

AVALIAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE SOLOS PARA EXECUÇÃO DE PAREDES AUTOPORTANTES EM TAIPA DE PILÃO

PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERIZATION OF SOILS FOR THE PRODUCTION OF RAMMED EARTH WALLS

Data de aceite: 04/07/2023 | Data de submissão: 07/06/2023

WOLENSKI, Anderson Renato Vobornik, Doutor

Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Docente Tecnologias e Estruturas da Construção Civil, São Carlos, Brasil, E-mail: anderson.wolenski@ifsc.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5709-1965>

BARIVIERA, Cássio Alexandre, Mestre

Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Docente Projetos da Construção Civil, São Carlos, Brasil, E-mail: cassio.bariviera@ifsc.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0589-5726>

KOPPE, Ezequiel, Doutor

Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Docente Produção Vegetal, São Carlos, Brasil, E-mail: ezequiel.koppe@ifsc.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2914-138X>

BORÇATO, Allan Guimarães, Mestre

Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Docente Projetos de Estruturas de Construção Civil, São Carlos, E-mail: allan.borcato@ifsc.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3822-2859>

WELTER, Elisa Maria, Graduanda

Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Graduanda em Engenharia Civil, São Carlos, E-mail: elisa.w@ifsc.edu.br

RESUMO:

Projetos pautados em sistemas construtivos e inovadores têm sido cada vez mais urgentes quando se objetiva a concepção de uma edificação sustentável. A relevância desta demanda tem resultado em estudos que transponham o paradigma da construção civil que insiste no uso de materiais não renováveis, como o cimento e o aço. O método construtivo denominado Taipa de Pilão tem se inserido neste contexto com uma importante alternativa, ao adotar a terra como principal componente em sua constituição, o que impacta na relação custo-benefício, pois possibilita a direta redução do consumo energético e a melhoria do conforto termo acústico. Neste contexto, a presente pesquisa buscou avaliar física e mecanicamente 3 (três) solos extraídos em municípios da região oeste de Santa Catarina, a fim de executar, de modo experimental e em escala real, paredes autoportantes em Taipa de pilão, sendo este um método construtivo altamente inovador e que tem ganhado visibilidade no Brasil por meio de projetos pautados em edificações sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE:

Sustentabilidade. Taipa de Pilão. Solo. Métodos experimentais. Sistemas Construtivos.

ABSTRACT:

Projects based on innovative building systems have become increasingly urgent when it comes to designing sustainable buildings. The relevance of this demand has led to studies that overcome the paradigm of civil construction, which insists on the use of non-renewable materials such as cement and steel. In this context, the construction method called rammed earth has been introduced as an important alternative, adopting soil as the main component in its constitution, which impacts on the cost-benefit ratio, since it allows a direct reduction in energy consumption and improves the thermal and acoustic comfort. In this context, this research sought to physically and mechanically evaluate 3 (three) soils extracted from municipalities located in the western region of Santa Catarina, in order to perform, experimentally and on a real scale, self-supporting walls in rammed earth, this being a highly innovative construction method that has gained visibility in Brazil through projects based on sustainable buildings.

KEYWORDS:

Sustainability. Rammed Earth. Soil. Experimental methods. Constructive System.

1. INTRODUÇÃO

As técnicas que usam o compósito solo-cimento como principal material constituinte em uma edificação possuem em comum a minimização dos impactos ambientais negativos, quando comparados a insumos tradicionais e não renováveis, como o cimento e o aço, que despontam como grandes vilões do efeito estufa ao gerar grandes quantidades de CO₂. Inserir a terra crua como um componente construtivo ou como uma possibilidade mais sustentável, portanto, resulta em mudanças significativas para a cadeia produtiva da construção civil.

Para além disso, adotar um material extraído in loco, como o solo da própria área a ser edificada, representa um impacto na redução dos custos totais da obra, pois contribui diretamente na redução do consumo energético durante a construção. Podendo ainda somar a isso, uma melhora significativa do conforto térmico e acústico proporcionados pelo uso deste material e apreciados no pós-ocupação.

Por meio de uma pesquisa experimental, este trabalho tem como objetivos: (1) avaliar os aspectos físicos de solos de três municípios do oeste catarinense, tais como os limites de liquidez e plasticidade, densidade e umidade; (2) analisar o comportamento mecânico do compósito solo-cimento, a partir de corpos de prova moldados com compactação e teor de umidade ótimos; e (3) ter subsídios para a incorporação, na construção civil local, destes materiais nos municípios de Águas de Chapecó, Palmitos e em São Carlos-SC.

Nos tópicos seguintes, são apresentados o referencial teórico que dá base a esta pesquisa, a estrutura metodológica utilizada, os resultados obtidos por esta análise e ao final, tecidas as considerações finais e é apresentado as bibliografias adotadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

No arcabouço das pesquisas relacionadas à construção com terra no Brasil, Milani e Barboza (2016) destacam que muitas das pesquisas realizadas voltam-se à confecção de tijolos ou blocos que adotam a técnica de prensagem ou da compactação da terra, para produzir paredes de vedação. Em comum, tais técnicas

compartilham da estabilização do solo a partir de uma incorporação mínima de cimento ou da cal, de modo a se tornar uma importante alternativa às matérias-primas tradicionais da construção civil, cada vez mais escassas e com custos crescentes.

A taipa de pilão, em linhas gerais, consiste em apiloar/compactar camadas de terra crua entre formas de madeira, camadas essas que resultam em paredes monolíticas, autoportantes e de material isotérmico, entretanto, bastante rudimentares dado o caráter artesanal da sua execução (PISANI, 2004). Sobre esta técnica tradicional, Minke (2022) destaca que esta ainda é usada em diversos países, todavia, a emergência do uso de métodos e materiais mais sofisticados e de ferramentas mais apropriadas, como formas moduladas e apiloadores pneumáticos, têm possibilitado a execução desta técnica de modo mais eficiente, tornando seu uso mais expressivo, mesmo nos países desenvolvidos, dada a sua viabilidade econômica e o caráter ecológico do seu material básico.

Um dos primeiros países a empregar tecnologia em novos edifícios de taipa foi o Egito, através do arquiteto Hassan Fathy da Universidade do Cairo, onde a partir da inserção de novos equipamentos, métodos, ferramentas e design, revelaram novas possibilidades para o uso da taipa de pilão (GATTI, 2012). Em relação ao método tradicional, a taipa de pilão apresenta diversos benefícios, como a associação facilitada com outros materiais ou subsistemas, formas projetadas, esbeltez das estruturas, possibilidade de modulação das paredes, a agilidade na execução e também resultados estéticos mais interessantes (VERALDO, 2015), evidenciando que, para além do seu caráter sustentável, a taipa de pilão mostra-se também viável técnica e economicamente na atualidade.

Num panorama mundial, os Estados Unidos e a Austrália são os países que mais possuem escritórios e construtoras especializadas em terra crua e dentre os que possuem normas técnicas, destacam-se os Estados Unidos, Peru e El Salvador e também o Brasil, que regulamentou a técnica em 2022.

No que se refere à mudanças e avanços da técnica, Martin Rauch na Áustria destaca-se ao aliar importantes inovações ao modo de fazer tradicional, tais como a utilização de elementos em terra pré-moldados em seus projetos, elementos estes normalmente produzidos em fábricas próximas aos canteiros de obras e também o caso chileno de um Centro de Ecologia Aplicada, desenvolvido por Marcelo Cortez, este projeto contribuiu com a elaboração de tecnologias anti sísmicas aliadas às paredes externas em taipa de pilão (GATTI, 2002).

No cenário acadêmico e de desenvolvimento de pesquisas sobre o tema, destacam-se o Reino Unido com o Centro de Pesquisas Plymouth, a França com a Associação CRATerre-EAG, que desenvolve pesquisas sobre o tema desde 1970 e o Brasil, mais recentemente, com a Rede Terra Brasil, que reúne diversos profissionais, pesquisadores, arquitetos, engenheiros e interessados no tema para pesquisar e difundir conhecimento sobre a construção com terra de modo geral.

No Brasil, a técnica construtiva da taipa de pilão não figura como algo novo no hall das técnicas e sistemas utilizados, vez que diversas construções históricas em muitas regiões do país guardam esta técnica por trás de seus rebocos e pinturas caiadas, mas que infelizmente entrou em desuso no início do século XIX com o advento do cimento Portland. Segundo Minke (2022), as construções com terra de modo geral são conhecidas há mais de nove mil anos, sendo este, um material amplamente utilizado em diversas culturas antigas, tanto em casas, quanto em

templos e edifícios religiosos e as com terra compactada, mais precisamente, há pelo menos cinco mil anos de registro de sua utilização.

Há de se destacar algumas experiências anteriores aos anos 2000, como o grupo de arquitetos baianos que tinha como objetivo a construção de casas em grande escala e de baixo custo — o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento — Ceped. Este projeto construiu 42 casas em taipa de pilão estabilizada com cimento em Narandiba, SP. Todavia, tal grupo enfrentou grandes preconceitos contra os sistemas construtivos com terra crua, até mesmo promovidos pelo governo brasileiro, que através de uma campanha nacional iniciada nos 1960, associou as construções com terra à doença de Chagas. Esta campanha fez parte da política habitacional para construção em massa de casas populares financiadas pelo Banco Nacional de Habitação - BNH, e auxiliou na popularização da associação da proliferação do inseto com as casas construídas em terra, cabendo destacar que este inseto vive em pequenas cavidades, independentemente do tipo de material que a parede é feita (TAVEIRA, 2002).

Contemporaneamente, tem crescido o número de obras feitas em taipa de pilão no Brasil. Em uma revisão bibliográfica, Pinheiro, Rangel, Guimarães e Silva (2016) mapearam as obras realizadas com essa técnica nos últimos 60 anos e chegaram a um total de 38 obras conhecidas, dentre as quais predominam as de caráter habitacional e a localização no Estado de São Paulo. Ainda na sequência deste levantamento, foram selecionados os edifícios construídos em taipa mecanizada, retratados em documentos científicos como artigos, teses ou dissertações, representando a evolução tecnológica na construção em taipa contemporânea, ou seja, representando as adaptações no processo construtivo ou nas soluções projetuais adotadas devido às observações realizadas no decorrer do desenvolvimento da própria tecnologia (STEENBOCK e TAVARES, 2022).

Apesar de expressivos para a época, estes dados mostram a necessidade de uma nova atualização acerca destes números, tendo em vista o surgimento de novos grupos e laboratórios de pesquisa sobre o tema, a promulgação na Norma ABNT 17014 no ano de 2022, a qual trata exclusivamente dos requisitos, procedimentos e controle da Taipa de Pilão e a própria popularização e resgate da técnica que vem galgando maiores espaços no cenário construtivo brasileiro.

Do ponto de vista de sustentabilidade, cabe-nos também destacar o que Sakr et al. (2010) sustentam ao indicar a construção civil é uma das atividades econômicas que mais consomem matérias-primas virgens em seus processos e são estes processos que geram crescentes impactos ambientais resultantes da extração, consumo e descarte de bens naturais ou manufaturados, da ampla ocupação e modificação da paisagem, e conseqüentemente, da degradação e poluição ambiental causados por esses processos. Logo, a cadeia produtiva das construções é também corresponsável na ampla rede de transformação dos insumos, vez que esta é seguida por uma extensa gama de resíduos, gerados antes, durante e após as distintas etapas de uma construção.

Por conseguinte, quando os resíduos da construção civil não são gerenciados da maneira correta, desconsiderando o ciclo de vida do material e a sua posterior disposição na natureza, estes continuam causando impactos negativos, degradando solos, comprometendo corpos hídricos superficiais e lençóis freáticos, obstruindo sistemas de drenagem, intensificando enchentes e degradando a paisagem de modo geral (YEHEYIS et al., 2013; PASSUELLO et al., 2014).

E a incorporação dos ditos Materiais a 0 Km, conceito elaborado por Souza (2021) e onde a Taipa de Pilão entraria enquanto um digno exemplar, tem contribuído muito para mudar este paradigma cíclico da construção civil, vez que esses materiais podem ser adquiridos localmente, sem necessidade de transporte ou transformação e que, no fim da sua vida útil, podem facilmente ser reincorporados ao ambiente.

Esta visão sistêmica, portanto, sobre a manufatura e o uso dos materiais de uma edificação é resultado de um necessário movimento de incentivo ao uso de insumos locais e que incorporem uma industrialização mínima, como forma de proporcionar construções mais sustentáveis, saudáveis, econômicas, socialmente acessíveis e identificadas com o lugar onde estão inseridas, elementos cada vez mais necessários frente aos desafios ambientais e econômicos do nosso tempo. E é neste contexto, que o presente artigo busca ser enquadrado.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa aqui proposta permeia questões de cunho técnico, baseadas nos aspectos sustentáveis ao seguir um conceito novo, mas que mundialmente tem se consolidado cada vez mais e se apresentado em manifestos e projetos da construção civil, denominado Arquitetura km 0. Estudar o material solo-cimento busca um enquadramento no tripé Ambiental-Cultural-Econômico pautado pela ideia original da sustentabilidade, ao adotar materiais extraídos in loco, mas precisamente de solos encontrados nos municípios de Águas de Chapecó, Palmitos e São Carlos, região oeste do Estado de Santa Catarina, a fim de seguir o conceito de materiais Km 0 e agregar tecnologia na avaliação físico-mecânica do solo-cimento, visando seu uso em paredes autoportantes de taipa de pilão.

Esta visão pautada na sustentabilidade e na viabilidade técnica contribui para fundamentar o presente artigo, que objetiva caracterizar do ponto de vista físico-mecânico o material solo-cimento em âmbito laboratorial, a fim de viabilizar a técnica construtiva da Taipa de Pilão em âmbito comercial, seja por empresas e indústrias da construção civil ou por profissionais que busquem incorporar a nova Arquitetura Km 0 em seus projetos para edificações mais sustentáveis na região oeste de Santa Catarina.

As etapas experimentais da pesquisa aqui proposta demandam do correto procedimento metodológico intrínseco de cada ensaio, o que implica em seguir rigorosamente as normas técnicas de classificação constituinte do solo-cimento.

Neste sentido, este artigo está pautado em normas que buscam avaliar do ponto de vista físico e mecânico os materiais: solo, cimento e agregado miúdo, bem como, em trabalhos científicos (normatizados e/ou empíricos) que auxiliaram no entendimento das metodologias aqui adotadas, com destaque para a recente publicação da ABNT NBR 17014:2022 que traz os requisitos, procedimentos e controle para execução de paredes em taipa de pilão. Logo, tem-se na sequência o detalhamento dos ensaios físicos e mecânicos desta pesquisa.

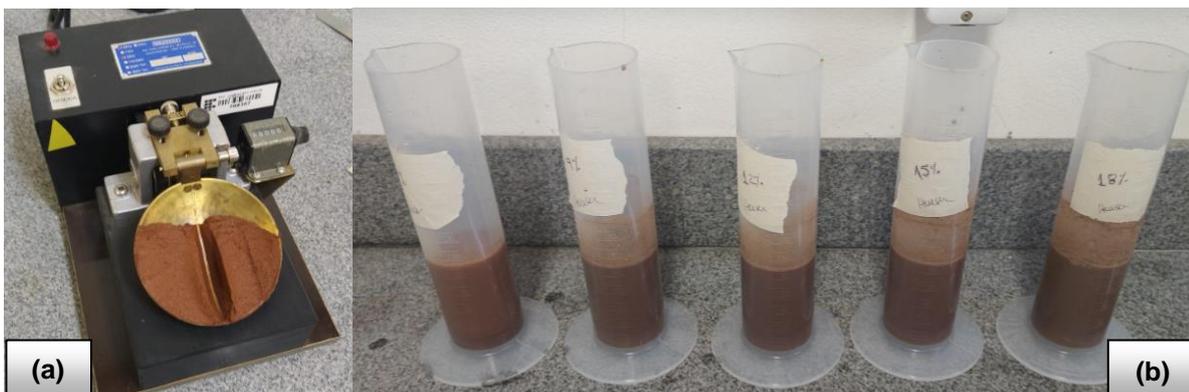
3.1 Características físicas

Este artigo partiu da seleção e correção de solos encontrados na região do extremo oeste catarinense, mais precisamente, nos municípios de Águas de Chapecó, Palmitos e São Carlos, a fim de reconhecer as características físicas dos solos extraídos *in loco* para verificar sua conformidade em termos de coesão, compactação e correção granulométrica.

Na extração descartou-se a primeira camada de solo, visto as suas características estritamente orgânicas. Com a seleção do solo mais adequado, avaliou-se a distribuição dos tamanhos de partículas (EMBRAPA, 2017) e os limites de plasticidade (ABNT NBR 7180:2016) e de liquidez (ABNT NBR 6459:2016). A Figura 1a mostra o equipamento de Casagrande adotado para determinação de tais limites.

Além disso, realizou-se o ensaio de densidade real dos grãos dos solos (DNER ME 093:1994) e a análise do teor mínimo de cimento requerido para estabilização físico-química completa do solo (DNIT ME 414:2019), com as provetas de 250 mL dispostas com diferentes percentuais de cimento, conforme ilustra a Figura 1b.

Figura 1: (a) Equipamento de Casagrande adotado para determinar os limites plásticos dos solos; (b) disposição das provetas para o ensaio de determinação ótima do teor de cimento.



Fonte: Autores.

Estes ensaios iniciais apontaram a necessidade de correção granulométrica do solo obtido a partir da adição de agregados miúdos, sendo a areia natural média adotada neste artigo em um teor aproximado de 50%. O termo solo-mistura, portanto, refere-se à mistura do solo com areia necessária para melhoramento da distribuição granulométrica e melhor empacotamento das partículas, sem, contudo, ocasionar problemas de fissuração, devido ao excesso de argila, ou esfrelamento, dada a elevada inserção de agregado miúdo.

3.2 Características mecânicas

O solo-mistura foi adotado em seu estado seco, com adição de 10% de cimento, seguida da mistura manual dos materiais e com adição de água em um teor de 12%, a fim de atingir a umidade ótima de compactação, conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2: Processo de mistura: (a) solo com 10% de cimento, (b) mistura do solo e areias secas e adição de água em uma mistura homogênea, e (c) misturas prontas para moldagem.



Fonte: Autores.

Os corpos de prova (CPs) foram moldados por compactação, com três camadas de mesma altura e compactadas com 15 golpes por camada (ABNT NBR 12023:2012), espalhando o solo-cimento dentro dos moldes CBRs (\varnothing 10 cm), com quantidade suficiente para produzir uma camada compactada de mesma altura, conforme sequência ilustrada pela Figura 3.

Figura 3: Amostras (a) moldadas no CBR, (b) extrator de CBR, (c) amostras aguardando tempo de cura para o ensaio de resistência mecânica.



Fonte: Autores.

Foram confeccionados 03 (três) corpos de prova (CPs) para cada um dos 3 (três) tipos de solo, de modo a determinar a resistência à compressão (f_{co}), conforme recomenda a ABNT NBR 12025:2012. Após 28 dias de cura (ambiente seco), o rompimento dos CPs foi realizado a uma taxa de incremento de tensão de $(0,15 \pm 0,10)$ MPa/min, em uma prensa servo controlada com capacidade máxima de 1.000 kN (Intermetric iM Unique 2223©).

Ensaio para resistência mecânica em idades avançadas não foram apresentados neste trabalho, mas considera-se relevante levar esta questão em consideração. Os resultados são apresentados na sequência.

4. APLICAÇÕES E RESULTADOS

Os resultados e discussões foram divididos conforme a caracterização física e mecânica do solo-cimento compactado, fruto principal deste estudo. Ao longo dos resultados, quando se refere ao solo-mistura, faz-se referência a diferentes percentuais de mistura de solo in loco, em conjunto com areia natural, como forma

de alcançar um melhor empacotamento das partículas e coesão. Adicionados ao solo-mistura, adotou-se um percentual de 10% de cimento CP V-ARI, a fim de melhorar a resistência mecânica à compressão.

4.1. Características físicas

Na Tabela 1 são apresentados dados referentes aos limites de liquidez e plasticidade, realizados a fim de caracterizar fisicamente os solos utilizados.

Tabela 1: Dados de caracterização física dos solos adotados neste trabalho.

Partículas de Solo Argiloso < 0,002mm	Partículas de Solo Siltoso < 0,05mm	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Local
79,48	18,73	46,77	29,90	16,39	Águas de Chapecó, SC
73,37	20,15	50,14	29,73	23,28	Palmitos, SC
86,22	13,78	49,20	38,9	10,3	São Carlos, SC

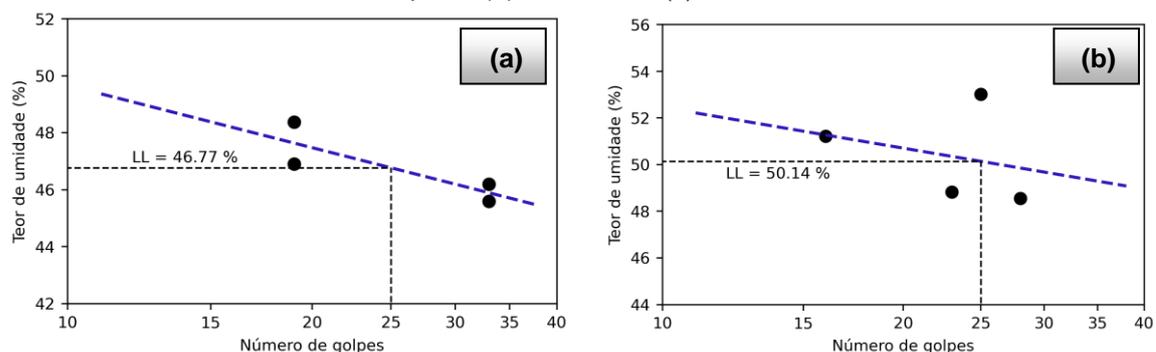
Fonte: Autores.

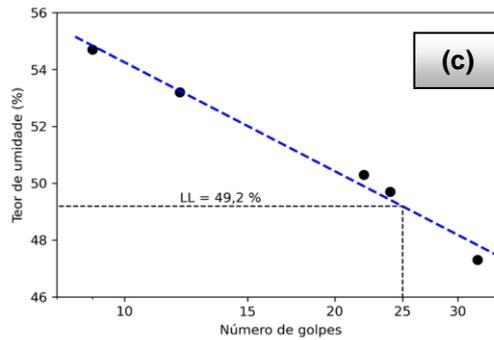
A análise resultou na constatação de que o solo contém grande quantidade de material fino (partículas < 0,075mm). Esta característica é predominante de solos residuais de basalto da Formação Serra Geral, conforme relatado por Menegotto et al. (2016) e Wolenski et al. (2022).

Todavia, ao realizar a mistura do solo, a qual resulta no solo-mistura composto pelas proporções de 50% de solo e 50% de areia, temos a redução da quantidade de finos, a fim de alcançar um teor médio de 50% de material argilo-siltoso, como forma de promover resistência mecânica, sem perder a importante propriedade de coesão entre as partículas.

Para os limites de consistência, os resultados apresentados na Tabela 1 e Figura 4 mostram que o grande percentual de partículas finas presente no solo induz a elevados teores de umidade para o limite de liquidez e o limite de plasticidade.

Figura 4: Resultado do ensaio para o limite de liquidez para cada um dos solos estudados: (a) Águas de Chapecó; (b) Palmitos; e (c) São Carlos.

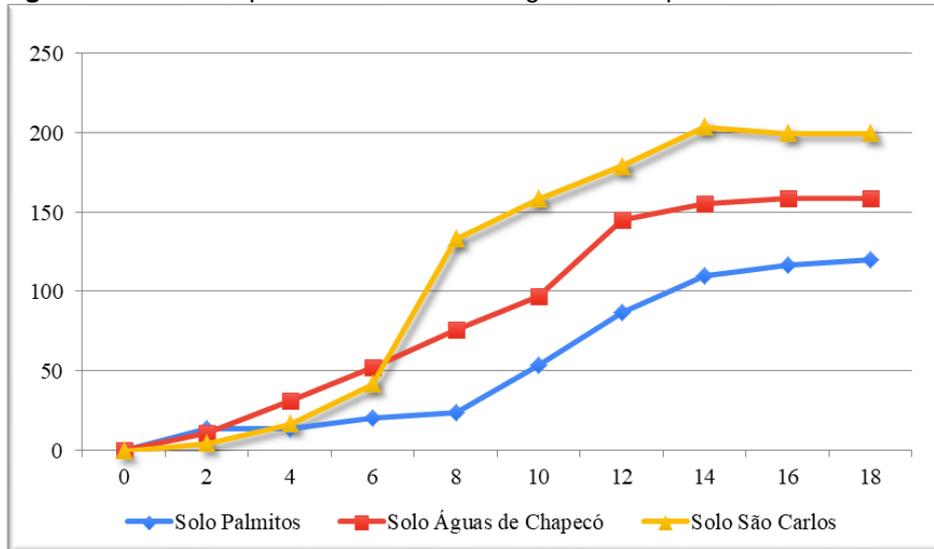




Fonte: Autores.

Na Figura 5 têm-se os resultados para o teor máximo de cimento a ser incorporado para promover a completa estabilização físico-química dos solos pesquisados para amostras de Palmitos, Águas de Chapecó e São Carlos.

Figura 5: Resultado para o método de dosagem físico-químico de solo-cimento.



Fonte: Autores.

Os ensaios evidenciam que os solos requerem teores limitados entre 14 e 16% de cimento para sua estabilização. Contudo, a fim de otimizar a relação custo-benefício da parede em taipa de pilão, adotou-se um percentual padrão de 10% de adição de cimento em todas as misturas ensaiadas, sendo este o teor suficiente para alcançar a resistência mecânica mínima exigida pela norma ABNT NBR 17014:2022.

Para pesquisas futuras, pretende-se chegar nestes 14% de adição de material estabilizante, por meio do uso da cal hidratada, a fim de não elevar o custo final das paredes, dado o alto custo do cimento, tanto financeiro quanto ambiental. Assim, pretende-se mesclar o uso do cimento com a cal em diferentes proporções.

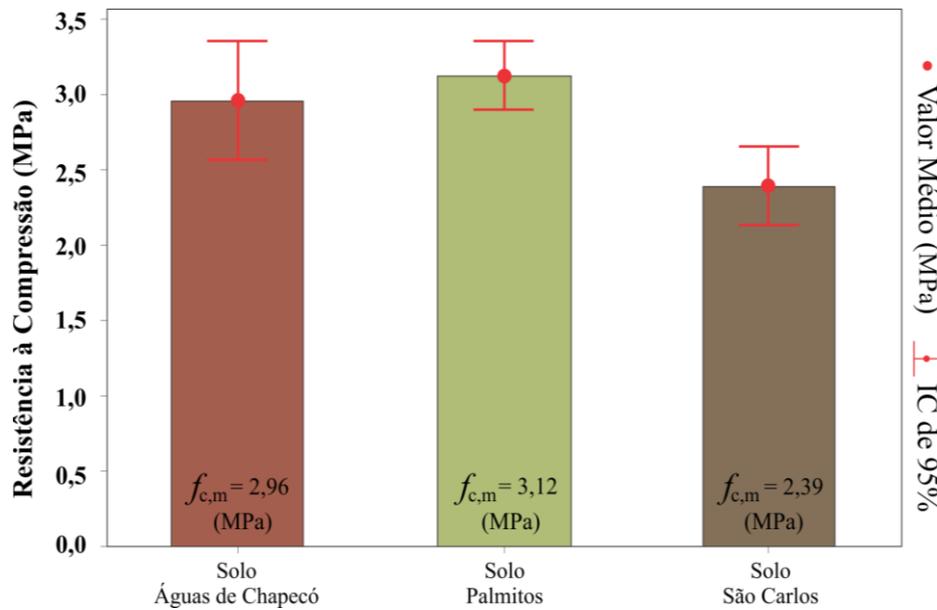
4.2. Características mecânicas

Para estabilização intergranular e melhor empacotamento das partículas da mistura entre solo e cimento, adotou-se uma adição de cimento CP V-ARI de 10%, em relação à massa total de solo-mistura, a fim de obter um material de baixa permeabilidade, elevada densidade e capacidade de carga mínima para atestar seu uso em paredes em taipa de pilão. A mistura destes materiais (solo, areia, cimento e

água), submetido ao estado ótimo de compactação, é o que denominamos neste artigo de solo-cimento compactado.

Na Figura 6 têm-se os resultados da resistência f_c (MPa) para 3 (três) corpos de prova, com as estatísticas para o valor médio e coeficiente de variação (CV%), além do valor médio ($f_{c,m}$ em MPa) e o intervalo de confiança (IC) para 95% da média.

Figura 6: Resultados para resistência mecânica à compressão para 03 (três) CPs para cada município, com traços de 50% de solo e 50% de areia e teor de 10% de cimento.

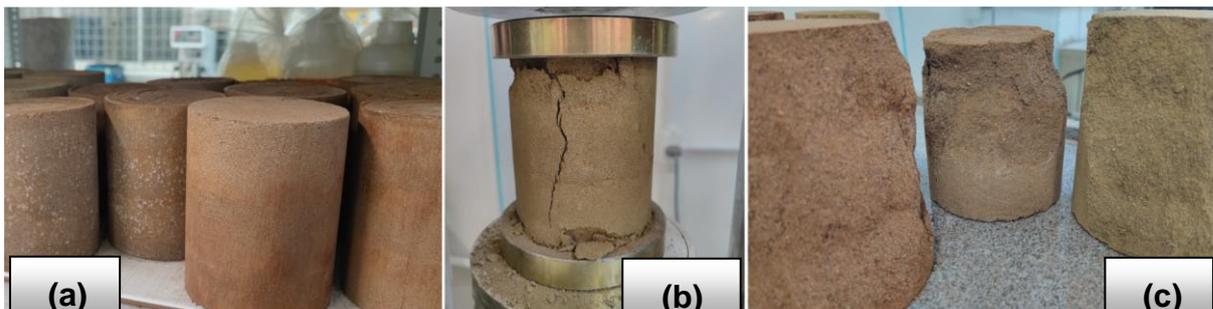


Fonte: Autores.

A resistência $f_{c,m}$ 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 atingiram 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.

A Figura 7a mostra os CPs armazenados e aguardando para realização do ensaio, conforme amostra rompida na Figura 7b. Durante o rompimento dos CPs foram observadas zonas preferenciais de falha, conforme ilustra a Figura 7c, sendo iniciadas nas regiões entre as camadas de compactação e rompidas por cisalhamento ao longo da seção longitudinal da peça.

Figura 7: Corpos de prova moldados (a), durante o rompimento (b) e após rompimento (c).



Fonte: Autores.

Como sequência destes ensaios, sugere-se que o cimento de alta resistência inicial possa ser substituído por cimentos mais sustentáveis, como o CP II-E, Z ou F, a fim de promover a sustentabilidade do compósito, por meio do uso de cimento que contém em sua composição resíduos oriundos de escória, pozolana ou fíler.

Para as paredes autoportantes em escala real, o cimento CP IV-32, com alta concentração de adições pozolânicas, foi empregado como forma de elevar os aspectos sustentáveis e intrínsecos a este sistema construtivo.

4.3. Experimentos com paredes autoportantes em escala real

Uma vez avaliados, do ponto de vista físico e mecânico, dos diferentes solos da região do oeste catarinense, procedeu-se com os experimentos em escala real com paredes autoportantes utilizando o sistema construtivo em taipa de pilão.

Nas Figuras 7, 8 e 9 são apresentadas as primeiras paredes autoportantes em taipa de pilão produzidas em nossa instituição. Pretende-se realizar o fechamento de uma estufa, a uma altura de 1 metro, sendo esta utilizada para as aulas práticas do Curso Técnico Integrado em Agropecuária do IFSC. Todas as paredes foram realizadas em experimentos com alunos bolsistas, voluntários e público externo ao IFSC, que possuem interesse em aprender e aprimorar a técnica da taipa de pilão.

Foram testadas diferentes traços, proporções e intensidades de compactação, como forma de verificar as possíveis patologias provenientes, principalmente, de traços de solo-cimento não ideais para serem aplicados neste sistema construtivo.

Na Figura 7 destacam-se os problemas resultantes de um traço altamente elevado em percentual de solo argiloso. Para esta situação adotou-se um percentual de 80% de solo de São Carlos, adicionados a 20% de areia média, além de 10% de cimento CP IV-32 em torno deste total. Após compactada, os taipais foram retirados e não foram observadas grandes fissuras. Contudo, ao longo do processo de cura e, conseqüente perda de água por calor proveniente das reações entre o solo e cimento, foram observadas as primeiras fissuras, que após 3 dias, resultaram em uma trinca ao longo de toda a parede. Tal patologia traz um indicativo acerca da retração elevada do solo, que acaba por resultar no processo de retração causados pelo excesso de material argiloso.

Figura 7: Parede em taipa de pilão com extensa trinca resultante da retração promovida pelo elevado percentual de solo argilo-siltoso.



Fonte: Autores.

Já na Figura 8 destacam-se os problemas resultantes da falta de aderência ocorrida entre as diferentes camadas compactadas. Novamente, as trincas observadas só tiveram início após iniciada a cura do solo-cimento compactado. Contudo, nesta parede as trincas foram concentradas entre as camadas, uma vez que tentou-se adotar os solos de Águas de Chapecó e Palmitos como forma de mesclar as diferentes camadas desta parede.

Figura 8: Parede em taipa de pilão com retração e esfarelamento entre as diferentes camadas compactadas, mescladas com solos de Águas de Chapecó e Palmitos.



Fonte: Autores.

Por fim, na Figura 9 tem-se o que seria uma parede em taipa de pilão próxima aos resultados ideais, sem a ocorrência de fissuras significativas, altamente compactada e com aparência e textura agradável aos olhos e ao tato.

Figura 9: Parede em taipa de pilão próxima ao ideal.



Fonte: Autores.

Nesta última parede foram adotados apenas o solo de São Carlos, com proporção de 50% de solo argilo-siltoso e 50% de areia média, além 10% de cimento CP IV-32 em torno deste percentual total. Após compactada, os taipais foram retirados e não foram observados grandes fissuras ou processo de esfarelamento, seja nos primeiros dias ou após os 28 dias de cura para atingir a plena capacidade de carga.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As conclusões deste estudo foram pautadas em dois pontos principais de inovação, sendo: os aspectos técnico e sustentável. Como fator técnico, destaca-se a contribuição enquanto pesquisa essencial para a criação de uma nova cadeia produtiva no oeste catarinense, mais precisamente nas cidades de Águas de Chapecó, Palmitos, São Carlos e de seus entornos, de modo a incorporar o uso do solo-cimento, aqui caracterizado, em um extenso estudo sobre a aplicabilidade deste material como parte do processo construtivo da taipa de pilão.

Paralelamente, o aspecto sustentável pautado na concepção dos Materiais Km 0, amplamente discutidos em países desenvolvidos, revelam a lacuna destes temas no Brasil, onde tal temática ainda é desconhecida por uma parcela considerável de profissionais que atuam na construção civil.

A junção destes dois pontos, foi essencial para caracterizar, do ponto de vista físico e mecânico, os diferentes solos encontrados na região, a fim de inseri-los como um sistema construtivo inovador e ainda pouco conhecido dentro da cadeia da construção civil local. Ao utilizar a terra de maneira inovadora contribui-se para edificações mais eficientes do ponto de vista energético e econômico, ampliando o campo de atuação de profissionais e empresas que buscam inovar de maneira sustentável em seus projetos.

Ressalta-se por fim, a importância de normas técnicas acerca da caracterização dos solos, para além da NBR 17014:2022 de Taipa de Pilão, vez que, este tema torna-se fundamental para a promoção da inserção de técnicas de construção com terra na construção civil, tanto para criar competitividade frente aos materiais convencionais e usados em grande escala e de grande impacto ambiental, como também para ampliar o leque de possibilidade de sua aplicação em projetos e obras.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17014 (2022). Taipa de Pilão - Requisitos, procedimentos e controle. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

_____. NBR 6459 (2016). Solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

_____. NBR 7180 (2016). Solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

_____. NBR 7181 (2016). Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

_____. NBR 12023 (2012). Solo-cimento – ensaio de compactação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

_____. 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.

CORREIA, M.; GÓMES, F.; CARLOS, G.D. CORREIA, J. (2014). Reflexões do projeto versus contributo do patrimônio vernáculo para a arquitetura contemporânea sustentável. In: 14º Seminário Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, SIACOT. Anais. El Salvador, p. 80-87.

DNER ME 093 (1994). Agregado graúdo para concreto de cimento. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017, 574p.

GATTI, Fábio. Arquitectura y construcción en tierra: estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en tierra. Dissertação de mestrado. Barcelona, UPC, 2012, p. 45.

MENEGOTTO, M.L.; BANDEIRA, F.O.; SARTORI, L.; MORAIS, M. Caracterização Geotécnica Preliminar do Solo da Área Experimental da UFFS – Campus Chapecó. 18º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica 2016, Belo Horizonte, Brasil: ABMS.

MILANI, A.P.S; BARBOZA, C.S. (2016). Contribuição ao estudo de propriedades de solo-cimento autoadensável para fabricação de paredes monolíticas. Ambiente Construído, v.16, p. 143-153.

MINKE, G. Manual de construção com terra: a terra como manual de construção e seu uso na arquitetura. Lauro de Freitas: Solisluna, 2022. 224 p. Traduzido por Jorge Simões.

PASSUELLO, A.C.B; OLIVEIRA, A.F.; COSTA, E.B. e KIRCHHEIM, A.P. (2014). Aplicação da avaliação do ciclo de vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 7-20.

PINHEIRO, L.; RANGEL, B.; GUIMARÃES, A.; SILVA, A.. Panorama da produção de obras em terra crua com design contemporâneo nos últimos sessenta anos no Brasil. Anais do 2º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira, Porto, FAUP, 2016.

PISANI, M.A.J. Taipas: a arquitetura de terra. Sinergia, São Paulo, v. 5, n. 1, 2004, p. 9-15.

SAKR, D.A.; SHERIF, A.; EL-HAGGAR, S.M. (2010). Environmental management systems' awareness: an investigation of top 50 contractors in Egypt. Journal of Cleaner Production, v. 18, n. 3, p. 210-218.

SOUZA, E. (2021). Materiais a 0 km e a ideia de preservar o meio ambiente e as culturas locais. ArchDaily Brasil. Acessado via www.archdaily.com.br.

STEENBOCK, G.E.; TAVARES, S.F. Taipa de pilão: do vernacular à mecanização. Panorama mundial e brasileiro. *Arquitextos*, São Paulo, ano 22, n. 263.07, Vitruvius, abr. 2022 <<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/22.263/8454>>.

VERALDO, Ana Carolina. Análise do processo construtivo de taipa mecanizada: estudo de caso da sede do canteiro experimental da UFMS. Dissertação de mestrado. Campo Grande, UFMS, 2015, p. 9.

YEHEYIS, M. (2013). An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 15, p. 81-91.

WOLENSKI, A.R.V.; BORÇATO, A.G.; FACCIN, C.L.; KIPPER, M.H. Caracterização Físico-Mecânica de Solo-Cimento oriundo do Município de São Carlos (SC). In: *TERRA BRASIL*, 8., 2022, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: UFSC, 2022. p. 50-58. Disponível em: <http://redeterrabrasil.net.br/>. Acesso em: 25 mar. 2023.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina (FEESC) e ao Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) pelo auxílio financeiro aos projetos de pesquisa que originaram o presente artigo.