história da arquitetura mundial	14
2.2	A arquitetura de terra no Brasil	18
2.2.1	Principais técnicas de construção com terra	20
2.3	O adobe	22
2.3.1	O adobe como material sustentável: potenciais e desafios	23
2.3.2	Composição do adobe: matriz, reforço e estabilizantes	25
2.3.3	A ABNT NBR16814:2020	29
2.4	Rejeito da mineração	29
2.4.1	A mineração no Brasil: impactos socioambientais	30
2.4.2	O desastre de Mariana: recuperação e alternativas rentáveis para as comunidades afetadas	34
2.5	Adobe produzido com rejeito de mineração e reforço com bagaço de cana-de-açúcar	35
2.5.1	Reforço de bagaço de cana	37
2.5.2	Estabilização química com baba de cupim sintética	39
3	CONSIDERAÇÕES GERAIS	41
	REFERÊNCIAS	42
	SEGUNDA PARTE – ARTIGO	49
	ARTIGO 1 – COMPORTAMENTO FÍSICO, MECÂNICO E TÉRMICO DE ADOBES PRODUZIDOS COM REJEITO DE MINERAÇÃO, BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR ESTABILIZADOS COM “BABA DE CUPIM SINTÉTICA”	49
1	INTRODUÇÃO	50
2	DESENVOLVIMENTO	52
3	CONCLUSÃO	70
	REFERÊNCIAS	70

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O adobe está para a história da construção dos abrigos do homem, como o próprio homem para a história da civilização. Isto significa que, junto à pedra e à madeira, foi o primeiro material a ser trabalhado dentro de princípios de modulação, isto é, de elemento componente pré-manufaturado, passível de estocagem e posteriormente montagem na edificação do abrigo-arquitetura (GALVÃO, s.d.). Os monumentos de adobe e a tecnologia da construção em barro, constituem parte do patrimônio de muitas nações. O material terra, utilizado por diversos povos há mais de 10 mil anos produziu uma grande variedade e riqueza de formas arquitetônicas em distintas regiões do mundo (ERDER, 1983).

No Brasil, a arquitetura em terra é essencialmente uma herança portuguesa, ainda que muito provavelmente adaptada em função das especificidades das matérias primas locais e do clima (KANAN, 2009). E assim como no mundo, o Brasil apresenta diversos exemplos da arquitetura em terra que se adaptaram a diferentes terrenos, solos e culturas, ocupando diversas regiões.

Hoje, esse patrimônio está ameaçado e corre o risco de desaparecer permanentemente. Vários são os fatores por trás desse processo e, entre eles, pode-se citar: a perda de registros da existência de construções em terra e das técnicas empregadas nas construções históricas; a ausência de políticas direcionadas para o patrimônio imaterial representado pela arquitetura de terra; a pressão exercida pelas técnicas modernas de construção civil e pelas matérias primas industrializadas; a perda de conhecimentos específicos de conservação; a constante ação de agentes ambientais de agressão física, química e biológica (ALLSOP, *et al.* 2004; AVRAMI *et al.*, 2008; TORRACA, 2009; ILLAMPAS *et al.*, 2012).

No Brasil e no mundo, a crescente preocupação sócio ambiental, tem estimulado a busca por materiais e soluções construtivas menos impactantes para o meio ambiente e com melhor eficiência energética. São indicativos dessa tendência as novas construções em terra realizadas pelo mundo afora, o investimento dos órgãos de fomento à pesquisa, a ampliação de oportunidade de debate e interação na comunidade científica multidisciplinar, como conferências, seminários, oficinas e publicações, e o aumento de materiais escritos, gráficos e audiovisuais com finalidade de divulgação disponíveis online (CAVICCHIOLI, 2016).

Nas últimas décadas, como parte das diversas linhas de pensamento decorrentes do movimento ambientalista que ganha corpo na década de 1990 em várias partes do mundo, a pauta dos impactos da construção civil se desenvolve fortemente, e é a partir daí que se verifica um novo ciclo de valorização do uso da terra como material de construção, com uma retomada sistemática da produção de conhecimentos, projetos e novas construções com terra, que se articulam em torno do novo paradigma da sustentabilidade (NEVES; FARIA, 2011).

Impulsionado pelos recentes desastres ambientais envolvendo barragens de mineração, em especial o desastre de Mariana, ocorrido em 2015, o uso de rejeito na produção de um material construtivo tradicional e não convencional (adobe), estabelece um novo conceito de sustentabilidade, unindo o tão necessário resgate histórico cultural, a valorização e promoção de um material de alta qualidade, a promoção de bioarquiteturas e baixíssimo consumo energético.

A construção com terra tem a seu favor diversos argumentos: disponibilidade e renovação; densidade é variável e determinável; menor gasto com transporte; menor consumo energético no ciclo de produção; promoção de construções bioclimática; bom desempenho térmico; isolamento acústico; estrutura e formas moldáveis e flexíveis; baixa produção de resíduos; resistência ao fogo; apropriação de tecnologia; valoração histórica e patrimonial; e sustentabilidade.

A terra, ao contrário de outros materiais de construção convencionais modernos (cimento, concreto, aço), tem o desafio de ter baixa durabilidade sob a ação de mau tempo e fraca força mecânica. Portanto, edifícios de barro requerem manutenção regular de seus ocupantes para continuar a garantir sua proteção (SHARMA *et al.*, 2015).

Buscando resolver alguns dos desafios das construções, as fibras naturais e os resíduos lignocelulósicos são adicionados em tijolos devido à limitação de resistência e durabilidade. As fibras naturais mais comuns utilizadas em atividades de construção incluem fibra de coco, palha, juta, fibras de palma e bagaço de cana-de-açúcar, entre outros (HUSSAIN *et al.*, 2022). Os subprodutos naturais mais comuns no Brasil são a casca de café e o bagaço de cana-de-açúcar, que, apesar de sua utilização por algumas indústrias, ainda possuem grandes quantidades não utilizadas, necessitando de descarte adequado e novas formas de agregar valor ao desperdício (SOUZA *et al.*, 2021).

De acordo com Araya-Letelier *et al.* (2019) vários estudos provaram que fibras residuais podem ser eficazes na melhoria de várias propriedades de tijolos de adobe e outros materiais de barro. As fibras lignocelulósicas são comumente adicionadas a materiais de barro

para melhorar a propriedades mecânicas e reduzir o risco de rachaduras como resultado de deformações de encolhimento por secagem (MINKE, 2012).

As fibras lignocelulósicas possuem aceitação internacional há mais de vinte anos, em países como a Austrália e EUA e também nos países em desenvolvimento, como reforço para matrizes frágeis devido ao custo reduzido, disponibilidade a partir de plantas fibrosas, economia de energia e ainda por questões ambientais (TOLEDO FILHO; ENGLAND; GHAVAMI,1997).

Para se obter um material adequado, diversos parâmetros precisam ser considerados, inclusive a necessidade de estabilização do material empregado. No caso do adobe, que apresenta baixa resistência a água e ambientes úmidos, a adição de um material hidrofóbico, pode trazer resultados positivos. Nesse contexto, a “baba de cupim sintética” (BCS) pode ser uma opção efetiva. Por se tratar de um material de propriedades coesivas e hidrofóbicas poderá contribuir para a estabilização do solo, aumentando sua coesão e impermeabilidade e conseqüentemente a resistência mecânica e a qualidade do produto final. O uso de estabilizante em adobes ainda é recente. Corrêa *et al.* (2013) e Corrêa *et al.* (2015) encontraram melhoras significativas nas propriedades físicas do adobe.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo produzir adobes a partir de uma matriz de solo/rejeito da mineração reforçado e estabilizado com resíduos de bagaço de cana-de-açúcar e “baba de cupim sintética”.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Arquitetura de terra: contexto histórico

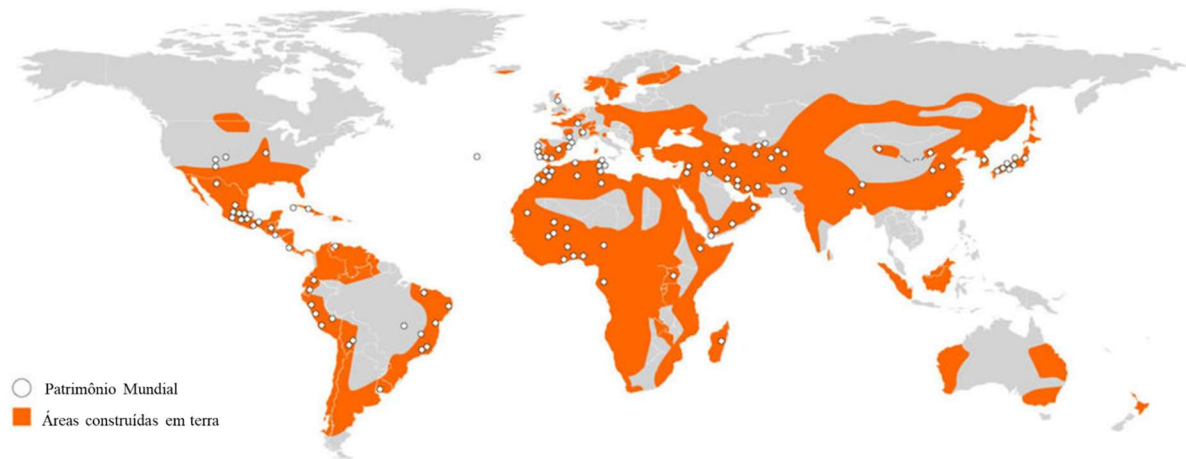
O emprego da terra como material de construção está diretamente relacionado com a evolução da humanidade e o desenvolvimento de novos materiais e novas tecnologias nos sistemas construtivos. Juntamente e de forma associada ou não com outros materiais naturais, como madeiras e pedras, a terra foi amplamente utilizada para a produção de abrigos e até mesmo cidades inteiras ao redor do mundo. A construção de abrigos com recursos naturais foi fundamental para a sobrevivência da espécie humana. A Idade da Pedra (de 600.00 a 14.600 a.C.), a Idade da Argila (de 14.600 a 4.500 a.C.) e a Idade dos Metais (de 4.500 a 586 a.C.) representam períodos do processo evolutivo de aplicação dos materiais naturais pelo Homem (NAVARRO, 2006).

A utilização da argila como material de construção deve-se fundamentalmente ao fato de existir abundantemente e de adquirir excelentes qualidades de trabalhabilidade, quando misturada com a água. Sua aplicação é mundial e de longa data pois existem vestígios de construções em argila que datam de há cerca de 2,5 milhões de anos (GOMES, 2005). A terra é um material com grande diversidade de aplicação podendo ser adaptável a diferentes regiões, climas, culturas e técnicas, relacionada a períodos e culturas distintas.

Em 2012, o Inventário de Arquitetura em Terra do Programa Mundial de Patrimônio de Arquitetura em Terra da UNESCO mapeou inúmeras construções em terra distribuídas pelo globo, sendo que 150 delas encontram-se inscritas na lista do Patrimônio Arquitetônico Mundial (GANDREAU, DELBOY E JOFFROY, 2012). A Figura 1 mostra esta distribuição.

Figura 1 – Distribuição da construção em terra no Mundo

ARQUITETURA DE TERRA NO MUNDO



FONTE: © CRATerre (Earthen architecture in today's world, 2012).

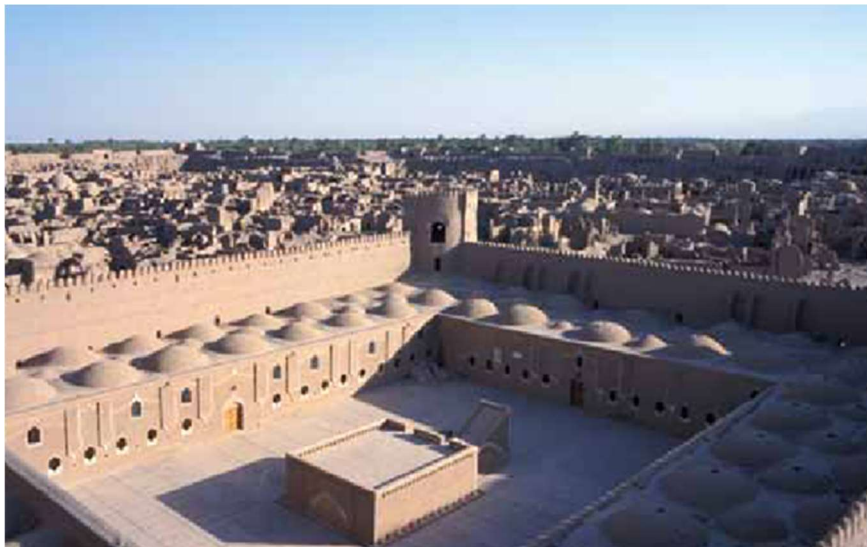
Os registros mostram o uso da terra em diversos elementos construtivos como alvenarias, abóbadas entre outros, assim como uma diversidade em formas e usos dos espaços construídos. O potencial e a durabilidade deste material são demonstrados através dos exemplos de técnicas variadas nas mais diferentes partes do planeta, como os presentes em Jericó, China, Mesopotâmia, Irã, Iraque e em vários lugares do continente africano, cuja existência remete a cerca de 8000 anos a.C. (CARVALHO; LOPES, 2012).

2.1.1 O uso da terra na história da arquitetura mundial

A construção em terra é um patrimônio da Humanidade que está presente em quase todos os continentes e que é elucidativo da diversidade cultural dos povos e demonstrativo da sua versatilidade em termos de aplicação (CORREIA, 2006). PONTES (2012) afirma que “é no Médio Oriente que nascem as primeiras civilizações arquitetônicas erguidas com o próprio solo do local, espalhando-se posteriormente para outras zonas do globo”.

No continente asiático, são inúmeros os países que apresentam testemunhos de existência de construção em terra, nomeadamente o Irã, Israel, Síria, Paquistão, Bangladesh, Omã, China, Turquia e o Turquestão. No Irã, a cidade de Bam (Figura 2) era um dos maiores complexos urbanos mundiais edificadas em terra antes da ocorrência de um sismo em 2003, (CORREIA, 2006; MASCARENHAS, 2006).

Figura 2 – Cidade de Bam, Irã



FONTE: © CRATerre (Earthen architecture in today's world, 2012).

Ainda na Ásia, na Região Central da China, na província de Fujian, existem construções em terra com mais de 600 anos e que são um testemunho da arquitetura Hakka (Figura 3).

A arquitetura Hakka se refere a construções produzidas por populações migratórias chinesas, desenvolvidas para a produção de construções que funcionam como residência e fortaleza. Essas construções, hoje consideradas patrimônios culturais da Humanidade pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura), foram

produzidas num período de grandes turbulências, dessa forma, atuavam como uma barreira, muralha de defesa.

Figura 3 – Província de Fujian, China



FONTE: © CRATerre (Earthen architecture in today's world, 2012).

O continente africano é outro grande representante da arquitetura de terra, com um diferencial relacionado aos períodos identificados, sendo sua produção tanto histórica quanto atual. Sua produção pode ser associada ao seu baixo custo econômico e uma considerável escassez de outros materiais, como por exemplo a madeira, além de baixo consumo energético e tecnológico, características próprias de regiões de pouco desenvolvimento econômico.

O Egito, Marrocos, Quênia, Mali e Gana são alguns dos representantes desse tipo de arquitetura, que apresentam características culturais e consequentes arquitetônicas distintas, com grande amostragem dessas técnicas na construção de templos religiosos.

Djenné, no Mali (Figura 4) é uma das cidades mais antigas do continente africano, seu centro histórico foi declarado patrimônio da Humanidade pela UNESCO em 1988 e foi totalmente construído em terra crua (LAUBER, 1998).

Figura 4 – Grande Mesquita de Djenné, Mali



FONTE: © CRATerre (Earthen architecture in today's world, 2012).

Na Europa, durante a era do bronze, principalmente nos países próximos à Alemanha, o barro era utilizado para compor muralhas e fortalezas, um dos exemplos que podem ser encontrados na atualidade é a Fortaleza de Heuneberg, pertencente ao século 6 a.C.. A partir de documentos datados de 100 a.C. descobriu-se a presença de fortalezas feitas com barro também na Espanha. As construções de terra passaram a receber mais atenção com o avançar da destruição das florestas, quando a madeira se tornou um material mais escasso. Construir certas paredes em terra entre as casas passou a ser obrigatório em algumas capitais depois de grandes incêndios (HUNTER E KIFFMEYER, 2004).

Na Alemanha pós-guerra surgiram as primeiras normas de construção com terra, por ser a terra um material barato e acessível para a reconstrução das cidades atingidas. Conforme a figura 5, também na Alemanha se encontra o mais alto prédio de terra não estabilizada já construído, com sete andares, em uso até hoje, o emblemático Haus Rath, de Weilburg (WALKER *et al.*, 2005).

Figura 5 – Haus Rath, edifício de sete andares em terra não estabilizada



FONTE: JAQUIN (2008).

Na Europa central, durante os séculos 13 até 17 d.C., a terra era utilizada em conjunto com a madeira para vedação e para cobrir a palha dos telhados a fim de torná-los resistentes ao fogo. Na França, um dos responsáveis pela difusão do uso da terra na construção foi o arquiteto François Cointeraux que publicou quatro folhetos sobre as técnicas nos anos 1790-1793 d.C. (MINKE, 2011).

No continente americano a construção em terra foi difundida através de sua colonização e pós-colonização, presente nas Américas no Sul, Central e do Norte.

Na cultura pré-colombiana nas Américas do Sul, Central e México existiram povos que conheciam a técnica da taipa e do adobe. Construídas entre os anos de 300 e 900 d.C., foram encontradas no interior da pirâmide do Sol, em Teotihuacán, México, cerca de 2 milhões de toneladas de terra socada (MINKE, 2011).

Em Mendonza, Argentina, por exemplo, em 2001, mais de 80 por cento da população rural seguiu construindo suas casas com adobe. Esse fenômeno se deve aos custos elevados do concreto armado e dos tijolos cozidos (MINKE, 2001).

Especificamente no Brasil, a técnica foi trazida pelos colonizadores portugueses já que está comprovado que os grupos indígenas brasileiros não utilizavam técnicas construtivas baseadas em barro. Além disso, os povos africanos trazidos para o Brasil pelos portugueses

tinham conhecimento e experiência nesse tipo de construção (MILANEZ,1958 apud CARVALHO; LOPES, 2012).

2.2 A arquitetura de terra no Brasil

As construções com terra foram difundidas no Brasil pelos colonizadores portugueses, principalmente nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás. As construções em terra mais antigas registradas no Brasil datam das décadas subsequentes ao descobrimento.

A arquitetura do Centro Histórico de Salvador foi um ponto de convergência das culturas europeias, africanas e indígenas, ocasionadas pelo período em que Salvador foi a capital do Brasil (1549 a 1763) onde prevaleceram sistemas construtivos em terra (adobe e pau a pique), conforme figura 06.

Figura 6 – Centro Histórico de Salvador.



FONTE: © CRATerre (Earthen architecture in today's world, 2012).

Dias (2015) afirma que a Igreja dos Santos Cosme e Damião (Fig. 07), erguida originalmente em taipa em 1535 na região metropolitana de Recife, considerada a igreja mais antiga do Brasil, é uma representação desse período.

Figura 7 – Igreja dos Santos Cosme e Damião.



FONTE: Wikipédia

O estilo luso-brasileiro aparece em várias cidades litorâneas, como Salvador e Paraty. Em Florianópolis encontram-se em uso casarios e grandes igrejas construídas com taipa, adobe e pedras, pintadas com cal e estabilizadas com resíduo de óleo de baleia, como as igrejas Nossa Senhora das Necessidades da década de 1750 e Nossa Senhora da Lapa, de 1806 (DE SOUZA, 1992).

As casas grandes e casas bandeiristas, outras manifestações típicas da arquitetura colonial brasileira, tinham frequentemente estrutura em taipa de pilão e divisórias em taipa de mão. Muitas ainda estão em uso, entre elas a sede da Chácara do Rosário, de 1726, à época chamada Engenho Grande. Esta sesmaria chegou a produzir a maior parte do açúcar da província de São Paulo (BENINCASA, 2010)

O começo do declínio da taipa origina-se na capital paulista em 1850, visto que ali já existiam constantes enchentes e as casas de taipas corriam o risco de desabamento, assim tomou forma o cenário para o tijolo maciço aparecer como alternativa, mas somente 100 anos depois, ele veio a se tornar uma alternativa mais rápida e menos custosa o que levou à decadência e abandono total da taipa (SCHIMIDT, 1946 apud PISANI, 2004).

No Centro-Oeste do País, dois exemplares ainda em uso são a Igreja Nossa Senhora do Rosário, construída originalmente em taipa-de-pilão entre 1728 e 1732, e o cinema de Pirenópolis, de 1919, feito em adobe (SOARES, 2008).

Na região Sul, imigrantes alemães e italianos mesclaram as tecnologias construtivas usadas na Europa com os recursos locais (PROMPT E BORELLA, 2010). O IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico Artístico Nacional afirma que os exemplares da arquitetura em terra típica da colonização alemã, com estrutura em painéis de madeira e preenchimento com adobe ou técnicas mistas, ainda podem ser apreciados em cidades como Pomerode-SC.

Como ocorre no mundo todo, no Brasil a terra ainda é empregada na construção de edificações, principalmente na produção de moradias populares. Em 2010 foi estimado que houvesse mais de 70.000 casas de terra no estado do Ceará e 339.097 no Maranhão, onde as casas de terra representavam 79,9 % das edificações em áreas rurais (MELQUÍADES JÚNIOR, 2010). De acordo com o Ministério da Saúde, através de um levantamento realizado em 2015 e intitulado como Situação de Saneamento, foram produzidas 607.825 habitações feitas em terra no Brasil. O referido relatório apresenta um gráfico que mostra uma considerável queda na produção de moradias em terra, sendo os valores referentes à construção em taipas. O levantamento mostra ainda, que quase metade das casas de taipa registradas no Brasil não são revestidas com reboco ou emboço, promovendo o aninhamento de insetos nas paredes e a consequente proliferação de doenças. Este é um fator que comprometeu profundamente a imagem da terra como material de construção no Brasil, relacionando-o como um material de baixa qualidade, restringindo seu uso à população de baixa renda.

Estes dados mostram a importância de estudos que promovam novos conhecimentos e a difusão das potencialidades da construção em terra, assim como a desmistificação da terra como material não qualificado e ligados à insalubridade e pobreza.

2.2.1 Principais técnicas de construção com terra

O pau-a-pique consiste em se fazer uma trama de madeira ou bambu, na parte interna da parede e depois, depositar o barro sobre esta trama (pelos lados de fora e de dentro simultaneamente de preferência) e apertá-lo sobre a mesma com as mãos. Este sistema também é conhecido no Brasil pelos nomes de: “pescoção”, “taponá”, “sopapo”, “taipa de mão”, “taipa de sebe”, entre outros, variando conforme as diferentes regiões do país. (VASCONCELLOS, 1979).

Assim como as demais técnicas de construção com terra, o pau-a-pique foi trazido para o Brasil pelos colonizadores europeus. De origem árabe, a taipa de sebe ou pau-a-pique, chegou a ser utilizada pelos carpinteiros portugueses na arquitetura naval. Aqui ela se uniu à

técnica construtiva dos índios que usavam a palha na construção de suas ocas. E foi adaptada ao clima de cada região: sendo pouco empregada no clima quente e úmido do Norte; se ajustando melhor ao clima quente e seco do Nordeste. Essa acomodação aos rigores do clima gera uma grande quantidade deste tipo de manifestação construtiva no panorama da arquitetura nacional. (LEMOS, 1979).

A taipa de pilão foi trazida ao Brasil pelos colonizadores portugueses e consiste numa técnica monolítica, onde as paredes de terra são construídas de uma vez, preenchendo e socando com terra úmida o espaço formado entre pranchas, geralmente de madeira (taipais).

De acordo com Silva (2000), a taipa de pilão, um dos sistemas construtivos mais utilizados na antiguidade, era considerada o mais sólido sistema de construção em terra crua, já que as paredes construídas inteiras, monoliticamente, iam se solidificando progressivamente, com o passar dos tempos.

A boa qualidade da taipa, conforme Montoro (1994), depende principalmente de duas etapas: a seleção/dosagem do solo e a sua compactação. Segundo o autor, para a escolha do solo, é preciso coletar amostras de solo na região ou no próprio local onde se pretende construir. Esta coleta deve ser feita a cerca de 30cm de profundidade, pois a camada que se encontra acima desta medida é fértil, considerada boa para agricultura, porém ruim para a construção. O barro usado na construção não deve conter matéria orgânica, pois esta compromete a resistência do material.

O sistema construtivo pode sofrer variações com relação ao uso de fôrmas, camadas de terra e uso de pedregulhos entre outros reforços para maior resistência. A técnica consiste na sobreposição de camadas e sua compactação, e essa compactação pode ser chamada de apiloamento, podendo ser realizada com um instrumento denominado pilão.

Recentemente foram desenvolvidos novos modelos de pilão, cujos sistemas de funcionamento são pneumáticos ou vibracionais, de modo a facilitar a confecção das paredes, já que requer uma menor força por parte de quem está construindo. E pode-se inclusive colocar uma camada de solo maior por compactação: enquanto no método manual as camadas de argamassa a serem compactadas devem ter cerca de 15cm, no método mecânico, pode-se compactar de 20 a 30cm por vez. (MONTORO, 1994).

Técnicas mistas são sistemas construtivos executados em todas as regiões, principalmente com o uso de recursos naturais e, atualmente, com outros recursos industriais. Por sua grande diversidade, há muito que investigar nesta área, principalmente pelo uso de materiais regionais e da prática construtiva cultural. Outras técnicas (GARZÓN, 2011).

O sistema de Terra ensacada é uma forma de arquitetura de saco de terra desenvolvida pelo arquiteto e fundador da CalEarth, Nader Khalili. Segundo seu criador, o sistema é feito com sacos de areia longos ou curtos preenchidos com terra umedecida e dispostos em camadas ou bobinas longas. Fios de arame farpado são colocados entre cada camada de saco de areia para atuar como argamassa e reforço. Estabilizadores como cimento, cal ou emulsão asfáltica podem ser adicionados. Semelhante à como um oleiro empilha bobinas de argila para fazer um vaso, os construtores empilham bobinas de terra para fazer uma estrutura.

O sistema de construção com terra ensacada pode ser usado para arcos estruturais, cúpulas e abóbadas, ou formas retilíneas convencionais. O mesmo método pode construir silos, elementos de paisagismo ou infraestrutura, como barragens, cisternas, estradas, pontes e para estabilizar linhas costeiras e cursos d'água (Cal-Earth – The California Institute of Earth Art and Architecture).

2.3 O adobe

Adobe” é uma palavra de origem árabe, que foi assimilada pelo espanhol e transmitida às Américas, onde foi adotada também pelo idioma inglês. E significa tijolos de terra crua. (DETHIER, 1982).

O adobe é uma das técnicas de construção mais primitivas empregada até os dias atuais. Este método possui vasta documentação histórica, estando presente em desde o período da antiguidade, como em diversos sítios arqueológicos e em construções históricas (NEVES, 2011).

Este método secular de construção é uma técnica construtiva em terra crua que é utilizada como alvenaria de vedações verticais. A sua confecção ocorre pela mistura de solo areno-argiloso e água sendo misturado até a obtenção de uma massa de barro homogênea e plástica, entretanto, dependendo da granulometria do solo a ser utilizado, pode se fazer necessário agregar outros materiais a mistura como areia, fibras vegetais ou fibras animais (ROTANDARO, 2011).

Essa variação definirá a capacidade de resistência do material em uso, considerando o seu emprego não somente em alvenarias, mas em conjuntos estruturais como arcos e abóbadas, além do ambiente onde será inserido, podendo exigir maior resistência à variação térmica e climática.

Ao longo do seu processamento, o adobe deve conter a quantidade ideal de água evitando-se assim fissuras e deformações no desmolde e secagem. É importante seguir

recomendações corretas desde o conhecimento do solo, sua granulometria e origem mineralógica, produção, secagem e armazenamento. (CORRÊA,2013).

2.3.1 Adobe como material sustentável: potenciais e desafios

Diante da crise energética mundial e da busca por processos ecologicamente corretos e consequentemente sustentáveis, os diversos debates sobre o uso potencial do adobe como material construtivo, devem considerar como prioridade a sua desmistificação como material inferior elegendo-o como um grande aliado a implantação de novas práticas que atendam aos referidos temas supracitados.

No Brasil e em algumas regiões do mundo o adobe foi associado à pobreza e consequentemente à insalubridade. A perda de conhecimento sobre a execução adequada de edificações com a terra crua, principalmente no período após a “revolução industrial e no pós-guerra” (BRASILEIRO, 2002), provocou um aumento significativo do preconceito em relação à sua utilização. É possível afirmar que essa é uma das maiores limitações do avanço na utilização de estruturas em adobe nas diversas regiões do País, sendo utilizada com frequência em regiões rurais, com pouca infraestrutura e altos índices de pobreza, por vezes com técnicas inadequadas.

Na contramão do que ocorre em algumas regiões do Brasil, nota-se uma forte tendência em construções com terra em países desenvolvidos, como Austrália, Alemanha e França, tanto por ser uma solução tecnicamente interessante, sustentável, quanto por sua aparência, textura, forma e versatilidade, sem qualquer associação e ou pré conceitos aqui listados.

No Brasil, a Rede Terra Brasil, organização nacional, composta por profissionais e estudantes, congregando instituições, entidades de classe e toda a sociedade envolvidas no tema arquitetura e construção com terra, se mobilizou em fortalecer e fomentar a capacidade de desenvolvimento científico e tecnológico, disseminando os conhecimentos acerca da arquitetura e construção com terra, promovendo e fortalecendo as relações entre empresas, instituições, governamentais e não governamentais, sobre estudos e pesquisas acerca da arquitetura e construção com terra no país.

Nesse contexto, a RTB e o PROTERRA têm criado uma rede de coletividade técnica científica que promove a viabilização da arquitetura e construção com terra no Brasil, buscando reverter as ideias e associações já estabelecidas.

As referidas ações desenvolvidas, baseadas nos aspectos ambientais, baixo emprego de energia, processamento simplificado e ótimo desempenho térmico, reforçam o uso da terra como opção construtiva, destacando novas pesquisas e profissionais envolvidos com arquitetura e construção civil sustentáveis.

O australiano Kevan Heathcote, no artigo *The thermal performance of earth buildings*, de 2010 cita: “A partir da década de 1970, houve um aumento significativo no interesse por essas formas de construção e, particularmente após a crise do petróleo, devido à baixa energia incorporada e ao bom desempenho térmico, ambos resultando em menor consumo de energia” (HEATHCOTE, 2010). Se o emprego deste sistema construtivo já é interessante em países desenvolvidos, principalmente em termos de sustentabilidade, em países em desenvolvimento e, especialmente nos subdesenvolvidos, torna-se essencial, na tentativa de se resolver problemas de déficit habitacional e também ambientais, como nos primeiros (ARINI; GALLO, 2002; SANTIAGO, 2001).

O uso de construções em adobe deve ser reforçado e promovido por seus diversos aspectos, citados a seguir: disponibilidade de matéria-prima: a terra, componente base do adobe, pode ser encontrado em abundância, muitas vezes, no próprio local onde se irá construir, sem a necessidade de deslocamento e incremento de custo; ambientalmente sustentável porque é um material não tóxico, ou seja, sua obtenção e manuseio não promovem contaminação do meio, além de baixo consumo energético na sua cadeia produtiva; reciclagem e reutilização porque ao contrário da maioria dos materiais empregados na construção civil, o adobe é um material altamente reciclável e não gerador de resíduos, podendo ser reutilizado em diversas formas; algumas técnicas como o adobe potencializam a autoconstrução e a autossuficiência, podendo a terra ser encontrada, extraída e manuseada pela própria comunidade local, sem muitas dificuldades ou riscos, podendo atender a demanda de construções de baixo custo e em regiões com baixa estrutura técnica e mão de obra qualificada; Adaptabilidade em diversos tipos de regiões climáticas, com ampla variedade de formas e estilos arquitetônicos, como pode ser comprovado em diversos registros históricos culturais; bom comportamento térmico e acústico promovendo a arquitetura bioclimática que garante bom conforto térmico e acústico no ambiente construído, balanceando as temperaturas internas em regiões com grande amplitude térmica, controle de calor e resfriamento; estas propriedades são adquiridas conforme a composição do material e sua densidade; por ser um material compósito, pode ser constituído por composições que promovam características pré-definidas para usos específicos, com a utilização de estabilizantes e reforços.

No Brasil, um dos fatores limitantes para a utilização do adobe é a falta de informação relacionada às potencialidades do material, sua produção e utilização. E justamente em países mais pobres, onde a terra pode ser uma excelente solução construtiva mais econômica, existe grande preconceito quanto à sua aparência, qualidade e durabilidade, estando sempre muito associada à falta de recursos e à insalubridade (DA PONTE, 2012).

Um importante entrave, que não pode ser subestimado, relaciona-se aos interesses comerciais em torno do mercado da construção civil, envolvendo materiais e tecnologias muito lucrativas e que movimentam uma parcela considerável da economia nacional. Os grandes interesses envolvidos no setor atuam fortemente no sentido de construir um imaginário de que a boa construção é aquela que utiliza materiais industrializados, depreciando o uso da terra como material arcaico e pouco adequado à produção de uma construção habitável (PORTELLA *et al.*, 2015).

Além do preconceito estabelecido na cultura da construção civil brasileira e a falta de informação, outros aspectos desafiadores como a resistência mecânica da terra de 1 a 3 MPa e a sua resistência à tração desprezável e potencializada com a ação da água e na presença de umidade" (CANCELA, 2013). Construções com terra crua tem uma significativa capacidade de absorção da umidade, o que compromete a resistência mecânica, desempenho térmico e vida útil.

Com relação aos desafios apresentados, diversos autores têm contribuído para suas resoluções, através de pesquisas que demonstrem ações viáveis e recomendações de novas pesquisas baseadas principalmente nas potencialidades do material, seu apelo ecológico e o resgate histórico cultural. Pesquisadores, fundações e associações nacionais e internacionais são os principais protagonistas dessa nova forma de se construir.

2.3.2 Composição do adobe: matriz, reforço e estabilizantes

O adobe estabilizado é um material compósito, já que é composto por dois ou mais materiais que combinados produzem um material com propriedades superiores aos elementos base.

O solo é a matriz do referido compósito e apresenta grande variação em sua composição, ou seja, alto grau de complexidade relacionada a sua composição química e mineralógica. Sua composição é argila, silte e areia. Os principais elementos químicos são: sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), hematita (Fe_2O_3) e outros óxidos com composição variável e

predominância de sílica. Nos trópicos ocorre a predominância de solos lateríticos, de cor avermelhada, que têm alto teor de óxido de ferro. Com características físicas e mecânicas peculiares, é um meio descontínuo formado por grãos sólidos e vazios, cuja composição inclui material inerte e expansivo. Os grãos ou partículas são de diferentes tamanhos e propriedades distintas (CORRÊA, 2013).

A argila possui uma estrutura cristalina que varia de fraca a forte e classificada, de acordo com a origem mineralógica, em 3 tipos: as caulinitas com ligações mais fortes e hidrofóbicas e muito pouco expansivas; as illitas com uma força de ligação inferior à caulinita, sem estabilidade em contato com a água e um pouco expansiva; e as montmorilonitas com uma fraca força de ligação, muito expansivas (GANDIA, 2017). A penetração de água varia de acordo com o tipo de ligação, ou seja, quanto maior a ligação, menor será a adsorção de água no componente e conseqüentemente uma menor expansão/retração do mesmo.

A areia é material inerte cuja origem é a rocha fragmentada por erosão e sua composição básica é o dióxido de silício. Com formato granular arredondado, não são coesivas e tem baixa compressibilidade. As estruturas são estáveis, permeáveis, e não são plásticas. A porosidade é menor, então são menos suscetíveis à variação volumétrica porque possuem menor índice de vazios. O silte é o resultado da dissolução das rochas e tem como característica baixa plasticidade e baixa resistência quando seco ao ar.

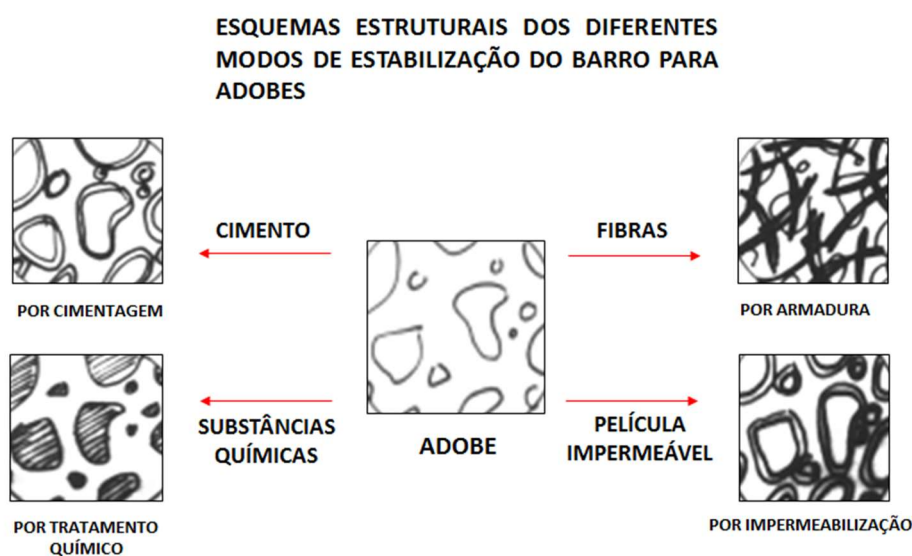
Neves *et al.* (2010) recomendam uma proporção de aproximadamente 9% a 24% de argila, até 46% de silte e de 45% a 77% de areia para adobes. Houben e Guillaud (1994) propõem de 5% a 29% de argila. Atualmente, a ABNT NBR 16814:2020 intitulada "Adobe – Requisitos e métodos de ensaio", define que a resistência à compressão individual do adobe deve ser maior ou igual a 1,5 MPa e indica proporções granulométricas de 25% a 35% de argila, até 30% de silte e entre 45% e 65% de areia.

A composição do solo, quando não adequada ao uso final proposto pode passar por processos de correção granulométrica e estabilização, com a finalidade de melhorar suas propriedades. Portanto, atua na resistência mecânica, estabilidade volumétrica, ação da água, trabalhabilidade, propriedades térmicas e acústicas e durabilidade. A composição granulométrica ideal varia de acordo com as características do solo empregado e de seus componentes, que podem variar em proporção e devem ser considerados na estabilização do mesmo.

A estabilização e/ou reforço com fibras naturais é uma prática antiga na produção de construção em terra e consiste na inserção de fibras e resíduos lignocelulósicos. Muito

empregadas na Mesopotâmia e Egito Antigo e atualmente em produções industriais de adobe no Novo México, nos EUA. Utilizadas no solo em estado plástico promovem: maleabilidade; aumento da coesão e durabilidade; melhora da resistência à flexão; redução na propagação de fissuras durante a secagem; ductilidade; aumento da capacidade de absorver energia (CORRÊA, 2013). A Figura 08 apresenta os diferentes modos de estabilização da matriz (solo) para a produção de adobes.

Figura 8 – Modos de estabilização do barro para adobes.



Para melhorar as propriedades físicas do adobe, muitos trabalhos vêm sendo publicados, adicionando resíduos naturais como: fibra de coco, vinhaça, bagaço de cana, partículas de bambu, casca de café, fibra de banana e outras fibras naturais. Dependendo da dimensão das partículas, da porcentagem adicionada e da origem do resíduo que será incorporado ao adobe, podem formar compósitos de melhores características físico-mecânicas, melhorando o isolamento térmico e a resistência à compressão, diminuindo a densidade, além de oferecerem uma destinação correta aos resíduos (GANDIA, 2017). A utilização de fibras naturais, para reforçar compósitos, já é bem difundida no Brasil (SAVASTANO, 1986). Yetgin (2008) afirma que quanto mais fibras naturais no adobe menor será a retração. As fibras lignocelulósicas em geral possuem menor condutividade térmica, maior absorção acústica e menor módulo de elasticidade, entretanto têm alta absorção de água. Podem resistir a temperaturas de até 200°C, sem perda significativa de suas principais

propriedades, características que as tornam muito atraentes para a utilização como reforço e ancoragem em compósitos (MATTOSO *et al.*, 1996).

Millogo *et al.* (2016), utilizando fibras de esterco de vaca, observou uma melhora nas propriedades físicas e mecânicas do adobe, pela reação com o solo, os adobes ficaram mais homogêneos e menos porosos. Ainda, segundo o autor o excremento melhora a resistência dos adobes à água, devido a formação de silicato de amina insolúvel, que agrega as partículas de solo isoladas.

Uma característica das construções com terra crua e elementos construtivos à base de terra é sua significativa capacidade de absorção da umidade. Minke, 2006 conclui que os blocos de terra crua absorvem 50 vezes mais umidade do que os tijolos compactos cozidos. De acordo com Torgal *et al.*, 2009, diversos autores associam a capacidade de absorção do adobe com sua porosidade, sendo a distribuição e tamanho dos poros do material que determinam seu grau de absorção.

Corrêa *et al.*, (2015), adicionou “baba de cupim sintética” (BCS), junto às partículas de bambu, e comprovou uma redução na retração do adobe e uma diminuição na absorção de água pelo poder hidrofóbico da adição do produto. O poder coesivo, nos pontos de contato dos grãos junto aos filmes de água solidificada, interpenetra-se, estabelecendo um vínculo rígido entre eles. Com uma menor intensidade, uma segunda camada de água sujeita a pressões, também, contribui para essa coesão. Suas propriedades são as de líquido viscoso preso aos grãos, formando uma camada de água adsorvida, atraída por forças moleculares suficientemente elevadas, para imobilizá-la. A água restante é livre e movimenta-se por meio da gravidade dos canalículos do solo (CORRÊA, 2013).

Diversos outros fatores precisam ser considerados na cadeia produtiva do material, como o teor de umidade ideal e a quantidade de água presente e acrescida à mistura, assim como a estabilização necessária. A quantidade de água em excesso causa deformação e reduz a resistência mecânica. A mistura mais seca dificulta o manuseio e não preenche a forma adequadamente. Solos argilosos necessitam de mais água e arenosos atingem a umidade ideal com menor umidade. Este teor está entre o limite da plasticidade e o limite de liquidez, considerado estado plástico (NEVES *et al.*, 2005).

Um processo que garante a qualidade na produção e aplicação de estruturas em adobe, assim como a sua regulamentação, é o conhecimento e aplicação de normas técnicas. Ainda utilizam-se, no Brasil, normas como a Peruana (NTE 080 - Norma Técnica de Edificación, 2000), Australiana e de outros produtos tais como o bloco de solo cimento (BTC). No Brasil, a normatização para adobe foi criada e publicada pela Associação Brasileira de Normas

Técnicas (ABNT) em 20 de janeiro de 2020 como ABNT NBR 16814:2020 – Adobe – Requisitos e métodos de ensaio.

2.3.3 A ABNT NBR16814:2020 ADOBE-Requisitos e métodos de ensaio

A norma ABNT NBR 16814:2020 – Adobe – Requisitos e métodos de ensaio foi publicada no dia 23 de janeiro de 2020, após um período de 07 anos de discussão através da “Comissão de Estudo Construções com terra – CE-002:123.009” (vinculada ao “Comitê Brasileiro da Construção Civil” – ABNT/CB-02), baseada em um texto-base discutido na Rede TerraBrasil.

O projeto da referida norma circulou para consulta nacional durante um período de aproximadamente 02 meses e tem relação direta com outras diversas normas referentes a caracterização de solo, materiais construtivos e seus sistemas.

A aprovação da Norma Brasileira fortalece a visibilidade e a aplicação do adobe como material não convencional no mercado nacional da construção civil.

2.4 Rejeito da Mineração

Um bem mineral não pode ser utilizado tal como é lavrado na mina, devendo então passar por um processo de beneficiamento. Esse processo objetiva a redução e regularização da granulometria (sem modificar a sua identidade química ou física), remoção de ganga (parte do minério sem interesse econômico) e aumento da qualidade do produto final. O processo de beneficiamento gera um volume muito elevado de rejeitos, que são dispostos de forma direta sobre a superfície do terreno, em reservatórios, formando bacias de disposição conhecidas também como barragens de rejeitos (BOSCOV, 2008). Barragens de rejeitos têm por finalidade a disposição de rejeitos oriundos da mineração (KOSSOFF *et al.*, 2014).

No Brasil, a disposição de rejeito mais utilizada é a disposição em barragens, representando um sério risco se não forem adequadamente planejadas, operadas e mantidas (BRASIL, 2012).

Rejeitos de mineração podem ser definidos como a mistura de rocha cominuída e os fluidos do processo de beneficiamento; então apresentando como característica física, granulometria fina e forma angular; e composição química dependente da composição da

rocha de origem e dos reagentes utilizados no processo (CARDOZO; CORDOVA; RUIVER, 2019).

2.4.1 Mineração no Brasil: impactos socioambientais

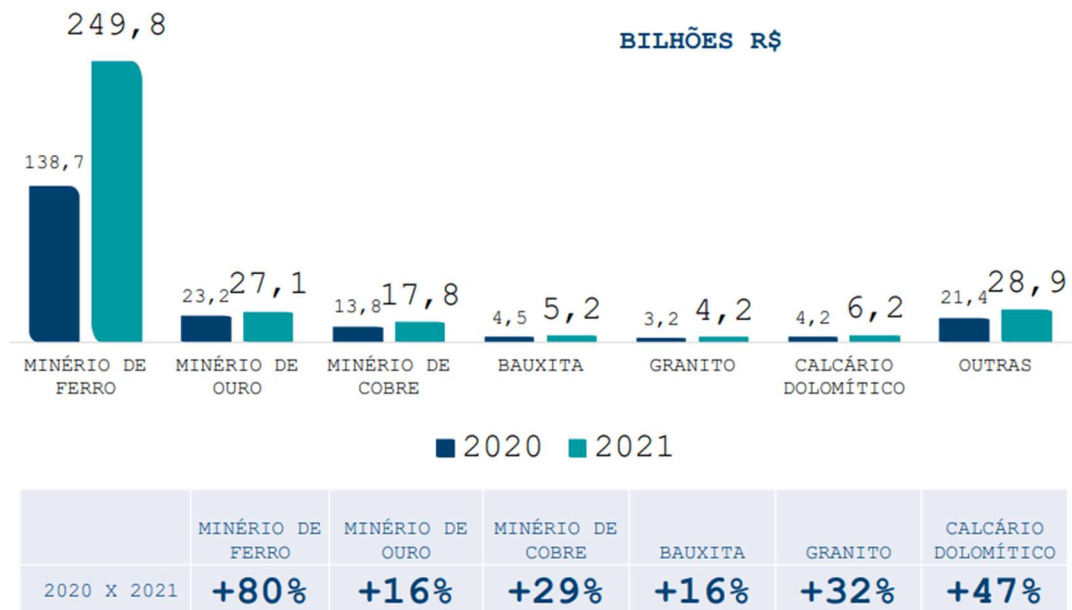
O setor mineral representa uma atividade de grande importância para a economia brasileira, correspondendo a uma arrecadação de aproximadamente 339 bilhões de reais em 2021, uma produção de 1,15 milhões de toneladas, proporcionando um aumento de 7% em relação ao ano de 2020. O faturamento do setor mineral por estado aumentou consideravelmente para o Pará e Minas Gerais, que continuaram sendo os dois principais estados mineradores do Brasil (IBRAM, 2020).

O Brasil é um dos principais produtores de minério de ferro no mundo, e consequentemente um dos maiores geradores de resíduos obtidos por esse processo, sendo estes líquidos e sólidos. Tais resíduos sólidos, principalmente os arenosos, são obtidos na escala de milhares de toneladas por dia, em uma mineradora de grande porte. A cada 1 tonelada de minério obtido, são geradas cerca de 1,5 tonelada de resíduo arenoso. (SILVA, A. P. M.; VIANA, J. P.; CAVALCANTE, 2012).

Em função do tipo de minério processado e dos tratamentos adotados podem ser encontrados rejeitos com variadas características geotécnicas, físico-químicas e mineralógicas. Os rejeitos, quando de granulometria fina, são denominados lama, e quando de granulometria grossa (acima de 0,074 mm), são denominados rejeitos granulares. (DUARTE, 2008)

Em 2021, o minério de ferro foi o maior produto gerado, ficando à frente do ouro, cobre, bauxita e o granito, conforme figura 9, produzida pelo IBRAM. Como é possível observar, o setor da mineração apresentou um aumento significativo na sua produção e consequentemente em seu faturamento no ano de 2021, o que promove uma série de debates relacionados às tragédias socioambientais ocorridas no passado.

Figura 9 – Faturamento por substância mineral em 2021.



FONTE: Setor Mineral 2021, 2022 - ANM / elaboração IBRAM.

Na figura 10 é apresentada uma lista com os principais acidentes com barragens de rejeitos no Brasil, com apurações desde 1960. O levantamento foi realizado pelo Wise Uranium Project, um projeto que busca informações sobre a produção de energia mundial.

Figura 10 – Relação de acidentes com barragens no Brasil.

DATA	LOCALIZAÇÃO	MINERADORA	TIPO DE MNÉRIO	TIPO DE INCIDENTE	QUANTIDADE DESPEJADA	IMPACTOS
5 de novembro de 2015	Mina de Germano, Bento Rodrigues, distrito de Mariana, Minas Gerais, Brasil	Samarco Mineração S.A. (50% BHP Bilton, 50% Vale)	ferro	rompimento de duas barragens de rejeitos que detinham um total de 62 milhões de m ³ (aparentemente, a barragem de Fundão foi a primeira, liberando rejeitos na barragem de Santarém, que também falhou na época)	32 milhões de m ³	a onda de lama inundou a cidade de Bento Rodrigues, destruindo 158 casas, com pelo menos 17 pessoas mortas e 2 dadas como desaparecidas; a lama contaminou o Rio Gualaxo do Norte e o Rio Doce ao longo de 663 km, destruindo 15 quilômetros quadrados de terra ao longo dos rios, isolando os moradores, comprometendo o abastecimento de água potável
10 de setembro de 2014	Mina de Herculano, Itabirito, Minas Gerais, Brasil	Herculano Mineração Ltda	ferro	rompimento de barragem de rejeitos		2 trabalhadores morreram e 1 foi dado como desaparecido
10 de janeiro de 2010	Mirai, Minas Gerais, Brasil	Mineração Rio Pomba Cataguases Ltda	bauxita	rompimento de barragem de rejeitos após forte chuva	2 milhões de lama, contendo água e argila (lama vermelha)	a lama afetou aproximadamente 4000 moradores da cidade de Mirai e Muriaé na Zona da Mata, deixando-os desabrigados. Plantações e pastagens foram destruídas e o abastecimento de água comprometido em cidades de Minas Gerais e Rio de Janeiro
22 de junho de 2001	Sebastião das Águas Claras, Nova Lima, Minas Gerais, Brasil	Mineração Rio Verde Ltda	ferro	rompimento da barragem com resíduos		os rejeitos percorreram pelo menos 6 km, 2 trabalhadores morreram e 3 foram dados como desaparecidos
maio de 1986	Itabirito, Minas Gerais, Brasil.	Itaminos Comércio de Minérios		rompimento da estrutura da barragem	100 mil toneladas	despejo de lama por aproximadamente 12 km

FONTE: adaptado de www.wise-uranium.org/mdaf

De acordo com o Laudo Técnico Preliminar do IBAMA de novembro de 2015, a barragem do Fundão teve seu rompimento classificado quanto a evolução como súbita, devido à velocidade que o processo evoluiu e a violência dos eventos adversos. A barragem continha 50M de m³ de rejeitos classificado como não perigoso e não inerte para ferro e manganês. Outro aspecto negativo, apontado no Laudo Técnico Preliminar do IBAMA (2015), é o potencial do rejeito de minério de ferro em afetar o solo a médio e longo prazo, desestruturando sua estrutura química e afetando o pH, portanto impactando diretamente espécies que vivem no local.

Mais recentemente, em 2019, houve a ruptura de outra barragem na cidade de Brumadinho no Estado de Minas Gerais, que também armazenava rejeitos de minério de ferro. O acidente provocou a liberação de aproximadamente 12.700.000 m³ de rejeitos, resultando em 259 mortos e 11 desaparecidos (CAVALLINI, 2021).

Além dos impactos negativos relacionados à produção residual da mineração, é preciso destacar os demais impactos promovidos por toda a cadeia produtiva do setor.

Na mineração, as principais alterações físicas à paisagem decorrentes de suas atividades são encontradas nas aberturas das cavas, disposição de material estéril (ou inerte ou não aproveitável) proveniente do decapeamento superficial e da disposição de rejeitos decorrentes dos processos de tratamento ou beneficiamento.

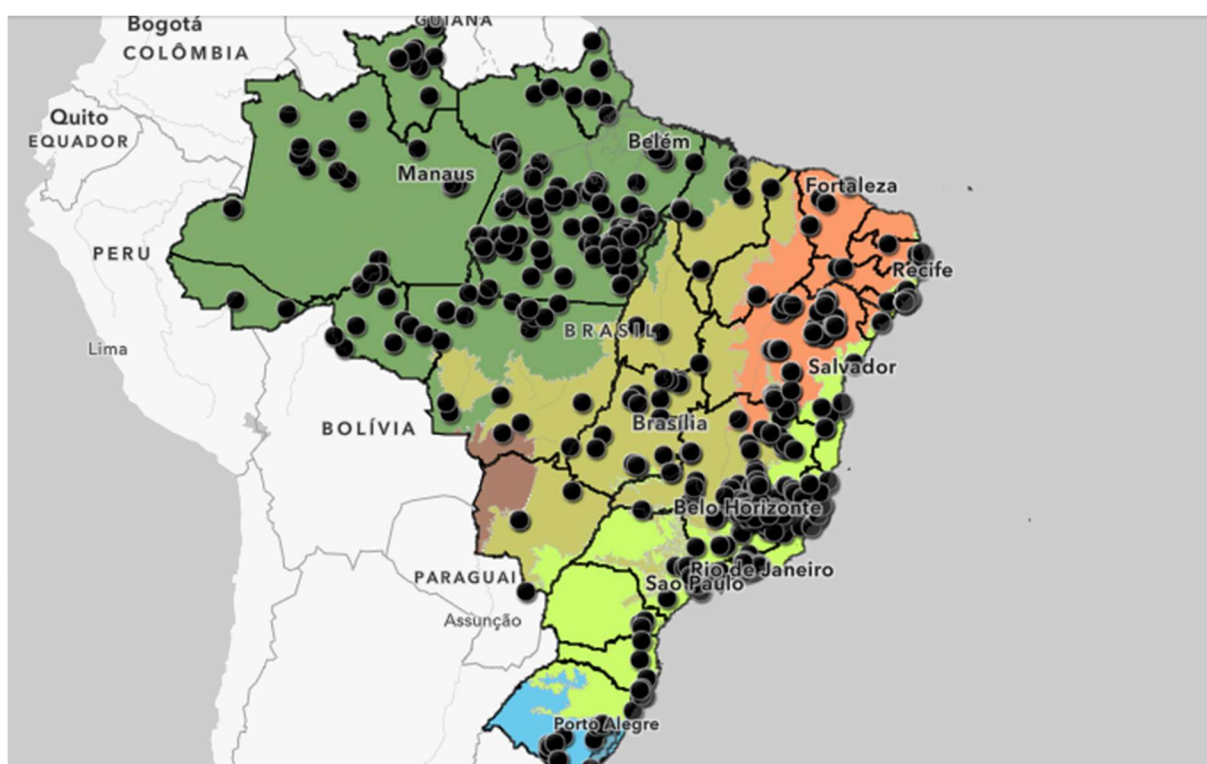
Júnior (2011) afirma que a maior preocupação com relação a esses resíduos diz respeito ao armazenamento, assim como a ocupação de um espaço físico e da poluição atmosférica provocada principalmente pelos particulados advindos dos resíduos finos e ultrafinos. As mineradoras por sua vez, com intuito de solucionar os problemas provocados pela geração desses resíduos durante o processo minerário, lançam mão de diversas ações, as quais se podem citar: uso de resíduos argilosos da mineração na fabricação de cerâmica e revestimentos, uso de resíduos sólidos como base para pavimentação e uso de resíduos sólidos na construção civil, em substituição à areia e outros agregados (ALVES; S.P, 1997; PEREIRA JÚNIOR, 2011; SILVEIRA, 2015).

O Comitê Nacional em defesa dos territórios frente à mineração no ano de 2020 sistematizou, mapeou e contabilizou diferentes tipos de conflitos socioambientais e violações de direitos humanos provocados pelo setor mineral em meios rurais, em especial pelas empresas mineradoras e metalúrgicas (nacionais e internacionais), e também pela ação de garimpos legais e ilegais. Foram levantados nesse período 722 casos e 823 ocorrências de conflito, envolvendo ao menos 1.088.012 pessoas.

Dos 25 estados com registros, os que mais concentraram localidades em conflito foram Minas Gerais (45,8%), Pará (14,9%) e Bahia (9,8%). Em número de pessoas atingidas por estado, Minas Gerais aparece concentrando 75% do total de pessoas atingidas, seguido de Alagoas (6,6%), Pará (4,8%) e Roraima (4,3%).

Ainda segundo o mapeamento, o Bioma com o maior número de registros foi a Mata Atlântica com 53,7%, seguido da Amazônia (23,7%), Caatinga (10,4%) e Cerrado (10,2%) conforme figura 11.

Figura 11 – Mapa de conflitos de mineração no Brasil em 2020.



FONTE: Relatório Anual - COMITÊ NACIONAL EM DEFESA DOS TERRITÓRIOS FRENTE À MINERAÇÃO, 2020.

2.4.2 Desastre de Mariana: recuperação e geração de renda para as comunidades afetadas

O desastre de Mariana, cidade histórica do Estado de Minas Gerais, compreende o rompimento da Barragem do Fundão do referido município e aconteceu no ano de 2015 e pode ser considerado o maior desastre ambiental nacional e um dos maiores do mundo. O

ocorrido foi responsável pelo lançamento no meio ambiente de 34 milhões de m³ de lama residual de mineração, realizada na produção de ferro pela mineradora Samarco, com grande parte do despejo direcionada para o Rio Doce e Oceano Atlântico (AGÊNCIA BRASIL, 2016).

Como foi divulgado, muitas vidas foram perdidas e comunidades inteiras afetadas, assim como uma grande área hidrográfica e biomas dizimados. Em 2019, no município de Brumadinho, também no Estado de Minas Gerais, fato similar ocorreu, trazendo novos e tão impactantes prejuízos às comunidades e ao meio ambiente. Considerando esse histórico, diversas estratégias precisaram ser estabelecidas, tanto a reconstrução de cidades, ajuda às vítimas e seus familiares quanto ao restabelecimento dos biomas afetados.

As referidas estratégias buscam apoio de diversas universidades e centros de pesquisa, com estudos que contribuam para o desenvolvimento de ações de recuperação ambiental, social e econômica. Nesse contexto, o desenvolvimento de novos materiais que apliquem e/ou utilizem os rejeitos de mineração dissipados nos referidos acontecimentos pode ser uma alternativa promissora.

Figura 12 – a) Desastre ambiental ocorrido em Mariana – MG em 2015; b) Desastre ambiental ocorrido em Brumadinho – MG em 2019.



FONTE: FUNDAÇÃO RENOVA (2019).

2.5 Adobe produzido com rejeitos de mineração reforçado com bagaço de cana

O uso do adobe produzido com materiais residuais, com ênfase nos rejeitos da mineração, promove os seguintes conceitos: processo simplificado; produção local; produzido

por mão de obra não especializada da comunidade local; reconstrução física das comunidades afetadas.

A referida proposta é sustentável e de grande impacto socioambiental, já que coloca a comunidade afetada no centro das ações, promovendo novos conhecimentos, apropriação cultural, além de gerar novas possibilidades de reconstrução econômica daquela região.

A Agência Brasil afirma que aproveitar o rejeito de mineração em outras cadeias produtivas ajuda a reduzir o volume que é armazenado em barragens - técnica que contribui para minimizar os riscos de rompimentos, como os que ocorreram em 2015 na mina da Samarco em Mariana (MG).

Diante do desastre ambiental, envolvendo o rejeito da produção mineradora, ocorrido em Mariana, diversos projetos de universidades de Minas Gerais e do Espírito Santo (estados afetados) foram selecionados para pesquisar soluções para a recuperação das áreas impactadas. Dentre os projetos aprovados, estão projetos que promovem o desenvolvimento sustentável, como a utilização do rejeito de barragem de minério para fabricação artesanal de tijolos para a construção de moradias, da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), e o uso do rejeito sedimentado da bacia do Rio Doce no desenvolvimento de componentes para a construção civil, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Ainda segundo a supracitada fonte,

Demais instituições de ensino e pesquisa, conscientes da temática e de sua importância, vêm desenvolvendo pesquisas relevantes, com bases multidisciplinares a fim de contribuir de forma científica e social. Nesse contexto, a Universidade Federal de Lavras apoia o desenvolvimento de pesquisas desde 2017 em projetos que contribuem para a viabilização do uso de rejeitos de mineração na produção de diversos materiais empregados na construção civil tais como, blocos de concreto, telhas e pisos.

Vilela *et al.*, (2020) produziu tijolos de solo-cimento a partir da substituição parcial do solo por resíduo de minério com o intuito de avaliar o efeito da substituição em diferentes porcentagens (0, 10, 20, 30 e 40%) de solo por este resíduo de mineração nas propriedades de tijolos de solo-cimento. Os resultados indicaram que o resíduo de mineração adicionado influenciou positivamente na densidade dos tijolos de cimento no solo, concluindo que até 40% destes resíduos poderiam ser incorporados ao tijolo, considerando os padrões de caracterização atuais. Em resistência mecânica, verificou que todos os tratamentos apresentaram valores acima das normas exigidas, onde os valores mínimos são fixados em 2,0 MPa para resistência compressiva.

Eugênio *et al.* (2021) estudou a viabilidade do uso de rejeito de minério de ferro nas propriedades tecnológicas de telhas de concreto. Os tratamentos foram baseados em 25, 50, 75 e 100% substituição em massa de pó calcário por rejeito de minério de ferro. Os autores observaram melhoras significativas das propriedades físicas e mecânicas, havendo melhorias na força de quebra transversal e nos valores de porosidade quando comparado as telhas tradicionais de concreto, além das propriedades tecnológicas e o atendimento dos padrões internacionais de produção sustentável.

Young & Yang (2019) trabalharam com um tipo de rejeito de minério de ferro com alto teor de magnésio e baixo teor de silício, esse componente foi utilizado em substituição da argila para produção de clínquer, pelo processo de sinterização convencional.

Oliveira *et al.* (2020) desenvolveram um estudo cujo objetivo foi o de caracterizar rejeitos de minério de ferro, com o intuito de utilizá-los como material cimentício suplementar para a produção de cimentos compostos coloridos.

Ao se viabilizar o emprego de rejeito de mineração na produção de adobes, ao contrário dos demais materiais, busca-se técnicas mais simplificadas e com o menor uso energético possível, fundamentando os conceitos já relatados.

2.5.1 Reforço de bagaço de cana-de-açúcar

O Brasil tem sua economia baseada na agroindústria. Essa prática econômica está enraizada na história colonial do país e ao longo dos anos foi potencializada pelo grande espaço territorial, características climáticas e investimentos financeiros e tecnológicos. Dentre as diversas culturas agrícolas desenvolvidas, a cana-de-açúcar é a de maior destaque nacional.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, o Brasil lidera o ranking de maior produtor de cana-de-açúcar no mundo, seguido pela China, Índia, Tailândia e Austrália. A produção de cana-de-açúcar no Brasil na safra 2019/2020 foi de aproximadamente 642 milhões de toneladas distribuídas em 8,48 milhões de hectares de terra, resultando em uma produtividade média de 75,78 t/ha (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2019b). Ainda segundo a CONAB, cada tonelada de cana-de-açúcar processada, são gerados aproximadamente 280 kg de resíduos, dessa forma, é estimado a geração de 175 milhões de toneladas de resíduo no beneficiamento da safra 2019/2020.

Vários são os resíduos provenientes da unidade sucroalcooleira, sendo o bagaço um dos mais atrativos pelo seu poder calorífico. Anualmente, são gerados em torno de 80 milhões de toneladas de bagaço. Uma grande fração deste bagaço é queimada dentro das usinas de açúcar e etanol para produzir vapor e energia. A outra fração restante pode ser utilizada para produção de polpas celulósicas especiais e para outras aplicações (ANDRADE, 2014). Em comparação com outros resíduos agroindustriais, pode-se afirmar que o bagaço reúne uma série de condições, o que faz com que ele seja o material fibroso com mais possibilidades de aplicações (MENDES *et al.*, 2010).

O bagaço “in-natura” é composto, aproximadamente, por 44,5% de fibras lignocelulósicas, 50% de umidade, 2,5% de sólidos solúveis em água e 3% de teor de cinza sendo constituída basicamente por α -celulose (54,3-55,2%), hemicelulose (16,8-29,7%), lignina (25,3-24,3%), cinzas (1,1%) e outros extratos (0,7-3,5%) (THOMAS e JOHN, 2008).

Para reforçar a potencialidade da aplicação do bagaço-de-cana-de-açúcar, incorporado ao solo para fins construtivos como o adobe, apresentamos como ponto positivo, sua alta disponibilidade nas regiões próximas ao local onde será aplicado, além da promoção de conhecimento científico e tecnológico de novos materiais com melhores propriedades físico-mecânicas e de alta durabilidade.

Moreira *et al.* (2019) adicionaram fibra de bagaço de cana-de-açúcar em concreto asfáltico a fim de identificar uma possível melhoria no desempenho mecânico do pavimento, bem como diminuir custos e aumentar a durabilidade da pavimentação e concluíram que a adição de fibras, provenientes do bagaço de cana-de-açúcar, em concreto asfáltico é tecnicamente viável, uma vez que a adição provocou melhorias satisfatórias, obedecendo padrões normativos.

Vilela, 2019 produziu tijolo solo-cimento reforçado com partículas vegetais e resíduos de mineração. Dentre os tratamentos produzidos, o referido autor observou que a inserção de partículas vegetais, destacando o tratamento com bagaço de cana, que apresentou uma redução de densidade em aproximadamente 12% quando comparado ao tratamento controle. A redução de densidade foi aumentada após o processo de envelhecimento acelerado, chegando a 15% em comparação ao tratamento controle. Ainda sobre os resultados obtidos para o tratamento com a inserção de bagaço de cana, foi observado um aumento significativo na absorção de água, que chegou a 27% quando comparado ao tratamento controle. Os valores de resistência à compressão dos referidos tratamentos, foram inferiores ao estabelecido por norma, embora com bons resultados nas propriedades de isolamento térmico.

Mota *et al.* (2020) adicionou fibras de cana-de-açúcar à fabricação de adobes em diferentes proporções, a fim de apontar uma proporção ideal do reforço. Os autores identificaram valores entre 15g a 20g, sendo 17g correspondente à melhor dosagem para uma melhor resistência à compressão.

Souza *et al.* (2021), estudou a viabilidade do uso de resíduos agrícolas na produção de blocos de concreto e observou que os referidos resíduos, utilizados como reforço, melhoraram física, mecânica e termicamente os blocos produzidos, ressaltando o desempenho positivo do bagaço de cana-de-açúcar.

As diversas pesquisas realizadas mostram que existem diversos fatores que interferem no resultado final de compósitos reforçados com bagaço de cana-de-açúcar. Isso se deve fundamentalmente à interação entre fibra e matriz. As propriedades e a grande variabilidade dos componentes anatômicos, físicos e químicos do material, resultante das condições de cultivo, afetam diretamente na referida interação na interface dos componentes.

2.5.2 Estabilização química com “baba de cupim sintética”

A estabilização química em adobes tem como objetivo, melhorar suas propriedades físicas e mecânicas. Dessa forma, a “baba de cupim sintética” é vista como uma alternativa efetiva, considerando suas propriedades hidrofóbicas e coesivas.

A “baba de cupim sintética” despertou interesse para a pesquisa devido principalmente a não toxicidade, ser coesiva e hidrofugante, assim como a “baba de cupim natural”. Corrêa (2013) esclarece que a escolha da concentração do produto e do reagente depende da classificação do solo e da finalidade do produto. O produto, cujo nome comercial é BlindaSolo pode ser misturado em qualquer tipo de solo e no próprio local de produção e não deteriora com o tempo mantendo-se homogêneo.

De acordo com os fabricantes é um produto químico de origem metal orgânica (sal orgânico) derivado da composição de óleos vegetais (mamona, entre outros) não inflamável e não tóxico. A “baba de cupim sintética” apresenta as seguintes características: é um produto líquido de coloração verde; densidade mínima a 25°C de 1,035 g/cm³; pH em solução a 1% de 10,5 mínimo; solúvel em água; insolúvel em álcool etílico (1% no máximo); não turvo e que não precipita; estado físico imutável; e vida útil de 15 anos, quando acondicionado adequadamente (CORRÊA, 2013).

Segundo a FISTEC Engenharia Ltda as partículas finas das argilas, devido a sua composição mineralógica, têm em sua superfície excesso de íons negativos (ânions), pelos quais são atraídos os íons positivos (cátions) da água, aderindo-os fortemente, formando a água adsorvida. Quanto mais espessa a camada, mais se distanciam as superfícies das partículas, diminuindo assim, a intensidade do campo elétrico e a energia térmica das moléculas de água faz com que essas partículas, que tem forma lamelar, se movimentam e provoquem um desequilíbrio entre elas, promovendo uma expansão do solo e por consequência, diminuindo sua resistência.

Diversas pesquisas afirmam que o uso da BCS afeta favoravelmente algumas propriedades dos solos, promovendo variações nas suas características. As principais variações são as seguintes: granulometria; limites de plasticidade; sistema de estabilização; acidez; resistência; densidade; umidade ótima; tempo de cura; coesão; e retenção de água.

Gandia *et al.* (2018) observaram um aumento da densidade aparente em adobes produzidos com a adição de “baba de cupim sintética”. Os autores encontraram os seguintes resultados: 1,62; 1,76; 1,76; 1,75 e 1,80 g/cm³ para as adições de 0; 0,1; 0,2; 0,4 e 0,8% do aditivo em massa do adobe respectivamente. Observaram que o uso da BCS promoveu uma maior coesão do solo e a diminuição dos espaços vazios, porém, verificaram também que a referida concentração promoveu o aumento de trincas durante o processo de secagem, motivado pela expulsão mais rápida da água do compósito. Outro ponto levantado pelos autores foi o maior gasto econômico na produção de adobes estabilizados com BCS.

Faria, Battistelle e Neves (2016), avaliaram a influência da adição de “baba de cupim sintética” na resistência à compressão e absorção de água de blocos de solo-cimento compactados e observaram que o uso do aditivo produziu um aumento de pelo menos 35% na resistência à compressão e reduziu em até 13% a absorção de água das amostras. Ressaltaram, ainda, a importância da dosagem adequada do aditivo químico (proporção recomendada pelo fabricante é de 1:1000) utilizada nas misturas e como esse fator impacta diretamente nos resultados atingidos. Concluíram que a substituição parcial do cimento pelo uso de BCS é viável, considerando os resultados alcançados e os impactos ambientais na redução no consumo do concreto na construção civil.

Corrêa (2015) incorporou partículas de bambu e “baba de cupim sintética” em adobes e observou uma melhor coesão entre matriz e reforço e conseqüentemente uma diminuição na capilaridade dos blocos. Concluiu que a estabilização química com BCS e o reforço com 6% das partículas de bambu aumentou a força compressiva em até 90%.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A construção civil, como um dos principais setores da economia brasileira e mundial, é responsável por parte das diretrizes da possível e necessária sustentabilidade nos processos das cadeias produtivas. Portanto a produção e utilização de adobe confeccionado com materiais provenientes de matérias primas residuais, processos limpos energeticamente e alta possibilidade de reciclagem associam os já relatados contextos sociais, culturais, econômicos e ambientais. A sua potencialidade já estabelecida pode ser elevada com a verificação de suas propriedades físicas, mecânicas e térmicas, além da promoção de saberes relacionados a culturas milenares. O uso do adobe produzido com rejeitos da mineração, rejeitos da indústria agrícola e “baba de cupim sintética” estabelece um novo viés na forma de se produzir materiais, métodos construtivos e o espaço construído, proporcionando construções estáveis, confortáveis e o protagonismo das vítimas dos desastres ambientais.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C 948-81: test method for dry and wet bulk density, water absorption, and apparent porosity of thin sections of glass-fiber reinforced concrete. West Conshohocken, PA, USA. 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13999: papel, cartão, pastas celulósicas e madeira: determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro, 2003. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14853: madeira: determinação do material solúvel em etanol-tolueno em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro, 2010b. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6453: ensaio de limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: ensaio de limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: análise granulométrica de solo. Rio de Janeiro, 1984c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: solo - ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7989: pasta celulósica e madeira: determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro, 2010a. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8492: tijolo maciço de solo cimento: determinação da resistência à compressão e da absorção de água – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984c. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: solo ensaio de compactação: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986. 10 p.

ALLSOPP, D., SEAL, K., GAYLARDE, C. **Introduction to Biodeterioration**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

AVRAMI, E., GUILLAUD, H.; HARDY, M. **Terra Literature Review**. An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation. Los Angeles, The Getty Institute, 2008.

ALVES, W. A.; SP, S. C. O Potencial de Utilização de um Resíduo Argiloso na Fabricação de Revestimento Cerâmico Parte I - Caracterização Introdução. **Cerâmica Industrial**, v. 2, n. 5/6, p. 38–40, 1997.

ANDRADE, J.C.F.; SILVA, V.L.; CARVALHO, L.S.; OLIVEIRA, K.G.; COSTA, G.I.Q.; SILVA, E.G.; CÂMARA, A.B.F.; SILVA, T.M.G.; LIMA, R.R.S.; CAMPOS, L.M.A. **Obtenção da celulose oriunda do bagaço decana-de-açúcar (*saccharum officinarum*) e caracterização por FTIR/DRX.** In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, nº 54, 2014, Natal – 03-07 nov. 2014.

ARAYA-LETELIER, G.; CONCHA-RIEDEL, J.; ANTICO, F.; SANDOVAL, C. **Experimental mechanical-damage assessment of earthen mixes reinforced with micro polypropylene fibers.** Construction and Building Materials, v. 198, p. 762-776, 2019.

ARINI, R.; GALLO, H. **A arquitetura de terra (solo, cimento e cal) como possível fator de sustentabilidade.** NUTAU 2002. São Paulo. P. 1270-1277. 2002. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/biblioteca.aspx>.

BABÉ, C.; KIDMO, D. k.; TOM, A.; MVONDO, R. R. N.; KOLA, B.; DJONGYANG, N. **Efeito das fibras de neem (*Azadirachta Indica*) nas propriedades mecânicas, térmicas e de durabilidade dos tijolos de adobe.** Energy Reports, v. 7, supplement 5, p. 686-698, 2021.

BENINCASA, V. As casas de fazenda paulistas. **Revista Eletrônica de Jornalismo Científico.** Online: SBPC 2010.

BERTELSEN, I.; BELMONTE, L.; FISCHER, G.; OTTOSEN, L. **Influence of synthetic waste fibres on drying shrinkage cracking and mechanical properties of adobe materials.** Construction and Building Materials 286 (2021). v. 286, 2021.

BOSCOV, M. E. G., 2008, **Geotecnia ambiental.** 1 Ed. São Paulo – Brasil, Oficina de Textos.

BRASIL, 2012, **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Federal, Governo. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir1529/PNRS_consultaspublicas.pdf.

BROWNING, B. L. **The chemistry of wood.** New York: Interscience, 1963.

CANCELA, Diana Carina Pereira. **Comportamento higrotérmico e monitorização de construções em adobe.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de Aveiro, Aveiro, 2013.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1998. 312 p.

CARDOZO, F.; CORDOVA, D.; RUVEN, C. **Considerações sobre barragens de rejeito da mineração e utilização do método de montante.** In: X Seminário de engenharia geotécnica do Rio Grande do Sul. Santa Maria, 2019.

CARVALHO, R. M. **Soluções para a construção de habitação em adobe a custos controlados.** 2021. 226 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.

CATALAN, G; HEGYI, A.; DICO, C.; MIRCEA, C. **Determining the Optimum Addition of Vegetable Materials in Adobe Bricks.** Procedia Technology, v. 22, p. 259-265, 2016.

CAVALLINI, M. **Mina que abriga barragem em Brumadinho responde por 2% da produção da Vale;** veja raio-X. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/01/28/mina-que-abriga-barragem-em-brumadinho-responde-por-2-da-producao-da-vale-veja-raio-x.ghtml>. Acesso em: 10 jun. 2021.

CAVICCHIOLI, 2016. **Atlas da arquitetura em terra**. Projeto elaborado em atendimento ao edital Programa Ano Sabático junto ao Instituto de Estudos Avançados da USP. Outubro 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Boletim da Safra de Cana-de-Açúcar**, Brasília, v. 6 - Safra 2019/20, n. 1 - Primeiro levantamento, maio de 2019. Disponível em: https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/26522_a59699997ccd7d2a58a5c9a29371b267.

CORRÊA, A. A. R. **Incorporação de partículas lignocelulósicas e “baba de cupim sintética” no adobe**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

CORRÊA, A. A. R.; Mendes, L. M.; Barbosa, N. P.; Protásio, T. P.; Campos, N. A.; Tonoli, G. H. D. **Incorporation of bamboo particles and “synthetic termite saliva” in adobes**. *Construction and Building Materials*, Guildford, 2015. v. 98, p. 250-256.

CORREIA, M. **Investigação e Difusão Científica em Arquitetura de Terra, na ESG/ Escola Superior Gallaecia** in: TerraBrasil 2006 (em CD). Ouro Preto: TerraBrasil, 2006.

DA PONTE, Maria Manuel Correia Costa. **Arquitetura de terra: o desenho para a durabilidade das construções**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia). Universidade de Coimbra, Coimbra, 2012.

DAY, P. R. **Particle fractionation and particle size analysis**. In: BLACK, C. A. (Ed.). *Methods of soils analysis: physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 546-567.

DE SOUZA, A. M. **Guia dos bens tombados**, Santa Catarina. CIVILIZAÇÃO BRASILEIRA, 1992. ISBN 8520801609.

DETHIER, J. **Arquitetura de Terra ou o futuro de uma tradição milenar**. Rio de Janeiro: Avenir, 1982.

DIAS, J. C. T. As origens do culto de Cosme e Damião. **Revista dos alunos pós-graduação em ciência da religião**. UFJF: Juiz de Fora, 2015.

Embrapa (1997). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

ERDER, C. **Informe final y ponencias principales**. EL adobe. Simposio Internacional y curso – Talles sobre conservacion del adobe. Lima-Cusco, Peru, 10-22 set. 1983.

FARIA, J. P. R. **Influência africana na arquitetura de terra de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável), Escola de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

GALVÃO Jr. **Adobe e as Arquiteturas**. Textos especializados. 1ª ed. 24 p. Publicação IPHAN. S.d. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/Adobe_e_as_Arquiteturas. Acesso em: 02 out. 2021.

GANDIA, R.M. **Avaliação do comportamento físico, mecânico, térmico e energético de adobes com e sem estabilização**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

GANDREAU, D.; DELBOY, L. **Patrimoine mondial: inventaire de l'architecture de terre**. Grenoble: CRA Terre-ENSAG, 2012.

GOMES, M.V. **Arqueologia da Arquitectura de terra em Portugal**. In: *Arquitectura de terra em Portugal* (p.125-131). Lisboa: Argumentum, 2005.

HEATHCOTE, K. **The thermal performance of earth buildings**. In: *Informes de la Construcción* Vol.63, 523, 117-126. Inst. Eduardo Torroja. Espanha, 2010.

HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. **Earth construction**. A comprehensive guide. Rugby: Intermediate Technology Publicationa Ltda., 1994.

HUNTER, K.; KIFFMEYER, D. **Earthbag building**. Gabriola Island: New society publishers. 2004. 237 p. ISBN: 0-86571-507-6.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**. 2015.

ILLAMPAS, R., IOANNOU, I., CHARMPIS, D. *Int. J. Archit. Herit.* v. 7, n.2, p. 165-188, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Infográfico Mineração em números 2020**, 2020.

JAQUIN, P. A. **Analysis of Historic Rammed Earth Construction**. Durham theses, Durham University. Available at Durham E-Theses Online: <http://etheses.dur.ac.uk/2169>.

JOFFROY, T.; GUILLAUD, H.; LE TIEC, J-M. **Architectures contemporaines en terre crue: sur les traces de Hassan**. Fathy. In: *Unesco international colloquium on the conservation of world heritage earthen architecture*. 2012.

KANAN, M. I. C. **The Mediterranean Portuguese Influence in the Brazilian Earth-Building Tradition: a valuable heritage to research**. In: *Mediterra*, Cagliari. 1st Mediterranean Conference on Earth Architecture, v. 1. p. 109-120, 2009.

KOSSOFF et al. **Mine tailings dams: characteristics, failure, environmental impacts, and remediation.** *Applied Geochemistry*, v. 51, p. 229-245, 2014.

LACAZ, F.A.C., PORTO, M.F.S., PINHEIRO, T. M. M. Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/ Samarco. **Rev. Bras. Saúde Ocup**, v. 42, 2017.

LAUBER, W. **L'Architecture dogon. Constructions en terre au Mali.** Paris: Adam Biro, 1998.

LEMOS, C. - **Arquitetura Brasileira - São Paulo:** Melhoramentos EDUSP/ Universidade de São Paulo, 1979.

MASCARENHAS, A. **Paisagens de Barro: Espaços não convencionais em Sociedades não ocidentais.** In: I Seminário Arquitectura e Construção com Terra no Brasil e IV Seminário Arquitectura de Terra em Portugal. Minas Gerais, 4 a 8 de nov., 2006.

MATTOSO, L. H. C. et al. **Utilização de fibras vegetais para reforço de plásticos.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, São Carlos, n. 3, p. 1-4, nov. 1996.

MELQUIÁDES JÚNIOR. **CASAS DE TAIPA: A vida entre paredes de barro.** Diário do Nordeste. Online 2010.

MENDES, R. F. et al. Painéis aglomerados com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 285 - 295, 2010.

MILANEZ, A. **Casa de terra: as técnicas de estabilização do solo a serviço do homem do campo.** São Paulo: SESC, 1958. 122 p.

MILLOGO, Y.; AUBERT, J.S.; FABBRI, A.; MOREL, J. Earth blocks stabilized by cowdung. *Materials and Structures*. 49. 10. 1617/s11527-016-0808-6.

MINKE, G. **Building whit earth: design and technology of sustainable architecture.** Basel: Birkhauser - Publishes of Architecture, 2006.

MINKE, G. **Manual de construccion em tierra.** Editora Fin del Siglo, 2011.

MINKE, G. **Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture,** 3rd ed., 2012.

MONTORO, P. **Como Construir Paredes de Taipa.** Folheto: “workshop” sobre paredes de taipa, - SP. Produzido pelo ILAM - Instituto Latino Americano, São Paulo, 1994.

NAVARRO, R.F. **A Evolução dos Materiais, Parte1:** da Pré-história ao Início da Era Moderna. *Revista Electrónica de Materiais e Processos*, 1, 1-11, 2006.

NEVES, C. **O Uso do Solo- cimento em Edificações.** A Experiência do CEPED. V SIACOT- Seminário Ibero- Americano de Construção, 2005.

NEVES, C.; FARIA, O.B.; ROTONDARO, R.; CEVALLOS, P. S.; HOFFMANN, M. V. **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra** – práticas de campo.

PROTERRA. Disponível em: <http://www.redproterra.org>.

NEVES, C.; FARIA, O.B. **Técnicas de construção com terra 1**, Bauru: FEBUNESP-PROTERRA, 2011.

NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN. NTE E. 080: regulamento Nacional construcciones. Lima, 2000. P.17.

PEREIRA JÚNIOR, S. S. **Desenvolvimento de argamassas contendo resíduos arenosos de mineração e estudos de suas propriedades visando sua utilização**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

PONTES, M. M. C., **Arquitetura de terra: um desenho para a durabilidade das construções**. 2012. 316 f. Dissertação. Faculdade de ciências e tecnologias da Universidade de Coimbra. Coimbra.

PROMPT, C. H.; BORELLA, L. L. **Experiências em construção com terra no segmento da agricultura familiar**. Terra Brasil - III. In: CONGRESSO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA NO BRASIL, 2010. Campo Grande - MS.

RILEM TECHNICAL COMMITTEE 49 TFR. **Testing methods for fibre reinforced cement-based composites**. Mat Struc 1984;17:441-456.

RUIZ, L. E. H.; LUNA J. A. M. **Cartilha de pruebas de campo**. Conescal: s.n., 1983. 72.

SANTIAGO, C.C. **O solo como material de construção**. Salvador. EDUFBA, 2001.

SAVASTANO JR, H. **Fibras vegetais para construção civil: a fibra de coco**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1986. 19 p. Boletim Técnico 04/86.

PISANI, M.A. TAIPAS: A Arquitetura de terra. **Revista Sinergia**. 5. 09-15.2004.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M.A. Cluster analysis methods for grouping, means in the analysis of variance. *Biometrics*, Washington, v. 30, p. 507-512, 1974.

SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA, 13., 1976, New York. **O consumo de energia para a construção civil**. New York: Grupos de Pesquisa da Universidade de Illinois, e Richard G. Stein e Assoc, Arquitetos, 1976.

SILVA, C. G. T. **Conceitos e preconceitos relativos às construções em terra crua**. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, 2000.

SILVA, A. P. M.; VIANA, J. P.; CAVALCANTE, A. L. B. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da atividade de mineração de substâncias não energéticas**: relatório de pesquisa. Brasília, DFIPEA, 2012.

SILVEIRA, W. J. D. C. Entrevista: construindo com terra. SANTOS, C. A. D. 2015.

SOARES, R. N.; SILVA, A. C.; PINHEIRO, J. C. **Tijolos de terra crua estabilizados com fibras de coco verde: alternativa para habitação de interesse social**. XLVI. *In*: Congresso de Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Rio Branco, Acre, Brasil, 2008.

TORGAL, F.; EIRES, R.; JALALI, S. *Construção em terra*. Universidade do Minho. TecMinho, 2009.

TORRACA, G. **Lectures on Materials Science for Architectural Conservation**. Los Angeles: The Getty Institute. 2009.

VARUM, H.; COSTA, A.P.R.; SILVEIRA, G.M.C.; CARVALHO, L.S. **Caracterização dos solos e adobes usados na construção los Camabatela**, Angola. Lisboa: Argumentum, 2007. p. 94-96.

VASCONCELLOS, S. *Arquitetura no Brasil: sistemas construtivos*. Belo Horizonte: UFMG, 1979.

VILELA, A., **Tijolo solo-cimento reforçado com partículas vegetais e resíduos de mineração**. 2019. 94 f. Tese. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Biomateriais da Universidade Federal de Lavras. Lavras.

VILELA, A. P.; EUGENIO, T.M.C.; OLIVEIRA, F.F.; MENDES, J.F.; RIBEIRO, A.G.C.; BRANDÃO, E.V.; MENDES, R.F. Technological properties of soil-cement bricks produced with iron ore mining waste. **Construction and Building Materials**, v. 262, p. 120883, 2020.
WALKER, P. **Rammed earth: design and construction guidelines**. Watford: BRE Bookshop Watford, 2005. ISBN 1860817343.

YOUNG, G.; YANG, M. Preparation and characterization of Portland cement clinker from iron ore tailings. **Construction and Building Materials**, v. 197, p. 152–156, 2019.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

Proposto para o periódico *Construction and Building Materials*

ARTIGO 1 – USO DO REJEITO DE ATIVIDADES MINERADORAS PARA A PRODUÇÃO DE ADOBES REFORÇADOS COM BAGAÇO DE CANA APLICADOS EM SISTEMAS DE VEDAÇÃO

RESUMO

A indústria da construção civil, em todo seu processo, representa uma grande parcela da economia mundial, entretanto, contribui significativamente para a produção de resíduos, sendo requisitada a utilização de materiais de construção sustentáveis. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi desenvolver adobes utilizando resíduos da atividade mineradora e da agroindústria, agregando a baba de cupim sintética com estabilizador químico. A composição desses materiais oriundos de resíduos de produções de grandes setores da economia possibilita a viabilização de um material amplamente aplicável, sustentável e com grande apelo ambiental. O adobe, analisado quanto às suas características físicas e mecânicas. Foram analisadas 7 diferentes composições: um tratamento composto apenas por rejeito (controle); tratamentos com adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar (3,0; 5,0; e 7,0% em massa seca); tratamentos com adição de baba de cupim sintética (0,07; 0,10; e 0,20% em massa seca). A densidade aparente dos adobes sofreram redução significativa com a incorporação do bagaço de cana e baba de cupim. Os mesmos tratamentos apresentaram expansão em até 9,36 mm e contração em até 6,40 mm em relação as dimensões originais. Apenas o tratamento com 7% de bagaço de cana apresentou valores para absorção de água (6,5%) acima do tratamento controle. Com relação a capilaridade, todos os tratamentos apresentaram valores inferiores ao tratamento controle, sendo o tratamento com 7% de bagaço com maior valor de capilaridade entre os tratamentos reforçados. Os ensaios mecânicos mostraram que todos os tratamentos, em relação ao tratamento controle, tiveram uma redução na sua resistência à compressão e flexão. Os valores de condutividade térmica, ficaram entre 0,2264 e 0,2456 W*m/°C, sugerindo que os adobes produzidos conferem excelente conforto térmico. Dessa forma, os tratamentos reforçados tiveram sua densidade reduzida, assim como a absorção de água e capilaridade. Para as propriedades térmicas, todos os resultados apresentam potencial para proporcionar bom conforto térmico. O rejeito de mineração usado neste estudo mostra-se promissor no desenvolvimento de tijolos de adobe, além do bagaço de cana e da baba de cupim sintética serem materiais com potencial de reforço para uso de sistemas de vedação.

Palavras-chave: Adobe. Matéria-prima residual. Sustentabilidade. Viabilidade.

1 INTRODUÇÃO

O uso da terra para a construção de edificações é milenar e de grande importância para a história da humanidade, sendo atualmente utilizada em diversos países. Tal fato pode ser justificado pelo seu ótimo desempenho, além dos aspectos ambientais e de sustentabilidade promovidos. A indústria da construção civil e toda sua cadeia exigem um alto consumo energético, que se inicia na extração das matérias primas até o descarte final.

A extração de minérios, como parte dessa indústria, promove anualmente grandes quantidades de resíduos, além da promoção de grandes impactos ambientais, sociais e econômicos. Segundo a Agência Brasil, em Minas Gerais, principal estado minerador do país, os dados do último Inventário de Resíduos da mineração divulgado no ano de 2019 pelo governo mineiro apontou que apenas 0,003% do rejeito gerado é reaproveitado. Outros países mineradores já vivem uma realidade distinta. A China, por exemplo, tem como meta de governo alcançar o índice de 22% de aproveitamento de todo seu rejeito mineral até 2022.

O rompimento da Barragem do Fundão na região de Mariana, cidade histórica do Estado de Minas Gerais, no ano de 2015 ficou conhecido por ser o maior desastre ambiental da história do Brasil. O fato foi responsável pelo lançamento no meio ambiente de 34 milhões de m³ de lama, dos quais grande parte foi despejada no Rio Doce e no Oceano Atlântico. Em 2019, dessa vez no município de Brumadinho, Minas Gerais, um novo rompimento ocorreu, afetando mais uma vez a vida de comunidades inteiras e com grandes prejuízos ambientais.

A utilização desse rejeito, como matéria prima do adobe pode ser considerada uma forma de mitigação dos desastres relatados. Em ações judiciais relacionadas às tragédias de Mariana e Brumadinho, o Ministério Público (MPF) criticou as mineradoras por não investir no aproveitamento de rejeito por colocar o interesse econômico acima do ambiental (Agência Brasil, 2019).

Com a crescente preocupação relacionada aos aspectos ambientais, além da grande pressão exercida pelas comunidades ambientais internacionais, por processos mais sustentáveis, é cada vez maior o empenho da comunidade acadêmica na produção de pesquisas relacionadas ao tema. Diversos estudos têm buscado a aplicação desses resíduos na produção de uma grande gama de materiais, aprimorando processos e componentes.

Neste contexto, pode-se citar o trabalho de Guerra (2014), que utilizou rejeito de minério de ferro em substituição parcial do agregado miúdo na produção de blocos

intertravados. O estudo apresentou melhores resultados de resistência à compressão como nos blocos onde houve adição de rejeito de ferro, do que com os agregados naturais.

Ainda se tratando da aplicação de materiais residuais, o uso de materiais lignocelulósicos com reforço ao material cerâmico, considerado frágeis mecanicamente, pode mitigar essa característica, além de promover mais leveza ao produto final.

Matos *et al.* (2021) utilizou cinzas de bagaço como preenchimento estrutural para a produção de argamassas cimentícias e comprovou que o reaproveitamento desses resíduos é promissor como contribuição para a sustentabilidade ambiental, além de materiais com propriedades satisfatórias e de baixo custo.

Corrêa *et al.* (2015) utilizando fibras de bambu e bagaço de cana na produção de adobes, obteve resultados de resistência à compressão quando adicionados 6% de bagaço de cana e 6% de fibras de bambu, correspondendo respectivamente à 1,01 e 0,96 MPa, um acréscimo de 68% e 60%, respectivamente.

A estabilização do adobe é outro fator que pode contribuir para sua estabilidade e melhor adequação ao meio onde é empregado. O uso da baba de cupim sintética como agente estabilizador e impermeabilizante tem sido observado por muitos pesquisadores. Corrêa *et al.* (2013), incorporou partículas lignocelulósicas e baba de cupim sintética (BCS) na produção de adobes e os resultados comprovaram que a interação solo-partícula-BCS foi extremamente positiva, reduzindo a absorção de água, contração, capilaridade e perda de massa dos adobes, além da redução da densidade e um aumento da resistência à compressão em até 90%. Gandia *et al.* (2018) avaliaram o efeito da adição de baba de cupim sintética no adobe quanto a densidade aparente, observando o aumento de coesão do solo. Sanga *et al.* (2022) utilizaram baba de cupim como agente de cimentação na intenção de criar um material de construção de alta resistência.

Considerando a alta produção de resíduos oriundos da extração mineradora e da agroindústria e dos diversos e grandes impactos ambientais gerados, o objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade de sua aplicação na produção de adobes estabilizados com baba de cupim sintética, analisando suas propriedades físico-mecânicas e térmicas.

2 DESENVOLVIMENTO

MATERIAL E MÉTODOS

Material

Os materiais usados foram rejeito de mineração proveniente da barragem do Fundão localizada no distrito de Bento Rodrigues, município de Mariana/MG; bagaço de cana-de-açúcar disponibilizado pela Cachaçaria Bocaina localizada no município de Lavras/MG, baba de cupim sintética (Blindasolo®) e sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$).

Métodos

Propriedades do rejeito de mineração

As propriedades do rejeito foram analisadas a partir da caracterização química, classificação do tipo de solo, análise de metais, difração de raios X (DRX), limites de consistência e granulometria (Tabela 1).

Tabela 1 – Metodologias de caracterização do rejeito.

Análise	Metodologia
Difratometria de raios-X	(RESENDE et al., 1985)
Umidade higroscópica	Método de estufa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 1997)
Densidade de partículas	(BLAKE et al., 1986 apud EMBRAPA, 1997)
Densidade do rejeito	(LEAMER 1941 apud EMBRAPA, 1997)
Análise granulométrica	Método da pipeta (DAY, 1965; ABNT, 1984)
Classificação do solo/rejeito	(EMBRAPA, 1997)
Limite de consistência do rejeito	(ABNT, 1984a; ABNT, 1984b; CAPUTO, 1998)
Umidade ótima	(ABNT, 1986)

FONTE: Elaborado pelo autor (2022)

Propriedades do rejeito de mineração

Os processos para a caracterização do bagaço de cana-de-açúcar foram realizados no complexo BIOMAT – DCF/UFLA. O resíduo passou por processos de moagem, lavagem com água a 45°C para a retirada de impurezas, e secagem. O material lignocelulósico teve seus componentes anatômicos determinados, inicialmente, por microscopia óptica e posteriormente por microscopia eletrônica de varredura (MEV), onde foi utilizado o microscópio do Modelo LEO EVO 40 XVP, pertencente ao Laboratório de Fitopatologia – UFLA.

As amostras do bagaço também foram caracterizadas quanto a sua composição química (Tabela 2). Foram utilizadas partículas que passaram por peneiras com abertura de 40 mesh (0,420 mm) e ficaram retidas na peneira com abertura de 60 mesh (0,250 mm) previamente acondicionadas em ambiente climatizado.

Tabela 2 – Propriedades do bagaço de cana-de-açúcar		
Caracterização do material	Valores	Ensaio/Método
Lignina (%)	20,30 (\pm 1,70)	Teor de lignina insolúvel (ABNT, 2010a)
Extrativos (%)	17,03 (\pm 1,89)	Teor de extrativos totais (ABNT, 2010b)
Cinzas (%)	0,59 (\pm 0,03)	Determinação dos componentes minerais (ABNT, 2013)
Holocelulose (%)	20,30 (\pm 1,70)	(BROWNING, 1963)
Celulose (%)	27,38 (\pm 0,59)	(KENNEDY; HILLIPS; WILLIAMS, 1974)
Densidade básica (g/cm ³)	0,166 (\pm 0,10)	NBR 11941 (ABNT, 2003)
Umidade (%)	12,7 (\pm 0,03)	
Espessura da parede celular (μ m)	5,30 (\pm 1,18)	
Diâmetro do lúmen (μ m)	13,93 (\pm 6,65)	
Coefficiente de flexibilidade	56,77	

FONTE: Elaborado pelo autor (2022)

Produção dos adobes

O procedimento de produção dos adobes (Figura 1) foi o mesmo descrito por Corrêa *et al.* (2015). Foram produzidos adobes compostos apenas por rejeito (Referência); rejeito com adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar nas proporções de 3,0; 5,0; e 7,0 % em massa; e rejeito com adição de baba de cupim sintética nas proporções de 0,07; 0,10; e 0,20% em massa. O reagente sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) na proporção de 0,02% em massa foi adicionado em todos os tratamentos.

O rejeito de mineração, bagaço de cana (ou baba de cupim), previamente pesados, foram misturados com enxada. Posteriormente foi adicionada metade da água calculada e promovida nova homogeneização da mistura. O reagente $Al_2(SO_4)_3$ dissolvido na outra metade da água foi adicionado, sendo feita uma homogeneização com os pés. A massa resultante foi colocada em formas de madeira com dimensões de 77 x 179 x 381 mm, untadas com desmoldante, até o endurecimento da mistura. Os adobes foram mantidos no local de desmolde até estarem completamente secos. Aos três dias foram colocados em posição lateral e aos sete em posição vertical. Após completa secagem os adobes (28 dias) foram armazenados em ambiente climatizado ($20\pm 2^\circ C$ e $65\pm 5\%$ de umidade).

Figura 1 - Sequência de produção do adobe: (a) e b) mistura dos componentes secos; c) adição de água; d) homogeneização da mistura com os pés; e), f) e g) moldagem dos adobes em forma de madeira e h) adobes desmoldados.



FONTE: Elaborado pela equipe do projeto Renova (2022).

Ensaio das propriedades físicas

Os valores médios de densidade aparente (DA) foram determinados seguindo-se a norma ABNT 16184, com o teste de retração linear determinou-se a contração e expansão seguindo-se os procedimentos de Ruiz e Luna (1983) e para avaliar a absorção de água e capilaridade seguiu-se adaptação da norma ASTM C 1585-13.

As densidades aparentes das amostras foram determinadas gravimetricamente, dividindo seu peso seco (g) pelo seu volume (cm^3); este último foi estimado por meio de múltiplas medidas das dimensões da amostra em todas as três direções usando fita métrica e paquímetro (Figura 2). Para determinar a contração linear mediu-se a contração dos adobes após o processo de secagem, determinando a diferença do comprimento dos adobes secos em relação ao comprimento da forma de produção deles.

Figura 2 – Representação esquemática da obtenção das medidas das dimensões dos adobes.



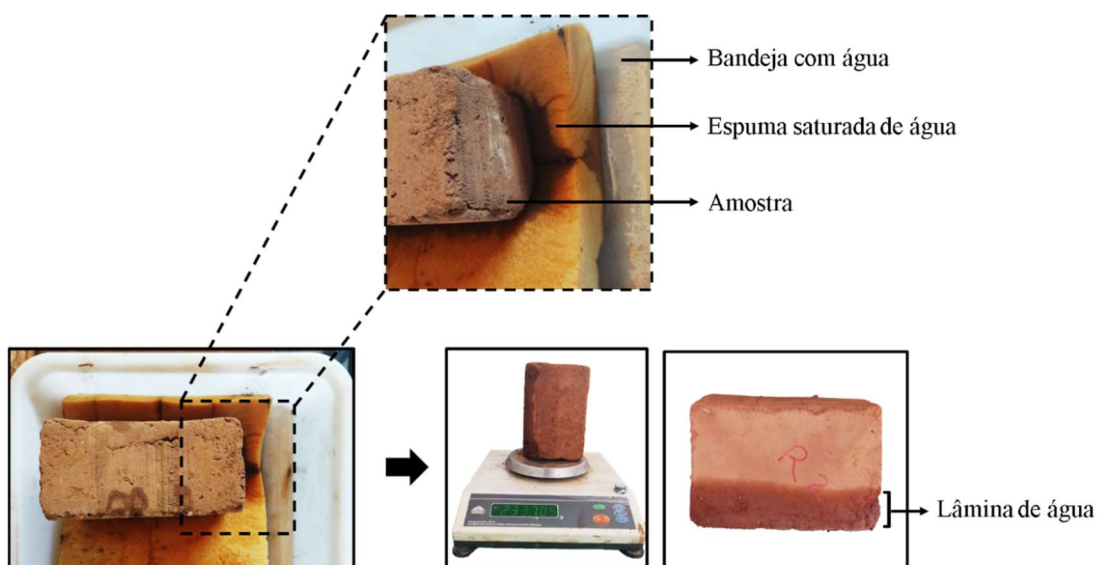
FONTE: Elaborado equipe do projeto Renova (2022).

Para determinar a absorção de água e capilaridade foram preparados corpos de prova com medidas de 153x105 x 70 mm. Os corpos de prova foram secos em estufa a 60 °C por 24h, posteriormente foram expostos indiretamente à água em determinados intervalos. Os blocos foram pesados (medições da massa) e marcas de das lâminas de água dos tijolos foram anotadas. As medições foram nos seguintes tempos: 0, 1, 5, 10, 20, 30 e 60 min após a exposição indireta à água. Para que acontecesse a exposição não direta em água os corpos de prova foram colocados sobre espumas saturadas de água, inseridas dentro de caixas plásticas (Figura 3). Para calcular a absorção de água capilar usou-se a Equação 1.

$$I = \Delta m \cdot a \cdot d \quad \text{Equação 1}$$

Onde I representa a taxa de absorção de água, Δm é a variação de massa entre duas medições consecutivas, a é a área da seção transversal exposta à absorção de água e d é a densidade da água.

Figura 3. Representação esquemática do teste de capilaridade.



Medições de massa e lâmina de água

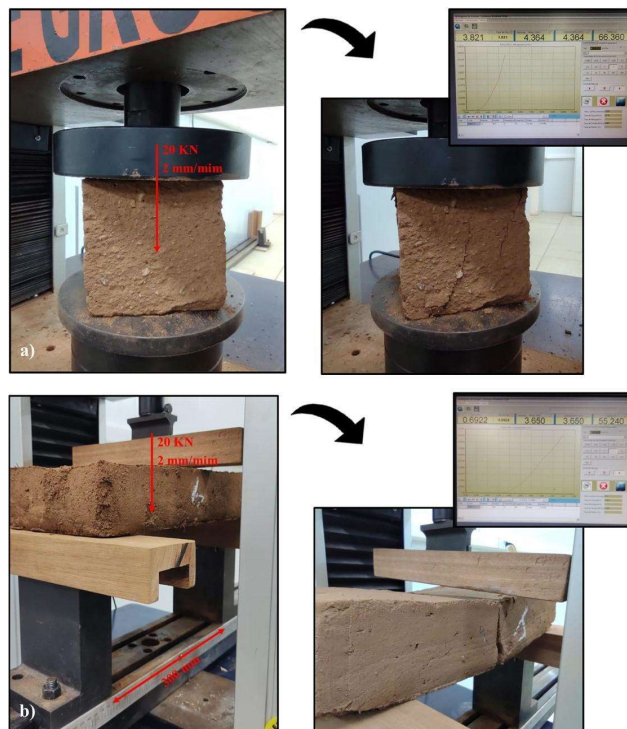
FONTE: Elaborado equipe do projeto Renova (2022).

Durante os ensaios, foi observado a perda de massa dos blocos e em determinados momentos sua desintegração parcial. Após a remoção dos blocos das esponjas e finalização do ensaio, observou-se, também, a continuidade do processo de absorção, com a mudança da lâmina d'água anteriormente marcada.

Propriedades mecânicas

Os ensaios mecânicos foram executados em uma máquina de testes universal da marca AROTEC. O teste de resistência à compressão seguiu os parâmetros da norma NTE.080 (NORMAS TÉCNICAS DE EDIFICACIÓN, 2000). Os testes mecânicos de resistência à compressão e flexão estática nos adobes, utilizou o mesmo equipamento equipado com célula de carga de 2 kN. Uma configuração com três cutelos (vão inferior igual a 150 mm). Para os ensaios mecânicos foram testados 7 corpos de prova de cada tratamento, que foram submetidos à carga até fratura. Os testes são representados na Figura 4 abaixo.

Figura 4. Representação esquemática dos testes de: a) resistência à compressão e b) resistência à flexão.



FONTE: Elaborado equipe do projeto Renova (2022).

Caracterização térmica

O ensaio de condutibilidade térmica nos adobes foi realizado no equipamento desenvolvido no complexo BIOMAT – DCF/UFLA.

O ensaio de análise térmica foi realizado com auxílio de uma câmara produzida com painéis MDP (medium density particleboard) e camadas de revestimento para isolar o ambiente externo. No interior da câmara, parte inferior, contém uma fonte de calor (lâmpada incandescente) conectada a um termostato que manteve a temperatura em 60,0 °C, onde permanece por 2 h. A cada 15 min a leitura era feita na parte inferior e superior do equipamento, até temperatura constante, quando o ensaio foi encerrado. Na parte superior da câmara e entre as amostras (tijolos), foram colocados sensores que puderam capturar as respostas obtidas durante o ensaio. Estas foram armazenadas em Datalog e enviadas ao computador para comparação e armazenagem de dados (GANDIA et al., 2019).

Microestrutura dos adobes

A superfície dos adobes também foi avaliada por Microscopia eletrônica de varredura (MEV) usando microscópio Modelo LEO EVO 40 XVP, pertencente ao Laboratório de Fitopatologia – UFLA. As amostras foram submetidas ao banho de ouro por pulverização técnica. Foram submetidos também a análise de tomografia de raios-X utilizando-se um micro-tomógrafo de raios – X de quarta geração Modelo SkyScan 1172, da Embrapa Instrumentação Agropecuária – São Carlos.

Análise estatística

Para investigação dos resultados foram usados o teste de médias Scott-Knott e análise de regressão linear utilizando-se o método dos quadrados mínimos no software Sisvar 5.6, ambos a 1 e 5% de probabilidade no software Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização do rejeito de mineração

O rejeito foi classificado como solo do tipo 2 (EMBRAPA, 1997) com a seguinte composição: 20% de argila; 50% de silte; 30% de areia.

Tabela 3. Propriedades do solo in natura

		Solo in natura	Unidade
Granulometria	Argila	20	%
	Silte	50	%
	Areia	30	%
Limite de Consistência	LL	22	%
	LP	18	%
Densidade	Massa Específica	3,080	g/cm ³

Segundo as normas ABNT NBR 6453 e ABNT NBR 7181, a composição granulométrica da terra deve atender preferencialmente aos seguintes parâmetros: areia entre 45% e 65%; silte até 30%; e argila entre 25% e 35%. Fratini *et al.* (2011) afirmam que existe uma relação direta entre a quantidade de argila e silte e resistência mecânica. Concluíram que essa soma não deve exceder a 55%. A argila deve atingir no máximo 30%, porque além dessa quantidade reduz a resistência mecânica, devido à contração na secagem e fissuração. O mínimo de 20% de argila promove coesão e melhores propriedades ao adobe. Os resultados mostram que valores fora dos parâmetros podem influenciar na interface e homogeneidade da mistura, comprometendo as propriedades do adobe

Outro dado importante em relação ao solo é a sua plasticidade que é mensurada pelo Índice de Plasticidade - IP. O rejeito “in natura”, apresentou resultado de umidade para IP de 4%. Esse resultado, de acordo com a classificação Jenkins (CAPUTO, 1998), caracteriza o rejeito como fracamente plástico.

Densidade aparente e retração linear

A densidade aparente do adobe apresentou diferença significativa, conforme a Tabela 3, diminuindo com a incorporação de bagaço de cana e baba de cupim sintética na matriz do adobe, exceto para o tratamento composto por rejeito e 0,10% de baba de cupim, que não apresentou diferença significativa em relação ao tratamento referência. A concentração de 7% de bagaço de cana proporcionou maior redução da densidade, com redução de 0,78 g/cm³ quando comparado ao tratamento referência.

Nos resultados apresentados na Tabela 4, observa-se, também, o aumento do volume e diminuição da massa dos adobes com o aumento da concentração de bagaço de cana na matriz do adobe, isso devido a estrutura das fibras vegetais que possuem uma densidade inferior ao do rejeito, proporcionando a diminuição da densidade aparente do adobe. Outro fator que pode explicar a redução da densidade é o possível aumento da porosidade do adobe pela movimentação das fibras em contato com o rejeito, conforme apresentado nas imagens de microscopia de varredura.

Tabela 4 - Resultados médios de densidade aparente.

Tratamentos	Largura	Altura	Comprimento	Massa	Volume	Densidade aparente
	(cm)	(cm)	(cm)	(g)	(cm ³)	(g/cm ³)
Referência	7,71	17,25	37,51	9410,00	4990,32	1,88 ± 0,05 a
3% Bagaço de cana	7,85	17,83	38,12	7745,00	5325,21	1,45 ± 0,03 b
5% Bagaço de cana	7,89	18,35	38,51	6826,67	5555,82	1,23 ± 0,02 c
7% Bagaço de cana	7,64	19,02	39,04	6255,00	5649,46	1,10 ± 0,04 d
0,07% Baba de cupim	7,87	17,48	37,46	9285,00	5143,28	1,81 ± 0,03 e
0,10% Baba de cupim	7,76	17,31	37,50	9448,33	5047,87	1,87 ± 0,03 a
0,20% Baba de cupim	7,77	17,38	37,81	9410,00	5104,59	1,82 ± 0,03 f

Média seguidas por mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste Scott-Knott a 5% de significância.

Segundo Vilela (2019) que produziu e avaliou tijolos solo-cimento reforçados com partículas vegetais e resíduos de mineração, observou que houve uma redução significativa na densidade dos tijolos após a inserção das partículas vegetais, dando destaque para o

tratamento contendo partículas do bagaço de cana, que apresentou uma redução de aproximadamente 12% no valor da densidade aparente, em comparação com o tratamento controle. O autor traz como justificativa a baixa densidade das partículas, que resultou em um maior volume de partículas adicionadas ao tijolo solo-cimento que aumentou a quantidade de poros na matriz.

Para os adobes com concentrações diferentes de baba de cupim, apesar da diferença estatística entre as médias comparadas, estes não se diferenciam muito da densidade aparente encontrada para o tratamento referência. Corrêa *et al.* (2014) utilizando concentrações de 0,05; 0,067; 0,1 e 0,2% de baba de cupim sintética, encontrou um aumento da densidade somente com o uso de concentrações acima de 0,1%, diferente dos resultados encontrados neste estudo.

Quando estudada a retração linear dos adobes produzidos, observou-se contração no tratamento referência e nos adobes com diferentes proporções de baba de cupim sintética. Já naqueles com diferentes proporções de bagaço de cana, foi observado mais expansão do que contração. Os resultados encontrados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados médios encontrados para retração linear.

Tratamentos	Contração		Expansão	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)
Referência	5,57 ± 0,95 a	1,46 ± 0,25 a	-	-
3% Bagaço de cana	0,78 ± 0,42 b	0,21 ± 0,11 b	1,13 ± 0,13 a	0,29 ± 0,13 a
5% Bagaço de cana	-	-	4,20 ± 1,11 b	1,40 ± 0,29 b
7% Bagaço de cana	-	-	9,36 ± 1,06 c	2,45 ± 0,27 c
0,07% Baba de cupim	6,40 ± 0,85 a	1,67 ± 0,22 a	-	-
0,10% Baba de cupim	6,00 ± 0,26 a	1,57 ± 0,06 a	-	-
0,20% Baba de cupim	2,33 ± 1,46 c	0,61 ± 0,38 c	-	-

Média seguidas por mesma letra em uma mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste Scott-Knott a 5% de significância e “-” indica a não contração ou não expansão do tratamento.

Os tratamentos com bagaço de cana se diferenciam estatisticamente entre si e dos demais tratamentos produzidos, observando-se contração em 36% das amostras testadas do tratamento com 3% de bagaço de cana e expansão no restante das amostras deste mesmo

tratamento e nos demais, sendo que, quanto mais bagaço de cana adicionado ao adobe, maior foi a sua expansão.

Em relação aos tratamentos com baba de cupim observa-se que estes tratamentos não se diferenciam estatisticamente entre si e do adobe referência, exceto para os adobes com 0,20% de baba de cupim, que apresentaram menor contração que os demais. A contração dos adobes com baba de cupim pode estar relacionada com a saída da água do material e com a força de coesão que a baba de cupim sintética proporciona entre os átomos dos materiais destes tratamentos.

Os resultados observados para o teste de retração linear corroboram com os resultados de densidade aparente observados, pois os tratamentos com maiores volumes são os tratamentos que sofreram maior expansão.

Absorção de água e capilaridade

Quanto aos resultados de absorção de água e altura na capilaridade dos adobes produzidos, os mesmos são apresentados na Figura 6. A maior absorção de água em 60 min. foi observada para o tratamento com 7% de bagaço de cana (Figura 6a), enquanto os demais tratamentos apresentaram absorção de água menor que o tratamento referência, sendo assim a incorporação de 3% e 5% de bagaço de cana e das demais proporções de baba de cupim (Figura 6c) reduzem a absorção de água, quando comparados ao adobe referência. Com absorção de água entre 6,44% e 2,15% os tratamentos produzidos atendem à NBR 8492 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1984) que se refere aos tijolos de solo-cimento (BTCs) e recomenda $AA\% \leq 18\%$.

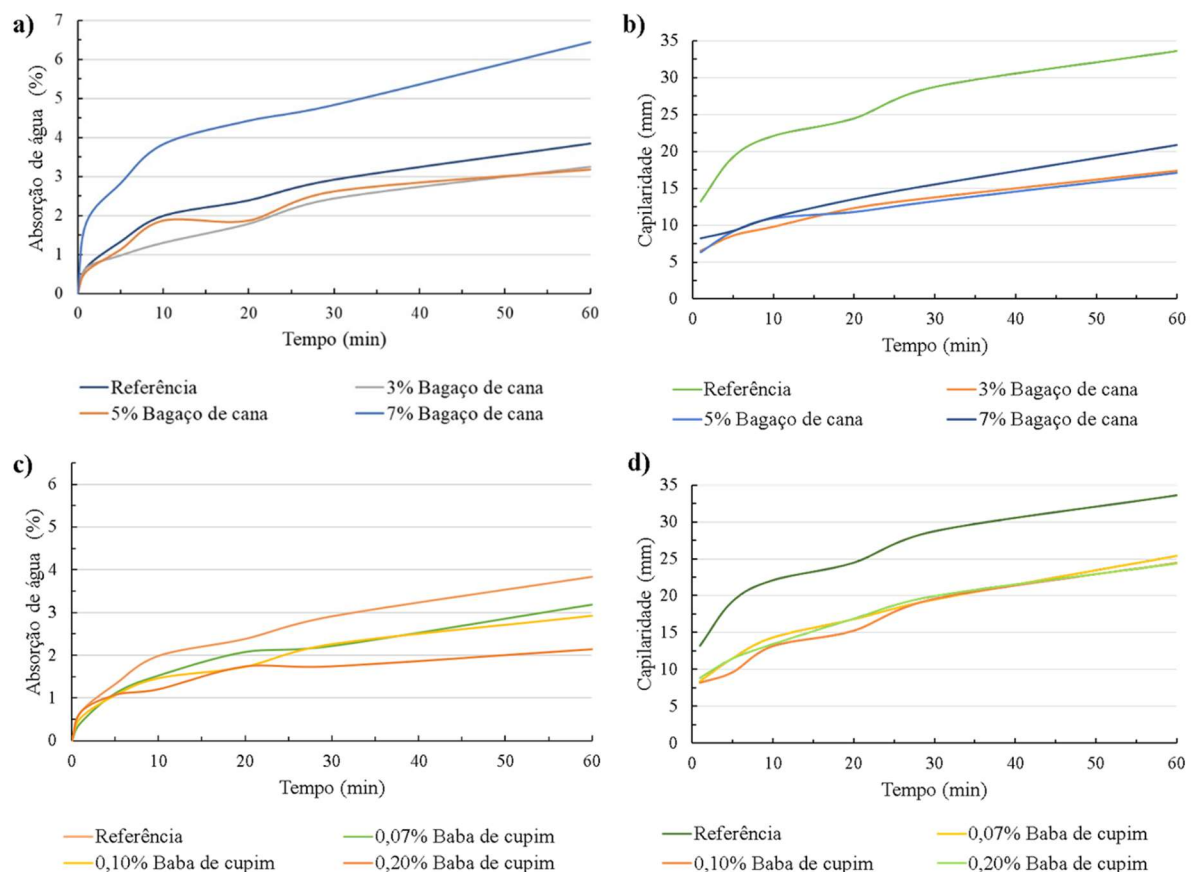
Para a altura na capilaridade observou-se que a adição de bagaço de cana e baba de cupim na matriz de rejeito reduz essa propriedade, apresentando valores entre 20,9 mm e 17,1 mm para os tratamentos com bagaço de cana (Figura 5b) e valores entre 25,4 mm e 24,44 mm para os tratamentos com baba de cupim (Figura 5d), enquanto que no tratamento referência a altura na capilaridade de foi de 33,6 mm. Os resultados demonstraram que a altura da água ascendente diminuiu com menores concentrações de bagaço de cana e maior concentração de baba de cupim.

Corrêa (2013) apresenta resultados diferentes aos observados, com capilaridade acrescida com o aumento de partículas lignocelulósicas, devido às propriedades hidrofílicas

das fibras. Ainda, segundo a autora, a estabilização química com BCS promoveu a redução da absorção de água e capilaridade nos adobes.

Babé *et al.* (2021) observou o aumento no coeficiente de absorção de água nos adobes reforçados com as fibras de neem, concluindo que os resultados são devido à natureza do material de reforço, rico em celulose, facilitando a absorção de água.

Figura 5 - Resultados médios de absorção de água e capilaridade dos adobes com bagaço de cana (a e b) e dos adobes com baba de cupim sintética (c e d).



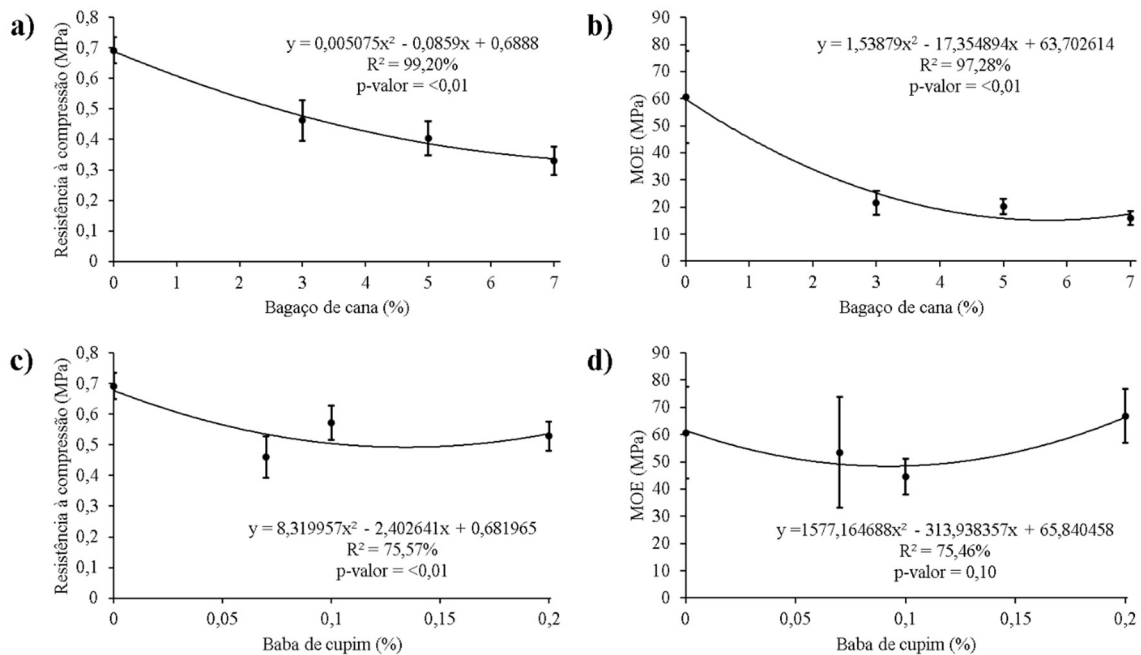
FONTE: Elaborado pelo autor (2022).

Resistência à compressão

No ensaio de resistência à compressão, os tratamentos com a adição de bagaço de cana e de baba de cupim sintética foi significativa ao nível de 1% e 5% para a Tensão. Observa-se redução da resistência à compressão com a incorporação das diferentes proporções de bagaço de cana (Figura 6a) e baba de cupim sintético (Figura 6c), enquanto os resultados para o tratamento referência atendem a NTE E.080 (NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN, 2000), que estabelece resistência à compressão $\geq 0,7$ MPa.

Com a incorporação do bagaço de cana na matriz do adobe (Figura 6b) foi observado a redução no módulo elástico (MOE), com resultados baixos. Estes tratamentos foram facilmente deformados e quando a carga sobre eles foi retirada, voltaram à sua conformação original. Para os tratamentos com adição de baba de cupim sintética e referência não foi observada diferença significativa entre os resultados de MOE (Figura 6d), com p-valor de 0,10 MPa.

Figura 6 - Resultados médios de resistência à compressão e módulo de elasticidade dos adobes com bagaço de cana (a e b) e dos adobes com baba de cupim sintética (c e d).



FONTE: Elaborado pelo autor (2022).

Diversos estudos indicam que existe uma relação direta entre resistência mecânica e a proporção de fibra adicionada à matriz, afetando a trabalhabilidade da mistura, coesão entre reforço e matriz e compactação no processamento. Catalan *et al.* (2016), determinou, em seu estudo, a proporção ótima para adição de materiais vegetais em tijolos adobe. Os autores relatam que a adição de fibra de cânhamo maior que 10% do volume de massa não causará um aumento, e sim uma redução da resistência à compressão. Os pesquisadores justificam esse comportamento pelo fato de que uma quantidade excessiva de material lignocelulósico promove uma diminuição de compactação do material, sendo que provavelmente a quantidade do material matriz insuficiente para a cobertura ideal das fibras. Consideram, ainda, uma possível redução da capacidade de trabalho da mistura.

Os autores verificaram resultados semelhantes com adobes que receberam a adição de fibras de palha, com uma diminuição contínua da força compressiva com o aumento do reforço.

Babé *et al.* (2021) avaliaram o efeito da adição de fibras de neem (*Azadirachta Indica*) nas propriedades mecânicas dos tijolos adobes e observaram que entre as proporções de reforço adicionados aos tijolos, ocorre um aumento de resistência compressiva, seguida por uma redução significativa. Os autores trabalharam com as seguintes proporções de reforço de material lignocelulósico: 0, 1, 2, 3 e 4% e obtiveram os seguintes resultados: 4,69, 6,23, 6,35, 6,1 e 5,85 MPa correspondentes respectivamente. Concluíram que a redução da força compressiva observada nos adobes com 3 e 4% de palha neem, pode ser atribuída a uma fraca ligação de fibra-solo causada pela presença abundante de fibra na mistura. Outro fator que foi considerado é a baixa resistência à compressão dos materiais lignocelulósicos.

A redução da força compressiva relacionada ao acréscimo de material lignocelulósico deve considerar, também, a sua menor densidade e porosidade da mistura, uma vez que são fatores que influenciam diretamente as propriedades mecânicas de qualquer compósito.

Vilela (2019) verificou uma redução da resistência à compressão de tijolos solo-cimento reforçados com partículas de café e bagaço de cana, identificando uma redução da resistência de aproximadamente 40% (casca de café) e 35% (bagaço de cana) em comparação com os tijolos solo-cimento sem partículas vegetais. O autor relacionou os resultados pela formação de poros na matriz acarretando em maior absorção de água e, conseqüentemente, maior perda de massa do material.

Segundo Corrêa (2013) que avaliou a incorporação de partículas lignocelulósicas e “baba de cupim sintética” no adobe, o reforço com partículas promoveu melhor resistência aos adobes, enquanto que a incorporação da BCS promoveu um aumento pouco significativo.

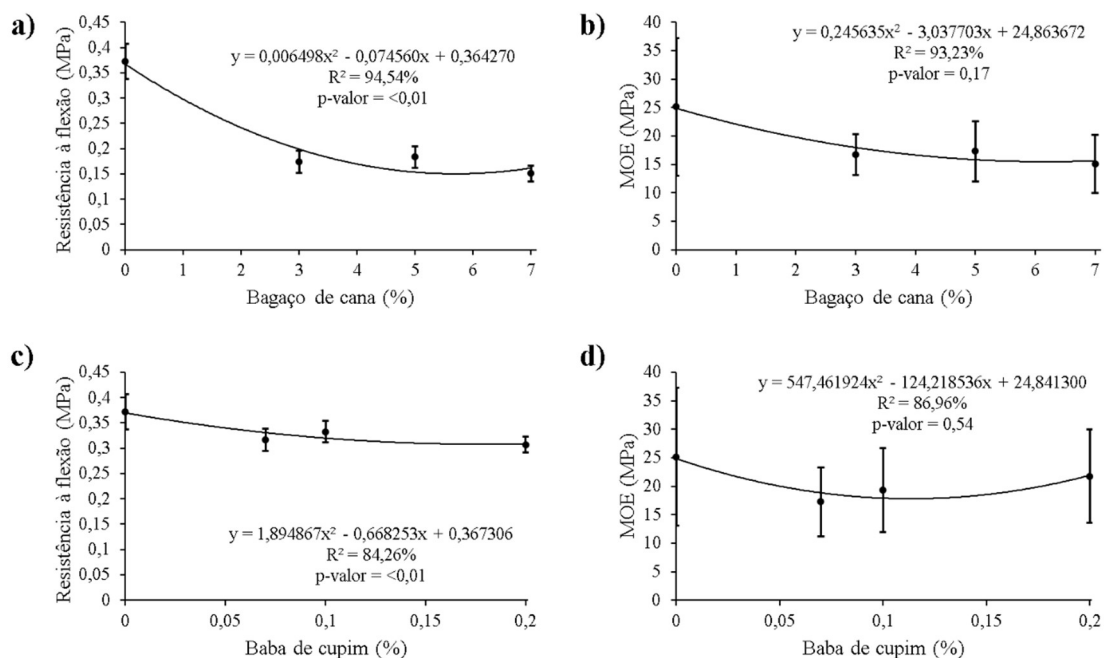
Resistência à flexão

No ensaio de flexão estática, tanto a adição das diferentes proporções de bagaço de cana, quanto a adição das proporções de baba de cupim apresentaram resultados diferentes estatisticamente para à flexão (Figuras 7a e 7c). A tendência da resistência à flexão foi reduzir com a adição de bagaço de cana e baba de cupim na matriz do adobe, sendo observados valores de resistência à flexão bem próximos ao valor encontrado para o tratamento de referência (0,37 MPa) e para os tratamentos com baba de cupim (entre 0,30 MPa e 0,33 MPa).

Os resultados de resistência a flexão corresponderam de 37% até 67% dos obtidos para resistência a compressão, essa correlação é superior ao estabelecido pela NZS 4298: 1998 (STANDARDS NEW ZEALAND, 1998) que determina de 10 a 20%, indicando um material de revestimento promissor.

Para o módulo elástico da flexão não foi observado diferença estatística a 1% e 5% de significância entre os tratamentos referência e com adição de bagaço de cana, com p-valor 0,17 (Figura 7b). Esse mesmo comportamento foi observado para os tratamentos com baba de cupim sintético, p-valor = 0,54 (Figura 7d).

Figura 7 - Resultados médios de resistência a flexão e módulo de elasticidade dos adobes com bagaço de cana (a e b) e dos adobes com baba de cupim sintética (c e d).



FONTE: Elaborado pelo autor (2022).

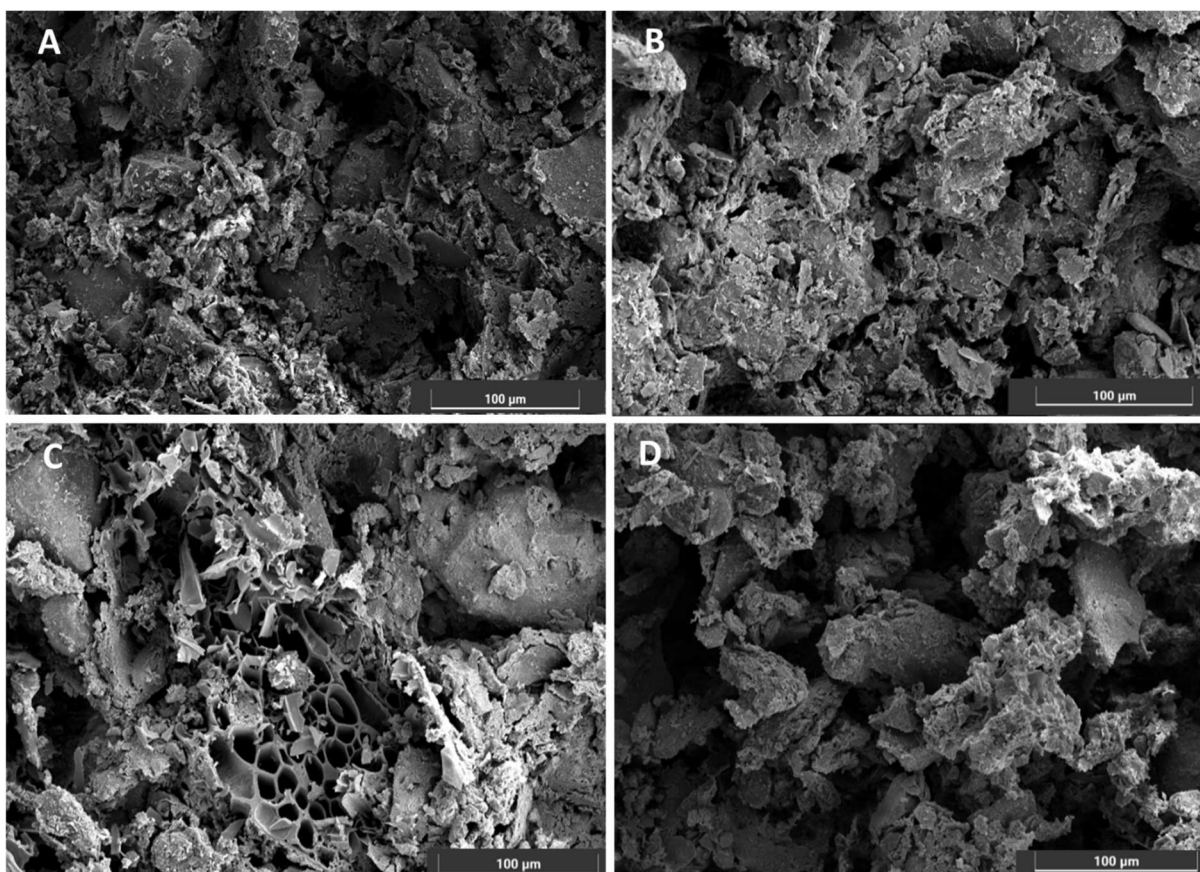
Os resultados encontrados se diferem aos observados por Catalan *et al.* (2016), que determinaram um crescimento acentuado e constante na resistência à tração com a adição de fibras de cânhamo (entre 9% e 10%) e palha (40%).

Segundo Bui (2021) a distribuição e orientação de fibras dentro da matriz também é fundamental para a resistência dos tijolos, mas é difícil controlar a orientação das fibras dentro dos tijolos. Fibras paralelas à seção transversal de tijolos contribuem mais para a resistência à tração dos materiais compostos.

Foi possível observar pontos de aderência e falha entre matriz e reforços em todos os tratamentos, com destaque para os tratamentos com o reforço de 5% (Figura 8c) e 7% de

bagaço de cana-de-açúcar (Figura 8d). Nas imagens é possível observar pontos vazios e porosidade, provavelmente, responsável em parte pelos resultados físico-mecânicos observados.

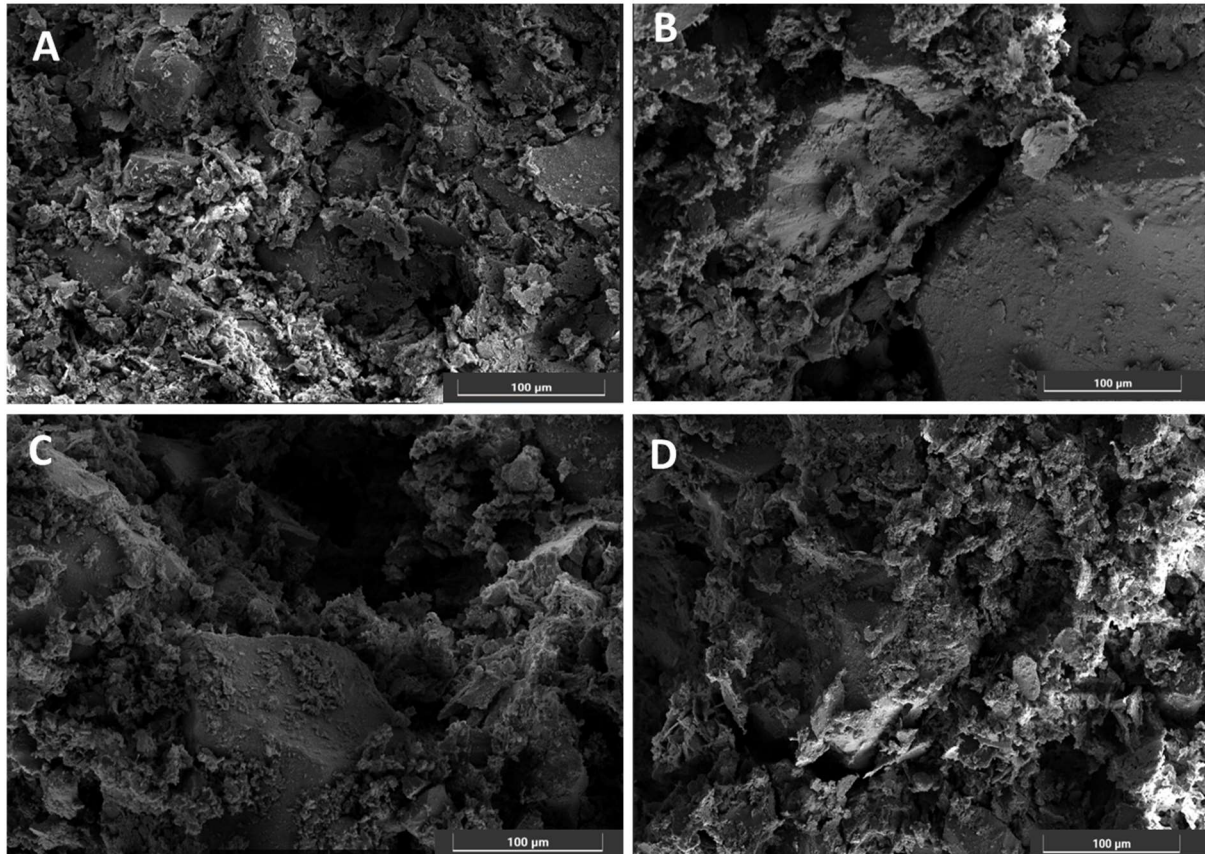
Figura 8 - Micrografias dos tratamentos controle e reforçados com bagaço de cana; (A) Tratamento controle. (B) Tratamento de rejeito e adição de 3% de bagaço. (C) Tratamento de rejeito e adição de 5% de bagaço. (D) Tratamento de rejeito e adição de 7% de bagaço.



FONTE: Elaborado pelo autor (2022).

As imagens dos tratamentos com o reforço de baba de cupim sintética e tratamento controle podem ser observados na Figura 9. Nas imagens é possível observar pontos de maior coesão entre os componentes, porém, com pontos de vazios em diferentes proporções. Tais vazios e falhas na interface.

Figura 9 - Micrografias dos tratamentos controle e reforçados com baba de cupim sintética; (A) Tratamento controle. (B) Tratamento de rejeito e adição de 0,07% de BCS. (C) Tratamento de rejeito e adição de 0,10% de BCS. (D) Tratamento de rejeito e adição de 0,20% de BCS.



FONTE: Elaborado pelo autor (2022).

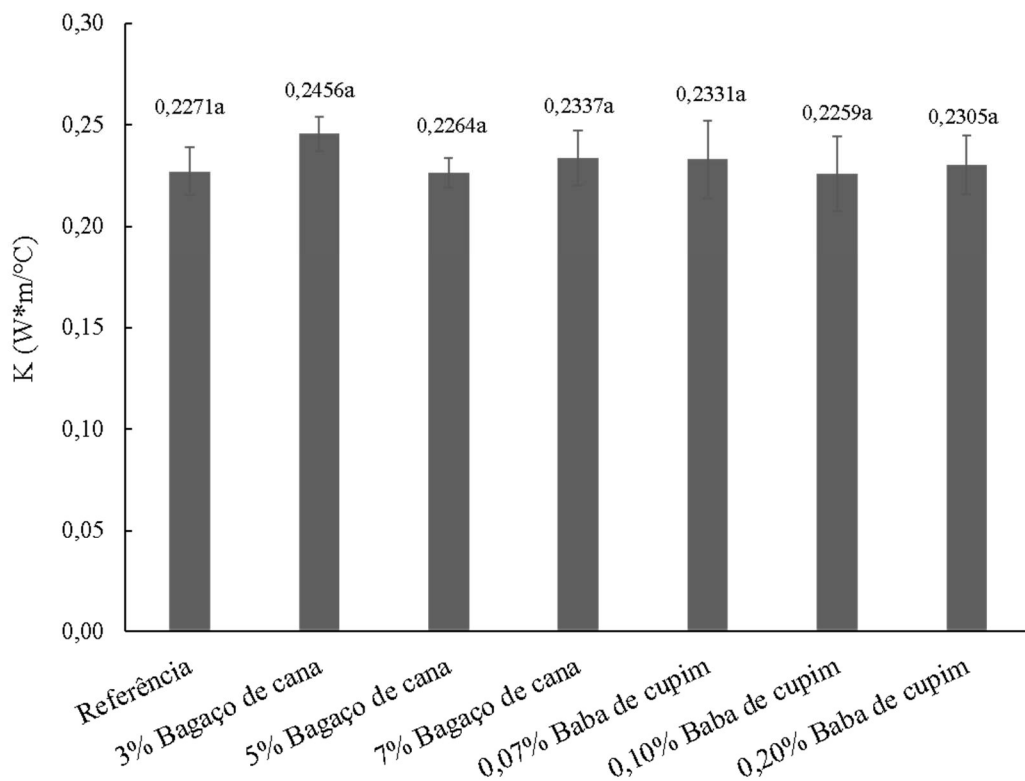
Os vazios e as falhas na interface observados podem ter contribuído para os resultados observados, semelhantes ao encontrados para os demais tratamentos com reforço de bagaço de cana-de-açúcar, como: redução na densidade, absorção e resistência mecânica.

Condutividade térmica

Os resultados para a caracterização térmica são expressos pela condutividade térmica dos adobes produzidos (Figura 10). Quanto menor for a condutibilidade térmica do material, melhor conforto térmico ele proporcionará, pois, as trocas de calor entre o meio externo e interno serão mínimas. Com resultados entre $0,2264 \text{ W}\cdot\text{m}/^\circ\text{C}$ e $0,2456 \text{ W}\cdot\text{m}/^\circ\text{C}$, os tratamentos produzidos não se diferenciam estatisticamente entre si. Construções feitas com adobe apresentam excelente conforto térmico com condutividade térmica entre 0,5 e 0,7

$W \cdot m / ^\circ C$, enquanto o bloco de concreto tem valores entre 1,4 e 1.6 $W \cdot m / ^\circ C$ (HOLMAN,1989; KARKELAR, 1990 apud PIÑON et al., 2007), desta forma os adobes produzidos neste estudo são materiais promissores para construções, com baixa transferência de calor, promovendo melhor conforto térmico. Vieira e Marques (2019), observaram a influência da interface entre reforço e matriz na condutividade térmica de compósitos reforçados por fibras, além da interferência da fração volumétrica das fibras e sua anatomia.

Figura 10 - Resultados médios de condutividade térmica dos tratamentos.



FONTE: Elaborado pelo autor (2022).

Laibi *et al.* (2018) estudaram a influência do comprimento da fibra vegetal de kenaf nas propriedades de blocos de terra comprimidos e encontraram uma redução significativa na condutividade térmica. Os autores associaram os resultados ao aumento da porosidade à medida que insere as fibras vegetais. Os resultados diferem dos encontrados, que se mantiveram iguais estatisticamente mesmo com o incremento de fibras e baba de cupim sintética.

3 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram desenvolvidos adobes utilizando resíduos da atividade mineradora e da agroindústria, agregando a baba de cupim sintética como estabilizador químico. Quando incorporado reforços de bagaço de cana e baba de cupim sintética, observa-se uma redução nos valores de densidade, absorção de água e altura na capilaridade, exceto para o adobe reforçado com 7% de bagaço de cana, que apresentou maior absorção de água.

Os adobes sofreram redução na resistência à compressão e flexão quando o bagaço de cana e a baba de cupim foram adicionados à matriz do adobe. Com módulos de elasticidade baixos, os adobes reforçados com bagaço de cana são facilmente deformados, mas voltam a sua forma original quando deixam de sofrer tensão.

Os valores de condutividade térmica foram baixos, indicando baixa transferência de calor, o que implica em excelente conforto térmico ao ambiente.

Os adobes produzidos atenderam as normas NBR 8492 e NZS 4298: 1998, que recomenda absorção de água $\leq 18\%$ e estabelece que a correlação entre a resistência à flexão e resistência à compressão seja entre 10 a 20. O adobe produzido apenas com rejeito (tratamento referência) atendeu a NTE E.080 que estabelece resistência à compressão $\geq 0,7$ MPa.

Desta forma, o rejeito de mineração oriundo do desastre ambiental ocorrido em Mariana - MG em 2015 mostrou-se promissor no desenvolvimento de tijolos de adobe, além do bagaço de cana e da baba de cupim sintética apresentaram potencial como materiais de reforço em sistemas de vedação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6453**: ensaio de limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: análise granulométrica de solo. Rio de Janeiro, 1984c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: tijolo maciço de solo cimento:determinação da resistência à compressão e da absorção de água – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984c. 6 p.

BABÉ, C.; KIDMO, D. k.; TOM, A.; MVONDO, R. R. N.; KOLA, B.; DJONGYANG, N. **Efeito das fibras de neem (Azadirachta Indica) nas propriedades mecânicas, térmicas e de durabilidade dos tijolos de adobe.** Energy Reports, v. 7, supplement 5, p. 686-698, 2021.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1998. 312 p.

CATALAN, G; HEGYI, A.; DICO, C.; MIRCEA, C. **Determining the Optimum Addition of Vegetable Materials in Adobe Bricks.** Procedia Technology, v. 22, p. 259-265, 2016.

CORRÊA, A. A. R. et al. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do adobe (tijolo de terra crua). In: **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 3, n. 3, p. 503-515, 2006.

CORRÊA, A. A. R. **Incorporação de partículas lignocelulósicas e “baba de cupim sintética” no adobe.** Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

CORRÊA, A. A. R.; Mendes, L. M.; Barbosa, N. P.; Protásio, T. P.; Campos, N. A.; Tonoli, G. H. D. **Incorporation of bamboo particles and “synthetic termite saliva” in adobes.** Construction and Building Materials, Guildford, 2015. v. 98, p. 250-256.

EMBRAPA (1997). **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um sistema de computador de análise estatística. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

GANDIA, R. M.; CORREA, A. A. R.; GOMES, F. C.; MACHADO, L.F.; GUFFEY, S. V. G. **Efeito da adição de “baba de cupim sintética” no adobe quanto a densidade aparente.** 15º Congresso Nacional de Meio Ambiente. Poços de Calda, 2018.

GANDIA, R. M. et al. Physical, mechanical and thermal behavior of adobe stabilized with glass fiber reinforced polymer waste. **Construction and Building Materials** 222 (2019) 168–182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.107>

GUERRA, A. N. L. P. **Caracterização e utilização de rejeito de minério de ferro pellet feed em pavimentos de blocos intertravados de concreto.** Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

LAIBI, A. B. et al. **Sohounhloué, Influence of the kenaf fiber length on the mechanical and thermal properties of Compressed Earth Blocks (CEB),** J. Civ. Eng. 22 (2) (2018) 785–793. ISSN: 1934-7359.

MATOS, W. E. C; SILVA, J.; PAZ, G. M.; SANTOS, V. B.. Utilização de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar como material de preenchimento estrutural ou pozolânico para a produção de argamassas cimentícias: **Revista matéria**, v. 26, n. 4, 2021. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210004.1322>.

NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN. NTE E. 080: regulamento Nacional construcciones. Lima, 2000. P.17.

PIÑON, J. P. et al. Melhoramento das propriedades mecânicas e hidrofóbicas de adobes para indústria de edifício através da adição de agentes poliméricos. **Construção e meio ambiente**, São Paulo, v. 42, p. 877-883, 2007.

RUIZ, L. E. H.; LUNA J. A. M. **Cartilha de pruebas de campo**. Conescal: s.n., 1983. 72.

SANGA R, KILUMILE M, MOHAMED F. Alternative clay bricks inspired from termite mound biomimicry. *Case Studies in Construction Materials*. v. 16, e00977, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00977>.

SHUKLA, A.; TIWARI, G. N.; SODHA, M. S. Embodied energy analysis of adobe house. **Renewable Energy**, 2009, 34.3: 755-761.

STANDARDS NEW ZEALAND. **NZS 4298**: materials and workmanship for Earth buildings. Wellington, 1998.

VILELA, A., **Tijolo solo-cimento reforçado com partículas vegetais e resíduos de mineração**. 2019. 94 f. Tese. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Biomateriais da Universidade Federal de Lavras. Lavras.

VIEIRA, C. S.; MARQUES, S. P.C. Influência de interfases sobre a condutividade térmica efetiva de compósitos periódicos reforçados por fibras. **Revista Matéria**. v. 24, n. 3, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210004.1322>.