

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
CTC/ CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

Área: Tecnologia da Arquitetura

**Título do Projeto- Sustentabilidade e Desenvolvimento
Tecnológico - 2023 a 2026**

**Sustentabilidade aplicada ao projeto de acampamentos planejados para
atendimento à população desabrigada: plataforma INFRASHELTER, impressão 3D e materiais locais**

**Plano de trabalho da bolsista: Potencialidade do
desenvolvimento de um sistema de impressão 3D com
terra e materiais compósitos que incorporem resíduos e
materiais naturais.**

Relatório

Projeto de Pesquisa: PIBIC (2023 –2024)

Bolsista: Vitória Neves Viana Silva

Orientador: Paulo Cesar Machado Ferroli

Co-orientadora: Lisiane Ilha Librelotto

Florianópolis, 2024.

TÍTULO: Potencialidade do desenvolvimento de um sistema de impressão 3D com terra e materiais compósitos que incorporem resíduos e materiais naturais.

RESUMO

É indubitável a necessidade de estratégias para minimizar os impactos e desabrigados devido à crise climática. Pode-se afirmar que os desastres ambientais tornaram-se parte da realidade brasileira, com o aumento da frequência das inundações e das enxurradas, além dos eventos catastróficos isolados. Apesar da crescente atenção e alerta nas mídias, há uma lacuna com relação aos estudos focados em mitigar esses impactos e buscar soluções imediatistas para amparar as populações afetadas. Assim, esta pesquisa visa preencher essas demandas, apoiando comunidades vulneráveis e oferecendo soluções sistematizadas para a criação de acampamentos planejados sustentáveis para reassentamentos. Com um prazo de quatro anos e aprovado pela CAPES, o projeto é dividido em quatro fases: a primeira fase envolve o estudo do estado da arte e a sistematização de informações sobre acampamentos temporários sustentáveis mundialmente; a segunda fase abrange o desenvolvimento e adaptação de equipamentos e sistemas construtivos baseados em impressão 3D para montagem das estruturas dos acampamentos; a terceira fase prevê o projeto e desenvolvimento do material base da impressão, utilizando materiais locais e reciclados; e a quarta fase compreende a criação de protótipos, projeto do acampamento e testes de desempenho em condições adversas. A participação no projeto da Iniciação Científica será focada nos aspectos referentes à exploração da impressão 3D e o contexto do local definido para aplicação da pesquisa, na comunidade indígena de José Boiteux, na região de Ibirama.

Palavras-chave do projeto principal: Acampamentos Planejados; Desabrigados; Desastres socioambientais; Impressão 3D; Sustentabilidade Materiais locais

Palavras-chaves projeto IC: Acampamentos Planejados, Impressão 3D, Materiais Locais

Sumário

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 4 |
| 1.1 CONTEXTO..... | 4 |
| 1.2 ESTRUTURA DO RELATÓRIO..... | 5 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA..... | 6 |
| 1.4 OBJETIVO GERAL DO PROJETO PRINCIPAL..... | 7 |
| 1.5 OBJETIVO GERAL DO PROJETO IC..... | 7 |
| 1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DA IC..... | 7 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO..... | 8 |
| 2.1 CONSTRUÇÕES COM TERRA E A SUSTENTABILIDADE..... | 8 |
| 2.1.1 Adobe..... | 11 |
| 2.1.2. Taipa de Pilão (Rammed Earth)..... | 13 |
| 2.1.3. Cob..... | 15 |
| 2.1.4. Superadobe..... | 17 |
| 2.1.6. Taipa de Mão (Wattle and Daub)..... | 20 |
| 2.1.7. Bloco de Terra Comprimida (BTC)..... | 22 |
| 2.2 GESTÃO DE DESASTRES SOCIOAMBIENTAIS..... | 23 |
| 2.3 CRITÉRIOS PARA UMA ARQUITETURA EMERGENCIAL SUSTENTÁVEL...28 | |
| 2.4 IMPRESSÃO 3D..... | 31 |
| 2.4.1. Impressão 3D e a arquitetura..... | 33 |
| 2.4.1 Maquinários utilizados..... | 37 |
| 2.5 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO..... | 41 |
| 2.5.1 Granulometria..... | 43 |
| 2.5.2. Limite de Liquidez..... | 45 |
| 2.5.3 Compactação do solo..... | 46 |
| 2.6 MISTURAS E ADITIVOS..... | 48 |
| 3. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS..... | 50 |
| 3.1 POSSIBILIDADES DE FERRAMENTAS/ SUGESTÕES..... | 53 |
| 4. RESULTADOS..... | 56 |
| 4.1 IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS DE DESASTRES EM SANTA CATARINA..... | 56 |
| 4.2 PRINCIPAIS ENSAIOS E PROCEDIMENTOS PARA ENTENDER O MATERIAL...61 | |
| 4.3 CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS E ALINHAMENTO DE PROPOSTAS..... | 68 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 79 |
| 5.1 Benefícios da Iniciação científica e outras contribuições..... | 80 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 82 |

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

Conforme dados da ONU, entre 1970 e 2021, ocorreram 11.778 desastres atribuídos a extremos meteorológicos, climáticos e hídricos, causando mais de 2 milhões de mortes e 4,3 bilhões de dólares em perdas econômicas. Infelizmente, desastres ambientais e socioeconômicos vêm se tornando corriqueiros no mundo e no Brasil. Anualmente áreas são inundadas e sofrem com fortes enxurradas, além dos trágicos eventos isolados, denominados catástrofes, como presenciados nas atuais cheias no Rio Grande do Sul.

Embora tais problemáticas venham ganhando repercussão nas mídias, é de conhecimento público a lacuna existente relacionada à aplicação e desenvolvimento de estudos voltados a minimizar os impactos e buscar possíveis soluções para as populações vulneráveis afetadas, seja em ações humanitárias, emergenciais ou permanentes.

Conforme a Defesa Civil, a ocorrência de um desastre socioambiental desencadeia a necessidade alarmante de abrigar a população desalojada e desabrigada. Assim, os responsáveis devem disponibilizar locais seguros, comumente denominados de abrigos ou acampamentos, que são rapidamente montados seguindo uma organização pré-determinada pelos protocolos governamentais. Normalmente, estes são estabelecidos em ambientes como quadras esportivas, escolas públicas ou igrejas.

Entretanto, destaca-se que tais estruturas, embora utilizadas de maneira emergencial, não comportam adequadamente a habitabilidade dessas pessoas, deixando os vulnerabilizados ainda mais expostos. Enfrentam dificuldades com relação à organização, privacidade e segurança, sendo dispostos no chão e sem infraestrutura suficiente, o que afeta o gerenciamento e desencadeia outras problemáticas. Os desafios também afetam a comunidade externa, pois as igrejas e escolas ocupadas, interferem no acesso e no andamento das atividades, interrompendo o ensino-aprendizagem e podendo respaldar em danos à estrutura local, materiais didáticos e utensílios, gerando assim, uma necessidade de outras alternativas de instalações, destacando os acampamentos temporários e individuais, que utilizem estruturas portáteis e outras tecnologias, oferecendo agilidade na instalação, adaptação a diversos cenários críticos e possibilidades de reutilização.

Influenciado por fatores históricos, econômicos, sociais e culturais da comunidade a que se destina, é crucial que, mesmo sendo temporária, a estrutura móvel seja inserida à realidade da comunidade, com o alinhamento aos hábitos e culturas para que seja bem aceita e utilizada pelos moradores da região. Isso será detalhado nas etapas posteriores deste projeto.

O projeto de 4 anos, visa fornecer referências de soluções para estruturas em acampamentos planejados, incluindo o desenvolvimento e prototipagem de um abrigo. As soluções estão sendo disponibilizadas na plataforma INFRASHELTER para facilitar o acesso dos profissionais envolvidos no projeto que buscam compreender o cenário dos acampamentos no mundo. Concebido durante as atividades pós-doutorais da professora brasileira no Instituto Politécnico de Leiria, em Portugal, o projeto é atualmente coordenado por ela no Brasil. Inicialmente, a equipe envolvia membros do Brasil e Portugal, com previsão de aplicação no Brasil e em Moçambique. Com esta concepção, o projeto foi submetido à FCT - Fundação de Ciência e Tecnologia em Portugal, sob a coordenação da professora Helena Bártolo, e denominado INNOGreen Shelter.

A pesquisa foi iniciada no Brasil, com trabalhos de iniciação científica, e está disponível no endereço: [INFRASHELTER] (<https://infrashelter.paginas.ufsc.br/>). Não há iniciativas semelhantes que reúnam informações para a implementação de acampamentos planejados, embora existam pesquisas focadas no projeto de abrigos para uso em acampamentos. Essas informações estão dispersas, dificultando a implementação rápida em emergências humanitárias, algo que a sistematização e disponibilização pública de informações poderiam facilitar significativamente.

A tecnologia de impressão 3D está sendo amplamente adotada em diversas áreas do conhecimento, como design, engenharia e medicina. No contexto deste projeto, uma das questões a ser investigada é o potencial uso da impressão 3D nos ATPs e sua aplicação nas edificações e estruturas dos acampamentos planejados. As possibilidades devem considerar aspectos de sustentabilidade, uso de materiais naturais e tipos de equipamentos disponíveis na UFSC e no laboratório onde a pesquisa é conduzida, o LAB RESTAURO.

1.2 ESTRUTURA DO RELATÓRIO

O relatório será apresentado em 5 capítulos. O capítulo 1 com a introdução, contendo problemática, justificativa e objetivos da pesquisa. O capítulo 2 contém o referencial teórico. O capítulo 3 contém a descrição dos procedimentos metodológicos da pesquisa. Por fim, os resultados e considerações finais.

O estado da arte da impressão 3D, presente no capítulo 2, busca entender a viabilidade de construção com materiais naturais, destacando estudos que buscam unificar ambos os campos, testar matérias-primas, e sugerir alternativas de ferramentas e equipamentos que visam ao barateamento da construção por meio da impressão 3D.

A partir do estado da arte, procurou-se estabelecer as possibilidades de desenvolvimento de equipamentos, tipos de materiais e principais ensaios que precisam ser conduzidos. Também, foi necessário apresentar gráficos dos desastres para a região de estudo para entender os principais desastres decorrentes a fim de relacionar os eventos e criar propostas assertivas para a população afetada.

1.3 JUSTIFICATIVA

A sustentabilidade, alinhada aos avanços tecnológicos, torna-se um imperativo para o desenvolvimento de qualquer nação, especialmente para um país em desenvolvimento como o Brasil. A intersecção entre sustentabilidade e tecnologia não é apenas necessária, mas vital para mitigar os impactos dos desastres climáticos e naturais, que têm afetado a sociedade de maneira crescente e severa.

As mudanças climáticas, evidenciadas por enchentes, secas extremas, deslizamentos de terra e outros fenômenos naturais, têm provocado consequências devastadoras para as comunidades, infraestrutura e economia. Embora haja uma preocupação com o desenvolvimento de estudos sobre essas problemáticas, poucos consideram realizá-los em consonância com as novas tecnologias.

Percebemos tais afirmações através do surgimento da Lei nº 13.425 (Brasil, 2017), que aponta para a necessidade da inclusão desta temática na educação superior do Brasil, como nos objetivos de desenvolvimento 9 "Indústria, inovação e infraestrutura", 11 "Cidades e comunidades sustentáveis" e 13 "Ação contra a mudança global do clima", elencados na Agenda 2030 pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Neste contexto, a alternativa apresentada nesta pesquisa, embora de caráter emergencial, promove um despertar e incentivar avanços no modo como a arquitetura é concebida. Ela destaca a importância de repensar as práticas arquitetônicas para torná-las mais resilientes, acessíveis e adaptáveis às diversas realidades do Brasil. Tal abordagem visa beneficiar todas as comunidades, incluindo as indígenas, como a de José Boiteux, que frequentemente enfrentam vulnerabilidades socioambientais. Assim, a pesquisa propõe um novo olhar sobre o fazer arquitetura, abordando assuntos relevantes no cenário atual, como crises climáticas, desastres naturais e sustentabilidade. O objetivo é resultar não apenas como uma resposta imediata às crises, mas em um pilar fundamental para a construção de um futuro melhor.

1.4 OBJETIVO GERAL DO PROJETO PRINCIPAL

Disponibilizar soluções sistematizadas para compor estruturas de acampamentos planejados mais sustentáveis para reassentamentos de populações atingidas por desastres socioambientais.

1.5 OBJETIVO GERAL DO PROJETO IC

Pretende-se compreender/possibilitar o processo de impressão 3D utilizando a terra como matéria prima e elaborar um módulo de componente I que possa ser aplicado na construção do protótipo de um abrigo temporário, respeitando o contexto da referida tecnologia no Brasil.

1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DA IC

- i) Entender as possibilidades de uso da impressão 3D na composição de estruturas para acampamentos planejados pós desastres socioambientais;
- ii) Verificar as possibilidades de ensaios e materiais que podem ser utilizados para a composição de um componente modular para essas estruturas;
- iii) entender no âmbito da UFSC as estruturas existentes que poderiam facilitar a montagem do equipamento ou impressão;
- iv) entender como a impressão 3D se aplica na comunidade indígena José Boiteux; e,
- v) compreender a aplicabilidade da impressão 3D no contexto dos desastres socioambientais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta etapa, foram abordados os principais conceitos estudados durante a pesquisa, os quais servem de base para a compreensão do trabalho.

2.1 CONSTRUÇÕES COM TERRA E A SUSTENTABILIDADE

A construção com terra é um patrimônio histórico e herança das gerações passadas, com suas aplicações descritas no considerado mais antigo manual de arquitetura: Os Dez Livros de Arquitetura, de Vitruvius. As diversas técnicas construtivas com terra estão presentes em todos os continentes. Embora não haja uma contabilização exata, autores estimam cerca de $\frac{1}{3}$ da população mundial vive em casas feitas com terra crua (Chiras, 2000; Reeves; Herrington; Oliver, 2006, Evans; Smiley; Smith, 2002; Hall; Lindsay; Krayenhoff, 2012) Aproximadamente 1,5 bilhões de pessoas, segundo Koch, Kunze e Seidl (2005) vivem em habitações em terra.

Entretanto, pesquisas recentes, realizadas por Marsh e Kulshreshtha (2021) mostram que esse número foi superestimado. Os estudos apontaram que a maioria das habitações com terra está nos países em desenvolvimento. Segundo os autores, foram analisados 26 países que representam 75% da população mundial, e a pesquisa revelou um declínio no uso da terra como material de construção, com cerca de 8% e 10% das residências utilizando este material, com uma aumento de 20% e 25% quando considerados os países em desenvolvimento.

No Brasil, a revisão literária concluiu que as casas construídas com terra são predominantemente no cenário rural, representando menos de 5% dos total de domicílios. A Figura 1 demonstra a presença das construções de terra no Mundo.

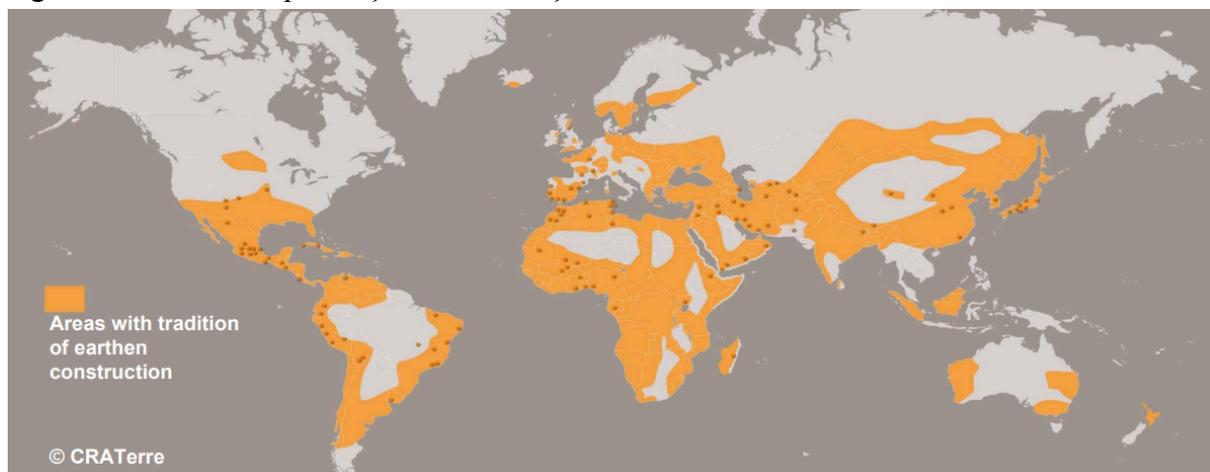


Figura 1: Mapa das construções em terra.

Fonte: Craterre (2013).

Com a mudança do cenário desde o primórdio da humanidade, a arquitetura com terra se desenvolveu e ampliou suas possibilidades construtivas, sendo utilizada em estruturas, fechamentos, coberturas e até pinturas. Versáteis, duradouras e eficientes, as construções com terra são valorizadas atualmente por seu caráter sustentável, representando uma alternativa importante para o meio ambiente. Elas consideram aspectos como emissões de Co2, desperdícios em materiais e, principalmente, a quantidade de destroços gerados.

De acordo com a ASTM (2010), o processo de manufatura (incluindo extração e transporte) de materiais de construção à base de terra é significativamente mais eficiente em termos de energia por unidade de volume do que a produção de alvenaria cerâmica, terracota, telhas cerâmicas ou sistemas à base de cimento, como alvenaria de concreto e concreto pré-moldado

Além disso, a indústria da construção civil é uma das maiores responsáveis pela geração de resíduos sólidos no mundo. O Brasil gera aproximadamente 84 milhões de metros cúbicos de resíduos de construção civil e demolição por ano, de acordo com informações da ABRECON. Em 2022, foram cerca de 45 milhões de toneladas de resíduos de construção civil e demolição. O sul do país ocupa a terceira posição entre as regiões que mais produziram resíduos, com 14% do total, equivalente a 6.304.106 toneladas, conforme a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA).

Na figura 2, apresenta-se a geração de RCD (Resíduos de Construção e Demolição) no Brasil e por grande região - comparativo 2021 e 2022 (toneladas).

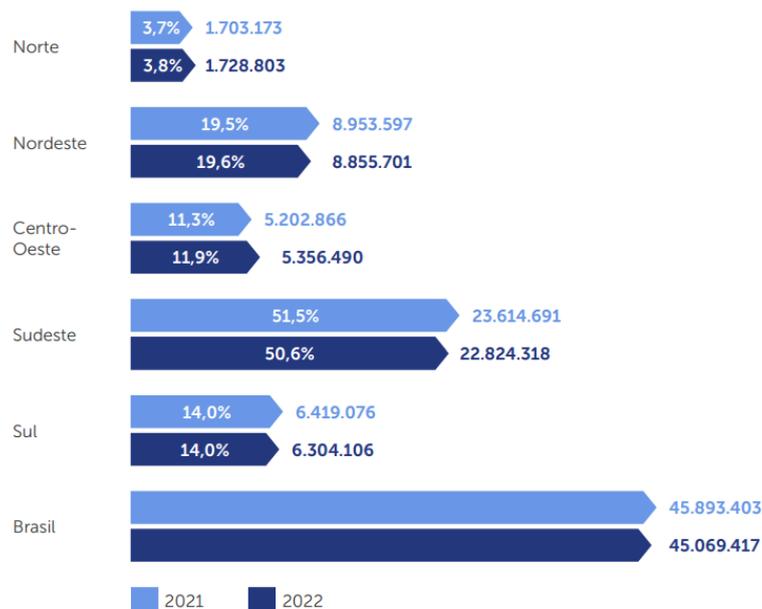


Figura 2: Disposição de RCDs no Brasil.

Fonte: ABREMA- Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (2024).

Esses resíduos incluem sobras de materiais, demolições e até mesmo resíduos perigosos, como tintas e solventes, que contribuem significativamente para os aterros sanitários. A gestão inadequada desses resíduos pode levar a impactos ambientais severos, como a contaminação do solo e das águas subterrâneas.

Diante desse cenário, a busca por práticas mais sustentáveis na construção civil torna-se crucial, ressurgindo assim a solução viável e ecologicamente eficaz: a construção com terra. Essa abordagem vem sendo explorada e aprimorada, buscando não apenas reduzir a quantidade de resíduos gerados, mas também utilizar um recurso abundante e disponível localmente, minimizando a necessidade de transporte e, conseqüentemente, a emissão de gases de efeito estufa.

Portanto, ao examinar as práticas de construção com terra, é possível identificar uma série de benefícios ambientais, econômicos e sociais, além dos variados sistemas construtivos já existentes. Para conhecimento e análise do conteúdo, foi realizado um levantamento das técnicas utilizadas, a fim de compreender o material e o modo de fazer em cada possibilidade de sistema construtivo. Algumas técnicas são apresentadas na figura 3.

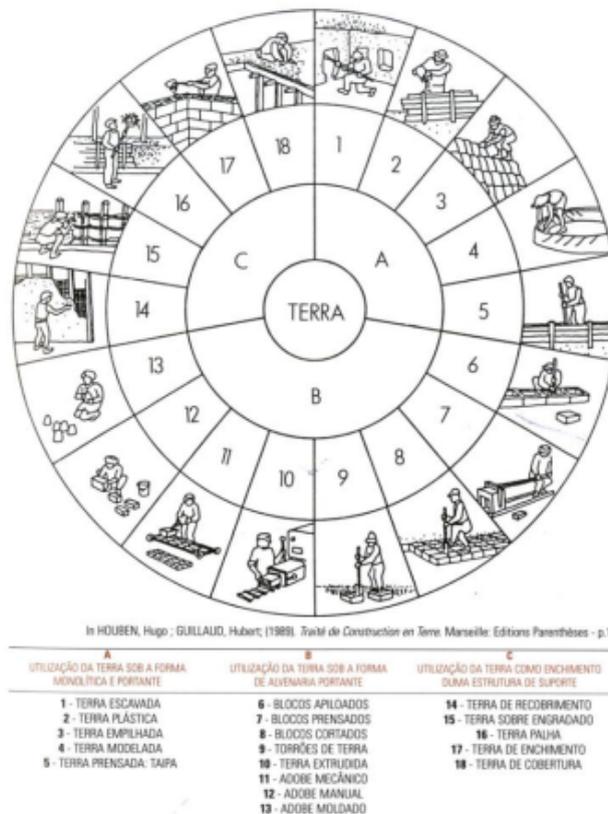


Figura 3 - Técnicas de construção em terra.

Fonte: Adaptado de Houben e Guillaud (1989) (Tradução livre) apud Santos (2015)

2.1.1 Adobe

A técnica construtiva do adobe remonta a aproximadamente oito mil anos, sendo uma das formas mais antigas de construção conhecidas pela humanidade. Evidências arqueológicas indicam o uso de blocos de adobe em algumas das primeiras cidades e povoados da Mesopotâmia, Creta, Egito, Oriente Médio e Sudoeste da Ásia. Exemplos notáveis incluem a cidade de Çatal Hüyük, na Turquia, com cerca de 8.000 anos de idade. A figura 4 traz algumas imagens de ACTs históricas.

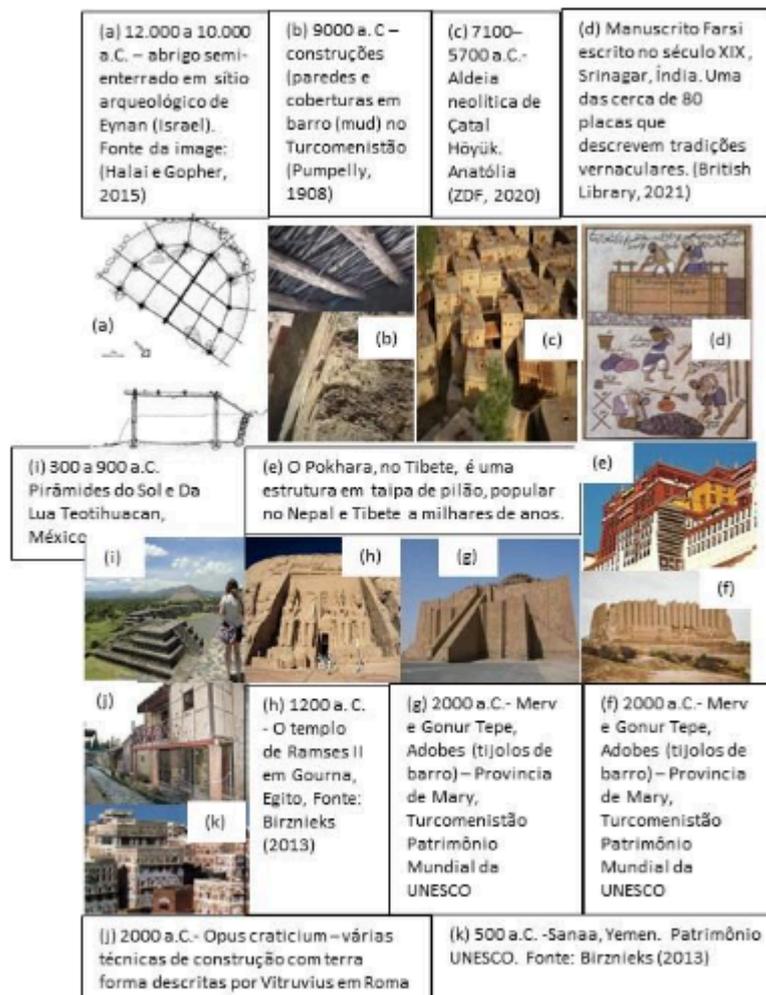


Figura 4: Patrimônio Histórico Mundial em Terra.
Fonte: Librelotto et. al. (2022).

O adobe é uma técnica construtiva tradicional que utiliza blocos formados a partir de uma mistura de terra, água e palha ou fibras naturais. Esses blocos são moldados sem necessidade de compressão e expostos à secagem ao sol. A adição de palha aumenta a

resistência à tração e ajuda a prevenir fissuras durante a secagem. Antes da introdução de moldes, o barro era conformado manualmente, formando esferas, cones, cilindros e paralelepípedos. Posteriormente, a técnica evoluiu para o uso de moldes de madeira, geralmente de formato retangular, para fabricação de uma ou duas unidades de adobe por vez. Em tempos mais recentes, o uso de máquinas de extrusão tem permitido a produção em larga escala e a criação de adobes com formas e tamanhos padronizados (figura 5).



Figura 5: Processo de produção de adobes.
Imagens: Cabana do Lago- Matéria Base (2024)

O uso do Adobe apresenta várias características e vantagens. É fácil de fabricar, secar e empilhar, possui propriedades isolantes devido à sua porosidade, e permite a criação de uma variedade de formas e dimensões, incluindo paredes autoportantes, arcos, abóbadas e cúpulas. Além disso, o adobe é 100% reciclável, não exige mão de obra altamente especializada, e o equipamento necessário para sua produção é relativamente econômico. Por outro lado, o adobe possui desvantagens, como baixa resistência à tração e à flexão em comparação com materiais como tijolos de concreto, a necessidade de muita água para a sua fabricação e a alta absorção de água, o que pode comprometer sua durabilidade em climas úmidos ou em regiões sujeitas a terremotos. Em zonas sísmicas, coberturas pesadas de cúpula e abóbadas podem não ser adequadas, exigindo reforços estruturais adicionais.

Para garantir a segurança e a durabilidade das construções em adobe, várias normas e recomendações técnicas foram desenvolvidas. Documentos importantes incluem o COB (Adobe estabilizado, Lima, 1977), o New Mexico Administrative Code (NMAC, 1997) e a Norma Técnica de Edificação NTE E 080 (Lima, 2000). Essas normas estabelecem diretrizes sobre os requisitos de materiais, métodos de ensaio e técnicas de construção adaptadas às especificidades locais.

A escolha do tipo de solo é fundamental para a qualidade dos blocos de adobe. Recomenda-se o uso de terra areno-argilosa com baixo teor de silte, sendo a composição ideal de aproximadamente 10% a 20% de argila, 15% a 25% de silte, e 55% a 70% de areia, conforme a norma peruana NTE E 080 (Sencico, 2000). Solos com excesso de argila podem causar fissuras durante a secagem, enquanto solos com excesso de areia ou silte podem ter coesão inadequada e baixa resistência à compressão. A preparação da mistura de solo envolve destorroamento e peneiramento para eliminar impurezas, garantindo a uniformidade e a

qualidade do adobe produzido.

Em resumo, o adobe é uma técnica construtiva antiga e versátil, com uma rica história e ampla aplicação. Sua adequação e eficácia dependem da escolha correta dos materiais, do entendimento das condições ambientais e do cumprimento das normas técnicas vigentes.

2.1.2. Taipa de Pilão (Rammed Earth)

A taipa de pilão, ou "rammed earth", é uma técnica de construção milenar que utiliza camadas de terra compactada dentro de moldes ou fôrmas. A terra, que pode ser misturada com uma pequena quantidade de cimento ou cal para melhorar a resistência, é colocada em camadas de aproximadamente 10 a 15 cm dentro da fôrma e compactada com pilões manuais ou mecânicos. Esse processo de compactação confere alta densidade e resistência à parede final. As paredes de taipa de pilão (figura 6) são caracterizadas pela sua massa térmica, que ajuda a regular a temperatura interna dos edifícios, além de proporcionar uma estética natural e rústica, devido às variações de cores e texturas da terra utilizada.



Figura 6: : Casa em Cunha ; Mostra Black; Casa de Terra
Fonte: TAIPAL(2024)

Na construção com taipa de pilão, os principais equipamentos são a forma (ou fôrma) e o compactador. A forma, também conhecida como taipal ou molde, é utilizada para moldar a terra em camadas. O compactador, que pode ser manual ou mecânico, é usado para comprimir a terra dentro da forma, garantindo a densidade e a resistência da parede.

Outros equipamentos auxiliares incluem o destorroador e o misturador. O destorroador

é utilizado para reduzir os torrões de terra, facilitando a obtenção de partículas soltas do solo. O misturador, especificamente o misturador planetário ou de pás rotativas, é usado para preparar a terra com o aglomerante e a água, garantindo uma mistura homogênea. A escolha dos equipamentos é crucial, pois a qualidade da compactação e o acabamento da parede dependem de sua eficácia.

As formas utilizadas na taipa de pilão podem variar segundo dois modelos:

- i. tipo caixa: fechada em três ou quatro lados, permitindo a construção de grandes blocos repetidos até completar a parede;
- ii. pranchas laterais fixadas em guias fixas ou móveis: permitem a construção de painéis monolíticos, sendo cada painel construído até sua altura final ou em todo o nível de uma vez, conforme o tipo de forma.

A escolha do tipo de forma e compactador deve considerar a resistência necessária, a facilidade de montagem e desmontagem, e o impacto na textura final da parede.

A taipa de pilão apresenta diversas características:

- i. elevada massa térmica: contribui para a regulação da temperatura interna dos edifícios;
- ii. estética natural e rústica: devido às variações de cores e texturas da terra utilizada; e,
- iii. durabilidade: as paredes de taipa são robustas e têm alta resistência, quando bem compactadas.

Até 2022, não existiam normas técnicas específicas para a execução da taipa de pilão, em janeiro foi aprovada a NBR 17014 – Taipa de pilão – Requisitos, procedimentos e controle no Brasil. Anteriormente, seguia-se as normas para o solo-cimento, principalmente a NBR 13553, publicada em 1996, que especifica materiais e dosagem para paredes de solo-cimento.

| Material | Energia incorporada (MJ/kg) | Emissão de CO ₂ (kg CO ₂ / kg) |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------|
| Concreto | 0,99 | 2,546 |
| Bloco cerâmico | 3,0 | 14,885 |
| Madeira serrada tratada | 7,4 | 4,060 |
| Gesso | 1,8 | 0,218 |
| Taipa de pilão | 0,45 | Dado não encontrado |
| Argila sem cozer | Dado não encontrado | 0,69 |
| Polipropileno tecido | 99,2 | Dado não encontrado |
| PEAD | 103 | 3,447 |
| Arame farpado de aço | 1,5 | 0,526 |

Figura 7 – Comparação entre a energia incorporada de diversos materiais de construção. Fonte: Adaptado de Alcorn (2003); Hammond e Jones (2006) apud Armando(2015).

No contexto ibero-americano, a Rede HABITERRA/CYTED publicou recomendações para a elaboração de normas técnicas para a taipa, com ênfase em construções em zonas sísmicas. Essas diretrizes ajudam a adaptar a técnica a áreas sujeitas a atividades sísmicas, oferecendo orientações para a construção segura.

Para garantir a qualidade da construção em taipa de pilão, é importante seguir as recomendações dessas cartilhas e realizar ensaios normatizados. Os ensaios permitem verificar a eficácia dos materiais e técnicas empregadas, assegurando a durabilidade e a integridade das estruturas.

A escolha do tipo de solo é crucial para a qualidade da taipa de pilão. Recomenda-se o uso de terra areno-argilosa com baixo teor de silte. A composição ideal é de aproximadamente 10% a 20% de argila, 15% a 25% de silte, e 55% a 70% de areia. Solos com excesso de argila podem causar fissuras durante a secagem, enquanto solos com excesso de areia ou silte podem apresentar coesão inadequada e baixa resistência à compressão. A preparação do solo envolve destorroamento e peneiramento para garantir a uniformidade e a qualidade do material utilizado na construção.

2.1.3. Cob

A técnica de construção com Cob tem origem milenar, sendo utilizada por algumas das civilizações mais antigas do mundo. Desde as paisagens nevoentas das Ilhas Britânicas até os terrenos ensolarados da África, as casas de Cob têm protegido a humanidade dos elementos, oferecendo conforto físico e térmico. Historicamente, a construção dessas casas envolvia a participação de toda a comunidade, transformando o processo em um evento social e festivo.

Através da junção dos elementos, argila, areia, água e palha, forma-se uma grande massa plastificada maleável que possibilita a criação de diferentes formas, incluindo curvas, permitindo desde fechamentos até detalhamentos de mobiliários internos ou o uso com técnicas mistas (Figura 8).

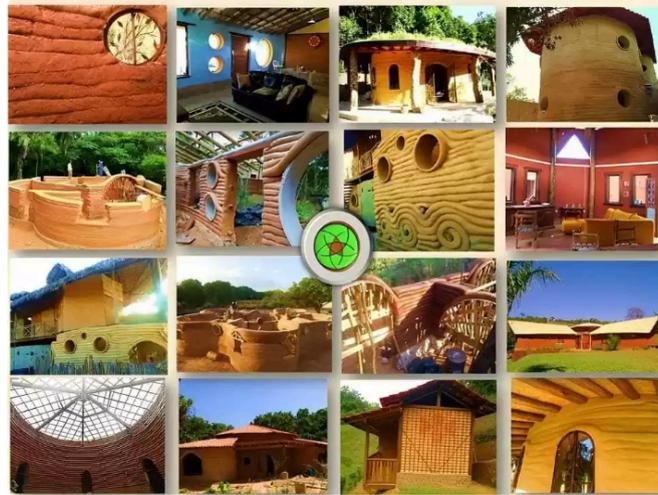


Figura 8:Obras Cob Biohabitate
Fonte: Biohabitate (2024).

Como todas as outras técnicas construtivas com terra, o Cob se torna uma alternativa sustentável pois utiliza materiais locais reduzindo gastos com transporte e emissões de CO₂. É característico das construções em Cob terem paredes espessas, resultando em melhor desempenho térmico devido ao sistema de massa, que permite a perda de temperatura mais lenta. Isso ocasiona o armazenamento das temperaturas internas, gerando um interior resfriado no verão e quente durante o inverno.

A presença de argila na mistura possibilita a integridade estrutural devido à união dos grãos de areia e às fibras da palha. Entretanto, as medidas devem ser dosadas para permitir a moldagem sem causar rachaduras após a secagem. A areia, por sua vez, além de aumentar o volume da mistura, evita que as partículas menores de argila se expandam e contraem abruptamente em resposta à umidade, gerando resistência física ao estabilizar as argilas. A palha aumenta a resistência à tração das paredes e isolamento. Por fim, a água permite a união total dos elementos e torna a mistura moldável ao toque.

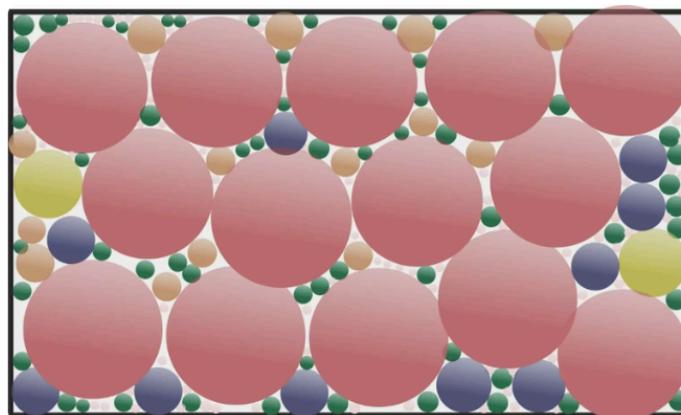


Figura 9: Ilustração representando os grãos da terra.
Fonte Biohabitate (2024).

As proporções variam com a caracterização dos solos, mas a mistura normalmente utilizada é de cerca de 30% de argila, 70% de areia e palha em fibras. É indicado o uso de areia pontiaguda com grãos angulares, sendo preferível à areia de praia lisa e redonda e fios de palha longos, pois se interligam bem na mistura. Por fim, não há normas brasileiras exclusivas para esse método de construção.

2.1.4. Superadobe

O superadobe, ou a construção de terra ensacada (CTE), como também denominada nas discussões das normativas na Rede Terra Brasil, tem origem histórica desde as trincheiras em tempos de guerras, diques militares e até mesmo em barragens. Essa técnica construtiva vem evoluindo e se tornando uma alternativa para construções ágeis e eficazes. Entre os registros mais antigos, destaca-se em 1916 na França e em 1955 na Coreia, como os primeiros abrigos militares utilizando a técnica.

No que diz respeito aos estudos acadêmicos, foram realizados em 1978 protótipos com estrutura em madeira e vedação CTE com o intuito de obter edificações anti-sísmicas por Gernot Minke na Universidade de Kassel (figura 10 e 11)



Figura 10 e 11: Earthquake resistant sandbag structure, Guatemala 1978.
Fonte: Gernot Minke (2024) .

Dentre todas as técnicas construtivas, o superadobe se destaca com relação à facilidade de execução, não exigindo mão de obra especializada e apresentando pouca exigência quanto ao material.

A técnica consiste em sacos de polietileno cheios de terra que são compactados, manualmente ou não, e empilhados uns sobre os outros. É recomendado o uso de arame farpado entre as camadas para conter os efeitos de cisalhamento na estrutura. Atualmente,

com o desenvolvimento da técnica, ela tem conquistado mais adeptos, e novas ferramentas vêm sendo utilizadas para reduzir o impacto do desgaste físico, como o surgimento de peneiras autônomas que despejam a terra diretamente nos sacos, formas para conter e desprezar a compactação lateral e até mesmo máquinas que preenchem os sacos com o material automaticamente. As figuras 12, 13 e 14 ilustram essas inovações.

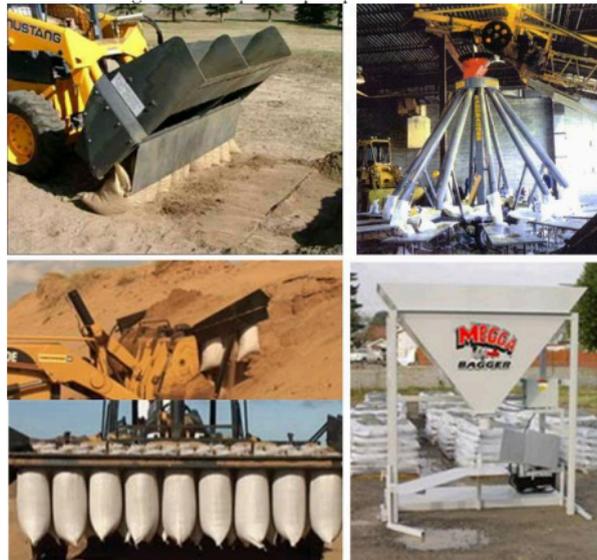


Figura 12: Maquinário para encher a sacaria
Fonte: Hortelano (2015) apud Santos (2015).



Figura 13: Maquinário SuperAdobe
Fonte: Earth Home Builder (2014) apud Santos (2015).



Figura 14- Suporte para cano-funil da Biohabitade e de Owen Geiger.
Fonte: Duarte e Azevedo (2015); (GEIGER, 2011) apud Santos (2015).

Ademais, são características da tecnologia de construção com terra ensacada, a resiliência a abalos sísmicos, a obtenção de parâmetros de umidade mais amplos e a dispensa do uso de fibras, diferentemente das técnicas mencionadas anteriormente. Outras vantagens incluem o uso da técnica em fundações, fechamentos e até coberturas. A velocidade da construção é um destaque dessa tecnologia, considerando o melhor aproveitamento do tempo, pois a confecção das camadas dispensa a secagem prévia. Entretanto, as desvantagens incluem o desgaste associado à extração do material, devido aos grandes volumes utilizados, além das perdas de espaço causadas pela largura das paredes.

Por fim, o solo utilizado não é tão exigente quanto nas técnicas anteriores. A terra ensacada não possui taxas específicas de argila e areia e dispensa granulometria, além de não necessitar a presença de palha. Autores confirmam a variedade de possibilidades do material contido no saco. Daigle (2008) sugere, inclusive, o uso de areia em casos de extrema necessidade ou urgência, como em casos dos abrigos temporários. Ressalta-se que cuidados devem ser tomados com relação à compactação do material, visto que a saca de contenção, muitas vezes é queimada para a aplicação dos revestimentos ou mesmo os sacos se desfazem com o tempo, devendo o solo manter-se estável após o desconfinamento.

2.1.5. Hiperadobe

O Hiperadobe surge como uma variação da construção de terra ensacada (CTE), uma espécie de extensão do superadobe. A variação ocorre principalmente na mudança da materialidade do saco, buscando melhor aderência e dispensando, em alguns casos, a presença dos arames farpados. Nesse modelo construtivo, o saco contínuo de polipropileno tecido é substituído por sacos feitos de tela de polietileno de alta densidade em malha Raschel, comum em embalagens de fruta e legumes.

Geiger (2011) afirma que os tubos de tela plástica são mais fáceis de preencher e custam significativamente menos do que os sacos ou tubos de tecido plástico, o que os torna uma opção com grande possibilidade de utilização. A figura 15 mostra as diferentes aberturas de malhas da caixa de contenção.



Figura 15- Tecido plástico e tela plástica
Fonte: PP woven bag (2015); Biopack (Hiperadobe) (2015). apud Santos (2015).

Com a diversificação do tipo de sacaria, foi possível aumentar o atrito entre as camadas, semelhante ao chapisco da construção convencional. Dessa forma, os arames farpados, antes essenciais para a fixação e estruturamento, passam a ser dispensáveis. A figura 16 mostra o funil utilizado para preenchimento da sacaria com a terra.



Figura 16 - Hiperadobe em construção.
Fonte: Bioconstrução Brasil (2024).

2.1.6. Taipa de Mão (Wattle and Daub)

A Taipa de Mão, Pau a Pique ou Taipa de Recobrimento, como também é conhecida, é um sistema construtivo cuja a terra é utilizada como uma massa plástica, que recobre uma estrutura (entramado), constituída por uma trama ou gradil de madeiras ou até mesmo de bambu. Esse sistema é utilizado pela humanidade desde o período Neolítico, destacando-se no Brasil pelo uso dos povos originários.

Atualmente, a taipa de mão é bastante comum no norte do Brasil, sendo uma alternativa de construção milenar e repassada entre gerações, não só no país, mas em várias partes do mundo. A figura 17 apresenta o registro de construções em taipa no Brasil no período de 2010 a 2015.



Figura 17- Habitações em taipa no Brasil
Fonte Ministério da Saúde (2015) apud Armando(2015).

A técnica possui variações, podendo a estrutura estar pregada, amarrada ou apenas sobrepostas. Essa estrutura define os parâmetros das paredes, como largura e altura, permitindo que a massa rica em argila cubra e preencha a estrutura, contribuindo para sua estabilidade. A massa é aplicada manualmente, em camadas, com a incorporação de palha na mistura.

As principais vantagens desse sistema além da economia e sustentabilidade é o isolamento térmico, e a possibilidade de produção de painéis pré fabricados em madeira, que agilizam a construção. Entretanto, a mão de obra se destaca como trabalhosa, já que utilizam técnicas manuais e podem sofrer com erosões e danos caso expostos à chuva.

Pensando nisso, é comum o uso de estabilizantes naturais, como esterco de equinos e bovinos, na última camada, visando otimizar a impermeabilidade ao reduzir a retração da terra pela perda de umidade, visto que o material é rico em fibras. Outra estratégia é a elevação da edificação utilizando fundações em pedra para evitar o contato com a umidade proveniente do solo.

A massa de preenchimento pode ser constituída por argila, terra, areia fina e palha. É recomendado que 20 a 40 % do solo seja argila para facilitar a moldagem, além de adicionar areia e a palha para reduzir a fissuração e permitir maior resistência à tração.

2.1.7. Bloco de Terra Comprimida (BTC).

Os Blocos de Terra Comprimidos (BTCs), também conhecidos como Compressed Earthen Blocks (CEB) ou "tijolos ecológicos", são uma técnica de construção relativamente recente que se destaca por suas características ecológicas e eficiência na construção. Esses blocos são produzidos a partir de uma mistura de argila, areia e água, que é prensada mecanicamente em moldes. A prensagem reduz a quantidade de água necessária (menos de 8%) e diminui significativamente o tempo de secagem dos blocos, podendo até dispensar a secagem, embora isso não seja recomendado para todos os casos.

A estabilização é crucial para garantir a resistência dos BTC. Normalmente, a mistura de terra é estabilizada com cimento, cal ou emulsão de asfalto. A compressão aplicada aos blocos visa aumentar sua resistência, densidade e homogeneidade, permitindo um dimensionamento mais rigoroso das paredes. A compressão varia de 1.000-1.400 kg/m³, para um mínimo de 1.700 kg/m³. A mistura deve ter uma composição granulométrica específica, com até 25% de argila e sem fibras ou inertes que possam prejudicar a compactação. A mistura é feita a seco, e a humidificação, se necessária, é realizada com vaporização de chuva fina.

Para blocos estabilizados com cimento, o período de cura recomendado é de 4 semanas em ambiente quente e úmido. Para blocos estabilizados com cal, a cura deve durar 8 semanas. A técnica foi difundida principalmente nos países da América do Sul, destaca-se a Colômbia que utiliza em grande escala os blocos comprimidos de terra em habitações rurais e de baixo custo. Contudo, a técnica já está sendo ensinada na Escola Profissional de Serpa.

Os BTCs são amplamente utilizados na América Latina e em outros continentes devido às suas vantagens, como a independência das condições climáticas para a produção e a possibilidade de armazenamento compacto dos blocos. A técnica permite a criação de formas variadas de blocos, como os com furos interiores que são mais leves e podem incluir subestruturas metálicas, de madeira ou bambu. Algumas formas de BTC podem até dispensar o uso de argamassa de assentamento. Além disso, a estabilização com cal ou cimento elimina a necessidade de acabamentos, embora, se um reboco for desejado, deve ser feito à base de cal e afagado quando parcialmente seco para aumentar a densidade e resistência.

Um exemplo notável da aplicação de BTC é a cúpula do auditório do Centro Cultural de La Paz, Bolívia, projetada por Gernot Minke em 2000. Este projeto utilizou uma guia rotativa desenvolvida pela Universidade de Kassel, mostrando como os BTC podem ser aplicados para melhorar as propriedades acústicas e criar padrões estéticos. A técnica também é utilizada em construções que requerem propriedades acústicas específicas, como auditórios, e pode incluir elementos como ventilação e estereotomias.

A evolução dos BTC demonstra um avanço significativo em relação aos métodos tradicionais de construção com terra, oferecendo soluções mais práticas e sustentáveis para a construção civil.

2.2 GESTÃO DE DESASTRES SOCIOAMBIENTAIS

É de conhecimento público que a humanidade está cada vez mais vulnerabilizada e sujeita aos diferentes desastres. Segundo os dados do IBGE, o crescimento no número de mortes e pessoas desaparecidas diretamente afetadas atribuído aos desastres em 2021 foi aproximadamente quatro vezes maior do que no ano de 2015. A figura 20 apresenta os dados de desastres extraídos do IBGE de 2015 a 2021.

| Tabela 6689 - Indicador 11.5.1 (também se aplica aos indicadores 1.5.1 e 13.1.1) - Número de mortes, pessoas desaparecidas e pessoas diretamente afetadas atribuído a desastres por 100 mil habitantes | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|---------|
| Variável - Número de mortes, pessoas desaparecidas e pessoas diretamente afetadas atribuído a desastres por 100 mil habitantes (Pessoas) | | | | | | |
| Brasil | | | | | | |
| Ano | | | | | | |
| 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
| 333,7 | 134,8 | 232,7 | 86,2 | 214,1 | 873,6 | 1.032,8 |
| Fonte: Ministério da Integração Nacional - MI, Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil - SEDEC; Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2ID. IBGE - Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS; Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da Federação, com data de referência em 1º de julho. | | | | | | |

Figura 18: Número de mortes, pessoas desaparecidas e pessoas diretamente afetadas atribuídas a desastres por 100 mil habitantes.
Fonte: IBGE (2024)

A preocupação com os desastres e afetados são temáticas altamente relevante e debatida no âmbito global, destacando o 11* Objetivo de Desenvolvimento elencado pela ONU, na Agenda 2030:

Objetivo 11. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis

11.5 Até 2030, reduzir significativamente o número de mortes e o número de pessoas afetadas por catástrofes e substancialmente diminuir as perdas econômicas diretas causadas por elas em relação ao produto interno bruto global, incluindo os desastres relacionados à água, com o foco em proteger os pobres e as pessoas em situação de vulnerabilidade

11.c Apoiar os países menos desenvolvidos, inclusive por meio de assistência técnica e financeira, para construções sustentáveis e resilientes, utilizando materiais locais

Dessa forma, é possível detectar a tamanha relevância do assunto, entretanto, são poucas cidades no Brasil que possuem planos que visam conter os desastres e minimizar os seus impactos. Segundo a pesquisa realizada pelo DCSC (2021), as únicas cidades de todo o estado de Santa Catarina que possuem planos municipais para redução de risco são apenas 2% sendo elas: Blumenau, Criciúma, Florianópolis, Jaraguá do Sul, Schroeder e Ibirama. Essas cidades enfrentaram ou enfrentam grandes impactos devido aos desastres.

Além disso, a mesma pesquisa indica que 57% dos municípios não possuem organização local para gestão de riscos e desastres (figura 21 e figura 22). Isso ajuda a

explicar o motivo que Santa Catarina lidera os números de habitações danificadas em decorrência de desastres naturais.

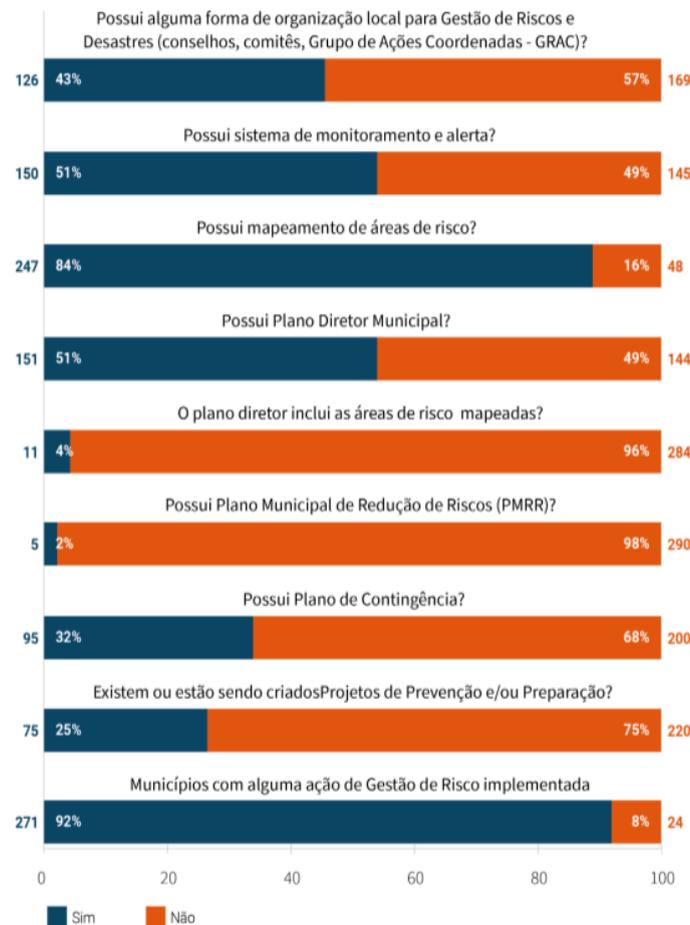


Figura 19 :Formulário de indicadores municipais de gestão de riscos e desastres. Fonte:Santa Catarina/ Defesa Civil (2021).

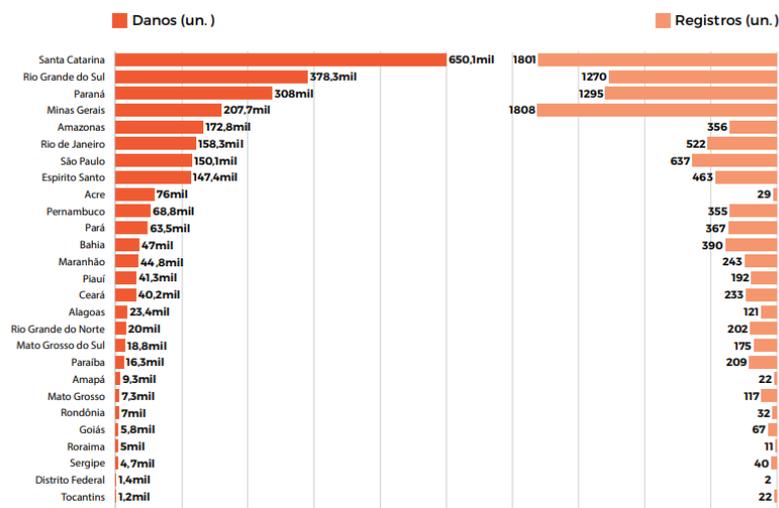


Figura 20: Habitações danificadas e registros por estado

Fonte: RELATÓRIO DE DANOS MATERIAIS E PREJUÍZOS DECORRENTES DE DESASTRES NATURAIS NO BRASIL (1995-2019)

Embora o cenário esteja vulnerável, é essencial compreender melhor o que são os desastres naturais e como se caracteriza os desastres socioambientais para formular propostas eficazes que possam intervir no cenário atual.

Castro (1998) define um desastre como um evento que afeta um ambiente vulnerável, sendo medido com base nos danos e prejuízos causados. Os desastres podem ser classificados conforme sua intensidade, evolução e origem.

Os desastres naturais resultam de fenômenos e desequilíbrios da natureza, ocorrendo independentemente da intervenção humana, e incluem secas, tempestades, terremotos, furacões, inundações e deslizamentos de terra. Por outro lado, os desastres tecnológicos são causados por falhas em sistemas construídos, como o colapso de edificações. Já os desastres humanos são fruto de ações humanas, como conflitos armados ou colapsos econômicos e políticos (Castro, 1998; Carbonari, 2021). Quando analisados de forma integrada, esses eventos são frequentemente chamados de desastres.

A COBRADE (Classificação e Codificação Brasileira de Desastres classifica os desastres em 5 grupos principais, 13 subgrupos e 25 tipos, conforme ilustrado na figura 23. As categorias são divididas em naturais (representadas pela cor azul) e tecnológicos (representados pela cor alaranjada), formando os grupos meteorológico, hidrológico, geológico, climatológico e biológico.



Figura 21: Simbologia dos desastres
Fonte: Proteção e Defesa Civil - SEDEC (2020)

Após compreender as classificações dos desastres e conhecido o atual cenário do estado de Santa Catarina, busca-se compreender a gestão organizacional dos respectivos Órgãos competentes atuantes no estado e no Brasil. Conforme citado na introdução, a Defesa civil é quem atua no país desde a prevenção a gestão dos desastres, ela é guiada por protocolos governamentais e deve considerar a seguinte sistemática:

i. Minimização de Desastres, compreendendo Prevenção de Desastres e Programas de Preparação para Emergências e Desastres (P.P.E.D);

ii. Resposta aos Desastres, compreendendo as Ações de Socorro, Assistência à População e de Reabilitação da Área Atingida;

iii. Reconstrução, que tem por finalidade restabelecer, em sua plenitude, os serviços públicos, a economia da área, a moral social e o bem-estar da população.

É possível visualizar essas etapas na Figura 22 a seguir.

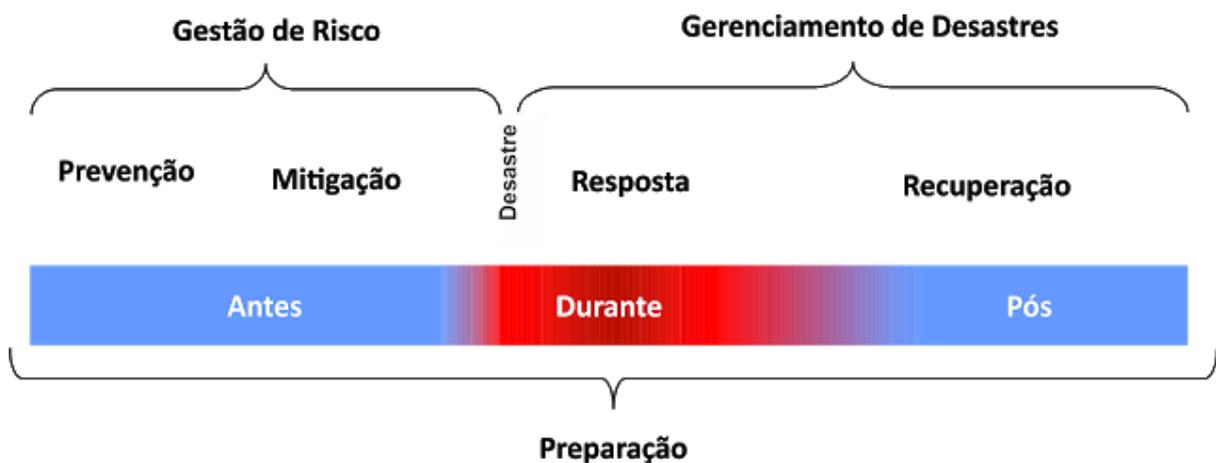


Figura 22: Ciclo de Gestão dos desastres.
Fonte: defesa civil (2024)

A Prevenção é a primeira etapa da gestão de risco de desastres, englobando um conjunto de ações destinadas a diminuir a ocorrência e a intensidade desses eventos. Essas ações incluem a identificação, o mapeamento e o monitoramento de riscos, ameaças e vulnerabilidades locais, além da capacitação da sociedade em atividades de defesa civil (Brasil, 2010). Em muitos casos, não é possível evitar todos os impactos adversos das ameaças, sendo possível apenas limitar sua escala e gravidade por meio de medidas estruturais e não estruturais. Dessa forma, ações preventivas frequentemente se transformam em ações de mitigação, que visam reduzir os efeitos dos desastres.

A fase de preparação também ocorre antes do desastre e envolve medidas, ações e estratégias voltadas para garantir uma resposta eficaz ao impacto das ameaças. Essa etapa inclui a emissão eficaz e oportuna de alertas antecipados, a evacuação temporária da

população e a remoção de bens das áreas em risco (Nações Unidas, 2009).

As ações de Resposta são realizadas durante ou imediatamente após o desastre, focando na prestação de serviços de emergência e assistência pública. Essa fase se concentra principalmente nas necessidades de curto prazo, com o objetivo de salvar vidas, minimizar impactos à saúde, assegurar a segurança pública e atender às necessidades básicas de subsistência das populações afetadas. Frequentemente, é difícil traçar uma linha clara entre essa etapa e a fase subsequente de recuperação. Por isso, algumas ações de resposta, como fornecimento de água potável, distribuição de alimentos e disponibilização de abrigos temporários, podem se estender até a fase de recuperação (Nações Unidas, 2009).

Além disso, a PNPDEC- Política Nacional de Proteção e Defesa Civil que tem como objetivos:

- I - reduzir os riscos de desastres;
- II - prestar socorro e assistência às populações atingidas por desastres;
- III - recuperar as áreas afetadas por desastres;
- IV - incorporar a redução do risco de desastre e as ações de proteção e defesa civil entre os elementos da gestão territorial e do planejamento das políticas setoriais;
- V - promover a continuidade das ações de proteção e defesa civil;
- VI - estimular o desenvolvimento de cidades resilientes e os processos sustentáveis de urbanização;
- VII - promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir sua ocorrência;
- VIII - monitorar os eventos meteorológicos, hidrológicos, geológicos, biológicos, nucleares, químicos e outros potencialmente causadores de desastres;
- IX - produzir alertas antecipados sobre a possibilidade de ocorrência de desastres naturais;
- X - estimular o ordenamento da ocupação do solo urbano e rural, tendo em vista sua conservação e a proteção da vegetação nativa, dos recursos hídricos e da vida humana;
- XI - combater a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco e promover a realocação da população residente nessas áreas;
- XII - estimular iniciativas que resultem na destinação de moradia em local seguro;
- XIII - desenvolver consciência nacional acerca dos riscos de desastre;
- XIV - orientar as comunidades a adotar comportamentos adequados de prevenção e de resposta em situação de desastre e promover a autoproteção;

e XV - integrar informações em sistema capaz de subsidiar os órgãos do SINPDEC na previsão e no controle dos efeitos negativos de eventos adversos sobre a população, os bens e serviços e o meio ambiente.

O Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil introduziu várias inovações, incluindo a criação e implementação de Planos de Proteção e Defesa Civil em todos os níveis de governo, com metas estabelecidas para curto, médio e longo prazo. Também foi desenvolvido um cadastro nacional de municípios em áreas suscetíveis a desastres. Além disso, foram incorporados aos currículos do ensino fundamental e médio os princípios da proteção e defesa civil, juntamente com a educação ambiental, entre outras iniciativas.

2.3 CRITÉRIOS PARA UMA ARQUITETURA EMERGENCIAL SUSTENTÁVEL

Para compreender e desenvolver um abrigo para o cenário emergencial, é preciso entender as diferentes classificações existentes. A designação é extensa e pode apresentar pequenas variações. A partir da tese realizada por Carbonari (2020), pode-se obter especificações e esclarecimentos dos termos utilizados no cenário emergencial. Estes termos serão apresentados a seguir a partir do descrito na pesquisa desta autora.

Conforme abordado, os autores definem “abrigo” como uma solução imediata após um desastre, onde não há rotinas regulares das pessoas que o utilizam; já a “habitação”, por sua vez, refere-se à retomada das atividades rotineiras. Ademais, nessa distinção é dividida em quatro fases: o abrigo emergencial, abrigo temporário, habitação temporária e habitação permanente. Essas fases nem sempre estão presentes por completo e não se desenvolvem de maneira linear, são configuradas como processo social dinâmico (Félix et al., 2015; Félix; Branco; Feio, 2013, Quarantelli, 1995)

No Brasil, a SEDEC - RJ (2006) adota uma diferenciação conceitual semelhante entre os termos "abrigo" e "habitação" no contexto pós-desastre. Contudo, identifica-se a existência de três etapas distintas: abrigo temporário em caráter emergencial, habitação temporária e, por fim, habitação permanente. Além do mais, ocorre a separação entre abrigos temporários fixos e móveis, conforme já explanado na introdução, os fixos são instalados em galpões, igrejas e escolas e os móveis são estruturas como casas pré-fabricadas e cabanas que são instaladas em uma área pré determinada.



Figura 23 - Etapas da provisão de abrigo e habitação pós-desastre
Fonte: Carbonari (2021)

Em contrapartida, a literatura internacional difere e classifica os diferentes tipos de abrigo em até seis categorias, que subdividem abrigos dispersos e agrupados (Corsellis; Vitale, 2005, 2007, 2010, IFRC; OCHA, 2015, IOM; NRC; UNHCR, 2015, Jha, 2010, NRC, 2010, Shelter Centre, 2012 e Sphere Association, 2018)



Figura 24 - Opções de abrigo temporário
Fonte: Adaptado de Corsellis e Vitale (2010, tradução Carbonari) apud Carbonari (2021).

Nessa pesquisa, o foco está nos abrigos temporários em acampamentos planejados, viabilizando a construção 3D com terra, com o objetivo de otimizar tempo, tecnologia e sustentabilidade. Assim, foram analisados indicadores levantados para compreender a importância de cada elemento na tomada de decisões do projeto.

De acordo com Corsellis e Vitale (2008, 2010), os acampamentos planejados devem compreender as necessidades e individualidade de cada comunidade, envolvendo a comunidade na construção até a montagem do acampamento. Além disso, é essencial gerenciar os recursos naturais, considerando o acesso aos serviços gerais e melhorando a

infraestrutura, incluindo segurança alimentar, transporte, saúde, educação, além do básico como água, energia e saneamento. Esses e outros indicadores foram indicados na figura 25.

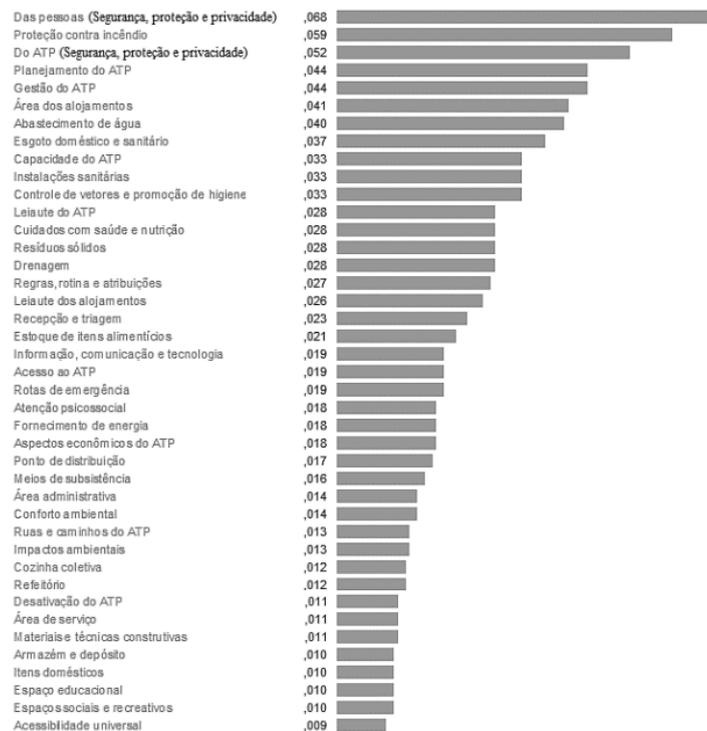


Figura 25- Sub critérios priorizados no modo distributivo
Fonte: Elaborado por Carbonari (2021)

| Indicadores | Abrigos temporários | | | | | | Valores de referência |
|---------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | |
| Área do abrigo/pessoa inicial | 18 m ² /p | 27 m ² /p | 20 m ² /p | 23 m ² /p | 23 m ² /p | 33 m ² /p | 30 m ² / pessoa |
| Área do abrigo/pessoa ago. 2018 | 16 m ² /p | 16 m ² /p | 17 m ² /p | 15 m ² /p | 20 m ² /p | 32 m ² /p | |
| Área de alojamento/pessoa | 3,3 m ² /p | 3,1 m ² /p | 2,4 m ² /p | 2,4 m ² /p | 3,5 m ² /p | 3,9 m ² /p | 3,5 m ² / pessoa |
| Área de triagem | 50 m ² | 200 m ² | 100 m ² | 100 m ² | 100 m ² | 200 m ² | 20 m ² |
| Área de recreação | 0,67 m ² /c | 0,83 m ² /c | ? | - | - | 2,89 m ² /c | 1,5 m ² / criança |
| Área de refeitório | 0,45 m ² /p | - | 0,7 m ² /p | 0,3 m ² /p | 0,3 m ² /p | 0,96 m ² /p | 1,5 m ² / pessoa |
| Nº de tanques | 1/37p | 1/54p | 1/48p | 1/57p | 1/95p | 1/89p | 1 / 40-100 pessoas |
| Nº de banheiros | 1/40p 1F:1,8M | 1/63p 1F:1M | 1/28 1F:1M | 1/11p 1F:1,7M | 1/28p 1F:5M | 1/10p 1F:1M | 1 / 20 pessoas |
| Nº de banheiros funcionais | 1/89p 1F:4M | 1/69p 1,2F:1M | 1/28 1F:1M | 1/12p 1F:1,8M | 1/39p 1F:16M | 1/30p 1F:2,5M | 3 Feminino:1 Masculino |
| Nº de chuveiros | 1/44p | 1/63p | 1/28 | 1/26p | 1/21p | 1/16p | 1 / 20 pessoas |
| Nº de chuveiros funcionais | 1/44p | 1/251p | 1/28 | 1/29p | 1/28p | 1/18p | |
| Dist. entre IS e alojamentos | < 70m | < 80m | < 65m | < 75m | < 120m | < 114m | < 50 m |
| Segurança contra incêndios | > 2,5m | > 1,0m | > 1,0m | > 2,5m | > 2,5m | > 2,5m | > 2m entre alojamentos |
| Inclinação do terreno | OK | OK | OK | OK | OK | OK | 1 a 5% |

Figura 26- Indicadores quantitativos dos abrigos temporários
Fonte: Elaborado por Carbonari (2021) com base em REACH e UNHCR (2018), SEDEC - RJ (2006) e Sphere Association (2018)

O ministro da Integração e do Desenvolvimento Regional, Waldez Góes ressalta: “Como vem sendo alertado há alguns anos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) das Nações Unidas, alguns desastres naturais como temos no Brasil, a exemplo das chuvas intensas, enchentes e da estiagem, serão cada vez mais frequentes. E, além de colocar em risco a vida de parte da população, essa situação pode trazer diversos outros prejuízos para o país, tanto econômicos quanto sociais e ambientais”, “Ou seja, esse é um assunto urgente, que necessita de ação e forte comprometimento das mais diversas áreas”.

2.4 IMPRESSÃO 3D

A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, consiste na criação de objetos físicos a partir de modelos digitais elaborados em softwares de CAD (design assistido por computador). Diferentemente das técnicas tradicionais de fabricação, que frequentemente envolvem subtração de material ou moldagem por injeção, a impressão 3D constroi os objetos camada por camada, utilizando materiais plásticos, metais e outros, permitindo maior precisão e possibilitando a criação de designs complexos que seriam difíceis ou impossíveis de realizar com métodos convencionais.

A prototipagem rápida destaca-se por sua capacidade de automação, que minimiza a intervenção do operador durante o processo de produção (Volpato, 2007). Conforme descrito por Cossetti (2018), a impressora de Chuck Hull passou a ser utilizada inicialmente em fábricas de automóveis, no setor aeroespacial até no desenvolvimento dos equipamentos médicos .

Apesar de sua popularidade crescente, a impressão 3D não é uma invenção recente. Essa tecnologia remonta à década de 1980, com a criação da estereolitografia pela empresa 3D Systems, que utiliza radiação ultravioleta para solidificar polímeros líquidos fotossensíveis. Desde então, outros modelos foram sendo comercializados, como o criado por Scott Crump, a qual utilizava uma tecnologia chamada de FDM (Fused Deposition Modeling), a 3D Modeler, embora ainda com valores inacessíveis ao público de mercado.

Após tal início, diversos métodos de impressão 3D foram desenvolvidos, como a Sinterização Seletiva a Laser (SLS), desenvolvida e patenteada pelo Dr. Carl Deckard e Dr. Joseph, que utiliza raios laser para fundir materiais em pó, e a modelagem por deposição de material fundido, que extrusa filamentos de resina aquecida (Costa, 2017).

Esses e outros métodos de impressão se traduzem no uso dos mais diversos materiais, como nylon, cerâmica, cera, bronze, aço inoxidável, titânio, madeira, vidro, destacando o plástico como mais utilizado. Ademais, são separados em cerca de cinco principais tecnologias contidas no mercado sendo elas:

i. FDM ou FFF (Fused Deposition Modeling ou Fabricação por Filamento Fundido): Desenvolvido por Scott Crump, esse processo utiliza termoplásticos, visando os atributos

mecânicos, químicos e térmicos. O processo se dá após o aquecimento do termoplástico, transformando-o para estado semilíquido, para em seguida ser depositado no extrusor da impressora. Nesse processo a presença de suporte pode ser requerida, necessitando melhores acabamentos com lixas após finalizar a impressão e retirada dos suportes;

ii. SLA (Stereolithography ou Estereolitografia): Segundo Cardoso (2018), essa tecnologia é considerada a primeira de impressão 3D do mundo. Com um sistema mais complexo, apresenta melhores acabamentos e maiores custos comparados ao FDM, utilizados normalmente em peças que exigem grande precisão. A impressora utiliza resina em estado líquido, que é solidificada através de uma luz ultravioleta, direcionada por espelhos formada em camadas, assim, endurecendo o material nas regiões desejadas. Após o processo, o excesso é retirado com banho químico e é levado ao forno ultravioleta para fortalecer a estabilidade da peça;

iii. DLP (Digital Light Processing ou Processamento de Luz Digital): Segundo Cardoso (2018), comparado ao SLA, o DPL é mais ágil, devido à exposição completa das camadas em uma única vez. Embora semelhantes, a técnica no DPL varia por meio da utilização da luz digital, permitindo vários flashes construindo materiais maiores;

iv. SLS (Selective Laser Sintering ou Sinterização Seletiva a Laser): O método utiliza um laser de alta potência para sintetizar e aquecer materiais em pó, como cerâmica, nylon, areia de fundição, entre outros. Embora o processo de criação de camadas seja semelhante aos métodos SLA e DLP, ele difere por usar exclusivamente materiais em pó. A impressora pré-aquece esse pó a uma temperatura abaixo do ponto de fusão, permitindo que o laser eleve a temperatura de forma localizada para solidificar o material nas áreas desejadas. Uma vez que a primeira camada esteja concluída, a impressora abaixa a plataforma, e um mecanismo de distribuição cobre a camada solidificada com uma nova camada fina de pó. Esse procedimento é repetido até que o objeto completo seja construído. Segundo Fernandes (2017), o diferencial desse método é a independência de suportes para apoio do modelo durante a fabricação, tendo em vista a presença do pó não fundido que mantém a peça conforme o modelo. Esse benefício, dispensa grandes tratamentos após o fim da impressão, apenas uma limpeza com ar comprimido para retirada do excesso de pó, e alcançam resultados bastantes positivos com relação a complexidade e acabamento. Ademais, o excesso do pó pode ser filtrado e reutilizado em outros projetos, devido a resiliência a altas temperaturas do material; e, v. SLM (Selective Laser Melting ou Fusão Seletiva a Laser): Os processos do SLM são bastantes semelhantes aos do SLS, todavia, se diferem no uso de metais como materialidade, normalmente níquel e titânio, que é derretido e formado por camadas. O derretimento do pó de metais é realizado por laser em alta potência, sempre cobrindo camadas finas o molde da camada anterior fundindo com a próxima. Sua vantagem é a estrutura sem nenhum corte, obtendo densidade 100%. Normalmente utilizada em produção de próteses metálicas, a técnica se dissipa entre as necessidades do mercado.

Embora haja iniciativas para a popularização das técnicas no Brasil, como o projeto Fab Lab, pelo governo do estado de São Paulo, que oferece cursos gratuitos com acesso a

laboratórios colaborativos que possuem equipamentos avançados, como a própria impressora 3D. Essas iniciativas visam confrontar a dificuldade de acesso da população a tais ferramentas, tendo em visto o alto custo não só das máquinas, mas também da materialidade utilizada para a impressão, além da presença de peças importados e a variação dos custos no Brasil (Secretaria especial de comunicação de São Paulo, 2018, s/p).

Tabela 1: Levantamento de custos da impressão 3D.

| Tecnologia | Custo | Suporte em altura | Materialidade |
|------------|----------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------|
| FDM | R\$2.600,00 até R\$40.000,00. | até 20 cm. | rolo de filamento com 1kg, custa em média R\$ 130,00 |
| SLA | R\$ 28.000,00 a R\$ 35.000,00. | até 17 cm . | resina com 500ml, custam em média R\$400,00. |
| DLP | 40.000,00 a R\$ 85.000,00. | até 20 cm . | 1 litro de resina custa aproximadamente R\$700,00. |
| SLS | R\$150.000,00 até R\$250.00,00. | Não obtido | Não localizado. |
| SLM | R\$1.250.000,00 (conversão atual de \$250.000,00). | Não obtido | Não localizado. |

Fonte: Elaborado pelo autor com base em (PAIVA 2021)

2.4.1. Impressão 3D e a arquitetura

A impressão 3D, como forma de prototipagem rápida, permite a detecção de erros de design em estágios iniciais do desenvolvimento, reduzindo os riscos associados ao lançamento de novas soluções e produtos (Volpato, 2007). Historicamente, a fabricação de maquetes envolvia custos altos e tempo significativo, além de utilizar materiais que nem sempre refletiam as propriedades dos utilizados na construção final. Inicialmente, devido às tais condicionantes, a impressão 3D obtinha um papel importante na criação de maquetes e modelos volumétricos no contexto da arquitetura, onde a tecnologia era mais atuante. Entretanto, é fato que a tecnologia vem sendo inserida para viabilizar outras demandas do meio arquitetônico e construtivo.

Ao longo da história, arquitetura e engenharia passaram por uma evolução contínua, marcada não apenas por mudanças nas demandas estéticas e ideológicas, mas também por inovações tecnológicas. Nos últimos anos, a impressão 3D emergiu como uma tecnologia de vanguarda de carácter análogo às tecnologias vistas anteriormente, sempre alinhado ao uso da máquina para realizar uma extrusão do material em camadas, que sobrepostas formam a edificação. Tal tecnologia promete revolucionar a construção civil e trazer uma nova era de inovação e eficiência para o setor.

Na construção civil, a aplicação da impressão 3D pode reduzir drasticamente os custos associados à fabricação, redução do desperdício de materiais, bem como à mão-de-obra, que frequentemente representam uma parte substancial do orçamento de um projeto, resultando em economia significativa de tempo, custos e índice de sustentabilidade. Suas características se destacam relacionando a rapidez das construções e liberdade de formas tornando o construir eficaz e revolucionário.

Porém há desafios na implantação da tecnologia, além dos altos custos dos maquinários, que em maioria são importados, questões de regulamentação de segurança, a necessidade de desenvolvimento de normas específicas, além da necessidade de mão de obra especializada, destaca-se a materialidade mais indicada serem a base de cimento.(Bajpayee et al (2020). Desencadeando questões graves com relação a sustentabilidade e meio ambiente devido ao elevado consumo de energia e às emissões de CO₂ geradas durante a produção de clínquer. Segundo dados da International Energy Agency (IEA), a construção civil arca por 36% do consumo global de energia final e por 39% das emissões totais de CO₂, abrangendo tanto as emissões diretas quanto as indiretas.

Portanto, estudos vêm sendo realizados buscando alternativas para materialidade que atendem os quesitos físicos e sustentáveis, surgindo assim, o conceito histórico do uso de terra, que além de contribuir para a redução das emissões de carbono, possui aplicação semelhante à tecnologia de construção digital baseada em cimento e alinha-se com práticas de construção verde e normas de sustentabilidade, como o LEED e o BREEAM.

Autores destacam o uso de terra como positivo por fatores como bom desempenho mecânico e durabilidade, textura positiva para impressões com bocais circulares, variedade nos tons além da presença de biopolímeros como o alginato melhorando a retenção da forma quando ainda fresco. (Alho Mayane; Teixeira; Kontovourkis, Perrot, ano).

A sustentabilidade da impressão 3D é evidenciada por projetos como Casa Gaia, Projeto Tecla, Projeto Terra Perfoma e Digital Adobe que representam o avanço do uso da terra nas impressões 3D.

O modelo TECLA, desenvolvido na Itália por Mario Cucinella Architects, que iniciaram de uma pesquisa eco sustentável para a School of Sustainability, buscando por casas mais sustentáveis no contexto de crises por desastres naturais e migrações.

De acordo com Thajeel e Balázs (2022), na casa tecla, o material foi constituído por

terra local misturada com água, fibras de casca de arroz e um aglutinante. A casa é composta por dois módulos de até 4,2 m de altura, totalizando uma área de cerca de 60 m².



Figura 27: Casa TECLA .
Fonte: Foto:World 's Advanced Saving Project (2024)

A casa (paredes) foi construída com 200 horas de impressão, formada por de dois volumes ligados em forma de cúpula com uma parede exterior parede exterior nervurada, composta por 350 camadas empilhadas de argila impressa em 3D com 12 mm de espessura, com uma abertura circular no teto que permite a entrada de luz ao longo do dia. A argila é camadas onduladas que não só proporcionam estabilidade estrutural, mas também atuam como uma barreira térmica. Além da casa Tecla, outra empresa italiana, a Wasp, construiu a casa Gaia (figura 19).



Figura 28: Casa Gaia.
Fonte: Thajeel e Balázs (2022)

Para a construção de Gaia, afirmam Thajeel e Balázs (2022), a RiceHouse e a WASP utilizaram fibras vegetais para criar um composto que incluía 25% de solo do local (30% de areia, 30% de argila e 40% de silte), 25% de casca de arroz, 40% de palha de arroz picada e 10% de cal hidráulica. O muller foi usado para amassar a mistura, o que resultou num composto homogêneo e trabalhável.

Outro projeto destacado por Carbonari et. al (2024) é o Pylos, Digital Adobe e Terra Performa do IAAC. De acordo com as autoras durante o OTF 2016/2017, o Terra Performa construiu um protótipo experimental em escala 1:1 para estudar padrões geométricos otimizados, visando o desempenho térmico e estrutural, além da análise de um módulo para viabilizar um processo de montagem fácil e rápido, diretamente no local. O material criado pela IAAC é constituído por 96% de solo, mais aditivos para melhorar as suas características.

Sendo assim, o uso da terra como objeto de estudo e análise para obter uma união entre tecnologia e sustentabilidade tem sido bastante estudado e apresenta potencial de aplicação para construções emergenciais.

A utilização de terra na impressão 3D requer um estudo cuidadoso sobre a composição e preparação da mistura, que deve combinar a terra com aditivos e fibras naturais para melhorar a resistência e a durabilidade do material impresso, garantindo que a estrutura final seja segura e adequada para habitação.

Apesar das barreiras, diversas iniciativas inovadoras estão em andamento para explorar o potencial da impressão 3D na construção civil. A empresa chinesa Winsun destacou-se em 2014 ao construir dez casas de 200 m² em menos de 24 horas, utilizando concreto com agregados recicláveis. Nos Estados Unidos, a University of Southern California desenvolve o projeto Contour Crafting desde 2004, focado inicialmente na construção de paredes de concreto autoportante para habitações de interesse social e emergências pós-catástrofes. Esse projeto também explora o uso de adobe em parceria com a Cal-Earth, organização que estuda construções com terra.

Outras iniciativas notáveis incluem o projeto Pylos do Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC), que utiliza braços robóticos para imprimir estruturas de terra, e a empresa italiana WASP, que visa construir moradias em áreas remotas utilizando solo e fibras naturais. No Brasil, startups como InovaHouse 3D e Urban 3D estão explorando a construção de habitações de baixo custo utilizando impressão 3D com materiais sustentáveis. A Urban 3D, em colaboração com profissionais internacionais, planeja construir um edifício de 12 andares, enquanto a InovaHouse 3D visa concluir sua primeira casa impressa em Brasília.

A impressão 3D é especialmente vantajosa para a construção em cenários que demandam rapidez e qualidade, como em desastres naturais ou projetos de habitação social. O uso eficiente de materiais, utilizando apenas o necessário para a impressão, minimiza o desperdício e reduz os custos em comparação com os métodos tradicionais de construção. O emprego de cimento, embora comum, é complementado pelo uso de agregados reciclados,

promovendo uma abordagem mais sustentável.

Em síntese, a impressão 3D na construção civil oferece uma série de vantagens e possibilidades, desde a redução de custos e desperdícios até a viabilização de construções mais sustentáveis. A capacidade de criar estruturas complexas e de utilizar uma ampla gama de materiais faz dessa tecnologia uma ferramenta valiosa para o futuro da arquitetura e engenharia, alinhando-se às demandas contemporâneas por eficiência e sustentabilidade. A adoção crescente da impressão 3D de terra promete não apenas revolucionar os métodos construtivos, mas também redefinir o que é possível na criação de ambientes habitáveis, tornando a inovação uma parte integrante do cotidiano da construção civil.

2.4.1 Maquinários utilizados

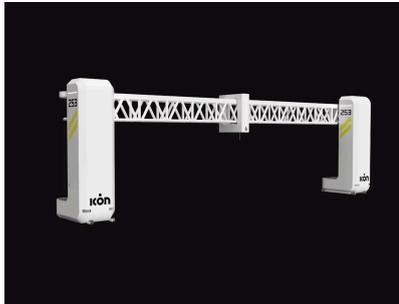
Para compreender os custos e a implantação dessa tecnologia nos campos da construção civil, foi realizado um levantamento dos maquinários já desenvolvidos e como tais atuam. As principais empresas do mercado que produzem as impressoras para construção civil são: CyBe Construction (Holandesa); WASP (Italiana); ICON (Norte-americana); Apis Cor; COBOD (Dinamarquesa). Embora existam empresas como a InovaHouse3D e 3DHomeConstruction no Brasil.

Tabela 2: Levantamento de maquinários;

Fabricante: CyBe Construction

| Imagem | Nome | Tipo | Descrição | Material usado e custo | Dimensões AxLxC |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
|  | CyBe Robot - R | braço mecânico | funciona com conceito de pré-fabricação e estrutura modular. | Concreto, custo a partir de € 49.000 | 4x2,5x5m Velocidade de 0,5m/s. |
|  | CyBe Robot Crawler - RC | braço mecânico | Estrutura elevada e móvel para alcançar maiores alturas e obter mais dinamismo na produção. | Concreto, custo a partir de € 195.000 | 4x2,5x5m Velocidade de 0,5m/s. |
|  | CyBe Robot Track - RT | braço mecânico | Opera em uma pista de rolamento de 5m de comprimento, funciona com conceito de pré-fabricação. | Concreto, custo a partir de € 240.000 | 4x2,5x5m Velocidade de 0,5m/s. |

| | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>CyBe Gantry Robot - GR</p> | <p>estrutura de pórtico</p> | <p>Estacionária de grande escala com estrutura de pórtico, composta por 6 colunas e 3 vigas. Ideal para impressão de apartamentos modulares.</p> | <p>Concreto, custo a partir de € 485.000</p> | <p>4X10X7 m. Velocidade de 0,5m/s (horizontal) e 0,04m/s (vertical). Peso: 13 toneladas.</p> |
| <p>Fabricante: WASP</p> | | | | | |
|  | <p>Big Delta</p> | <p>Pórtico robótico</p> | <p>adequado para imprimir materiais retirados do local de origem abre caminho para a construção de casas quanto a recuperação de vestígios ou ruínas arqueológicas.</p> | <p>blends de fibras e terra, não foi encontrado estimativa de valores.</p> | <p>12x7 m. Componentes de até 3m, para facilitar o transporte. Velocidade para imprimir uma camada: 20min.</p> |
|  | <p>Crane WASP,</p> | <p>Pórtico robótico</p> | <p>composta por uma unidade de impressão que pode ser montada em diferentes configurações dependendo da área de impressão, possui um volume de impressão de cerca de 94m³.</p> | <p>Concreto, geopolímeros, mortar, custo a partir de 160.000 €.</p> | <p>550x580x420 cm, peso 500 kg. possui sistema de bombeamento com dimensões 120x200x240 cm e peso de 300 kg. Velocidade 0,3 e 0,5m/s,</p> |
| <p>Fabricante: ICON</p> | | | | | |

| | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|  | Vulcan | Pórtico robótico | possui um sistema construtivo constituído pela própria impressora (Vulcan) e pela unidade misturadora portátil, Magma, que prepara o próprio material de impressão, o Lavacrete, capaz de imprimir construções de até 278m ² sem necessitar de realocação | concreto bactericida com resistência que varia entre 14 MPa e 25 MPa, custo a partir de US\$10 mi. | 4,72m de altura e 14,12m de comprimento |
| Fabricante: Apis Cor | | | | | |
|  | Frank | Braço mecânico | Construção direta no local. Conta com uma unidade de bombeamento e uma de transporte do material e mistura, é capaz de imprimir prédios de até dois andares com metragem quadrada ilimitada, não requer montagem adicional. | concreto, não foi encontrado valores de custo | Não há informações. |
| Fabricante: Inova House 3D e 3D Home Construction | | | | | |
|  | Alya 130 | Pórtico | Primeira impressora 3d no Brasil, necessita de montagem no local e permite impressão de casas inteiras. | Concreto, valor não encontrado. | 3x7,6x12, capaz de produzir até 200m ² |

Fonte: elaborado pelo autor com base em Silva (2023), CyBe Construction, WASP (World 's Advanced Saving Project), ICON, Apis Cor e inovahouse3d.

Através desse estudo, nota-se a dificuldade de instalação desses maquinários no Brasil, embora existam exemplares ativos no mercado mundial que trabalhem com materiais naturais, como é o caso da Crane WASP. Ademais, foi possível analisar o grande porte que esses equipamentos apresentam, determinando barreiras que precisam ser superadas no âmbito desta pesquisa.

Logo, repensou-se a presença desses maquinários no estudo de caso em José Boiteux, com relação aos desafios físicos, de transporte e de custo que uma impressora de grande porte têm, trazendo a necessidade de repensar o uso da tecnologia em módulos menores que pudessem ser construídos e transportados até o local.

2.5 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O solo é um termo genérico aplicado a todo material da crosta terrestre surgido da decomposição de rochas, constituído por elementos orgânicos e composições químicas e minerais, derivadas do relevo e das exposições às intempéries. O solo é estudado em diversas áreas, como a ciência dos materiais, agronomia e geologia. Cada área que o estuda também designa diferentes classificações, como:

- i. Classificação genética: solo pedogenético, solo saprolítico, solo transportado;
- ii. Classificação granulométrica: arenoso, argiloso, siltooso; e,
- iii. Classificação pedológica: horizontes – superficial, subsolo e rocha mãe.

Na arquitetura, também há variações com as denominações, como terra crua, terra sem cozer e terra para construção. Entretanto, o termo solo é utilizado quando se evolui para uma caracterização realizada por diferentes testes. Os termos mais conhecidos são: solo cimento, solo cal e solo estabilizado. Vale ressaltar que as construções com terra são aquelas que utilizam solo como principal matéria-prima em sua composição.

De acordo com Pinto(2006) “O objetivo da classificação dos solos, sob o ponto de vista de engenharia, é poder estimar o provável comportamento do solo ou, pelo menos, orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema”

É importante citar que, embora as construções com terra sejam plurais, ainda são poucas as normas que consideram a construção com terra em sua totalidade. São mais frequentes as normas que especificam o processo de fabricação e ensaios que possibilitem a caracterização da matéria. (Cid Falceto; Ruiz Mazarrón; Cañas Guerrero, 2011).

Nesse cenário, para viabilizar a impressão com terra e desenvolvimento de um projeto eficaz, é necessário obter a caracterização da matéria-prima crucial para o projeto. Dessa forma, é possível compreender as partículas que a compõem e prever possíveis dificuldades

ou vantagens que o material pode oferecer quando manuseado de diferentes maneiras.

Foi realizado um levantamento das normas brasileiras utilizadas na caracterização do solo, tanto os procedimentos dos ensaios quanto as que determinam a boa realização deles, visando compreender os passos, ferramentas necessárias e resultados obtidos para contribuir com o conhecimento geral da materialidade extraída em José Boiteux.

Tabela 3: Levantamento das normas de caracterização do solo.

| NBR | Ensaio | Ferramentas | Local | Objetivo |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| NBR 7181 | Ensaio de granulometria | Peneiras e balanças | Laboratório | Determinar a distribuição granulométrica de solos |
| NBR 6484 | Sondagem a percussão (SPT) | Martelo SPT, tripé, amostrador | Campo (terreno) | Avaliar resistência e características do solo para fundações e obras geotécnicas |
| NBR 6459 | Limite de liquidez | Aparelho de Casagrande, espátula | Laboratório | Determinar o teor de umidade no qual o solo passa de estado plástico para líquido |
| NBR 7180 | Limite de plasticidade | Placa de vidro, espátula | Laboratório | Avaliar a consistência do solo para classificações geotécnicas |
| NBR 6457 | Preparação de amostras | Placa de vidro, espátula | Laboratório | Padronizar a preparação de amostras para ensaios de solo |
| NBR 16097 | Ensaio de compactação | Compactador manual ou mecânico | Laboratório | Determinar a relação entre o teor de umidade e a densidade seca máxima do solo |
| NBR 17091 | Ensaio de adensamento | Aparato de adensamento | Laboratório | Avaliar a compressibilidade do solo sob carga. |
| NBR 7182 | Ensaio de permeabilidade | Permeâmetro | Laboratório | Medir a permeabilidade de solos em condições específicas |
| NBR 9895 | Ensaio de cisalhamento direto | Caixa de cisalhamento, balanças | Laboratório | Determinar a resistência ao cisalhamento de solos. |
| NBR 9252 | Ensaio de penetração de cone | Cone de penetração, manômetro | Campo | Medir a resistência do solo em profundidade. |
| NBR 13292 | Calibração de equipamentos de campo | Diversos equipamentos de calibração | Campo/Laboratório | Garantir a precisão e confiabilidade dos equipamentos usados em ensaios de campo. |
| NBR 16853 | Ensaio de adensamento consolidado | Equipamento de adensamento | Laboratório | Determinar características de adensamento e consolidação do solo. |

Fonte: ABNT Elaborado pelo autor (2023)

2.5.1 Granulometria

O solo é formado por diferentes tipos de partículas, classificadas com base no tamanho dos grãos. Essas partículas são agrupadas em categorias como pedregulho, areia, silte e argila, sendo que a areia pode ser classificada em grossa, média e fina, de acordo com a sua dimensão. Segundo o livro de mecânica dos solos do professor Carlos de Souza Pinto, obtêm-se os limites contidos na figura 29.

| Fração | Limites definidos pela ABNT |
|--------------|-----------------------------|
| Matacão | de 25 cm a 1 m |
| Pedra | de 7,6 cm a 25 cm |
| Pedregulho | de 4,8 mm a 7,6 cm |
| Areia grossa | de 2 mm a 4,8 mm |
| Areia média | de 0,42 mm a 2 mm |
| Areia fina | de 0,05 mm a 0,42 mm |
| Silte | de 0,005 mm a 0,05 mm |
| Argila | inferior a 0,005 mm |

Figura 29: limite das frações de solo pelo tamanho dos grãos.
Fonte: Mecânica dos Solos Carlos de Souza Pinto(2006).

Cada uma dessas categorias possui características específicas que influenciam o comportamento do solo como material de construção. O ensaio é realizado através de um conjunto de peneiras, separados em agregados graúdos, com aberturas maiores, e agregados miúdos, com aberturas menores. Nessas peneiras, o material é disposto e depois levado para uma mesa vibratória, cujo objetivo é separar as quantidades respectivas de cada material retido nas peneiras correspondentes.



Figura 30 : Conjunto de peneiras agregados miúdos.
Fonte: Biblioteca do autor (2024)

Após tais procedimentos, pesa-se a quantidade de material retido em cada peneira e transfere-se para uma tabela para calcular as porcentagens retidas, a variação entre as amostras analisadas, o módulo de finura e a dimensão máxima característica (DMC).

Com esses dados, utiliza-se uma representação gráfica chamada curva de distribuição granulométrica, que mostra a relação entre o tamanho e a quantidade de partículas presentes no solo, permitindo assim a caracterização e porcentagem de pedras, pedregulhos, areias, silte e argila. Por fim, esse ensaio ajuda a determinar a adequação do solo para ser utilizado em construções, garantindo que suas propriedades estejam em conformidade com os requisitos necessários para cada tipo de obra.



Figura 31: Solo após granulometria
Fonte: Galeria do autor (2024)

2.5.2. Limite de Liquidez

Conforme Pinto, a fração fina dos solos tem grande importância no comportamento do solo, especialmente em relação à água. A mesma fração de argila pode ter comportamentos diferentes dependendo dos minerais presentes, bem como dos cátions absorvidos. Para abordar estes aspectos, o engenheiro químico Atterberg (apud Caputo, 1978) desenvolveu ensaios que consistem em medir o grau de umidade do solo em diversos estados de consistência, sendo eles líquido, plástico ou sólido.

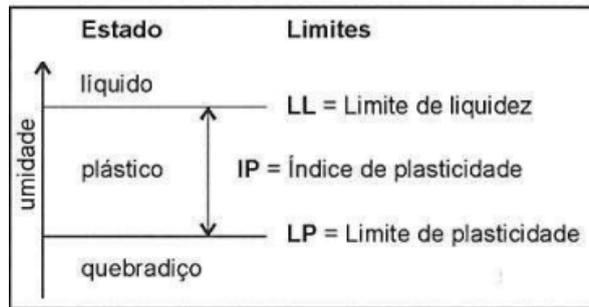


Figura 32: Limites de Atterberg dos solos.
Fonte: Mecânica dos Solos Carlos de Souza Pinto(2006)

Limite de Liquidez (LL): O limite de liquidez refere-se ao teor de umidade em que o solo transita do estado plástico para o estado líquido. Para determinar esse limite, utiliza-se o aparelho de Casagrande, no qual o solo é colocado em uma concha de metal. Essa concha é movimentada por uma manivela, caindo repetidamente sobre uma superfície dura. Durante o teste, uma ranhura padrão é feita no solo e, ao ser golpeado, o solo se desloca até que essa ranhura se feche em 1 cm após 25 golpes. O teor de umidade nesse ponto é registrado como o limite de liquidez.

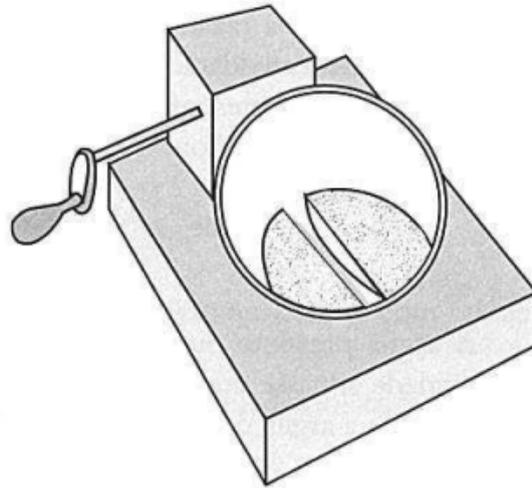


Figura 33: Esquema de aparelho de Casagrande para determinação do LL.
Fonte: Mecânica dos Solos Carlos de Souza Pinto(2006)

Limite de Plasticidade (LP) corresponde ao teor de umidade no qual o solo deixa de ser plástico e passa a apresentar um comportamento mais rígido. Para determinar o LP, uma pequena quantidade de solo umedecido é moldada em forma de um cordão sobre uma placa de vidro. O solo deve ser capaz de formar um cordão com cerca de 3 mm de diâmetro e 12 a 15 cm de comprimento sem se romper. O teor de umidade necessário para manter essa forma define o limite de plasticidade.

Índice de Plasticidade (IP) é calculado como a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade ($IP = LL - LP$). Ele indica a faixa de umidade na qual o solo mantém sua plasticidade, servindo como um indicador da quantidade de argila presente no solo. Solos com um IP elevado tendem a ser mais argilosos e plásticos, demonstrando uma maior capacidade de deformação antes de se romperem.

Tanto o limite de liquidez quanto o limite de plasticidade são influenciados pela quantidade e pelo tipo de argila presente no solo. No entanto, o índice de plasticidade depende exclusivamente da quantidade de argila.

Esses parâmetros são essenciais na engenharia geotécnica, pois permitem prever o comportamento do solo sob diferentes níveis de umidade. Eles são úteis na seleção de solos e na escolha de métodos de controle em obras de construção civil, especialmente em projetos que utilizam terra como material de construção.

2.5.3 Compactação do solo

A determinação da umidade ótima de compactação de um solo é um processo

fundamental em engenharia civil, garantindo que o material atinja suas melhores propriedades mecânicas para usos específicos. Para esse fim, o ensaio de compactação, frequentemente realizado em um cilindro de Proctor, é utilizado. Inicialmente, a amostra de solo deve ser seca ao ar e destorroada, facilitando a uniformização da umidade. Em seguida, a amostra é compactada em três camadas, utilizando um soquete de massa padronizada que aplica 26 golpes para cada camada.

Manoel Matos Fernandes (1994) define a Compactação de Solos como "o processo pelo qual uma massa de solo constituída por partículas sólidas, água e ar vê diminuído o seu índice de vazios por redução do volume da sua fase gasosa conseguida à custa da aplicação repetida de cargas. O teor em água, razão do peso da água sobre o peso das partículas sólidas, é normalmente o mesmo para uma massa de solo solta e descompactada e a mesma massa num estado mais denso conferido pela compactação." Ele conclui que "a compactação permite um aumento da resistência ao corte, e uma redução da deformabilidade e permeabilidade do solo."



Figura 34.:Ensaio normal de Proctor (ou AASHTO Normal).
Fonte: Suporte Solos (2024)

Com a umidade do solo ajustada, o processo envolve a determinação da massa específica seca a partir de um corpo de prova compactado e de uma amostra de seu interior para medir a umidade. Essas medições são repetidas em incrementos de umidade de aproximadamente 2% até que a densidade seca atinja um valor máximo e comece a diminuir, indicando a proximidade da umidade ótima.

A curva de compactação gerada pela relação entre a umidade e a densidade seca permite identificar a umidade ótima, que é o ponto em que a densidade seca é máxima. Este ponto reflete a condição ideal para a compactação do solo, caracterizada por uma maior resistência e menor porosidade. Esse entendimento é crucial para garantir a durabilidade e a resistência de obras de engenharia, pois um solo compactado adequadamente sob sua umidade ótima proporciona melhores propriedades mecânicas.

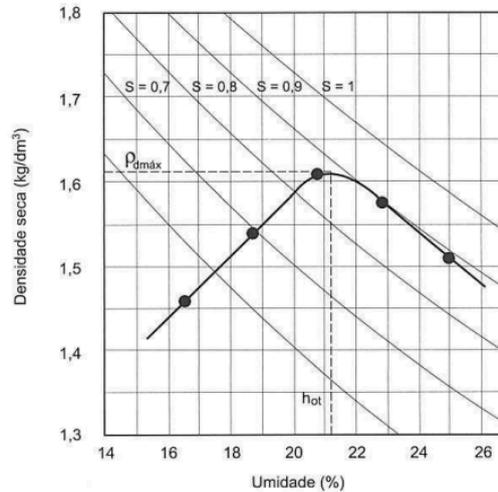


Figura 35: Curva de compactação obtida em ensaio
Fonte : Mecânica dos Solos Carlos de Souza Pinto (2006)

2.6 MISTURAS E ADITIVOS

Como visto anteriormente, as diversas técnicas construtivas utilizam a terra misturada a outros elementos como fibras e areias visando ampliar o desempenho mecânico da construção elevando sua durabilidade. Assim, através do estudo de caracterização e do conhecimento da matéria, abre-se um leque de possibilidades para experimentações e combinações com misturas de outros materiais que possam elevar o desempenho da terra e torná-la ainda mais efetiva .

No texto de Carbonari (2024) encontram-se referenciais de misturas que foram utilizados na concepção de projetos, essas, nortearam o conhecimento e experimentação do estudo. (figura 36). Segundo a pesquisa, a composição do 3D Printed Cob, é descrita por: 72-73% de solo, 2% de fibra vegetal e 25-26% de água. Outros projetos como Digital Adobe e Terra Performa, compartilham da composição de 96% de solo e 4 % de aditivos.

Atualmente, com o crescimento da impressão 3D com terra, há busca por estabilizantes naturais, se tornando enfoque no cenário global, destacando a implementação de produtos naturais na composição da materialidade. Estudos indicam que biopolímeros, como celulose, lignina, carragenana e amido, influenciam positivamente nos materiais de construção (Guettatfi, L. et. al 2023) (Nakamatsu (2017).

Um exemplar disso é a empresa italiana World's Advanced Saving Project (WASP), desenvolvedoras da casa Gaia, apresentada no ícone 2.4.1, que insere o uso do arroz como materialidade, compondo a mistura de 25% de solo local (mistura de areia, argila e silte), 40% de palha de arroz picada, 10% de casca de arroz e 10% de cal hidráulica.

| Pesquisa | Material de impressão | Estratégias |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3D WASP | Solo (25%), palha de arroz (40%), casca de arroz (10%), cal hidráulica (10%) e muller | <ul style="list-style-type: none"> - Cavidades internas preenchidas com resíduos de arroz para isolamento térmico. - Cascas de arroz usadas para revestimento interno e como camada de isolamento na parte superior da cobertura. - Cobertura com beiral para proteger da radiação solar direta. |
| TerraPerforma | Solo (96%) e aditivos (4%) | <ul style="list-style-type: none"> - Morfologia complexa da superfície externa projetada para auto-sombreamento. - Módulos projetados para incorporar vários tipos de aberturas: microaberturas e janelas. - Microperfurações que direcionam o fluxo de ar. |
| Digital Adobe | | <ul style="list-style-type: none"> - Parede ventilada com aberturas operáveis. - Geometria externa com saliências para auto-sombreamento. - Cavidades internas da parede preenchidas com terra para massa térmica e com ar para isolamento térmico. |
| 3D Printed Cob | Subsolo (72-73 %), fibra (2 %) e água (25-26 %) | - Paredes com cavidades de ar e adição de palha - melhor condutividade em relação à densidade |

Figura 36: Misturas e Materialidade de referências;
Fonte: Carbonari (2024)

Dessa forma, o grupo de pesquisa vem desenvolvendo estudos para analisar o desempenho físico da terra com adição de Limoneno, substância presente em cacas de cítricos como o limão e laranja, devido ao consumo e produção presente no país, além da presença de celulose e pectina. Tendo como característica o limoneno como impermeabilizante por ser um hidrocarboneto hidrofóbico e a pectina e celulose se comportarem como aglutinantes.

Embora ainda nas etapas iniciais, foram desenvolvidos pela pós-doutoranda Rachel Feverzani Magnago, uma sugestiva de traços (Figura 37) para realizações de testes futuros, que visam compreender os benefícios que tal material pode trazer ao ganho de desempenho e consequentemente à construção civil.

| Amostras | Solo (%) | Cimento (%) | Bioativo (%) | Água (%) |
|----------|----------|-------------|--------------|----------|
| 1 | 90 | - | 5 | 5 |
| 2 | 85 | - | 10 | 5 |
| 3 | 80 | - | 15 | 5 |
| 4 | 70 | - | 15 | 15 |
| 5 | 95 | - | - | 5 |
| 6 | 70 | 20 | 5 | 5 |
| 7 | 65 | 20 | 10 | 5 |
| 8 | 60 | 20 | 15 | 5 |
| 9 | 50 | 20 | 15 | 15 |
| 10 | 75 | 20 | - | 5 |

Figura 37: Composição de corpos de prova com solo, bioativo e água.
Fonte: Magnago (2024) ainda não publicado.

3. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

Foi desenvolvido um plano de trabalho (Quadro 1) com duração de 12 meses, cujas etapas buscam atingir os resultados finais. Iniciado em setembro de 2023 e finalizado em agosto de 2024, após ajuste de cronograma.

Quadro 1 - Plano de Trabalho desenvolvido pela bolsista.
Fonte: Formulário PIBIC (2023-2024). Material não publicado

| Plano de Trabalho | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Etapa | Mês | | | | | | | | | | | |
| | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago |
| 1 | x | x | | | | | | | | | | |
| 2 | | x | x | x | | | | | | | | |
| 3 | | | x | x | x | | | | | | | |
| 4 | | | | | | x | x | x | x | x | x | |
| 5 | | | | | | | | | | | x | x |

Arquitetura e construção são áreas interdisciplinares, envolvendo diversas áreas de engenharia para produzir estruturas com diferentes níveis de escala e complexidade. O setor de construção é cada vez mais desafiado a otimizar seu desempenho em termos produtivos e eficiência, reduzindo custos e minimizando o impacto ambiental. Por outro lado, novas tecnologias em ascensão estão possibilitando melhorias radicais no setor de construção. (Craveiro et al., 2016). Entre essas tecnologias destaca-se a impressão 3D. Este projeto alia a necessidade de constituição de estruturas para amparo à população de refugiados socioambientais, principalmente aqueles afetados pelas mudanças climáticas, nos ditos fenômenos climáticos intensos associados às chuvas e enxurradas.

O plano de trabalho do bolsista integra um projeto de pesquisa aprovado pela CAPES,

com duração de 3 anos (cuja extensão em mais um ano tramita na CAPES). Dessa forma o bolsista selecionado atuará em conjunto com mestrando, doutorandos e outros pesquisadores na definição de uma solução para composição de Acampamentos Temporários Planejados baseados em impressão 3D.

A bolsista (Vitória Neves), nessa primeira etapa do projeto, deverá cumprir as seguintes atividades:

- 1) Apoio ao levantamento do estado da arte da impressão 3D e suas aplicações em construções, estruturas itinerantes e das estruturas necessárias para compor o ATPs.
- 2) Possibilidade de uso de materiais e incorporação de resíduos na impressão 3D.
- 3) Levantamento de equipamentos e possibilidades tecnológicas.
- 4) Proposta de plano para viabilização da impressão 3D a partir de tecnologias de baixo custo ou com colaboração com outros setores da UFSC.
- 5) Elaboração de relatórios e publicações no tema.

Os objetivos principais contidos nesse plano foram desmembrados em tarefas menores organizadas em etapas de progressão que visavam alcançar os resultados finais. Resultando nas seguintes etapas:

Etapa 1: Apoio ao levantamento do estado da arte da impressão 3D com terra e suas aplicações em construções;

Nesse período foi realizada uma revisão aprofundada que visava compreender o estado da arte da impressão 3D no Brasil e no Mundo.

Nessa etapa buscou compreender as etapas básicas para uma construção convencional com uso da metodologia da impressão 3D. Alinhando a busca pelo uso dos materiais naturais, principalmente com terra. Assim, foi possível ter um panorama geral do assunto, despertando questionamentos e análises de implantação do método construtivo em questão.

Ademais, foi feito um levantamento das maneiras de construir com terra, buscando analisar possibilidades de ferramentas, misturas e técnicas que poderiam ser aplicadas na futura impressão, além do conhecimento geral dos usos do material utilizado na pesquisa.

Etapa 2 : Possibilidade de uso da terra como materiais e incorporação de resíduo na impressão 3D

Através da revisão bibliográfica anteriormente feita, buscou-se entender quais características dos materiais são vistas como positivas para a tecnologia que visamos utilizar,

a impressão 3D.

Visando as futuras etapas de testes com o material propriamente extraído do local de estudo, foram realizadas duas visitas de campo buscando definir a área de estudo, uma a Tubarão-SC e outra a José Boiteux-SC, nessas visitas o grupo buscou compreender o local, analisar os impactos e a organização da comunidade existente.

Em seguida, foi definido o local de estudo em José Boiteux, voltado a comunidade indígena que sofre com um histórico de cheias, alagamentos e deslizamentos, inserida num cenário complexo de relações direta com a qualidade do solo, fortes chuvas e barragens construídas no local. Outros fatores também contribuíram para a escolha, devido ao período de trabalho na defesa civil da doutoranda Susana, cuja qual tem propriedade de conhecimentos importantes sobre a área estudada. Ela também teve papel crucial no levantamento de dados de desastres em âmbitos nacionais e principalmente em Santa Catarina pelos mesmos motivos.

Consequentemente, após levantamento desses dados, a bolsista trabalhou ativamente no desenvolvimento de gráficos que visavam encontrar padrões comportamentais dos desastres naturais e tecnológicos ocorridos em diferentes períodos, considerando antes do período pandêmico, e após ele. Foram gerados gráficos com análises entre 9 anos, 5 anos e anualmente. Também foi possível compreender as tipologias determinadas pela COBRADE, às complexidade dos termos enxurradas, cheias e alagamentos e assim analisar as tipologias e a frequência dos eventos mais recorrentes no país visando encontrar um padrão comportamental para gerar possíveis futuras prevenções.

Vale citar que essa etapa foi uma das principais, cuja nela tivemos conhecimento da s necessidades, dos princípios e das limitações que a comunidade compartilha, após a ida de campo, tivemos acesso a organização de um acampamento temporário os quais estavam provisoriamente instalados, respostas de um questionário previamente organizado, além do material devidamente extraído e de documentos que resultaram em estudos da área.

Etapa 3 :Levantamento de equipamentos e possibilidades tecnológicas.

Paralelamente a estes, foi realizado um documento com análises prévias de ensaios indispensáveis para conhecer as características do solo . Nesse momento, houve desde pesquisas e investimentos a novas ferramentas, até o contato com professores ativos na área de solos e seus respectivos laboratórios que contêm as devidas condições de realizar testes mais complexos que pudessem vir a ser necessários.

Após a retirada do material, foi iniciada a etapa de testes para reconhecer e caracterizar o solo. Nesse período a bolsista participou ativamente das etapas de secagem, granulometria e criação de traços para corpos de prova.

Nessa etapa foi possível conhecer as características do solo, e como consequência analisar a viabilidade de uso nas construções. Ademais, a busca de viabilizar a realização do

projeto de acampamento temporário com a impressão 3D de terra esteve presente ainda mais nessa etapa. Foi quando o grupo começou a sistematizar e levantar diferentes maneiras de tornar o projeto exequível dentro do cenário atual, desde matéria prima, tecnologia e questões levantadas da comunidade.

Paralelamente a isso, o grupo de pesquisa realizou algumas publicações que relacionam a pesquisa final, a bolsista contribuiu com a publicação de dois desses artigos, sendo : “Análise Global e Regional do Estado de Santa Catarina de Desastres Naturais” cuja relaciona as análises dos desastres citadas anteriormente dentre outras e o “Design Emergencial: Alternativas de Mobiliários” que levanta alternativas para tornar os abrigos temporários com maior habitabilidade gerando a sensação de pertencimento ao espaço, preservando a privacidade, segurança e organização do espaço por meio de mobílias feitas de papelão.

Etapa 4: Proposta de plano para viabilização da impressão 3D a partir de tecnologias de baixo custo ou com colaboração com outros setores da UFSC.

Nessa etapa foi feito um levantamento dentro do campus da Ufsc que buscava identificar a presença da tecnologia 3D e como ela está, ou não, inserida nos diferentes laboratórios da universidade. Esse levantamento foi importante para analisar a possibilidade de viabilidade de futuras impressões.

Dado o alto custo desses maquinários, como impressoras e braços robóticos, os resultados foram considerados limitadores. Tendo em vista a presença de impressoras 3D de modelos restritos, imprimindo apenas um tipo de material, normalmente plástico, além da limitação de escala, normalmente desenvolvendo produtos de até 15 cm. Como Pronto 3D, Laboratório de mecânica e até mesmo o próprio Virtuhab.

Ademais, o próprio levantamento realizado na UFSC, demonstrou quão complexo e rara é a relação desses maquinários com os laboratórios, tendo em vista que, os laboratórios que possuem muitas vezes não possuem materialidade suficientes para estudos e muitas vezes o empréstimo desses bens não são realizados a projetos de outro núcleo ou departamento, dificultando o avanço tecnológico de pesquisas no campus.

Assim, foi necessária a busca por alternativas que pudessem substituir esses maquinários ainda possibilitando a técnica construtiva. Nessa etapa, a bolsista juntamente com os demais integrantes do projeto sugeriram materiais extrusores que pudessem ser utilizados para testes em protótipos menores formando espécie de blocos, sendo encaixáveis, empilháveis ou não, que pudessem ser transportados para o local de estudo, a comunidade indígena de José Boiteux.

3.1 POSSIBILIDADES DE FERRAMENTAS/ SUGESTÕES

Através do referencial teórico realizado sobre a impressão 3D e os custos dos maquinários existentes, foi possível concluir que, embora a tecnologia seja um avanço nos níveis tecnológicos construtivos, há desafios na implementação e no acesso aos maquinários, que possuem custos altíssimos.

Embora a busca por alternativas voltadas à redução de custos dos maquinários esteja crescendo e resultando em projetos premiados, como o caso do RepRap, o maquinário auto-replicável foi eleito o objeto impresso em 3D mais significativo em 2017.

Para os princípios de análise e estudo dessa pesquisa, foi necessário realizar um levantamento de ideias e sugestões que pudessem ser utilizadas para concluir os preceitos projetuais. Dadas as limitações de dimensões presentes, pensou-se em uma espécie de módulo empilhável, que, construído em uma escala reduzida, poderia ser realizado até por ferramentas manuais.

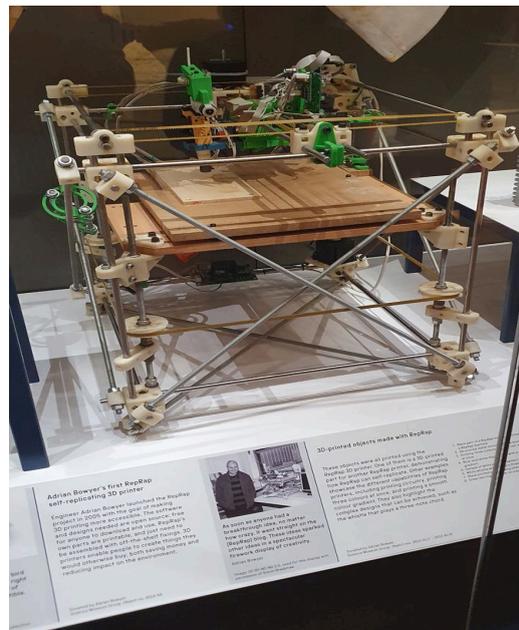


Figura 38: Primeira máquina RepRap está em exposição no Museu da Ciência em Londres
fonte: RepRap (2024)

Dessa forma, é necessário pensar em alternativas e ferramentas que atendam e alcancem resultados benéficos em uma escala reduzida de custos. Logo, foi pensada uma série de maquinários que realizem a extrusão do material, os quais deveriam ter porte reduzido para possibilitar o transporte até a comunidade indígena em José Boiteux. Imagina-se desde moedores de carne até sacos de confeiteiros para dar início aos testes dos módulos. Nessas buscas de maquinários extrusores foi conhecido máquinas de menor porte, essas são normalmente usadas para desenvolvimento de meio fio, e utilizam como materialidade o concreto. Embora tais levantamentos foram de extrema importância para iniciar a produção dos módulos de encaixe no laboratório, estes foram realizados por uma extrusora de silicone

manual, ainda é necessário seguir buscando alternativas ou até mesmo desenvolvendo maquinários que atendam as necessidades para execução do projeto.

Foi encontrado diversas referências Pode-se pensar em uma estrutura que imita um compasso, extrusores ligados a mangueiras ou até mesmo em viabilizar uma impressora de argila, como encontrado no departamento da mecânica.

Tabela 4: Levantamento de ferramentas extrusoras.

| | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
|  | Moedor de carne |  <p>21 bocais em</p> | extrusora de silicone |
|  | Extrusora de argila |  | sacos de confeiteiros |
|  | Extrusora de concreto |  | Transportadora Industrial |

Fonte: Desenvolvido pelo autor (2024).

Etapa 5: Elaboração de relatórios e publicações no tema.

Nessa etapa foi possível participar de diversos eventos, como a SEPEX, o Simpósio de Design Sustentável (SDS) e o Encontro de Sustentabilidade ENSUS, e realizar publicações relevantes sobre os sistemas que estavam sendo desbravados. Foram realizados e publicados dois artigos: o primeiro, referente aos registros dos desastres naturais no Brasil e no mundo; o segundo, focado na organização dos acampamentos, com ênfase em mobiliários feitos de papelão para promover a habitabilidade das comunidades afetadas por desastres. Além disso, a participação no ENSUS em Belo Horizonte e SEPEX contribuiu para o avanço no projeto de pesquisa.

4. RESULTADOS

4.1 IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS DE DESASTRES EM SANTA CATARINA

A partir dos dados gerados pela COBRADE, foi possível desenvolver análises comportamentais dos desastres de cunho natural no Brasil e mantendo o foco no estado de Santa Catarina, em primeira instância foi analisado um cenário amplo de 9 anos partindo de 2014 a 2022, em seguida foi inserido um filtro para o período de 5 anos, partindo de 2018 a 2022.

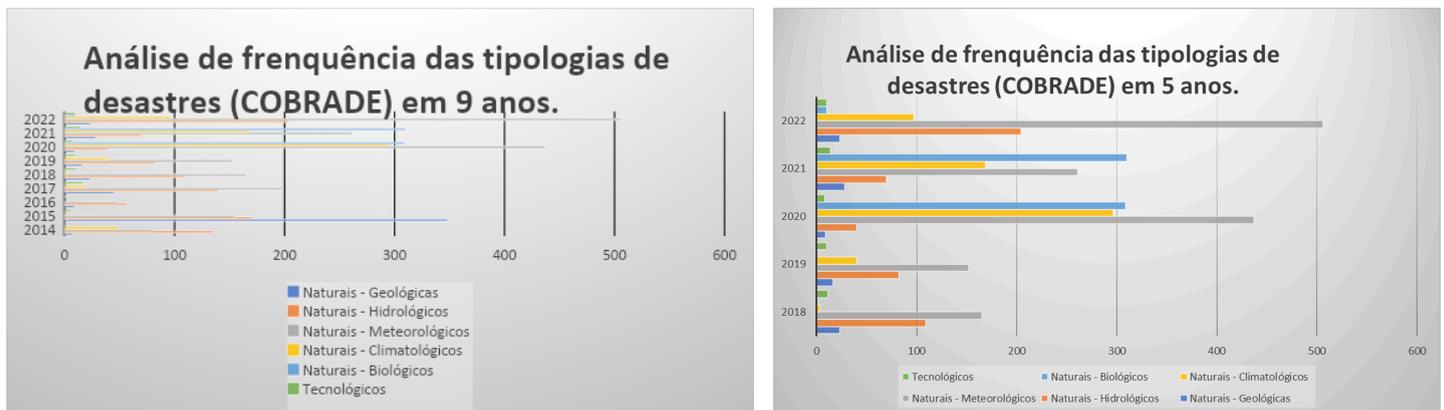


Figura 39: Análises das tipologias de desastres no Brasil em 9 e 5 anos.
Fonte: Dados COBRADE desenvolvidos pelo autor (2023)

A fim de não comprometer a análise geral, os dados levantados em 2023 não entraram para as análises, afinal esse levantamento foi realizado durante o decorrer desse período, podendo intervir e influenciar na análise geral.

Ademais, além dos gráficos que demonstram o somatório dos eventos de cada tipologia, como consequência a sua frequência em um recorte do tempo, foram realizados gráficos pizza para cada uma desses grandes grupos de tipologias, podendo visualizar e compreender quais evento foram recorrentes no país, buscando reconhecer as categorias a fundo e compreender onde o cenário brasileiro se encontra mais fragilizado contendo déficits e enfrentando dificuldades para lidar com o desastre natural.

Na figura 40 exemplifica-se tais gráficos com os eventos Naturais Geológicas compostos por: Tremor de terra, Quedas, tombamentos e rolamentos (blocos, lascas, matações ou lajes), Deslizamentos de solo e/ou rochas, Corridas de massa (solo/lama),

Corridas de massa (rocha/detrito), Subsídências e colapsos, Erosão costeira/Marinha, Erosão de margem fluvial e Erosão continental (Ravinas, Laminar ou Boçorocas).

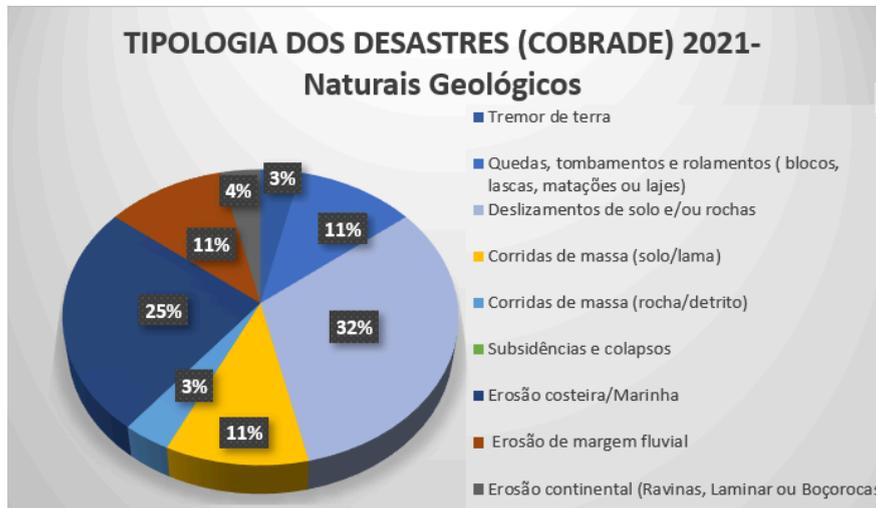


Figura 40: Desastres Naturais Geológicos, análise em 2021
Fonte: Defesa Civil, elaborado pelo autor (2023).

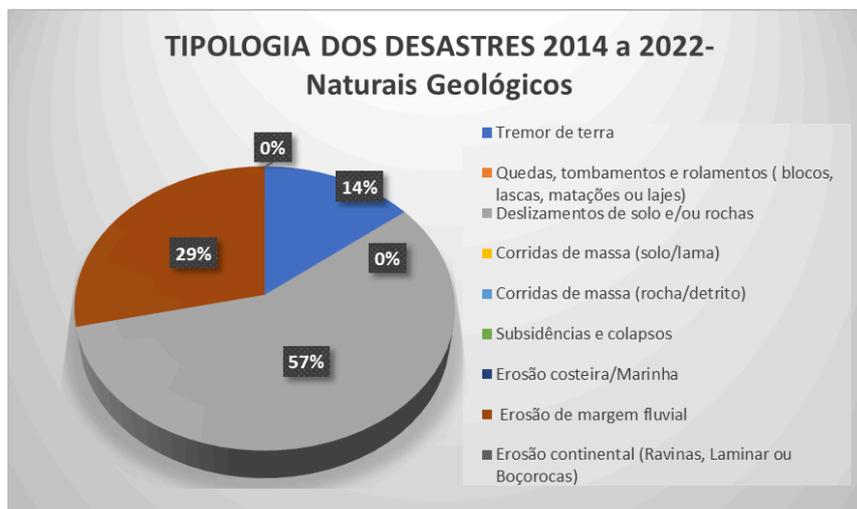


Figura 41: Desastres Naturais Geológicos, análise em 5 anos.
Fonte: Defesa Civil, elaborado pelo autor (2023).

Analisando a fundo os eventos em cada ano e posteriormente num período de 5 anos, foi possível compreender as diferentes nomenclaturas dos eventos em cada uma das tipologias, como exemplo os denominados hidrológicos, que possuem três classes diferentes que tendem a serem confundidas e compactadas como se fosse um único evento, elas são: enxurradas, alagamento e inundações.

De acordo com a COBRADE, as inundações são a submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas, transbordando de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície. As enxurradas são definidas como o escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado, caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial, apresentando grande poder destrutivo. Por fim, os alagamentos é quando ocorre a extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.

Nas figuras 42 e 43, é possível identificar os termos e sua frequência em 5 anos e em 2022.



Figura 42: Desastres Naturais Hidrológicos análise em 5 anos
Fonte: Defesa Civil, elaborado pelo autor. (2024)

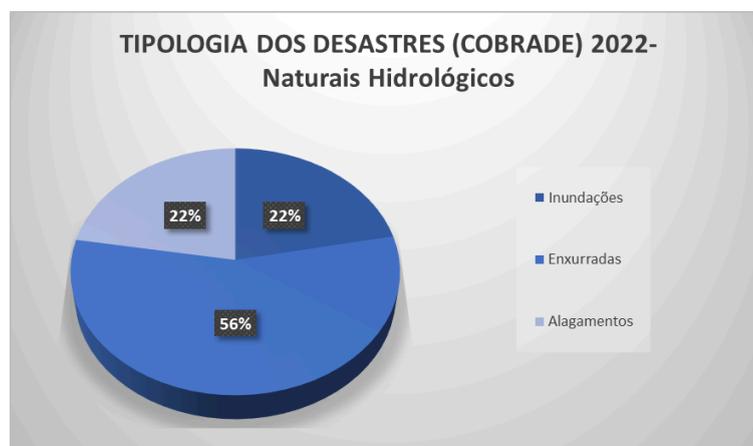


Figura 43: Desastres Naturais Hidrológicos em 2022.
Fonte: Defesa Civil, elaborado pelo autor. (2024)

Após a realização desses gráficos foi possível comparar os números de eventos, suas tipologias e características mais frequentes podendo concluir que o país se encontra em vulnerabilidade por diversos âmbitos climáticos e naturais, devido sua grande extensão e variedade de clima, os eventos de desastres tem uma ampla categorização que é bastante plural, variando para cada região. Embora imaginemos que o sul esteja diretamente ligado às questões voltadas a fortes chuvas e o nordeste interligado com a seca e estiagem, para conhecer e compreender de fato essas informações foi preciso analisar dados do Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, a fim de entender o cenário do brasil no mundo, além de caracterizar e mapear os estados e suas circunstâncias relacionando os eventos e afetados.

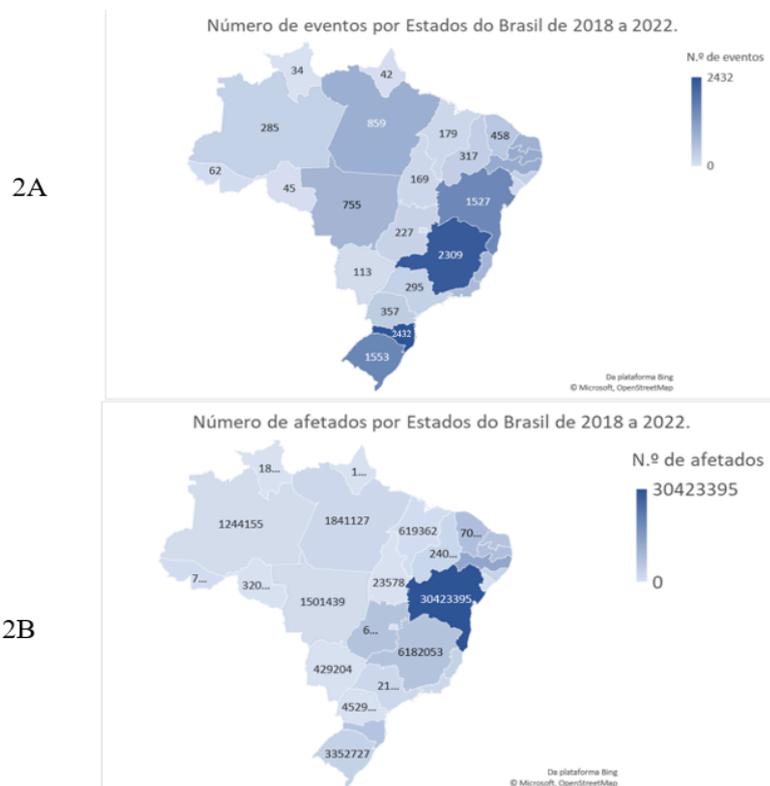


Figura 44: Somatório de desastres naturais climatológico, geológico, hidrológico, meteorológico do período de 2018 a 2022.

Fonte: Defesa Civil Nacional elaborado pelo autor(2024)

Através desse gráfico, destaca-se Santa Catarina com o maior número de eventos.

| Posições | Estados | Maior N.º de Eventos | N.º de Afetados |
|----------|-------------------|----------------------|-----------------|
| 1 | Santa Catarina | 2432 | 5972014 |
| 2 | Minas Gerais | 2309 | 6182053 |
| 3 | Rio Grande do Sul | 1553 | 3352727 |
| 4 | Bahia | 1527 | 30423395 |
| 5 | Pernambuco | 939 | 12465725 |

Figura 45: Tabela dos desastres naturais no Brasil do período de 2018 a 2022.
 Fonte: Defesa Civil Nacional, elaborado pelo autor (2024)

Portanto, após conhecer o cenário mundial e nacional, foi possível alinhar o foco para o Estado de Santa Catarina e assim identificar cidades que ocorrem maior número de eventos e suas tipologias.

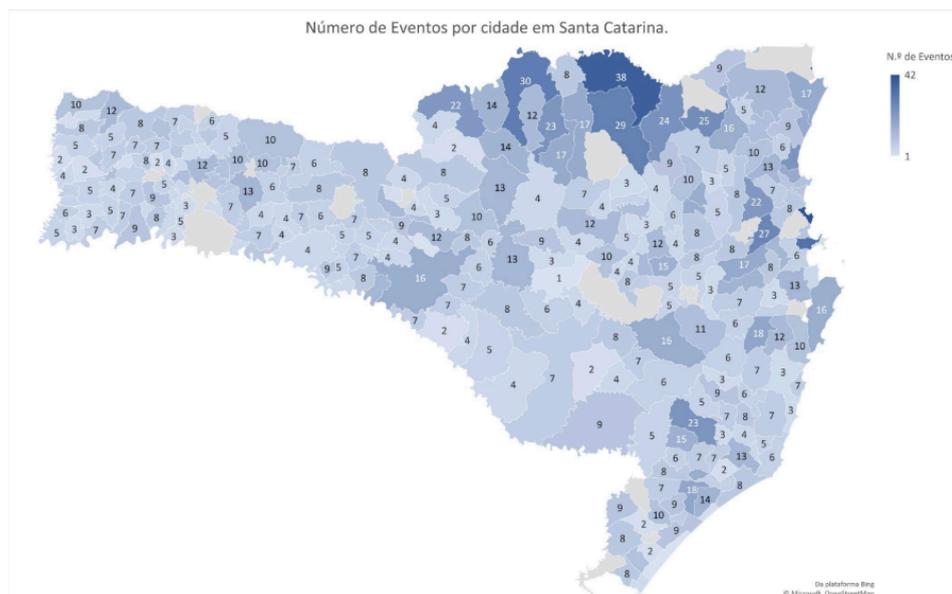


Figura 46: Eventos por cidade em Santa Catarina.
 Fonte: Atlas, elaborado pelo autor.(2024)

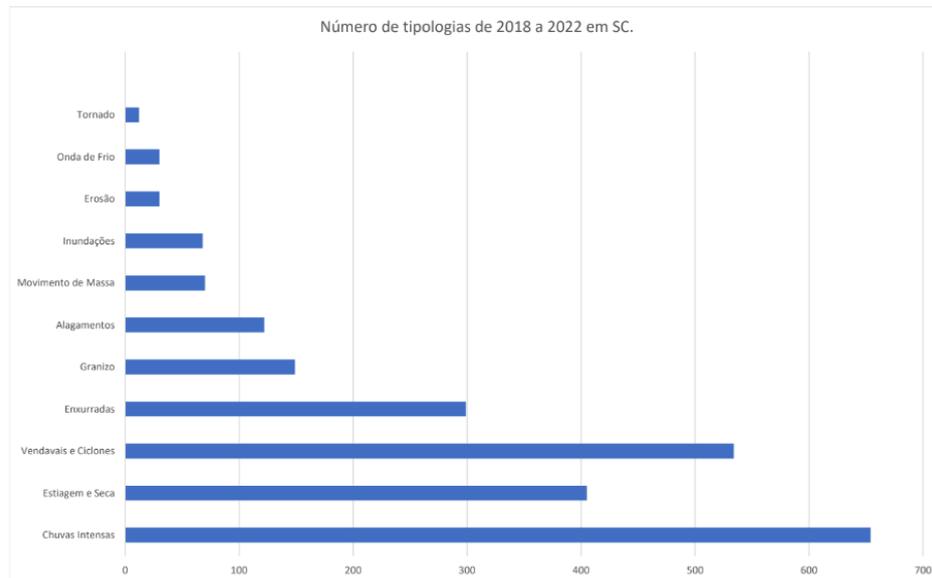


Figura 47: Frequência de tipologias de desastres em Santa Catarina.
Fonte: Atlas, elaborado pelo autor.(2024)

Como esses resultados foram de suma importância, um artigo foi publicado e apresentado no evento de sustentabilidade ENSUS, realizado na Universidade Federal de Minas Gerais em Belo Horizonte em agosto de 2024. O artigo "Análise Global e Regional do Estado de Santa Catarina de Desastres Naturais", foi destaque por sua linguagem clara, objetiva e visual, que obteve análises pertinentes da relação de números de eventos e número de afetados.

Através desses estudos, compreendemos que o número de afetados não está diretamente ligado ao número de eventos, mas sim a quantidade de população vulnerável aos impactos, além do conhecimento do cenário mundial, nacional e estadual. Dessa forma, é possível identificar e pensar em propostas de abrigo emergenciais mais assertivas visando as peculiaridades de cada área do Brasil, iniciando por Santa Catarina onde a pesquisa busca atuar. Com esses dados é possível criar previsões de eventos que possam ocorrer nas cidades e buscar formalizar planos que contenham riscos e auxiliem as populações afetadas.

4.2 PRINCIPAIS ENSAIOS E PROCEDIMENTOS PARA ENTENDER O MATERIAL

Conforme analisado no referencial teórico, a terra possui características próximas aos do concreto, entretanto, há uma grande diversidade de solos contendo peculiaridades, sendo necessário assim a realização de uma sequência de testes, sendo eles laboratoriais a fim de

compreender e obter a caracterização do solo.

Através dessa caracterização é possível analisar possíveis dificuldades em desempenho do material e prever por meio de composições o melhor desempenho mecânico. O material foi devidamente extraído com a autorização dos chefes da comunidade indígena, com a análise de uma possível instalação dos ATPS (Acampamentos temporários) nas proximidades devido aos fatores como topografia e localização, o material foi retirado nas proximidades da barragem norte em José Boiteux, sendo separado e carregado em grandes sacos a fim de preservar seu caráter natural de umidade.



Figura 48: Extração dos materiais próximo a barragem norte.
Fonte: galeria do autor (2023).

Além disso, através dessa visita a campo, guiada pela defesa civil, o grupo teve diversos encontros com caciques e uma comunicação direta com a comunidade, pudemos obter um panorama geral dos desafios que se enfrentam nesta região, desde os relacionados aos desastres, sejam cheias ou deslizamentos de terra até as políticas públicas. Foi contextualizado ao grupo a presença de diferentes aldeias naquela área, que são : Toldo, Coqueiros, Barragem, Palmeira, Kooplág, Figueira, Pavão, Sede, Takuaty e Bugio.

Devido a calamidade encontrada em casas afetadas por desastres naturais, foi percebido um desejo de ocupação de algumas aldeias em uma área denominada Serra verde, onde o declive e a exposição às cheias seria menor. Coube ao grupo de pesquisa uma análise da viabilidade ambiental dessa área, realizado pela doutora Suzana e bolsista Lara.



Figura 49:: Visita de campo em José Boiteux.
Fonte: galeria do autor(2023)

Com o material devidamente extraído do local de estudo partiu para a preparação das amostras conforme a NBR 6457, as etapas de preparação das amostras 5 fases que incluem a secagem em estufa e pesagens sendo elas:

1. Separação das amostras retirada das galharias maiores;
2. Pesagem inicial;
3. Posicionamento das formas e secagem de 150 graus a 24 horas;
4. Pesagem após secagem;
5. Destorroamento do solo.

No quadro foi possível elencar tais passos e imagens respectivas.

| IMAGEM | ETAPA | DESCRIÇÃO |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | RETIRADA GALHARIAS | Para iniciar as etapas de sacanagem, foi retirado as galharias maiores que estavam presentes. Visando otimizar a secagem na estufa. |
|  | PESAGEM | A pesagem inicial foi realizada de duas maneiras, inicialmente para conhecimento de quantidades da materialidade extraída, foi possível separar em formas o solo para inserir na estufa para secagem |
|  | SECAGEM EM ESTUFA | A secagem foi realizada em 150 graus por 24 horas. Nesta etapa foi possível analisar a diferença no peso das amostras antes e após secagem. |
|  | DESTORROAMENTO | Após retirar a materialidade da estufa e fazer as pesagens, passamos para o destorroamento, cuja o material foi pressionado por socador manualmente, destorroando o solo compactado. |

Fonte: elaborado pelo autor.(2024)

Com os dados dessa etapa, foi possível formular uma tabela de controle que contém uma média de líquido perdido após as secagens das amostras. Sempre desconsiderando o peso das formas utilizadas para secagem.

| Amostras | | APÓS SECAGEM | |
|----------------------------------|--------------|--------------|--------------------|
| Numero | Peso (g) | Peso (g) | total de água (ml) |
| 1 | 500 | 320 | 180 |
| 2 | 500 | 345 | 155 |
| 3 | 500 | 298 | 202 |
| 4 | 500 | 298 | 202 |
| 5 | 500 | 298 | 202 |
| 6 | 1000 | 590 | 410 |
| 7 | 1000 | 585 | 415 |
| 8 | 1000 | 595 | 405 |
| 9 | 1000 | 650 | 350 |
| 10 | 1000 | 655 | 345 |
| 11 | 1000 | 635 | 365 |
| 12 | 1000 | 610 | 390 |
| 13 | 1000 | 610 | 390 |
| Σ - Total | 10500 | 6489 | 4011 |
| MÉDIA DE ÁGUA POR AMOSTRA | | | 308,54 |

Figura 50: Descrição de etapas da preparação das amostras
Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Após essa etapa, foi iniciado o processo da granulometria, como explicado no referencial, é utilizado um conjunto de peneiras, balança e mesa vibratória, ou caso não concisa da mesa é possível realizar o peneiramento manual. O conjunto de peneira utilizado se trata dos elementos miúdos, tendo em vista a ausência de grandes pedregulhos no solo.

Nesse teste, as peneiras são encaixáveis e empilháveis da maior abertura para a menor, finalizando com um fundo que serve como contenção do material. Após a inserção do material seco na peneira de maior abertura, a sequência das peneiras são dispostas em uma mesa vibratória, que permite a agitação das partículas do solo, separando assim cada material respectivo a cada peneira. Após a conferência da passagem do material completamente em todas as peneiras, o conjunto é desagrupado e levado para a pesagem, onde são retirados a tara da forma, e pesado apenas a quantia de material retido em cada abertura.

Devido a limitação da materialidade, o grupo buscou realizar testes de caracterização em um aterro próximo do laboratório de estudo, localizado no Departamento de Arquitetura da UFSC, essa decisão foi visando maior liberdade e experimentação em misturas considerado para usar como meio de comparação a fim de facilitar e agilizar o processo de viabilização dos módulos em José Boiteux,

Sendo assim, após o ensaio das 4 amostras ,sendo duas análises com o solo extraído em José Boiteux, e outras duas amostras retiradas do aterro próximo ao laboratório (solo ARQ), foi construído uma tabela a modelo que contém as fórmulas de cálculo necessárias para encontrar a porcentagem retida, respeitando a variação determinada pela NBR 7181 além

da porcentagem média, porcentagem retira e módulo de finura e A dimensão máxima característica (DMC).

Para calcular a massa retida em porcentagem, é necessário a quantidade contida na peneira pela quantidade de matéria da amostra /100. A variação é produto da subtração das massas retidas em módulo de cada amostra. Para calcular a porcentagem média é a soma das massas retidas das amostras divididas pelo número delas e a porcentagem acumulada se dá pelo valor da média somado a porcentagem acumulada anterior, sendo a última peneira analisada os 100%.

| | Abertura das peneiras | MASSA RETIDA EM (g) | | MASSA RETIDA EM % | | VARIÇÃO ± (4%) | MÉDIA (%) | ACUMULADA (%) |
|------------------|-----------------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|----------------|------------------------|---------------|
| | | 300 | 300 | AMOSTRA 1 | AMOSTRA 2 | | | |
| | | AMOSTRA 1 | AMOSTRA 2 | AMOSTRA 1 | AMOSTRA 2 | | | |
| AGREGADO GRAUADO | 75 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 63 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 50 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 37,5 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 31,5 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 25 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 19 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 12,5 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 9,5 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6,3 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| AGREGADO MIÚDO | 4,75 mm | 20 | 20 | 6,67 | 6,67 | 0,00 | 6,67 | 6,67 |
| | 2,36 mm | 50 | 50 | 16,67 | 16,67 | 0,00 | 16,67 | 23,33 |
| | 1,18 mm | 65 | 60 | 21,67 | 20,00 | 1,67 | 20,83 | 44,17 |
| | 0,600 mm | 55 | 55 | 18,33 | 18,33 | 0,00 | 18,33 | 62,50 |
| | 0,300 mm | 50 | 55 | 16,67 | 18,33 | 1,67 | 17,50 | 80,00 |
| | 0,150 mm | 30 | 35 | 10,00 | 11,67 | 1,67 | 10,83 | 90,83 |
| Fundo | 30 | 25 | 10,00 | 8,33 | 1,67 | 9,17 | 100,00 | |
| Σ - Total | | 300 | 300 | 100,00 | 100,00 | | | |
| | | | | | | | Módulo de Finura (MF): | DMC |
| | | | | | | | 3,08 | 4,75 mm |

Figura 51: Tabela granulometria solo ARQ
Fonte: elaborado pelo autor(2024)

| | Abertura das peneiras | MASSA RETIDA EM (g) | | MASSA RETIDA EM % | | VARIÇÃO ± (4%) | MÉDIA (%) | ACUMULADA (%) |
|------------------|-----------------------|---------------------|-----------|-------------------|-----------|----------------|------------------------|---------------|
| | | 300 | 300 | AMOSTRA 1 | AMOSTRA 2 | | | |
| | | AMOSTRA 1 | AMOSTRA 2 | AMOSTRA 1 | AMOSTRA 2 | | | |
| AGREGADO GRAUADO | 75 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 63 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 50 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 37,5 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 31,5 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 25 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 19 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 12,5 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 9,5 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6,3 mm | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| AGREGADO MIÚDO | 4,75 mm | 25 | 25 | 8,33 | 8,33 | 0,00 | 8,33 | 8,33 |
| | 2,36 mm | 60 | 90 | 20,00 | 30,00 | 10,00 | 25,00 | 33,33 |
| | 1,18 mm | 70 | 75 | 23,33 | 25,00 | 1,67 | 24,17 | 57,50 |
| | 600 µm | 55 | 45 | 18,33 | 15,00 | 3,33 | 16,67 | 74,17 |
| | 300 µm | 40 | 30 | 13,33 | 10,00 | 3,33 | 11,67 | 85,83 |
| | 150 µm | 30 | 25 | 10,00 | 8,33 | 1,67 | 9,17 | 95,00 |
| Fundo | 20 | 10 | 6,67 | 3,33 | 3,33 | 5,00 | 100,00 | |
| Σ - Total | | 300 | 300 | 100,00 | 100,00 | | | |
| | | | | | | | Módulo de Finura (MF): | DMC |
| | | | | | | | 3,54 | 4,75 mm |

Figura 52: Tabela granulometria solo José Boiteux,
Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Por fim, o módulo de finura é correspondente à soma dos percentuais acumulados das peneiras da série normal/100 (tabela 6) e o DMC é correspondente a abertura da peneira que o agregado possui porcentagem retida abaixo dos 5 %.

| Série normal | Série intermediária |
|--------------|---------------------|
| 4,75 | 3,35* |
| 2,36 | 1,70* |
| 1,18 | 850 μ m |
| 600 μ m | 425 μ m |
| 300 μ m | 212 μ m |
| 150 μ m | 106 μ m |
| 75 μ m | 53 μ m |

Tabela 6: Série de peneiras
Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Assim, foi possível obter a curva granulométrica que é traçada com os pontos da porcentagem do material versus essa dimensão de partícula, numa escala logarítmica. Foi utilizado a dimensão das partículas indicadas por Pinto(2006) conforme a norma.

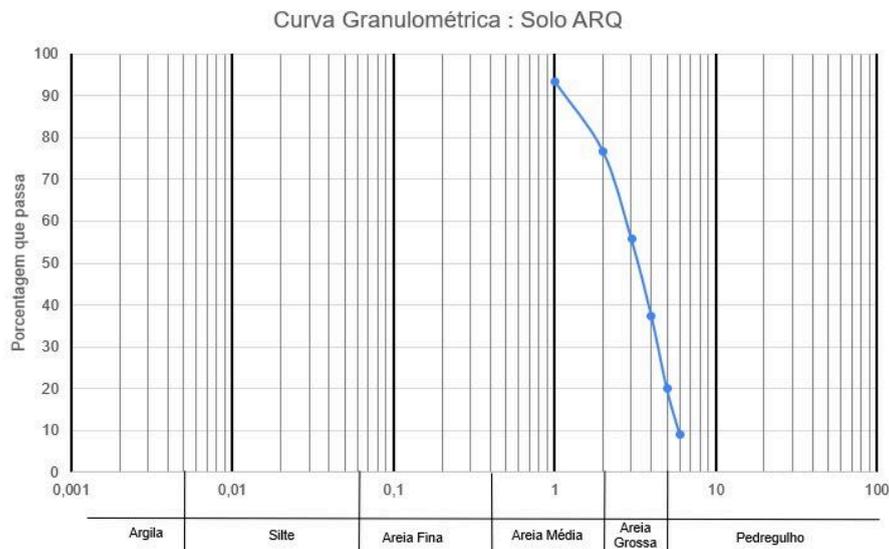


Figura 53: Curva Granulométrica solo Arq.
Fonte: elaborado pelo autor (2024)



Figura 54: Curva Granulométrica solo José Boiteux,
Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Assim, foi possível identificar semelhanças entre os solos analisados, além de uma caracterização majoritariamente arenosa com pouca presença de pedregulhos.

4.3 CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS E ALINHAMENTO DE PROPOSTAS

Após o conhecimento do cenário dos desastres, do local de intervenção e da caracterização do solo, foi realizada uma oficina com diferentes integrantes do grupo de

pesquisa, a equipe foi constituída desde iniciações científicas, voluntários a doutorandos e coordenadores. A oficina visou contribuir com o projeto discutindo e desenvolvendo protótipos de abrigo.

Para o desenvolvimento das ideias projetuais, apresentações foram realizadas contextualizando a todos os temas abordados contendo principais referenciais a fim de que as propostas desenvolvidas fossem coerentes e assertivas a comunidade indígena de Ibirama .

Os principais norteadores dos dimensionamentos foram dados obtidos pela defesa civil, referente ao número de famílias e quantidades de integrantes além dos indicadores de Carbonari (2021), apresentados no capítulo 2.3 deste relatório.

Após contextualização, os integrantes contribuíram ativamente no avanço do projeto, desde a implantação prévia, desenvolvimento de protótipos, análises de layout à implementação da impressão 3D na estrutura.

Baseado na psicologia ambiental, foram considerados a criação de espaços comunitários priorizando além dos espaços privativo e individuais, a criação de espaços comunitários que alimentem o convívio e a interrelação, utilizando materiais quentes como a madeira, buscando sensação de conforto além de linguagem “tradicional das casas”, buscando identificação e pertencimento ao espaço. .

Assim, a implantação sugerida tem carácter organizacional, trazendo a proximidade e união das casas permitindo ligação direta entre as famílias, embora ainda segregadas por núcleos maiores, se aproximando de uma organização das aldeias, conforme o modo de viver da comunidade indígena em José Boiteux.

Além disso, os equipamentos comunitários já presentes no local, a igreja e o ginásio, tornaram-se de uso coletivo para centros comunitários, triagens, sanitários, refeitórios e cozinhas, como devidamente indicado na figura 55. A fim de entendimento geral da área, a construção de maquetes foi realizada com o intuito de experimentação e análise da implantação geral.

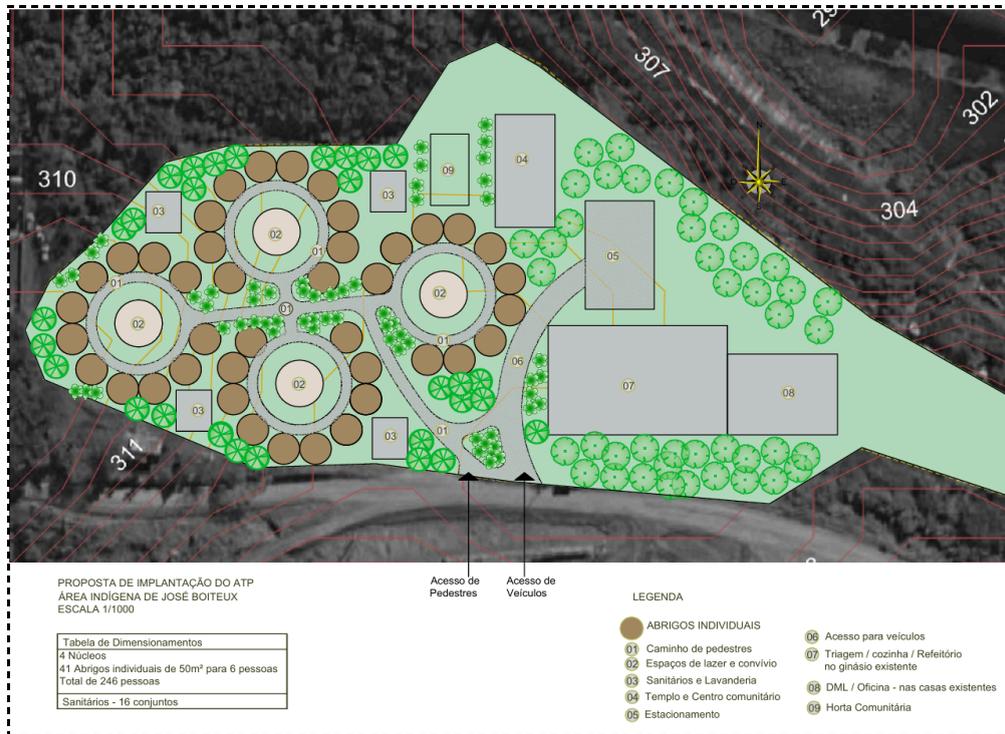


Figura 55: Implantação prevista para a área de estudo.
Fonte: elaborado pelos autores (2024)



Figura 56: Maquete de Implantação.
Fonte: elaborado pelos autores (2024)

Ademais, foram desenvolvidas duas propostas de abrigos temporários planejados

individuais, uma proposta circular, visando o uso da impressão 3D como uma espécie de grande compasso conforme referências contidas na figura 57. A proposta não conseguiu avançar em aspectos construtivos.



Figura 57: Impressora 3D modo compasso.
Fonte: Infográfico: a evolução da impressão 3D na arquitetura.

Porém a segunda proposta se trata de um formato triangular equilátero, que funciona como módulos e as diferentes junções desenvolvem habitações para número de pessoas diferentes, seis módulos criam um grande espaço hexagonal que possibilita maior flexibilidade e ajuste ao tamanho das famílias da comunidade indígena. Avançando assim para se debruçar em mais estudos e discussões.

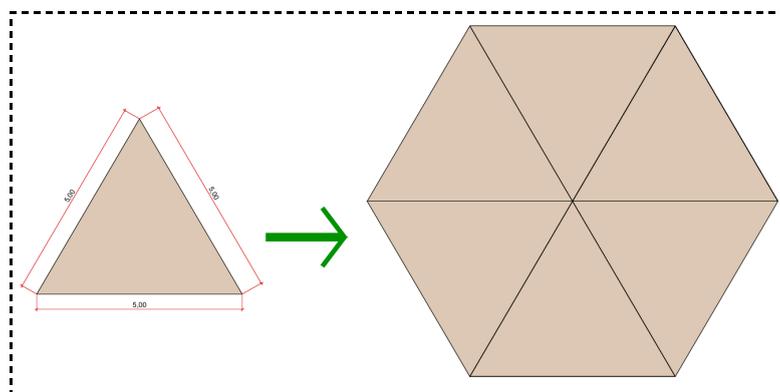


Figura 58: junção de seis módulos formam o espaço hexagonal
Fonte: elaborado pelos autores (2024)

A estrutura foi pensada em técnica mista utilizando a impressão 3D, o bambu e a

mistura de palha e terra. Devido às barreiras com relação às dimensões dos maquinários paralelo ao alto custo desses, a impressão 3d foi inserida em uma escala reduzida, transformando em módulos empilháveis que contêm e protegem a taquara de bambu juntamente com palha e terra, atuando no conforto térmico, acústico e de preservação dos materiais.



Figura 59: Maquete apresentando uso da impressão 3d na estrutura.
Fonte: elaborado pelos autores (2024)

Em seguida, foi analisado as formas que os módulos da estrutura deveriam ter para atender os encaixes entre os módulos triangulares (Figura 60) e flexibilizando os painéis de fechamento externo e interno. Assim foi pensando em diferentes aberturas formando dentes para encaixes de fechamento, desde divisórias internas com diferentes tramas de bambu conforme a figura 61, até paredes externas de fechamento feitas em taipa de mão.

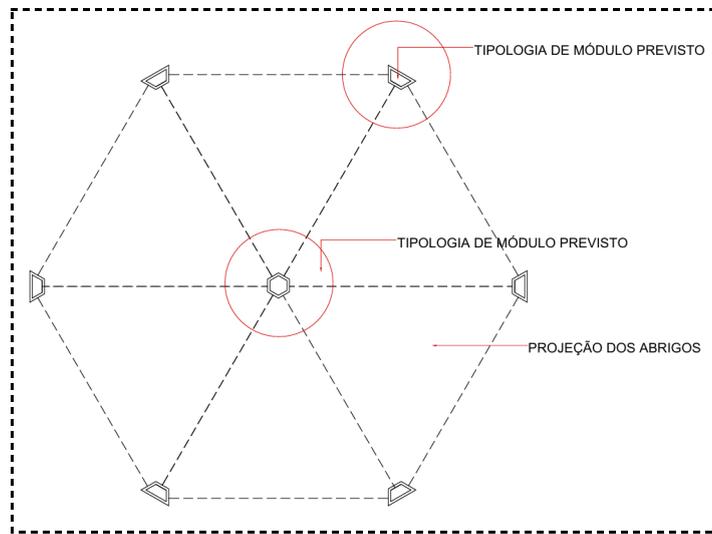


Figura 60: Planta baixa esquemática com a projeção do contorno dos abrigos e os módulos de conexão
Fonte: Elaborada pelas autoras(2024).



Figura 61: Diferentes aberturas para painéis em bambu.
Fonte: galeria do autor (2024)

Vale citar, que a proposta pode ser adequada para três cenários, i) o emergencial: construindo as estruturas e inserindo lona como fechamento, ii) o temporário: onde há divisórias internas e fechamentos internos mantendo a lona apenas como cobertura, utilizando mobiliários em papelão e iii) o permanente: inserindo uma cobertura fixa e inserindo mobiliários internos feitos em cob.

Nessa proposta, houve uma preocupação com a estrutura da cobertura, inicialmente as coberturas eram individuais para cada módulo triangular, a estrutura variava sua altura criando uma espécie de declividade facilitando o caimento da chuva e possível instalação de tratamento de água, entretanto, essa proposta foi sendo discutida e analisada em conjunto com o grupo, que concluiu que seria interessante propor uma grande cobertura única que abrange os módulos unidos, e fechamentos básicos sobre cada módulo triangular.

Posteriormente, foi levantada a questão do custo de realizar uma estrutura externa para a cobertura, surgindo assim a TOVA como referência, que utiliza de aberturas das próprias paredes como apoio para uma estrutura da cobertura, resolvendo a circulação de ar, custos e proteção das paredes de intempéries.



Figura 62: Detalhes da cobertura Tova .
Fonte: IAAC (2022)



Figura 63: Sugestão de cobertura protótipo .
Fonte: elaborado pelos autores (2024)

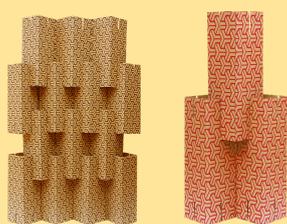
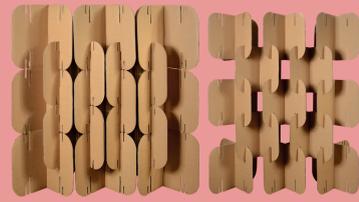
Ademais, os mobiliários de papelão foram fruto de um levantamento realizado pela bolsista Vitória Neves e a doutoranda Mara Regina, que realizaram levantamento de

mobiliários a base de papelão no cenário comercial e educacional no Brasil e no mundo.

O artigo publicado Design Emergencial: Alternativas de Mobiliários teve como resultado uma seleção de mobiliários comercializados no Brasil para três categorias determinadas como principais: guardar, dividir e dormir, sendo determinado por cores relacionadas ao transporte, montagem, resistência e custo, sendo verde: eficiência ótima; amarelo: eficiência boa e vermelho: eficiência razoável. (Tabela 7)

O transporte foi priorizado por produtos já comercializados e desenvolvidos no Brasil, a montagem foi critério rigoroso de seleção, exigindo a existência de manuais passo a passo, enquanto a resistência foi comparada em relação aos custos, prevendo um tempo útil de duração para a móvel. Além de referência para a pesquisa, o artigo também foi apresentado no Encontro de Sustentabilidade ENSUS 2024.

Tabela 7 - Seleção de mobiliários.

| GUARDAR | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MÓDULO | ESTANTE 1x2 | CUBO |
|  |  |  |
| Montagem: em 1 Min Dimensões: 40x40x40 cm Peso: 3Kg Suporta: 10 Kg Preço: R\$ 34,90 | Montagem: em 2 min Dimensões: 41x40x81 cm Peso: 7 Kg Suporta: 20 Kg Preço: R\$ 79,90 | Montagem: em 1 Min Dimensões Internas: 30x30x30 cm Peso: 1.8 Kg Suporta: 3 Kg por cubo Preço: R\$ 24,90 por Cubo |
| DIVIDIR | | |
| DIVISÓRIA PRISMA GRANDE | DIVISÓRIA PRISMA QUIMERA | DIVISÓRIA ELIPSE |
|  |  |  |

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Montagem: 1 Min por m ² Dimensões: 45x45x45 cm Peso: 350g 1m² Montagem fechada: 6 und Preço: R\$ 6,00 | Montagem: 2 Min por m ² Dimensões: 15x15x45 cm Peso: 150 g 1m² Montagem fechada: 16 und Preço: R\$ 3,00 | Montagem: 2 Min por m ² Dimensões Internas: 47x36 cm Peso: 150 g 1m² Montagem fechada: 26 und 1m² Montagem aberta: 20 und Preço: R\$ 3,00 |
| DORMIR | | |
| CAMA DE SOLTEIRO FORTEBOX PADRÃO | CAMA 'PAPEL' - SOLTEIRO | CAMA 2.0 - SOLTEIRO |
|  |  |  |
| Tipo de papelão: Simples reciclável Dimensões: 198 x88x41 cm Peso: 21 Kg Suporta: 700 Kg Preço: R\$ 435,00 | Tipo de papelão: 7 mm Dimensões: 195x80x 29 cm Peso: 10 Kg Suporta: 200 Kg por m ² Preço: R\$ 363,00 + custos de importação | Tipo de papelão: ondulado Dimensões: 149 x 33 x 17 cm alt Peso: 11 Kg Suporta: 100 Kg Preço: R\$ 1.136,96 + custos de importação |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024) com base em Cartone Design , Fortbox, Karkent e RIAB.

Por fim, ainda na oficina foram elaborados testes manuais utilizando a extrusora de silicone, buscando analisar como a ferramenta se comporta e viabilizar a experimentação para formular os módulos da estrutura em escala reduzida para testes. Foram experimentadas com uma estrutura fixa (caixa de palitos) e à mão livre conforme visto na figura 64.



Figura 64: Experimentação da ferramenta .
 Fonte: elaborado pelos autores (2024)

Assim, considerando todo o conteúdo levantado no desenvolvimento do projeto, o módulo estrutural foi desenhado e levado para produção manual, além de análises 3D do mesmo. Seguindo o referencial levantado por Carbonari (2024) apresentado no capítulo 2.6, o material produzido foi feito com uma mistura de argila (comprada), areia (coletada no laboratório) e água, sem adição das fibras vegetais, seguindo proporção de 54% de argila comprada e 33% de areia coletada e 23% de água. É possível observar a composição das partes da materialidade utilizada na figura 65.

| Teste de composição para material de impressão dos módulos | | | | | |
|------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|------------|---------------------|----------------|
| Teste 1 | | | Teste 2 | | |
| Componente | Quantidade (gramas) | Quantidade (%) | Componente | Quantidade (gramas) | Quantidade (%) |
| Argila | 1060 | 70% | Argila | 777 | 54% |
| Areia | 318 | 21% | Areia | 333 | 23% |
| Água | 137,8 | 9% | Água | 332 | 23% |
| TOTAL | 1515,8 | 100% | TOTAL | 1442 | 100% |

Figura 65: Dados testes de composição para material de impressão.
Fonte: Elaborado pelas autoras.

A escala utilizada foi 1:10, ou seja, dez vezes menor que a real, baseado na espessura da camada de um módulo real, previsto 5 centímetros, e os aspectos físicos da ferramenta com bico de abertura de 0,5 cm, designou a escala. Os desenhos dos módulos foram impressos em escala reduzida em papel comum, e a construção dos protótipos foi iniciada, extrudindo a terra sobre as folhas de acordo com o desenho.

Durante o processo, alguns desafios surgiram: o bico da extrusora obstruía frequentemente, houve instabilidade nas mãos ao tentar manter a extrusão uniforme, e houve dificuldades em alinhar as camadas sem deslocamentos. Além disso, os formatos dos módulos, com encaixes pontiagudos, exigiam interrupções na extrusão, o que aumentava a possibilidade de erros. Este problema não é comum através do uso de um maquinário mais adequado, como uma impressora 3D.

Apesar das dificuldades, o módulo foi concluído. O resultado final apresentou um objeto com pouca precisão e estabilidade, mas considerado satisfatório pela equipe, que pretende continuar experimentando novos métodos de impressão para o projeto.

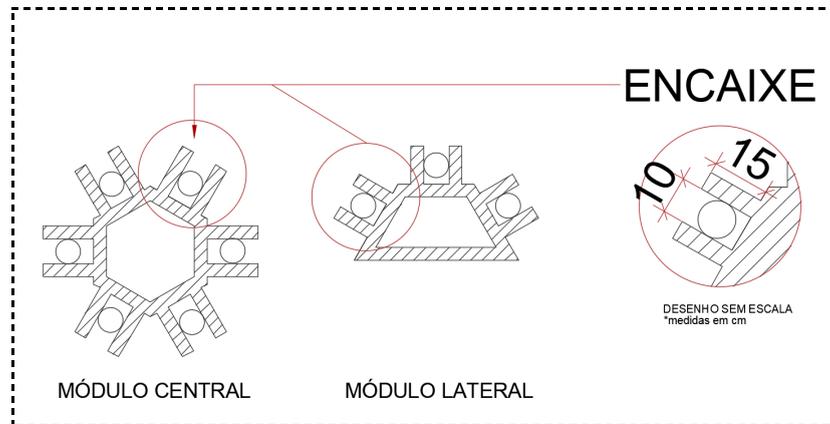


Figura 66: Esquema 2D dos módulos da estrutura.
Fonte: Elaborada pelas autoras(2024)

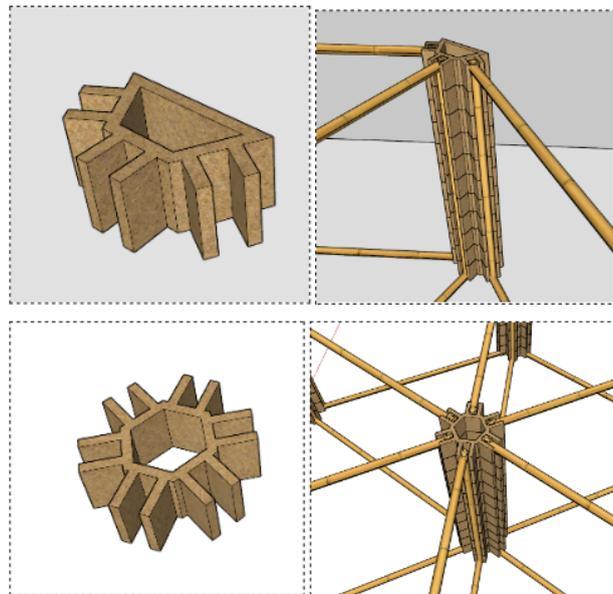


Figura 67: Esquema 3D dos módulos da estrutura.
Fonte: Elaborada pelas autoras(2024)



Figura 68: Produção dos módulos da estrutura em escala reduzida.
Fonte: Elaborada pelas autoras (2024)

5 CONCLUSÕES

Através dessa pesquisa, é possível notar a tamanha importância da tecnologia e a sustentabilidade caminham paralelamente e em conjunto. É possível compreender a complexidade do cenário fragilizado que se encontra o mundo dado aos desastres naturais que contemplam os impactos gerados por humanos, se destacando a construção civil devido a geração de resíduos e emissões de CO₂, resultando na necessidade de pesquisas que busquem materiais e tecnologias construtivas sustentáveis a fim de reverter tais impactos.

Por meio do conhecimento gerado nessa pesquisa foi possível comprovar que a tecnologia da impressão 3D é um grande potencial que vem sendo desbravado principalmente em outros países, e essa tecnologia vem se adequando ao uso da terra, exemplos destes se dão a projetos executados e maquinários que utilizam a terra como principal materialidade, elevando assim o nível de sustentabilidade e mantendo as propriedades físicas e mecânicas da construção.

Além disso, a junção dessa tecnologia se destaca como alternativa para arquitetura emergencial por meio de construções dos abrigos temporários dada a sua rápida formulação, Dado o crescimento dos eventos de desastres, o desenvolvimento desses acampamentos temporários vem tomando o foco para a área. Por fim, através de pesquisas do referencial teórico e da plataforma infrashelter nota-se os desafios para implantação da tecnologia de impressão 3d com terra no Brasil, dado aos altos custos de maquinários e grande porte dos

mesmos, ressaltando assim, a importância de alternativas e de pesquisas que contemplem o assunto buscando a implantação em larga escala no Brasil.

Assim, a pesquisa compreendeu desde os princípios das construções com terra a implantação da impressão 3d na arquitetura, onde contemplou a busca e inserção de práticas sustentáveis voltado as composições da materialidade, além de adaptações de ferramentas que viabilizem a tecnologia dado aos desafios existentes anteriormente citadas, analisou o local de estudo e o cenário dos desastres naturais em escalas mundiais, nacionais, estaduais. Através de estudos e visitas técnicas, contemplou a análise da cultura da comunidade indígena e por meio de testes laboratoriais, conheceu os tipos de solo contidos no local selecionado para inserção dos acampamentos temporários. Por fim, a pesquisa avançou através da oficina ofertada pelo grupo de pesquisa resultando numa forma modular de acampamento que utiliza a técnica da impressão 3d em sua estrutura e realizou testes manuais para comparação desses módulos estruturais, avançando e cumprindo com as tarefas contidas no plano de trabalho.

5.1 Benefícios da Iniciação científica e outras contribuições

A participação nesta pesquisa trouxe uma série de benefícios para a minha formação, além da arquitetônica mas como indivíduo. Pude compreender a fundo o uso de tecnologias 3D, as tecnologias de construção a base de terra e da junção das duas áreas. Através dessa experiência pude contemplar e conhecer mais da comunidade indígena da região do Ibirama assim como sobre a frequência dos desastres naturais, compreendi a organização dos órgãos governamentais bem como a importância de iniciativas que visam o design e a arquitetura emergencial sendo a arquitetura como ferramenta que contribui para a melhora da sociedade enfrentando os desafios encontrados na atualidade.

Por meio do projeto pude participar do curso voltado à escrita científica ministrado pela doutora Rachel Feverzani Magnago, contribuir como staff no IX Simpósio de Design Sustentável realizado na UFSC, além de apresentar dois artigos no Evento de sustentabilidade ENSUS, realizado na UFMG. Os artigos contribuíram para o andamento da pesquisa, bem como para o acervo do grupo Virtuhab:

COSTA, SC et al. Análise Global e Regional do Estado de Santa Catarina de Desastres Naturais. 2024.

-RODRIGUES, MRP; SILVA, VNV; LIBRELOTTO, LI Design Emergencial: Alternativas de Mobiliários. 2024.

Por meio desse projeto pude ampliar a minha escrita, vocabulário e desenvoltura. Agradeço ao coordenador Paulo Ferrolí juntamente com Lisiane Ilha Librelotto pela oportunidade de participar deste projeto e ao CNPQ/PIBIC pelo financiamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 6459:1984. Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1984a.
- ABNT. NBR 7181:1984 Versão Corrigida:1988. Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1984b.
- ABNT. NBR 7180:1984 Versão Corrigida:1988. Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1984c.
- ABNT. NBR 6457:1986. Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1986a.
- ABNT. NBR 7182:1986. Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1986b.
- ABNT. NBR 6502:1995. Terminologia - Rochas e Solos. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 1995.
- ABNT. NBR 13602:1996 Solo - Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo en...
- ALCORN, A. Energia incorporada e coeficientes de CO₂ para materiais de construção da Nova Zelândia. Centre for Building Performance Research, p.31. 2003. (0-475-11099-4)
- ASTM 2010. [sd].
- ATLAS. Disponível em: <https://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/mapa-interativo.xhtml> . Acesso em: 20 conjuntos. 2023.
- AZEVEDO, B. A Terra Ideal - Normas Construtivas e Características Granulométricas, 2 pontos cruciais. Disponível em: <https://biohabitata.com.br/artigos/a-terra-ideal-normas-construtivas> . Acesso em: 15 conjuntos. 2024.
- CARBONARI, Luana Toralles. Modelo multicritério de decisão para o projeto de acampamento temporário planejado especificamente para cenários de desastre. Tese. (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, 2021. Disponível em: https://www.google.com/url?q=https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/220514&sa=D&source=docs&ust=1726267930861717&usq=AOvVaw34CYGfZ5GJNM_by62fuo6d . Acesso em: 11 jul. 2024.
- CARBONARI, Luana Toralles et al. Tecnologia de impressão 3D com materiais naturais: uma análise de pesquisas e aplicações voltadas ao desempenho térmico de edificações. In: XII Ensus - Encontro de Sustentabilidade em Projeto. Belo Horizonte, UFMG/UFSC, 07, 08 e 09

ago., 2024. Anais, v. 1, pág. 78-88.

CASTRO, ALC de. Manual de Planejamento em Defesa Civil. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. Disponível em: <
[http://gabmil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa
Civil/manuais/Manual-PLANEJAMENTO-3.pdf](http://gabmil.mg.gov.br/images/documentos/DefesaCivil/manuais/Manual-PLANEJAMENTO-3.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2024.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra de. Glossário de defesa civil estudos de riscos e medicina de desastres. Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria Especial de Políticas Regionais, Departamento de Defesa Civil, 1998.

CORSELLIS, T.; VITALE, A. Transitional settlement: displaced populations. Cambridge: University of Cambridge Shelter Project, 2005, 2007, 2010

CONSTRUCAO_COM_TERRA_PASSADO_E_FUTURO Available from:
<https://www.researchgate.net/publication/377429422>_ acessado em 15 set. 2024].

COSTA, FG da et al. Abrigos temporários em desastres: a experiência de São José do Rio Preto, Brasil. Saúde em Debate, Rio de Janeiro, v. spe2, pág. 327–337, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-11042017s227> .

COSTA, SC et al. Análise Global e Regional do Estado de Santa Catarina de Desastres Naturais. 2024.

CRED: Epidemiologia de desastres. Disponível em:
<https://uclouvain.be/en/research-institutes/irss/cred-center-of-research-on-the-epidemiology-of-disasters-0.html> . Acesso em: 15 conjuntos. 2024.

CUNHA, R. Gaia, a primeira casa impressa em 3D com terra crua e resíduos de arroz. Disponível em:
<<https://www.stylourbano.com.br/gaia-a-primeira-casa-impressa-em-3d-com-terra-crua-e-residuos-de-arroz/>>. Acesso em: 6 set. 2024.

DA SILVA, N. B. O USO DE IMPRESSORAS 3D EM CONSTRUÇÕES NO BRASIL E NO MUNDO. [s.l.] a Universidade Federal do Amazonas, 2023.

DE LABORATÓRIO, E. Compactação de Solos - Ensaio Geotécnicos - História e o Conceito. Disponível em:
<<https://www.suportesolos.com.br/blog/compactacao-de-solos-ensaios-geotecnicos-historia-e-o-conceito/200/>>. Acesso em: 4 set. 2024.

DUARTE, SR Construir com a terra: Uma proposta de intervenção no Bairro do Barruncho, Odivelas. [sl] Universidade Técnica de Lisboa, 2013.

Duraprinter 3D. Disponível em: <<https://www.duraprinter3d.com.br>>. Acesso em: 6 set. 2024

ENSAG. CRAterre Grenoble, 2014. Disponível em: . Acesso em: 09/03/2023.EVANS

EVANS, I.; SMILEY, L.; SMITH, MG The Hand-sculpted House: A Philosophical and Practical Guide to Building a Cob Cottage. Chelsea Green Publishing Company, 2002. ISBN 9781890132347. Disponível em: .

FDM, SLA, and SLS. Disponível em: <<https://jinxbot.com/fdm-vs-sla/>>. Acesso em: 6 set. 2024.

FÉLIX, D. et al. O papel dos edifícios de acomodação temporária na reconstrução de moradias pós-desastre. *Journal of Housing and the Built Environment*, [S. l.], v. 30, n. 4, p. 683–699, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10901-014-9431-4> .

FÉLIX, D.; BRANCO, JM; FEIO, A. Moradia temporária após desastres: um estudo sobre o estado da arte. *Habitat International*, [S. l.], v. 40, p. 136–141, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.03.006> .

FÉLIX, D. Arquitetura para situações de emergência: o projeto sustentável com recurso a sistemas em madeira e objetivos à intervenção territorial: os casos de Lisboa e Angra do Heroísmo. 2018. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Universidade Lusíada Norte, Vila Nova de Famalicão, 2018.

FAB LAB, (Secretaria especial de comunicação de São Paulo, 2018, s/p).

Gernot Minke. Disponível em: <http://gernotminke.gernotminke.de> . Acesso em: 4 conjuntos. 2024.

GIRALDELLI, MA et al. Construção com Terra: Breve Histórico e Técnica. *Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, v. 4, pág. 357–364, 2020.

GIANNAKOPOULOS, S.; FABRICATION RESEARCHER; 2015), I. (16 O. Soil scales up 3D printing. Disponível em: <<https://atlasofthefuture.org/project/pylos/>>. Acesso em: 6 set. 2024.

Guettatfi, L., Hamouine, A., Himouri, K., & Labbaci, B. (2023). Propriedades mecânicas e de durabilidade à água de adobes estabilizados com cimento branco, cal viva e fibras de tamareira. *International Journal of Architectural Heritage*, 17(4), 677–691. <https://doi.org/10.1080/15583058.2021.1959675> .

HALL, K.; LINDSAY, J.; KRAYENHOFF, E. Telhados e fachadas verdes: um guia para seu projeto e instalação. *Landscape and Urban Planning*, v. 107, n. 1, p. 52-65, 2012.

HAMMOND, G.; JONES, C. Inventário de Carbono e Energia, Versão 1.5 Beta. 2006.

HIRAS, DD *Ciência ambiental: criando um futuro sustentável*. 6. ed. Sudbury: Jones e Bartlett, 2000.

HOEBEN, J. Comparando propriedades de plásticos de impressão 3D FDM, SLS e resina.

Disponível em:

<<https://www.liqcreate.com/pt/artigos-de-suporte/propriedades-fdm-sls-resina/>>. Acesso em: 6 set. 2024.

AIE – Agência Internacional de Energia. Disponível em: <https://www.iea.org/> . Acesso em: 15 conjuntos. 2024.

FICV; OCHA. Abrigo após desastre. 2. ed. Genebra, Suíça: FICV, OCHA, 2015.

OIM – Organização Internacional para Migração; NRC – Conselho Norueguês para Refugiados; ACNUR – Alto Comissariado das Nações Unidas para Refugiados. Kit de ferramentas de coordenação e gestão de acampamentos. 3. ed. Genebra: OIM, NRC, ACNUR, 2015.

IAAC. Adobe Digital. [S. l.], [sd]. Disponível em: <https://iaac.net/project/digitaladobe/> . Acesso em: 20 fev. 2024 a.

IFRC; OCHA. Shelter After Disaster. 2. ed. Geneva, Switzerland: IFRC, OCHA, 2015

IOM – International Organization for Migration; NRC – Norwegian Refugee Council; UNHCR – United Nations High Commissioner for Refugees. Camp coordination and camp management toolkit. 3. ed. Geneva: IOM, NRC, UNHCR, 2015.

JHA, A. K. Safer homes, stronger communities: a handbook for reconstructing after natural disasters. Washington, DC: World Bank, 2010.

KOCH, G.; KUNZE, C.; SEIDL, J. CONSTRUÇÃO EM MARGA - DE UM PRODUTO DE NICHO A UM SISTEMA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIAL. SB05 Tóquio: Conferência Mundial de Construção Sustentável de 2005. Roterdã (Holanda): publicação interna: p.1270-1275 p. 2005.

MARSH, Alastair TM; KULSHRESHTHA, Yask. O estado das habitações de barro em todo o mundo: como o desenvolvimento afeta as atitudes e a adoção. Building Research & Information, p. 1-17, 2021. Disponível em: <https://eprints.whiterose.ac.uk/176147/6/09613218.2021.pd> .

Matéria base. Disponível em: <<https://materiabase.com.br/>>. Acesso em: 4 set. 2024.

MARTINS, C. Hiperadobe, terra ensacada compactada. Disponível em: <<https://bioconstrucaobrasil.com.br/hiperadobe-terra-ensacada-compactada/>>. Acesso em: 4 set. 2024.

MARTINELLI, J. Brasil constrói sua primeira casa modelo impressa em 3D! InovaHouse3D, 8 jul. 2020. Disponível em: <<https://www.inovahouse3d.com.br/post/brasil-constr%C3%B3i-sua-primeira-casa-modelo-i>

mpressa-em-3d>. Acesso em: 4 set. 2024

Montjoy, Valéria. "Infográfico: a evolução da impressão 3D na arquitetura, desde 1939" 02 set 2023. ArchDaily Brasil. Acessado 8 set 2024.

<https://www.archdaily.com.br/br/1005307/infografico-a-evolucao-da-impresao-3d-na-arquiteta-desde-1939> ISSN 0719-8906.

NACIONES UNIDAS. Terminologia sobre Redução do Riesgo de Desastres. Ginebra: Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2009. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf . Acesso em: 20 atrás. 2024.

NAÇÕES UNIDAS. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. [S. l.], [sd]. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> . Acesso em: 20 fev. 2024.

Nakamatsu, J., Kim, S., Ayarza, J., Ramírez, E., Elgegren, M., & Aguilar, R. (2017). Modificação ecológica de construção de terra com carragenina: Durabilidade da água e avaliação mecânica. *Construction and Building Materials*, 139, 193-202.

NAVAS DESIGN. MÁQUINA EXTRUSORA DE CONCRETO MODELO PK 2500 –. Disponível em: <https://www.pavimak.com.br/equipamento/maquina-extrusora-de-concreto-modelo-pk-2500/>>. Acesso em: 15 set. 2024.

New Mexico Administrative Code (NMAC) 14.7.2. 1997 New México Building Code. 14.7.2.30, Chapter 21, Masonry: Uniform Building Code, 2109.9 Unburned Clay Masonry (adobe). Santa Fe, NM: Construction Industries Division (CID) of the Regulation and Licensing Department. 2000.

New México Building Code, Section 2412. Uniform Building Code, Section 2405. 1982. Santa Fe, NM: Construction Industries Division (CID) of the Regulation and Licensing Department

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo. Rede Ibero-americana PROTERRA. Disponível em <http://www.redproterra.org>. Acessado em 10/07/2024.

NRC – Norwegian Refugee Council. Camp management toolkit. Geneva: NRC, 2010.

OLIVEIRA das; KLIEN, Enrico. Arquitetura e construção com terra: tradição e futuro. São Paulo: Artificio, 2009.

PAIVA, Thiago Neves; NOGUEIRA, Cássio Cipriano. Estudo comparativo das principais tecnologias de impressão 3D no Brasil. *JNT-Facit Business and Technology Journal*, São

Paulo, v. 1, n. 24, p. 193-212, set. 2024.

PERROT, A.; RANGEARD, D.; COURTEILLE, E. 3D printing of earth-based materials: Processing aspects. *Construction and Building Materials*, [s. l.], v. 172, p. 670–676, 2018.

PF FÁBIO et al. Análise paramétrica de moradias pós-desastre em contexto rural e um método para geração de abrigos temporários. *Habitat International*, Elsevier Ltd, 2019.

PROJETO Terra Brasil: Um país para construir. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2013.

Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil: Brasil traça estratégias integradas para enfrentar desastres naturais. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/plano-nacional-de-protecao-e-defesa-civil-brasil-traca-estrategias-integradas-para-enfrentar-desastres-naturais>>. Acesso em: 12 set. 2024.

PINTO, Carlos de Sousa. Curso Básico de Mecânica dos Solos. São Paulo: Copyright, 2006. Disponível em: <https://doku.pub/documents/curso-basico-mecanica-dos-solos-carlos-de-souza-pintopdf-715rv3g4g1qk>. Acesso em: 12 set. 2024.

PROTO1, B. Comunicação não-violenta. Editora do Brasil, São Paulo, 2024.

QUARANTELLI, E. L. Patterns of sheltering and housing in US disasters. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 43–53, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/09653569510088069>

REEVES, TC; HERRINGTON, J.; OLIVER, R. Design research: a socially responsible approach to instructional technology research in higher education. *Journal of Computing in Higher Education*, v. 18, n. 2, p. 96-107, 2006. CONSTRUÇÃO COM TERRA: PASSADO E FUTURO. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/377429422_CONSTRUCAO_

RepRap ltd. Disponível em: <<https://reprapltd.com/>>. Acesso em: 12 set. 2024.

RODRIGUES, MRP; SILVA, VNV; LIBRELOTTO, LI Design Emergencial: Alternativas de Mobiliários. 2024.

SANTOS, Clarissa Armando. Construção com terra no Brasil: panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada. Orientadora Lisiane Ilha Librelotto. Dissertação de mestrado, PósARQ, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/159436>>. Acesso: set. 2023

SEDEC - RJ. Administração de Abrigos Temporários. 1. ed. Rio de Janeiro: SEDEC - RJ, 2006. E-book.

SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA

CONSTRUCCIÓN (2000). Norma técnica de edificación NTE 080. Adobe. Lima: SENCICO.

SETIC-UFSC. Portal Virtuhab. Disponível em:

<<https://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/alvenaria-de-bloco-de-solo-cimento/>>. Acesso em: 4 set. 2024.

SEVERI, A. TOVA is Spain's first 3D printed building using raw earth. Disponível em:

<<https://www.3dwasp.com/en/tova-3d-printed-building-with-crane-wasp/>>. Acesso em: 12 set. 2024.

SOUZA, JAOP Tipologia de formas de tratamento de resíduos de construção civil para países em desenvolvimento. 2024.

SOUZA, E. É possível mesclar materiais locais e impressão 3D? Disponível em:

<<https://www.archdaily.com.br/br/966251/e-possivel-mesclar-materiais-locais-e-impressao-3d>>. Acesso em: 6 set. 2024.

SLA vs DLP. Disponível em:

<<https://fesmo.com.br/artigos/sla-vs-dlp-guia-para-impressoras-3d-de-resina-formlabs/>>. Acesso em: 6 set. 2024.

Tabela 6689: Indicador 11.5.1 (também se aplica aos indicadores 1.5.1 e 13.1.1) - Número de mortes, pessoas desaparecidas e pessoas diretamente afetadas atribuído a desastres por 100 mil habitantes. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6689>>. Acesso em: 4 set. 2024.

Taipa de Mão • TAIPAL Construções em Terra. Disponível em:

<<http://taipal.com.br/obras-realizadas/taipa-mao/>>. Acesso em: 15 set. 2024.

TAPARELLO, GIK A industrialização da construção com terra através da impressão 3D. pág. 88 a 92, 2016.

Technologies - Apis Cor Construction with robotic precision. Disponível em:

<<https://apis-cor.com/technologies/>>. Acesso em: 4 set. 2024.

TerraPerforma - institute for advanced architecture of Catalonia. Disponível em:

<<https://iaac.net/project/terraperforma/>>. Acesso em: 4 set. 2024.

VALENCIA, N. Pylos: a impressora 3D que imprime com terra. Disponível em:

<<https://www.archdaily.com.br/br/776401/pylos-a-impressora-3d-que-imprime-com-terra>>. Acesso em: 4 set. 2024.

VOLPATO, Neri. Prototipagem rápida: Tecnologias e aplicações. São Paulo: Blücher, 2007.

VIÑUALES, Graciela M.; NEVES, Célia; FLORES, Mário O.; RÍOS, Silvio (1994).
Arquitecturas de tierra en iberoamérica. Buenos Aires: HABITERRA/CYTED.

WASP (org). The 3d printed house Gaia. 2022. Disponível em:
<https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-gaia/>. Acesso em: 07 set 2024.