

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ARQUITETURA E URBANISMO  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE EM CIDADES,  
EDIFICAÇÕES E PRODUTOS**

**SILVIA AMELIA RAMOS TURBINO DA SILVA**

**CONSIDERAÇÕES SOBRE A VIABILIDADE DA ESTABILIZAÇÃO  
DA TAIPA COM REJEITOS DE MINERIO DE FERRO**

**BELO HORIZONTE**

**2021**

**SILVIA AMELIA RAMOS TURBINO DA SILVA**

**CONSIDERAÇÕES SOBRE A VIABILIDADE DA ESTABILIZAÇÃO  
DA TAIPA COM REJEITOS DE MINERIO DE FERRO**

**Versão final**

Trabalho de Conclusão do curso de Especialização em Sustentabilidade, da Escola de Arquitetura – EA da Universidade Federal de Minas Gerais, requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Sustentabilidade.

Orientação Prof<sup>a</sup> SOFIA ARAÚJO LIMA BESSA

**BELO HORIZONTE**

**2021**

### FICHA CATALOGRÁFICA

S586c

Silva, Sílvia Amélia Ramos Turbino da.

Considerações sobre a viabilidade da estabilização da taipa com rejeitos de minério de ferro [manuscrito] / Sílvia Amélia Ramos Turbino da Silva. - 2021.

47 f. : il.

Orientadora: Sofia Araújo Lima Bessa.

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Arquitetura sustentável. 2. Construção civil. 3. Resíduos sólidos - Aspectos ambientais. 4. Minérios de ferro. I. Bessa, Sofia Araújo Lima. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.28



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ARQUITETURA - EAUFMG  
Rua Paraíba, 697 – Funcionários  
30130-140 – Belo Horizonte – MG - Brasil  
Telefone: (031) 3409-8823 FAX (031) 3409-8822

**ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE MONOGRAFIA DA ALUNA SILVIA AMÉLIA RAMOS TURBINO DA SILVA COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE EM CIDADES, EDIFICAÇÕES E PRODUTOS.**

Às 14:00 horas do dia 30 de junho de 2021, reuniu-se em teleconferência pelo aplicativo *Google Meet*, devido ao COVID-19, a Comissão Examinadora composta pela Profa. Sofia Araújo Lima Bessa (Orientadora-Presidente), e pelo Prof. César Silvino Figueredo, Membro Titular Externo, designada pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos, para avaliação da monografia intitulada **“CONSIDERAÇÕES SOBRE A VIABILIDADE DA ESTABILIZAÇÃO DA TAIPA COM REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO”** de autoria da aluna **SILVIA AMÉLIA RAMOS TURBINO DA SILVA**, como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso, atribuindo ao trabalho a nota 90 e o conceito A. A Comissão Coordenadora solicita que algumas correções/alterações sejam realizadas no texto final: i) que sejam citadas e comentadas edificações, na revisão da bibliografia, que foram construídas em taipa e que são consideradas Patrimônios da Humanidade; ii) que as conclusões do trabalho apresentem as diretrizes e as recomendações acerca da estabilização da taipa com rejeitos de mineração; e iii) que seja realizada uma revisão gramatical e ortográfica de todo o texto. A Comissão recomenda que sejam encaminhados: 01 (hum) exemplar digital ao Repositório da UFMG, após as correções sugeridas.

Belo Horizonte, 30 de junho de 2021

**Profa. Sofia Araújo Lima Bessa**  
Presidente Orientadora-Presidente

**Prof. César Silvino Figueredo**  
Membro Titular Externo

## **RESUMO**

Considerada uma técnica milenar, a taipa de pilão possui uma herança significativa de edifícios em todo o mundo. A construção de terra crua, assim como a taipa de pilão caiu em desuso nos últimos séculos devido aos novos meios de processos de construção civil, vindo de avanços tecnológicos e seguindo tendências culturais contemporâneas. Entretanto, com o aumento da demanda de insumos industrializados houve uma grande demanda do uso de recursos naturais e maior produção de CO<sub>2</sub>, que contribui para o aquecimento global. Em busca de diminuir os impactos houve o retorno de utilização de materiais e técnicas mais sustentáveis, como as técnicas de taipa de pilão, em busca de minimizar o alto consumismo industrial. O processo da mineração é um dos grandes causadores de impactos ambientais negativo, dentro dos processos realizados na mineração está o seu descarte de rejeitos, gerando desperdício financeiro, sendo um custo adicional para empresas mineradoras. A fim de utilizar os rejeitos de minério de ferro em paredes de taipa, foi realizado uma pesquisa para estudar sua viabilidade técnica, ambiental e econômica. Pode-se constatar que existe viabilidade técnica na utilização do rejeito de mineração em taipa, substituindo a areia para estabilização, pois o rejeito é fino e pode preencher os espaços vazios da taipa, deixando a mistura mais densa. Assim como a viabilidade ambiental pois é considerada uma alternativa de baixo impacto ambiental, além de dar uso para o material que estaria nas barragens trazendo risco as comunidades próximas e desconfigurando a paisagem. Possui viabilidade econômica, em relação a distância do transporte desde a mina até o local de uso, considerando também o valor dos agregados convencionais.

Palavras chaves: taipa de pilão, rejeito de minério de ferro, estabilização

## **ABSTRACT**

Considered an ancient technique, rammed earth has a significant heritage of buildings around the world. Raw earth construction, as well as rammed earth, has fallen into disuse in recent centuries due to new means of civil construction processes, resulting from technological advances and following contemporary cultural trends. However, with the increase in demand for industrialized inputs, there was a great demand for the use of natural resources and greater production of CO<sub>2</sub>, which contributes to global warming. Seeking to reduce the impacts, there was a return to the use of more sustainable materials and techniques, such as rammed earth techniques, in an attempt to minimize the high industrial consumerism. The mining process is one of the major causes of negative environmental impacts, within the processes carried out in mining is its disposal of tailings, generating financial waste, being an additional cost for mining companies. In order to use iron ore tailings in rammed earth walls, research was carried out to study its technical, environmental and economic feasibility. It can be seen that there is technical feasibility in the use of mining tailings in rammed earth, replacing sand for stabilization, as the tailings are fine and can fill in the empty spaces in the rammed earth, making the mixture denser. As well as the environmental viability, as it is considered an alternative with low environmental impact, in addition to making use of the material that would be in the dams, bringing risk to nearby communities and distorting the landscape. It has economic viability, in relation to the transport distance from the mine to the place of use, also considering the value of conventional aggregates.

Key-words: rammed earth, iron ore tailings, stabilization

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Uma secção de muralha em taipa no extremo oeste da Grande Muralha, Jiayuguan, Gansu, China. ....	13
Figura 2 – Arquitetura de terra no Mundo.....	14
Figura 3 – Entardecer na mesquita de Djenné em Mali.....	14
Figura 4 – Fotografia do Castelo Baños de la Encima, Andalucia, construído em 976 a.C.....	15
Figura 5 – Bairro operário edificado em taipa segundo os princípios de François Coiteraoux, centro de Saint-Siméon-de-Brassieux, Isère, França.....	15
Figura 6 – Modelo de Taipa de pilão - Casa Quatro Cantos – Tiradentes.....	16
Figura 7 - Pátio do Colégio.....	17
Figura 8 – Casas Colinas, Arquiteto Marcio V Hoffmann.....	19
Figura 9 – Amangiri, Estados Unidos .....	19
Figura 10 – Aparência física de amostras usando cimento ou esterco ou nenhum deles.....	21
Figura 11 - Diferentes estágios envolvidos na preparação de um espécime de terra batida: compactação da mistura de solo usando cabeça quadrada, cabeça semicircular e compactadores de cabeça pontiaguda oval; espécime final com dimensões de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura com quatro camadas iguais. ....	22
Figura 12 – Exemplo de curva de distribuição granulométrica, com indicação das frações que compõem o solo, além das faixas para ensaio de peneiramento e de sedimentação .....	25
Figura 13 – Princípio construtivo de taipa.....	26
Figura 14 – Teste de queda da bola: aspectos do espalhamento, em função de terra (argilosa, à esquerda e arenosa à direita) .....	27
Figura 15 – Processo de montagem em obra de painéis de taipa pré-fabricado.....	28
Figura 16 – Movimento da Fôrma nas Estruturas.....	29
Figura 17 - Produção Histórica Nacional e Mundial de Minério de ferro.....	30
Figura 18 – Área de mineração de ferro em Minas Gerais .....	31
Figura 19 - Barragens de Mineração / PNSB .....	32

Figura 20 – Análise comparativa entre as frações de pedregulho, areia grossa, areia fina e silte-argila dos rejeitos de casa barragem de acordo com a norma ASTM D 3282/04.....	35
Figura 21 -Mapa das Minerações Brasileiras .....	37
Figura 22 – Serra do Curral – Vista entre Parque Mangabeiras e Mina de Águas Claras .....	39



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANM      Agencia Nacional de Mineração

IBRAM    Instituto Brasileiro de Mineração

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>11</b>
2.1 Objetivos geral e específicos.....	11
2.2 Justificativas .....	11
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
3.1 História da Taipa de Pilão.....	12
3.2 Estabilização da taipa.....	20
3.3 Avanços tecnológicos da produção da taipa .....	26
3.4 Minério de ferro e suas potencialidades .....	29
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>33</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>34</b>
5.1 Viabilidade técnica.....	34
5.2 Viabilidade econômica.....	35
5.3 Viabilidade ambiental.....	38
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>40</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>41</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Em busca de soluções para enfrentar o aquecimento global, esforços científicos de ponta, busca de eficiência de recursos e economia circular, vem ganhando espaço para pesquisadores e formuladores de política. O desenvolvimento sustentável é um tema multidisciplinar que engloba energia, sistemas de água e meio ambiente. O aquecimento global coloca em risco todo ecossistema no qual cada vez mais, existe sinais de suas consequências como a instabilidade climática (BALETA et al., 2019).

Nas últimas décadas, o ser humano passou a ter consciência do desgaste de recursos do nosso planeta derivado da exploração irracional dos recursos, principalmente após a publicação do relatório de Brundtland. Governos e sociedades procuram fazer uma reflexão sobre a construção de um futuro mais sustentável. A arquitetura e construção civil tem um alto consumo de energia para concretizar seus projetos, alguns arquitetos encontraram na arquitetura vernácula tradicional um exemplo de edificações sustentáveis que reúne os três princípios em que se baseia: sustentabilidade ambiental, sociocultural e socioeconômica (GAMÓN, 2020).

A taipa é uma técnica de construção antiga que consiste em compactar a mistura de terra entre formas. Uma forma moderna de taipa é adicionar um material ligante a mistura da terra para melhorar a resistência mecânica do material. Atualmente, o estabilizador mais usado é o cimento, mas existe outros aglutinantes mais ecológicos como subprodutos de cinzas volantes, resíduos de carboneto de cálcio ou polímeros naturais (ARRIGONI et al., 2018).

Na Austrália e Nova Zelândia, ocorreu um renascimento das técnicas de terra crua por ser um material ambientalmente benigno. O uso da terra crua como material de construção apresenta elevada economia de energia incorporada em relação os materiais convencionais, como o tijolo de argila (TRELOAR, OWEN e FAY, 2001).

Segundo Moreno (WONG-PINTO, 2020) em diversos países em desenvolvimento, a mineração é uma atividade importante, podendo ser o pilar da economia de países emergentes sul americanos, como o Chile. Entretanto a mineração gera grandes impactos negativos para a população, como a geração de sólidos poluentes e efluentes de alto teor de metais pesados e metaloides, que costumam se acumular em depósitos. Apesar dos importantes benefícios que a mineração traz aos países e

comunidades do entorno onde atua, também gera grandes impactos indesejáveis à população. Por isso é necessário fazer estratégias de tratamento e mitigação do uso do solo e água, emissão de material particulado, geração de efluentes poluentes com alto teor de metais pesados e metaloides, entre outros. Estima-se que existam cerca de 3.500 depósitos ativos de resíduos de mineração em todo mundo, com uma taxa de geração que gira em torno de 100.00 milhões de toneladas por ano.

Ao analisar os dados do boletim do Setor Mineral (BRASIL, 2019), observa-se crescente demanda de minérios nos últimos anos resultando em aumento de barragens e elevação de custo de produção. Em 2000 a produção de minério de ferro no Brasil era de 200 toneladas, foi aumentando a produção a cada ano e no ano 2013 a produção de minério de ferro no Brasil era de 386 toneladas, nos anos seguintes houve um aumento, chegando em 2018 com 460 toneladas. A forma de como é depositado os rejeitos de minério de ferro hoje demanda de estruturas de contenção, que são executadas de maneira inadequada, e pode gerar acidentes e rupturas como em Mariana e Brumadinho, ambos em Minas Gerais.

O presente trabalho visa analisar e discutir a viabilidade da estabilização da taipa com rejeito de minério de ferro, analisando sua viabilidade econômica, ambiental e técnica.

## **2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA**

### **2.1 Objetivos geral e específicos**

O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade do uso de rejeito de minério de ferro para estabilização da Taipa.

Como objetivos específicos, tem-se:

- a. Analisar e discutir a viabilidade técnica do uso de rejeito de minério de ferro em parede de taipa.
- b. Analisar e discutir a viabilidade econômica do uso de rejeito de minério de ferro em parede de taipa.
- c. Analisar e discutir a viabilidade ambiental do uso de rejeito de minério de ferro em parede de taipa.

### **2.2 Justificativas**

Este trabalho, se justifica pelos motivos de colaborar com a diminuição do impacto ambiental, gerado pela construção civil, diminuir o uso de cimento como estabilizante, e areia, para estabilização por consequência diminuir a energia incorporada na taipa e destinar o uso aos rejeitos de mineração.

Existe um crescente volume de resíduos sólidos, com destinação inadequada, alta demanda de recursos naturais, esgotamentos das reservas existentes e indisponibilidade de áreas para descarte de materiais da construção civil e rejeitos de mineração. Por esses motivos existe a necessidade de compensação da degradação e desequilíbrio entre os demais recursos, que seria possível incrementando a eficiência do sistema construtivo e qualidade do produto até sua destinação e reutilização.

A construção civil consome recursos naturais e utiliza energia para sua produção, além de gerar impacto com o descarte indevido de seus resíduos, assim como as mineradoras. Esses resíduos descartados em local individuo podem contaminar o meio ambiente e gerar graves problemas ambientais.

Os rejeitos das mineradoras são consequência inevitável dos processos que são submetidos os minérios, por isso existe uma preocupação em diminuir esses impactos e reduzir os custos associados à contenção e à disposição da implantação das necessidades ambientais de segurança.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 História da Taipa de Pilão**

O homem da pré-história utilizava de recursos naturais e técnicas rudimentares para construir abrigo, proporcionando segurança e proteção para sua família. Há cerca de dez mil anos na natureza foi encontrado pedra, madeira e barro, elementos necessários para construir suas primeiras habitações (OLENDER, 2006 apud CORDEIRO et al., 2019).

Ao longo da história a terra foi empregada nas construções para criação de abrigos, e por esta disponível na maior parte do mundo a terra é um dos materiais mais importantes da construção natural. Um dos primeiros movimentos humanos no modo de habitar, a terra sempre revelou um dos recursos construtivos mais prevalente pois pode ser empregada em qualquer clima. Após vários milênios de evolução acabou-se se desenvolvendo tecnologias capazes de qualificar os solos, tornando-os soluções extremamente viáveis a todos os níveis de estabilidade estética, estrutural e habitabilidade. Seja na arquitetura popular e espontânea, seja erudita e sagrada, esse material que um terço da população mundial habita esteve sempre presente nos momentos mais revolucionários da evolução humana (MINKE, 2006 apud FIGUEIRA, 2016).

Territórios ribeirinhos de maior fertilidade foi fundamental para consolidação tecnológica da construção com terra no período Calcolítico no Médio Oriente. Os sistemas portantes como a taipa e o adobe, são tecnologias que marcaram o final da Idade da Pedra, que mantiveram modo de fazer até os dias atuais. As civilizações prosperam após essas descobertas, e os primeiros registros arqueológicos encontrados foram no Extremo Oriente, China. A disseminação das metodologias de construção com terra foi levada com a migração dos povos e trocas comerciais (FIGUEIRA, 2016).

A taipa tem origem provável nas margens do rio Indo, porém sua origem não é consensual entre autores. Foram encontrados vestígios muito antigos na Tunísia do século IX a.C., e outros inúmeros sítios arqueológicos evidenciam o seu uso no passado (FRANKE, 2017). Jaquin et al. (2008), afirma que essa técnica foi desenvolvida na China (Figura 1) e na região Mediterrânea no período Muomhong nos anos de 2300 a 1810 a.C. e depois na região Mediterrânea nas colónias Fenícias em 800 a.C. Já Pisani (2004 apud MINKE, 2001), afirma que na Turquia, na Assíria e no Oriente Médio foram encontradas construções com terra apiloada entre 9000 a 5000 a.C. E a origem do nome Taipa significa utilização de solo tem origem provável árabe entrou na língua portuguesa por influência mourisca.

Figura 1 – Uma secção de muralha em taipa no extremo oeste da Grande Muralha, Jiayuguan, Gansu, China.



Fonte: Arquiteturas de Terra (2010)

No século XV, na era dos Descobrimentos, houve um dos maiores momentos de globalização quando os europeus atravessaram os oceanos, acontecendo grande impacto cultural por todo o globo, alterando consideravelmente as barreiras civilizacionais e culturais. Portugal e Espanha foram uma das principais responsáveis ao transportar a arte de construir com terra ao longo da costa africana, Índia, Macau e Brasil (ROCHA, 2016 apud FIGUEIRA, 2016). As construções em terra crua estão presentes em todos os continentes conforme retrata na Figura 2.

Figura 2 – Arquitetura de terra no Mundo



Fonte: CRATerre (2021)

De acordo com Faria (2011), a história da arquitetura brasileira reflete a integração das culturas indígenas, portuguesas e africanas. A técnica construtiva de terra está conectada com a África e suas influências europeias. Adaptações arquitetônicas que se fundiram e com a vinda dos escravos e portugueses.

Figura 3 – Entardecer na mesquita de Djenné em Mali



Fonte: Quatro cantos do mundo (2015)

Mas conforme Pisani (2004), o continente africano já construía com a terra, e os escravos trazidos para o Brasil detinham conhecimento das técnicas e de seu uso



para a construção. Em climas secos e quentes tradicionalmente constrói com taipa, devido a característica de necessitar de pouca água para ser executada. Existe construções em taipa por todo mundo, principalmente no Oriente, África China e Europa Mediterrânea (Figura 4). Destacando-se o sul de Portugal em construções habitacionais, militares e públicas.

Figura 4 – Fotografia do Castelo Baños de la Encima, Andalucia, construído em 976 a.C.



Fonte: Jaquin et al. (2008)

Na França (Figura 5) possui um grande patrimônio da técnica de taipa na região de Rhône-Alps e na cidade Lyon. E no século XVIII e XIX, após a publicação dos livros do arquiteto francês François Coiteraoux sobre taipa, rapidamente foi traduzido e se espalhou para Dinamarca, Itália, Alemanha, Austrália e Estados Unidos (FRANKE, 2017).

Figura 5 – Bairro operário edificado em taipa segundo os princípios de François Coiteraoux, centro de Saint-Siméon-de-Brassieux, Isère, França



Fonte: Franke (2017)

O Brasil é o país da América Latina que tem um grande acervo de patrimônio construída em taipa, pois foi amplamente usada no período colonial, principalmente na região Sudeste. No período do ciclo do Ouro nas cidades mineiras coloniais como Ouro Preto, Tiradentes (Figura 6), Diamantina e Congonhas foi construído muitas casas, igrejas e prédios públicos. Na região de São Paulo (Figura 7) encontra-se várias cidades que foram construídas com taipa, como por exemplo a capital paulista, com o Museu de Arte Sacra, assim como grande parte das igrejas e construções com dois ou mais pavimentos (SILVA, 2018).

Figura 6 – Modelo de Taipa de pilão - Casa Quatro Cantos – Tiradentes



Fonte: Veado (2008)

Segundo Olender (2006) as duas primeiras décadas do Brasil após o descobrimento, foi utilizado a terra como material de construção. A presença de matéria prima próximas as construções e de escravos ajudou a disseminação do material, e o emprego das técnicas com terra crua, e sua manutenção. A terra crua foi largamente

difundida pelos paulistas no interior do país, onde não tinha disponível nem pedra e nem cal, eles adotaram a técnica de taipa de pilão e levaram em suas expedições bandeirantes, para regiões dos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Paraná e Piauí.

Figura 7 - Pátio do Colégio



Fonte: Silva (2018)

Após a independência do Brasil, e a revolução industrial, existiu um anseio da sociedade por edificações mais modernizadas, para substituir as técnicas construtivas rudimentares, o que subsidiou o desenvolvimento de materiais industrializados na construção civil, e representou uma evolução da forma de morar (CORDEIRO et al., 2019).

Segundo Lemos, referindo-se ao contexto da segunda metade do século XIX:

Em plena segunda metade do século XIX, já alcançado o terceiro quartel, ainda havia gente teimando em construir em taipa, em viver à antiga.” “De ordem da Ilma. Câmara Municipal, declaramos que o prazo improrrogável para a substituição de rótulas, postigos, cancelas, portas ou janelas de abrir pra fora finda-se em 31 de outubro do mês e para que ninguém alegue ignorância, e findo esse prazo, o infrator será multado. (LEMOS, p.92, 1984)

Houve uma pressão para que as casas e as construções não fossem mais construídas de terra, a pretexto de uma modernização de usar uma nova tecnologia que estava sendo usada na Europa, acabou gerando um preconceito em relação a sua utilização de construção de terra crua. As construções começaram a ser feitas com produtos industriais que dava um ar de mais inadequada, e transformou a arquitetura de terra crua sinônimo de precariedade, pobreza e proliferação de doenças (OLENDER, 2006).

Segundo Pinheiro et al. (2016), a partir de 1930, arquitetos modernistas buscavam unir a arquitetura erudita com a arquitetura popular, como o projeto do arquiteto Lúcio Costa, Vila Operária de Monlevade e o projeto de Lina Bo Bardi das casas populares para a Comunidade de Camurupim, ambos nunca saíram do papel. Os arquitetos modernistas brasileiros, não conseguiram implementar as técnicas de terra crua na realidade brasileira pois estava indo ao contrário ao desejo da alta sociedade e aos programas de saneamento do governo federal ao combate a taipa.

A Crise energética em 1970 levou um questionamento sobre os recursos serem esgotados, o que desencadeou pesquisas para construção sustentável, arquitetura bioclimática e a volta ao interesse em construção de terra crua. Arquitetos e diversos agentes ligados ao setor de construção regataram materiais e técnicas de construção milenares, uma busca por equilíbrio entre a arquitetura atual e parâmetros de arquitetura bioclimática (FONT e HILDALGO, 2011).

A visão negativa das técnicas de terra crua está associada as construções de má qualidade por falta de opção de moradia. A arquitetura contemporânea de terra possui numerosos exemplares de qualidade estética e construtiva. Em 2015, foi criado o primeiro prémio mundial das arquiteturas contemporâneas em terra crua, o TERRA Award para estimular a modernidade e contribuir à divulgação de construção em terra. E a taipa contemporânea se divide em duas linhas de pensamento, em países não industrializados as obras estão vinculadas a técnicas tradicionais já nos países industrializados existe uma tendência de reinterpretar as técnicas e adaptar em contextos contemporâneos. No Brasil (Figura 8) as influências colônias Portuguesas fundiram a tradição da taipa, sendo essa técnica ainda a mais utilizada nas construções atuais de terra crua (MEIRA, 2017).



Figura 8 – Casas Colinas, Arquiteto Marcio V Hoffmann



Fonte: Archidaly (2014)

Foi criado em 1979, o CRAterre, um grupo de engenheiros e arquitetos franceses que atuavam em pesquisa, ensino, atividades práticas e disseminação de conhecimento de terra crua, que na época quase não existiam empreiteiros com capacidade de executá-las. Existem outras associações importantes de terra crua, como a rede Proterra (2021), que é a Rede Ibero-americana de Arquitetura com Terra criada em 2006. Na Austrália possui o Earth Building Association of Australia (EBAA, 2021), e o Dachverband Lehm (2021) na Alemanha, o Centro da Terra em Portugal (CDT, 2021) e Rede Terra Brasil Nacional (2021).

Figura 9 – Amangiri, Estados Unidos



Fonte: CLICHE (2015)

Na Austrália, Estados Unidos (Figura 9), Canada e em outros países desenvolvidos o uso da taipa de pilão são aplicadas na sua grande maioria em casas de classe média-

alta, as obras possuem uma linguagem própria com planos de parede maciça e de vidro. O uso da taipa em países desenvolvidos é impulsionado por pesquisas e mão de obra especializada. Nos Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia, Peru, Portugal e outros países se destacam por possuir uma norma específica para construção de terra. Um dos arquitetos que começou a utilizar a terra crua nas suas arquiteturas foi o Frank Lloyd Wright e outros numerosos. Atualmente encontra-se inúmeros exemplos de arquitetos que projetam as suas obras em terra crua, utilizando principalmente a técnica de taipa (FRANKE, 2017).

### **3.2 Estabilização da taipa**

De acordo com Neves e Faria (2011), a estabilização do solo para produção da taipa é todo o processo feito para melhorar as características do solo para adquirir propriedades necessárias à sua função. A estabilização química do material é quando agrega aditivos químicos à terra, e geralmente é o aglomerante cimento ou cal, provocando uma reação química e física que garante a resistência para comprimir os requisitos exigidos em construção de diversos países, alterando as propriedades do material terra.

Os aglomerantes mais usados para execução da taipa são a cal e o cimento, mas também são utilizados para estabilização silicatos, resinas, óleo de animais e ceras vegetais. As terras arenosas normalmente combinam melhor com cimento e as terras argilosas com cal. A estabilização por cimentação consiste em adicionar ao solo uma substância que solidifica os grãos de areia e as partículas argilosas para obter estrutura e diminua a absorção de água pela argila, como por exemplo cal e cimento. Mas a cal além de agente cimentante, é um estabilizante químico pois atua com minerais amorfos formando compostos pozolânicos.

Na estabilização química o cimento Portland é frequentemente usado nas misturas, para aumentar a resistência mecânica e a durabilidade do material. Ele é um estabilizador ideal para solos grossos que possuem minerais de argilas menos expansivas, aumentando sua resistência a compressão. A resistência a compressão é influenciada por propriedades como composição mineral, densidade dos elementos, forma da construção, porosidade dos elementos, distribuição de partículas, idade da

construção, método de compactação de mistura, teor de umidade, tipo do cimento Portland e as condições de exposição do elemento de construção (NARLOCH, 2020).

Na pesquisa realizada por Khadka e Shakya (2016) compara amostras de taipa estabilizada, não estabilizadas e com esterco (Figura 10). E conclui que os resultados obtidos nas amostras de taipa sem cimento tinham compressão 2,97 MPa, já as amostras de taipa estabilizada com cimento chegaram ao resultado de até 7,78 MPa. Visando um clima mais exigente aos intempéries a taipa estabilizada com cimento tem uma resistência e uma durabilidade maior em comparação a não estabilizada que é suscetível aos intemperes.

Figura 10 – Aparência física de amostras usando cimento ou esterco ou nenhum deles



Fonte: Khadka e Shakya (2016)

Porém, Mendes e Bessa (2021, no prolo apud CIANCIO, JAQUIN e WALKE, 2013) considera questionável o aumento da porcentagem de cimento assim como da pressão de compactação, possa melhorar as propriedades de misturas que utilizam

solos inadequados. Os autores alertam que devido a variedade de solo existente, a conclusão obtida no experimento é válida apenas para as misturas estudadas. As paredes de taipa estabilizadas com cimento obtêm uma melhora na compreensão e maior durabilidade a intemperes em comparação a taipa não estabilizada.

Existem outros aditivos para fazer se obter a estabilização química além da cal e cimento, como por exemplo, resíduos de carboneto de cálcio e cinza volante, resíduo de gesso, borracha, silicato de sódio com escória de alto forno, cinza de casca de arroz e entre outros.

O estudo realizado por Basanna et. al. (2020) usa como estabilizante nas amostras de taipa (Figura 11) o uso de um extrato vegetal formulado do melaço da cana de açúcar, e constata que reduz a quantidade de cimento na mistura, e melhora a classificação verde da edificação reduzindo a energia incorporada. Do ponto de vista ambiental é ótimo, pois a produção é feita a partir da fermentação do melaço de cana de açúcar, e sua preparação envolve menos produção de CO<sup>2</sup> do que a fabricação do cimento. Além de aumentar a resistência e a durabilidade do material estabilizado.

Figura 11 - Diferentes estágios envolvidos na preparação de um espécime de terra batida: compactação da mistura de solo usando cabeça quadrada, cabeça semicircular e compactadores de cabeça pontiaguda oval; espécime final com dimensões de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura com quatro camadas iguais.



Fonte: Basanna et. al. (2020)

A pesquisa de Silva et al. (2013), realiza ativação de cinzas volantes com composições de 2,5%, 5% e 7,5% obteve resultados na melhoria do desempenho na durabilidade, mas a resistência a compressão não obteve resultados para atender aos requisitos mínimos.



Siddiqua e Barreto (2018) realizaram uma pesquisa sobre estabilização química com proporções diferentes de resíduos de carboneto de cálcio e cinza volantes. A flocculação de partículas do solo modifica as propriedades de compactação, pois o hidróxido de cálcio encontrado nos resíduos de carboneto de cálcio se dissocia na água. O tempo de cura mais longo teve um papel significativo para o forte intertravamento das partículas, pois nos 60 dias de cura houve uma melhora na resistência. E conclui que é pouco econômico aumentar o teor ligante além de 12%, em respeito a ganho de compreensão, pois aumenta 0,45Mpa entre 3%, já entre 12% e 15% houve um aumento apenas de 0,23Mpa.

Já o estudo realizado por Bui et al. (2017), realizou um experimento de composição de taipa com 2,5% de silicato de sódio com escória de alto forno, e conclui que a terra onde utiliza escória de alto forno misturado como ativador alcalino para estabilizador da taipa de pilão melhorou 33% da resistência a compressão da taipa em comparação a não estabilizada, porém os resultados obtidos foram 2,4 Mpa, e não foram tão altos como esperado.

Já o estudo Arrigoni et al. (2018) faz uma pesquisa com diferentes misturas para incorporar o concreto reciclado em taipa. Todas as misturas estabilizadas conseguiram 2 Mpa que é requisito mínimo de acordo com a norma Australian Earth Building Handbook. No geral as três misturas que não tinham cimento tiveram um pior desempenho do que as misturas que usaram cimento. A mistura que tinha 10% de cimento obteve em 28 dias 8,4Mpa, já a mistura possuía de 5% de cimento e 5% de cinza volante juntas na mesma mistura obteve o resultado de 6,7Mpa.

Já o estudo realizado por Gu e Chen (2020), trabalhou o uso de cimento, resíduo de gesso, cinza volante, cal virgem e porcentagem diferentes de cimento, para estabilização da taipa juntos e separados. E constatou que a adição apenas cal virgem foi insignificante aos 28 dias de cura. Mas a mistura de 10% de cimento, 3% de resíduo de gesso, 20% de cinza volante e 8% de cal obtém uma alta resistência de 18,64Mpa em 3 dias.

Porter et al (2018) conclui em sua pesquisa que misturando até 5% de borracha a terra compactada apresenta ótimos resultados de resistência e uma melhoria na condição térmica com maior retenção de calor, além da diminuição do uso de cimento.

Já a estabilização mecânica é um processo que consiste na alteração granulométrica no material, é quando utiliza meios mecânicos para compactação da taipa, diminuindo as moléculas de ar existentes, diminuindo os vazios, obtendo uma maior densidade do material, a correção da textura da terra (MEIRA, 2017).

Na estabilização física/mecânica ou também chamada de estabilização granulométrica, consiste em uma mistura de proporções de diferentes terras para melhorar a compactação entre as partículas ou inserção de fibras naturais ou sintéticas, para melhoria de suas propriedades (MENDES e BESSA, 2021, no prelo).

Koutous e Hilali (2021) realizam uma pesquisa de estabilização com fibras vegetais de palha de cevada e fibras de tamareira fornece resistência à terra compactada, em especial a resistência à tração. Concluindo que as fibras vegetais diminuem a rigidez da taipa, enquanto o cimento e a cal aumentam. A adesão das fibras de terra aparenta desempenhar um papel mais importante a tração do que a resistência à compressão.

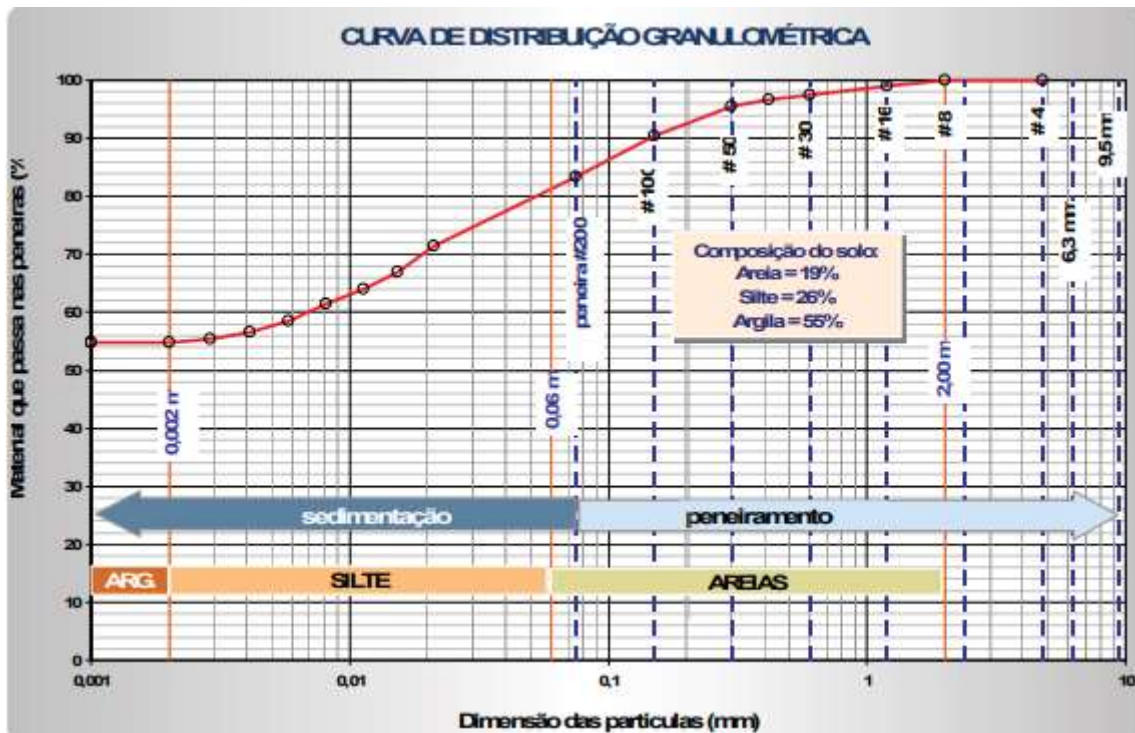
Já o artigo realizado por Zare et al. (2020), utiliza fibras têxteis de pneu usado para estabilização e conclui que as fibras têxteis de pneus usados podem ser usados com segurança como material de reforço de terra compactada e terra compactada estabilizada com cimento, para melhoria das cargas uniaxiais, de tração e flexão. As amostras de terra compactada não estabilizada provaram ser suficientemente fortes para serem usadas em aplicações convencionais, e as amostras de terra compactada estabilizada com cimento não é considerável ambientalmente suficiente.

Toufigh e Kianfar (2019) realizaram um experimento de taipa estabilizada com fibra de vidro através de corpos de prova, e os ensaios mostraram que houve um aumento de resistência a ductividade e a resistência à tração. Já a resistência a compressão não aumentou. E em relação à sustentabilidade, a mistura com fibra de vidro apresentou uma pegada de carbono elevada se comparar com a mistura não estabilizada.

As principais características físicas da terra para o uso na taipa são a curva de distribuição granulométrica (Figura 12), a curva de compactação e os índices de plasticidade dados obtidos por testes em laboratório. Pois através desses dados é possível ver a necessidade de correção granulométrica, para ajudar a decidir sobre o uso de aglomerante apropriado e determina a umidade de compactação. Os solos

mais indicados para a técnica de taipa de pilão são solos mais arenosos. E boa parte dos estudos indica que os solos adequados para taipa devem apresentar em torno de 30% de argila e 70% de areia, com baixa quantidade de silte Neves e Faria (2011, apud CRATERRE).

Figura 12 – Exemplo de curva de distribuição granulométrica, com indicação das frações que compõem o solo, além das faixas para ensaio de peneiramento e de sedimentação



Fonte: Neves et. al (2009) apud Faria (2002).

A composição da terra possui uma infinidade de matérias com propriedades variadas que diferem a produção de cada tipo de terra. Os fatores distintos de processo de formação da terra são resultado da ação de sol, chuvas, ventos e organismo que crescem sobre as rochas, todos esses fatores torna se a terra naturalmente distinta de terreno a terreno. Essa variação se dá em relação a percentagens de constitúeis e diâmetros das partículas minerais (FRANKE, 2017).

O solo mais adequado para construção com taipa requer uma maior quantidade de areia, e uma curva granulométrica bem distribuída, para obter uma massa específica maior na compactação. A quantidade de água ideal para lubrificar todas as partículas do solo sem ocupar os espaços entre elas é determinado pela curva de compactação.

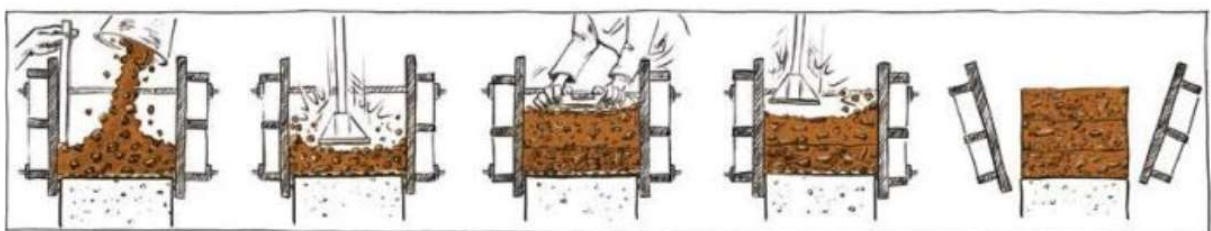
Pois quanto maior o índice de plasticidade, mais sujeito a variações dimensionais estará o material, resultado em inchamento e retração quando seco (NEVES e FARIA, 2011).

A curva de distribuição granulométrica (Figura 12) é um diagrama que representa a composição granulométrica do solo. Ela é separada por porcentagem de pedregulho e areia, silte e argila. Os solos são classificados em arenoso, siltiloso e argiloso, podendo ser identificado em laboratório com testes simples. No momento de escolher o traço da terra, é necessário escolher a quantidade de aglomerante é necessário considerar a qualidade do solo, a função, a dimensão das paredes, dificuldades de extração do material, e condições (NEVES et al., 2010).

### 3.3 Avanços tecnológicos da produção da taipa

Para a produção da técnica de taipa pode ser usado para compactar o solo o pilão manual ou compactador pneumático, grampos para segurarem a forma, cano, placa de compensados. Na Figura 13 é um exemplo de como a técnica pode ser montada para execução. O processo manual pode ser compactado em camadas de 10 a 15 cm de altura. Esta tecnologia mecanizada produz paredes igualmente resistentes com as paredes de concreto, pois a compactação faz que as paredes tenham baixa retração, dando nenhuma trinca e nem rachadura. Uma construção de taipa de pilão deverá ser feita com uma boa fundação de concreto ou pedras, para distribuir o peso das paredes no solo e impedir a capilaridade (SATO, 2011).

Figura 13 – Princípio construtivo de taipa



Fonte: Gauzin-Muller (2016)

Para a construção desta técnica, é preciso montar uma estrutura suporte (fôrma) para a construção das paredes. As tábuas de madeira (taipas) fecham a forma lateralmente, sendo presas por tubos metálicos ou troncos por sargentos (grampos metálicos) que atravessam a fôrma dos dois lados. Tabuas darão um acabamento

mais áspero, e as placas plastificadas de madeira ou chapas metálicas levarão a um acabamento mais liso. A taipa de pilão em grande maioria das situações é fabricada no próprio canteiro de obras. Após a análise e preparação do solo retirado da jazida, a forma deve ser nivelada, aprumada e travada. Em seguida é lançado a terra no seu interior e espalhada na forma para uma camada nivelada de aproximadamente 20cm de altura. Logo em seguida a terra é compactada com golpes contínuos, e verificado o prumo e alinhamento da forma. A forma é desmontada cuidadosamente, e a parede precisa ser de seu tempo de cura (NEVES; FARIA, 2011).

A avaliação do solo para construção em taipa é realizada por testes que focam na avaliação das propriedades do solo de forma qualitativa e fornece parâmetros importantes para a construção em taipa. O teste de queda (Figura 14) é um teste rápido que frequentemente é utilizado em Portugal para determinar a compactação (SILVA, et al., 2013).

Figura 14 – Teste de queda da bola: aspectos do espalhamento, em função de terra (argilosa, à esquerda e arenosa à direita)



Fonte: Neve et. al (2010)

Atualmente em vários países tentam modernizar e adaptar tecnicamente a taipa ao século atual, e buscam reduzir a mão de obra sobretudo em países industrializados (FRANKE, 2017 apud LAFUENTE et al., 2014). Em uma das inovações para a técnica estão os pilões pneumático, cofragens metálicas, dispersores antissísmicos, e a pré-fabricação. Uma fábrica que produzir elementos de taipa o ano todo com um processo praticamente mecanizado (Figura 15), provavelmente é mais económico que a

fabricação in loco, além de ter a vantagem que em tempo chuvoso é possível produzir, e para a montagem do sistema pré-fabricado de taipa não requerer mão de obra especializada, o que evita a falta de mão especializada para a construção.

Figura 15 – Processo de montagem em obra de painéis de taipa pré-fabricado



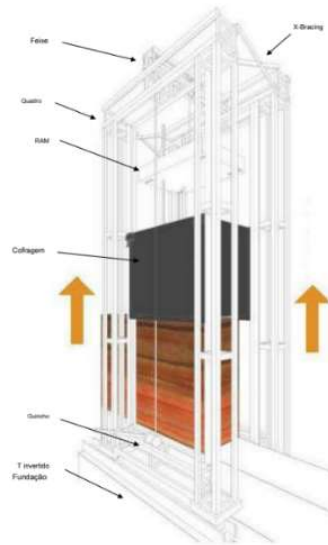
Fonte: designboom (2014)

Sobre o uso de taipa de pilão mecanizada com apiloamento pneumático no mercado do Brasil, Oliveira (2012) chega à conclusão que existe uma abundância de matéria prima, barata e fácil, e possui disponibilidade das mesmas ferramentas e equipamentos utilizados para produzir com taipa no exterior, como nos Estados Unidos e Austrália. Mas falta de normalização dificulta o crescimento da taipa de pilão no Brasil, o que reflete na falta de mão de obra, financiamento, poucos estudos e dados consolidados.

Bick (2016) monta um protótipo de máquina de taipa de pilão, o equipamento chamado de monumento é encaixando na fundação, possui guincho, cofragem, quadro, feixe e RAM que substitui o pilão, conforme Figura 16. Este monumento é fabricado por materiais e componentes recuperados e pode ser transportado por uma camionete o que facilita o transporte.



Figura 16 – Movimento da Fôrma nas Estruturas.



Fonte: Bick (2016)

Com relação à modernização de execução de paredes de taipa, na Austrália existe um método de terra estabilizada compactada, chamado de TEC que possui padronização para execução das paredes de taipa. Alguma dessas alterações no método tradicional é travamento horizontal das fôrmas metálicas, sem a necessidade de guias externas, o que possibilita um trabalho contínuo e eficiente já que o operário pode apiloar o material fora das fôrmas. A técnica é bastante difundida, já que arquitetos e engenheiros são capacitados para projetar e calcular para construir com taipa, além de existir funcionários que saibam trabalhar corretamente.

Em um dos principais instrumentos para execução da taipa são as formas para parede curva linear, peças de andaime, formas para extremidade, plataformas de andaime e compressor de ar. Na mistura da terra é adicionado 1% de plasticure, que tem a função de repelir a água, sal e mofo, além de reforçar a estrutura. Quando tem a necessidade de vencer grandes vãos é utilizado o perfil metálico em “T” que possibilita vão de até 10 metros (ROCHA; OLIVEIRA, 2016).

### 3.4 Minério de ferro e suas potencialidades

Segundo IBRAM (2020), o minério de ferro produzido no Brasil atingiu 40 milhões de toneladas. E a origem do minério exportado originou-se principalmente, nos estados de Minas Gerais com 36,1% e Pará com 51,6%. A mineração faturou R\$14,75 bilhões

no segundo trimestre do ano de 2020, representando um avanço de 14,66% em comparação aos três meses anteriores. A produção de ferro rendeu às empresas uma receita de R\$ 23,28 bilhões no último trimestre do ano de 2020. O aumento se deve à valorização cambial e a variação dos preços internacionais (BIANCHETTI, 2020).

A produção de minério de ferro, em 2019, caiu comparado com 2018 após a tragédia de Brumadinho, a produção saiu de 450 milhões de toneladas para 410 milhões. Dezenas das minas operadoras foram paralisadas por decisões judiciais ou determinação da ANM após o rompimento da barragem de Brumadinho (RODRIGUES, 2020).

Conforme a Figura 17, a produção de minério de ferro no Brasil veio subindo nos últimos anos, chegando a 460 toneladas em 2018, e no mundo teve um aumento em 2017 e 2018 chegando a 2500 toneladas. O que gera um grande potencial para reutilização desse material na construção civil.

Figura 17 - Produção Histórica Nacional e Mundial de Minério de ferro



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2019)

A etapa inicial da produção de ferro começa com a preparação da área, e todo material sem valor econômico estéril é retirado e separado do mineral economicamente viável é encaminhada para beneficiamento. O beneficiamento do minério gera grandes volumes e massas de rejeitos misturados à água. Os principais minérios de ferro explorados no Brasil são as hematitas ( $Fe^2O_3$ ) que é extraída principalmente na área do Pará e tem teor médio em torno de 60% de ferro em sua composição e o Itabirito que é extraído na região do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais (Figura 18) com



teor de ferro em torno de 50%. As barragens apresentam aspectos relacionados à segurança, pois muitas vezes as estruturas de grande porte podem apresentar expressivos danos em decorrência ao seu rompimento, vazamento ou infiltração no solo (ANDRADE, 2014).

A extração do minério é feita por processo de lavra e beneficiamento mineral, o que gera rejeitos que não possui valor econômico agregado, e sua deposição é feita com barragens. Os rejeitos possuem características variáveis dependendo o tipo de minério e quais processos foram aplicados (SOARES, 2010).

As barragens precisam ser monitoradas, pois elas geram situações de risco, e podem resultar em impactos ambientais (MACHADO, 2018). Na elaboração dos projetos de barragens é indicado inserir os custos envolvidos em sua produção, considerando as características dos materiais, dinâmica construtiva, característica do meio físico. Segundo as informações divulgadas pela ANM em fevereiro de 2019, no Brasil existem 769 barragens cadastradas, sendo 55,3% estariam sendo contempladas pela Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), e 51% são consideradas como tendo dano associado alto.

Figura 18 – Área de mineração de ferro em Minas Gerais



Fonte: Fontes (2013)

Conforme a Figura 19 observa-se que grande parte das barragens de minério de ferro estão na região Sudeste do país, em sua maioria são classificadas como B e C que tem potenciais baixos e médios de segurança.

Figura 19 - Barragens de Mineração / PNSB



Fonte: ANM (2019)

Segundo Bates (2002), os rejeitos encontrados no Brasil são separados em: (1) Areia natural e silte, (2) lama ou mica, (3) argila, (4) pedras e seixos, e (5) solos de descapecimento e turfa.

Para maior conhecimento das propriedades físicas, químicas, mineralógicas do rejeito de mineração, e suas preocupações ambientais em relação as barragens os estudos e investimentos vem crescendo para descobrir mais sobre seu reprocessamento e novas aplicações em outras áreas (REIS,2005).

Conforme Menezes, Neves, Ferreira (2002), em busca da transformação e reaproveitamento dos rejeitos é necessário reintroduzi-los no ciclo produtivo, para redução de custos e consumos de matéria prima. E os principais motivos para investimento e pesquisa na área são: necessidade de compensação da degradação e desequilíbrio entre os demais recursos naturais, crescente volume de resíduos sólidos e deposição inadequada, que oferece risco a saúde pública e ao meio

ambiente, maior demanda de recursos naturais, maior demanda de recursos naturais, esgotamento das reservas de matéria-prima existente, incremento da eficiência do sistema produtivo e qualidade do produto reciclado e Indisponibilidade de área para descarte desse material.

#### **4. METODOLOGIA**

A pesquisa foi desenvolvida por duas etapas, seguindo uma metodologia de revisão bibliográfica e análise de conteúdo. A análise bibliográfica foi realizada a revisão bibliográfica de trabalhos científicos desenvolvidos nos últimos 10 anos sobre taipa de pilão e rejeito de mineração no Brasil e no mundo. Para isso foi consultado a plataforma de busca, Portal da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), SciELO (Scientific Electronic Library Online) e Google Acadêmico.

Foi pesquisado os títulos “taipa”, “terra crua” trouxeram artigos apenas históricos pelo CAPES. Após foi realizado pesquisas internacionais, com os termos em inglês “Rammed Earth”, “Rammed Earth construction”, “Rammed Earth contemporary”, “Rammed Earth industrialization”, “story Rammed Earth” e “stabilization Rammed Earth”, onde foram selecionados artigos relevantes para o presente estudo.

Em busca de material sobre minério de ferro foi pesquisado nas bases de pesquisa os títulos, “rejeito de mineração”, “caracterização de rejeito de mineração”, “reaproveitamento de rejeito de mineração”. Os termos em inglês pesquisados foram “mining”, “tailings mining” e “mining tailings reuse”, que também foram selecionados artigos relevantes.

Também foi utilizado o site do IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração) e do Ministério de Minas e Energia, em busca das últimas publicações sobre a mineração de ferro com dados atuais sobre a mineração Brasileira e mundial.

Pretende-se responder as seguintes questões: Como as técnicas de taipa se desenvolveu desde a antiguidade até os dias atuais? Qual é o contexto e como a taipa se inseriu nas construções do Brasil e do mundo? Quais são os riscos dos rejeitos e das barragens de mineração? Quais são as caracterizações dos rejeitos de mineração de ferro? Os rejeitos de minério de ferro foram utilizados na construção civil? Existe

uma viabilidade técnica em usar o rejeito de minério de ferro em taipa? Existe algum artigo que utilizou rejeito de mineração para execução de paredes de taipa?

A partir da leitura desses materiais, pode-se obter dados para o desenvolvimento desta pesquisa. Sendo a maior parte dos artigos pesquisados são publicações estrangeiras, o que demonstra que no Brasil ainda é pouco estudado a aplicabilidade da taipa e não foi achado artigo que mostre a utilização e rejeito de mineração para execução de parede de Taipa.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

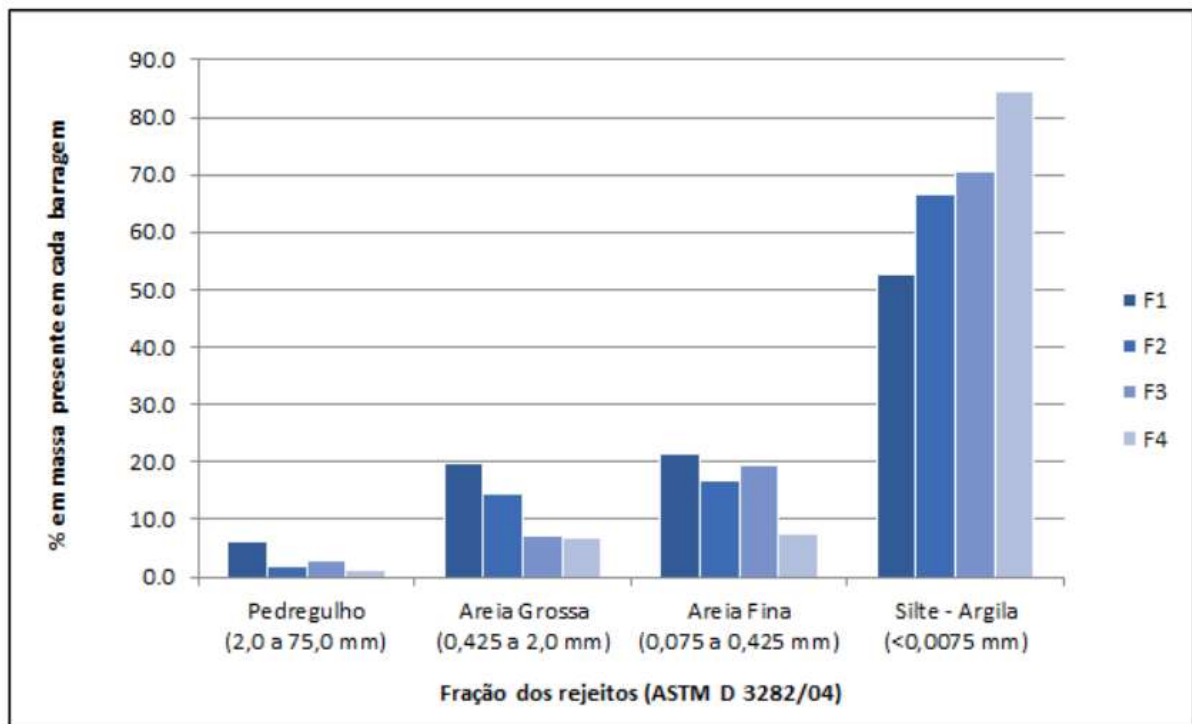
### **5.1 Viabilidade técnica**

No trabalho de Silva (2014), descobriu que os rejeitos de minério de ferro podem ser um substituto de parte dos insumos utilizados na produção de civil, como os agregados finos e grossos para a produção de blocos intertravados de concreto, além de ter o potencial de aumentar a resistência mecânica dos blocos de concreto.

Assim como Toffolo et al. (2014), também aponta em sua pesquisa que os rejeitos apresentam que é possível usar o rejeito de barragem de minério de ferro como matéria prima para a produção de blocos de concreto para pavimentação, obtendo resultados dentro dos limites normativos, com curas superiores e aumento no rendimento da fabricação de bloco em relação ao traço referência.

Já no trabalho de Andrade (2014) foi realizado uma análise granulométrica a laser do concentrado em sílica dos rejeitos de quatro barragens do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, e observa-se que uma grande quantidade de material é inferior a 0,075mm (Figura 20). E encontra o percentual de 54,4% na F4, 67,67% na F3, 65,4% na F2, e 69,8% na F1. Já na composição química ele encontra uma grande quantidade de óxido de silício, na forma de quartzo, variando de 79,21 a 90,34%. Grande parte do volume de uma barragem de rejeito é composta por resíduos não ferrosos, classificados como material inerte. E conclui que é viável utilizar rejeito de minério de ferro para substituir parte da areia natural em concretos. Eles afirmam que os rejeitos de mineração possuem partículas maiores que o cimento, indicando que ele pode ser utilizado como agregado fino em concretos convencionais, com o intuito de aumentar sua resistência.

Figura 20 – Análise comparativa entre as frações de pedregulho, areia grossa, areia fina e silte-argila dos rejeitos de casa barragem de acordo com a norma ASTM D 3282/04



Fonte: Andrade (2014)

Analisando o ponto de vista técnico, o rejeito de minério de ferro é um rejeito fino e contém muito quartzo, por isso possui a capacidade de preencher os vazios, que são características favoráveis para os componentes de fabricação de terra. E pode ser um bom substituto para a areia na estabilização granulométrica da taipa. Lembrando, que sempre deve levar em consideração a análise do rejeito de cada mina para análise da viabilidade técnica, assim com a análise do solo utilizado para taipa, para fazer a correção granulométrica mais adequada.

## 5.2 Viabilidade econômica

A economia circular tem como fundamento o melhor aproveitamento dos recursos naturais, evitando desperdícios. A geração de resíduos da mineração destaca-se existência dos resíduos sólidos de extração (estéril) e os oriundo do tratamento/beneficiamento (rejeitos) (IBRAM, 2020).

Já a autora Bessa (2011), realizou sua pesquisa com a utilização de cinza do bagaço de cana de açúcar como agregado miúdo em concretos, e concluiu que o valor final do concreto produzido com 50% de CBC (cinza de bagaço de cana de açúcar) ficou

ligeiramente mais caro que o concreto de referência, e por isso a utilização de CBC é viável em uma distância de até 100km a partir da usina de cana-de-açúcar.

No estudo Arrigoni et al. (2018), conclui que embora o uso de taipa não estabilizada pode ser considerado correto, descobriram que o impacto ambiental da taipa não estabilizada comparado com a taipa estabilizada foram semelhantes quando o solo disponível não é adequado por si só para a construção. O reaproveitamento de agregados de concreto demolido possui benefícios ambientais por aproveitar matérias primas, porém eles não podem passar de 35km mais distante que a pedreira para valer a pena.

Milani e Maia (2018) fizeram uma avaliação de desempenho do processo produtivo de cinza de casca de arroz com 10% e com 13% de cimento e 7,5% de terra arenosa para a produção de um protótipo de taipa de pilão estabilizada. Constatando que o valores para se construir com cinza de casca de arroz com solo-cimento é mais caro que a construção convencional de alvenaria de blocos cerâmicos. No entanto esses custos incluem despesas significativas de transporte de matéria prima, mas se a coleta de solo e cinza de casca de arroz fosse de fontes próximas aos locais de construção provavelmente resultaria em economia de custos. Mas se for olhar pelo lado ambiental, o sistema de solo cimento com cinza de casca de arroz apresenta níveis de energia muito menores que o sistema tradicional brasileiro. Quando o solo não é adequado para construção em taipa, e é necessário maior resistência, o aproveitamento de agregados de concreto demolição pode representar uma boa solução.

Conforme Fontes (2013), que realizou uma avaliação econômica dos traços de argamassas experimentais com rejeito de minério de ferro, o preço comercial na região Metropolitana de Belo Horizonte, o valor da areia custa R\$60 a tonelada, já o rejeito de barragem de minério de ferro sai por R\$1,5 o valor da tonelada. O que não chega a ser 2,5% do valor da areia. Porém não explica se esses valores não levam em consideração o transporte, apenas o preço comercial na região Metropolitana de Belo Horizonte.

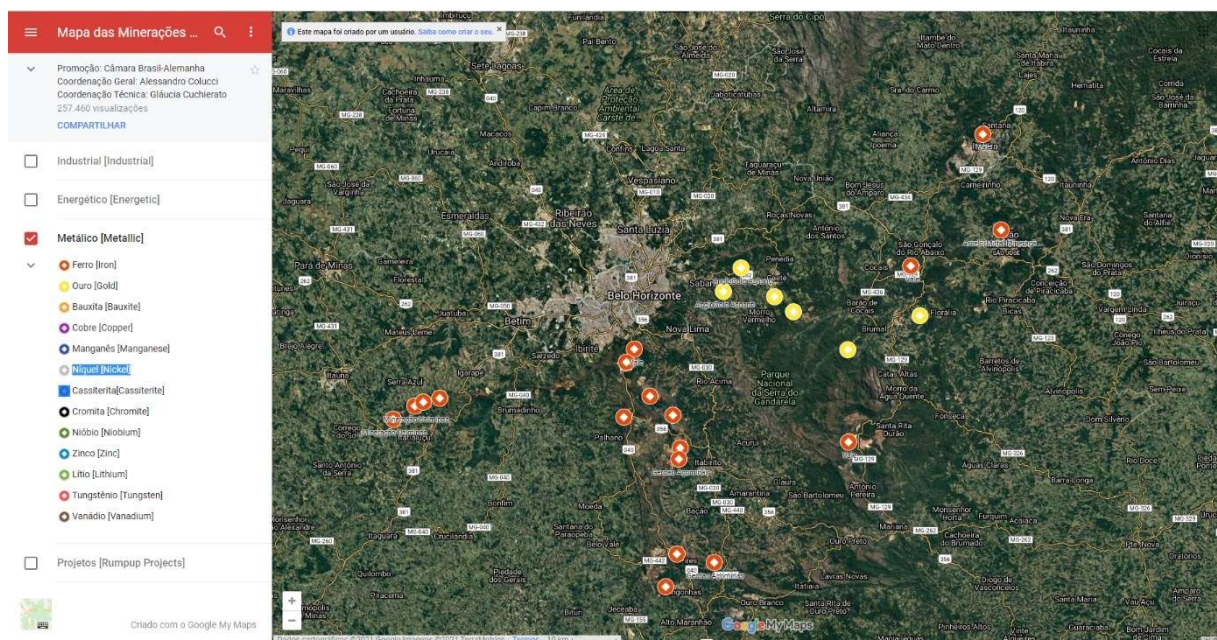
Um dos maiores entraves é a questão econômica, pois além de ser tecnicamente e ambientalmente viável, é necessário que seja mais barato e traga mais benefícios que a utilização de areia comum, para que tenha um incentivo em sua utilização. Portanto



é importante considerar a distância das minas, com os gastos de transporte e o valor da areia impacta na viabilidade econômica.

E conforme o anuário Mineral Brasileiro os principais depósitos Minerais no Brasil de Minério de ferro são Parauapebas – Pará, Curral Novo do Piauí – Piauí, Caetité - Bahia, Conceição do Mato Dentro e o Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais (Figura 21) em mais de 15 cidades. Portanto é importante considerar a distância das minas, com os gastos de transporte desse rejeito impacta na viabilidade econômica. No Brasil só seria viável nas regiões de depósitos minerais citados acima.

Figura 21 -Mapa das Minerações Brasileiras



Fonte: Google (2021)

No estado de Minas Gerais a mineração é uma atividade econômica muito importante. Próximo a Belo Horizonte encontra-se a Mina da Mutuca a 15km e a Mina Capão Xavier a 19 km do centro de Belo Horizonte, todas localizadas em Nova Lima. E próximo a região de Belo Horizonte, existe muitas minas conforme Figura 21 onde todos os pontos em laranja são minas de minério de ferro. Acredita-se que na região metropolitana de Belo Horizonte e cidades vizinhas a mina é viável economicamente usar rejeito devido distância.

### 5.3 Viabilidade ambiental

O reaproveitamento de resíduos gera não apenas benefícios econômicos, mas também ambientais, pois a construção civil demanda de muito recursos naturais. E o crescente volume de rejeitos gerados traz investimentos de pesquisa para a redução do custo para a indústrias incorporarem em seus produtos. Em sua pesquisa foi comprovado a possível utilização na construção civil, seja com produto similar ao tijolo maciço e aos ladrilhos hidráulicos (MACHADO, 2018).

Conforme Arrigoni et al. (2018) que utilizaram concreto reciclado para execução de parede de taipa, no ponto de vista ambiental, o impacto depende da distância do local da construção com a localização do concreto reciclado, por isso foi considerado em sua pesquisa uma distância de 50km para ser percorrida por qualquer mercadoria transportada para o local. Já o solo foi considerado o solo do local, já que é improvável que na Austrália tenha um solo que não precise de estabilização. A reutilização de agregados de concreto demolido traz benefícios ambientais em termos de ocupação de aterro e matéria-prima de exploração, mas é difícil de mensurar se tivesse distâncias maiores que 50km para chegar ao canteiro de obras.

Segundo Khadka e Shakya (2016), a taipa estabilizada apesar de ser responsável por emissões significativas de gás de efeito estufa em sua fabricação, em relação a emissões é comparativamente mais baixo do que tijolos queimados e vazados de concreto.

Já na pesquisa realizada por Huang (2013), onde estuda a viabilidade do rejeito de mineiro em matrizes cimentícias, afirma que além de reduzir o consumo de energia entre 10-32%, e as emissão de CO<sup>2</sup> entre 29-63%.

A ruptura de barragens de rejeitos nos últimos anos colocou a comunidade global em alerta, pois a gravidade dos rompimentos em Minas Gerais trouxe o assunto para foco imediato dos debates sobre gerenciamento dos rejeitos da mineração. O setor de mineração precisa repensar a gestão de resíduos, exigindo conhecimento multidisciplinar para uma mudança transformacional na gestão e utilização dos resíduos de mineração nas operações atuais e projetos futuros. A manutenção e criação de barragens descaracteriza a paisagem. Um exemplo de descaracterização da paisagem é a mina de Águas Claras atrás da Serra do Curral, conforme Figura 22.



Figura 22 – Serra do Curral – Vista entre Parque Mangabeiras e Mina de Águas Claras



Fonte: Google Earth (2021)

Conforme Montoro (1994), o volume necessário para de terra para execução de parede de taipa deve ser,  $m^2$  da parede x espessura da parede x 1,60 será igual ao volume de terra necessário em  $m^3$ . Seguindo essa linha de raciocínio para  $1m^2$  de parede de taipa de dimensão de 3 metros por 1 metro com 0,333 centímetros de espessura precisará de  $1,6m^3$  de terra mais rejeito. Utilizando 20% de rejeito e 80% de solo. Sendo que o rejeito possui  $3100kg/m^3$ , já o solo  $2800kg/m^3$ . Calcula-se que seja necessário 992kg de rejeito para 3584kg de terra em  $1m^3$  de parede de taipa.

Assim conclui que a cada  $1m^3$  de parede de taipa, seria utilizado 992kg de rejeito que estaria em barragens, sem possuir alguma utilização. Este rejeito que estaria estocado poderia ser utilizado como estabilizante na parede de taipa no local da areia.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através de pesquisas recentes sobre o tema de aproveitamento de rejeito a construção civil para substituição material fino, pode ser viável a substituição desse rejeito de mineiro para utilização de parede de taipa através das características granulométricas e químicas. Por ser um material muito fino, a sua utilização poderia ser possível na medida que ele irá reduzir os poros e aumentar a densidade da parede de taipa, gerando uma composição homogênea e densa.

Assim como também foi possível verificar uma viabilidade econômica, pela economia, ao se evitar a aquisição de agregados naturais, e ambiental, por se utilizar um material que não teria utilização e traria perigo para as comunidades próximas das barragens de armazenamento.

Porém, tanto na viabilidade econômica e quanto ambiental deve-se levar em conta a distância da mina até o local de utilização, devido aos custos de transporte e emissão de CO<sub>2</sub>.

O próximo passo para a pesquisa será realizar a coleta do solo adequado e analisar o solo (NBR 7181), e fazer a correção granulométrica da terra, misturando o solo coletado com o rejeito de mineração para que se obtenha 70% de areia e 30% de argila. Os testes mais utilizados para análise do solo são o teste da queda da bola, teste do vidro, teste do cordão, teste da fita. Após a mistura ideal entre terra e rejeito, será realizado a compressão com pilão manual na mistura em corpos de prova em forma quadrada de 15x15x15. Depois de 30 dias após a compactação do solo será feito os testes em laboratórios mais comuns para analisar os parâmetros mecânicos, de durabilidade e térmico, como o ensaio de compressão do primas (NBR 16814), ensaio erosão por gotejamento (NBR 4298), ensaio de condutibilidade térmica (ISSO/FDIS 10456 /2007).

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARQUITECTURAS DE TERRA. Arquitecturas de terra, 2010. Disponível em: <http://arquitecturasdeterra.blogspot.com/2010/03/>. Acesso em: 18 jun. 2021.

ANDRADE, L. C. R. de. **Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil.** 2014. 96 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2014. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/6664> Acesso em: 18 abril. 2021.

ANM. Agência Nacional de Mineração. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br>. Acesso em: 12 fev. 2021.

ARRIGONI, A.; BECKETT, C.T.; CIANCIO, D.; PELOSATO, R.; DOTELLI, G.; GRILLET, A. **Rammed Earth incorporating Recycled Concrete Aggregate: a sustainable, resistant and breathable construction solution.** Resources, Conservation & Recycling, v.137, p; 11-20, 2018. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.025>

BALETA, J.; MIKULCIC, H.; KLEMES, J.J.; URBANIEC, K.; DUIC, N. **Integration of energy, water and environmental systems for a sustainable development.** Journal of Cleaner Production, v.215, p;1424-1436, 2019. DOI: <https://doi.org.ez27.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jclepro.2019.01.035>

BASANNA, N. H.; SKHIVAPRAKASH, S. H.; BHIMAHALLI, A.; PARAMESHWARAPPA, P. K.; GAUDIN, J. **Role of Stabilizers and Gradation of Soil in Rammed Earth Construction.** American Society of Civil Engineers, 2020.

DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003112

BESSA, S. A. L. **UTILIZAÇÃO DA CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COMO AGREGADO MIÚDO EM CONCRETOS PARA ARTEFATOS DE INFRAESTRUTURA URBANA.** Tese de Doutorado. São Carlos. Universidade Federal de São Carlos, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4184>. Acesso em: 10 jun. 2021.

BICK, Z. R. **Mechanizing Rameed Earth: Making new earth construction viable in the US.** Dissertação (Mestre em arquitetura), The Pennsylvania State University, 2016.

BUI, Q. B.; PRUDHOMME, E.; GRILLET, A. C.; PRIME, N. **An exploratory study on earthen materials stabilized by alkaline activator.** Academic Journal of Civil Engineering, v. 35, n. 2, p; 154-159, 21 jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.26168/icbbm2017.23>

BIANCHETTI, Mara. **Receita da mineração crescer 14,5% em Mg. Belo Horizonte,** 22 jul. 2020. Disponível em: <https://diariodocomercio.com.br/economia/receita-da-mineracao-cresce-145-em-mg/>. Acesso: 10 set. 2020

CASA COLINA /FATO ARQUITETURA. Archidaly, 2014. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/759523/casa-colinas-fato-arquitetura> Acesso: 18 jun. 2021.

CDT. **Centro da Terra**, Portugal. Disponível em: <https://centrodaterra.org/sobre-nos/>. Acesso em: 12 jun. 2021.

CLICHE, S. Amangiri, Resort e Spa. MIXTEMAGAZINE, 10 set. 2015. Disponível em: <https://www.mixtemagazine.ca/en/escape/amangiri-resort-and-spa/>. Acesso em: 14 fev. 2021.

CORDEIRO, C. C. M.; BRANDÃO, D. Q.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. **Construções vernáculas em terra: perspectiva histórica, técnica e contemporânea da taipa de mão**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 10, p. e019006, 2019. DOI: 10.20396/parc.v10i0.8651212.

CRATERRE. **Arquitetura de terra no mundo**. 2021. Disponível em: [http://craterre.org/galerie-des-images/default/gallery/38/gallery\\_view/Gallery/ctl/galerie-des-images/default/gallery/38/gallery\\_view/Gallery](http://craterre.org/galerie-des-images/default/gallery/38/gallery_view/Gallery/ctl/galerie-des-images/default/gallery/38/gallery_view/Gallery). Acesso em: 14 fev. 2021.

DACHVERBAND LEHM e.V. darchverband-lehm.de, 2021 Disponível em: <https://www.ebaa.asn.au/>. Acesso em: 15, maio, 2021.

DESIGNBOOM. herzog & de meuron inaugurate ricola herb center in laufen, 2014. Disponível em: <https://www.designboom.com/architecture/herzog-de-meuron-ricola-herb-center-krauterzentrum-07-07-2014/>. Acesso em: 15 maio 2021.

EBBA. Earth Building Association of Australia, 2021. Disponível em: <https://www.ebaa.asn.au/>. Acesso em: 15, maio, 2021.

FARIA, J. P. R. **Influências Africanas na arquitetura de terra de Minas Gerais**. Dissertação (Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio sustentável) - UFMG, Belo Horizonte, 2011.

FRANKE, L. N. **Arquitetura Contemporânea em Terra: modos de ver e fazer**. 2017. P;237. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, Portugal, 2017.

FIGUEIRA, A. F. T. **O carácter vernáculo na construção com terra no panorama contemporâneo**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - FA, Lisboa, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/13627>. Acesso em: 07 fev. 2021.

FONTES, W.C. **UTILIZAÇÃO DO REJEITO DE BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO COMO AGREGADO RECICLADO PARA ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ASSENTAMENTO**. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil), Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, nov. 2013. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/5709/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Utiliza%c3%a7%c3%a3oRejeitoBarragem.pdf>. Acesso em : 15 jun. 2021.

FONT, F.; HIDALGO, P. Latapia en Espana. **Técnicas actuales y ejemplos**. Informes de la Construcción, v 63(523), p; 21-34, 2011. DOI:10.3989/ic.10.015

GAMÓN, R. **PARAMETRS OF SOCIOCULTURAL SUSTAINABILITY IN VERNACULAR ARCHITECTUR**. Int. Arco. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLIV-M-1-2020, 227-231. DOI:<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-M-1-2020-227-2020>, 2020

GOOGLE. 2021. **Mapa das Minerações Brasileiras**. [s.l.]: **Google Maps**. Disponível em: <https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=19ps2n5FI62X->

[ib2V2teFhaqcUCbS2BZJ&ll=-20.093845100432105%2C-43.94679284989283&z=13.](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117195)  
Acesso em 19 jun. 2021.

GOOGLE. Google Earth website, 2019. Disponível em: <http://earth.google.com>. Acesso em: 19 jun. 2021.

GU, K.; CHEN, B. **Loess stabilization using cement, waste phosphogypsum, fly ash and quicklime for self-compacting rammed earth construction.** Construction and Building Materials, 231, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117195>

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Relatório anual de Atividades.** 2020. Disponível em: <https://ibram.org.br> Acesso em: 22/05/2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Políticas Públicas para a indústria mineral.** Edição 2020. Disponível em: <https://ibram.org.br> Acesso em: 22/05/2014.

JAQUIN, P.A.; AUGARDE, C.E.; GERRARD, C.M. **A chronological description of the spatial development of rammed earth techniques.** International Journal of Architectural Heritage, 2, p. 377-400, 2008. DOI:10.1080/15583050801958826

KHADKA, B.; SHAKYA, M.; **Comparative compressive strength of stabilized and un-stabilized rammed Earth.** Materials and Structures 49, p.3945-3955, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0765-5>

KOUTOUS, A.; HILALI, E. **Reinforcing rammed earth with plant fiber: A case study.** Case Studies in Construction Materials, V.14, e00514, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00514>

HUANG, X.; RANADE, R.; VICTOR, C. LI, F. **Feasibility Study of Developing Green ECC Using Iron Ore Tailings Powder as Cement Replacement.** Journal Of Materials In Civil Engineering. Julho, 2013.

MACHADO, Mayare de Souza Moura Maciel. **Blocos para construção civil feitos com rejeitos depositados na Barragem de Candonga.** Dissertação (Mestrado em engenharia de materiais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

MILANI, A. P. da S.; MAIA, M. M. **Uso de aditivos químicos para redução de energia de compactação na execução de taipa de pilão.** Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil, 2018.

MEIRA, D. C. S. **Arquitetura em Taipa no Castro de São Lourenço: Vila Chã, Esposende.** Mestrado Integrado em Arquitetura e Urbanismo, Vila Nova de Cerveira, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.26/22963> Acesso em: 16/02/2021.

MENDES, L. C. F.; BESSA, S. A. L. **Análise da tecnologia de taipa de pilão contemporânea.** Periódico UNICAP, 2021. No prelo.

MENEZES, R. R., NEVES, G. A., FERREIRA, H. C. **O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, n. 2, p; 303-313, 2002.

Lemos, C. A. C. **Alvenaria burguesa: breve histórico da arquitetura residencial de tijolos em São Paulo a partir do ciclo econômico liderado pelo café.** Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

GAUZIN-MULLER, P. S. **Architecture em terre d'aujourd'hui. Les techniques de la terre crue**, 2016. Disponível em: <https://www.mixtemagazine.ca/en/escape/amangiri-resort-and-spa/>. Acesso em: 04 mar. 2021.

MINKE, G. **Manual de construccion em tierra: la tierra como material de construcción y sus aplicaciones em la architecture actual**. Uruguay: Nordan-Comunidad, 2001.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim do Setor Mineral**, Brasil 2019. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/36108/1006289/Boletim+do+Setor+Mineral+-+fevereiro+2020/8c0e9fca-1f80-7fcb-15e7-f32779f6ca60>. Acesso: 10 set. 2020.

MONTORO, P. **Como Construir Paredes de Taipa. Folheto desenvolvido à partir do workshop sobre paredes de taipa, ministrado pelo arquiteto Davi Easton e equipe para protótipo habitacional em Pindamonhangaba -SP**. Produzido pelo ILAM – Instituto Latino Americano, e escritório Arquiteto Paulo Montoro e Associados. São Paulo. 1994.

NARLOCH, P.; WOYCIECHOWSKI, P.; KOTOWSKI, J.; GAWRIUCZENKOW, I.; WOJCIK, E. **The Effect of Soil Mineral Composition on the Compressive Strength of Cement Stabilized Rammed Earth**. Mdpi, Poland, p; 2-21, 10 jan. 2020.

NEVES, C.; FARIA, O. B. **Técnicas de construção com terra**. Rede Ibero-americana PROTERRA, 197p. 2011. Disponível em: <http://redeterrabrasil.net.br/wp-content/uploads/2020/08/T%C3%A9cnicas-de-constru%C3%A7%C3%A3o-com-terra.pdf>. Acesso em 01 jun. 2021.

NEVES, C. M. M.; FARIA, O.B.; ROTANDARO, R.; SALAS, P. C.; HOFFMANN, M.V. **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo**. Rede Ibero-americana PROTERRA, 2009. Disponível em: <http://www.redproterra.org>. Acesso em 01 fev. 2021.

OLIVEIRA, B. A. **Inserção da Taipa de Pilão Mecanizada com Apiloamento Pneumático no Mercado da Construção Sustentável no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Escola de Arquitetura – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

OLENDER, M.C. H. L. **A técnica de Pau-a-pique: subsídios para a sua preservação**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

PINHEIRO, L.; RAGEL, B.; GUIMARÃES, A.; SILVA, A. **Panorama da produção de obras em terra crua com Design contemporâneo nos últimos 60 anos no Brasil**. CONGRESSO INTERNACIONAL DE HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO LUSO-BRASILEIRA, p;216. Porto, 2016.

PISANI, M. A. J. **Taipas: a arquitetura de terra**. Sinergia-Revista do Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo, v.5, n.1, 2004.

PORTER, H.; BLAKE J.; DHAMI, N.K.; MUKHERJEE A. **Rammed Earth blocks with improved multifunctional performance. Cement and Concrete Composites**. V. 92, p; 36-46, 2018. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.04.013>

QUATRO cantos do mundo. Grande Mesquita de Djenné – Mali – Arquitetura Espetacular. Disponível em:

<https://quatrocantosdomundo.wordpress.com/2015/06/21/grande-mesquita-de-djenne-mali-arquitetura-espetacular/> . Acesso em: 11 jul. 2021

REDE PROTERRA. **Redproterra**, 2021. História. Disponível em: <https://redproterra.org/pt/historia-2/>. Acesso em: 15, maio 2021.

REIS, Érica Linhares. **Caracterização de resíduos provenientes da planta de beneficiamento do minério de manganês sílico-carbonatado da RDM - unidade morro da mina**. Orientador: Dra. Rosa Malena Fernandes Lima. 2005. 141 p. Dissertação (Mestrado em engenharia mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

RICOLA, A. **Processo de montage em o bras de taipa pré-fabricados**. Suíça, 2012. Disponível em: <https://www.lehmtonerde.at/en/projects/project.php?plD=87>. Acesso em: 04/03/2021.

ROCHA, A. P. R.; OLIVEIRA, P. H. M. **Descrição da técnica de construção com terra estabilizada compactada na Austrália**. VI Congresso de Arquitetura de Construção com Terra no Brasil, Bauru, 2016.

RODRIGUES, Leo. **IBRAM: PRODUÇÃO DE MINÉRIO EM 2019 CAIU, MAS FATURAMENTO CRESCU**. Rio de Janeiro, 12 fev. 2020. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2020-02/ibram-producao-de-minerio-em-2019-caiu-mas-faturamento-cresceu>. Acesso em: 29 dez. 2020.

SATO, M. H. Y. **Análise de estruturas em taipa de pilão**. 2011. 87p. Dissertação (Mestre em engenharia de estruturas) USP, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-26082011-140706/pt-br.php> Acesso em: 14 fev. 2021.

SIDDIQUA, S.; BARRETO, P, N. M.; **Chemical stabilization of rammed earth using calcium carbide residue and fly ash**. Construction and Building Materials, V.169, p; 36-37, 2018. DOI: <https://doi-org.ez27.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.209>

SILVA, F. L. **Aproveitamento e reciclagem de resíduos de concentração de minério de ferro na produção de pavers e cerâmica**. 109p. 2014. Dissertação (Mestrado) Ouro Preto. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/3501> Acesso em: 20 de abril 2021.

SILVA, P. L. **O uso da Taipa de Pilão na Arquitetura Contemporânea como Bioconstrução**. Relatório de pesquisa, Universidade Paulista, Santana de Parnaíba, 2018.

SILVA, R. A.; OLIVEIRA, D. V; MIRANDA, T; CRISTELO, N; ESCOBAR, M. C; SOARES, E; **Rammed earth construction with granitic residual soils: The case study of northern Portugal**. Ensenvier. Guimarães, Portugal, p; 181-191. Outubro, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.047>

SOARES, Lindolfo. Barragem de rejeito. In: Luz, A. B. da; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p; 831-896.

TOFFOLO, R. V. M.; SANT'ANA, F. J. N.; BATISTA, J. O. S.; SILVA, S. N.; CURY, A.; PEIXOTO, R. A. F. **Viabilidade técnica de elementos de concreto para**



**pavimentação produzidos com rejeito de barragem de minério de ferro.** In: Anais do 56° Congresso Brasileiro Do Concreto - CBC2014 – 56CBC. 2014.

TOUFIGH, V.; KIANFAR, E. **The effects of stabilizers on the thermal and the mechanical proprieties of rammed earth at various humidities and their environmental impacts.** Construction and Building Materials, v. 200, p; 616-629, 2019. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.050>

TRELOAR, G.F.; OWEN, C.; GAY, R. **Environmental assessment of rammed earth construction systems.** Structural Survey, v.19, n.2, p; 99-105, 2001. Disponível em: <https://www-emerald.ez27.periodicos.capes.gov.br/insight/content/doi/10.1108/02630800110393680/full/pdf?title=environmental-assessment-of-rammed-earth-construction-systems>. Acesso em: 06 jan. 2021.

TOFFOLO, R. V. M.; SANT'ANA, F. J. N.; BATISTA, J. O. S.; SILVA, S. N.; CURY, A. A.; PEIXOTO, R. A.F. **Viabilidade técnica de elementos de concreto para pavimentação produzidos em com rejeitos de barragem de minério de ferro.** Anais do 56° Congresso Brasileiro Do Concreto – CBC2014 – 56cbc, 2014.

VEADO, F. R. C. **Resgate das Técnicas Construtivas e a importância dos materiais remanescentes da argamassa utilizada nas confecções das paredes de barro e dos revestimentos das edificações históricas – Uma Abordagem Epistêmica.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Arquitetura da UFMG. Belo Horizonte, 2021.

ZARE, P.; NARINI, S. S.; ABBASPOUR, M.; FAHIMIFAR, A.; HOSSEINI, S. M. M. M.; ZARE, P. **Experimental investigation of non-stabilized and cement-stabilized rammed earth reinforcement by Waste Tire Textile Fibers (WTTFs).** Construction and Building Materials, V260, 1204321, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120432>

ZHANG, S.; XUE, X.; LUI, X.; DUAN, P. YANG, H.; JIANG, T.; WANG, T.; LIU, R. **Current situation and comprehensive utilization of iron ore tailing resources.** Journal of Mining Science. v.42, n.42, 2006.

WONG-PINTO, L.; Menzies.; A. & ORDÓÑEZ, J.I. **Bionanominig: biotechnological synthesis of metal nanoparticles from mining waste-opportunity for sustainable management of mining environmental liabilities.** *Appl Microbiol Biotechnol* 104, p;1859–1869, 2020 . DOI:<https://doi-org.ez27.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00253-020-10353-0>