



Design em Terra: uma alternativa para fabricação de artefatos utilitários em Taipa de Pilão

Design in Earth: an experience in the manufacture of utilitarian artefacts in Rammed Earth

Camila Wedja Francisco de Melo, graduanda em Design, UFPE

camila.wedja@ufpe.br

José Guilherme Germano Silva, Mestre em Gerenciamento Urbano, TU Berlim

zeguisilva@gmail.com

Germanya D'Garcia Araújo Silva, Doutora, UFPE

germanya.silva@ufpe.br

Número da sessão temática da submissão – [3E]

Resumo

Este artigo apresenta o resultado de uma vivência do processo de fabricação em Taipa de Pilão, a partir de um vocabulário acessível e ilustrado direcionado aos estudantes de Design. O método aplicado foi um *workshop*, proposto pelo Grupo Lama Bioconstrução, e experienciado por projetistas das áreas de arquitetura e de design, através de um aprendizado colaborativo e interdisciplinar, em três etapas: dados históricos, atualidades e a prática da fabricação em Taipa de Pilão. Como resultado, a partir de uma perspectiva do Design, pode-se aplicar a técnica da taipa de pilão como alternativa para biofabricação de artefatos utilitários. Incluindo a diversificação criativa na tentativa de melhoria e/ou na inovação com os aspectos de estudo dentro do processo de Design de produto.

Palavras-chave: Taipa de Pilão; Design, Bioconstrução

Abstract

This article presents the result of an experience of the manufacturing process in Taipa de Pilão, from an accessible and illustrated vocabulary directed to design students. The applied method was a workshop, proposed by the Lama Bioconstruction Group, and experienced by designers from the areas of architecture and design, through collaborative and interdisciplinary learning, in three stages: historical data, current events and the practice of manufacturing in Taipa de Pilão. As a result, from a Design perspective, the technique of the pestle wall can be applied as an alternative to the biofabrication of utility artifacts. Including creative diversification in the attempt of improvement and/or innovation with aspects of study within the product design process.

Keywords: *Rammed Earth; Design, Bioconstruction*

1. Introdução

A ação de projetar um artefato para ser utilizado pelos seres humanos faz parte da prática de algumas profissões. No campo da Arquitetura, as construções convencionais como a alvenaria tradicional ou estrutural e as paredes de concreto demandam uma variedade de materiais inertes, extraídos de sedimentos aluviais e formações rochosas, posteriormente, danosas ao meio ambiente (Cabral *et al.*, 2008; Corsini, 2013).

Por outro lado, as técnicas de bioconstrução consideram o meio ambiente desde a fase de projeto e de construção do produto, até a escolha dos materiais, uso eficiente de recursos energéticos e tratamento adequado dos resíduos, buscando o equilíbrio entre custo, cronograma e qualidade. Dentre elas, destaca-se a taipa de pilão que utiliza a compactação de terra crua para criar paredes e artefatos com efeitos visuais naturais com grande potencial sustentável devido a possibilidade de ser produzida com baixa energia incorporada cerca de 1 a 2% da energia despendida com uma construção similar com concreto armado ou blocos cerâmicos. (Feiber, 2012; Giuffrida, 2019; Penido de Rezende, 2012).

Segundo Silva (2018), as construções com terra crua economizam muita energia durante o processo de fabricação e, praticamente, não contaminam o ambiente, uma vez que podem utilizar o material retirado do próprio local. No Brasil, a história da taipa de pilão se revela por variadas edificações como igrejas, fortificações, residências e muralhas. Figura 01.



Figura 01: Patrimônios Históricos brasileiros. Da esquerda para a direita. Fonte: 1- Igreja do Embu (SP) - Taipal Brasil, 2013; 2- Capela do Morumbi (SP) - UFMS, 2018; 3- Casa Bandeirante do Itaim - Veja São Paulo, 2022.

O método construtivo da taipa de pilão remonta às técnicas tradicionais de arquitetura vernacular, e envolve a utilização de moldes (geralmente de madeira) para moldar paredes por meio da compactação sucessiva de solo úmido. Esse processo é realizado em camadas, geralmente entre 10 e 15 centímetros de altura, que são comprimidas manualmente e/ou mecanicamente dentro do molde — conhecido como taipal, atingindo a densidade ideal, compactando cada uma delas com uma batida, criando assim uma estrutura resistente e durável (Silva, 2018).

A densidade do material argiloso tem um caráter dicotômico no processo de fabricação em terra, por um lado favorece a estabilidade nas construções de terra pela capacidade de suporte de cargas de compressão através do aumento de áreas de superfície, por outro lado, dificulta os processos de construção e mobilidade em função do peso elevado (ABNT, 2022).

Atualmente, os métodos contemporâneos de fabricação em terra buscam materiais mais leves através de experiências de pré-fabricação, assumindo novas perspectivas, tanto na complexidade de composição da terra, quanto no processo da pila, corte e transporte das peças pré-prontas, Figura 02 (Veraldo, 2015).

Para Silva (2018), o manejo da taipa mecanizada vem alcançando regiões dos Estados Unidos e Austrália. Além de ser considerado uma taipa diferenciada, que utiliza o sistema de

fôrma do concreto armado, sobre o uso de máquinas no processo de transporte, produção, montagem e apiloamento da terra.



Figura 02: Construções atuais em Taipa de Pilão. Da esquerda para a direita. Fonte: 1- Ricola Kräuterzentrum na Suíça – Herzog & de Meuron (2014); 2- Casa de terra no Vietnã - Vo Trong Nghia. 3- Centro cultural Nk'Mip Desert Cultural Centre, Canadá. Arq.s Hotson, Bakker, Boniface e Haden (2007).

No campo do Design, as soluções de fabricação de artefatos em terra vêm estimulando a criatividade e ganhando o interesse dos profissionais de projeto (Figura 03), a exemplo dos grupos: Mundo de Taipa (@mundodetaipa) e o ECOSAPIENS (@ecosapiens_br), ambos com produção de artefatos utilitários e decorativos em terra.



Figura 03: Taipa & Design. Da esquerda para a direita. Fonte: 1- Abajur - Mundo de Taipa; 2- Totens - Pinterest; 3- Totens - ECOSAPIENS; 4- Mesa - Pinterest.

A inovação tecnológica da técnica taipa de pilão como uma alternativa de biofabricação de artefatos de design em pequena escala, já é uma realidade, todavia a sistematização desse conhecimento aos estudantes de design ainda é uma lacuna.

O presente trabalho, na perspectiva do design, pretende sistematizar o conteúdo prático dos profissionais da arquitetura em terra para um vocabulário acessível e ilustrado aos alunos de design de produto. A proposta foi dar luz a prática construtiva da taipa de pilão, discutindo como essa técnica, que embora tradicional, pode ser repensada e otimizada para atender às demandas contemporâneas de sustentabilidade em projetos com enfoque territorial.

A Taipa de Pilão foi escolhida por ser uma das técnicas de bioconstrução já regulamentada pela ABNT (ABNT NBR 17014:2022), e pelo fato dela ser uma das técnicas de construção com terra mais utilizada, desde a antiguidade, em diferentes partes do mundo e uma das mais registradas na produção arquitetônica contemporânea, assim como observado na quantidade de editoriais em revistas e publicações eletrônicas dedicados à edificações (Penido de Rezende, 2012).

2. Referencial teórico

2.1 A Técnica Construtiva Tradicional da Taipa de Pilão

A taipa de pilão é um processo construtivo considerado uma invenção pré-histórica, o qual buscava inicialmente projetar paredes na construção de casas, templos e que também foi

utilizada na fabricação das grandes muralhas na China Ocidental entre 220 e 206 a.C. No período do oriente médio entre 9000 à 5000 a.C., os blocos de adobe eram fabricados com terra crua compactada. Nas regiões Nordeste e Norte do Brasil as taipas de pilão eram empregadas nas habitações para a população de baixa renda cujas paredes acabavam apresentando muitas trincas e rachaduras e abrigavam insetos, como o barbeiro, que é o responsável pela proliferação do mal de Chagas. (Pisani, 2004).

A técnica se resume em camadas de terra compactada (coloridas ou não) com adição de água e/ou outros tipos de beneficiamento, incluindo uma porcentagem de cimento e/ou cal para estabilização e resistência mecânica no produto final (ABNT NBR-17014, 2022; ABNT NBR 12023;2012).

Atualmente, a terra crua está sendo aceita para moradias de baixo custo em muitos países industrializados, como França, Austrália, Alemanha, Inglaterra e Estados Unidos, e, em menor proporção, em países do terceiro mundo, onde casas de terra crua continuam sendo associadas à pobreza devido à forma rudimentar como eram edificadas (Lopes e Ino, 2004).

Preparação da Massa

Inicialmente, na preparação da massa, para alcançar bons resultados é pertinente selecionar o tamanho dos grãos de terra/areia. Esta etapa, chamada de análise granulométrica, pode ser feita por peneira comum ou agitador eletromagnético para peneiras ou uma análise de ensaio de sedimentação, Figura 04.



Figura 04 : Granulometria (esq.) e Agitador eletromagnético (dir.). Fontes: LinkedIn Professor e Geólogo Marcio Leão à esquerda. SPLABOR à direita.

Na preparação convencional da taipa é recomendado estabilizar o solo por meio da correção granulométrica com adição de areia - em casos de solo argiloso (ABNT, 2022).

Sazonamento na terra

Ainda na preparação da massa, a etapa de sazonalização utiliza ou não agentes químicos na tentativa de obter mais resistência no produto final. O cimento é, atualmente, o estabilizador mais utilizado em misturas de taipa, seguido pela cal. Ambos estabilizantes colaboram com aumento da resistência à compressão da taipa de pilão, além de reduzir a retração e a desagregação das paredes (Arrigoni *et al.*, 2017; Milani e Maia, 2018; Toufigh e Kianfar, 2019).

O cimento é composto por elementos químicos como: Óxido de Cálcio (CaO), Sílica (SiO₂), Alumina (Al₂O₃) e Óxido de Ferro III (Fe₂O₃) (Bauer, 2005). A cal, conhecida como Óxido de Cálcio (CaO), retém o excesso de água da massa quando se aglomera com o cimento, por outro lado, não necessariamente é utilizado cimento na mistura. Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), a inserção da cal na mistura preenche os vazios existentes no

cimento, e posteriormente, contribui para a diminuição do excesso de água. Os autores Guimarães, Gomes e Seabra (2004), ressaltam que a cal ajuda na hidratação do cimento e reter a água.

Para Mendes (2022), na taipa é recomendado reduzir a quantidade de água disposta na massa, pois quanto menos água melhor o resultado. Já para a estabilização mecânica da massa, sugere-se correção na composição granulométrica da mistura e uso de fibras naturais e/ou sintéticas (Ferrari *et al.*, 2018). Contudo, a construção de taipa de pilão estabilizada com cimento alcança valores de 1/3 da energia incorporada de uma construção de alvenaria convencional e menos de 1/4 da energia incorporada em uma construção de concreto armado (*in loco*) (Reddy e Jagadish, 2003).

Fabricação por Taipa

A fôrma deve ser projetada à base de inserções de guias, placas rígidas, travas e até escoras que mantenha o alinhamento do material adicionado, e que não danifiquem a integridade da taipa. Sobre a resistência à abrasão, deve-se manter a superfície interna da fôrma limpa, sendo um requisito importante e que permita aderência à mistura. Outro ponto, é a importância dos agentes desmoldantes, os quais sejam compatíveis, e que garantam que não haja acúmulos de resíduos, mantendo as propriedades físicas e mecânicas da mistura, conforme a NBR 17014 (ABNT, 2022).

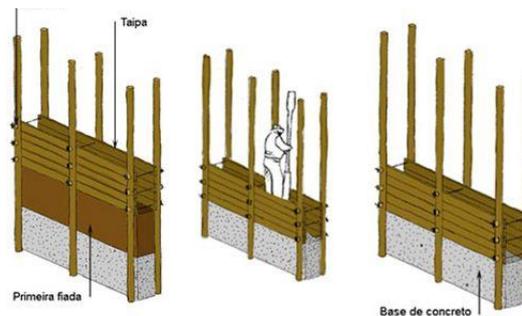


Figura 05: Disposição do taipal na fabricação da taipa de pilão. Fonte: Pinterest

Segundo Cassiano (2023), o princípio da construção da taipa de pilão é sobre uma base de concreto e inserções de vergalhões. A montagem do taipal é realizada com duas pranchas compostas por tábuas unidas, montantes, e separadas por espaçadores e travessas que definem a largura da parede, Figura 05. Esse conjunto é fixado na parte inferior por cunhas e na parte superior por torniquetes e as extremidades são fechadas com tábuas laterais. Essa primeira camada é montada apoiando as travessas no topo da fundação, sendo essencial garantir o alinhamento e nivelamento adequados.

A Ferramenta do Pilão

No processo de compactação, deve-se atentar à espessura para garantir a compactação completa das camadas, atingindo um limite de até 200mm. É preferível que se evite intervalos maiores que 12h entre camadas de um painel, pois aumentará a chance de ficar marcas visíveis (ABNT, 2022, p.7).

O maior responsável pela estabilização da terra é a energia de compactação (Hoffmann, 2004). Veraldo (2015) acrescenta que às diferentes ferramentas de compactação da terra

entregam distintos resultados: o pilão manual; o pistão pneumático movido a motor de combustão e/ou movido pelo compressor, Figura 06.

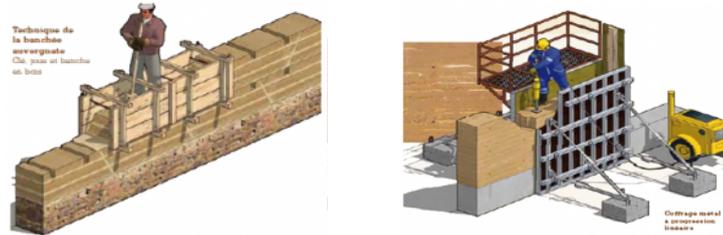


Figura 06 : Pilão manual (esq.) e Pilão Pneumático (dir.). Fonte: Veraldo, 2015

O pilão manual é um instrumento histórico e com vertentes manuais com a função de triturar, esmagar, comprimir e moer grãos. A compactação deve ser feita a cada camada de terra inserida, com impactos constantes, sendo compactado até que se ouça um “ruído seco” (Santos, 2015).

Em relação à altura das camadas, considera-se uma taxa de compactação da mistura, deve-se lançar em todo o comprimento da fôrma e espalhada até formar uma camada nivelada, com altura máxima de 20 cm, e posteriormente, toda essa camada é pilada até que não haja terra solta, conforme NBR 17014 (ABNT, 2022). No procedimento da umidade da mistura para a compactação, deve-se exigir a sensação da pega úmida seca, com pouca proporção de água, exigida nas misturas sem estabilizantes, conforme NBR 7182 (ABNT, 2016).

2.2 As Técnicas Construtivas Contemporâneas da Taipa de Pilão

Em 2012, a empresa *Lehm Ton Erde* (@erden.at) desenvolveu a técnica taipa de pilão mecanizada, Figura 07. O objetivo dos “retalhos” de taipa de pilão foi sistematizar a técnica tradicional para uma forma contemporânea, a qual se assemelha numa linha de produção industrial, que consiste em quatro componentes principais: fôrma, transportador de material, máquina de compactação e máquina de corte (Gomaa *et al.*, 2023).



Figura 07: Conceito de manufatura da taipa de pilão mecanizada. Fonte: Lehm Ton Erde.

Em 2016, a Universidade Bilgi em Istanbul desenvolveu um estudo sobre manufatura robótica na produção de fôrmas para taipa modular com estampas geométricas, Figura 8. O método consiste em fabricar duas fôrmas, sendo inicialmente, usados como moldes de cortes geométricos triangulares e retangulares em poliestireno expandido (EPS). Os moldes foram estampados em chapa de aço e cortada a laser, posteriormente, aplicado solda, o que permitiu identificar os ângulos de profundidade dos triângulos e retângulos. A segunda fôrma foi utilizado madeira de compensado (Hurtado e Eloualid, 2016).



Figura 08: Técnica modular geométrica. Fonte: Hurtado e Eloualid, 2016.

A tecnologia de impressão 3D tem sido aplicada no processo construtivo em terra (Taparello, 2023; Gomaa *et al.*, 2023). Todavia, faltam evidências de viabilidade para a adoção da manufatura avançada para taipa (AMRE - *Advanced Manufacturing for Rammed Earth*) como uma construção contemporânea pelas autoridades reguladoras (Bick, 2016; Gomaa *et al.*, 2021; Schweiker *et al.*, 2021).

Em 2019, o *Digital Building Fabrication Laboratory* (DBFL) na Technische Universität Braunschweig, apresentou estudos automatizados com o tema *low production* a partir da substituição da compactação manual por controles robóticos, adotando uma fôrma deslizante de metal, sendo ajustável e que possibilitasse diferentes tamanhos (altura x largura), Figura 09.



Figura 09: Automatização da taipa. Fonte: ITE/TU Braunschweig

A pluralidade entre a taipa de pilão tradicional e a contemporânea gerou o interesse dos autores por compreender os meios de produzir a taipa de pilão no campo do design. A participação de uma dos autores no *workshop* promovido pelo Grupo Lama Bioconstrução foi uma das estratégias dessa ação.

3. O *Workshop* com o Grupo Lama Bioconstrução

O método proposto neste estudo foi a participação em um *workshop* oferecido pelo Grupo Lama Bioconstrução (@lama.bioconstrucao) da cidade do Recife / Pernambuco, na tentativa de traduzir o processo criativo da arquitetura em terra para aplicação no Design em terra. A oficina ocorreu em 3 dias, sendo dois (2) dias remotos para a sessão teórica e um (1) dia presencial para o conteúdo prático, tendo a objetividade de fomentar a prática da Taipa de pilão, Figura 10. Seguindo as recomendações dos procedimentos de requisitos conforme a NBR 17022 (ABNT, 2022).

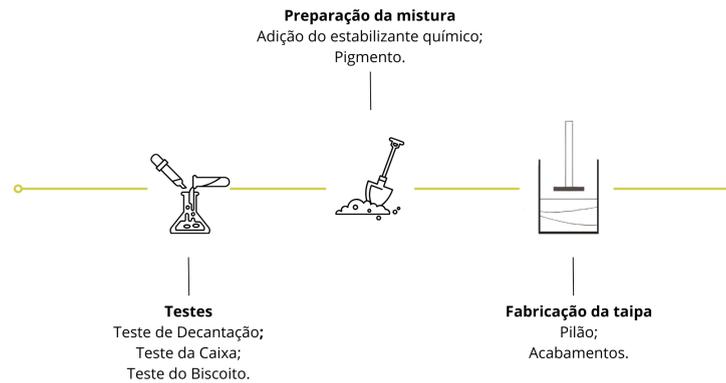


Figura 10: Diagrama do *workshop* sessão prática. Fonte: Elaborado pelos autores.

A sessão prática do *workshop* foi dividida em três momentos: (1) os testes do material (terra) a serem utilizados (Figura 11); (2) a preparação da mistura, e (3) a fabricação em si, envolvendo as etapas do taipal e da pila.

O teste de decantação ou sedimentação, considerado um estudo de mistura heterogênea, objetiva separar os grãos da terra para verificar a quantidade de argila, silte e areia. Este estudo, em água destilada, baseia-se na “Lei de Stokes”, na qual as partículas são dispersas em meio aquoso e depositam-se com velocidades proporcionais aos seus diâmetros. Os testes devem ser realizados com diferentes tipos e quantidades de terra para avaliar o índice de material argiloso x mineral e em seguida nomeá-los (Góis, 2016; LAGETEC, p2. 2023).

O teste de retração, conhecido também como “teste da caixa”, trata-se de identificar o limite de retração (LR) com a mudança do material em estado sólido. A partir da quantidade de água adicionada na massa é possível observar fissuras, determinadas pelo grau de umidade a partir do qual o volume do solo permanece constante (Neves *et al.*, 2009). A caixa possuía uma dimensão de 600 x 30 x 75 (mm) com várias seções o que permitiu a comparação dos resultados.

Seguindo as experiências e vivências do Grupo Lama Bioconstrução, foi dito que, para um melhor desempenho dos testes, recomendam-se: (1) não deixar bolha no momento da inserção da massa à fôrma; (2) preencher os espaços por completo da fôrma e (3) deixar a massa no “ponto de reboco”, garantindo que consiga pegar com a “colher de pedreiro” sem que a massa escorra. Durante os testes, recomenda-se friccionar a superfície do material, para “dissolver” os gomos que ainda estão acumulados na massa e, em ambiente controlado, as amostras devem secar por em média 48h.



Figura 11: Testes de decantação (A) ; da caixa (B) ; do biscoito (C).

Fonte: Elaborado pelos autores.

A segunda forma de análise da retração do material foi o “teste do biscoito”. Inicialmente, modelou-se a massa com as mãos formando gomos de altura de 10mm e, com a ponta dos dedos, deu-se o acabamento liso na superfície. Um instrumento retilíneo foi usado para marcar uma linha de aproximadamente 100mm, e após um período de secagem de 24h, mediu-se o valor da retração.

Durante o *workshop*, os participantes prepararam os solos com a proporção de cinco (5) baldes de terra; cinco (5) baldes de areia e um (1) balde de cimento, com a mesma capacidade volumétrica. Cumpre salientar que os materiais devem ser peneirados. O cimento foi adicionado na mistura seca, quando há o manejo do traço, pois, o material pode reagir e petrificar antes de ser pilado e moldado.

Para a conformação da estrutura foram usados dois tamanhos diferentes de taipais e pilões. O primeiro taipal com base quadrangular (14cm x 14cm x 14cm) era composto de madeirite plastificado, Figura 12. A primeira camada de terra tinha a espessura de 10cm, e depois de compactada com pilão manual, ficou com 5cm. A segunda camada fez uso de pigmento à base de mineral em pó na cor marrom. A demais, não receberam pigmento e permaneceram com a cor natural da terra.



Figura 12: Início da primeira prática. Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir desse momento os participantes tiveram a liberdade de inserir elementos internos no taipal criando formas únicas, Figura 13. As quinas da taipa de pilão são vulneráveis e para minimizar riscos de acidentes é inserido um perfil nos cantos do taipal para que o projeto construído tenha um chanfro, diminuindo a possibilidade de quebra (Oliveira, 2012).



Figura 13: Primeira prática com a taipa de pilão. Fonte: Elaborado pelos autores.

O segundo taipal, com formato retangular (50cm x 125cm x 30cm) acomodou 20 litros de material e com o auxílio de um pilão pneumático, o material foi compactado, alcançando um peso aproximado de 790 kg, Figura 14.



Figura 14: Segunda prática em tamanho real, e Resultado. Fonte: Elaborado pelos autores.

Após o desenforme, iniciou-se a fase de acabamento para minimizar o aspecto áspero dos grãos da terra na superfície da taipa. A inserção de resinas diluídas na superfície melhoraram na proteção contra abrasão e umidade, até mesmo o uso de cola pode ser empregado como acabamento de baixo custo.

Além desses resultados, chegamos a uma meia parede, com boa coesão estrutural e resistência. Enquanto ao processo da execução da taipa, houveram imprevistos referentes ao taipal da primeira e segunda prática, o qual atendeu à realidade do *workshop*, pelo motivo que o momento da prática do *workshop* foi instruído num espaço fechado e coberto (garagem do Grupo Lama Bioconstrução). Embora os imprevistos, todos os processos de ensinamentos e manejos referente a técnica vernacular estavam de acordo com a norma da ABNT NBR 17014:2022. Posteriormente, foi passada a informação de que a segunda prática se transformaria numa base de mesa.

Sabendo disso, a trajetória do *workshop* resultou na compreensão das fases construtivas da taipa, a qual a arquitetura permeia sobre severas regras estruturais, e categoriza esse passo a passo como uma funcionalidade do termo construtivo vernacular, quando a geração de construir se adapta às necessidades de um território e/ou comunidade. Refletindo-se a cultura e a trajetória de décadas, a tal técnica é um processo imutável, atemporal e com finalidades braçais (da extração de terra até o desenforme).

4. Considerações finais

A partir da participação no *workshop* foi possível vivenciar o manejo da taipa de pilão desde a seleção dos grãos da terra até o desenforme, isso proporcionou uma valiosa base histórica referente aos processos construtivos tradicionais e contemporâneos. Além da breve ajuda sobre o tema, o método sugerido pelos facilitadores colaborou para o entendimento, tendo alunos e participantes leigos, as questões das regras fornecidas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) referente a taipa de pilão e seus derivados, ajudaram nos testes de retração oferecidos pela experiência dos mesmos.

Para tanto, a taipa de pilão oferecida pelo *workshop* despertou *insights* imagéticos sobre variáveis temas que dentro do conceito do design de produto são fundamentais: a importante questão da diminuição de energia ao fabricá-las; a percepção da forma, o designer de produto pode contribuir na confecção de supostas ideias estruturais do taipal como um conceito, a exemplo: a manufatura; as questões referentes ao isolamento térmico e a importância de agregar o método construtivo na elaboração de utilitários.

Algumas são as vantagens de uso da técnica de taipa de pilão para fabricação de artefatos utilitários: o ganho estético na superfície do artefato dando um acabamento único; baixo custo logístico de matéria-prima, uma vez que a terra pode ser retirada do terreno próximo ao canteiro de obras; controle térmico, permitindo absorver o calor durante o dia e dissipar a



gradativamente temperatura, a noite; economia de energia, dispensando o uso de ferramentas que demandam excesso de energia.

Todavia, como principais desvantagens observou-se a não padronização do material da taipa, gerando problemas de resistência mecânica do material, sendo necessário ajustes da massa e testes laboratoriais de ensaio de compressão com células de cargas específicas; o peso excessivo devido a compactação da terra e a necessidade de utilizar uma base impermeável e mão de obra qualificada.

Por fim, para atender as demandas da área do design, sugere-se que estudos para a diminuição do peso e alternativas de estabilizadores mais sustentáveis do artefato em terra devem ser estimulados.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12023: Solo-cimento - Dosagem para emprego como camada de pavimento - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: Solo - Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17014: Taipa de Pilão. Requisitos, Procedimentos e Controle. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ARRIGONI, Alessandro *et al.* Life cycle analysis of environmental impact vs. durability of stabilised rammed earth. *Construction and Building Materials*, 142, 128-136, 2017.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. *Materiais de construção: 2. Livros Técnicos e Científicos*, 2005.

BICK, Zoe Ruth. "Mechanizing Rammed Earth: making New Earth Construction Viable in the Us." (2016). Disponível em: <<https://etda.libraries.psu.edu/catalog/29163>>. Acesso em 28 de fev. de 2025.

CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra *et al.* Determinação da influência do tipo de agregado reciclado de resíduo de construção e demolição sobre o módulo de deformação de concretos produzidos com agregados reciclados. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 1, p. 171-192, 2008.

CASSIANO, A. F. *Construção em Taipa de Pilão viabilidade da implantação de uma empresa especializada na cidade de Lavras - M. 2023. 60 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil Bacharelado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023. Disponível em: <https://sip.prg.ufla.br/publico/trabalhos_conclusao_curso/acessar_tcc_por_curso/engenharia_civil/index.php?dados=20232201910956>. Acesso em: 26 de Fev. de 2025.*

CORSINI, Rodnei. Paredes normatizadas. Norma inédita para paredes de concreto moldadas "in loco" entra em vigor e promete impulsionar uso da tecnologia em edificações . 2013. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/assets/files/TECHNEArtigo%20Paredes.pdf>>. Acesso em: 26 de Fev. de 2025.

FEIBER, S. D. Técnicas construtivas tradicionais: Os primórdios da sustentabilidade. *Revista Thêma et Scientia*, v.2, n. 1, p. 32-38, 2012.



- FERRARI, Henrique Duarte *et al.* Considerações sobre a construção com terra e efeitos da correção granulométrica e da incorporação de cinzas de eucalipto e de fibras de coco em solo para a fabricação de adobe. 2018.
- GIUFFRIDA, G.; CAPONETTO, R.; CUOMO, M. An overview on contemporary rammed earth buildings: Technological advances in production, construction and material characterization. 30 jul. 2019, [S.l.]: Institute of Physics Publishing, 30 jul. 2019.
- GÓIS, Lilian. Tintas da Terra: O uso dos pigmentos naturais para uma pintura sustentável. 2016. 20 f. Curso de Artes Aplicadas, Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei, 2016.
- GOMAA, Mohamed *et al.* Feasibility of 3DP cob walls under compression loads in low-rise construction. *Construction and Building Materials*. Australia, v. 301, p. 124079, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821018390>>. Acesso em: 26 de Fevereiro de 2025.
- GOMAA, Mohamed *et al.* Automation in rammed earth construction for industry 4.0: Precedent work, current progress and future prospect. *Journal of Cleaner Production*. Australia, v. 398, p. 136569, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623007278>>. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136569>.
- GUIMARÃES, José Epitácio Passos; GOMES, Rubens Donizeti; SEABRA, Mauro Adamo. Guia das argamassas nas construções. ABPC (Associação Brasileira dos Produtores de Cal). São Paulo. 8ª edição, 2004.
- HOFFMANN, Márcio Vieira. Efeito dos argilo-minerais do solo na matéria-prima dos sistemas construtivos com solo-cal. 2004.
- HURTADO, E.; ELOUALID, I. Engineered Cast Earth. Disponível em: <<https://darc.uta.edu/engineered-earth-1>>. Acesso em: 28 de Fev. de 2025. DOI: <https://www.researchgate.net/publication/318779416_ENGINEERED_CAST_EARTH>.
- KLOFT, Harald. Robotic fabrication of rammed earth elements. Technische Universität Braunschweig, 2019. Disponível em: <<https://www.tu-braunschweig.de/ite/research/roboticrammedearth>>. Acesso em: 23 de Fevereiro de 2025.
- LAGETEC - Laboratório de Geotécnica. Análise granulométrica de material granular por peneiramento e sedimentação em meio líquido. 2022. Ensaio Laboratoriais — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em <<http://www.lagetec.ufc.br/ensaios>>. Acesso em: 12 de Dez. 2024.
- LOPES, Wilza Gomes Reis; INO, Akemi. 2004. O emprego da terra crua e de madeira de reflorestamento como materiais de construção. I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo.
- PISANI, M. A. J. Taipas: a arquitetura de terra. *Sinergia*. v. 5, n. 1. p. 9-15, 2004.
- MARQUES, Sabrina Oliveira; SOUSA, Ana Paula Coelho. Um estudo sobre a Resistência da Taipa de Pilão: Inclusão de madeira de descarte para ampliação da residência. p4, 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade São Francisco. Disponível em:



<<https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/3301.pdf>>. Acesso em 25 de Abril de 2025.

MENDES, Ludmila Cardoso Fagundes; BESSA, Sofia Araujo Lima. Análise da Evolução Tecnológica da Taipa de Pilão Contemporânea. *MIX Sustentável*, v. 8, n. 1, p. 66-77, jan. 2022. ISSN 24473073. Disponível em:

<<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. DOI: <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n1.66-77>

MENDES, Yasmin Gabriele Beires; DE SOUSA, Jakeliny Miguel; BARBOSA, Isa Lorena Silva. Influência da cal hidratada na massa de concreto convencional. *ETIS-Journal of Engineering, Technology, Innovation and Sustainability*, v. 1, n. 1, p. 17-27, 2019.

Disponível em:

<<https://revistas.unievangelica.edu.br/index.php/etis/article/view/3106/2527>>. Acesso em: 27 de Abril de 2025

MILANI, A. P. S.; MAIA, M. M. Uso de aditivos químicos para redução de energia de compactação na execução de taipa de pilão. In: VII Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil. 2018. p. 68-74.

NEVES, Célia *et al.* Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo. Lisboa: Rede Ibero-Americana Proterra, 2009.

REDDY, BV Venkatarama; JAGADISH, K. S. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. *Energy and buildings*, v. 35, n. 2, p. 129-137, 2003.

REZENDE, M. A. P. Taipa de pilão histórica: roteiro para reconstituição. *Arquitetura revista*, v. 8, n. 2, p. 101-107, 2012

OLIVEIRA, Bruno Assuncao. Inserção da taipa de pilão mecanizada com apiloamento pneumático no mercado da construção sustentável no Brasil. 2012.

SANTOS, Clarissa Armando dos. "Construção com terra no Brasil: panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada. 2015." *Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC* (2015).

SILVA, Paloma Lima Da. O uso da taipa de pilão na arquitetura contemporânea como bioconstrução. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Paulista.

SCHWEIKER, Marcel *et al.* "Ten questions concerning the potential of digital production and new technologies for contemporary earthen constructions." *Building and Environment* 206 (2021): 108240.

TAPARELLO, Gladys Ilka Klen. "A Industrialização da Construção com Terra através da Impressão 3D." (2023).

TOUFIGH, Vehab; KIANFAR, Ehsan. The effects of stabilizers on the thermal and the mechanical properties of rammed earth at various humidities and their environmental impacts. *Construction and Building Materials*, v. 200, p. 616–629, 10 mar. 2019.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. Concreto auto-adensável. São Paulo: PINI, 2008. 140 p.

VERALDO, Ana Carolina. Análise do processo construtivo de taipa mecanizada: estudo de caso da sede do canteiro experimental da UFMS. Campo Grande: dissertação–UFMS. 121p, 2015.