

TÉCNICA COB (CONSTRUÇÃO COM TERRA CRUA): UM OLHAR MULTIFACETADO NA ERA CONTEMPORÂNEA

Giovana Rossi Ferreira¹
Renan Vinicius Martins²
Ronaldo Macedo de Oliveira Junior³
Universidade São Francisco
ronaldo.macedo@mail.usf.edu.br

¹Alunos do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Campinas

²Professor Orientador Hélio França Junior, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Campinas.

Resumo. Este estudo aborda a técnica de construção com terra crua, conhecida como *COB*, explorando sua relação com a sustentabilidade e a avaliação de suas propriedades técnicas. A técnica de construção com terra crua tem uma longa história, remontando a civilizações antigas que a utilizaram na construção de moradias e estruturas religiosas. No entanto, ao longo do tempo, o uso da terra na construção foi substituído por materiais industrializados, como tijolos queimados e cimento. Hoje, a técnica *COB* ressurgiu como uma abordagem sustentável para a construção. Ela envolve a mistura de areia, argila e palha, criando uma substância resistente e ecológica. Esta técnica oferece várias vantagens, incluindo o controle da umidade do ar, a capacidade de autoconstrução e sua contribuição para as Metas de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas *ODS*. No entanto, também apresenta desafios, como a sensibilidade à água e a necessidade de encontrar mão de obra especializada. O estudo realizou ensaios para avaliar a resistência à compressão do COB, sendo importante observar que os resultados podem ser influenciados pela preparação dos corpos de prova e o método utilizado nos ensaios. Além disso, a análise granulométrica do material mostrou uma distribuição de tamanho de partículas importante para compreender suas propriedades físicas. No contexto atual, o *COB* se destaca como uma abordagem sustentável que promove a inovação na construção, contribui para comunidades sustentáveis e apoia práticas de consumo responsável. Essa técnica representa uma maneira de alinhar a construção civil com os princípios de sustentabilidade, considerando tanto os aspectos ambientais quanto sociais.

Palavras-chave: Terra, Sustentabilidade, Construção, *COB*.

Introdução

Com o intuito de oferecer uma perspectiva singular na era contemporânea, este estudo se concentra na análise multifacetada da técnica de construção com terra crua *COB*¹. Além de explorar a técnica em si, seus pontos fortes e fracos, a pesquisa explora a conexão entre o tema em questão e a sustentabilidade, além de incluir a condução de testes para avaliar suas características técnicas.

Profissionais, como arquitetos, engenheiros e construtores, que têm um interesse genuíno em abordagens de construção sustentável, podem explorar nas conclusões desta pesquisa uma oportunidade para aprofundar seu conhecimento acerca das vastas possibilidades oferecidas pela técnica em projetos de bioconstrução. Ao mesmo tempo, indivíduos engajados em movimentos de bioconstrução, incluindo membros de coletivos, organizações não

¹ Cob é um termo inglês para “construção com terra crua”.

governamentais e projetos comunitários, podem utilizar os resultados deste estudo como uma ferramenta para embasar suas decisões ao escolherem as abordagens construtivas mais apropriadas para suas iniciativas, promovendo, assim, um maior alinhamento com os princípios da sustentabilidade em seus empreendimentos.

A terra foi empregada como elemento construtivo por todas as civilizações antigas, não apenas para residências, mas também na construção de templos religiosos. Segundo Minke (2006) há evidências de que as técnicas de construção com terra são conhecidas há mais de 9.000 anos, quando casas feitas com tijolos de lama (adobes) foram descobertas, desde o Turquemenistão até o Egito, passando pelo Irã, China, México, Europa e África. A Grande Muralha da China, a Pirâmide do Sol no México e as casas subterrâneas na China são exemplos impressionantes do uso da terra na construção.

Minke (2006) destaca também as contribuições de François Cointeraux e David Gilly na disseminação dessas técnicas na Alemanha, resultando em casas resistentes ao fogo. A mais antiga casa de taipa ainda habitada na Alemanha foi construída em 1795 e o edifício mais alto construído com terra na Europa fica na Alemanha.

De acordo com Bee (1997) devido à introdução da construção com tijolos queimados e às alianças políticas entre os fabricantes de tijolos e os construtores, a prática e a habilidade de construir casas usando material à base de terra quase desapareceram na Europa durante o século XIX. A partir de 1980, houve um ressurgimento da técnica tradicional de construir com material à base de terra, predominantemente para realizar reparos ou ampliações em edificações já existentes.

Segundo Maranhão (2022) no Brasil, o conhecimento sobre arquitetura de terra foi adquirido pelos nativos a partir do contato com os portugueses e, posteriormente, com os africanos escravizados. Diversas etnias brasileiras, como os índios guarani, passaram a utilizar técnicas como o pau a pique, enquanto as técnicas tradicionais de construção, como o uso de madeira e folhas de vegetação local, passaram a ser empregadas em várias regiões do país. A imigração no Brasil trouxe novos repertórios, materiais e estilos de construção que substituíram as referências tradicionais associadas ao trabalho dos escravos africanos. No início da República, houve uma intenção de remover os vestígios visíveis da colonização portuguesa e do trabalho escravo, e em alguns casos, simplesmente ignorar esses vestígios, já que não eram considerados de interesse ou bem vistos. Com a chegada de novos materiais e técnicas, como o cimento no final do século XIX, e seu uso generalizado a partir da década de 1920, a construção com terra perdeu sua relevância como técnica construtiva essencial, ficando limitada a usos mais precários. Atualmente, a terra ressurgiu como protagonista na construção, principalmente através de métodos como bloco de terra comprimida, tijolos e blocos de solo-cimento, taipa de pilão, adobe, pau a pique e o *COB*. O conhecimento tradicional relacionado a essas técnicas é altamente valorizado, especialmente na restauração arquitetônica de acordo com as diretrizes do *IPHAN* no Brasil. Esse saber-fazer está sendo resgatado e adaptado para atender aos novos critérios do mundo contemporâneo.

O termo “sustentabilidade” surgiu no ramo da construção civil em meados de 1980, através do Relatório de Brundtland, onde é abordada a necessidade do desenvolvimento sustentável e como esse era incompatível com os padrões de produção e consumo, mostrando assim, a urgência de construir uma nova “relação” entre ser humano e o meio ambiente, onde ambos se desenvolvem sem interferir no outro. O assunto volta a ser mencionado novamente na Comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento das nações unidas (*CMMAD*), onde foi realizado um acordo entre os países para que o meio ambiente fosse preservado e utilizados pelas próximas gerações por meio de medidas de prevenção ambiental (*SILVA JUNIOR; FREITAS - 2022*).

Em 1992 é realizada a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92), documento que representa uma “mudança de chave” quando se

fala de prevenção ambiental e desenvolvimento sustentável, pois estabeleceu o conceito e abordou passos fundamentais de como colocar em prática (GUITARRARA, Paloma. "ECO-92"; Brasil Escola).

Como resultado da ECO-92 foi criada a Agenda 21, instrumento de grande importância que se trata de propostas para que os países pudessem através dele projetar e colocar em prática as medidas voltadas para esse desenvolvimento sustentável, que para ser alcançado deve contar com: conservação ambiental, justiça social e crescimento econômico. A Agenda 21 foi realizada entre 1996 e 2002, porém foi implementada somente em 2003 (PENA, Rodolfo. "Agenda 21"; Mundo Educação - 2019).

Atualmente, o conceito de sustentabilidade na construção civil vem se desenvolvendo de maneira notável. Observando uma crescente adesão às práticas e tecnologias sustentáveis em todas as fases do processo construtivo. Desde a seleção de materiais de construção com menor impacto ambiental, até a elaboração de edifícios em bioconstrução. Além disso, a implementação de sistemas de gestão ambiental e certificações, como *LEED* (Liderança em Energia e Design Ambiental) e *BREEAM* (Método de Avaliação Ambiental de Edifícios), tem se tornado uma prática comum para garantir a conformidade com padrões ambientais e promover práticas sustentáveis. Além das preocupações ambientais, o aspecto social da sustentabilidade também está ganhando destaque na indústria da construção. Tendo em vista o impacto considerável da indústria da construção no meio ambiente e na sociedade, o avanço contínuo da sustentabilidade no setor reflete uma abordagem proativa e responsável em direção a um futuro mais equilibrado e ecologicamente consciente (CTE - 2020).

COB

Segundo Bee (1997) o *COB* é um material de construção tradicional que consiste em uma mistura de areia, argila e palha, onde a areia desempenha o papel das pedras, a argila funciona como a argamassa e a palha reforça o material, de maneira semelhante aos vergalhões em uma construção de concreto armado. Bee (1997) também detalha a função destes três materiais conforme descrito abaixo:

Areia: é o componente principal que fornece resistência estrutural. Ela é como as pedras em uma parede de pedra, ajuda a dar resistência e evita rachaduras. A granulometria da areia desempenha um papel importante na qualidade, pois partículas de areia de tamanhos diferentes podem ser usadas para obter diferentes texturas e resistências.

Argila: é a "argamassa" do sabugo². Ela atua como um agente ligante que une as partículas de areia, proporcionando coesão ao material e resistência à compressão. A argila também tem propriedades de retenção de água, o que ajuda a manter o sabugo úmido durante o processo de construção e secagem.

Palha: A palha, ou outros materiais orgânicos como fibras de grama, são inseridos ao sabugo para fortalecer sua resistência e flexibilidade. A palha funciona como os vergalhões de aço em uma parede de concreto armado, proporcionando maior resistência à tração e evitando rachaduras.

Para construir com *COB*, os ingredientes são misturados e moldados manualmente em formas de parede e são deixados para secar gradualmente camada por camada, também podem ser adicionados estreme para ajudar na ligação das partículas e pedregulho para diminuir a retração.

Como ocorre com todas as técnicas de construção, o método do *COB* apresenta tanto seus méritos quanto suas limitações.

² A união dos ingredientes ao ser combinada através do contato com os pés sobre uma lona, é um processo artístico de virar a lona repetidamente até alcançar uma forma que se assemelha à de um sabugo de milho

Desvantagens

Segundo Raquel Volpi (2022), uma desvantagem desse sistema é sua sensibilidade à água. Para proteger a construção, é necessário um sistema de drenagem eficaz para afastar a água do solo. Além disso, um telhado com beirais largos e uma varanda bem projetada são essenciais para evitar que a água da chuva molhe as paredes. A casa também deve ser rebocada com uma argamassa natural feita de terra, água e estrume. O ideal é utilizar o solo do terreno próprio para a construção, minimizando custos de transporte. Porém, a terra na região da construção pode não ter características necessárias para ser utilizada, pois é importante observar que o *COB* requer uma terra com até 30% de argila para ser eficaz, assim tendo outra desvantagem.

Outra desvantagem apontada por Minke (2006) é que o material encolhe na medida que seca devido à evaporação da água necessária para ativar as forças de ligação e alcançar a plasticidade adequada. Isso pode resultar em fissuras e fendas. Para minimizar esse enchimento, é possível reduzir a quantidade de argila e/ou água, melhorando a proporção de outras partículas, agregados e aditivos. O autor também diz que os preconceitos em relação à terra como material de construção devido à ignorância é mais uma desvantagem. Muitas pessoas têm dificuldade em compreender que a terra, um material natural, pode ser usada diretamente, sem a necessidade de processamento industrial e em muitos casos, o solo escavado para as fundações pode ser aproveitado na construção.

Em entrevista com o Arquiteto César Augusto da Costa, proprietário da empresa Cura da Terra - Arquitetura e Bioconstrução, foi apontado outra desvantagem sobre a dificuldade em encontrar mão de obra especializada, tendo que primeiramente quebrar a barreira de preconceito dos operários que estão acostumados com o modo convencional de construção e depois ele mesmo ensinar os colaboradores o modo *COB* de construir.

Vantagens

Minke (2006) diz que umas das vantagens do *COB* é a capacidade de controlar a umidade do ar, pois a habilidade da terra de absorver e liberar umidade de forma rápida e abundante é diferente de qualquer outro material de construção, possibilitando a manutenção de um ambiente interno controlado. Medições realizadas ao longo de oito anos em uma casa na Alemanha com todas as paredes de terra demonstraram que a umidade relativa se manteve consistentemente em torno de 50% durante todo o ano. Isso resultou na criação de um ambiente saudável com baixa umidade no verão e um aumento no inverno.

A atual preocupação com a prevenção do meio ambiente, tem gerado uma mudança de perspectiva mediante as técnicas que utilizam a terra como matéria-prima, fazendo com que os pesquisadores busquem se aliar a essas inovações unindo a simplicidade e eficácia. A terra é um dos elementos que mais respeita a natureza, durante a execução e depois ao longo dos anos. Com essa técnica, é possível alcançar cada vez mais um ambiente sustentável, onde permite uma contribuição com as faltas de moradias, além de garantir que as futuras gerações também consigam cumprir as mesmas necessidades (FERNANDES, Daniela; 2019).

Por não ser necessário ser executada com profissionais, mas somente com uma pessoa experiente, a construção com terra crua é exemplar para a autoconstrução. Além de gerar ambientes mais agradáveis, por conta do controle do calor e umidade. Por meio de uma abordagem comunitária, os residentes da comunidade teriam a capacidade de erguer suas próprias habitações utilizando os recursos naturais ao seu redor, incluindo a terra disponível no local e a palha. Esse processo possibilitaria atender de maneira sustentável à demanda por

moradias na comunidade, ao mesmo tempo em que impulsiona o desenvolvimento social dessas famílias, minimizando o impacto ambiental (MINKE, 2006).

A técnica de construção com terra crua, é um método de construção que tem uma importância significativa no contexto das Metas de Desenvolvimento Sustentável (*ODS*) das Nações Unidas. A técnica *COB* é um exemplo notável de como se pode contribuir para a consecução de várias *ODS*, promovendo a sustentabilidade em várias frentes. Em relação ao *ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura*, o *COB* promove a inovação na construção ao oferecer uma abordagem de construção sustentável e ecológica. No que diz respeito ao *ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis*, o *COB* contribui para o desenvolvimento de comunidades sustentáveis ao permitir a construção de habitações de baixo impacto ambiental, promovendo a sustentabilidade e o uso eficiente de recursos. Em relação ao *ODS 12 - Consumo e Produção Sustentáveis*, o *COB* se alinha com a promoção de práticas de construção sustentáveis, que visam reduzir o uso de recursos não renováveis e minimizar o desperdício durante o processo de construção. Por fim, a *ODS 17 - Parcerias e Meios de Implementação* é fortalecida pelo *COB* por meio da colaboração entre comunidades locais, especialistas e organizações para promover a adoção e implementação de técnicas de construção sustentáveis e ecologicamente responsáveis (IPEA - 2019).

Material e Métodos

No contexto da análise de solo para aplicações na construção civil, (WEISMANN 2006) destacou a diversidade de testes disponíveis para avaliar as propriedades do solo. Esses testes variam desde abordagens sensoriais simples, como observações básicas, até procedimentos mais elaborados realizados em campo e laboratório. O comportamento das estruturas de terra crua é fortemente influenciado pelas propriedades do solo, especialmente pela fração argilosa, que afeta a reação à água e a resistência à compressão. A ênfase foi dada à importância da confiança no julgamento pessoal ao conduzir testes de solo, embora tenha sugerido a obtenção de amostras profissionais de solo em laboratórios universitários locais para uma análise detalhada e precisa.

Esse entendimento da variedade de métodos disponíveis para avaliar o solo foi fundamental para a pesquisa e permitiu escolher as abordagens mais adequadas com base em seus objetivos e recursos disponíveis. Os testes selecionados foram escolhidos com base em critérios funcionais. A análise granulométrica foi incluída para caracterizar as propriedades físicas do material e o teste de resistência à compressão foi escolhido para avaliar as propriedades mecânicas.

A pesquisa de campo se concentrou em uma obra localizada em São Roque, SP, onde a construção utiliza a técnica *COB*. Esta obra foi aberta para coleta de amostras pelo arquiteto César Augusto da Costa, proprietário da empresa Cura da Terra - Arquitetura e Bioconstrução. As amostras obtidas deste local permitiram a realização de análises aprofundadas sobre a técnica.

A análise teve seu ponto de partida em um objetivo específico: avaliar a resistência à compressão em corpos de prova incorporados à construção. Esta abordagem fornece ideias valiosas sobre como a técnica *COB* se comporta dentro de uma estrutura construída, considerando todas as variáveis que podem influenciar sua resistência ao longo do tempo. Em paralelo a isso, foram coletadas amostras do material de terra crua não utilizado na construção. Essas amostras representaram o material em seu estado puro, sem a influência da construção. Isso permitiu avaliar a resistência à compressão do material em sua forma mais básica e pura, proporcionando um ponto de referência importante para a análise.

Além da avaliação da resistência à compressão, a pesquisa também incluiu a caracterização do material por meio da análise de granulometria. Essa análise permitiu

compreender a distribuição de tamanho de partículas no material de terra crua, o que é fundamental para entender suas propriedades físicas e como ele pode ser otimizado para a construção.

Os ensaios foram realizados no laboratório de Engenharia Civil, na Universidade São Francisco, campus de Campinas SP.



Figura 01: Obra onde o material foi coletado, São Roque, São Paulo (Fonte: Próprio autor - 2023).

Resistência à compressão - Amostragem 01: Corpo de prova incorporado na construção

Diante da ausência de uma norma específica de extração de corpos de prova para a técnica COB, optou-se por seguir como referência as diretrizes estabelecidas na norma NBR 7680-1-2015, que se trata de concreto e fornece orientações para a extração e preparo adequados dos corpos de prova. Quanto ao tamanho do testemunho, conforme o estipulado na norma ABNT 7680-1-2015, devem ser cilíndricos e a relação entre a altura (h) e o diâmetro (d) deve respeitar a condição de $1 \leq h/d \leq 2$. No entanto, devido à limitação dos recursos e equipamentos disponíveis, não foi possível a extração de um corpo de prova cilíndrico. Portanto, considerando a norma ABNT NBR 16814:2020, que se trata de ensaios, requisitos e métodos de ensaio para a técnica de bioconstrução adobe, também amplamente utilizada em projetos de bioconstrução a qual especifica que os corpos de prova devem ser cúbicos, com os lados iguais à menor dimensão, tomou-se a decisão de extrair um corpo de prova com dimensões de 20cm x 20cm x 20cm.



Figura 01: Extração do corpo de prova, São Roque, São Paulo (Fonte: Próprio autor - 2023).



Figura 03: Corpo de prova extraído, São Roque, São Paulo (Fonte: Próprio autor - 2023).

Para adequar as partes que ficariam em contato com a prensa, a NBR 5738 (ABNT 2015) especifica a necessidade da preparação das bases antes do rompimento, seja por meio de retificação ou capeamento. Uma abordagem utilizada como meio alternativo a uma pasta de cimento conforme estabelecido na norma NBR 8492:1984 é o capeamento não colado onde deve-se utilizar placa de apoio, plana e flexível que seja maior que o corpo de prova, de forma que distribua a carga de compressão de maneira mais uniforme, enquanto permite uma certa flexibilidade para acomodar a deformação do corpo de prova durante o ensaio. Essa configuração ajuda a minimizar o impacto das irregularidades na superfície do corpo de prova e a garantir resultados mais precisos em ensaios de resistência à compressão. Para o caso em questão, devido a necessidade de adaptação aos recursos disponíveis no laboratório, utilizou-se uma chapa de madeira na parte inferior e uma chapa de alumínio na parte superior.



Figura 04: Amostra da prensa e tentativa do capeamento não colado, Universidade São Francisco, Campinas, São Paulo (Fonte: Próprio autor - 2023).

Para execução do ensaio foi adotado o seguinte procedimento conforme norma ABNT NBR 16814:2020:

a. Medir as dimensões da seção de ruptura (a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , conforme figura 01), para o cálculo da área da seção de ruptura pela seguinte equação:

$$A_{rup} = \frac{(a_1 + a_2)}{2} \cdot \frac{(b_1 + b_2)}{2} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: a_1 , a_2 , b_1 e b_2 são dimensões da seção de ruptura (a meia altura), expressas em (mm) e A_{rup} é a área da seção de ruptura, expressa em (mm²);

- b. O corpo de prova deve ser colocado na prensa, de modo que o seu centro de gravidade seja coincidente com o eixo dos pratos da prensa;
- c. Proceder ao ensaio de compressão axial, regulando os comandos da prensa, de forma que a tensão aplicada, calculada em relação à área da seção de ruptura, se eleve progressivamente à razão de $(0,30 \pm 0,06)$ MPa/min;
- c. Registrar a carga de ruptura do corpo de prova.
- c. A resistência a compressão do corpo de prova deve ser calculada pela seguinte equação:

$$f_{ca} = \frac{F_{rup}}{A_{rup}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: F_{rup} é força de ruptura (N), A_{rup} é área de ruptura (mm²) e F_{ca} é resistência a compressão do corpo de prova (MPa).

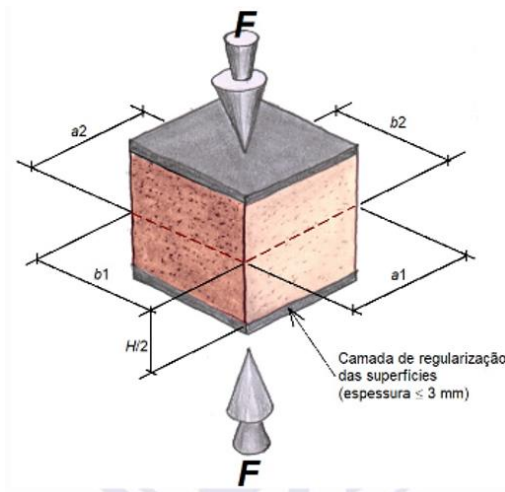


Figura 05: Figura orientativa para medição da área de ruptura (Fonte: ABNT NBR 16814:2020).

Resistência à compressão - Amostragem 02: Corpos de prova não utilizados na construção

Para a execução dos ensaios de resistência à compressão em corpos de prova que não foram utilizados na construção, foram seguidas as diretrizes estabelecidas na norma ABNT NBR 12770:2022 (Determinação da resistência à compressão não confinada de solo coesivo). Esta norma especifica que a relação entre a altura (h) e o diâmetro (d) dos testemunhos deve obedecer à condição de $1 \leq h/d \leq 2$, onde " h " representa a altura do testemunho e " d " o seu diâmetro. Foram utilizados como moldes 3 canos de PVC com os seguintes diâmetros e alturas (50mm x 115mm), (50mm x 100mm) e (50mm x 70mm), e foram preparadas 19 amostras de alturas distintas, com o objetivo de avaliar a correlação dos resultados. As amostras passaram por um processo de secagem natural por 20 dias.



Figura 06: Moldagens dos corpos de prova, Universidade São Francisco, Campinas, São Paulo (Fonte: Próprio autor).



Figura 07: Corpos de prova moldados, Universidade São Francisco, Campinas, São Paulo (Fonte: Próprio autor).

Utilizou-se também para adequar as partes que ficariam em contato com a prensa, a abordagem de capeamento não colado conforme NBR 5738 (ABNT 2015), porém, para estes corpos de prova foi possível seguir as orientações especificadas da norma, ou seja, foram utilizadas placas de apoio planas e flexíveis (borracha) tanto na parte inferior quanto superior.



Figura 08: Capeamento não colado, Universidade São Francisco, Campinas, São Paulo (Fonte: Próprio autor).

Para o cálculo da área de ruptura, foi empregada a seguinte equação:

$$\text{Área de Ruptura} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \text{ Equação 03}$$

Onde, para π , considerou-se 3,14, e o d foi dimensionado no meio do corpo de prova conforme requisitado na norma NBR 12770:2022.

Análise granulométrica

O ensaio de granulometria foi realizado conforme as orientações estabelecidas pela norma NBR 7181:2016 onde foram coletados 5,386 kg de material já misturado. O material coletado já se encontrava parcialmente seco na parte superior do depósito e posteriormente os torrões foram desmanchados com auxílio de uma marreta e submetidos à secagem natural por 12 dias. Este processo de secagem é essencial para garantir a preparação adequada do material e obter resultados confiáveis no ensaio. Durante os 12 dias de exposição a secagem natural, o material teve a oportunidade de perder a umidade excessiva, o que é crucial para uma avaliação precisa da sua composição granulométrica.



Figura 09: Depósito do material coletado, São Roque, São Paulo (Fonte: Próprio autor).



Figura 10: Desmanche dos torrões, Universidade São Francisco, Campinas, São Paulo (Fonte: Próprio autor).

Inicialmente, conforme requisitado na norma, foi realizado o quarteamento direto da amostra (Figura 11).



Figura 05: Quarteamento do material, Universidade São Francisco, Campinas, São Paulo (Fonte: Próprio autor).

Após o quarteamento foram selecionadas 2 partes para realização do ensaio e outras duas foram descartadas. Na imagem a seguir (Figura 12), tem-se o resultado da junção dos dois quartos selecionados.

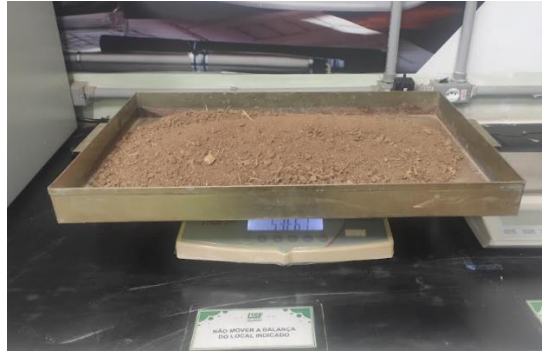


Figura 12: Pesagem de 2/4 do material, Universidade São Francisco, Campinas, São Paulo (Fonte: Próprio autor).

O jogo de peneiras utilizado no ensaio era composto por 7 peneiras de 7 malhas sendo: 19,00mm, 2,00mm, 1,18mm, 0,60mm, 0,30mm, 0,15mm e 0,08mm. O conjunto de peneiras foi montado do maior para o menor e foi adicionado o material na primeira peneira. A agitação foi realizada de forma automática em um agitador de peneiras durante 20 minutos.



Figura 13: Inclusão do material nas peneiras, Universidade São Francisco, Campinas, São Paulo (Fonte: Próprio autor).

Para o cálculo da porcentagem de materiais que passam em cada peneira, utilizou-se a seguinte equação conforme NBR 7181:2016, e para caracterização do tipo de solo, foi seguido Sistema Unificado de Classificação de Solo conforme estabelecido pela norma ASTM D2487:17. É importante ressaltar, que a análise foi direcionada apenas para uma classificação geral do solo misturado. Para uma caracterização mais aprofundada, a norma estabelece a necessidade de outros ensaios complementares como por exemplo composição química, limite de liquidez, entre outros.

$$Q_g = \frac{(M_s - M_r)}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

Onde, Q_g é a porcentagem de material passado em cada peneira, M_s é a massa total da amostra seca e M_r é a massa do material retido acumulado em cada peneira.

Resultados e Discussão

Resistência à compressão:

Para avaliação dos resultados dos ensaios de compressão, adotou-se como referência a norma ABNT NBR 16814:2020, que estabelece uma resistência mínima de 1,5 MPa para a técnica de bioconstrução Adobe.

Amostragem 01: Corpo de prova incorporado na construção

Como evidenciado na figura abaixo, destacado em vermelho, o corpo de prova sofreu ruptura com uma força inferior à expectativa estabelecida, registrando apenas 0,6 MPa, significativamente abaixo do valor mínimo de 1,5 MPa. Ficou evidente que o método empregado no teste exerceu um impacto direto sobre esse resultado, uma vez que a força de compressão aplicada pela prensa não se distribuiu uniformemente sobre a amostra. Além disso, ao analisar a chapa de alumínio na parte superior, percebe-se claramente que a deformação ocorreu apenas na região de contato com o prato da prensa, acompanhada pela ruptura da chapa de madeira na base. Isso salienta a importância de aderir ao método apropriado e às especificações estabelecidas em normas para assegurar a obtenção de resultados mais precisos em ensaios deste tipo.

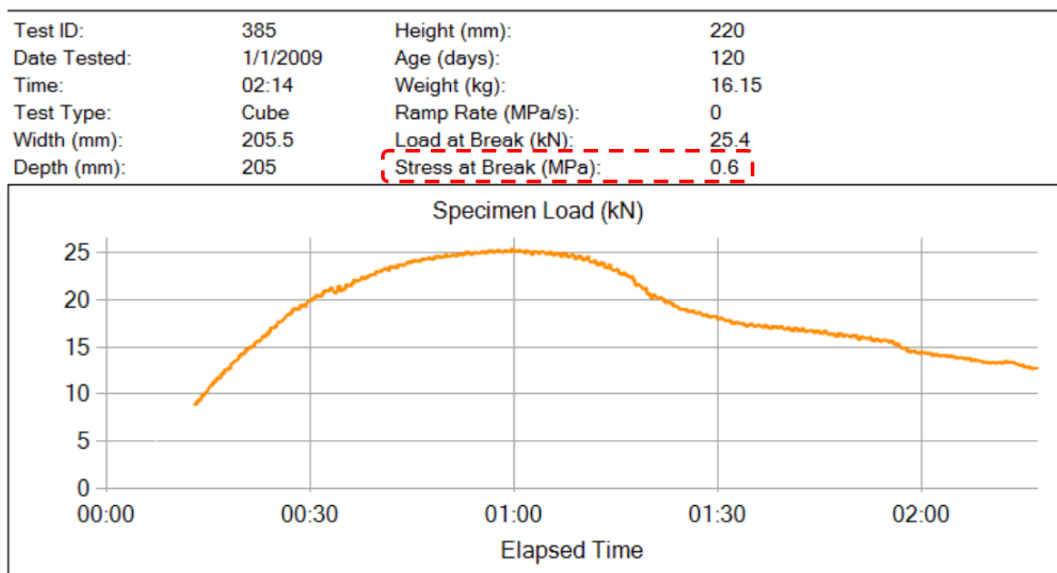


Figura 14: Gráfico do resultado do ensaio de compressão, Universidade São Francisco, Campinas, São Paulo (Fonte: Software da prensa (2023)).

Amostragem 02: Corpos de prova não utilizados na construção

Para uma análise comparativa mais abrangente, foi elaborada a planilha abaixo (Figura 15) para a sumarização dos dados obtidos. Inicialmente, ao analisar os resultados individualmente, nota-se que, com exceção dos testemunhos 02, 07, 09, 10 e 11 todas as demais amostras apresentaram resultados superiores ao mínimo esperado de 1,5 MPa, obtendo uma média de 2,46 MPa. Ao inspecionar visualmente as amostras após o processo de cura e antes de iniciar os testes, observou-se a presença de imperfeições, tais como rachaduras e deformações na superfície dos testemunhos 02, 07, 09, 10 e 11. Essas imperfeições podem ter exercido uma influência direta sobre sua resistência à compressão, explicando o desempenho abaixo do esperado.



Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	A.rup (mm ²)	f.rup (kN)	f.ca (MPa)	Resultado
1	92	110	6646,61	10,45	1,57	≥ 1,5 MPa
2	89,5	120	6291,24	9,25	1,48	≤ 1,5 MPa
3	42,5	95	1418,63	3,55	2,51	≥ 1,5 MPa
4	42	70	1385,44	3,6	2,59	≥ 1,5 MPa
5	41	70	1320,25	3,75	2,84	≥ 1,5 MPa
6	43	65	1452,2	3,35	2,29	≥ 1,5 MPa
7	95	106	7084,625	9,5	1,34	≤ 1,5 MPa
8	94	109	6936,26	10,9	1,57	≥ 1,5 MPa
9	94	126	6936,26	10,3	1,48	≤ 1,5 MPa
10	93	118	6789,465	9	1,32	≤ 1,5 MPa
11	94	121	6936,26	9,7	1,4	≤ 1,5 MPa
12	47	91	1734,065	4,8	2,78	≥ 1,5 MPa
13	47	103	1734,065	4,1	2,37	≥ 1,5 MPa
14	47	65	1734,065	3,9	2,25	≥ 1,5 MPa
15	47	66	1734,065	4,65	2,67	≥ 1,5 MPa
16	47	69	1734,065	4,5	2,6	≥ 1,5 MPa
17	47	60	1734,065	4,15	2,39	≥ 1,5 MPa
18	47	66	1734,065	4,2	2,41	≥ 1,5 MPa
19	47	67	1734,065	4,55	2,61	≥ 1,5 MPa

Figura 15: Sumarização dos resultados obtidos nos ensaios, Universidade São Francisco, Campinas, São Paulo (Fonte: Próprio autor).

Análise granulométrica

De acordo com a tabela (Figura 4) a seguir e após a síntese dos dados obtidos, foi possível classificar o material analisado como “Solo de grãos grossos”, ou seja, mais de 50% do material ficou retido na peneira nº 200 (0,075 mm) ou acima dela, baseando-se nas diretrizes da norma ASTM D 2487.

No. Peneira (ABNT-ASTM)	Peneiras (mm)	Ms (g)	Mr (g)	Qg (%)	% retido em cada peneira	Classificação do solo (ASTM D-2487)
3/4	19,00	2354,60	0	100,00	0,00	Solos de grãos grossos mais de 50% retidos na peneira nº 200 (0,075 mm) ou acima dela
10	2,00	2354,60	596,15	74,68	25,32	
15	1,18	2354,60	367,88	84,38	15,62	
30	0,60	2354,60	447,56	80,99	19,01	
50	0,30	2354,60	465,31	80,24	19,76	
100	0,15	2354,60	264,79	88,75	11,25	
200	0,08	2354,60	110,14	95,32	4,68	
Base	NA	2354,60	84,68	96,40	3,60	

Figura 16: Sumarização dos resultados obtidos nos ensaios, Universidade São Francisco, Campinas, São Paulo (Fonte: Próprio autor).

Conclusões

A história da construção com terra crua (COB) é um testemunho de resiliência e evolução ao longo dos milênios. Desde as civilizações antigas, que ergueram monumentos imponentes até a revolução trazida por visionários como François Cointeraux e David Gilly na Alemanha, essa técnica tem perdurado e se adaptado ao curso da história. No entanto, houve períodos de declínio, como no século XIX, quando a construção com tijolos queimados ganhou predominância na Europa, desprezando a construção com terra a um segundo plano. E no Brasil, as influências culturais da colonização e a imigração moldaram a arquitetura, deixando de lado as técnicas tradicionais à base de terra por um tempo. Mas eis que, em tempos mais recentes, a

construção com terra ressurgiu como protagonista em um mundo que busca desesperadamente uma abordagem mais sustentável para edificar o futuro. Esse ressurgimento não é apenas um retorno ao passado, mas uma adaptação criativa a um presente que exige responsabilidade ambiental e social. A integração entre a construção com terra e a sustentabilidade é notável, refletindo o surgimento do conceito de sustentabilidade na construção civil nas últimas décadas. Práticas e tecnologias sustentáveis são agora parte integrante de todos os estágios do processo construtivo, desde a seleção de materiais de construção até a construção de edifícios em bioconstrução. Como em qualquer técnica de construção, o COB possui suas vantagens e desvantagens. Entre as desvantagens, destaca-se a sensibilidade à água, que exige um sistema de drenagem eficaz e proteção contra chuvas. Além disso, a qualidade da terra local pode ser um problema, já que o COB requer uma porcentagem específica de argila para funcionar adequadamente. O encolhimento do material durante a secagem pode resultar em fissuras, e a falta de mão de obra especializada pode ser um desafio. Por outro lado, as vantagens do COB são notáveis. Ele permite controlar a umidade do ar, mantendo um ambiente interno saudável e confortável. Além disso, o uso da terra como matéria-prima contribui para a sustentabilidade, atendendo às demandas das Metas de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas. Isso inclui a promoção da inovação na construção, o desenvolvimento de comunidades sustentáveis, a prática de consumo e produção sustentáveis e o fortalecimento das parcerias para implementar técnicas construtivas responsáveis ecologicamente.

Os resultados do teste de resistência à compressão no corpo de prova incorporado na construção mostraram que o método utilizado exerceu um impacto direto sobre os resultados, destacando a importância de seguir métodos apropriados e especificações em normas para obter resultados precisos. Já os corpos de prova não utilizados na construção apresentaram resultados superiores ao mínimo esperado de 1,5 MPa, obtendo uma média 2,46 MPa, com exceção de 5 amostras as quais avaliando visualmente antes do ensaio foi possível observar imperfeições na superfície as quais podem ter impactado diretamente no resultado. Isso sugere que a qualidade e o cuidado na preparação dos corpos de prova são essenciais para garantir resultados confiáveis. A análise granulométrica classificou o solo como "Solo de grãos grossos", onde mais de 50% do material foi retido na peneira nº 200 ou superiores. Essa classificação foi relevante para entender as propriedades do solo e sua adequação para a construção. Os resultados dos testes forneceram informações valiosas para avaliar a técnica COB, destacando a importância de seguir procedimentos adequados e especificações para obter resultados confiáveis. Isso pode orientar a otimização e o aprimoramento da técnica em futuros projetos de construção.

O COB representa uma abordagem valiosa e sustentável para a construção, embora não esteja isento de desafios. Suas características únicas o tornam uma alternativa atraente para promover a construção e o desenvolvimento sustentáveis, contribuindo para um futuro mais ecológico e socialmente responsável. Assim, à medida que olhamos para o futuro, vemos a construção com terra não apenas como uma técnica antiga ressuscitada, mas como uma ferramenta contemporânea poderosa para abordagens construtivas mais responsáveis e em sintonia com os princípios da sustentabilidade.

Referências Bibliográficas

ASTM D2487: Prática Padrão para Classificação de Solos para Fins de Engenharia (Sistema Unificado de Classificação de Solos) Estados Unidos, 2020

BEE, Becky. **The Cob Builders Handbook:** You Can Hand-Sculpt Your Own Home. Estados Unidos. 1997.

CENTRO DE TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES. Sustentabilidade na Construção Civil: conceitos e tendências: Brasil, 2020. Disponível em <<https://cte.com.br/blog/sustentabilidade/sustentabilidade-na-construcao-civil-conceitos-e-tendencias/>>. Acesso em novembro de 2023.

Federal de Minas Gerais - UFMG. Disponível em <<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/34029/1/An%C3%A1lise%20da%20viabilidade%20do%20uso%20do%20cob%20como%20t%C3%A9cnica%20de%20autoconstru%C3%A7%C3%A3o.pdf>> . Acesso em outubro de 2023.

FERNANDES, Daniela, **Análise da viabilidade do uso do COB como técnica de autoconstrução: estudo de caso em São Joaquim de Bicas/MG.**2022.Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Sustentabilidade do Ambiente Construído, da Universidade

GUITARRARA, Paloma. **"ECO-92"**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/eco-92.htm>. Acesso em outubro de 2023

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Objetivos de desenvolvimento sustentável:** Brasil, 2019. Disponível em <<https://www.ipea.gov.br/ods/index.html>>. Acesso em novembro de 2023.

MINKE, Gernot. **Building with earth, Design and Technology of a Sustainable Architecture.** Basel-Berlin-Boston: Birkhauser--Publishers for Architecture. Kassel, Germany, 2006.

NBR 5738: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015

NBR 7181: Solo — Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016

NBR 7680-1: Concreto - Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto. Rio de Janeiro, 2015

NBR 8492: Norma Tijolo de Solo Cimento - Resistência e Absorção - Alroma. Rio de Janeiro, 1984

NBR 12770: Solo - Determinação da resistência à compressão não confinada de solo coesivo. Rio de Janeiro, 2022

NBR 16814: Adobe: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2020

NEVES, Célia; MARANHÃO, Milena Fernandes; LELIS,Natália; FARIA,Obede Borges. **Arquitetura e Construção com Terra no Brasil,** Tupã-SP: ANAP, 2022. Disponível em <<https://redproterra.org/pt/outras-publicacoes/>> . Acesso em Agosto de 2023.

PENA, Rodolfo. Agenda 21. **Mundo Educação.** Brasil,2019. Disponível em <<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/agenda-21.htm>> . Acesso em Setembro de 2023.



SILVA, João, Desenvolvimento Sustentável na Construção Civil: Tendências e Práticas, **Revista de Engenharia Civil**, volume 27, número 3, p. 45-62, 2022. Disponível em: <<https://www.civil.uminho.pt/revista/revistas>>

SILVA JUNIOR, Ângelo; FREITAS, Jackson. **Sustentabilidade na Construção Civil: Histórico, Conceito, algumas Técnicas e Tecnologias utilizadas no Brasil.**2022.Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Civil, Faculdade AGES. Bahia,2022. Disponível em <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/25501/1/Artigo%20TCC%20-%20Junior%20e%20Jackson-%20atualizado%5B3172%5D%20e%20revisado%20%281%29%5B3208%5D.pdf>> . Acesso em Outubro de 2023.

VOLPI, Raquel. O COB. The Game of Sustainability, **Instituto Brasileiro de Sustentabilidade**. Brasil,2022. Disponível em <<https://inbs.com.br/quinto-episodio-o-cob-the-game-of-sustainability/>> . Acesso em Setembro de 2023.

WEISMANN, Adam; BRYCE, Katy. **Building with COB: A step-by-step guide**. Estados Unidos, 2006