



GUSTAVO COSTA TEIXEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO DE MINERAÇÃO DE
MARIANA-MG PARA CONSTRUÇÕES DE TAIPA DE PILÃO**

**LAVRAS-MG
2023**

GUSTAVO COSTA TEIXEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO DE MINERAÇÃO DE MARIANA-MG PARA
CONSTRUÇÕES DE TAIPA DE PILÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof^a. Dr^a. Andréa Aparecida Ribeiro Corrêa
Orientadora

**LAVRAS-MG
2023**

GUSTAVO COSTA TEIXEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO DE MINERAÇÃO DE MARIANA-MG PARA
CONSTRUÇÕES DE TAIPA DE PILÃO
CHARACTERIZATION OF MINING TAILINGS FROM MARIANA-MG FOR
RAMMED EARTH CONSTRUCTIONS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 20 de janeiro de 2023.

Prof^a. Andréa Aparecida Ribeiro Corrêa, D. Sc. UFLA

Prof^a. Raquel Mariano Linhares, D. Sc. UFLA

Prof. Lucas Henrique Pedrozo Abreu, D. Sc. UFLA



Prof^a. Dr^a. Andréa Aparecida Ribeiro Corrêa
Orientadora

**LAVRAS-MG
2023**

*Às vítimas dos crimes ambientais de Mariana e Brumadinho.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao manifesto de Karl Marx e Friedrich Engels e aos ideais de Vladimir Lenin e Mao Tsé-Tung que nortearam minhas escolhas e minha ideologia.

Aos meus pais, Mauro e Fran, que dentro do possível não mediram esforços para amparar minhas escolhas.

Ao Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI), na pessoa do ministro da Educação à época, Fernando Haddad, e ao presidente Lula pela implementação, este programa foi responsável pela criação do curso de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, os quais cursei pela UNIFAL-MG e também estendo o agradecimento à ex-presidenta Dilma Rousseff pela continuação do REUNI, sendo que a ABI-Engenharia e, conseqüentemente, a Engenharia Civil são frutos do programa.

À UNIFAL-MG por todos os aprendizados acadêmicos, pessoais e de militância.

À minha orientadora, prof.^a Dr.^a Andréa Aparecida Ribeiro Corrêa, pelo apoio desde o início na pesquisa com bioconstrução.

Ao prof. Dr. Gilmar Tavares por todas as oportunidades, incentivos e experiências na Agroecologia, na Extensão Universitária Inovadora e no NEAPE.

À Incubadora Tecnológica de Cooperativas Populares (INCUBACOOOP/UFLA) por compreender a importância do cooperativismo, da gestão social e da economia solidária. Agradeço à todas e a todos pelos momentos, trocas e vivências na incubadora e externalizo nas pessoas do prof. Dr. José Roberto Pereira e da prof. Dr.^a Stefania Becattini Vaccaro, pessoas com as quais obtive ensinamentos valiosos.

À equipe UFLA no Projeto RONDON, projeto que possibilitou conhecer pessoas e realidades distintas, proporcionando crescimento profissional e pessoal.

À República Puro de Origem, por meio de quase todos moradores e ex-moradores, minha casa em Lavras. Vida Longa!

À todas e a todos que fazem parte da minha caminhada e contribuíram com um tijolinho nessa obra, fica meu agradecimento.

E claro, também agradeço aos pais da Permacultura, Bill Mollison e David Holmgren, aos guerreiros e guerreiras que me inspiram, Paulo Freire, Milton Santos, Pepe Mujica, Marielle Franco, Zumbi dos Palmares, Emiliano Zapata, Povos Originários, Carlos Mariguella, Ana Primavesi e Robert Nesta Marley.

Satisfação, rapeize! Tamo junto! Jah bless!

“É preciso sonhar, mas com a condição de crer em nosso sonho, de observar com atenção a vida real, de confrontar a observação com nosso sonho, de realizar escrupulosamente nossas fantasias. Sonhos, acredite neles.” (Vladimir Lenin)

RESUMO

A taipa de pilão é uma técnica construtiva utilizada a milhares de anos e é encontrada em todos os continentes. Por ser uma forma construtiva com terra, foi vista por muito tempo como algo pouco confiável e relacionada com obras de baixa qualidade, mas com o aumento da preocupação ambiental em relação aos materiais construtivos mais comuns na atualidade, a atenção voltou a construções sustentáveis, aliada a esse pensamento, a Permacultura apresenta uma visão holística sobre a forma como a sociedade e o meio ambiente se relacionam, apontando possíveis soluções para um convívio em sintonia. Assim, as técnicas de construção com terra têm ganhado destaque. O material terra também pode ser obtido através dos rejeitos de mineração, uma vez que grande parte da sua constituição é de solo. Portanto, esta pesquisa visa avaliar se é viável a utilização do rejeito de mineração oriundo de Mariana-MG como matéria-prima para edificações por meio da técnica da taipa de pilão. O processo metodológico segue a recém-aprovada norma técnica, onde foram realizados ensaios de caracterização física e química do material e ensaio de compactação, o material *in natura* não apresentou uma quantidade suficiente de areia na sua composição, então foi realizada a correção e os resultados de compactação convergem com a norma, apontando para o rejeito como um material promissor para construções de painéis monolíticos com a taipa de pilão. Para o futuro, é esperado que a pesquisa seja continuada e sirva de base para estimular novos trabalhos nessa temática.

Palavras-chave: Bioconstrução. Construções Sustentáveis. ABNT NBR 17014.

ABSTRACT

Rammed earth is a building technique that has been used for thousands of years and it is found on all continents. Because it is a way of construction with earth, it was seen for a long time as something unreliable and related to low quality works, but with the increase of the environmental concern in relation to the most common construction materials nowadays, the attention returned to sustainable buildings, allied to this thought, Permaculture presents a holistic view of how society and the environment relate to each other, pointing to possible solutions for living in harmony. Thus, earth building techniques have gained prominence. The earth material can also be obtained through mining tailings, since a large part of its constitution is soil. Therefore, this research aims to assess whether it is feasible to use mining tailings from Mariana-MG as raw material for buildings using the rammed earth technique. The methodological process follows the recently approved technical norm, where physical and chemical characterization tests of the material and compression tests were carried out, the *in natura* material did not present a sufficient amount of sand in its composition, so correction and the compaction results converge with the norm, pointing to the mining tailings as a promising material for construction of monolithic panels with rammed earth. For the future, it is expected that the research will be continued and it serves as a basis to stimulate new works on this topic.

Keywords: Bioconstruction. Sustainable Buildings. ABNT NBR 17014.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVO	11
3	JUSTIFICATIVA.....	12
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
4.1	A Permacultura.....	13
4.2	Construção com Terra	14
4.3	Taipa de Pilão.....	19
4.3.1	Histórico e Contextualização.....	19
4.3.2	Execução da Taipa de Pilão.....	23
4.4	Lama de Rejeitos de Mineração.....	25
4.5	Correção e estabilização do solo	26
4.5.1	Cal.....	26
4.5.2	Cimento.....	26
4.5.3	“Baba de Cupim Sintética”	27
4.5.4	Cinza de bagaço da cana de açúcar	27
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
	REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a crise ecológica tem se intensificado, de forma que as interações entre pessoas e ambientes necessitem de visões múltiplas. Assim, diferentes áreas do conhecimento focam em compreender movimentos quanto às relações homem-natureza no sistema capitalista, tendo em vista a promoção de formas alternativas de relação (PINHEIRO; DINIZ, 2022).

Nesse sentido, Mollison (1991) aponta a Permacultura como uma alternativa, pois seu foco é a criação de sistemas economicamente relevantes e viáveis, tornando possível o provimento de suas necessidades, para que não ocorra sua exploração ou contaminação, e a manutenção seja sustentável a longo prazo.

Logo, é imprescindível que sejam desenvolvidas tecnologias e soluções inovadoras para obtenção de melhorias quanto à sustentabilidade, seja pelo reaproveitamento de resíduos com redução do impacto ambiental ou pelo desenvolvimento de novos materiais e técnicas (MASUERO, 2021). Para tal, é de grande relevância encontrar alternativas para o grande volume dos rejeitos produzidos (FIGUEIREDO et al., 2019).

Tendo em vista o exposto, Peixoto e Leite (2018) dizem que no decorrer da história da civilização, a arquitetura sempre se moldou conforme o meio em que estava inserida pelo uso de matéria prima local proveniente da natureza. E, ainda, relatam que o conhecimento comum se dá em construções antigas, monumentos e arquitetura vernacular, quando os materiais contemporâneos ainda não existiam ou não eram utilizados. O fato de haver poucas normas regulamentadoras para construção de edificações com terra, leva para sua não utilização. Assim sendo, as técnicas como o adobe, o pau a pique e a taipa de pilão são vistas raramente, em geral voltadas à conservação e restauração do patrimônio cultural.

A construção com terra possui diferentes técnicas que apresentam impacto ambiental reduzido, pois sua produção se dá *in loco* e com escala pequena, o que acarreta na diminuição do gasto com energia para transporte, uso de solo da localidade, baixo gasto energético para produzir, pequena geração de resíduos da construção e de demolição e, ainda, possibilidade de reciclagem. Portanto, a utilização do material terra vai ao encontro do desenvolvimento sustentável (ABNT, 2020).

Dessa forma, Hoffmann, Minto e Heise (2011) apontam que a técnica de construção taipa de pilão, em diversos momentos, pode auxiliar em situações desde que seja bem empregada. Tal, pois possui um consumo baixo de energia ao ser produzida, há possibilidade de não ocorrer transporte de material, além de ser reciclável, sendo que com a sua demolição,

o material resultante possui características muito próximas ao material originário. Vale destacar a inércia térmica que possibilita a regulação da umidade com o meio, acarretando um gasto menor ou ausência de gasto com energia para a climatização da construção.

Apesar dos preconceitos em relação à construção com terra, como fragilidade e conotação de pobreza, há algum tempo seu uso vem sendo revitalizado em todo o mundo por suas inúmeras vantagens. A Taipa de Pilão é uma técnica vernacular incorporada com sucesso em construções contemporâneas, o que permite uma abordagem sustentável e um visual único. Ela apresenta bom comportamento térmico e acústico, podendo ser usada em novas construções ou em projetos de restauração, com um design novo, mas respeitando estilos locais e tradicionais (ABREU e LIMA; MARQUES; VALE, 2018).

Diante do desastre ambiental e social causados pelos rompimentos das barragens no estado de Minas Gerais, surgiu a necessidade do aproveitamento da lama de rejeitos de mineração, que é um desafio a ser solucionado. Em ensaios preliminares do rejeito, observa-se uma grande quantidade de solo em sua composição, logo, sua utilização para construções em taipa de pilão tem uma boa perspectiva. Então, é importante verificar o comportamento deste material.

Quanto à normatização brasileira, recentemente foram produzidas a NBR 16814: Requisitos e ensaios para o adobe (ABNT, 2020a); a NBR 16828: Estruturas de bambu Parte 1: Projeto (ABNT, 2020b) e Parte 2: Determinação de propriedades físicas e mecânicas do bambu (ABNT, 2020c), e a NBR 17014 da Taipa de Pilão (ABNT, 2022). Desta forma os materiais não convencionais já consagrados na construção civil a milhares de anos terão certificação normativa para facilitação de financiamentos e ampliação de pesquisas correlatas. Muitas soluções vêm sendo pesquisadas pela academia e difundidas, seja quanto à gestão de materiais, uso de maquinários em obras, sistemas pré-fabricados, modulares e moldados no local (MILANI; BARBOZA, 2016).

Portanto, a pesquisa almeja apresentar o rejeito de mineração de Mariana para a produção de painéis monolíticos de Taipa de Pilão em concordância com a Norma Brasileira específica.

2. OBJETIVO

A presente pesquisa visa avaliar a viabilidade do rejeito de mineração de Mariana-MG para construções de taipa de pilão quanto à caracterização química, granulometria e propriedades físicas do material em estudo.

3. JUSTIFICATIVA

Hoffmann, Minto e Heise (2011) apontam que a construção civil é conhecida pelo impacto negativo causado ao meio ambiente, uma vez que faz uso de uma grande quantidade de recursos naturais como matéria-prima e alto consumo de energia para a utilização desses recursos, o que ocasiona um volume considerável de entulho, chamado de resíduo sólido, seja na execução ou demolição das obras. Então, é responsabilidade das partes envolvidas na construção civil desenvolver maneiras que foquem no aprimoramento das atividades aliadas à preservação ambiental.

O contato do ser humano com a terra sempre foi próximo, o que torna importante o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas construtivas com o material terra, no intuito de comparar sua eficiência em relação aos métodos de construção consolidados no mercado. Logo, o legado desta técnica e seu potencial, apresenta a taipa como um relevante tópico de estudo (ABREU E LIMA; MARQUES; VALE, 2018).

De acordo com Kazmi et al. (2016), o intenso uso de argila para a produção de tijolos, tem resultado em um déficit considerável na quantidade disponível desse material. Portanto, em face desta realidade, as pesquisas passaram a focar no desenvolvimento de novos materiais compósitos, com aproveitamento de resíduos de diversas indústrias.

A aplicação de rejeito no ramo civil vai ao encontro do que preconiza a economia circular, pois aumenta a vida útil de recursos não renováveis e diminui o passivo ambiental associado à mineração (GOMES et al., 2022).

A atividade humana é responsável por grande parte do dano ambiental; dentre as atividades temos a construção civil. Porém, há formas para o desenvolvimento de ambientes ecologicamente corretos com benefícios como contrapartida para a sociedade. A volta da utilização da terra como material construtivo possibilita esses objetivos, pois apresenta desempenho térmico satisfatório, em especial nas localidades com clima quente seco. Portanto, com vistas a minimização dos efeitos negativos da construção civil, as edificações de baixa, média e alta renda podem ser construídas por meio da terra como material principal (PEIXOTO; LEITE, 2018).

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção são apresentados os temas que norteiam e embasam a pesquisa.

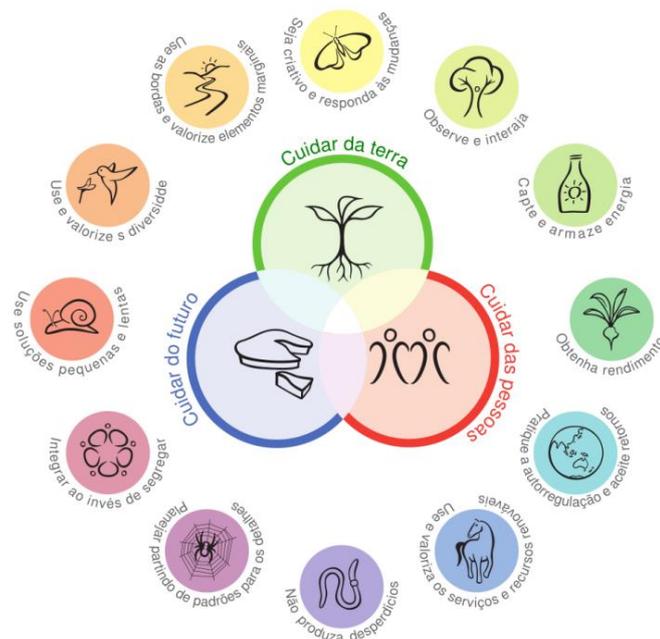
4.1 A Permacultura

A conceituação da Permacultura é fruto do trabalho de Bill Mollison e David Holmgren na década de 1970 e seu desenvolvimento se deu frente à crise ambiental que se apresentava no momento. Neste sentido, a Permacultura surge como uma resposta com olhar positivo para a crise ambiental, tendo como significado o que a sociedade anseia e o que ela pode fazer e não está relacionado a algo que ela se opõe. Logo, a Permacultura torna-se uma resposta não só ética, mas além de tudo, pragmática, filosófica e técnica (HOLMGREN, 2013).

Mollison (1991) a define como um sistema de desenho voltado à criação de meio ambientes humanos sustentáveis, sendo o termo oriundo da junção de agricultura permanente com cultura permanente, uma vez que as culturas dificilmente sobrevivem sem sustentabilidade agrícola e uso da terra com ética. A Permacultura permeia as plantas, os animais, construções e infraestrutura, não de forma isolada, mas de modo a estabelecer conexões entre eles em relação ao seu posicionamento na paisagem.

A Figura 1 apresenta a flor da Permacultura com suas éticas e princípios.

Figura 1 - Éticas e Princípios da Permacultura.



Fonte: www.permacultura.ufsc.br/o-que-e-permacultura/.

Holmgren (2013) complementa dizendo que a Permacultura pode ser definida de forma mais atualizada como paisagens planejadas de forma consciente que copiam os padrões e relações da natureza, e que, de modo concomitante, possuam uma produção em abundância de alimentos, fibras e energia para que as necessidades locais sejam supridas. Portanto, as pessoas envolvidas, suas construções e o modo de organização são pilares centrais para a Permacultura. Por essa linha de pensamento, o conceito inicial de agricultura permanente evoluiu para cultura permanente.

Santos e Mayer (2021) salientam a Permacultura como uma alternativa promissora para que se desenvolvam cenários, cidades e/ou espaços sustentáveis e resilientes, uma vez que a proposta básica imprime a necessidade de mudança no estilo de vida para que o mundo também seja transformado, ou seja, agir do local com vistas ao global. Rangel et al. (2017) complementam ao mostrar que a Permacultura se apresenta como uma forma de aumentar a qualidade de vidas das pessoas por meio do desenvolvimento de habilidades.

Para tanto, Mollison (1991) aponta que a ética da Permacultura se dá por crenças morais e ações em prol do planeta, sendo que a ética Permacultural é tripartite, onde segue o cuidado com a terra, com as pessoas e com a distribuição do tempo disponível, remuneração e materiais voltados a esses propósitos.

Com isso, a Permacultura não representa apenas a paisagem, as habilidades de cultivo orgânico, a agricultura sustentável, as edificações energeticamente eficientes ou a criação de ecovilas, mas sobretudo deve ser uma ferramenta para o planejamento, estabelecimento, manejo e aperfeiçoamento destas questões citadas e demais esforços aplicados por pessoas, famílias e comunidades com objetivo de um futuro sustentável (HOLMGREN, 2013).

4.2 Construção com Terra

A humanidade desde seu princípio utiliza os materiais naturais, pelo fato de serem os únicos disponíveis para construção, dentre eles podem ser citadas as pedras, terra, madeira, palha, folhas de palmeiras e bambu. Esses materiais foram utilizados como forma de se obter abrigo. Com o desenvolvimento de tecnologias e técnicas, ocorreu o surgimento de novos materiais que, em decorrência de suas características, tiveram uma rápida inserção na sociedade. Destes podem ser citados o cimento, aço, alumínio, plástico e vidro, que são conhecidos por suas características de resistência, durabilidade, praticidade, disponibilidade, dentre outros (JARAMILLO-BENAVIDES; PATRICIO-KARNOPP; ILHA-LIBRELOTTO, 2019).

A Figura 2 apresenta os locais no planeta onde existe histórico e tradição de construções com terra.

Figura 2 - Locais com tradição em construções com terra.



Fonte: www.craterre.org/galerie-des-images/default/gallery/38/gallery_view/Gallery.

“Arquitetura e construção com terra” é o termo que se usa para designar toda edificação feita com terra. Nessas construções, a terra deve ser estabilizada com aglomerantes, fibras ou por meio de esforços mecânicos. É importante esclarecer que estabilização de solos é uma denominação geral que pode ser usada por diversas áreas da ciência e tem um sentido específico para cada uma delas. No caso da arquitetura e construção com terra, ela significa melhorar os parâmetros estruturais, principalmente a resistência e a durabilidade do edifício (NEVES; FARIA, 2011).

Os autores acima citados relatam o surgimento das técnicas com terra em grande parte das civilizações antigas e expandiram por meio de invasões e colonizações. Com isso, as técnicas características de determinadas regiões mesclaram-se com as técnicas trazidas pelos estrangeiros e, por meio dessa mistura, se adaptaram e se organizaram em modos mais convenientes de construção.

Segundo Cristelo et al. (2012) com o advento dos materiais de construção modernos, a aplicação da terra como material foi gradativamente se tornando menos atrativa. Isso se dá mais por questões sociais do que por desvantagens técnicas, o que influencia na falta de documentos normativos. No entanto, com o aumento da preocupação ambiental e com o desenvolvimento sustentável, torna-se uma grande motivação a procura por materiais de construção sustentáveis.

Esse material que antes era visto com vergonha, hoje é visto como moderno, capaz de construir edificações confortáveis e visualmente impressionantes.

A utilização de terra como material segue duas razões principais, sendo estas cultural e econômica; atualmente pode ser adicionada a preocupação ambiental. Portanto, essas motivações na escolha da terra como material construtivo tem por base uma série de fatores como condições climáticas, localização, topografia do terreno, disponibilidade de solo e sua caracterização, tipologia, requisitos do programa, projeto e a disponibilidade de mão de obra qualificada (ABREU E LIMA; MARQUES; VALE, 2018).

Jaramillo-Benavides, Patricio-Karnopp e Ilha-Librelo (2019) apontam que o uso de materiais naturais possui relação direta com um estilo de vida mais sustentável, sendo a maior motivação para o uso desses materiais pelas pessoas que optam por trabalhar nesse seguimento. Os autores ainda relatam que parte da sociedade busca formas de atingir a sustentabilidade no seu cotidiano. Por esse motivo, há a demanda por construções com materiais naturais, pois, além da sustentabilidade, questões espirituais e estéticas, apresentam relevância nesta área.

De acordo com Peixoto e Leite (2018), o material terra, abundante tanto no Brasil quanto no restante do planeta, tem ganhado destaque na construção civil em especial onde o consumo energético é alto. Na atualidade, com a crescente demanda por construções com eficiência econômica e conforto ambiental, a terra condiz com essas demandas e pode ser utilizada como uma forte condicionante à sustentabilidade ambiental. E continuam, empregar as técnicas vernaculares, sobretudo em residências de pequeno e médio porte, leva a uma arquitetura sustentável e com qualidade. Com a utilização da terra como material, podem apresentar espaços com conforto térmico adequado e ainda devem ser empregadas em locais com clima propício e nas proximidades da jazida de terra, uma vez que essas condicionantes resultam em vantagens energéticas e econômicas.

Das diferentes técnicas de construção com terra, Neves (2011) relata que a mais primitiva e utilizada atualmente é o adobe (FIGURA 3) que consiste em tijolos elaborados pela colocação manual da mistura de terra e água em um molde e com a posterior desmoldagem. Também muito difundida no Brasil, a taipa de mão ou pau-a-pique (FIGURA 4) consiste na combinação de madeira ou bambu, varas, palhas, fibras, terra e, se necessário, aglomerante.

Figura 3 - Tijolos de adobe.



Fonte: www.museudecacule.wordpress.com/2016/03/01/construcao-em-adobe/.

Figura 4 - Taipa de mão.



Fonte: www.revistaadnormas.com.br/2022/04/12/a-execucao-correta-da-tecnica-construtiva-taipa-de-pilao.

O cordwood (FIGURA 5) é uma técnica comumente utilizada na América do Norte que, de acordo com Brics et al. (2022), são pedaços de madeira gerados pela extração de madeira e que não possuem uso devido ao seu pequeno diâmetro, sendo utilizados como combustível. A técnica tem sido usada em partes estruturais sujeitas à compressão.

Figura 5 - Cordwood.



Fonte: <https://cordwoodconstruction.org/wp-content/uploads/2018/05/Michael-Fuller-Nova-Scotia-Flying-art-cordwood-cabin.jpg>.

O tijolo solo-cimento ou bloco de terra comprimida (BTC), apresentado na Figura 6, é um componente construtivo produzido com solo por meio de sua prensagem em um molde e com desmolde logo em seguida (NEVES; MILANI, 2011).

Figura 6 - Bloco de terra comprimida.



Fonte: Neves e Milani (2011).

A terra ensacada, popularmente conhecida por superadobe ou hiberadobe (FIGURA 7), é uma técnica que faz uso de polipropileno, rafia ou outras sacarias, arame farpado e solo. As sacarias são dispostas em sequência e preenchidas com solo para a construção de paredes, domos e arcos (DOS SANTOS; BEIRÃO, 2016).

Figura 7 - Terra ensacada.



Fonte: www.econectando.blogspot.com/2015/09/bioconstrucao-tecnicas-superadobe.html.

Os revestimentos também podem ser feitos com terra, que, de acordo com Baca (2011), é a aplicação de uma camada nas superfícies externas das construções com o foco na proteção das intempéries físicas e/ou químicas. Essa utilização varia com a localidade e suas tradições, mas, de modo geral, são de apenas terra ou de cal e areia.

As construções com terra não se restringem a apenas essas técnicas, existem outras que variam com a geografia, costumes e materiais disponíveis. Há também possibilidade da utilização de técnicas mistas, ou seja, utilizar em uma mesma obra diferentes técnicas de bioconstrução.

Neves (2011) também cita a taipa de pilão (FIGURA 8), painéis monolíticos construídos no local que será melhor apresentada no tópico seguinte.

Figura 8 - Taipa de Pilão.



Fonte: www.thearchitectstake.com/interviews/david-easton-45-years-of-rammed-earth-construction/.

4.3 Taipa de Pilão

Este tópico apresenta o histórico, a contextualização e a forma de executar a taipa de pilão.

4.3.1 Histórico e Contextualização

Fernandes (2013) apresenta um resgate histórico da taipa nos diferentes continentes. Na Ásia, foram construídas as muralhas das cidades da Mongólia e da China (FIGURA 9), sendo este último o país asiático que mais diversificou seu uso e escala de construção. Outros países deste continente que possuem construção em taipa são a Índia, Nepal e Butão com mosteiros budistas. No Oriente, a taipa é dificilmente encontrada em decorrência de fatores históricos e culturais, com exceção do Irã e Omã em suas fortificações. Nos países do Mediterrâneo, esta técnica também é utilizada, em alguns países com maior ou menor proporção. Nos países africanos, a técnica é vista como secundária, tendo um destaque maior no Marrocos e no Egito.

Figura 9 - Taipa de pilão na muralha da China.



Fonte: www.arcaterrablog.wordpress.com/arquitetura-de-terra/25-tapial-muralha-da-china/.

No continente europeu, a Espanha (FIGURA 10) apresenta construções em taipa por toda costa do Mediterrâneo e em algumas regiões interioranas.

Figura 10 - Taipa de Pilão na Espanha.



Fonte: Fernandes (2013).

Já a França popularizou o uso da taipa a partir do século XVIII com a publicação de um manual responsável pela difusão da construção com a taipa em muitos outros países. Na Alemanha (FIGURA 11), a construção com taipa se intensificou no pós-segunda guerra, mas já haviam obras de taipa do século XVIII que fizeram uso do manual francês.

Figura 11 - Casa de taipa de pilão na Alemanha.



Fonte: Fernandes (2013).

Na Itália, o adobe é mais característico, mas também encontra-se a taipa. Outros países europeus só conheceram a técnica da taipa por meio da tradução do manual francês. Os espanhóis levaram a técnica para a América do Norte, sendo grande parte das construções encontradas na Califórnia. Na América do Sul, o Peru faz uso da técnica nas montanhas dos Andes, mas é o Brasil que apresenta o maior patrimônio histórico de construções com taipa (FIGURA 12), fruto da influência portuguesa por 300 anos. A técnica também é encontrada em outros países sul americanos como Uruguai, Argentina, Chile e Venezuela. Na Oceania, a taipa é encontrada na Nova Zelândia, mas o destaque maior se dá na Austrália, onde é bem popularizada.

Figura 12 - Casa de taipa de pilão em Tiradentes-MG.



Fonte: Fernandes (2013).

Como demonstrado, a construção com taipa é identificada em todos os continentes e em diferentes culturas e séculos. Fernandes (2013) salienta ainda que, apesar do abandono da técnica por um determinado período, atualmente ela reaparece na base da arquitetura brasileira.

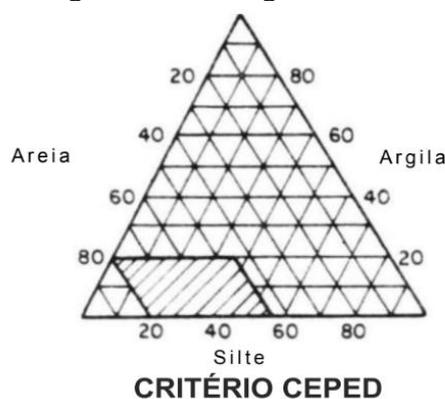
A taipa caracteriza-se, principalmente, como elemento estrutural moldado *in loco* com elevada resistência à compressão e baixa resistência à tração. Então, devem-se prever as devidas soluções quando o caminho das forças configurarem momentos de torção, de flexão ou esforços de cisalhamento na parede. A resultante das forças nas paredes de taipa de pilão deve ser sempre perpendicular à superfície resistente. Deve-se evitar que as paredes de taipa de pilão recebam cargas horizontais (HOFFMANN; MINTO; HEISE, 2011).

Reddy e Kumar (2010) apresentam grandes vantagens da taipa de pilão: baixa intensidade de energia e baixa emissão de carbono, materiais recicláveis e disponíveis na localidade ou dentro de uma pequena distância do local da obra, variedade de texturas e acabamentos, flexibilidade na construção das formas, e a resistência e espessura das paredes podem ser facilmente ajustadas com a devida estabilização.

É necessário que se tenha cuidado com a penetração de água nas paredes de taipa. Devem ser previstos elementos construtivos que protejam os topos das paredes como beirais ou pingadeiras, a impermeabilização das fundações ou outras formas de evitar o contato direto da parede com o chão para proteger sua base, e ainda, a depender do índice pluviométrico da região, a aplicação de hidrofugante para proteger a superfície da parede (HOFFMANN; MINTO; HEISE, 2011).

Sobre a quantidade das partículas do solo, o CEPED (1984) aponta os seguintes valores para as construções de taipa de pião, teor de areia entre 45% e 80%, teor de silte entre 20% a 55% e de argila entre 45% a 65%, conforme triângulo textural da Figura 13.

Figura 13 - Triângulo textural.



Fonte: CEPED (1984).

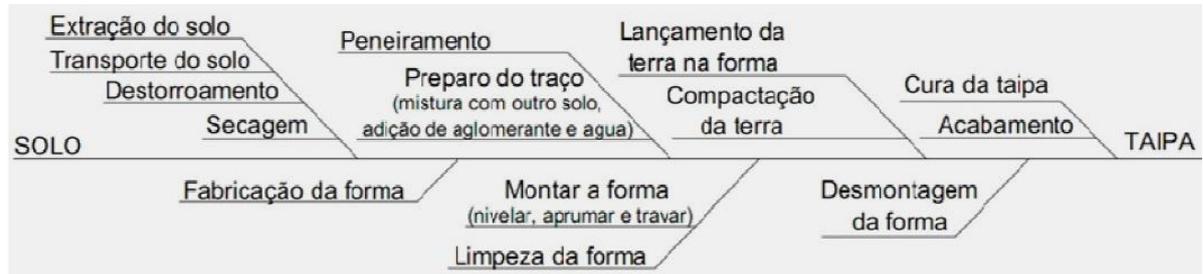
Outro aspecto fundamental no projeto das construções em taipa diz respeito às dimensões das fôrmas que sempre devem ser compatíveis com a modulação das paredes, podendo haver certa flexibilidade a depender do projeto da própria fôrma, que possibilite a construção de paredes de diferentes tamanhos, alcançando melhor rendimento do sistema. As fôrmas representam um custo significativo na obra e tem relação direta com a produtividade devido ao grande número de repetição das atividades de montar e desmontar. Então, o projeto das fôrmas e a modulação do projeto do edifício devem receber grande atenção conjunta (HOFFMANN; MINTO; HEISE, 2011).

A construção com terra tem evoluído e se modernizado. Países como Portugal, Austrália, Suíça, Áustria, Reino Unido, Nova Zelândia e Estados Unidos demonstram o grande potencial para industrialização da taipa na atualidade (CORDEIRO et. al, 2020). Com isso, o estudo da taipa de pilão vem sendo difundido no Brasil, onde podem ser citados os trabalhos de Milani e Barbosa (2016) que estudaram as propriedades físico-mecânicas do solo-cimento autoadensável e Rocha, Consoli e Johann (2014) que utilizaram cinzas volantes e cal. Em diversos outros países, como em Marrocos, Koutous e Hilali (2021) estudaram o uso fibras de palha de cevada e de palmeira para a construção de taipas. No Irã, Kosarimovahhed e Toufigh (2020) avaliaram o uso de cinzas volantes como substituição ao cimento. Na Austrália, Arrigoni et al. (2018) avaliaram a utilização de agregados de concreto reciclados e Meek et al. (2021) avaliaram a incorporação de resíduos recicláveis de construção e materiais industriais.

4.3.2 Execução da Taipa de Pilão

A execução dos painéis monolíticos foi normatizada recentemente; antes Hoffmann, Minto e Heise (2011) descreveram os passos necessários. A taipa de pilão tem sua construção realizada no local. Dessa forma, é imprescindível que todas as etapas sejam bem planejadas e detalhadas para que o resultado final seja exitoso. Os autores apresentam na Figura 14 um diagrama das etapas, é importante salientar que a cura da taipa ocorre quando há uso de cimento na mistura, optando pela não utilização desse material é esperada a secagem dos painéis monolíticos.

Figura 14 - Diagrama do processo de execução da taipa.



Fonte: Hoffmann, Minto e Heise (2011).

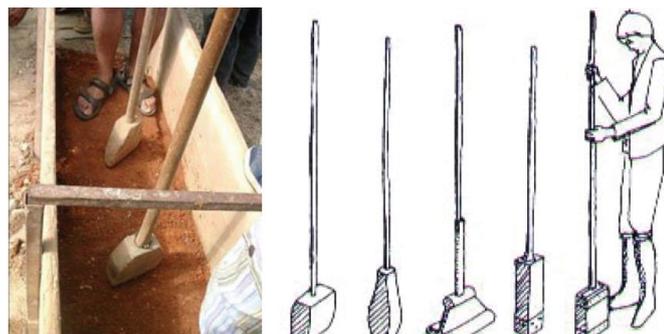
Torgal, Eires e Jalali (2009) apresentam na Figura 15 um modelo de fôrma e na Figura 16 diferentes formatos de pilão manual que podem ser utilizados na construção das paredes. Os autores apontam que com o recurso manual, uma equipe com 3 integrantes pode construir entre 1,5 a 3,0 metros cúbicos por dia de trabalho. E ainda, com o uso de tecnologias há o processo construtivo mecanizado (FIGURA 17).

Figura 15 - Modelo de forma para paredes de taipa de pilão.



Fonte: Torgal, Eires e Jalali (2009).

Figura 16 - Modelos de pilão manual.



Fonte: Torgal, Eires e Jalali (2009).

Figura 17 - Mecanização do processo construtivo.



Fonte: Torgal, Eires e Jalali (2009).

Em 2022 foi lançada a NBR 17014: Taipa de Pilão - Requisitos (ABNT, 2022), onde é detalhado todo o passo a passo desde a escolha do solo adequado até o projeto de fôrma, apresentando quais parâmetros são necessários para que o produto possua a qualidade mínima exigida em concordância com suas características físicas e mecânicas e os ensaios que devem ser realizados.

4.4 Lama de Rejeitos de Mineração

Em 2015 no município mineiro de Mariana, a barragem de Fundão se rompeu e resultou no derramamento de lama e rejeitos de mineração, ocasionando mortes, pessoas desabrigadas e desalojadas, a destruição de um subdistrito, falta de água, além de danos ambientais e socioeconômicos graves por toda a Bacia do Rio Doce. De acordo com IBAMA, a barragem da empresa mineradora Samarco continha 55 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério (GFT, 2016).

Para tanto, Costa, Gumieri e Brandão (2014) dizem que a procura para dar fim aos resíduos e rejeitos provenientes da siderurgia e mineração é uma preocupação por parte das empresas produtoras, ambientalistas, órgãos de controle e instituições de pesquisas. Os autores ainda relatam que a preocupação em relação aos rejeitos não se dá apenas pelas siderúrgicas e mineradoras, mas o setor de construção civil também procura formas de reaproveitar esses materiais, de modo a desenvolver novas pesquisas, tecnologias e materiais com vistas à sustentabilidade.

Nesse sentido, outros trabalhos procuram formas de utilização para o rejeito de mineração como Souza, Racanelli e Quaresma (2022) que fazem uso do rejeito da lama vermelha, sílica e argila para produção de agregado sintético para empregar no concreto. Costa, Gumieri e Brandão (2014) realizaram um trabalho buscando o emprego do rejeito de *sinter feed* como agregado na produção de peças utilizadas na pavimentação.

4.5 Correção e estabilização do solo

Corrigir e estabilizar um solo consiste em uma série de procedimentos voltados a mudar as características geotécnicas do solo, como em solos sensíveis à água ou em condições com alta umidade, em solos granulares ou finos muito moles, para que eles sejam usados dentro de parâmetros técnicos aceitáveis. (DAASSI-GLI, 2020).

O solo pode ter suas propriedades alteradas no local que será trabalhado pelo congelamento do solo, pela mistura com outros materiais ou ainda pela estabilização química, esta última diz respeito ao endurecimento através da conexão das partículas com um agente cimentício fruto de reações químicas (CRISTELO; JALALI, 2004).

4.5.1 Cal

A cal tem grande utilização em obras de terra, por ser mais econômica do que remover ou substituir o solo trabalhado. Em locais com solo contaminado, estabilizá-lo com cal é uma alternativa bem atrativa, pois o transporte e o manuseio podem acarretar efeitos danosos ao meio ambiente. Outros pontos positivos ao adicionar cal dizem respeito a melhoras na trabalhabilidade, resistência, deformabilidade, permeabilidade e suscetibilidade às mudanças no volume. Essas características podem ser alteradas dependendo de fatores como propriedades e quantidades dos estabilizantes, do tempo e temperatura de cura e do tipo e qualidade da porção de argila no solo (CRISTELO, 2001).

4.5.2 Cimento

Cristelo et al. (2012) dizem que, para superar os problemas oriundos de solos não adequados, é suficiente misturá-los com ligantes cimentícios que podem ser com base em cimento e/ou cal, que propiciam uma ligação entre as partículas do solo através de reações químicas. As reações do cimento são em grande parte hidráulicas, ou seja, esse ligante necessita apenas de água para melhorar sua resistência. Os autores ainda enfatizam que apesar dos

benefícios do uso de cimento, há preocupações quanto as questões ambientais relacionadas a sua produção.

4.5.3 Baba de Cupim Sintética

De acordo com Corrêa et. al. (2015), o cupinzeiro apresenta propriedades coesivas e resistência mecânica. A *Cornitermes cumulans* é uma espécie de cupim produtora de um material pastoso que tem a função de uma argamassa estrutural, cuja composição é saliva, resíduos vegetais e solo. O solo dos cupinzeiros utilizados em estradas contribuiu para a melhoria da coesão e da estabilidade do solo nas sub-bases. A estabilização química acontece em decorrência da alteração da água adsorvida em água livre na argila mineral.

Por conta dessas análises, empresas desenvolveram a baba de cupim sintética (BCS), que é adicionada ao solo para substituir o cimento e o cascalho em sub-base de estradas. A BCS melhora as propriedades de coesão das partículas minerais de argila do solo e tem alta hidrofobicidade (GANDIA et al., 2019).

O estudo de Corrêa et al. (2015) avalia que a aglomeração de partículas resultantes do uso da BCS em adobes melhorou a união das partículas do solo, reduzindo a capilaridade e formando uma microestrutura mais coesiva e como reposta uma maior resistência ao estresse compressivo.

4.5.4 Cinza de bagaço da cana de açúcar

De acordo com Kazmi et al. (2016), o intenso uso de argila para a produção de tijolos tem resultado em um déficit considerável na quantidade disponível desse material. Portanto, em face desta realidade, as pesquisas passaram a focar no desenvolvimento de novos materiais compósitos, com aproveitamento de resíduos de diversas indústrias. Nesse sentido, a cinza do bagaço da cana de açúcar (CBC), com propriedades cimentantes e pozolânicas, pode ser incorporada na composição da taipa de pilão, tendo sido estudada como substituição ao cimento no BTC e em adobes.

Caldas et al. (2000) apontam que o uso da CBC pode reduzir o valor das argamassas ou concretos produzidos, sendo que a CBC pode ser adicionada ou ainda substituir o cimento Portland, além da contribuição para o aprimoramento das propriedades físicas, mecânicas e microestruturais. Outros benefícios remetem ao declínio da extração de CaCO_3 para que o cimento seja produzido e, por conseguinte, a redução da emissão de CO_2 e da energia consumida para que esses materiais sejam produzidos.

Faria, Gurgel e Holanda (2010) demonstram que a CBC possui alto teor de sílica (SiO_2) em sua composição; também possui, em pequenas quantidades, óxidos de Al, Fe, Ca, Mg e K. Os autores indicam que em uma análise química, a CBC contém quantidades suficientes de óxidos presentes nas argilas para a fabricação de cerâmica vermelha. E, ainda, se constitui como um material não plástico e inerte devido ao alto teor de sílica.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas aqui descritas seguem a NBR 17014: Taipa de Pilão - Requisitos (ABNT, 2022). O solo estudado é proveniente da barragem do município de Mariana-MG. Foi realizada a caracterização física e química para compreender seu funcionamento e a viabilidade de seu uso na taipa de pilão. Assim, as amostras foram preparadas de acordo com NBR 6457 (ABNT, 2016a), para seguir com os ensaios, a massa específica dos sólidos foi obtida pelo ensaio do picnômetro seguindo a NBR 6458 (ABNT, 2016b). A granulometria do solo foi realizada de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 2016e). Os limites de Liquidez e Plasticidade, foram determinados seguindo respectivamente a NBR 6459 (ABNT, 2016c) e a NBR 7180 (ABNT, 2016d), em posse dos valores encontrou-se o Índice de Plasticidade (IP) pela diferença entre os limites. A caracterização química do rejeito foi realizada pelo método GeoExploration utilizando a técnica analítica de Fluorescência de Raios X portátil (pXRF) e o equipamento S1 Titan da Bruker.

Atendendo os parâmetros determinados para a mistura compactada, segue para a obtenção da massa específica aparente seca (ρ_d) e o teor de umidade (w) de compactação de acordo com a NBR 7182 (ABNT, 2016f). Para apresentar outras misturas como comparativo, foi realizada a correção granulométrica com areia média, alterando em 40% e 50% o percentual deste material no rejeito de mineração, seguindo a literatura.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da caracterização química pode ser visto na Tabela 1, referentes à análise química do rejeito em estudo. Observa-se a maior quantidade de dióxido de silício (SiO_2) com 24,150% e ferro (Fe) com 16,322%, demonstrando a origem do material como rejeito de mineração.

Tabela - 1 Resultados para os elementos analisados (%).

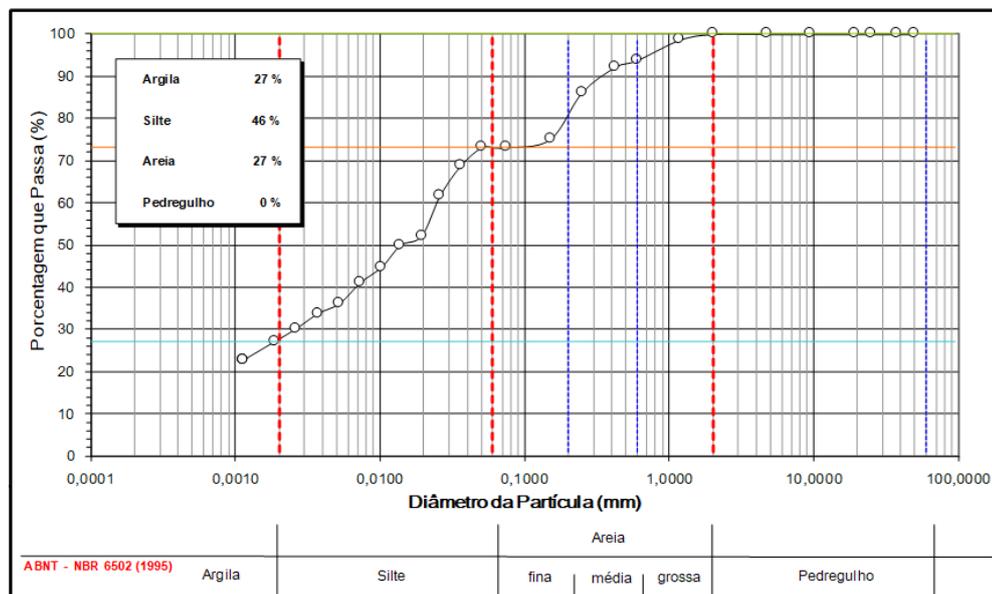
MgO	Al_2O_3	SiO₂	P	S	Cl	K ₂ O
0,533	4,332	24,150	0,026	<0,008	0,021	0,375
Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co
0,081	0,179	<0,0025	<0,004	0,101	16,322	0,011
Ni	Cu	Zn	Ga	As	Se	Rb
0,009	0,002	0,002	0,001	0,001	<0,003	0,002
Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Rh	Ba
0,002	0,001	0,010	0,001	0,004	<0,009	0,023
La	Ce	Pb				
<0,004	0,022	0,002				

Fonte: Do autor (2022).

A grande presença de dióxido de silício caracteriza principalmente a função de antiaglomerante no rejeito e pode agir como filtro se não estiver na umidade ideal de compactação. Quanto à presença de ferro, pode-se inferir a presença de argila pouco expansiva (caulinita) que é favorável à construção com terra.

Os resultados da análise granulométrica do rejeito estão representados na Figura 18.

Figura 18 – Curva granulométrica.



Fonte: Do autor (2022).

A norma estabelece que 100% do material deve passar na peneira com abertura de malha de 50 mm, 100% na de 19 mm, 50% a 80% de material retido nas peneiras com abertura de malha de 2 mm e 0,075 mm. Conforme a norma, a composição granulométrica deve ter 50% a 80% de material retido entre as peneiras com abertura de malha de 2 mm e 0,075 mm e o valor encontrado foi de 26,88% de material retido. Portanto, há necessidade de correção granulométrica do rejeito de mineração. O resultado obtido apresentou um teor de 27% de areia que não corresponde à porcentagem ideal para uso na taipa de pilão, 46% de silte e 27% de argila.

Os resultados dos limites de Atterberg obtidos pelos ensaios são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados de estados de consistência do rejeito de mineração.

LL (%)	LP (%)	IP (%)
21	18	3

Fonte: Do autor (2022).

Os valores do limite de liquidez (LL) e do índice de plasticidade (IP) se enquadram na norma, sendo que pela norma o LL deve ser $\leq 50\%$ e $IP \leq 25\%$. A massa específica dos grãos densidade real dos grãos obtida por meio do ensaio do picnômetro foi $G_s = 2,871$ e umidade higroscópica média analisada foi de 0,66%.

De acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), que leva em consideração a granulometria e os limites de Atterberg, a lama do rejeito de mineração pode ser classificada como ML, ou seja, solo silteoso com baixa compressibilidade.

De acordo com Hall e Djerbib (2004) o solo adequado para execução da taipa de pilão deve possuir de 20 a 30 % de cascalho, 50 % de areia e de 20 a 30 % de silte e argila. Visto a necessidade de correção granulométrica, foram realizadas correções com areia média em 40% e 50%, uma vez que a estabilização pode chegar a 80% deste material. O ensaio de compactação Proctor Normal (FIGURA 19) seguiu a ABNT NBR 7182: Ensaio de Compactação. Os corpos de prova para realização do ensaio correspondem a 3 granulometrias, solo *in natura*, solo com correção de 40% de areia e solo com correção de 50% de areia. Em decorrência da difícil trabalhabilidade das misturas com correções de areia, não foi possível obter os limites de Atterberg, isso se configura como um indicativo da não-plasticidade do solo.

Figura 19 - Ensaio Proctor Normal.



a) Preparação da mistura. b) Peneiramento. c) Umidificação do solo. d) Preparação do corpo de prova. e) Corpo de prova no molde. f) Pesagem do corpo de prova. g) Corpo de prova. h) Corpo de prova pós ensaio.

Fonte: Do autor (2022).

Os resultados obtidos pelos ensaios de compactação são apresentados na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de compactação.

Mistura	Umidade Ótima (%)	$\rho_{d, \text{máx}}$ (g/cm ³)	R ²
Solo <i>in natura</i>	13,69	1,92	0,9512
Solo com 40% de correção	15,11	3,73	0,9432
Solo com 50% de correção	6,40	3,84	0,4533

Fonte: Do autor (2022).

O valor baixo do R² encontrado para a mistura com 50% de areia, se dá devido à dificuldade de moldagem e compactação, configurando-se em um material com pouca coesão.

De acordo com a norma, o γ_d deve ser $\geq 1,750$ g/cm³, todos os valores correspondentes a massa específica aparente seca obedecem às especificações.

A pesquisa não realizou todos os ensaios normativos, restando dois ensaios: (i) o ensaio para a resistência à compressão simples ($f_c \geq 1,3$ MPa) como descrito na NBR 17014 e (ii) se a

taipa vier a estar em contato com a água, realiza-se o ensaio de erosão por gotejamento também descrito pela NBR 17014. As amostras atendendo os parâmetros estabelecidos pela norma, torna a mistura analisada apta para ser utilizada na construção da parede monolítica.

Como próximas etapas, novas misturas podem ser avaliadas, com adição de cal, da baba de cupim sintética, cinza do bagaço de cana, resíduos da construção civil, fibras vegetais, entre outros materiais, de modo que o enfoque seja no reaproveitamento de materiais e na sustentabilidade.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa cumpriu seu objetivo no sentido de avaliar a caracterização química e propriedades físicas do rejeito sem e com correção de areia, para a viabilidade do rejeito de mineração em construções com taipa de pilão, uma vez que o resultado é promissor. Ensaios complementares de resistência mecânica à compressão, entre outros serão necessários para verificação da composição ideal do rejeito que deverá ter importante aplicabilidade como material na construção com taipa de pilão. Além do mais, a pesquisa aponta diferentes abordagens que podem servir para futuros trabalhos na área e para além de pesquisas, a execução de painéis monolíticos com essas misturas deve estar sempre em vista.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6457**: Amostra de Solo: Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização. Rio de Janeiro, RJ, 2016a.

_____. **NBR 6458**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm: Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, RJ, 2016b.

_____. **NBR 6459**: Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, RJ, 2016c.

_____. **NBR 7180**: Solo: Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, RJ, 2016d.

_____. **NBR 7181**: Solo: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, RJ, 2016e.

_____. **NBR 7182**: Solo: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, RJ, 2016f.

_____. **NBR 16814**: Adobe: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 2020a.

_____. **NBR 16828-1**: Estruturas de Bambu Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, RJ, 2020b.

_____. **NBR 16828-2**: Estruturas de Bambu Parte 2: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu. Rio de Janeiro, RJ, 2020c.

_____. **NBR 17014**: Taipa de Pilão - Requisitos. Rio de Janeiro, RJ, 2022.

ABREU E LIMA, P.; MARQUES, J.; VALE, C. P. Rammed Earth Construction Nowadays - Comparing Methodologies and Design Between Portugal and USA. In: JOFFROY, T.; GUILLAUD, H.; SADOZAI, C. (Org.). Terra Lyon 2016: articles selected for on-line publication. Lyon, CRAterre, 2018.

ARRIGONIA, A.; MECKETTB, C. T. S.; CIANCIOC, D.; PELOSATO, R.; DOTELLIA, G.; GRILLET, A. C. Rammed Earth incorporating Recycled Concrete Aggregate: a sustainable resistant and breathable construction solution. **Resources, Conservation & Recycling**, Holanda, n. 137, p. 11-20, 2018.

BACA, L. F. G. Revestimentos. In: NEVES, C; FARIA, O. B. (Org.). **Técnicas de construção com terra**. Bauru, FEB-UNESP /PROTERRA, 2011.

BRICS, A.; SERDJUKS, D.; GRAVIT, M.; BUKA-VAIVADE, K.; GOREMIKINS, V.; VATIN, N. I.; PODKORITOV, A. The Behaviour of Load-Carrying Members from Cordwood. **Buildings**, v.12, n. 10, 2022.

CALDAS, A.; NETO, A. A. M.; JOHN, V. M.; SOBRINHO, C. W. A. P. Tecnologias Alternativas para Habitação: O Uso de Cinzas Residuais para Produção de Novos Materiais e Componentes Construtivos. In: II Congresso Internacional de Tecnologia e Gestão de Qualidade na Construção Civil. Recife-PE, Brasil.

CAMARGO, D. L. Q.; PEREIRA, K. L. Utilização de bambu como elemento sustentável na arquitetura e construção civil: uma revisão bibliográfica. **Engineering Sciences**, v.9, n.2, p.163-173, 2021.

CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO – CEPED. **Manual de Construção com solo-cimento**. ABCP, 3. ed., 147p., 1984.

CORDEIRO, C. C. M.; BRANDÃO, D. Q.; DURANTE, L. C., CALLEJAS, I. J. A.; CAMPOS, C. A. B. Caracterização termofísica de solo laterítico para produção de taipa **Revista Matéria**: Rio de Janeiro, v.25, n.1, 2020.

CORRÊA, A. A. R.; PROTÁSIO, T. P.; LIMA, J. T.; TONOLI, G. H. D.; MENDES, L. M. Mechanical properties of adobe made with sugar cane bagasse and “synthetic termite saliva” incorporation. **Key Engineering Materials**, v.634, p.351–356, 2015.

COSTA, A. V.; GUMIERI, A. G.; BRANDÃO, P. R. G. Interlocking concrete blocks produced with sinter feed tailings. **IBRACON**, v.7, n. 2, p. 228-259, 2014.

CRISTELO, N. M. C. **Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal**. 2001. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 2001.

CRISTELO, N.; JALALI, SAID. ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA DE SOLOS RESIDUAIS GRANÍTICOS. **Geotecnia**: Portugal, n. 101, p. 25-40, 2004.

CRISTELO, N.; GLENDINNING, S.; MIRANDA, T.; OLIVEIRA, D.; SILVA, R. Soil stabilisation using alkaline activation of fly ash for self compacting rammed earth construction. **Construction and Building Materials**, v.36, p.727-735, 2012.

DAASSI-GLI, C. A. P. **Estabilização de um solo granular com misturas de pó de vidro – cal de carbureto – hidróxido de sódio (NaOH)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

DOS SANTOS, D. M.; BEIRÃO, J. N. D. C. Data collection and constructive classification of superadobe buildings. **Ciência e Sustentabilidade**, v.2, n.2, p 208-226, 2016.

FARIA, K. C. P.; GURGEL, R. F.; HOLANDA, J. N. F. Characterization of sugarcane bagasse ash for use in ceramic bodies. **Materials Science Forum**, n. 660-661, p. 1292-1295, 2010.

FERNANDES, M. A taipa no mudo. In: LOPES, M. C.; CORREIA, M.; CORREIA, R. C. M. (Org.). **digitAR** - Digital Journal of Archeology, Architecture and Arts, 2013.

FIGUEIREDO, M. D.; LAMEIRAS, F. S.; ARDISSON, J. D.; ARAUJO, M. H.; TEIXEIRA, A. P. C. Tailings from Fundão Tragedy: Physical-Chemical Properties of the Material That Remains by Candonga Dam. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v.0, n.0, p. 1-7, 2019.

GANDIA, R. M.; CORRÊA, A. R.; GOMES, F. C.; MARIN, D. B.; SANTANA, L. S. PHYSICAL, MECHANICAL AND THERMAL BEHAVIOR OF ADOBE STABILIZED

WITH “SYNTHETIC TERMITE SALIVA”. **Agricultural Building and Environment**, v. 39, n. 2, p.139-149, 2019.

GRUPO DA FORÇA-TAREFA. Governo do Estado Minas Gerais. **Relatório: Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG**. Belo Horizonte, MG, 2016.

GOMES, A. C. F.; CORDEIRO, C. C. M.; SANTOS, R. A.; SOARES, V. R. A.; ROCHA, S. D. F. Aplicação de rejeito de mineração em pequena escala de ouro na produção de tijolo de solo-cimento. **Revista Matéria**: Rio de Janeiro, v. 27, n. 1, 2022.

HALL, M.; DJERBIB, Y. Rammed earth sample production: context, recommendations and consistency. **Construction and Building Materials**, v. 18, 2004.

HOFFMANN, A. P.; MINTO, F. C. N.; HEISE, A. F. Taipa de Pilão. In: NEVES, C; FARIA, O. B. (Org.). **Técnicas de construção com terra**. Bauru, FEB-UNESP /PROTERRA, 2011.

HOLMGREN, D. **Princípios e Caminhos da Permacultura além da Sustentabilidade**. Via Sapiens, 416p., 2013.

JARAMILLO-BENAVIDES, A. S.; PATRICIO-KARNOPP, Z. M.; ILHA-LIBRELOTTO, L. Durabilidad de los materiales naturales de construcción: percepciones de proyectistas, constructores y usuarios en Florianópolis. **Revista de Arquitectura**, v.21, n.2, p. 89-100, 2019.

KAZMI, S. M. S.; ABBAS, S.; SALEEM, M. A.; MUNIR, M. J.; KHITAB, A. Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane. **Construction and Building Materials**, n. 120, p. 29-41, 2016.

KOSARIMOV AHMED, M.; TOUFIGH, V. Sustainable usage of waste materials as stabilizer in rammed earth structures. **Journal of Cleaner Production**, v.277, 2020.

KOUTOS, A.; HILALI, E. Reinforcing rammed earth with plant fibers: A case study. **Case Studies in Construction Materials**, v.14, 2021.

MASUERO, A. B. Desafio da Construção Civil: crescimento com sustentabilidade ambiental. **Matéria**, v.26, n.4, 2021.

MEEK, A. H.; ELCHALAKANI, M.; BECKETT, C. T. S.; DONG, M. Alternative stabilised rammed earth materials incorporating recycled waste and industrial by-products: A study of mechanical properties, flexure and bond strength. **Construction and Building Materials**, v. 277, 2021.

MILANI, A. P. da S.; BARBOZA, C. S. Contribuição ao estudo de propriedades do solocimento autoadensável para fabricação de paredes monolíticas. **Ambiente Construído**: Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 143-153, 2016.

MOLLISON, B. **Introdução a Permacultura**. Brasília, PNUDD, 198 p., 1991.

NEVES, C.; FARIA, O. B. (Org.). **Técnicas de construção com terra**. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79p.

NEVES, C; MILANI, A. P. Bloco de terra comprimida - BTC. In: NEVES, C; FARIA, O. B. (Org.). **Técnicas de construção com terra**. Bauru, FEB-UNESP /PROTERRA, 2011.

PEIXOTO, M. V. S.; LEITE, P. R. ARQUITETURA DE TERRA: EMPREGO ATUAL E DESEMPENHO TÉRMICO. In: Anais VII Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil, p. 159-168, 2018.

PINHEIRO, L. B.; DINIZ, R. F. Estilos de Habitação na Permacultura e as Interações Pessoa-Ambiente. **Estudos e Pesquisa em Psicologia**, v.2, 2022.

RANGEL, C. C.; NUNES, B. M.; OLIVEIRA, W. F.; DELVAUX, J. C. Permacultura: uma estratégia valiosa para educação ambiental em escolas rurais. **Revista Educação Popular**, v.16, n.3, p. 181-190, 2017.

REDDY, B. V. V.; KUMAR P. P. Embodied energy in cement stabilised rammed earth walls. **Energy and Buildings**, v. 42, p.380-385, 2010.

ROCHA, C. G.; CONSOLI, N. C.; JOHANN, A. D. R. Greening stabilized rammed earth: devising more sustainable dosages based on strength controlling equations. **Journal of Cleaner Production**, v.66, 2014.

SANTOS, I. S.; MAYER, L. Q. PROPOSTA DE MERCADO PÚBLICO ATRAVÉS DOS CONCEITOS DA PERMACULTURA URBANA. **Revista Projetar**, v.6, n.1, 2021.

SOUZA, J. A. S.; RACANELLI, L. A.; QUARESMA, J. N. N. Study of the Production of Synthetic Aggregate Made with Waste from the Bayer Process for the Construction Industry - Part I. **Matéria**, v.27, n.1, 2022.

TORGAL, F. P.; EIRES, R. M. G.; JALALI, S. **Construção em Terra**. TecMinho, 2009.