

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

EDER LUCIANO WELTER

EXPERIMENTOS COM O MÉTODO CONSTRUTIVO EM TAIPA DE PILÃO COM
SOLOS DE ÁGUAS DE CHAPECÓ - SC

São Carlos, SC

Junho de 2023

EDER LUCIANO WELTER

EXPERIMENTOS COM O MÉTODO CONSTRUTIVO EM TAIPA DE PILÃO COM
SOLOS DE ÁGUAS DE CHAPECÓ - SC

Trabalho de Conclusão de
Curso (TCC II) apresentado
ao Curso de Engenharia
Civil do campus de São
Carlos, SC do Instituto
Federal de Santa Catarina
(IFSC) para a obtenção do
diploma de Engenheiro
Civil.

Orientador: Anderson
Renato Vobornik Wolenski

São Carlos, SC
Junho de 2023

Welter, Eder Luciano

Experimentos com o método construtivo em taipa de pilão com solos de Águas de Chapecó - SC / Eder Luciano Welter ; orientador Anderson Renato Vobornik Wolenski. -- São Carlos, SC, 2023. 98 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Câmpus São Carlos, Curso de Graduação em Engenharia Civil, São Carlos, SC, 2023.

Inclui bibliografias.

1. Construções sustentáveis. 2. Solo compactado. 3. Tecnologia da construção. I. Wolenski, Anderson Renato Vobornik. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Derlí Sandra Dorigon – CRB-14/831

EDER LUCIANO WELTER

EXPERIMENTOS COM O MÉTODO CONSTRUTIVO EM TAIPA DE PILÃO COM
SOLOS DE ÁGUAS DE CHAPECÓ - SC

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Bacharel em Engenharia Civil, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

São Carlos, 03 de julho de 2023.

Documento assinado digitalmente
 ANDERSON RENATO VOBORNIK WOLENSKI
Data: 10/03/2024 11:24:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Anderson Renato Vobornik Wolenski, Doutor
Orientador
Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 CASSIO ALEXANDRE BARVIEIRA
Data: 11/03/2024 14:20:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Cássio Alexandre Barvieira, Mestre
Avaliador da Banca
Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 ANA PAULA ANTONELLO SIEG
Data: 11/03/2024 16:45:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professora Ana Paula Antonello Sieg, Mestra
Avaliador da Banca
Instituto Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade que me deu de poder estudar e buscar uma capacitação profissional em uma Instituição Federal.

À minha esposa que sempre me apoiou e andou ao meu lado dando o suporte necessário para que fosse possível seguir nessa caminhada acadêmica.

Aos meus filhos pela compreensão das vezes em que não pude estar presente em todas as etapas de suas vidas.

Ao professor Anderson pelas instruções e pelo compartilhar do seu conhecimento em prol do meu crescimento intelectual e profissional.

Aos bolsistas do IFSC que com esforço e dedicação, auxiliaram nos trabalhos práticos tanto em laboratório, quanto de campo.

A Instituição de ensino que sempre proporcionou o melhor para nós discentes, dando condições para que fosse possível a nossa formação acadêmica.

Enfim, a todos os meus familiares e amigos que torceram, oraram e apoiaram a minha trajetória acadêmica incentivando a seguir em frente.

Com sabedoria se constrói a casa, e com discernimento se consolida. Pelo conhecimento os seus cômodos se enchem do que é precioso e agradável.

(Provérbios 24: 3-4) – Bíblia Sagrada.

RESUMO

Este trabalho está pautado na construção de paredes monolíticas utilizando solo extraído em local mapeado na cidade de Águas de Chapecó, SC. Após estudos bibliográficos e análises físico-mecânicas, definiu-se o traço e se construiu uma parede piloto utilizando a técnica de Taipa de Pilão com solo-cimento como matéria-prima. Para atender ao objetivo proposto, faz-se necessário uma revisão bibliográfica que passa pela história do uso do solo, as técnicas e os conceitos que permeiam o sistema construtivo. Assim como, mapear o local de extração do solo e a partir deste realizar os ensaios em laboratório determinando as características físico-mecânicas da terra extraída. Na sequência, de posse dos resultados e determinação do traço de solo cimento, foi realizada a parte prática do trabalho que consistiu em projetar e fabricar uma fôrma de madeira, executar a sua montagem, preparar o traço de solo-cimento e então realizar a compactação do solo utilizando de todas as informações pesquisadas e descritas pelos autores. Posteriormente, realizou-se a desforma e então os resultados finais do trabalho prático foram realizados, encerrando assim um ciclo de estudo que passou pela pesquisa, ensaios, projetos e aplicação prática, servindo de fonte para trabalhos futuros.

Palavras-Chave: Construções Sustentáveis, Solo Compactado, Tecnologia da Construção.

ABSTRACT

This work is based on the construction of monolithic walls using soil extracted from a mapped location in the city of Águas de Chapecó, SC. After bibliographical studies and physical-mechanical analyses, the design was defined and a pilot wall was built using the rammed earth technique with soil-cement as raw material. To meet the proposed objective, it is necessary a bibliographic review that goes through the history of land use, techniques and concepts that permeate the construction system. As well as mapping the soil extraction site and from there carrying out laboratory tests determining the physical-mechanical characteristics of the extracted land. Then, in possession of the results and determination of the soil-cement mix, the practical part of the work will be carried out, which consists of designing and manufacturing a wooden formwork, executing its assembly, preparing the soil-cement mix and then carrying out the compaction. of the soil using all the information researched and described by the authors. Subsequently, the stripping was carried out and then the final results of the practical work were carried out, thus ending a cycle of study that went through research, tests, projects and practical application, serving as a source for future works.

Keywords: Sustainable Buildings, Compacted Soil, Construction Technology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Informações Principais	17
Figura 2: Análise sobre as palavras pesquisadas	18
Figura 3: Cidade fortificada, Vale de Draa. Marrocos;	19
Figura 4: Casa de Campo em Taipa na cidade de São Paulo com 250 anos;	20
Figura 5: Igreja de São Miguel Arcanjo - S.M. Pta - SP;	20
Figura 6: Parede de Trombe em taipa construída no âmbito do programa Design Build Bluff.	21
Figura 7: Casa em Cunha – Arquipelago Arquitetos	22
Figura 8: Casa Colinas em Piracicaba-SP	22
Figura 9: Modelos de Blocos de BTC	24
Figura 10: Blocos Perfurados para passagem de utilidades.	24
Figura 11: Modelo de Prensa Manual	26
Figura 12: Modelo de Prensa Mecânica semi-automática	26
Figura 13: Modelo de Fôrmas:	27
Figura 14: Exemplo de produção dos Blocos de Adobe	28
Figura 15: Resultados dos ensaios de resistência mecânica à compressão para mistura de 50% de solo, 50% de areia e 15% de cimento.	34
Figura 16: Exemplo de execução de paredes monolíticas em taipa de pilão.	36
Figura 17: Edifício de 6 andares construído em taipa, Weilburg, Alemanha.	37
Figura 18: Paredes com reforços internos	38
Figura 19: Apiloamento em taipa de pilão	41
Figura 20: Local da Extração do Solo	42
Figura 21: Mapeamento dos pontos de extração	43
Figura 22: Limpeza do Local da extração da Terra 2	44
Figura 23: Limpeza do Local da Extração da Terra 1	44
Figura 24: Extração da Terra 2	45
Figura 25: Extração da Terra 1	45
Figura 26: Terra 1	46
Figura 27: Terra 2	46
Figura 28: Teste da Caixa	48
Figura 29: Teste do Cordão	49
Figura 30: Teste da fita	49

Figura 31: Teste do bolo	50
Figura 32: Teste da resistência seca	50
Figura 33: Peneiramento e pesagem do solo.....	53
Figura 34: Ensaio de Casagrande para Limite de Liquidez	53
Figura 35: Ensaio do cordão para Limite de Plasticidade	54
Figura 36: Pesagem das cápsulas com amostra de solo.	54
Figura 37: Pesagem das porções de solo	60
Figura 38: Pesagem das porções de solo	61
Figura 39: Gráfico do Teor de Cimento na terra 1	61
Figura 40: Gráfico do Teor de Cimento na terra 2	62
Figura 41: Separação da porção de terra.....	63
Figura 42: Agitação e medição da temperatura.....	64
Figura 43: Separação dos minerais.....	64
Figura 45: Critérios de Seleção	66
Figura 45: Preparação do traço.....	66
Figura 46: Preparação do traço.....	67
Figura 47: Elaboração dos CPs.....	67
Figura 48: Resultado da resistência dos corpos de prova.....	68
Figura 49: Vista em corte da fôrma de madeira	70
Figura 50: Imagens da Fabricação da fôrma.....	70
Figura 51: Vista lateral da fôrma montada.....	71
Figura 52: Vista geral da montagem	72
Figura 53: Mistura dos componentes	74
Figura 54: Peneiramento após mistura;.....	75
Figura 55: Esquema do processo de produção da Taipa de Pilão	75
Figura 56: Lançando solo-cimento na fôrma	76
Figura 57: Compactação da camada	77
Figura 58: Compactação da última camada de solo-cimento.....	78
Figura 59: Resultado Final da parede e sua textura.....	79
Figura 60: Trincas verticais e horizontais	80
Figura 61: Tipos de Patologias (anomalias) que ocorrem em construções em terra crua.	81
Figura 62: Falta de aderência.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultado da caracterização física do solo da região de São Carlos, SC	34
Tabela 2: Resultado da caracterização física do solo da região de Foz do Iguaçu, PR	34
Tabela 3: Resistência à compressão (MPa)	35
Tabela 4: Descreve o tipo de solo e técnica construtiva indicada por testes expeditos.	51
Tabela 5: Resultado dos testes para a amostra de Terra 1	55
Tabela 6: Resultado dos testes para a amostra de Terra 2	56
Tabela 7: Resultado dos testes	57
Tabela 8: Dados de Caracterização física de solos residuais de basalto da Formação Serra Geral	57
Tabela 9: Classificação dos solos, em função dos Índices de Plasticidade (CRATERre, 1979)	58
Tabela 10: Gráfico de Plasticidade	58
Tabela 11: Sistema Unificado de classificação do solo	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BTC – Blocos de Terra Compactada

CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

IP – Índice de Plasticidade

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PR – Paraná

SC – Santa Catarina

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

THABA – Programa de Tecnologias da Construção

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivo específico	15
1.2 Metodologia	16
2 DESENVOLVIMENTO.....	18
2.1 Revisões de literatura	18
2.1.1 A importância da História na Construção em terra crua	18
2.1.2 Técnicas de construção em Terra Crua;.....	23
2.1.2.1 Bloco de terra comprimida (BTC);	23
2.1.2.2 Blocos de Adobe	27
2.1.3 O uso do solo-cimento na construção;	30
2.1.4 Estudos correlatos - Características físico-mecânicas do solo-cimento;...	32
2.1.5 Taipa de Pilão;.....	36
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
3.1 Extração e preparação do solo	41
3.2 Ensaios físicos e mecânicos do solo	47
3.2.1 Caracterização física do solo	51
3.2.1.1 Limite de Liquidez e Plasticidade;	52
3.2.1.2 Dosagem Físico-química de solo-cimento	59
3.2.1.3 Ensaio de Sedimentação	62
3.2.2 Caracterização mecânica do solo	65
4 EXECUÇÃO PRÁTICA DA TAIPA DE PILÃO	69
4.1 Fabricação da fôrma (taipa) de Madeira.....	69
4.2 Construção da parede piloto.....	73
4.3 Patologias Encontradas	79
5 CONCLUSÃO.....	82
5.1 Sugestões para trabalhos futuros a partir da experiência adquirida nesse trabalho.....	83
REFERÊNCIAS.....	85
ANEXOS	88

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo buscou demonstrar, através da revisão bibliográfica os processos construtivos populares em terra crua que podem ser utilizados na execução de projetos arquitetônicos, proporcionando melhorias em suas edificações.

Durante todo o processo de construção do conhecimento, tratou-se de resgatar a história, conceitos, técnicas, ensaios, exemplos de aplicação no passado e presente, bem como, as possibilidades para o futuro da construção utilizando-se dos conceitos estudados.

De acordo com Thaba “a reconstituição histórica desta experiência permitirá a identificação mais precisa do processo desenrolado e dos fatores que obstruíram ao mesmo tempo em que irá enriquecer a avaliação das alternativas propostas” (CEPED. THABA, CAMAÇARI, 1984, p. 10)

Neste sentido, buscou-se, unir as informações bibliográficas, a fim de fomentar um estudo acerca do uso do solo-cimento nas construções que utilizam o sistema construtivo em Taipa de Pilão.

A escolha do tema deve-se, ao fato, de se ter pouco conhecimento sobre construções desse tipo em nossa região, tornando-se necessário um estudo mais aprofundado acerca das características físicas e mecânicas do solo, bem como, da técnica construtiva, para que seja possível entender a sua composição e propriedade a fim de efetivar a aplicação prática.

Partindo dessa premissa, surge o problema principal do trabalho: determinar as propriedades do solo da região localizada no município de Águas de Chapecó, SC, e com isso, buscar desenvolver um traço de solo-cimento capaz de atender aos requisitos normativos da ABNT NBR 17014:2022.

A justificativa para a escolha do problema é que o solo não possui um padrão determinado, pois, em cada porção de terra escolhida, estudos e análises precisaram ser realizados para que fosse definida a melhor forma de utilização.

Segundo (NEVES e FARIA, 2011, p. 49):

(...) a matéria-prima básica para produção da taipa é a terra, adicionada uma pequena quantidade de água. No entanto, não é qualquer tipo de terra que se presta à taipa. Portanto, é necessário conhecer suas principais características, assim como as alternativas para utilização de uma terra que naturalmente não se mostra totalmente adequada, seja por correção granulométrica ou pelo uso de aglomerantes e outros materiais” (NEVES e FARIA, 2011, p. 49).

Justifica-se a técnica construtiva em taipa de pilão, pelo fato de se tratar de um processo construtivo que possam resultar em paredes monolíticas que possuem grande resistência a compressão, melhor desempenho térmico, utilizar uma técnica simples de conformação do solo, possuir uma beleza arquitetônica diferenciada e ter um baixo impacto ambiental.

Aparentemente, essas características vão de encontro com a cultura de nossa região, possibilitando a realização de uma aplicação prática da técnica em escala reduzida com o “apiloamento” do solo-cimento.

Através da aplicação prática buscou-se descrever o resultado das análises físico e mecânico e determinar a composição do solo-cimento e aglomerantes que atribuem ao compósito, resistência ao exigido pela norma ABNT NBR 17014:2022

Posteriormente, o traço desenvolvido foi aplicado na construção de uma parede monolítica em pequena escala com a finalidade de aplicação prática dos conceitos e técnicas descritas no trabalho.

1.1 Objetivos

O presente projeto propôs atender os objetivos gerais e específicos demonstrados na sequência.

1.1.1 Objetivo geral

Construir uma parede piloto utilizando composto de solo-cimento capaz de atender aos requisitos normativos demonstrados nas referências bibliográficas.

1.1.2 Objetivo específico

- Identificar, através da revisão bibliográfica, os requisitos normativos necessários para construção em terra crua, com ênfase na técnica de taipa de pilão;
- Caracterizar os componentes físico-mecânicos do solo extraído na região de Águas de Chapecó, SC;
- Desenvolver um traço de solo-cimento buscando a resistência especificada na ABNT NBR 17024:2022, utilizando-se do Cimento Portland e areia;

- Montar uma fôrma de madeira para execução prática de uma parede piloto;
- Descrever os resultados da experiência prática;

1.2 Metodologia

A metodologia deste trabalho consistiu em três fases, sendo as fases descritiva, de caracterização físico-mecânica e de execução prática.

A fase descritiva, partiu de uma revisão bibliográfica, abordando a história da construção em terra crua, o uso do solo-cimento na construção em terra crua, estudos correlatos e taipa de pilão.

A segunda fase pautou na extração do solo a ser analisado e posteriormente, em laboratório, na realização de ensaios de caracterização físico-mecânica descrevendo os resultados encontrados.

Por fim, a última fase consistiu em produzir corpos de prova em solo-cimento utilizando o solo extraído na região de Águas de Chapecó, SC, além de uma parede piloto, em escala real, para testar a viabilidade de execução e dificuldades técnicas para produzir uma parede autoportante em taipa de pilão.

Os corpos de prova tiveram a finalidade de avaliar diferentes traços do composto de solo-cimento para rompimento e análise da resistência, para um posterior definição do traço considerado como ideal, ou seja, maior resistência com o mínimo de adição de aglomerantes ao solo escolhido.

Nesta fase, elaborou-se o projeto de uma fôrma de madeira, aqui denominado como Taipal, bem como sua construção. Tais formas foram utilizadas na prática, adotando o traço de solo-cimento anteriormente determinado em conjunto com a técnica de taipa de pilão criando uma parede (em escala real) para que se avaliar a experiência prática completa do processo de construção de uma parede em taipa de pilão.

Convém ressaltar, que para realização deste trabalho (em especial, a fase descrita) foram utilizadas diversas fontes de pesquisa, entre elas, <https://scholar.google.com.br>, <https://google.com.br>, livros físicos, artigos extraídos de Anais de congressos que tratam do tema como Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil, em específico o Terra Brasil 2018 e 2022.

Outras fontes de pesquisa utilizadas foram os centros de pesquisa como CEPED (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento) e THABA (Programa Tecnologias

da Habitação), bem como, utilização das normas brasileiras (NBR) disponíveis na ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Sites específicos como <https://redproterra.org>, forneceram conteúdos relacionados diretamente ao tema abordado. O trabalho também contou com dissertações e monografias.

Uma importante contribuição foi a utilização da ferramenta *Science Mapping* (Biometria) para uma revisão sistemática mais precisa e objetiva. A ferramenta trata de “guiar o pesquisador para os trabalhos mais importantes” (BALDAN, 2021),

Para utilização da ferramenta *Science Mapping* foi realizado uma pesquisa no Portal de periódicos CAPES, direcionando a pesquisa para base de dados como *Web of Science* e *Scopus*.

Após a pesquisa foram gerados os relatórios contendo informações relativas a quantidade de documentos relacionados sobre o tema, conforme transcrição da Figura 1 e 2.

Figura 1: Informações Principais



Fonte: Bibliometrix (2023)

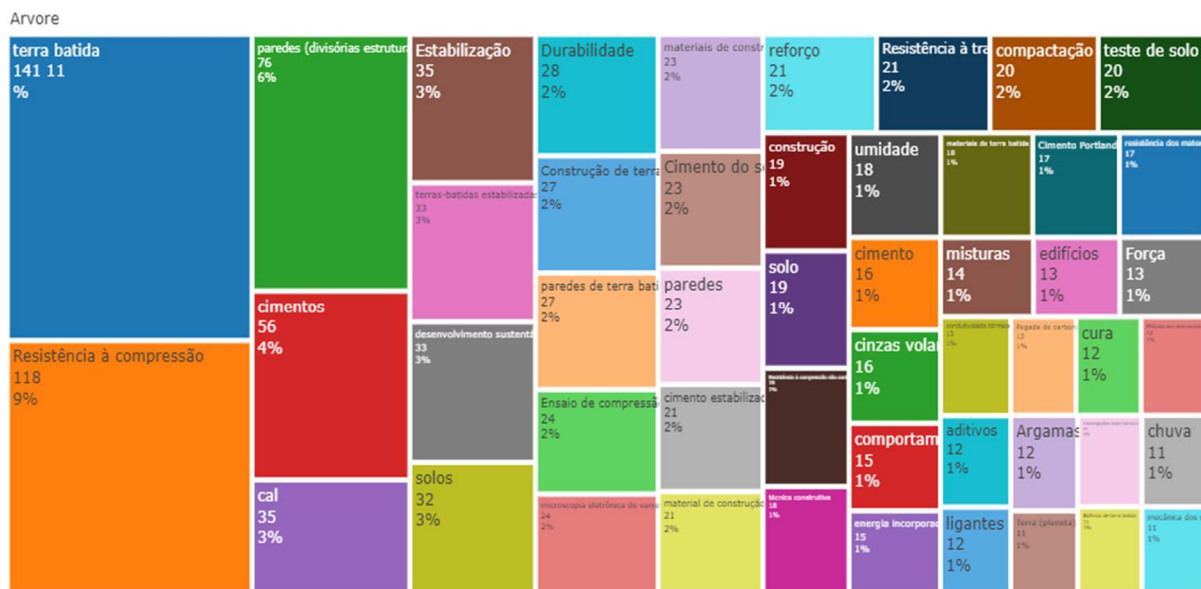
Para facilitar a visualização, foi gerado o gráfico da Figura 2, com a quantidade de arquivos encontrados por palavras chaves, além de um gráfico com os periódicos mais relevantes sobre o tema, observado na Figura 3.

Em específico essa pesquisa foi realizada para que fosse possível entender a evolução do tema em um espaço de tempo de 22 anos.

Percebe-se que existe um crescimento de 13,43% de crescimento ao ano de publicações a respeito do tema, porém, concentrado principalmente nas palavras “terra batida”, “resistência a compressão” e “paredes estruturais”.

Isso mostra que o tema “terra batida” ou solo compactado, vem, aos poucos, ganhando espaço e interesse no meio acadêmico, bem como, a sua aplicação e sua notável resistência a compressão, percebidas pela importância demonstrada na classificação das palavras chaves.

Figura 2: Análise sobre as palavras pesquisadas



Fonte: Bibliometrix (2023)

Convém ressaltar, que indiferente da fonte de pesquisa (livros, artigos científicos, dentre outros), todas foram fundamentais para agregar maior conhecimento e enriquecimento ao conteúdo e pesquisa correlata, possibilitando e influenciando na construção e desenvolvimento deste trabalho.

2 DESENVOLVIMENTO

Através da revisão bibliográfica é possível fomentar as principais contextualizações de alguns autores sobre o tema em questão. Contudo, vale salientar que ainda há muito a ser estudado e resgatado de uma vasta bibliografia escrita e muita informação de práticas empíricas de construção que se utilizam da terra crua como a principal matéria-prima.

2.1 Revisões de literatura

2.1.1 A importância da História na Construção em terra crua

Algumas informações são de suma importância para contextualização do tema, entre elas, o resgate histórico do sistema construtivo, pois se trata de técnicas de construção que remontam a centenas de anos, e que serviram de base da literatura atual.

Conforme escrito por Portella e Silva *et al.* (2015, p. 183), "(...) o olhar para o passado se faz necessário para que ocorra um avanço nas técnicas atualmente comuns na construção civil".

De acordo com Lourenço (2002) *apud* Portela *et al.* (2015, P. 183) "a construção com terra é a técnica construtiva mais antiga e abrangente em nacionalidades e classes sociais".

(...) "O estudo desses conhecimentos aliados às novas tecnologias pretendem colaborar com as preocupações ecológicas e econômicas da sociedade".

Desde os primórdios, a terra vem sendo utilizada na construção e faz parte da evolução da civilização. Ainda hoje, apesar do avanço das novas tecnologias, o uso da terra na construção civil volta a ser discutido e estudado na busca de novas técnicas que contribuam para atender tanto questões ambientais, quanto sociais e econômicas.

Figura 3: Cidade fortificada, Vale de Draa. Marrocos;



Fonte: (MINKE, 2022, p. 12)

Segundo Minke (2006), a terra tem sido usada como material de construção por todas as culturas antigas, não só para habitações, mas também para edifícios religiosos.

Da mesma forma a bibliografia transcreve relatos de construções com terra em várias partes do mundo onde se percebe o papel fundamental que o material teve na história da Humanidade.

No Brasil também temos construções antigas relatadas, como exemplo, a residência situada no estado de São Paulo construída em Taipa de Pilão com cerca de 250 anos, conforme demonstra a figura abaixo.

Figura 4: Casa de Campo em Taipa na cidade de São Paulo com 250 anos;



Fonte: (MINKE, 2022, p. 14)

Figura 5: Igreja de São Miguel Arcanjo - S.M. Pta - SP.;



Fonte: (SATO, 2011, p. 25)

Na atualidade, encontra-se, dentre algumas obras podemos, uma que vem dos

Estados Unidos, em que alunos do Departamento de Arquitetura e Planejamento da Universidade de Utah projetam e constroem todos os anos gratuitamente habitações para os membros da Tribo Navajo, (TORGAL *et al.* 2009, p.20).

Figura 6: Parede de Trombe em taipa construída no âmbito do programa Design Build Bluff.



Fonte: (TORGAL, EIRES e JALALI, 2009, p. 20)

Ressalta-se que nos dias atuais, as construções em terra crua, começam a ganhar espaço devido, principalmente, a fatores como a preocupação com a sustentabilidade, conforto térmico, consumo de energia e desperdício de materiais.

Outros fatores também fazem parte dessa mudança, como as preocupações de profissionais na área de arquitetura, engenharia e construtores em resgatar as técnicas de construção em terra crua.

A terra como matéria-prima tem se destacado por reduzir a demanda do cimento, minimizar o transporte, possuir alta durabilidade, baixa condutibilidade térmica, dentre outras peculiaridades desta técnica. O potencial da arquitetura de terra se destaca em suas vantagens significativas em relação aos métodos construtivos atuais, já que o processo é totalmente reciclável, regula a umidade ambiental, economiza energia e diminuem a contaminação ambiental (PISANI, 2004 *apud* PORTELA, SILVA, *et al.*, 2015).

Outro ponto importante do estudo do resgate da história é perceber a evolução das técnicas de construção, neste contexto Neves e Faria (2011, p. 10), constataam que ao “[...] comparar as técnicas de construção empregada nos tempos antigos e as praticadas hoje, constata-se que elas evoluíram, passando por transformações e

adaptações próprias...”.

Figura 7: Casa em Cunha – Arquipélago Arquitetos.



Fonte: Archdaily (2023)

Figura 8: Casa Colinas em Piracicaba-SP.



Fonte: (SILVEIRA, 2019, p. 25).

A beleza Arquitetônica é outro fator que atrai cada vez mais adeptos ao sistema de construção em terra crua, principalmente, em paredes monolíticas executadas em

taipa de pilão, tendo atualmente belos exemplares de construções com uma arquitetura moderna e contemporânea.

2.1.2 Técnicas de construção em Terra Crua;

O sistema de construção utilizando terra crua como principal matéria prima está presente na história da humanidade desde o surgimento das primeiras habitações (GIRARDELLI, MELO, *et al.*, 2020, p. 357).

As técnicas de construção com terra surgiram em quase todas as civilizações do passado e expandiram-se através das invasões e colonizações, comuns na história da Humanidade. As técnicas nativas uniram-se às técnicas trazidas pelos estrangeiros e, com variadas combinações entre elas, foram se adaptando e organizando as formas mais adequadas de construir. As técnicas apresentam semelhanças de uma região para outra, cada uma com suas particularidades e com sua própria nomenclatura que, muitas vezes, confunde até os mais estudiosos. (NEVES e FARIA, 2011).

Muitos sistemas construtivos antigos foram substituídos por sistemas industrializados, devido principalmente ao desenvolvimento de novos materiais normatizados e de fácil controle de qualidade, devido ao seu processo construtivo ser de alta escala e seriado.

Um exemplo impressionante de construção em terra batida (taipa), foi a Grande Muralha da China, que tem cerca de 4000 anos, e posteriormente foi revestida com pedra (MINKE, 2022, p. 12).

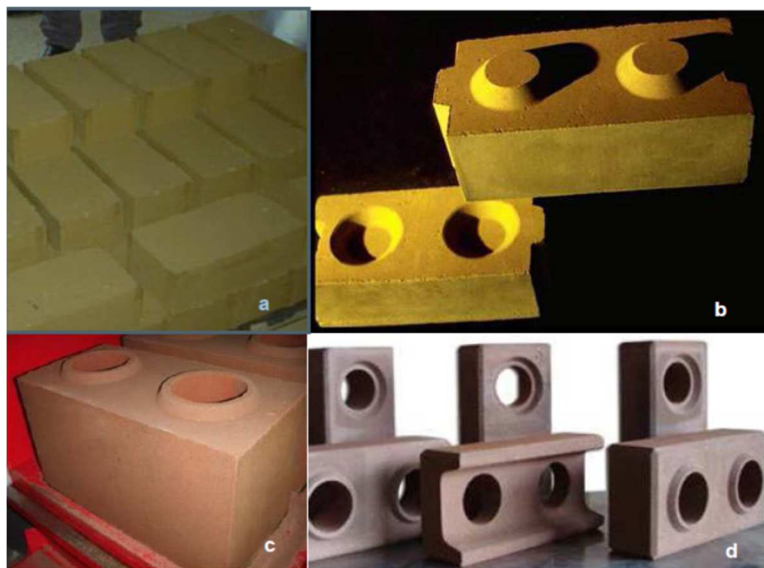
Resgatar essas técnicas e colocá-las em prática é algo importante para a engenharia civil, pois elas exigem um estudo mais técnico e amplo auxiliando no desenvolvimento profissional e ampliando os horizontes quanto a melhorias e utilização mista dessas técnicas com novos materiais mais atuais.

2.1.2.1 Bloco de terra comprimida (BTC);

O bloco de terra comprimida (BTC) é fabricado com terra (solo) compactado em um molde o qual pode ser fabricado em diversos formatos e dimensões, maciços ou com furos.

Componente de alvenaria com terra adensada em molde por compactação ou prensagem. Os BTC's podem ser usados em qualquer tipo de construção substituindo os blocos cerâmicos convencionais, seja em Alvenaria simples de vedação ou alvenaria estrutural. Trata-se de uma técnica relativamente contemporânea, utilizada, sobretudo na Bélgica, França e Alemanha. A primeira prensa de tijolos, a CINVA-RAM, foi desenvolvida na Colômbia em meados dos anos 1950. (D'AVILA, 2008, p. 205).

Figura 9: Modelos de Blocos de BTC.



Fonte: (NEVES e FARIA, 2011, p. 35)

Os BTC's possuem diversos formatos e se adaptam facilmente a diversas situações construtivas e possuem um excelente apelo arquitetônico quando considerados a construção em blocos aparentes.

Conforme (Torgal, Eires e Jalali (2009, p. 49), “quando fabricado com perfurações, além de permitir o reforço da estrutura, também possibilita a passagem de tubagens sem abertura de roços, para redes hidráulicas, de telefone e de energia colocadas durante a execução da alvenaria”.

Figura 10: Blocos Perfurados para passagem de utilidades.



Fonte: (TORGAL, EIRES e JALALI, 2009, p. 50).

Os Blocos Perfurados de Concreto (BPC) podem substituir os blocos cerâmicos convencionais em qualquer tipo de construção, “seja em alvenaria simples de vedação, ou alvenaria estrutural, desde que atendam às resistências estabelecidas no projeto” (NEVES e FARIA, 2011, p. 35).

Os BTC's também são chamados de tijolos ecológicos, pois utilizam a terra como matéria-prima e o mínimo de cimento em seu processo de fabricação e não depende de fornos de secagem.

As paredes construídas com BTC's possuem uma beleza arquitetônica que chama a atenção pela sua textura e aparência.

Na sequência, os autores comentam que “as paredes tanto podem ser aparentes (quando protegidas da chuva), como revestidas, podendo receber revestimento em argamassa, diversos tipos de pintura ou revestimento cerâmico” (NEVES e FARIA, 2011, p. 35).

Convém ressaltar que o BTC apresenta algumas vantagens como: a facilidade do processo de fabricação, o controle dimensional dos blocos e o controle da resistência à compressão.

Para fabricação do BTC é necessária uma análise do solo a ser utilizado para que seja possível definir a quantidade de areia que deve ser adicionada à mistura e também, se necessário, da quantidade de cimento utilizado para sua estabilização.

A bibliografia recomenda o uso de terra com porcentagem de areia superior a 50% para a fabricação de BTC. A areia é responsável pela estruturação (resistência) do bloco, enquanto que a argila responde pela aglutinação ou coesão das partículas de terra. Entretanto a argila é também responsável pelo efeito de retração da terra durante a secagem e a ocorrência de fissuras nos blocos. Por isso, às vezes é necessário adequar a terra disponível, ou, como se diz, estabilizar a terra, para a produção do BTC. (NEVES e FARIA, 2011, p. 36)

Para a compactação da terra estabilizada pode ser utilizado tanto uma prensa manual quanto mecânica.

As prensas manuais geralmente requerem baixo capital para sua aquisição e manutenção, além de serem leves, pequenas, fáceis de usar e sem custos relativos ao consumo de energia. A baixa taxa de compactação, principalmente da prensa manual mecânica, exige que a seleção e o preparo da terra sejam muito bem cuidados, para que os BTC's apresentem pouca dispersão na resistência à compressão semelhante entre eles. As prensas que possuem pistão compactador em apenas um sentido devem ser utilizadas basicamente para a produção de BTC com altura máxima da ordem de 7 cm. Acima deste valor e até a altura de 20 cm, são necessárias prensas com duplo sentido de compactação. Esta limitação não se deve à energia de compactação do equipamento, mas à propriedade de adensamento do solo. (NEVES e FARIA, 2011, p. 41)

Figura 11: Modelo de Prensa Manual.



Fonte: (TORGAL, EIRES e JALALI, 2009, p. 51)

As prensas mecânicas conferem velocidade na produção dos blocos e maior resistência mecânica, pois a força de compactação diminui a quantidade de vazios entre as partículas.

Os processos de fabricação por prensas mecânicas e semiautomáticas agilizam e muito o processo de fabricação com ganhos consideráveis de controle de qualidade e quantidade de peças produzidas por dia.

Figura 12: Modelo de Prensa Mecânica semi-automática



Fonte: (NEVES e FARIA, 2011, p. 41)

2.1.2.2 Blocos de Adobe

Adobe, ou alvenaria de adobes, são blocos de barro conformados em fôrmas moldadas à mão devido ao estado plástico da mistura. Com o adobe se pode executar grande variedade de formas construtivas: retas, curvas, esbeltas e de muita massa.

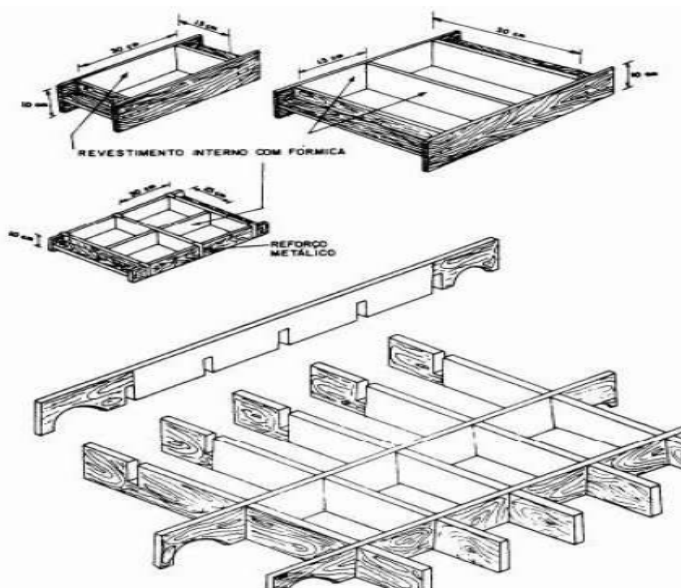
Trata-se de um sistema de construção muito antigo chegando a ter relatos de sua utilização de 8000 a 6000 a.C, conforme (MINKE, 2022):

A construção com blocos à base de terra está espalhada por todos os países com clima quente e seco, subtropical e temperado. Edifícios construídos com blocos de terra datados de 8000 a 6000 AC têm sido descobertos no Turquestão (Pumpelly, 1908), e outros de cerca de 4000 AC na Assíria. No Alto Egito sobreviveram, visíveis até aos dias de hoje, estruturas monumentais, com cerca de 3200 anos, tais como a gigantesca fortificação de Medinet Habu – construída com blocos de terra – e as abóbadas dos armazéns na área do templo de Ramsés II, perto de Gourná (MINKE, 2022, p. 16).

O autor D'Ávila (2008, p. 199), menciona que o adobe é uma técnica que se estendeu pelos climas secos, áridos, subtropicais e temperados do planeta. Existem relatos de construções utilizando essa técnica há mais de 7000 anos”.

Para execução do adobe é necessária primeiramente fabricar uma fôrma de madeira (molde), e, após o preparo do barro, a fôrma é preenchida manualmente, e posteriormente são levadas ao sol para a secagem.

Figura 13: Modelo de Fôrmas:



Fonte: (SILVEIRA, 2019, p. 29).

A fabricação do Adobe também pode ser realizada em células, podendo ser

produzidos diversos blocos simultaneamente.

O adobe é um componente fabricado com terra em estado plástico, moldado sem necessidade de compressão, com auxílio de moldes, e, uma vez seco, é usado na execução de alvenaria, geralmente unidos por uma argamassa preparada com uma mistura muito semelhante a do adobe, para parede autoportante, parede portante, arcos, abóbadas e cúpulas. Ele pode ser usado para gerar formas ortogonais e curvas, contanto que se respeite sua característica de resistência à compressão.

Antes do emprego de moldes, o barro era conformado com as mãos, produzindo esferas, cones, cilindros e paralelepípedos. Foram encontradas de peças de terra de formato diversos em ruínas arqueológicas, igrejas e capelas, bem como em recintos residenciais antigos. A técnica mais difundida é a que utiliza moldes de madeira para fabricação de uma ou duas unidades ao mesmo tempo, geralmente de forma retangular. O molde é preenchido com a mistura que é preparada com solos do local e água, e, em muitos casos, com a adição de agregados para controlar as fissuras, tais como vegetais, esterco e pelos de animais. (NEVES e FARIA, 2011, p. 17)

A construção do Adobe é razoavelmente simples e permite a utilização da terra encontrada no próprio local da obra.

Figura 14: Exemplo de produção dos Blocos de Adobe



Fonte: (D'AVILA, 2008, p. 198).

De acordo com Neves e Faria (2011), todas as técnicas de construção apresentam vantagens e desvantagens. Não poderia ser diferente com a técnica do adobe, destacando-se:

Vantagens:

- É fácil de fabricar, secar e empilhar;
- Material com boa capacidade isolante devido sua porosidade;
- Possibilita a diversidade de formas e dimensões;
- É 100% reciclável;
- Não requer mão-de-obra especializada e o molde é econômico;
- Pode ser utilizado para construir paredes, arcos, abóbadas e cúpulas;
- A matéria-prima é abundante;

Desvantagens:

- Possui baixa resistência à tração e à flexão em relação às alvenarias executadas com componentes como tijolo e bloco cerâmico, bloco de concreto ou BTC;
- Exige considerável esforço humano na fabricação artesanal do componente e ampla área arejada para secagem;
- Requer muita água na sua fabricação;
- Possui dificuldade de obter as dimensões regulares do componente;
- Requer tempo de espera, para garantir a qualidade do componente, vez que, está condicionada à mistura e ao repouso da mistura para sua hidratação ("dormir" o barro);
- Não é conveniente a cobertura em cúpula e abóbadas pesadas em zonas afetadas por sismos, sendo que a alvenaria exige reforços e contrafortes apropriados;
- Devido sua porosidade, absorve muita água;

De acordo com os autores, para fabricação do Adobe é necessária uma análise do solo a ser utilizado, dando preferência a solos areno-argiloso com pouco silte.

Os autores Neves e Faria (2011, p. 18) mencionam que “se a terra selecionada tem muita argila, aumenta-se o risco de aparecer fissuras no adobe ao secar, se tem demasiado teor de areia ou silte, pode faltar coesão interna adequada e desagregar facilmente, além de diminuir a resistência à compressão”.

Para definição do solo adequado, é importante o conhecimento dos testes expeditos descritos neste trabalho, ou ainda, análises em laboratório para que seja

possível o desenvolvimento de um traço que gere o mínimo de problemas construtivos.

2.1.3 O uso do solo-cimento na construção;

Os métodos de construção utilizando solo podem ser aplicados basicamente de dois modos, segundo (CEPED. THABA, CAMAÇARI, 1984, p. 10):

- a) a terra embebida em água, constituindo uma massa de consistência plástica ou "argamassa de solo";
- b) uma mistura úmida de terra e água, compactada ou prensada;

Esses métodos quando aplicados possuem propriedades que podem ser melhoradas com adição de produtos ditos estabilizantes.

Em ambos os casos de utilização de terra como material de construção, as propriedades mecânicas e de impermeabilidade podem ser melhoradas significativamente pela adição de pequenas porcentagens de alguns produtos ditos estabilizadores. Deste modo, a mistura de pedaços de palha ou fibras reduz acentuadamente o efeito da retração na secagem da massa plástica. A adição de óleos vegetais ou animais e emulsões asfálticas, tanto à massa plástica como ao solo compactado, tem o efeito de aumentar significativamente a impermeabilidade, melhorando as condições de durabilidade. A mistura de cimento ou cal pode produzir aumentos consideráveis da resistência mecânica (CEPED. THABA, CAMAÇARI, 1984, p. 11).

Para o uso do solo-cimento é necessário antes à escolha do solo a ser utilizado, para tanto, (ABCP, 1998, p. 7) recomenda que:

O solo é o elemento que entra em maior proporção na mistura, devendo ser selecionado de modo que se possibilite o uso da menor quantidade possível de cimento. De maneira geral, os solos mais adequados para construção de paredes de solo-cimento são os que possuem as seguintes características:

- Passando na peneira ABNT 4,8 mm (no 4) 100%
- Passando na peneira ABNT 0,075 mm (no 200) 10% a 50%
- Limite de liquidez..... ≤ 45%
- índice de plasticidade ≤ 18%
- Somatório da retração (ensaio da caixa descrito à frente) ≤ 2 cm

Segundo ABNT NBR 17014 (2022, p. 4, itens 4.1.2) "(...) é permitido o uso de estabilizante em quantidade mínima para que a taipa atenda aos requisitos físico-mecânicos estabelecidos em norma"

Ressalta-se que, para a realização dos ensaios em laboratório a fim de caracterização do solo a ser empregado nas análises e aplicação prática, as amostras deverão seguir os procedimentos descritos na ABNT NBR 6457:2016, "Esta Norma

especifica o método para a preparação de amostras de solos para os ensaios de compactação e de caracterização [...]”.

Da mesma forma, a determinação do limite de Liquidez é normatizada e todo o procedimento está descrito na ABNT NBR 6459:2016, bem como, para o índice de plasticidade o qual deverá ser seguido a ABNT NBR 7180:2016, (p. 1), pois “[...] especifica o método para determinação do limite de plasticidade e para o cálculo do índice de plasticidade dos solos”.

Quanto aos ensaios de granulometria a Norma utilizada será a ABNT NBR 7181: 2016 a qual “[...] estabelece o método para análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento”.

Com relação à escolha do solo, conforme, (NEVES, FARIA, *et al.*, 2009, p. 6):

Os solos apropriados para a construção geralmente estão situados no subsolo, também chamado de *horizonte B*, livres de matéria orgânica. Nas zonas semi-áridas e áridas, é possível encontrar solos adequados na superfície, depois de eliminar pedras, raízes e todo material orgânico presente. As propriedades mais importantes dos solos, visando seu uso na construção, são:

- Na seleção: composição granulométrica, plasticidade e retração;
- No controle da execução: umidade e grau de compactação.

Para escolha do solo não existe um critério único, geralmente utiliza-se o solo à disposição no local da construção para facilitar a logística de aplicação.

A ABNT NBR 13553:2012, (p. 1), descreve que, “o solo pode ser proveniente de jazida ou do próprio local, deve ser homogêneo e não pode conter teores de matéria orgânica que prejudiquem as características exigidas por esta Norma”.

Destaca-se que em muitos casos não se tem acesso a laboratórios para avaliar o tipo de solo encontrado, então, alguns ensaios tátil-visuais podem ser adotados para caracterizar o solo a ser utilizado.

Verifica-se também, que em alguns casos o solo encontrado pode não possuir as propriedades mecânicas ideais para a sua aplicação como material de construção e, portanto, pode ser necessária a adição de produtos estabilizantes.

Em geral, as propriedades mecânicas e de permeabilidade da terra podem ser melhoradas significativamente pela adição de alguns produtos estabilizadores. Desse modo, a mescla de fragmentos de palha, ou outras fibras vegetais, reduz acentuadamente o efeito da retração na secagem do barro; a adição de azeites vegetais e emulsões asfálticas, tanto no barro como na terra comprimida, tem o efeito de diminuir significativamente a permeabilidade, melhorando as condições de durabilidade. A mescla de aglomerantes, cimento, cal ou outros produtos cimentantes, pode produzir aumentos consideráveis da resistência mecânica, principalmente da terra comprimida (NEVES, FARIA, *et al.*, 2009, p. 13)

Um dos estabilizantes muito utilizados é o cimento Portland que, segundo

Ceped. Thaba, Camaçari (1984, p. 27) é descrito como: “[...] estabilizador químico de fácil obtenção no mercado de materiais de construção, o cimento, cujas propriedades na estabilização de solos consagraram seu uso há já quase quarenta anos, na construção de estradas”.

Conforme descrito por Santiago (2001, p. 63), “A estabilização com cimento, assim como a estabilização com cal, com resinas e com colas, é obtida através do preenchimento dos vazios por um ligante insolúvel, capaz de envolver as partículas em uma matriz inerte”.

Segundo, ABNT NBR 13553:2012, (p. 1), solo-cimento é um “produto endurecido resultante da cura de uma mistura homogênea compactada de solo, cimento, água e eventualmente aditivos [...]”.

Para confirmação da resistência à compressão da mistura solo-cimento, é necessária que se faça ensaios de compressão aplicados em corpos de prova que deverão ser elaborados com base nas Normas NBR 12024:2012 (Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos) e a NBR 12025:2012 (Solo-cimento- Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos).

A ABNT NBR 12024:2012, (p. 1), trata de descrever “dois métodos, aplicáveis conforme a granulometria do solo”, sendo o “método A, para solos com 100% de partículas com diâmetro menor do que 4,75mm” e “método B, para solos com até 30% de partículas com diâmetro maior do que 19mm;

Conforme descrito na ABNT NBR 12025:2012, (p. 1), “Este método aplica-se tanto à determinação em laboratório do teor de cimento para a estabilização do solo quanto ao controle da qualidade do solo-cimento”.

Estes ensaios são de extrema importância pois nortearam a definição do traço ideal de solo-cimento a ser aplicado na prática, onde será realizada a compactação de uma porção de solo-cimento na execução de uma parede piloto.

2.1.4 Estudos correlatos - Características físico-mecânicas do solo-cimento;

Para a fase de caracterização físico-mecânica do solo-cimento, alguns estudos de mesma natureza foram analisados, e serviram de base para o trabalho prático desenvolvido.

Um dos trabalhos tratou-se de caracterizar o solo de uma região próxima ao local onde foi extraído o solo para os estudos futuros. Segundo Wolenski et al. (2021, p. 52) “este artigo partiu da seleção e correção do solo encontrado na região do extremo

oeste catarinense, mais precisamente, no município de São Carlos, está, vizinha ao município de Águas de Chapecó, SC local da coleta do solo estudado.

Outro trabalho de caracterização é o de Cunha e Seolin (2021, p. 61) “o objetivo da pesquisa é realizar a caracterização física do solo da cidade de Foz do Iguaçu, Estado do Paraná, e determinar sua resistência à compressão [...]”.

Ambos os trabalhos buscam analisar o solo da região Sul do país, sendo um dos trabalhos com material extraído da região do extremo Oeste de Santa Catarina e outro na região do extremo Oeste do Paraná.

O trabalho de Wolenski *et al.* (2021, p. 52) “[...] objetiva caracterizar, do ponto de vista físico-mecânico, o material solo-cimento, em âmbito laboratorial, como forma futura de viabilizar a técnica construtiva da taipa compactada estabilizada, em âmbito comercial, seja por empresas e indústrias da construção civil ou por profissionais que buscam incorporar a nova Arquitetura Km 0 em projetos para edificações mais sustentáveis na região oeste de Santa Catarina.”

Já o trabalho de Cunha e Seolin, (2021, p. 61) busca “[..] determinar sua resistência à compressão, com o intuito de avaliar a viabilidade de sua utilização em construções habitacionais com terra compactada, nomeadamente taipa de pilão e paredes monolíticas de solo-cimento”.

Verifica-se que os trabalhos possuem grande semelhança em seus objetivos, porém, os ensaios são distintos, uma vez que (Wolenski *et al.*, (2021) tratam de realizar os ensaios em corpos de prova cilíndricos normatizados e Cunha e Seolin (2021) moldaram blocos de tijolo BTC para teste de compressão.

Nota-se que Wolenski *et al.*, (2021) buscam enfatizar a importância do uso de solo-cimento como alternativa sustentável de construção, bem como, a disseminação das técnicas construtivas e (Cunha e Seolin, (2021) dão ênfase aos aspectos econômicos da construção para utilização como uma opção para construção de moradias populares.

O trabalho de (Wolenski *et al.*, (2021) foi de suma importância para o desenvolvimento do trabalho prático, pois está muito bem fundamentado teoricamente e também por se tratar de um trabalho inovador na região Oeste de Santa Catarina e por isso traz inspiração para prosseguir e/ou aperfeiçoar os estudos sobre solo-cimento.

Abaixo segue as tabelas que descrevem os índices físicos encontrados nas

porções de solo extraídas nas duas regiões comentadas.

Tabela 1: Resultado da caracterização física do solo da região de São Carlos, SC

Solos finos (partículas < 0,075mm)	Solos grossos (partículas ≥ 0,075mm)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	$\gamma_{\square}$ (kN/m ³)	Local
86,22	13,78	49,2	38,9	10,3	27,10	São Carlos (SC)

Fonte: (WOLENSKI *et al.*, 2021)

Conforme descrito nas tabelas abaixo, cada porção de solo analisada possui suas características próprias. Nesses dois casos temos materiais extraídos a uma distância aproximada de 430km, porém, mesmo em lugares próximos as características físicas podem sofrer variação.

Tabela 2: Resultado da caracterização física do solo da região de Foz do Iguaçu, PR

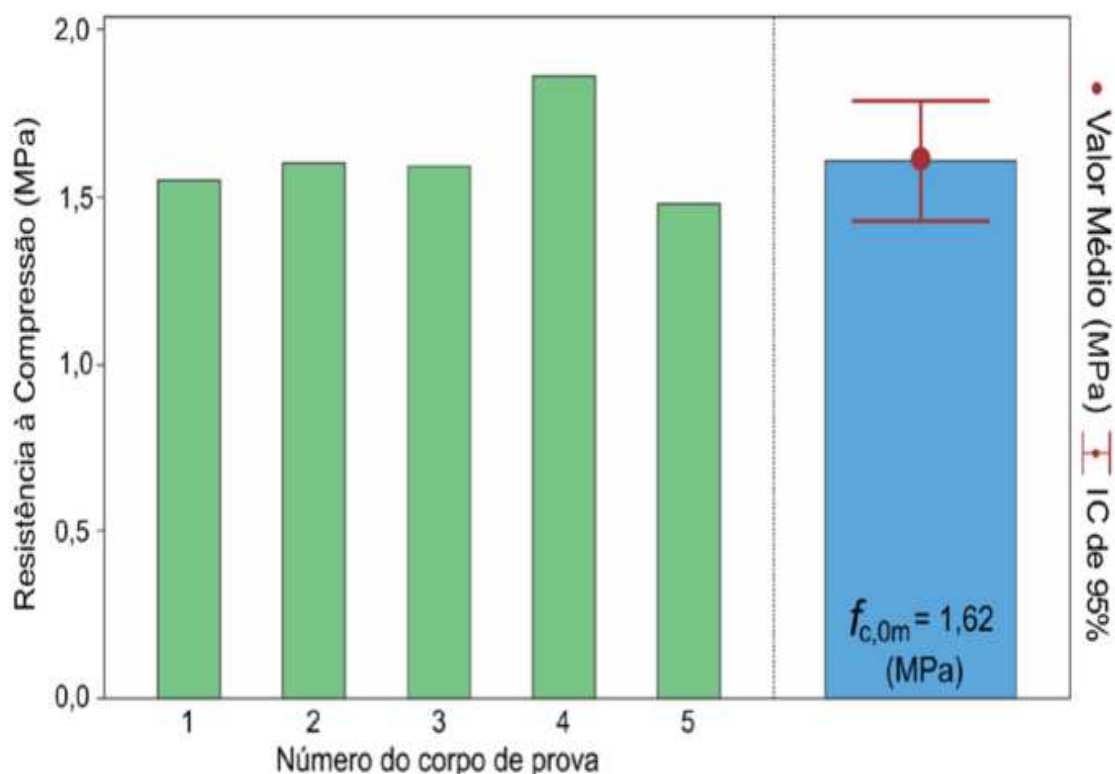
Parâmetros	Resultados
Teor de umidade higroscópica (h)	3,75%
Limite de liquidez (LL)	38%
Limite de plasticidade (LP)	26%
Índice de plasticidade (IP)	12%
Índice de consistência (IC)	2,85

Fonte: (CUNHA e SEOLIN, 2021)

Conforme descrito nas tabelas acima, cada porção de solo analisada possui suas características próprias. Nesses dois casos temos materiais extraídos a uma distância aproximada de 430 km, porém, mesmo em lugares próximos as características físicas podem sofrer variação.

Conforme descrito por Minke (2022, p. 23), “[...] a composição e as propriedades da terra variam, dependendo das condições locais onde se encontra.”, portanto, justifica-se realizar os ensaios físico-mecânicos em uma porção de solo extraído, mesmo a pouca distância entre uma extração e outra.

Figura 15: Resultados dos ensaios de resistência mecânica à compressão para mistura de 50% de solo, 50% de areia e 15% de cimento.



Fonte: (WOLENSKI *et al.*, 2021, p. 56)

Com relação à resistência mecânica dos solos analisados pelos autores Wolenski *et al.* (2021), apresentado na Figura 17, chegou-se em valores médios de $f_{c,m}=1,62$ MPa, para 05 corpos de prova cilíndrica rompidos com idade de 21 dias.

Já para os ensaios de compressão em tijolos de BTC moldados em solo-cimento apresentados por Cunha e Seolin (2021), chegou-se em valores na ordem de 1,90 MPa para 03 misturas distintas.

Tabela 3: Resistência à compressão (MPa)

Amostra		Composição do traço	Resistência à compressão (MPa)
Traço	Tijolo		
1	1 e 2	3kg terra; 400ml água	1,95
2	3 e 4	3kg terra; 100g cimento; 450ml água	1,40
3	5 e 6	1,5kg terra; 1,5kg areia; 100g cimento; 400ml água	1,91

Fonte: (CUNHA e SEOLIN, 2021, p. 66)

Nota-se que ambos os resultados apresentam resistência a compressão muito próximos entre eles mesmo sendo executados em corpos de prova com modelagem diferentes.

2.1.5 Taipa de Pilão;

Taipa de pilão é a técnica de construção escolhida para uma revisão bibliográfica e aplicação prática do solo-cimento na construção de uma parede monolítica de caráter experimental.

Alguns motivos determinaram a escolha do sistema de taipa de Pilão como limitador do tema deste trabalho no quesito sistema construtivo, tais como:

- Ótima resistência à compressão;
- Possibilidade de executar paredes maciças (monolíticas);
- O solo compactado apresenta desenhos e texturas únicas para cada projeto;
- Possui um apelo arquitetônico moderno e contemporâneo;
- É possível utilizar o solo do local da construção como matéria-prima;
- É uma técnica que foi amplamente e historicamente utilizada por diversas civilizações pelo mundo todo;
- Tem um forte apelo ecológico, uma vez que utiliza a terra como principal matéria-prima;

Figura 16: Exemplo de execução de paredes monolíticas em taipa de pilão.



Fonte: (NEVES e FARIA, 2011).

Os autores Torgal, Eires e Jalali (2009, p. 33), trazem um exemplo do uso da taipa de pilão na aplicação da terra crua na construção o qual é apresentada na figura abaixo, onde “na Alemanha ainda permanece habitada uma construção em taipa de

1795 e um edifício de 1828 em taipa que ainda permanece de pé...”

Figura 17: Edifício de 6 andares construído em taipa, Weilburg, Alemanha.



Fonte: (TORGAL, EIRES e JALALI, 2009, p. 33)

Conforme descrito por Minke (2022, p. 52):

Durante muitos séculos, em todos os cinco continentes, a terra batida (taipa) tem sido amplamente utilizada como um meio tradicional de construção de paredes. De fato, fundações em terra batida, datadas de até 5000 A.C. foram descobertas na Assíria. Nas técnicas da taipa, terra humedecida é deitada em camadas de até 15 cm em cofragens, e depois compactada por um método próprio - batida.

Essa técnica foi quase esquecida durante muito tempo devido a diversos fatores e por isso também do interesse em conhecê-la e se aprofundar-se a ponto de poder aplicá-la na prática em nossa região.

Na continuidade, Minke (2022, p. 52), também descreve que:

As técnicas tradicionais de taipa são ainda hoje usadas em muitos países em vias de desenvolvimento. Cofragens sofisticadas e 'batedores' elétricos ou pneumáticos reduzem a mão-de-obra necessária de forma significativa, e fazem que as técnicas de taipa sejam também importantes em países industrializados. Por razões ecológicas, e por vezes também económicas, a tecnologia de taipa mecanizada poderá ser uma alternativa viável à alvenaria convencional, especialmente nos países industrializados onde não são imprescindíveis altos padrões de isolamento térmico. Muitas firmas empregam esta tecnologia no sudoeste dos Estados Unidos e na Austrália.

Pisani (2004) comenta que no Brasil, taipas encontradas no período colonial foram executadas com terra retirada do local geralmente escolhidas pelo próprio

taipeiro que conhecia de forma empírica as propriedades físicas do material selecionando-as pelo tato e visualmente.

No Brasil a utilização da construção de taipa foi introduzida por ser menos trabalhosa que a alvenaria de pedra, mas nem por isso pouco resistente ao tempo (SATO, 2011, p. 3).

Conforme comentado por Portella *et al.* (2015) *apud* Silveira (2019, p. 19) essa técnica foi trazida pelos colonizadores portugueses já que está comprovado que os grupos indígenas brasileiros não utilizavam técnicas construtivas baseadas em barro”.

Segundo Schmidt (1946) *apud* Pisani (2004) “[..] os solos preferidos eram vermelhos, vindo a seguir os roxos e os pardos, por apresentarem uma “liga” ou “trabalhabilidade” maior”.

Em algumas obras estudadas e descritas por Pisani (2004), alguns taipais continham no interior das paredes, reforços de madeira geralmente dispostos na linha central das paredes, ou seja, no ponto onde as paredes recebem as maiores cargas, no seu centro geométrico.

Figura 18: Paredes com reforços internos.



Fonte: (PISANI, 2004, p. 12)

De acordo com Neves e Faria (2011, p. 47), “A taipa de pilão é um sistema construtivo utilizado para execução de fundações e paredes. Neste sistema, o solo é devidamente preparado e compactado. Muitas vezes, se acresce algum tipo de aglomerante durante a preparação do solo para melhorar ainda mais os parâmetros

estruturais”.

A execução da taipa de pilão está pautada na ABNT NBR 17014:2022, “(...) que estabelece os requisitos e as condições gerais para execução, controle e aceitação da taipa de pilão.

[...] A técnica consiste em preencher formas com camadas de terra de 10 a 15cm, compactando cada uma delas com batidas. A norma brasileira referente à técnica é a NBR 17014. A cofragem, sistema de fôrmas ou moldes, é composta por tábuas paralelas separadas e unidas por uma viga (il. 5.2-1). Em francês, essa técnica é chamada *pisé*, em espanhol *tapial*, em inglês *rammed Earth*; em alemão *stampflembau*. (MINKE, 2022, p. 61).

Resumidamente taipa de pilão, consiste basicamente em montagem de uma fôrma de madeira, devidamente escorada e travada e na sequência é lançado o composto de solo-cimento e realizado a compactação das camadas.

Para construção da taipa de pilão é importante seguir algumas orientações quanto a forma de dimensões, pois segundo ABNT NBR 17014 (2022, p. 5):

- espessura da taipa deve ser maior ou igual a 30cm, esbeltez menor ou igual a 10 e comprimento máximo menor ou igual a 9m;
- a taipa com adição de estabilizante pode ter espessura reduzida e esbeltez aumentada, desde que atenda aos requisitos de 4.2;
- a taipa com adição de cimento deve ter espessura maior ou igual a 12cm e esbeltez menor ou igual a 23;

A ABNT NBR 17014:2022, (p. 3), também descreve com a terra deve preparada na execução da taipa de pilão considerando ao atendimento das seguintes características:

- 100% de material que passe na peneira com abertura de malha de 50mm para a taipa com espessura maior que 20cm;
- 100% de material que passe na peneira com abertura de malha de 19mm para a taipa com espessura entre 12 e 20cm;
- 50% a 80% de material retido entre as peneiras com abertura de malha de 2mm e 0,075mm;
- 20% a 35% de material que passe na peneira com abertura de malha de 0,075mm;
- Limite de liquidez menor ou igual a 50%;
- Índice de plasticidade menor ou igual a 25%;

Alguns autores como Miccoli, Müller e Fontana (2014) *apud* Mendes e Bessa (2022), comentam que o desempenho físico-químico das paredes em taipa de pilão

depende da granulometria da terra, do teor de umidade, da compactação, das adições de estabilizantes e do teor de fibras.

Observa-se que nos projetos de Arquitetura é importante ter alguns cuidados para um bom desempenho do sistema, entre eles, proteger as paredes evitando a penetração de água, e distribuir os esforços de forma perpendicular à superfície resistente, pois são paredes moldadas *in loco* com grande capacidade de resistência à compressão.

Quanto a umidade, alguns cuidados podem ser tomados na fase de projeto, como, por exemplo, aumentar o tamanho dos beirais e proteger a base da parede utilizando uma camada de concreto protegida com impermeabilizante para evitar o contato direto com a umidade.

Ainda quanto a umidade, segundo Ceped. Thaba, Camaçari (1984, p. 54) “ É bastante pronunciado nas paredes de solo-cimento o fenômeno da ascensão capilar de água através das fundações, deixando marcas de umidade em alturas de até 50 cm acima do piso”, por isso dá importância de tomar os cuidados necessários.

Também é importante o uso de vigas de madeira ou de concreto como verga e contra verga nas aberturas de janelas e portas, evitando assim as trincas por acúmulo de tensões nos cantos e melhorar a distribuição dos esforços ao longo da parede.

Outro cuidado importante, segundo Neves e Faria (2011, p. 49) [...] diz respeito às dimensões das formas que sempre devem ser compatíveis com a modulação das paredes, podendo haver certa flexibilidade a depender do projeto da própria fôrma.

De acordo com D´Avila (2008, p. 203), para execução da técnica é importante seguir alguns passos:

- 1) Montar os taipais (fôrmas) cuidando para que os mesmos estejam bem fixos e estáveis. 2) Preparar a massa com terra peneirada podendo a mesma ser estabilizada com cimento ou cal. O solo ideal para esta técnica é arenoso, com no mínimo 50% das partículas de areia, e com no máximo 20% de argila. Umedecer ligeiramente a massa até que se atinja um mínimo de coesão entre as partículas da terra. Uma boa mistura para cimento, cal e terra, é a proporção de 1:1:8. Costuma-se popularmente usar apenas barro misturado com grãos de areia e brita e para que o barro tenha maior consistência a melhor resistência à chuva, ele pode ser misturado com sangue de boi e óleo de peixe. 3) Colocar a massa dentro dos taipais, em camadas de 10 a 15 cm. Apiloar até que a massa não se deforme mais com os golpes. Serão atingidas fiadas de 50 a 80 cm, dependendo do tamanho da fôrma. 4) Ao final de cada fiada, desmontar a fôrma com cuidado para não danificar a parede. Remontar os taipais logo acima para dar sequência à construção.

Segundo Minke (2022, p. 61), “A técnica tradicional da taipa de pilão é utilizada, hoje, em diversos países do mundo. Sistemas de fôrmas mais sofisticados e com uma

compactação mediante a utilização de soquetes elétricos ou pneumáticos reduzem os custos da mão de obra significativamente, e fazem dessa técnica uma opção relevante em países industrializados”.

Atualmente o uso de materiais com o alumínio na fabricação das estruturas das fôrmas torna os painéis mais leves e sistemas hidráulicos de elevação das fôrmas podem ser utilizados como uma melhoria no processo de execução das taipas de pilão.

Figura 19: Apiloamento em taipa de pilão



Fonte: (MINKE, 2022, p. 57)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta etapa serão apresentados os locais de extração do solo e também, serão demonstrados os resultados obtidos da sua análise física.

3.1 Extração e preparação do solo

Solo analisado foi extraído em uma região localizada no extremo oeste de Santa Catarina, na cidade de Águas de Chapecó, em uma área de terra localizada às margens do rio Chapecó.

Figura 20: Local da Extração do Solo



Fonte: earth.google (2023)

O local é uma área de cultivo agrícola onde se verificou a existência de dois tipos de solos distintos. Esse fator deve-se, principalmente, ao fato de que pelo menos 60% da área acaba por ficar alagada devido às águas oriundas das cheias do rio Chapecó.

Com relação à escolha do solo:

Os solos apropriados para a construção geralmente estão situados no subsolo, também chamado de *horizonte B*, livres de matéria orgânica. Nas zonas semiáridas e áridas, é possível encontrar solos adequados na superfície, depois de eliminar pedras, raízes e todo material orgânico presente. As propriedades mais importantes dos solos, visando seu uso na construção, são:

- Na seleção: composição granulométrica, plasticidade e retração;
- No controle da execução: umidade e grau de compactação (NEVES, FARIA, *et al.*, 2009, p. 6).

Para escolha do solo não existe um critério único, geralmente utiliza-se o solo a disposição no local da construção para facilitar a logística de aplicação, nesse caso optou-se pelo local devido à posição do imóvel ser em um perímetro urbano de fácil acesso e com possibilidade do seu uso em futuros projetos do proprietário.

A (ABNT NBR 13553:2012, (p. 1), descreve que, “o solo pode ser proveniente de jazida ou do próprio local, deve ser homogêneo e não pode conter teores de matéria orgânica que prejudiquem as características exigidas por esta Norma”.

Figura 21: Mapeamento dos pontos de extração



Fonte: earth.google (2023).

Após a definição e mapeamento do local de extração do solo, foi realizada a limpeza no local para remoção da primeira camada de matéria orgânica depositada.

Figura 22: Limpeza do Local da extração da Terra 2



Para facilitar a extração do solo, foi utilizado uma mini escavadeira, a qual realizou a retirada de aproximadamente 1,5m³ de solo de cada ponto de coleta.

Figura 23: Limpeza do Local da Extração da Terra 1

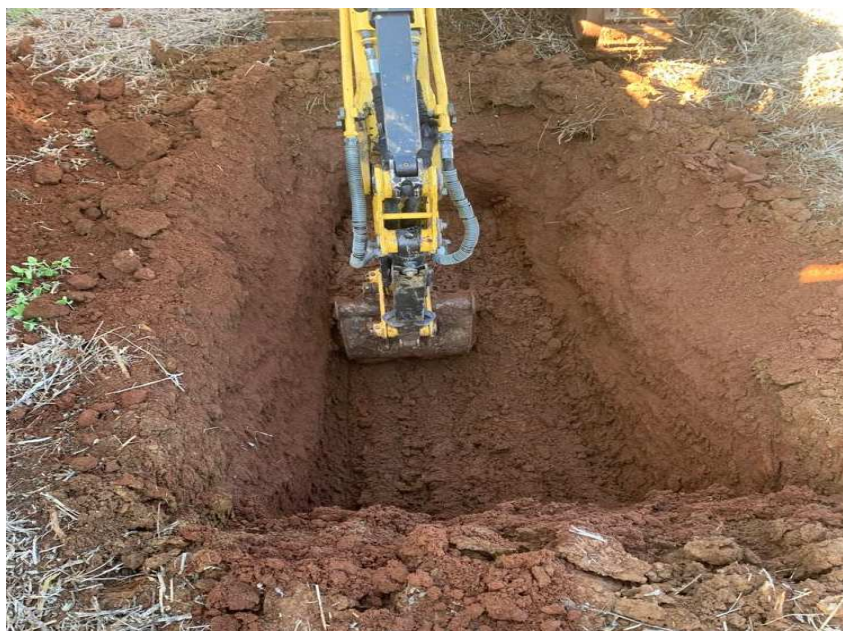


Após a limpeza, iniciou-se a escavação e as primeiras porções de terra foram descartadas buscando encontrar o solo mais homogêneo possível e com o mínimo de matéria orgânica alocada na porção extraída.

Figura 24: Extração da Terra 2



Figura 25: Extração da Terra 1



Na propriedade optou-se pela coleta em dois pontos distintos para avaliar as propriedades físico-mecânicas de duas porções de terra, com a finalidade de demonstrar a possibilidade de encontrar material com propriedades físicas, mecânicas, cores e texturas diferentes em uma mesma área.

É habitual que sejam priorizados o emprego da terra do próprio local onde se fará a construção e a utilização de somente um tipo de terra. Porém, algumas vezes, a terra resultante de uma mescla de dois ou mais tipos de solo produz melhores resultados. Em geral, a mescla de diferentes tipos de solo ocorre quando a terra do local é muito argilosa, ou muito arenosa, e quando a incorporação de menor quantidade de outro solo melhora as propriedades que lhe fazem falta. (NEVES, FARIA, *et al.*, 2009, p. 12).

Figura 26: Terra 1



As duas imagens demonstram a variação de tonalidade de cor entre os dois tipos de terra extraídos.

Figura 27: Terra 2



Nesse caso em específico pode-se analisar também, a diferença entre os solos

que recebem materiais depositados ao longo dos anos devido ao alagamento comparando-o com solo sem essa condição.

Para selecionar o solo mais adequado, dentre os disponíveis no local da construção, é necessário que se obtenham amostras representativas destes solos e em quantidades suficientes para a realização de todos os ensaios e testes. Para compor uma amostra do solo, devem ser coletadas porções do mesmo em vários pontos do terreno. Em seguida, as porções coletadas devem ser homogeneizadas e quarteadas, para obtenção da amostra a ser estudada. O quarteamento consiste em formar um monte com a amostra inicial, dividir este monte em quatro partes iguais, juntar duas partes opostas e descartar as outras duas. Se a amostra inicial é muito grande, o procedimento pode ser repetido mais vezes, até obter a porção adequada para os testes e ensaios de seleção. (NEVES e FARIA, 2011, p. 14)

Todo o material foi acondicionado de forma separada, mantendo a distinção entre as duas amostras coletadas e posteriormente enviada para um local seco e protegido para sequência dos estudos.

3.2 Ensaios físicos e mecânicos do solo

O material coletado passou por análises e testes em laboratório, porém, em muitos casos não se tem acesso a laboratórios e, portanto, ensaios de campo são alternativas que podem ser adotadas para caracterizar o solo a ser utilizado.

Independente da qualificação do solo, através de ensaios de laboratório, o conhecimento popular na arte de construir com terra pode indicar decisões, mesmo empíricas, tão eficientes quanto a qualificação resultante de ensaios normalizados, executados em laboratórios. Os testes de campo, que resultam de uma saudável combinação entre o saber popular e o conhecimento do meio técnico, são, muitas vezes, as únicas provas que se podem fazer para selecionar a terra e construir. (NEVES, FARIA, *et al.*, 2009)

De acordo com Sato (2011, p. 7), há diversos testes e recomendações quanto à seleção da terra, podendo ser testes táteis, visuais, expeditos e qualitativos, tais como: testes do vidro, do cordão, da fita, de exsudação, da resistência seca, da caixa, entre outros testes.

Alguns exemplos de testes:

- Caracterização por tamanho das partículas;
- Caracterização por cor;
- Caracterização por brilho;
- Tato;

Outros testes podem ser aplicados como os chamados de testes expeditos;

- Teste da queda da bola;
- Teste do vidro;

- Teste do cordão;
- Teste da Fita;
- Teste de exsudação;
- Teste de resistência seca;
- Teste do rolo;
- Teste da caixa;

Nas figuras abaixo, extraídas de (Ceped. Thaba, Camaçari (1984), serão apresentados uma sequência de exemplo de alguns testes expeditos comumente usados para preparo da terra a ser utilizado como matéria-prima no processo de construção.

Esses testes são importantes, pois trazem consigo a experiência prática desenvolvida ao longo dos tempos e facilitam o trabalho dos construtores que não tem acesso a laboratórios para análise mais detalhada do solo a ser utilizado.

Figura 28: Teste da Caixa

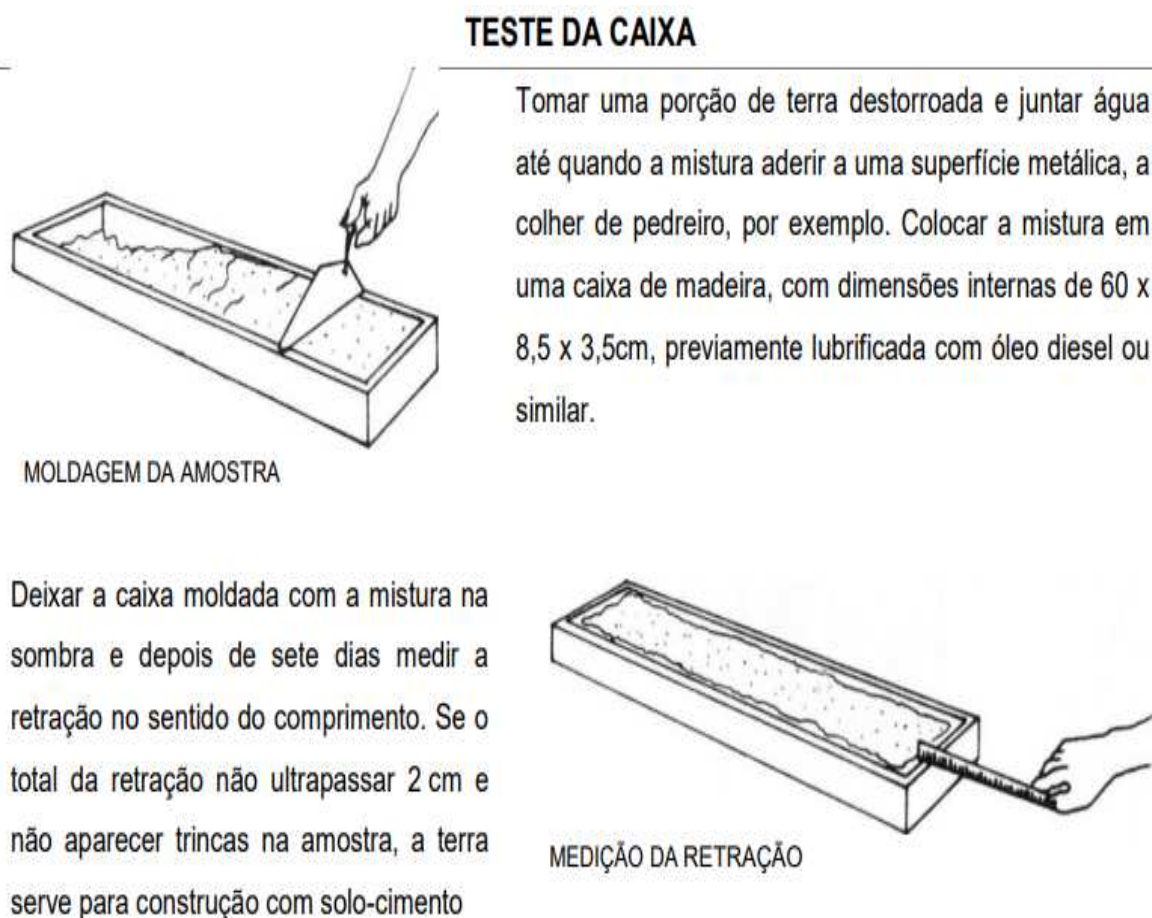


Figura 29: Teste do Cordão

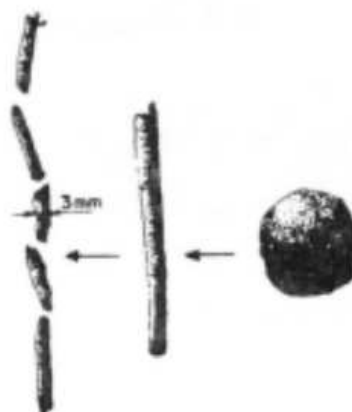
TESTE DO CORDÃO



Tomar uma porção de terra seca e juntar água até que os cordões rolados comecem a se quebrar com um diâmetro de 3 mm.

Formar uma bola com essa umidade e verificar a força necessária para esmagá-la entre o polegar e o indicador:

- *cordão duro* – só se pode quebrar a bola com muito esforço.
- *cordão mole* – a bola se fissa ou esmigalha com pouco esforço.
- *cordão frágil* – não é possível reconstituir a bola sem que ela se fissure ou esmigalhe.



Fonte: (CEPED. THABA, CAMAÇARI, 1984)

Figura 30: Teste da fita

TESTE DA FITA



Tomar uma porção de terra, com a mesma umidade do ensaio de cordão, e fazer um cilindro do tamanho de um cigarro. Amassar o cilindro de modo a formar uma fita, com 3 a 6 mm de espessura e o maior comprimento possível.

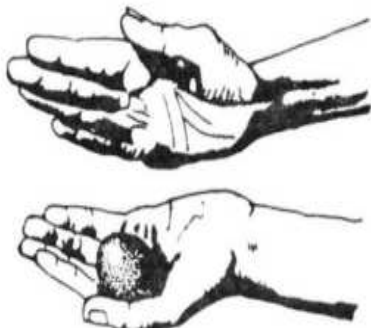
- *Fita longa* – 25 a 30 cm sem dificuldade.
- *Fita curta* – 5 a 10 cm com dificuldade.



Fonte: (CEPED. THABA, CAMAÇARI, 1984).

Figura 31: Teste do bolo

TESTE DO BOLO



Tomar uma porção de terra bastante úmida e colocá-la no oco da mão. Golpear esta mão com a outra de modo que a água saia para a superfície da amostra, dando-lhe um aspecto liso e brilhante. Pressionar então o bolo com os dedos.

- *Reação rápida* – bastam 5 a 10 golpes para que a água aflore à superfície da amostra, a pressão dos dedos faz a água desaparecer imediatamente e uma pressão mais forte esmigalha o bolo.
- *Reação lenta* – são necessários 20 a 30 golpes para que a água aflore; a pressão dos dedos faz com que o bolo se



Fonte (CEPED. THABA, CAMAÇARI, 1984)

Figura 32: Teste da resistência seca

TESTE DA RESISTÊNCIA SECA

Fazer duas ou três pastilhas de terra bem úmida, com cerca de 1 cm de espessura e 2 a 3 cm de diâmetro. Secar as pastilhas ao sol por dois ou mais dias. Tentar esmagar a pastilha entre o indicador e o polegar.

- *Grande resistência seca* – é muito difícil esmagar a pastilha e quando se consegue esta se quebra como um biscoito.
- *Média resistência seca* – não é difícil partir a pastilha e com algum esforço consegue-se reduzir os pedaços a pó.
- *Fraca resistência seca* – é muito fácil partir a pastilha e ao partir-se reduz-se a pó.

Fonte: (CEPED. THABA, CAMAÇARI, 1984)

Tabela 4: Descreve o tipo de solo e técnica construtiva indicada por testes expeditos.

Teste do cordão	Teste da fita	Teste do bolo	Teste da resistência seca	Tipo de solo	Possibilidade de utilização
Cordão frágil ou resistência nula	Fita curta ou não se consegue fazer a fita	Reação rápida a lenta, mas jamais muito lenta	Fraca a nula, geralmente nula	Areia fina, areia fina siltosa, areia fina argilosa, silte argiloso	Solo prensado para tijolos, adobes com cimento, terra compactada com ou sem cimento; quando muito arenoso, juntar solos finos, siltosos ou argilosos
Cordão frágil a semi-duro	Fita curta	Reação lenta, a muito lenta	Fraca a média	Siltoso	Utilização mais difícil que os solos anteriores, mas possível com o uso de cimento
Cordão semi-duro	Fita curta a longa	Reação muito lenta ou não tem reação	Média a grande	Argiloso com pedregulho, com areia e argila siltosa	Possível usar apenas para a terra compactada ou tijolo prensado, com cimento
Cordão duro	Fita longa	Não tem reação	Grande	Argiloso	Não deve ser usado

Fonte: (NEVES et al., 2009, p. 24)

Importante a análise e estudos dos testes expeditos, pois são relatos de técnicas empíricas utilizadas para nortear a forma de correção do solo a fim de melhorar o desempenho durante a sua aplicação prática.

3.2.1 Caracterização física do solo

Partindo da seleção e extração do solo, iniciaram-se os experimentos para determinação das características físicas do material, verificando a distribuição granulométrica e os índices de Liquidez e plasticidade.

A determinação do limite de Liquidez é normatizada e todo o procedimento segue descrito na ABNT NBR 6459:2016, bem como, para o índice de plasticidade o qual deverá ser seguido a (ABNT NBR 7180 (2016), p. 1), pois “[...] especifica o método para determinação do limite de plasticidade e para o cálculo do índice de plasticidade dos solos”.

ABNT NBR 7181:2016 a qual “[...] estabelece o método para análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento”.

Também foi utilizada a norma NORMA DNIT 414:2019 - ME para a realização do ensaio de densidade real dos grãos.

Parte do material selecionado foi separada e posto em uma estufa com capacidade de temperatura entre 60 e 65 °C para diminuir o teor de umidade a fim possibilitar a realização do quarteamento.

Após o quarteamento, foi realizado o peneiramento, a pesagem e a separação do material o qual foi identificado quanto ao tipo de solo, conforme o local de extração descrita na Figura 34, terra 1 e terra 2;

3.2.1.1 Limite de Liquidez e Plasticidade;

Tanto o Limite de Liquidez quanto o Limite de Plasticidade tratam das condições de trabalhabilidade do solo, ambos definem a plasticidade do solo e os limites de consistência e dependem geralmente da quantidade e do tipo de argila presente no solo.

Maiores valores destes limites significam maiores dificuldades no destorramento, mistura e também na secagem, quando necessária. Existe consenso em fixar o máximo limite de liquidez entre 45% a 50%, o que coincide com critérios usados para estradas. (CEPED. THABA, CAMAÇARI, 1984, p. 38).

O limite de Liquidez (LL) segundo Neves e Faria, *et al.* (2009, p. 9), “é o grau de umidade determinado pelo *aparelho de Casagrande*” e o limite de Plasticidade (LP) segundo Neves e Faria, *et al.* (2009, p. 9), “é o grau de umidade necessário e suficiente para deslizar uma porção de solo umedecido sobre uma placa de vidro, até formar um pequeno cordão com 3 mm de diâmetro e 12 a 15 cm de comprimento”.

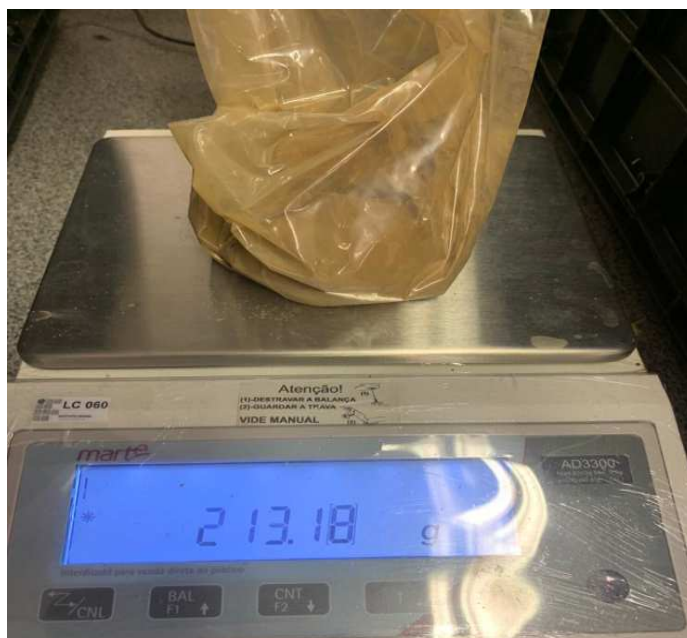
A diferença entre o Limite de Liquidez e o Limite de Plasticidade determina o Índice de Plasticidade que é determinante na resistência do solo à penetração e compactação.

Como já comentado, ambos os testes foram pautados nas normas relacionadas à caracterização física do solo, seguindo rigorosamente o seu conteúdo possibilitando assim uma análise mais detalhada do solo o qual será utilizado para a aplicação prática.

Abaixo segue imagens da execução dos testes referente ao Limite de Liquidez

e de Plasticidade, nas duas amostras de solo chamadas de terra 1 e terra 2:

Figura 33: Peneiramento e pesagem do solo



Antes da pesagem o solo passou por secagem, peneiramento e foi embalado e etiquetado para rastrear o tipo de solo utilizado em cada ensaio.

Figura 34: Ensaio de Casagrande para Limite de Liquidez



Figura 35: Ensaio do cordão para Limite de Plasticidade



Figura 36: Pesagem das cápsulas com amostra de solo.



Para realização dos testes de Limite de Liquidez e do Limite de Plasticidade foram utilizadas as normas ABNT NBR 6459:2016 e ABNT NBR 7180:2016.

Tabela 5: Resultado dos testes para a amostra de Terra 1

Obra:	TCC II	Amostra							
Data:	28/03/2023	Identificação:	Terra 1						
Técnico de Laboaratório:	Simone	Tipo:							
Engenheiro Responsável CREA:		Localização:	Águas de Chapecó						
Contratante:		Profundidade:	0,50m						
Dados do Ensaio	Limite de Liquidez					Limite de Plasticidade			
Número de Golpes	16	19	33	33	19				
Número da Cápsula	2	3	4	5	7	1	6	8	-
Peso de Solo, Cápsula e Água (g)	18,70	16,90	16,75	15,66	18,06	14,41	14,03	14,39	-
Peso de Solo e Cápsula (g)	17,00	15,56	15,61	14,63	16,47	14,12	13,69	14,05	-
Cápsula (g)	13,17	12,79	13,11	12,40	13,08	13,10	12,65	12,86	-
Água (g)	1,70	1,34	1,14	1,03	1,59	0,29	0,34	0,34	-
Solo (g)	3,83	2,77	2,50	2,23	3,39	1,02	1,04	1,19	-
Umidade (%)	44,39	48,38	45,60	46,19	46,90	28,43	32,69	28,57	-
Limite de Liquidez (LL):						46,29 %			
Limite de Plasticidade (LP):						29,90 %			
Índice de Plasticidade (IP):						16,39 %			

Gráfico Número de Golpes x Umidade

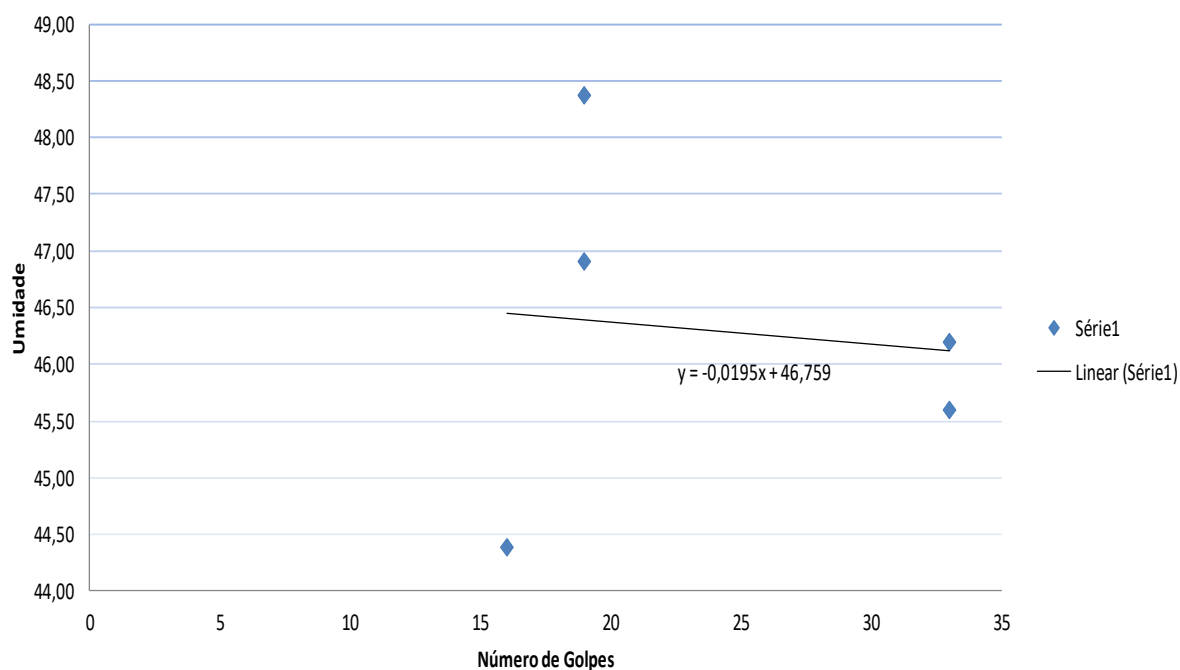


Tabela 6: Resultado dos testes para a amostra de Terra 2

Obra:	TCC II	Amostra							
Data:	10/03/2023	Identificação:	Terra 2						
Técnico de Laboaratório:	Simone	Tipo:							
Engenheiro Responsável CREA:		Localização:	Águas de Chapecó						
Contratante:		Profundidade:	0,50m						
Dados do Ensaio		Limite de Liquidez				Limite de Plasticidade			
Número de Golpes	33	37	35	26	34				
Número da Cápsula	1	2	3	4	5	6	7	8	-
Peso de Solo, Cápsula e Água (g)	15,55	17,39	16,62	16,67	18,22	14,00	14,46	14,26	-
Peso de Solo e Cápsula (g)	14,80	16,09	15,43	15,50	16,41	13,65	13,98	13,84	-
Cápsula (g)	13,21	13,13	12,87	13,03	12,41	12,61	12,95	12,76	-
Água (g)	0,75	1,30	1,19	1,17	1,81	0,35	0,48	0,42	-
Solo (g)	1,59	2,96	2,56	2,47	4,00	1,04	1,03	1,08	-
Umidade (%)	47,17	43,92	46,48	47,37	45,25	33,65	46,60	38,89	-
		Limite de Liquidez		(LL):		46,04 %			
		Limite de Plasticidade		(LP):		39,71 %			
		Índice de Plasticidade		(IP):		6,32 %			

Gráfico Número de Golpes x Umidade

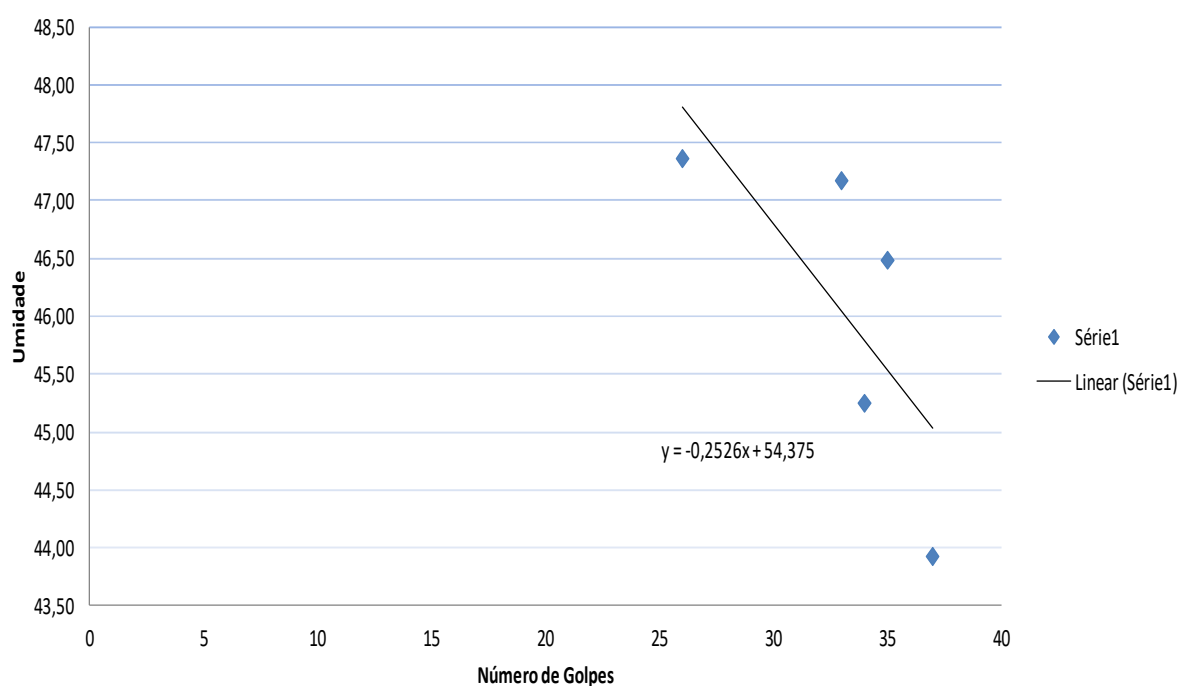


Tabela 7: Resultado dos testes

Partículas de Solo Argiloso < 0,002mm	Partículas de Solo Siltoso < 0,05mm	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Local
85,09	14,65	46,04	39,71	6,32	Terra 1 - Águas de Chapecó, SC
79,48	18,73	46,77	29,90	16,39	Terra 2 - Águas de Chapecó, SC

Convém ressaltar que (Wolenski *et al.*, 2021), o qual descrevo como estudos correlatos, realizou o mesmo procedimento para análise do solo na cidade vizinha de São Carlos, SC, a qual descreve o resultado:

Percebe-se que o solo contém grande quantidade de material fino (partículas < 0,075mm). Esta característica é predominante de solos residuais de basalto da Formação Serra Geral, conforme relatado por Gutierrez *et al.* (2015), Menegotto *et al.* (2016) e Santos *et al.* (2016). Entretanto, ao realizar a mistura do solo, a qual resulta no solo-mistura que contém 50% de solo residual e 50% de areia, temos uma redução da quantidade de finos, onde este valor no solo-mistura é em torno de 57%. (WOLENSKI *et al.*, 2021)

Percebe-se pelos resultados dos ensaios, a semelhança entre os solos estudados com os resultados dos ensaios realizados por Wolenski *et al.* (2021) e também da tabela abaixo onde estão contempladas análises de solos em outras regiões próximas.

Um exemplo é o solo encontrado em Chapecó, SC que está localizado a uma distância de aproximadamente 50km de Águas de Chapecó, SC.

Tabela 8: Dados de Caracterização física de solos residuais de basalto da Formação Serra Geral

Autor	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ_s (kN/m ³)	Local
Gutierrez <i>et al.</i> (2015)	-	-	-	57	39	18	30,2	Maringá - PR
Menegotto <i>et al.</i> (2016)	84	13	3	54	38	16	27,5	Chapecó - SC
Santos <i>et al.</i> (2016)	61,8	27,7	1,6	56	25	31	27,5	Cel. Barros - RS

Fonte: (WOLENSKI *et al.*, 2021)

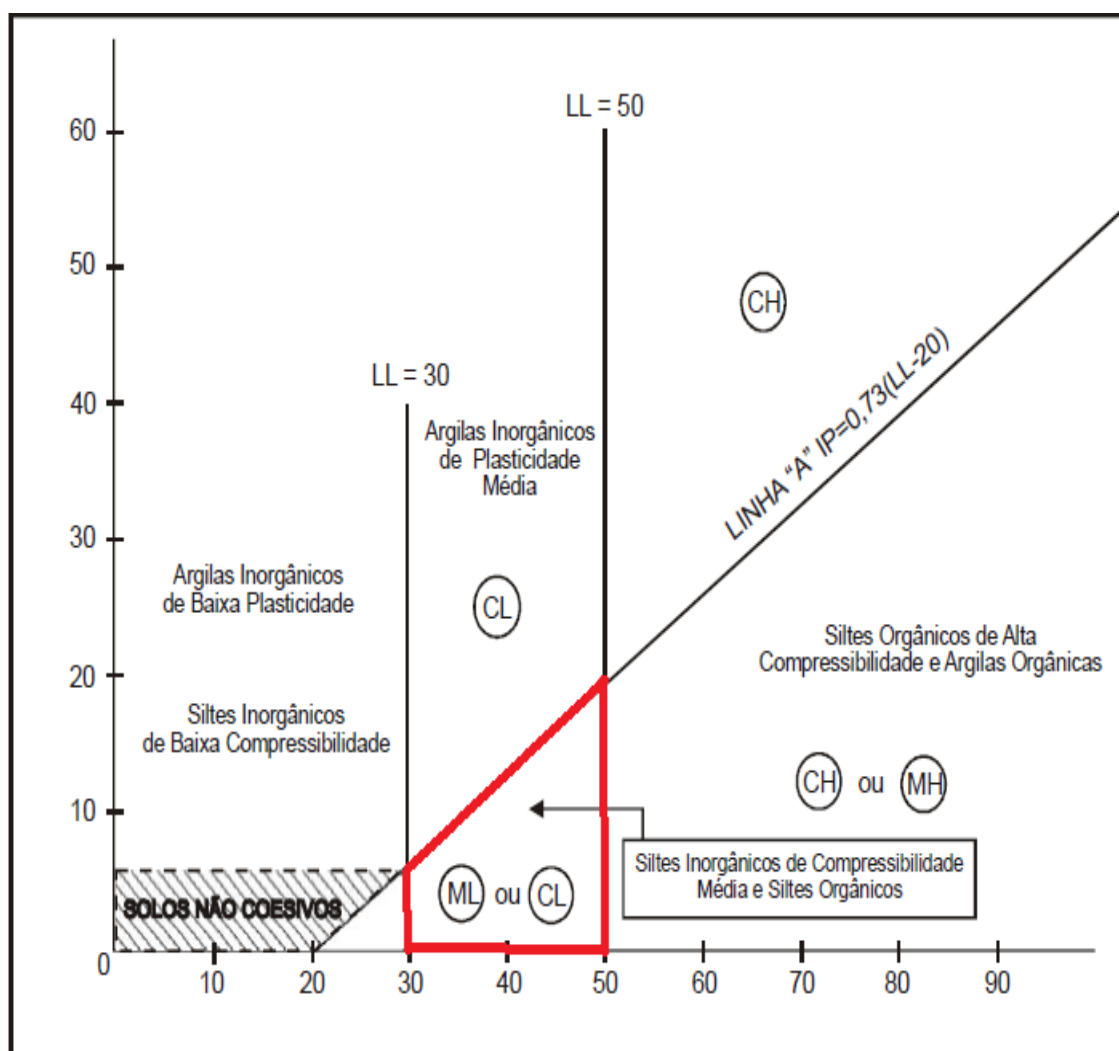
Conforme os resultados apresentados na tabela 8, o solo analisado pode ser considerado com o Silto-Argiloso levando em conta os índices de plasticidade e o Limite de Liquidez.

Tabela 9: Classificação dos solos, em função dos Índices de Plasticidade (CRATerre, 1979)

Tipo de solo	IP (%)	LL (%)
Arenoso	0 a 10	0 a 30
Siltoso	5 a 25	20 a 50
Argiloso	> 20	> 40

Fonte: (NEVES et al., 2009, p. 10)

Tabela 10: Gráfico de Plasticidade



Fonte: (DNIT, 2006, p. 60)

Segundo (DNIT, 2006, p. 59), ML são denominados Siltes Inorgânicos, areias muito finas, areias finas siltosas e argilosas e CL são argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade, argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas.

Tabela 11: Sistema Unificado de classificação do solo

SOLOS DE GRADUAÇÃO GROSSA: mais de 50% retido na peneira nº 200	Pedregulhos: 50% ou mais da fração graúda retida na peneira nº 4	Pedregulho sem finos	GW	Pedregulhos bem graduados ou misturas de areia de ped.com pouco ou nenhum fino.
			GP	Pedregulhos mau graduados ou misturas de areia e ped.com pouco ou nenhum fino.
		Pedregulho com finos	GM	Pedregulhos siltosos ou misturas de ped.areia e silte.
			GC	Pedregulhos argilosos, ou mistura de ped.areia e argila.
	Areias: 50% ou mais da fração graúda passando na peneira nº 4	Areias sem finos	SW	Areias bem graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
			SP	Areias mau graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
		Areias com finos	SM	Areias siltosas - Misturas de areia e silte.
			SC	Areias argilosas - Misturas de areia e argila.
SOLOS DE GRADUAÇÃO FINA: 50% ou mais passando pela peneira nº 200	SILTES e ARGILAS com LL ≤ 50		ML	Siltes inorgânicos - Areias muito finas - Areias finas siltosas e argilosas.
			CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade - Argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas.
			OL	Siltes orgânicos - Argilas siltosas orgânicas de baixa plasticidade.
	SILTES e ARGILAS com LL > 50		MH	Siltes - Areias finas ou siltes micáceos - Siltes elásticos.
			CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade.
			OH	Argilas orgânicas de alta e média plasticidade.
	Solos Altamente Orgânicos		PT	Turfas e outros solos altamente orgânicos.

Fonte: (DNIT, 2006, p. 59)

As duas porções de terra foram retiradas de um mesmo terreno, porém, a terra 1 foi extraída de uma região, onde ao passar dos anos sofreu alagamentos advindos das cheias do rio Chapecó.

Essa porção de terra apresenta assim um índice de plasticidade baixo e um limite de liquidez menor que 50%, considerado assim um solo com material siltoso.

Quanto à porção de terra 2, foi extraída de uma região sem contato com área de alagamento e, portanto, mantém suas características originais apresentando um IP de 16,39% e o Limite de Liquidez abaixo de 50%, o que representa um solo mais argiloso.

A análise dessas duas porções foi realizada para que fosse possível compreender a importância dos ensaios para a avaliação da forma correta de preparo e aplicação de cada porção.

Também foi possível avaliar como as propriedades do solo podem ser afetadas por meios externos mesmo em uma mesma área de extração mesmo a poucos metros de um ponto a outro.

3.2.1.2 Dosagem Físico-química de solo-cimento

O ensaio foi realizado para entender a quantidade mínima de cimento necessário para estabilizar completamente uma porção de solo.

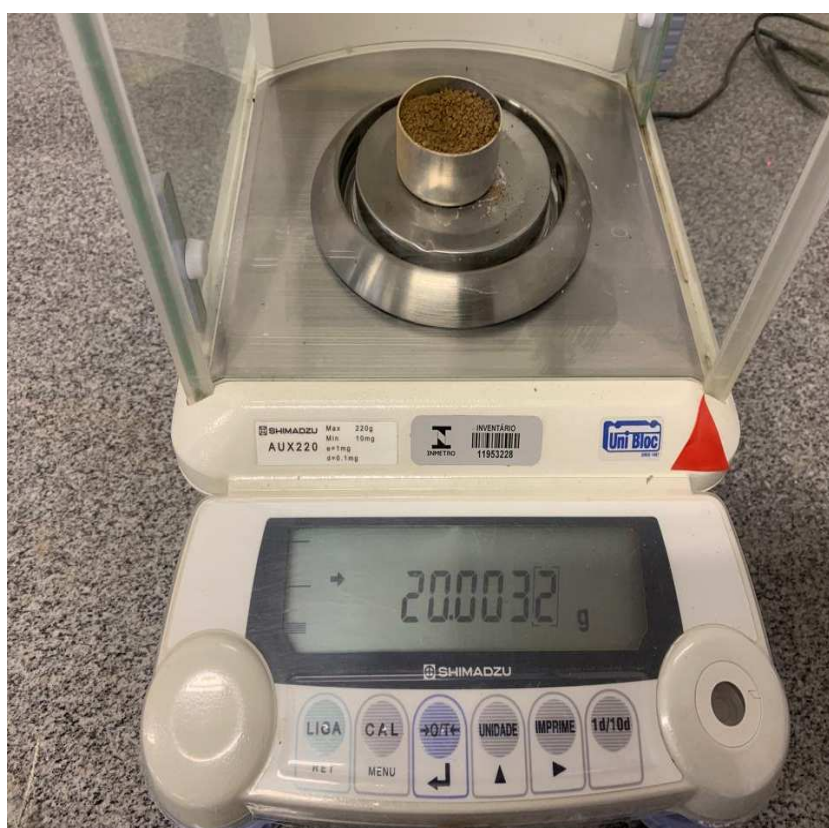
O objetivo do método físico-químico é proporcionar ao projetista uma resposta rápida e simples de orientação do teor mínimo de cimento necessário para estabilizar completamente um determinado tipo de solo. Este método é baseado na interação elétrica entre as partículas de cimento e argila. (DNIT 414/2019 ME, 2019, p. 2).

Ainda segundo DNIT 414:2019 ME, (p. 2), o ensaio “tem como princípio a interação elétrica do cimento com as partículas argilosas do solo.... esta interação com colóides negativamente carregados juntamente com a hidratação do cimento gera variações volumétricas substanciais quando a mistura é suspensa em água.”

O teste se resume em avaliar o teor de cimento que resulta na maior variação volumétrica, indicando que quando essa variação se estabilizar estará assim definido o teor de cimento necessário para esta estabilização.

Conforme DNIT 414:2019 ME (p. 2) “(...) O objetivo do método físico-químico é proporcionar ao projetista uma resposta rápida e simples de orientação do teor mínimo de cimento necessário para estabilizar completamente um determinado tipo de solo”.

Figura 37: Pesagem das porções de solo

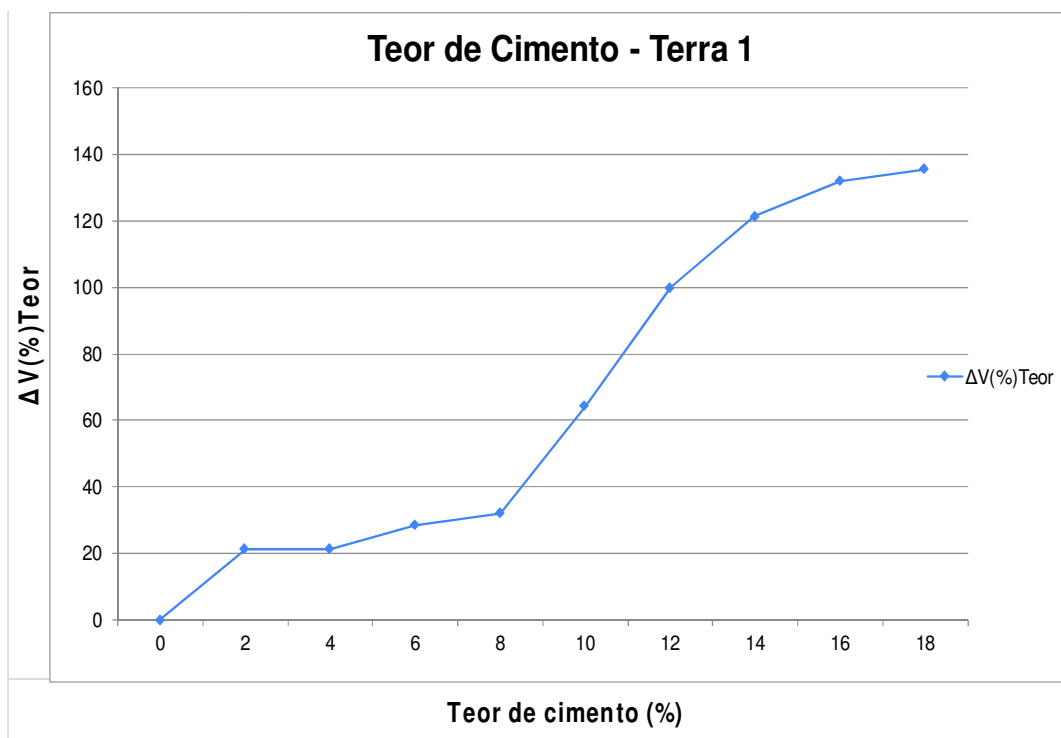


A figura demonstra mostra a pesagem das porções de terra que serão necessários para alimentar as provetas necessárias para a realização dos testes.

Figura 38: Pesagem das porções de solo



Figura 39: Gráfico do Teor de Cimento na terra 1

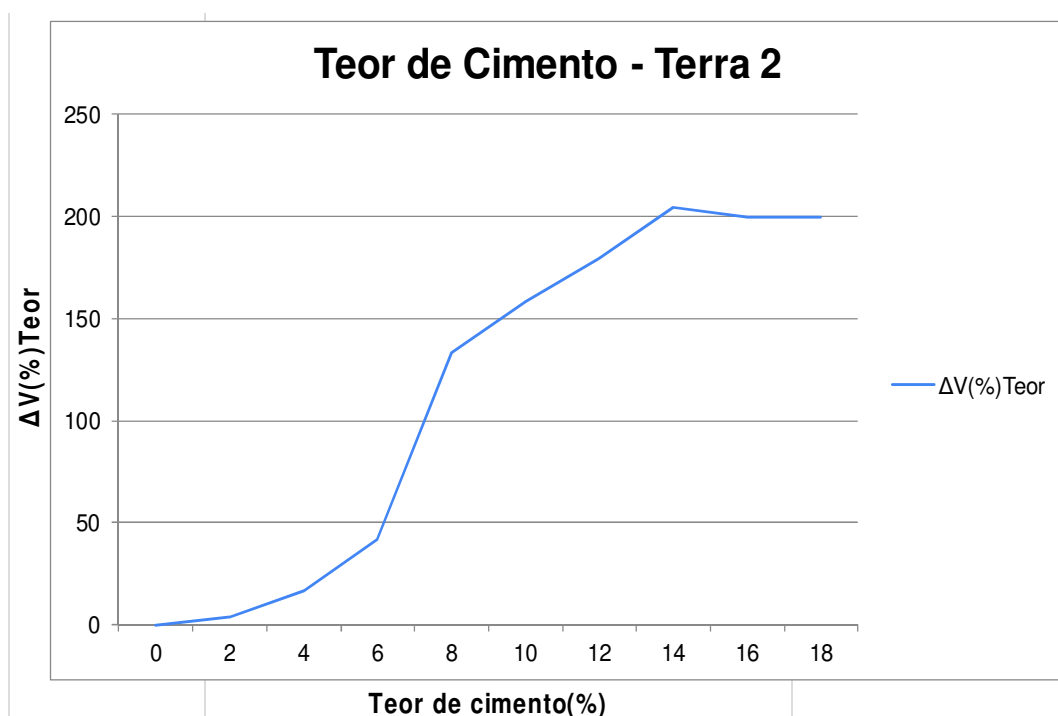


Após o repouso, agita-se a mistura, deixe em repouso novamente por 2 horas e faz-se a nova medição do volume, repetindo essa operação por 2 dias seguidos até

a estabilização, este processo pode ser visto na figura 40, onde aparece as provetas em repouso.

Os gráficos descritos nas figuras 41 e 42 demonstram a variação do volume da mistura em função da porcentagem de cimento adotada.

Figura 40: Gráfico do Teor de Cimento na terra 2



Com relação aos ensaios realizados, ficou evidente que ambos os solos requerem teores limitados de cimento entre 14 e 16% para sua estabilização.

Para os testes mecânicos será adotado percentual de 10% a fim de otimizar o uso de cimento e buscar com isso resistência mecânica mínima exigida pela norma ABNT NBR 17014:2022.

3.2.1.3 Ensaio de Sedimentação

O ensaio de sedimentação foi realizado para que fosse possível analisar a composição física das porções de terra selecionadas, considerando a sequência realizada para a porção de terra 1 e terra 2.

Segundo Embrapa (2017, p. 95), “a análise granulométrica visa à quantificação da distribuição por tamanho das partículas individuais de minerais do solo”.O método

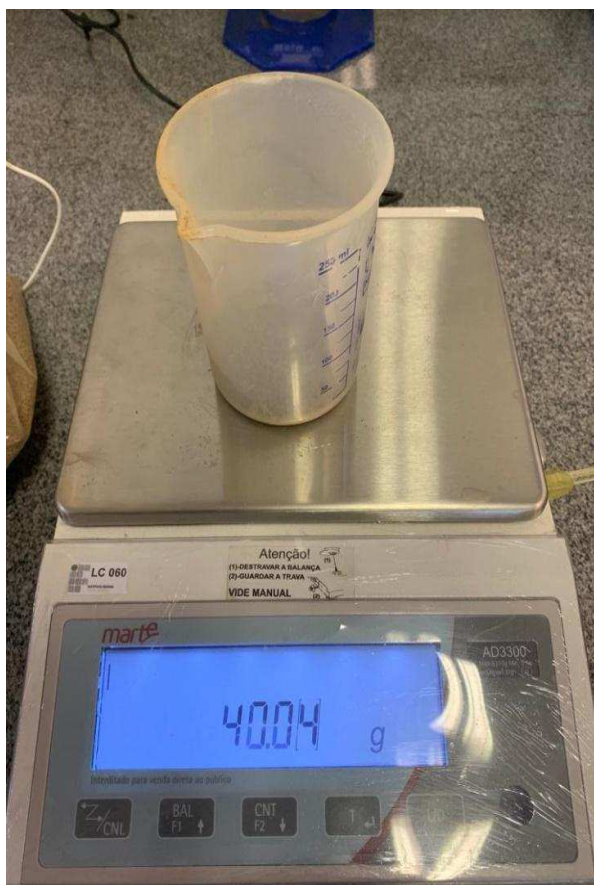
utiliza agitação da mistura, separação das frações por peneiramento e sedimentação e posterior pesagem dos componentes para definição do percentual de cada componente.

Todo o procedimento foi realizado com base em um manual da Embrapa, “Manual de métodos de Análise de Solo” e visa separar e individualizar os agregados do solo descrevendo a porcentagem dos principais componentes como o silte, argila, areia e umidade.

O procedimento operacional visa à ruptura dos agregados do solo e a individualização dessas partículas, por meio de uma combinação de energia mecânica e química, com a formação de uma suspensão estabilizada, e a quantificação após a separação das frações (EMBRAPA, 2017, p. 95).

Abaixo pode-se visualizar a pesagem da porção de terra utilizada

Figura 41: Separação da porção de terra



Com o ensaio de sedimentação, foi possível entender a composição de solo e assim poder realizar as correções necessárias para sua estabilização e preparação para definição do traço a ser adotado na parte prática do trabalho.

Figura 42: Agitação e medição da temperatura



Figura 43: Separação dos minerais.



Os resultados obtidos após os ensaios descrevem que:

- Para a porção de Terra 1: 1,35% da porção é composta por areia, 57,30% de argila

e 41,35% de Silte.

- Para a porção de Terra 2: 3,41% da porção é composta por areia, 68,07% de argila e 28,52% de Silte.

Com isso pode-se confirmar a informação de que o solo em questão é considerado como Silto-argiloso, como descrito no item 3.2.1.1 (Limite de Liquidez e Plasticidade) deste trabalho.

No entanto, o percentual baixo de areia encontrada nesta porção de solo faz com que seja necessária uma correção desse percentual para realização dos testes mecânicos.

3.2.2 Caracterização mecânica do solo

A caracterização mecânica do solo se faz necessária para que seja possível a definição de um traço que tenha uma resistência mínima de 2 MPa conforme exigido pela ABNT NBR 17014:2022.

Para tanto, considerando as informações extraídas dos ensaios realizados partiu-se do princípio de utilizar 50% de terra, 50% de areia e 10% de cimento.

Com relação a quantidade de areia de 50%, Minke (2022, p. 39), descreve que (...) A adição de areia ou agregados maiores ao solo reduz a porcentagem de argila e consequentemente o seu teor de contração”.

Alguns autores analisam o solo a partir de uma porcentagem mínima de areia, como Ceped. Thaba, Camaçari (1984, p. 34), “não se consideraram, na análise dos resultados, as possibilidades de utilização de solos com teores de areia inferiores a 45% (...) tais solos sofrem restrições que se referem a aspectos práticos de uso”.

Também Ceped. Thaba, Camaçari (1984, p. 38), descreve que, “quanto à granulometria, os solos mais adequados são os arenosos...”.

Portanto, analisando os autores e estudos correlatos, percebe-se que é necessária sim a adição de areia na mistura para avaliar uma melhor trabalhabilidade, empacotamento dos grãos, e, principalmente, para evitar o alto índice de retração que pode acontecer com excesso de argila e silte encontrado nas amostras estudadas.

A retração é um dos principais fatores causadores das trincas e fissuras nas paredes de terra crua, também por isso, da importância dos ensaios realizados, onde foi possível comprovar a baixa quantidade de areia.

Na Figura 46 relacionam-se alguns critérios de seleção descritos por alguns autores onde se percebe a quantidade de areia necessária no traço, bem como, os

percentuais ideais.

Figura 44: Critérios de Seleção

- a) CINVA (16): - Teor de areia: 45 a 80%
 - Teor de silte + argila: 20 a 55%
- b) ICPA (32): - Teor de areia: 60 a 80%
 - Teor de silte: 10 a 20%
 - Teor de argila: 5 a 10%
- c) MERRIL (39): - Teor de areia: superior a 50%
- d) HOUBEN (28): - Teor de areia: 40 a 70%
 - Teor de silte: 0 a 30%
 - Teor de argila: 20 a 30%

Fonte: (CEPED. THABA, CAMAÇARI, 1984, p. 40)

Figura 45: Preparação do traço.



A figura 46 demonstra a preparação do traço para a porção de Terra 1,

respeitando as proporções de 50% solo, 50% de areia e 10% de cimento CP IV-32 e água.

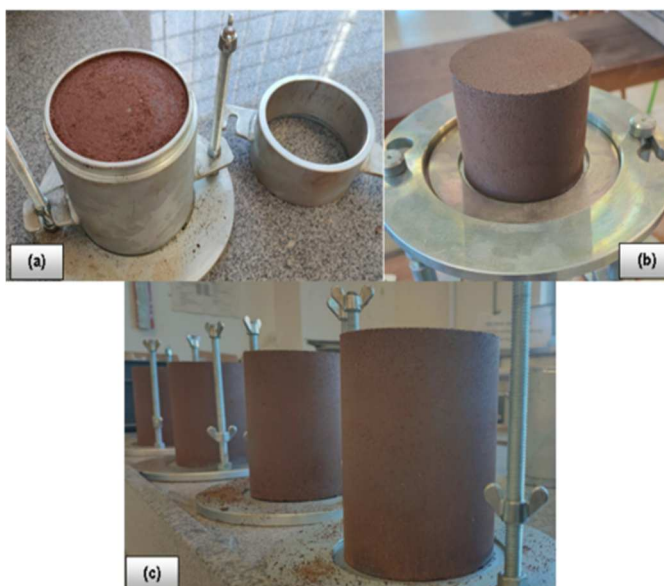
Quanto a quantidade de água, pode ser realizada de forma empírica, retirando uma porção de terra e apertando na mão até marcar os dedos e após pode ser quebrada sem esfarelamento, conforme demonstrado na figura abaixo.

Figura 46: Preparação do traço



Fonte: (NEVES et al., 2009, p. 29)

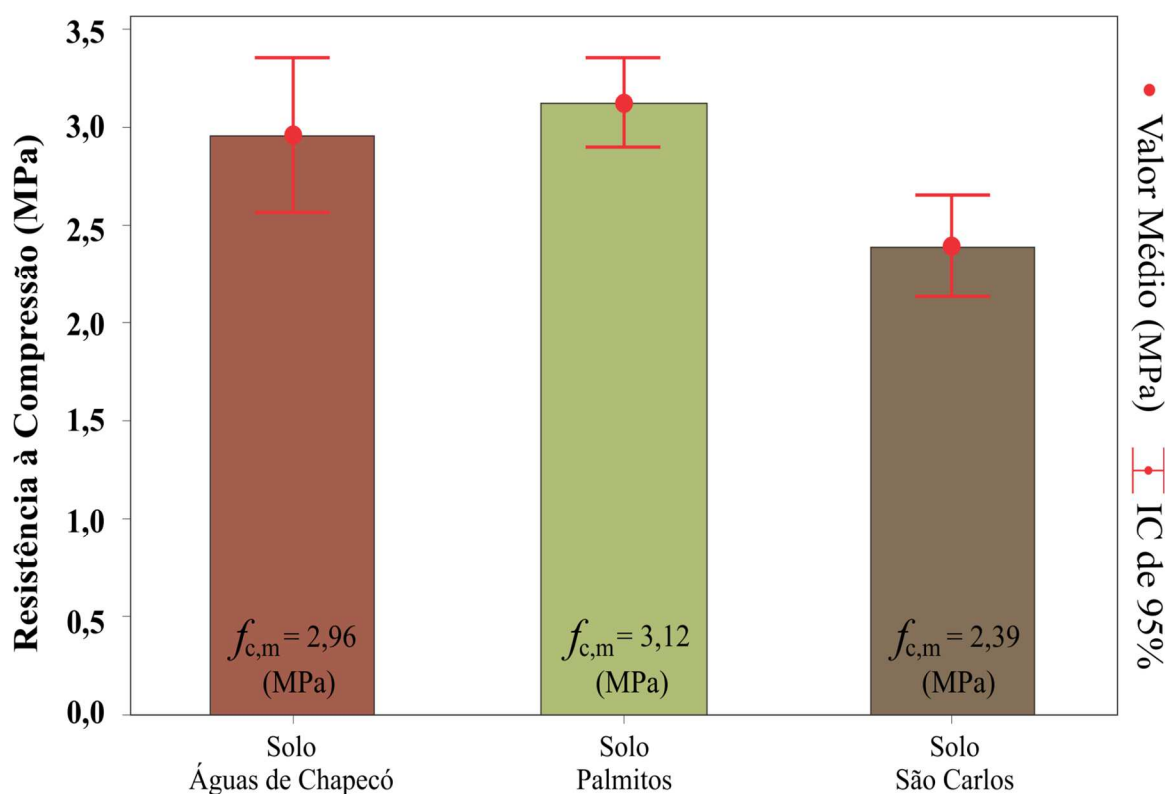
Figura 47: Elaboração dos CPs



Fonte: (WOLENSKI et al., 2023)

Foram confeccionados 03 (três) corpos de prova (CPs) em moldes CBRs, conforme recomendações, sendo demonstradas nas imagens acima, considerando (a) a moldagem no CBR, (b) extrator de CBR e (c) amostra, aguardando o tempo de cura.

Figura 48: Resultado da resistência dos corpos de prova



Fonte: (WOLENSKI et al., 2023)

Na figura 50, o solo Águas de Chapecó, diz respeito a porção de terra 1, a qual foi realizada o teste de compressão e o resultado apresentado de Wolenski et al., (2023), (...) “têm-se os resultados da resistência f_{c0} (MPa) para 3 (três) corpos de prova...”.

A resistência $f_{c0,m}$ alcançou CVs(%) próximos de 10%, valores ótimos para uma determinada amostra. Como comparativo, para madeiras e concretos, as respectivas normas admitem um CV(%) de até 18% para solicitações normais. Destaca-se ainda que todos os solos atingissem valores mínimos de 2 MPa, conforme exigido pela ABNT NBR 17014:2022, com destaque ao solo de Palmitos que ultrapassou os 3 MPa de resistência média. (WOLENSKI et al., 2023)

A porção de terra 2 não passou por testes de rompimento de corpo de prova devido às suas características físicas serem muito parecidas com o solo de São Carlos

descritas no trabalho de Wolenski *et al.* (2021, p. 4), os quais ficaram acima da resistência mínima descrita em norma.

4 EXECUÇÃO PRÁTICA DA TAIPA DE PILÃO

Como descrito na metodologia de trabalho, após a definição das características físico-mecânicas, bem como, da definição do traço de solo-cimento, foi construído uma parede monolítica em solo-cimento.

Para realização do trabalho prático foi necessário primeiramente projetar a fôrma utilizada, extrair o solo utilizado, montar a fôrma, executar a mistura de solo-cimento seguindo o traço descrito neste trabalho.

Depois de realizada a mistura do composto de solo-cimento, foi realizada a compactação do solo, realização da desforma e posteriormente a avaliação do resultado, bem como, a análise de patologias que aparecem.

Convém ressaltar, que antes da montagem das fôrmas, foi realizada a construção de uma viga de baldrame e concreto armado com a finalidade de evitar que a parede tenha contato com o solo e com a umidade na base da parede.

4.1 Fabricação da fôrma (taipa) de Madeira

Para realização da parte prática do trabalho, foi necessária a elaboração de um projeto de fôrma (taipa) de madeira dimensionada para execução de uma parede piloto para testes de compactação do solo.

A fôrma foi projetada em AutoCad 2021 na versão estudantil e os projetos detalhados fazem parte do anexo 1 e 2 deste trabalho.

As fôrmas são compostas por 02 (dois) painéis estruturados medindo, altura com 1,10m, comprimento de 2,20m e a largura da fôrma de 0,12m, fabricados em madeira de eucalipto e compensado plastificado.

Também fazem parte do conjunto de fôrma às barras roscadas de travamento, montantes verticais e diagonais do tipo mão francesas, arruelas de madeira, e cantoneiras internas para acabamento.

As partes que compõem a fôrma foram fabricadas em madeira de Eucalipto e Pinus e as roscas, porcas e arruelas de travamento em aço galvanizado;

As partes que compõem as fôrmas foram projetadas e fabricadas para

resistirem aos esforços de empuxo do solo ao ser compactado, bem como, manter as fôrmas prumadas durante a sua utilização, buscando atender as normas técnicas descritas pelos autores.

Logo após a fabricação das peças que compõem a fôrma foi realizada uma pré-montagem para analisar a geometria, o alinhamento, os pontos de fixação e o grau de dificuldade para montagem.

Após a pré-montagem alguns pontos do projeto foram revisados, como o tipo de ancoragem da sapata e comprimento das peças que compõem a “mão-francesa”.

Figura 49: Vista em corte da fôrma de madeira

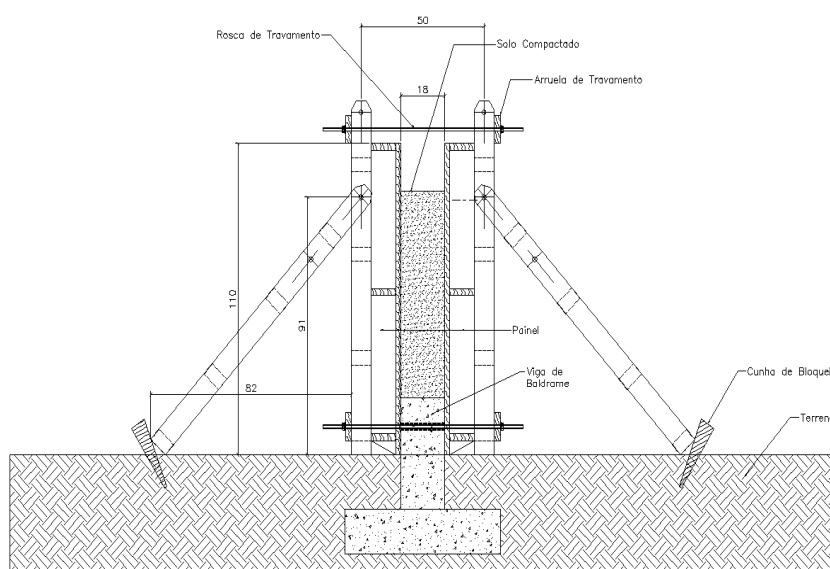


Figura 50: Imagens da Fabricação da fôrma

A figura acima relata algumas das etapas de fabricação dos painéis onde



aparecem a montagem dos painéis laterais, os montantes e as mãos francesas de travamento dos painéis.

Ainda sobre fôrmas (Neves e Faria (2011, p. 54), “as formas devem ser resistentes à força do impacto do compactador e à pressão exercida pela terra durante sua compactação. (...) devem ser leves e fáceis de operar, pois as atividades de montagem e desmontagem das formas são determinantes para a produtividade”.

Figura 51: Vista lateral da fôrma montada



De acordo com a figura, podemos perceber os detalhes construtivos da taipa, onde aparece o painel montado com montantes travando as laterais com roscas passantes, tanto na parte superior quanto na parte inferior da taipa.

O “montante” conta com um travamento tipo “mão-francesa” com um parafuso

unindo as peças como uma “rótula”. Este sistema foi pensado para facilitar a desforma, uma vez que é possível retirar a rosca superior sem precisar desmontar todas as peças e posteriormente retirar por inteiro o conjunto de montante e mão francesa de uma só vez.

Na base da “mão-francesa” foi cravada uma peça de madeira em forma de cunha para o ajuste mais fino da prumada.

Figura 52: Vista geral da montagem



Na imagem acima é possível perceber que a montagem da taipa foi realizada sobre uma viga de baldrame a qual foi executada deixando pontos de ancoragem para passagem das roscas de travamento inferior.

As fôrmas foram rebaixadas em 15cm para que os painéis pudessem “abraçar”

a viga e com isso melhorar a estabilidade, prumada e fixação da fôrma.

A taipa foi montada considerando que um dos lados possui um fechamento em tábuas limitando o comprimento da taipa e do lado oposto temos um pilar de madeira onde a taipa será ancorada após a compactação do solo.

A montagem da taipa ocorreu nas dependências do IFSC, São Carlos, SC no dia 13 de maio de 2023 na parte da tarde e o tempo de montagem foi de aproximadamente 02:30 horas.

4.2 Construção da parede piloto

A construção da parede monolítica piloto em taipa de pilão foi a etapa final deste trabalho, aproveitando de todos os estudos e ensaios realizados até o momento e descritos neste trabalho.

Para a construção da parede foi utilizado o traço que atendeu a resistência mínima descrita na ABNT NBR 17014:2022, utilizando-se do solo extraído de uma propriedade localizada no Município de Águas de Chapecó, SC, conforme demonstrado no início do trabalho.

A parede piloto foi planejada para ser construída entre dois pilares de madeira e devido ao comprimento das fôrmas optou-se por executar a parede em duas etapas, considerando uma etapa com 210cm de comprimento;

A parede então foi construída nas dimensões de: Largura de 16cm, Altura de 69 cm e comprimento de 210 cm.

Para a execução das tarefas foram utilizados: uma peneira com abertura de malha de 4mm, uma betoneira de 500 litros para mistura do material, uma balança para pesagem da matéria-prima, um compactador tipo martelo manual, baldes para dosagem e carinho de mão.

A porção de terra ficou armazenada em local seco protegido da chuva para que tivesse o mínimo de umidade possível, foi destorroada e posteriormente peneirada.

Para realização testes foi adicionado 5% de cal para melhorar a coesão das partículas e melhorar o impacto da retração do solo na parede minimizando a formação de trincas.

Segundo (Neves e Faria (2011, p. 54) “.... para a escolha do tipo de aglomerante é identificar o tipo de terra disponível. De modo geral, terras arenosas combinam melhor com cimento e terras argilosas com cal. Tanto esses aglomerantes como as

resinas e os silicatos podem ser usados concomitantemente, com o devido cuidado no momento da mistura”.

Foram preparados 04 traços de solo-cimento, com cada um deles descritos abaixo:

- Traço 1 com terra 2 (vermelha): 50kg de areia, 50 kg de terra 2 (vermelha) 5kg de cal e 10kg de cimento CP IV-32 e água;

- Traço 2 com terra 1 (amarela): 40kg de areia, 60kg de terra 1, 4,70kg de cal e 10kg de Cimento CP IV-32 e água;

- Traço 3 com terra 2 (vermelha): 40 kg de areia, 60 kg de terra 2, 5kg de cal e 10 kg de cimento CP IV-32 e água, nesse caso foi reduzido o teor de areia por perceber de forma tátil que o traço 1 possui um teor de areia a mais que o necessário;

- Traço 4 com terra 1 (amarela): 20kg de areia, 32kg de terra 1, 2,5kg de cal e 5kg de cimento CP IV-32 e água;

Figura 53: Mistura dos componentes



Na sequência, os componentes do traço foram lançados na betoneira e realizados a mistura, e na sequência foi adicionada a água em pequenas proporções.

Figura 54: Peneiramento após mistura;



Após a realização da mistura dos componentes na betoneira o material foi peneirado para retirada de pequenas “pelotas” formadas durante a mistura dos itens.

A formação das “pelotas” acontece devido a aglutinação do cimento ou a cal com a água aspergida durante o processo, por isso dá importância de borrifar a água em pequenas quantidades e em formato de um chuveiro aumento a área de aspersão evitando que a concentração de água em um ponto específico.

Figura 55: Esquema do processo de produção da Taipa de Pilão



Fonte: (NEVES e FARIA, 2011, p. 57)

Na figura abaixo, é possível visualizar o lançamento do solo-cimento na fôrma.

Figura 56: Lançando solo-cimento na fôrma



A quantidade de água foi definida realizando o teste de prensagem de uma pequena porção na mão (teste do bolo) para verificar assim de forma empírica a umidade ideal.

No entanto, a determinação dessa umidade pode ser feita no campo, com razoável precisão, por um processo expedito. Consiste em tomar um punhado da mistura e comprimi-la com a mão. Ao abrir a mão, o bolo formado deve guardar o sinal dos dedos e quando deixado cair da altura de 1,0 m deve espatifar-se. Caso não se consiga formar o bolo na mão, a umidade é insuficiente; caso o bolo ao cair mantenha-se coeso, a umidade é excessiva. Em regiões de clima seco e muita insolação, deve-se fazer, permanentemente, a verificação da umidade da mistura na masseira, a fim de proceder à correção, se necessária. (CEPED. THABA, CAMAÇARI, 1984, p. 50).

Após a homogeneização, a mistura de solo-cimento foi lançada em camadas de aproximadamente 15 cm, e então realizada a compactação manual do solo-cimento, conforme mostrada na figura abaixo.

Antes da compactação é importante conferir a espessura em vários pontos, bem como, alinhar o solo com uma espátula para que após a compactação a camada fique alinhada mantendo um padrão uniforme de altura em toda a extensão da parede.

Figura 57: Compactação da camada



Após a compactação percebeu-se que a espessura diminuiu para 10 cm, ou seja, teve uma redução de 33% do volume, possibilitando assim, os cálculos de quantidade de material e de camadas necessárias para que fosse possível atingir a altura programada.

O primeiro traço foi realizado com a terra 2, rendendo 02 (duas) camadas de 15cm que após compactada obteve-se a espessura final de aproximadamente 20cm.

O segundo traço foi realizado com a terra 1 e foi considerando uma correção na quantidade de areia devido as propriedades físicas desse solo, sendo que esse traço rendeu 2 (duas) camadas de 15cm cada, totalizando 20cm de camada compactada.

O terceiro traço foi realizado com a terra 2 e rendeu mais 2 (duas) camadas de 15cm, totalizando mais 20cm de solo compactado.

A terceira camada foi realizada com terra 1, rendendo uma camada de 15cm finalizando a altura da parede com 69cm, ou seja, 07 (sete) camadas de solo de 15cm que após compactadas finalizaram a altura total com 69cm, aproximadamente 10cm por camada.

O preparo do material foi programado para realização de duas camadas de solo por processo de mistura para evitar que o material se perde umidade durante o processo de compactação devido ao tempo de espera entre as camadas.

De acordo (NEVES e FARIA, 2011, p. 58), “compactar a terra no ponto ótimo da umidade é essencial para a qualidade da taipa, então não é aconselhável preparar grandes quantidades de terra, pois ela tende a perder a umidade para o meio”

Figura 58: Compactação da última camada de solo-cimento.



Em resumo, foi utilizado 417,5 kg de material para construção de $0,23\text{m}^3$ de parede, ou seja, necessários aproximadamente 1815 kg de material para $1,00\text{m}^3$ de parede de taipa de pilão.

E para essa parede de $0,23\text{m}^3$ o tempo de trabalho foi de aproximadamente 2,5 horas de compactação.

O tempo de operação foi comparado com alguns artigos, e constatou-se que

está dentro do ideal, uma vez que, (Neves e Faria (2011, p. 60), descreve que executou uma parede de $1,65\text{m}^3$ em 16 horas, ou seja, $0,10\text{m}^3$ por hora, considerando compactação manual.

Em relação ao tempo gasto para se construir, são gastos de 20 a 30 h/ m^3 com a preparação, o transporte e a construção. Com a otimização da cofragem e com a utilização de compactadores elétricos o tempo é de 10h/ m^3 . Se utilizadas técnicas altamente mecanizadas o tempo passa para 2h/ m^3 . (MINKE, 2001, p.70 *apud* (SILVEIRA, 2019, p. 25).

Finalizada a compactação foi realizada a desforma a qual foi executada com muito cuidado para evitar danos à estrutura e após foi analisada o resultado final do trabalho prático.

Figura 59: Resultado Final da parede e sua textura



4.3 Patologias Encontradas

Após a desforma foi avaliado a qualidade da parede, sendo possível analisar algumas patologias encontradas, como: rachaduras, esfarelamento e variação da espessura da parede.

Em se tratando de uma parede piloto, ou seja, a primeira parede em taipa a ser construída para fins experimentais, construída na cidade de São Carlos, SC, alguns pontos críticos foram identificados e passíveis de um breve estudo.

A finalidade deste trabalho não é um estudo aprofundado a respeito dessas patologias, porém, convém um breve comentário a respeito para fins de conhecimento e base para estudos futuros.

Segundo Torgal, Eires e Jalali (2009, p. 130) “(...) outro tipo de patologias estruturais diz respeito às zonas de concentração de tensões e também a situações de colapso ou degradação mecânica.”

Figura 60: Trincas verticais e horizontais



Na imagem acima, percebe-se algumas fissuras verticais nos cantos da parede de taipa de pilão, que podem ter origem nos pontos com maior acúmulo de tensões.

Essas fissuras verticais também podem acontecer devido à dificuldade de compactação pois são locais de difícil acesso para o compactador, fazendo com que os grãos não sejam empacotados de forma homogênea.

Quanto a fissuras horizontais, as mesmas podem vir a ocorrer (nesse caso) devido a compactação insuficiente ou demora no lançamento da próxima camada a qual perde umidade evitando assim uma perfeita união entre as mesmas.

Outros fatores também podem desenvolver fissuras nas paredes, entre elas, Brito (2004, p. 10), “(...) terras muito argilosas, com teores de água excessivos, compactação insuficiente quando do apiloamento ou uma secagem demasiado rápida podem também dar origem a processos de fendilhação, nomeadamente microfissuras e fissuras de retração do material”;

Figura 61: Tipos de Patologias (anomalias) que ocorrem em construções em terra crua.

Tipo de Anomalia	%
Deformação	23
Sem anomalias	22
Vegetação ou líquenes	12
Retração	12
Elementos com defeitos	12
Sujidade	3
Enegrecimento da superfície	3
Fratura	2
Juntas soltas ou abertas	2
Funcionamento deficiente	1
Destacamento	1
Passagem de água/infiltrações	1

Fonte: TORGAL, EIRES e JALALI, 2009, p. 133

Na figura acima é apresentado os tipos de patologias, bem como, o percentual que elas acontecem nas construções em terra crua.

Em destaque, a deformação, com 23% das ocorrências que pode ter ligação com a estabilidade e alinhamento das fôrmas, alinhamento das camadas de compactação que impacta no nivelamento horizontal da parede, prumada das fôrmas, quantidade de travamento das fôrmas e resistência lateral das fôrmas.

Figura 62: Falta de aderência



A figura acima apresenta ponto de esfarelamento evidenciada pela falta de aderência do material, sendo as possíveis causas: a aderência do material na fôrma de madeira devido a falta de aplicação de um desmoldante, e também da falha na compactação das camadas.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou, através de referências bibliográficas, subsídios necessários para realizar o “estudo de solo-cimento para execução de taipa de pilão na região de Águas de Chapecó, SC”.

Para tanto, algumas fases foram descritas como, a necessidade de uma breve revisão bibliográfica, a definição do tema proposto para o trabalho, o problema a qual foi tratado e também a escolha das técnicas construtivas.

Os objetivos do trabalho foram alcançados, uma vez que, diversos materiais didáticos foram estudados, buscando trazer os conceitos e técnicas à luz e inseri-las na realidade das construções executadas na região Oeste de Santa Catarina.

Dessa forma, foi possível construir uma parede piloto utilizando o compósito de solo-cimento capaz de atender aos requisitos normativos necessários para

construção em terra crua, principalmente, ao obter um traço com resistência à compressão superior a 2,0 MPa. Além disso, foi possível obter maior conhecimento sobre a técnica de taipa de pilão, usufruindo destes conceitos para efetivar o projeto na prática.

Durante o desenvolvimento do trabalho, foi caracterizado os componentes físico-mecânica do solo extraído na região de Águas de Chapecó, SC, destacando o Limite de Liquidez, índice de Plasticidade, dosagem de cimento e sedimentação.

Com o embasamento teórico, foi possível desenvolver um traço de solo-cimento buscando uma resistência maior ao mínimo especificado em Norma, utilizando-se, do cimento, e areia como principais aglomerantes.

Na sequência, foi possível projetar, fabricar e montar uma fôrma de madeira para execução prática de uma parede piloto.

Através da experiência prática, observou-se que todos os testes físico-químicos, mecânicos e expeditos foram de grande importância para que fosse possível a aplicação em campo do traço escolhido, pois o resultado final demonstrou a sua eficiência percebendo a qualidade da parede e de sua textura.

Mesmo com todos os ensaios e testes alguns pontos exigiram maior atenção, pois a aplicação prática também expôs alguns defeitos ocorridos durante o processo de execução.

Destaca-se, por fim, que a possibilidade deste trabalho ser fonte de pesquisa para avançarmos com pesquisadas mais aprofundadas sobre o tema, visando ampliar o conhecimento nesta área, bem como, a construção e solidificação de projetos futuros usando a técnica da Taipa de Pilão.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros a partir da experiência adquirida nesse trabalho.

Durante a execução das tarefas necessárias para a formação das informações utilizadas nesse trabalho, percebeu-se alguns pontos que demandaram de uma maior atenção, os quais só foram possíveis de serem percebidos devido ao tempo de atividades práticas utilizadas na construção deste trabalho.

Um ponto importante, e que demandou de grande atenção foi a interpretação das normas e manuais, onde foi necessário tempo considerável de pesquisa e muita atenção para que fosse possível interpretar e executar os ensaios, seguindo rigorosamente os passos descritos para garantir a precisão dos resultados.

Fontes de pesquisa sobre as técnicas de construção em terra crua e análises dos resultados práticos de execução das taipas de pilão também são limitados e carecem de um tempo expressivo de pesquisa.

Uma dificuldade que tivemos foi com relação a montagem e travamento das fôrmas de madeira, devido à falta de experiência prática, principalmente com a relação à força de empuxo do solo nas paredes das fôrmas devido ao esforço de compactação do solo.

A força de compactação é outro ponto que mereceu atenção especial, uma vez que a compactação do solo foi realizada de forma manual, então tivemos que cuidar o som gerado pelo “apiloador” durante o processo de compactação.

Pela qualidade da compactação percebeu-se que o som de um tilintar seco fornecia a informação de que a compactação havia chegado no ponto ideal.

Outro ponto de dificuldade percebido durante a compactação, foi encontrar a umidade ideal do solo e mantê-la durante o processo, pois trata-se de um volume considerável de solo a ser misturado e aplicado, e que devido ao calor e o tempo de aplicação da mistura o material pode perder umidade e dificultar a aplicação.

O processo de apiloamento ou compactação do solo, bem como, a preparação e mistura do solo, exigem certo esforço físico, o qual pode ser minimizado automatizando o processo, como exemplo: compactadores pneumáticos e fôrmas leves e modulares em alumínio.

O trabalho em questão passou por várias etapas, com início na revisão bibliográfica passando pela caracterização físico-química até a construção da parede piloto, descrita nesse trabalho.

Realizando as diversas etapas deste processo, percebeu-se que o estudo de outros materiais aglomerantes e estabilizantes adicionados ao solo de nossa região pode ser um ponto que carecem de um estudo mais aprofundado.

Um exemplo de materiais que podem ser adicionados ao solo é a fibra de cocô, a cal, rejeitos da britagem de pedras como o pó de pedra, outros tipos e concentrações de cimento Portland, fibra de vidro, etc.

Outro ponto a qual sugere-se estudos para trabalhos futuros, é a execução da taipa utilizando fôrmas industrializadas modulares em alumínio ou aço, para melhorar a qualidade do acabamento e agilidade do processo de montagem e desmontagem das fôrmas, bem como, adoção de um sistema auto trepante para deslocamento vertical dos painéis.

REFERÊNCIAS

- ABCP. **Construção de paredes monolíticas como solo-cimento compactado**. 3. ed. São Paulo: ABCP, 1998. 16 p. (BT-110).
- ABNT NBR 12024 (2012). **Solo-cimento-Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos-Procedimento**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 12025 (2012). **Solo-cimento-Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 13553 (2012). **Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural-Requisitos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 17014 (2022). **Taipa de pilão - Requisitos, procedimentos e controle**. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022.
- ABNT NBR 6457 (2016). **Amostras de Solo-Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 6459 (2016). **Solo-Determinação do limite de Liquidez**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 7180 (2016). **Solo-Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 7181 (2016). **Solo - Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- BALDANM, R. Science Mapping (Bibliometria) with R Studio, Bibliometrix and International indexes. **Ufes**: Vitória, 2021. Disponível em: <<http://cope.ufes.br>>. Acesso em: 12 maio 2021.
- BRITO, J. D. Patologia e Reabilitação de Construção em Terra Crua, Lisboa, Portugal, p. 31, Março 2004.
- CEPED. THABA, CAMAÇARI. **Manual de Construção com solo-cimento**. 3. ed. São Paulo, SP: Convênio CEPED/BNH/URBIS/CONDER/PMC/OEA/CEBRACE., 1984. 147 p. (Versão digital), 98p.il., 2020.
- CUNHA, G.; SEOLIN, J. M. Caracterização de solo para taipa de pilão e paredes

monolíticas de solo-cimento em Foz do Iguaçu, Foz do Iguaçu, PR, p. 10, 2021.

D'AVILA, F. B. **Conceitos e Técnicas para Assentamentos Humanos na Perspectiva da Sustentabilidade**. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Campinas, SP, p. 222. 2008.

DNER-ME 093/94. **Solos - Determinação da densidade real**. [S.l.]: MT-DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM.

DNIT. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 2006.

DNIT 414/2019 ME. **Pavimentação – Solo-Cimento – Dosagem físicoquímica de solo-cimento - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 2019.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

GIRARDELLI, M. A. et al. **Construção com Terra: Breve Histórico e Técnicas**, Cuiabá MT, 2020.

HTTPS://EARTH.GOOGLE.COM. Disponível em: <[https://earth.google.com/web/@-27.06667167,-](https://earth.google.com/web/@-27.06667167,-2.9846837,237.17691192a,1286.32515022d,35y,0h,0t,0r/data=OgMKATA?authuser=0)

[2.9846837,237.17691192a,1286.32515022d,35y,0h,0t,0r/data=OgMKATA?authuser=0](https://earth.google.com/web/@-27.06667167,-2.9846837,237.17691192a,1286.32515022d,35y,0h,0t,0r/data=OgMKATA?authuser=0)>. Acesso em: 03 Junho 2023.

MENDES, L. C. F.; BESSA, S. A. L. Análise da Evolução Tecnológica da Taipa de Pilão Contemporânea. **MIX SUSTENTAVEL**, Florianópolis, v8, n. 1, Jan 2022. 66-77.

MINKE, G. **Manual de Construção com Terra: a terra como manual de construção e seu uso na arquitetura** / Gernot Minke. Tradução de Jorge Simões. Lauro de Freitas, BA: Solisluna, 2022. 224 p.

NEVES, C. M. M. et al. Seleção de Solos e métodos de controle na construção com terra - práticas de campo. **Rede Ibero-americano PROTERRA**, 2009. Disponível em: <<http://www.redproterra.org>>. Acesso em: 27 nov. 21.

NEVES, C.; FARIA, O. B. **Técnicas de Construção com Terra**. <http://www.redproterra.org>, Bauru, SP, 28 maio 2011.

NEVES, C.; FARIA, O. B. **Técnicas de Construção com Terra**. <http://www.redproterra.org>, Bauru, SP, 28 maio 2022.

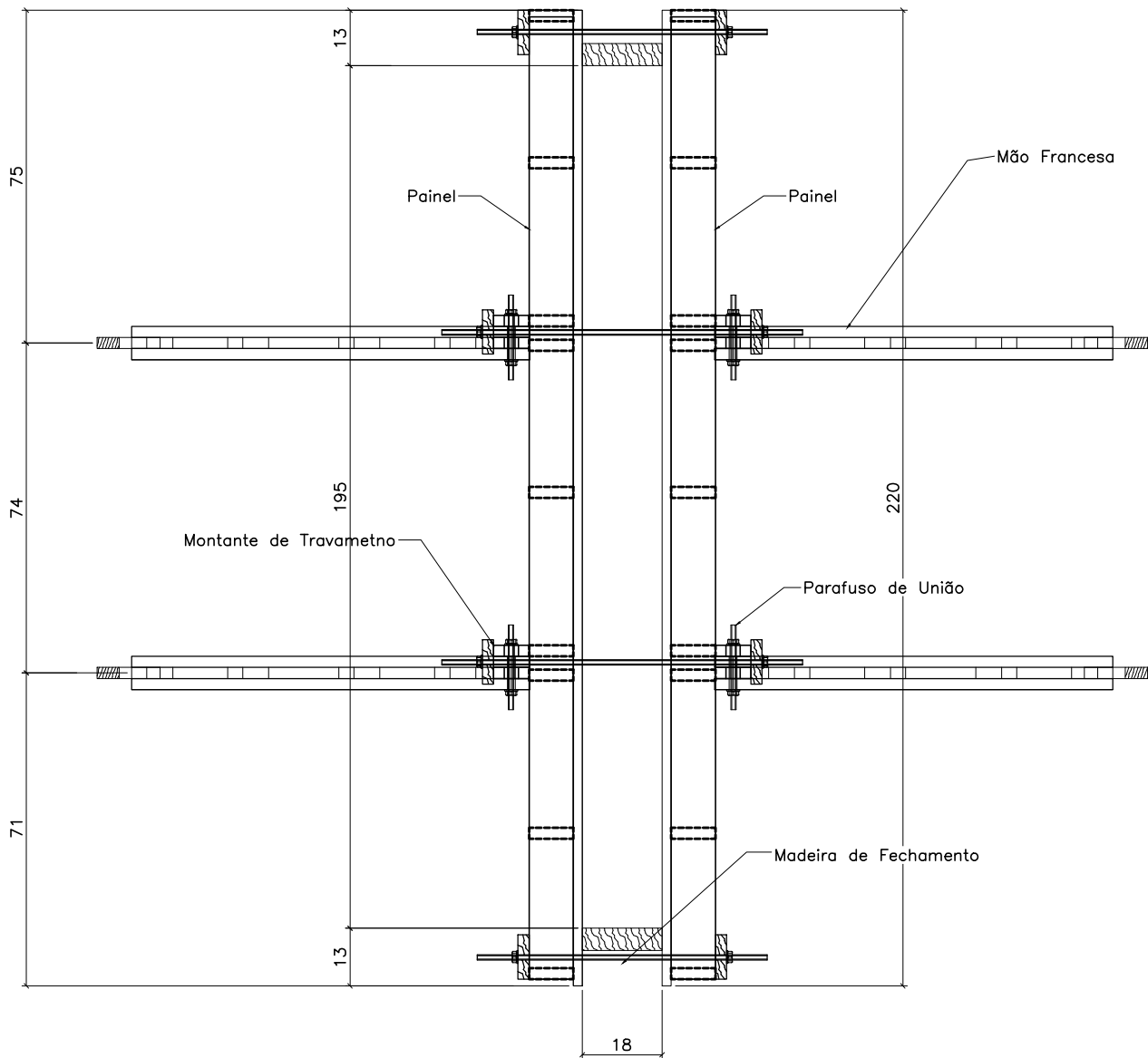
NORMA DNIT 414/2019 - ME. **Pavimentação - Solo-Cimento - Dosagem físico-química de solo-cimento - Método de ensaio**. Brasília-DF: DNIT-DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2019.

PISANI, M. A. J. **Taipas: A Arquitetura de Terra**, São Paulo, SP, 2004. 15.

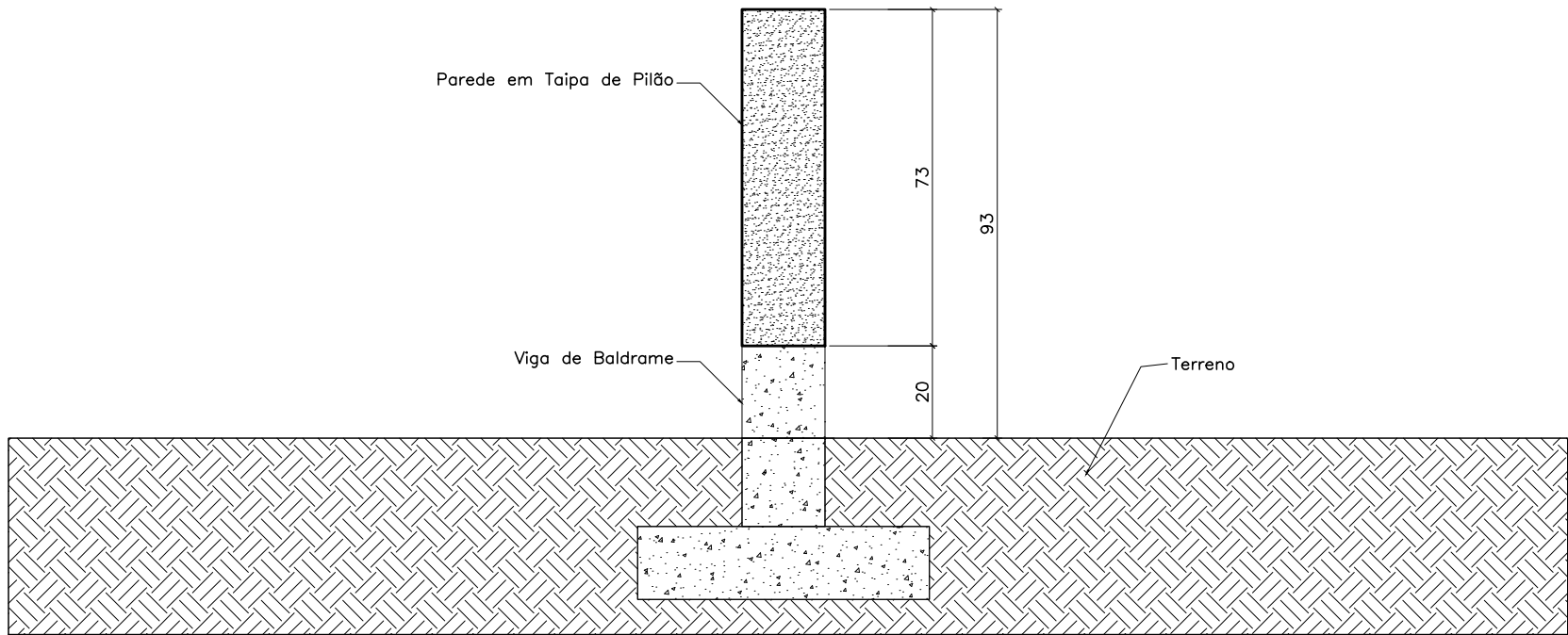
PORTELLA, A. D. J. F. et al. **Arquitetura de Terra-Processo Histórico**. **Colloquium**

- Humanarun**, Presidente Prudente, SP, 12, n. n. Especial, 2015. p.182-189.
- SANTIAGO, C. C. **O solo como material de construção**. 2^a. ed. Salvador: EDUFBA, 2001. 72 p. ISBN 85-232-0249-8.
- SATO, M. H. Y. **Análise de estruturas em taipa de pilão**. rev. ed. São Paulo, SP: [s.n.], 2011. 87 p.
- SILVEIRA, A. D. S. S. *Arquitetura em Terra Crua: Habitação em Taipa de Pilão*, Ouro Preto, MG, 2019. 78.
- TORGAL, F. P.; EIRES, R. M. G.; JALALI, S. *Construção em Terra*, Guimarães, n. TecMInho, 2009. 184.
- WOLENSKI, A. R. V. et al. Caracterização físico-mecânica de solo-cimento oriundo do município de São Carlos (SC), São Carlos, SC, p. 10, 2021.
- WOLENSKI, A. R. V. et al. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE SOLO-CIMENTO PARA FINS DE PRODUÇÃO DE PAREDES EM TAIPA DE PILÃO. **ENSUS 2023 - XI Encontro de Sustentabilidade em Projeto - UFSC - Florianópolis, SC**, São Carlos, SC, 2023.
- SILVEIRA, A. D. S. S. *Arquitetura em Terra Crua: Habitação em Taipa de Pilão*, Ouro Preto, MG, 2019. 78.
- GUTIERREZ, N. H. M.; NOBREGA, M. T.; LUIZA, A. M. F. (2015). Características e comportamentos geotécnicos de áreas sobre basalto: O caso de Maringá - PR. In: GEOSUL 2015, 10. Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Maringá, Brasil: ABMS.
- MENEGOTTO, M. L.; BANDEIRA, F. O.; SARTORI, L.; MORAIS, M. Caracterização Geotécnica Preliminar do Solo da Área Experimental da UFFS – Campus Chapecó. 18. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica 2016, Belo Horizonte, Brasil: ABMS.
- SANTOS, T. A. et al. (2016). Caracterização física e mecânica dos solos usualmente empregados em subleitos rodoviários no Rio Grande do Sul. 18º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil: ABMS.
- https://www.archdaily.com.br/br/937625/casa-em-cunha-arquipelago-arquitetos?ad_source=search&ad_medium=projects_tab – Acessado em 28 de maio 2022.
- <http://www.bibliometrix.org/127.0.0.1.5896> - Acessado em 12 de Maio 2023

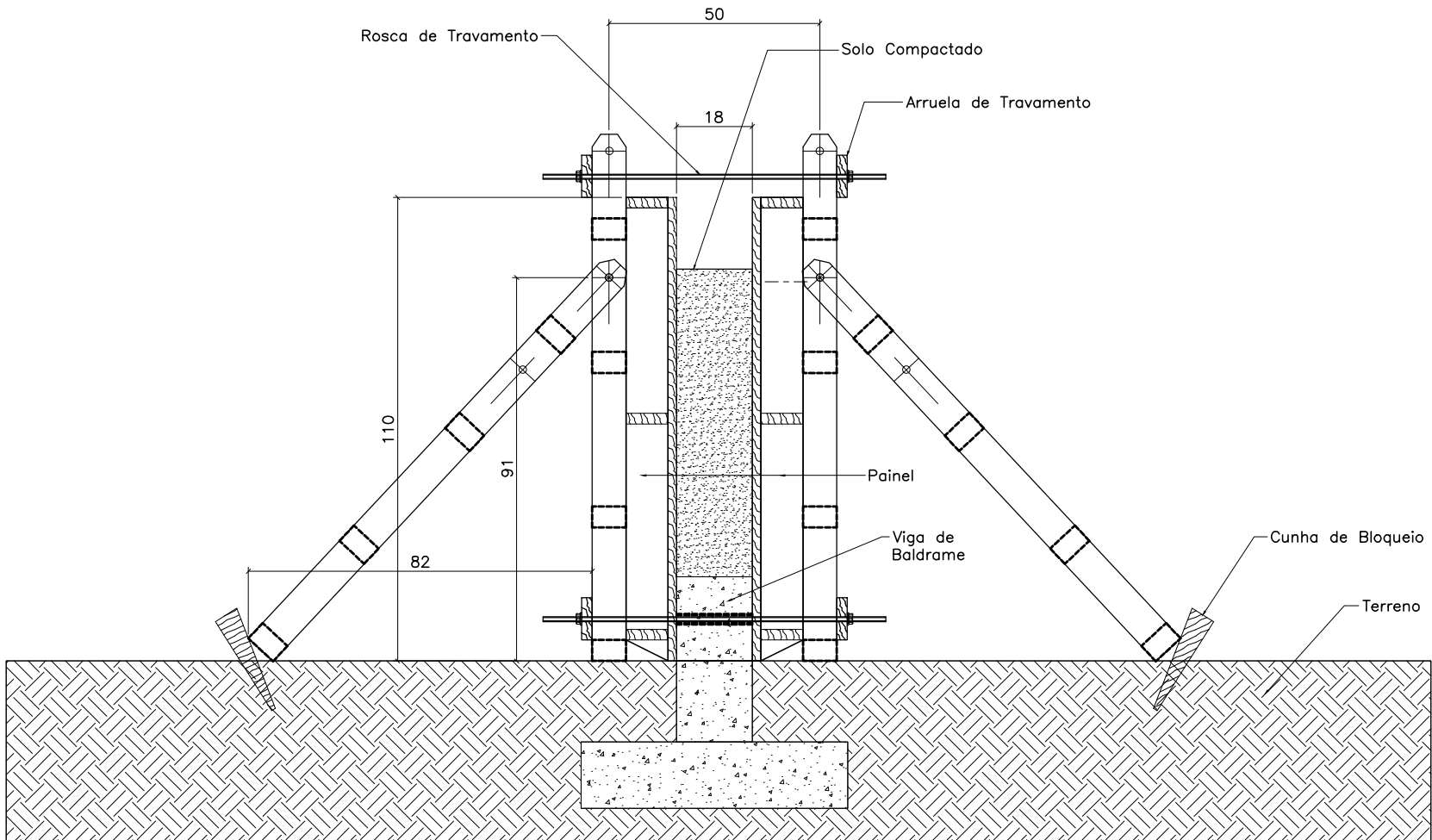
ANEXOS



VISTA SUPERIOR
ESC.: 1/10



DESFORMA
ESC.: 1/10



FÔRMA DE MADEIRA PARA TAIPA DE PILÃO
ESC.: 1/10

RESP. ENGENHARIA		RESP. PRODUÇÃO	
TÍTULO DA PRANCHA: PROJETO DA FÔRMA PARA TAIPA DE PILÃO			
CLIENTE: TCC II		PRANCHA: P-01_FÔRMA TCC II.DWG	
OBRA: FÔRMA PARA TAIPA DE PILÃO		ESCALA: INDICADA	
QTD DE PEÇAS: INDICADA	PESO UNITÁRIO:	DATA: 27/05/23	
LOCAL: IFSC - SÃO CARLOS - SC		COD. FISCAL:	
N° DA OBRA:		ÁREA:	
PEDIDO:		FASE:	
COORDENAÇÃO: ANDERSON		INTERPRETAR VISTAS E SEÇÃO, COMO PROJEÇÃO EUROPEIA	
DESENHISTA: EDER L. WELTER		PROJETO: P-01	
RESP. TÉCNICO:		CÁLCULO:	
CREA:		REVISÃO: 00	

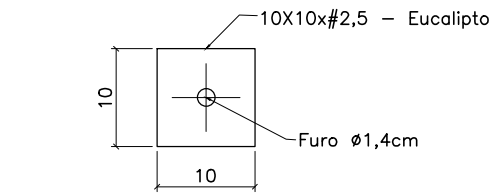
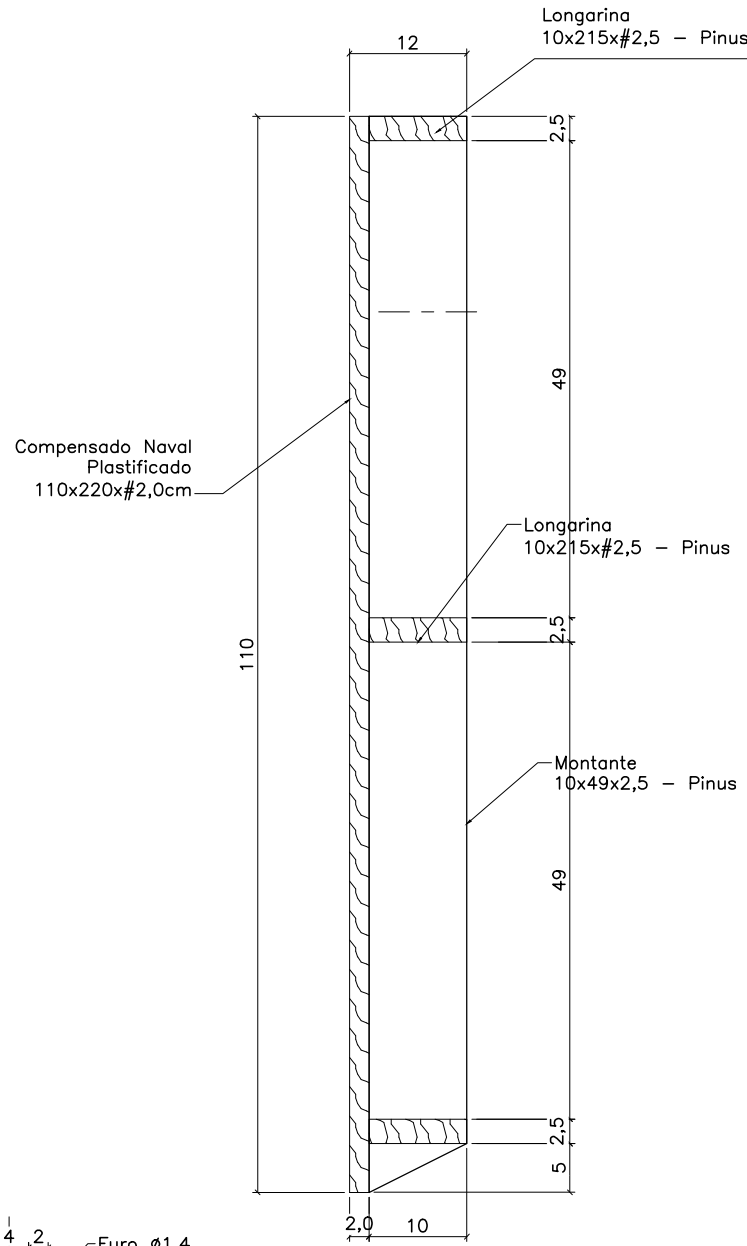
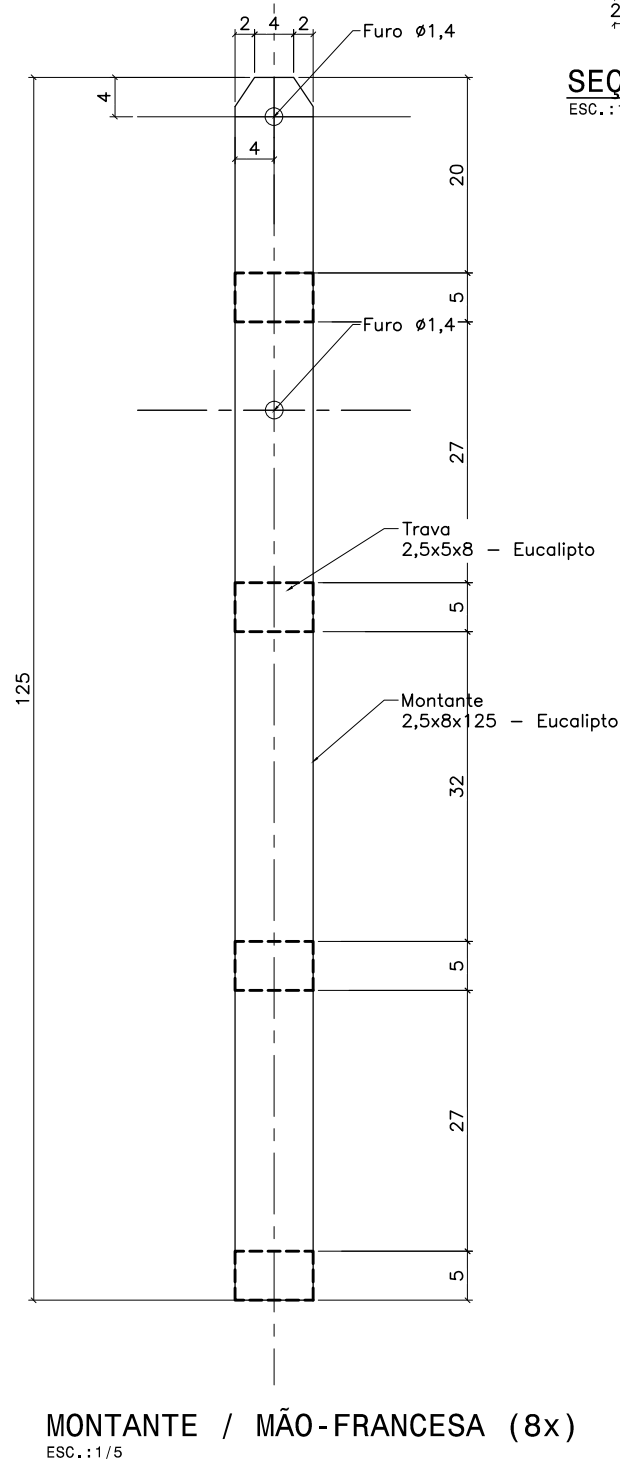
DIREITOS AUTORAIS RESERVADOS

100 mm

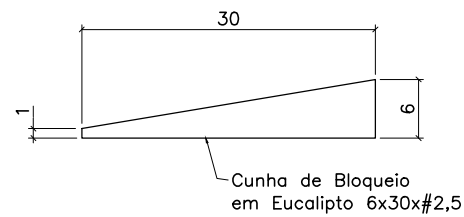
100 mm

Penas p/		Plotter
Cor	Pena	Espes.
0	7	0,10
1	7	0,01
2	7	0,15
3	7	0,20
4	7	0,10
5	7	0,09
6	7	0,10
7	7	0,10
8	8	0,10
9	9	0,10
10	7	0,30
31	7	0,40
174	7	0,40
FORMATO		A1

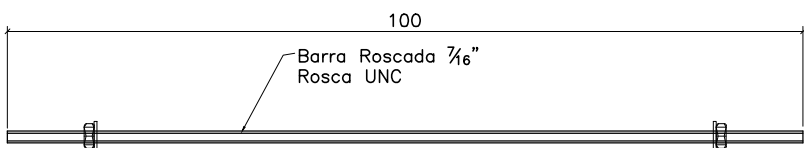
Penas	p/	Plotter
Cor.	Pena	Espes.
0	7	0,10
1	7	0,01
2	7	0,15
3	7	0,20
4	7	0,10
5	7	0,09
6	7	0,10
7	7	0,10
8	8	0,10
9	9	0,10
10	7	0,30
31	7	0,40
174	7	0,40
FORMATO		A1



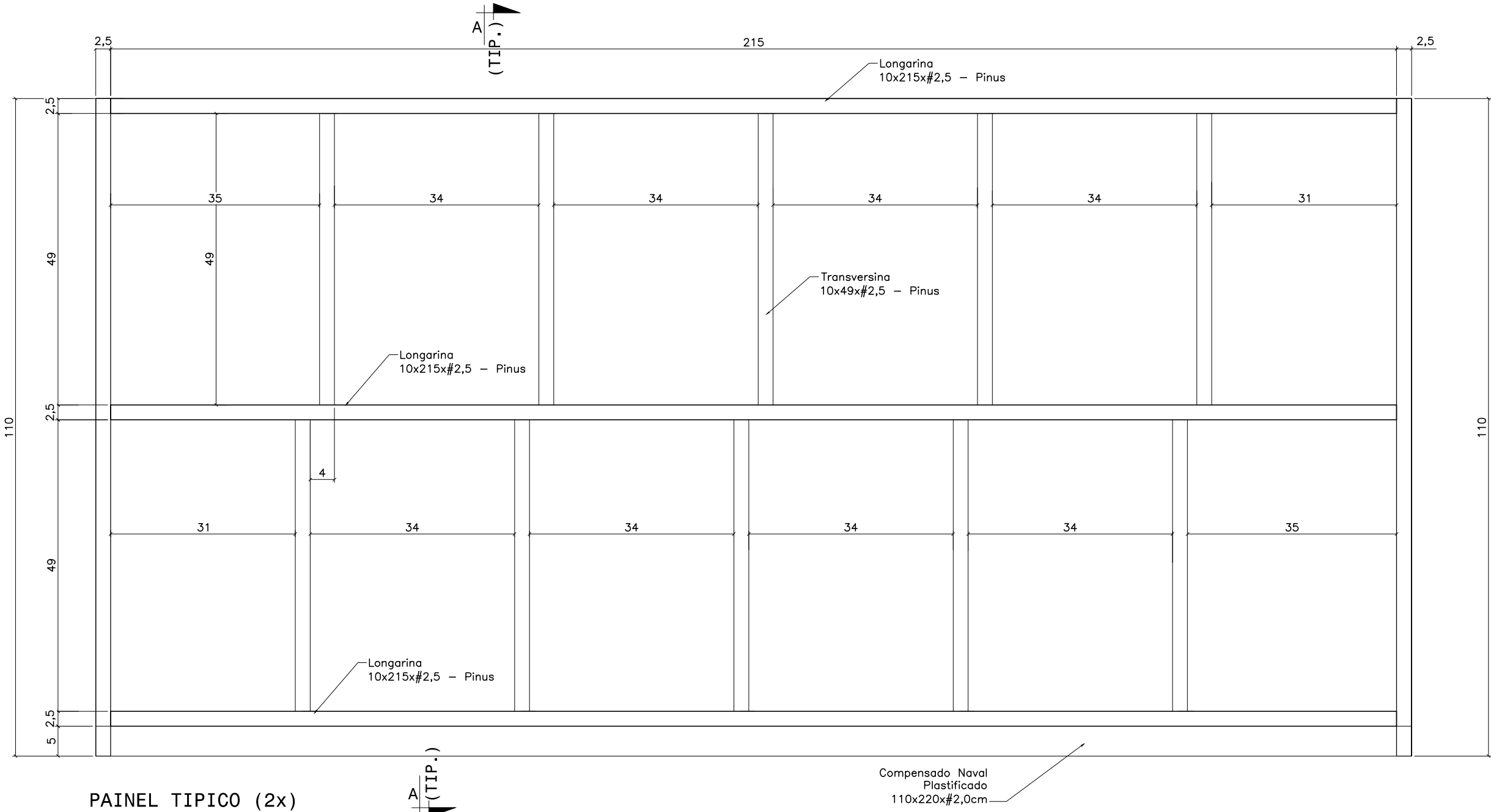
ARRUELA (08x)



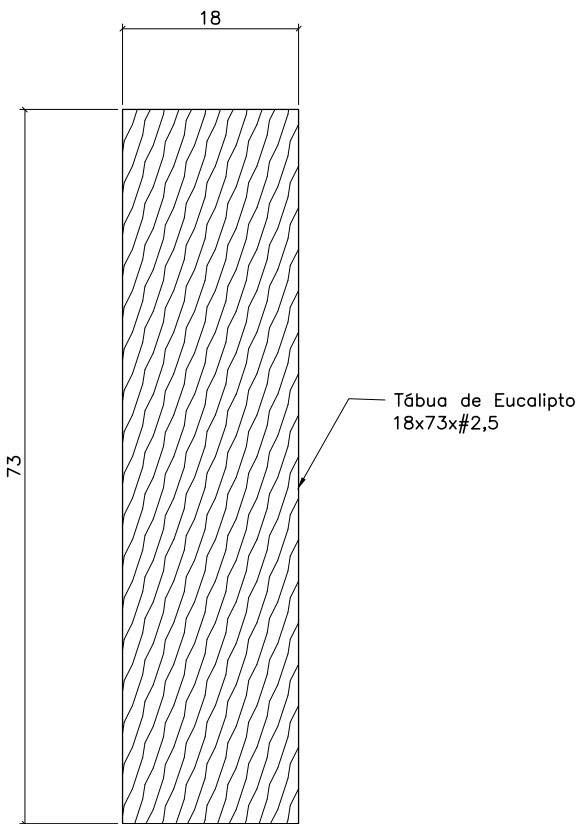
ARRUELA (04x)



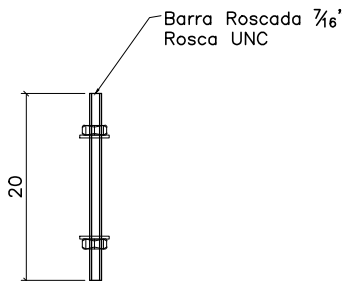
CONJ. DE BARRAS DE TRAVAMENTO (08X)



PAINEL TIPOICO (2x)



Fechamento Lateral (02x)



Paraf. de União (04x)

NOTAS GERAIS:
-ESCALAS INDICADAS PARA PLOTAGEM EM FORMATO A1.
-QUALQUER DIVERGÊNCIA ENTRE ESCALAS E COTAS DOS DESENHOS, PREVALECEM AS COTAS.

RESP. ENGENHARIA		RESP. PRODUÇÃO	
TITULO DA PRANCHA: DETALHAMENTO DE FÔRMA DE TAIPA DE PILÃO			
CLIENTE: TCC II		PRANCHA: P-02 _ FÔRMA TCC IILDWG	
OBRA: FÔRMA PARA TAIPA DE PILÃO		ESCALA: INDICADA DATA: 27/05/23 COD. FISCAL: ÁREA:	INTERPRETAR VISTAS E SEÇÃO, COMO PROJEÇÃO EUROPEIA 
QTD DE PEÇAS: INDICADA	PESO UNITÁRIO:		
LOCAL: IFSC - SÃO CARLOS - SC			
N° DA OBRA:			
PEDIDO:	FASE:		
COORDENAÇÃO: ANDERSON	DESENHISTA: EDER L. WELTER	PROJETO: P-02	00
RESP. TÉCNICO:		CÁLCULO:	
CREA:		REVISÃO:	

100 mm

100 mm