XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8731

Influência da adição de resíduo de bloco sílico-calcário na retração de argamassas de terra

Influence of calcium silicate block waste addition on the shrinkage of earthen mortars

Gustavo Avelino da Silva
UTFPR | Apucarana | Brasil | avelino.gustavo21@gmail.com
Augusto Montor de Freitas Luiz
UTFPR | Apucarana | Brasil | augustom@utfpr.edu.br
Sarah Honorato Lopes da Silva Tamura
UTFPR | Apucarana | Brasil | sarahh@utfpr.edu.br

Resumo

A crescente demanda por materiais sustentáveis tem impulsionado o reuso de bloco sílico-calcário reciclado em produtos à base de terra, contudo seu impacto na retração permanece pouco explorado. Este estudo examina o efeito da adição de 25% de resíduo sílico-calcário reciclado (em massa) sobre a retração linear (RL) e volumétrica (RV) em argamassas de terra, considerando três níveis de consistência (140–150 mm, 170–180 mm e 210–220 mm). Espécimes prismáticos foram moldados seguindo normas técnicas, com RL monitorada por 15 dias e RV medida ao final. Resultados mostram que resíduo reciclado reduziu demanda de água, afetando trabalhabilidade. RL aumentou, especialmente em argamassas com maior conteúdo de água, enquanto RV foi consistentemente maior, atingindo 2,4 vezes RL, reforçando a importância de medições volumétricas. As conclusões sugerem que o resíduo sílico-calcário pode controlar expansão inicialmente, mas a expansão higroscópica pode intensificar retração em misturas com alto teor de água. O controle de umidade emerge como estratégia-chave para mitigar efeitos de retração.

Palavras-chave: Revestimentos à base de terra. Revestimentos de terra. Argamassas de revestimento. Ligantes não convencionais.

Abstract

The increasing demand for sustainable materials has driven the reuse of calcium silicate block waste in earth-based products, yet its impact on shrinkage remains underexplored. This study examines the effect of 25% recycled calcium silicate waste (by mass) on linear (LS) and volumetric shrinkage (VS) in lateritic earth plasters, considering three consistency levels (140–150 mm, 170–180 mm, and 210–220 mm). Prismatic specimens were molded following technical standards, with LS monitored for 15 days and VS measured at the end. Results showed that recycled calcium silicate waste reduced water demand, affecting workability. LS increased, especially in plasters with higher water content, while VS was consistently greater, reaching 2.4 times LS, reinforcing the importance of volumetric measurements. Findings suggest that calcium silicate waste may initially control expansion, but hygroscopic expansion can intensify shrinkage in high-water-content mixtures. Moisture control emerged as a key strategy to mitigate shrinkage effects. Future research should explore the water retention capacity of recycled calcium silicate waste and its impact on the rheology of earth-based plasters.

Keywords: Earth-based plasters. Clay-based plasters. Earthen plasters. Coating mortars. Non-conventional binders.

Como citar:
SILVA, G. A.; LUIZ, A. M. F.; TAMURA, S. H. L. S. Influência da adição de resíduo de bloco sílico-calcário na retração de argamassas de terra. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

INTRODUÇÃO

O interesse por revestimentos de terra tem crescido devido à sua baixa energia incorporada, potencial de retenção de CO_2 e bom desempenho higrotérmico [1–4]. Entretanto, a retração permanece uma das principais limitações desses materiais [5–9], que vem sendo controlada por meio de técnicas de estabilização da terra [8, 10–12]. Paralelamente, a valorização de resíduos da construção civil tem sido apontada como alternativa para reduzir o consumo de matérias-primas e a disposição em aterros [13,14]. Nesse contexto, este estudo avalia a influência da incorporação de resíduos de blocos sílico-calcários reciclados na retração linear e volumétrica de argamassas de terra formuladas com diferentes consistências [15,16].

FENÔMENO DE RETRAÇÃO

A retração corresponde à redução volumétrica que ocorre durante a secagem dos materiais à base de terra, podendo causar fissuração, perda de resistência e comprometimento da durabilidade [5]. Sua magnitude depende principalmente do teor e da mineralogia da fração argilosa, além das condições de secagem e do teor de água empregado na mistura [17].

A retração linear (RL) é amplamente utilizada para avaliação de materiais terrosos devido à simplicidade de medição e interpretação [9,18]. Embora o conceito seja consolidado [19], diferentes metodologias de ensaio são empregadas internacionalmente [5,20]. A norma DIN 18947 [21] estabelece procedimentos específicos para argamassas de terra e limites máximos entre 2% e 4%, conforme a aplicação.

Diversos estudos relatam que a maior parte da retração ocorre nos primeiros dias de secagem e que valores de RL normalmente permanecem inferiores a 3% [5,6,9]. Gomes et al. [5] observaram correlação entre RL e teor de argila, enquanto Santos et al. [8] destacaram a influência do teor de água. Delinière et al. [6] e Narloch e Woyciechowski [9] verificaram estabilização da retração após os primeiros dias de cura.

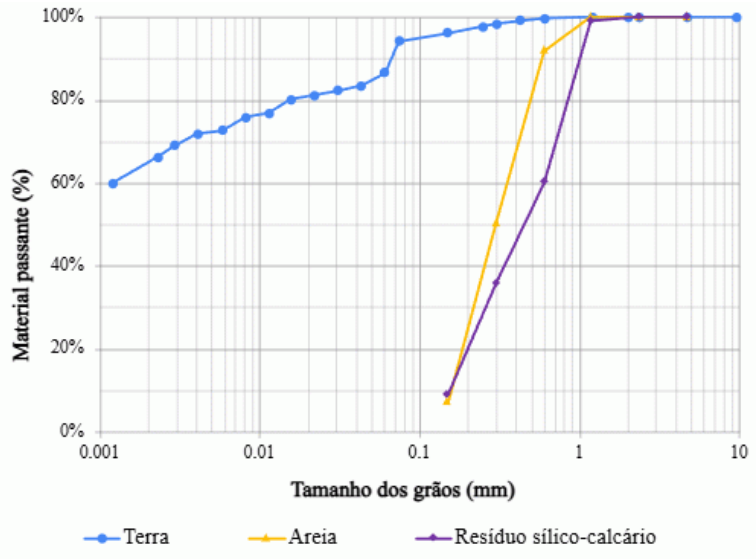
Apesar de amplamente empregada, a RL representa apenas uma direção de deformação. Gomes et al. [7] e Santos et al. [8] demonstraram que a retração volumétrica (RV) é mais sensível e pode representar de forma mais adequada as alterações dimensionais, recomendando a utilização conjunta desses parâmetros.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Os materiais utilizados na composição das argamassas foram terra, areia e resíduo sílico-calcário reciclado (RSC). A curva de distribuição granulométrica dos materiais é apresentada na Figura 1.

Figura 1: Distribuição granulométrica de terra, areia e resíduo reciclado



A terra utilizada neste estudo foi coletada em Apucarana, Brasil, e classificada como Latossolo Vermelho. Sua composição granulométrica compreende 65% de argila, 22% de silte e 13% de areia, com predominância de hematita, caulinita e gibsita na fração fina.

Como agregado, foi utilizada areia siliciosa com tamanhos de partícula entre 0,15 e 1,18 mm. O resíduo reciclado, proveniente de resíduos de bloco sílico-calcário, passou por britagem manual, secagem por 24 horas a 100°C, moagem em moedor elétrico e peneiramento em malha de 0,075 mm, garantindo uniformidade granulométrica.

MÉTODOS

Neste estudo, foram analisadas duas composições: uma mistura de referência (REF) sem resíduo e outra contendo 25% de resíduo sílico-calcário (RSC) em massa. Ambas foram formuladas com uma proporção em massa de 1:1,35 (terra:areia). Cada composição foi ajustada para atingir três faixas específicas de índice de consistência (140–150 mm, 170–180 mm e 210–220 mm). O teor de água foi expresso em massa utilizando a relação água/sólidos (a/s), com as misturas resultantes apresentadas na Tabela 1.

A preparação das argamassas seguiu a metodologia descrita por Fujita, Luiz e Lopes da Silva [23], utilizando um misturador mecânico de argamassa. A consistência foi determinada com o equipamento brasileiro padronizado pela NBR 13276 [24], utilizando-se a adaptação de 8 quedas na mesa de consistência, conforme Luiz et al. [25]. Esse procedimento busca equalizar a energia aplicada entre os métodos brasileiro e europeu, assegurando equivalência metodológica com o procedimento europeu [26].

Tabela 1: Proporção em massa, teor de água e fluxo de consistência das argamassas

Argamassas	a/s	Índice de consistência (mm)
REF1	0,30	149,5
REF2	0,34	173,0
REF3	0,38	215,2
RSC1	0,29	148,3
RSC2	0,31	175,1
RSC3	0,36	212,9

Fonte: os autores.

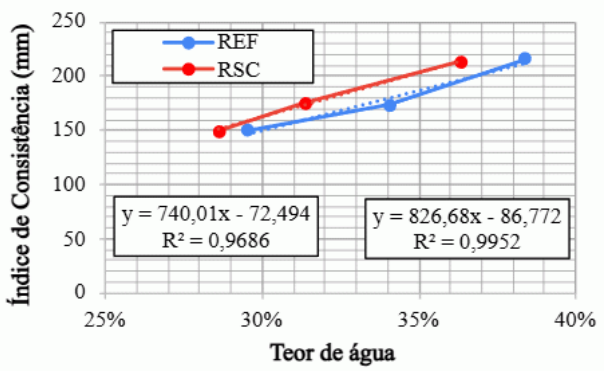
Para cada mistura da Tabela 1, foram moldados três corpos de prova prismáticos (40 × 40 × 160 mm), conforme a NBR 13279 [27]. A compactação foi realizada em duas camadas, com 30 quedas por camada na mesa de consistência. Após a moldagem, os corpos de prova foram armazenados em posição plana, em ambiente de laboratório, protegidos da incidência direta de luz solar e sem controle climático específico de temperatura e umidade relativa. As amostras permaneceram expostas às condições ambientais internas do laboratório durante todo o período de monitoramento da retração. A RL foi monitorada aos 2, 3, 6, 8, 10, 14 e 15 dias, conforme a DIN 18947 [21]. A RV foi medida apenas aos 15 dias, com base nas dimensões dos corpos de prova prismáticos e no cálculo de volume. Já a RV determinada aos 15 dias, pela diferença entre o volume final dos prismas e o volume inicial do molde, dividida pelo volume inicial.

Os resultados de retração linear foram expressos como média e desvio padrão de três corpos de prova para cada composição. Para avaliar a influência da incorporação do resíduo sílico-calcário reciclado, foi aplicado o teste t de Welch para comparação entre as misturas de referência (REF) e aquelas contendo resíduo (RSC), considerando nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

RESULTADOS

A Figura 2 ilustra a correlação entre o índice de consistência e o teor de água para as argamassas analisadas. Observa-se que a incorporação de resíduo sílico-calcário (RSC) reduz a demanda de água necessária para atingir a mesma trabalhabilidade em comparação à mistura de referência. Ambas as composições apresentam um comportamento linear, alinhando-se com precisão à linha de interpolação dos dados experimentais.

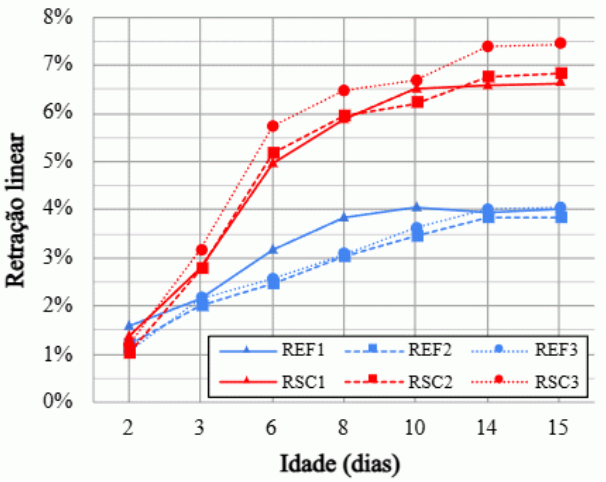
Figura 2: Relação entre consistência e teor de água



Fonte: os autores.

A Figura 3 apresenta a evolução da RL com a idade das amostras. A RL das amostras do grupo RSC (em vermelho) superou a do grupo REF (em azul). A evolução da RL indica que as misturas contendo resíduo sílico-calcário apresentaram taxas de retração superiores às observadas nas argamassas de referência ao longo do período analisado. A diferença entre os grupos torna-se mais evidente a partir do sexto dia, mantendo-se até a estabilização observada entre os dias 14 e 15.

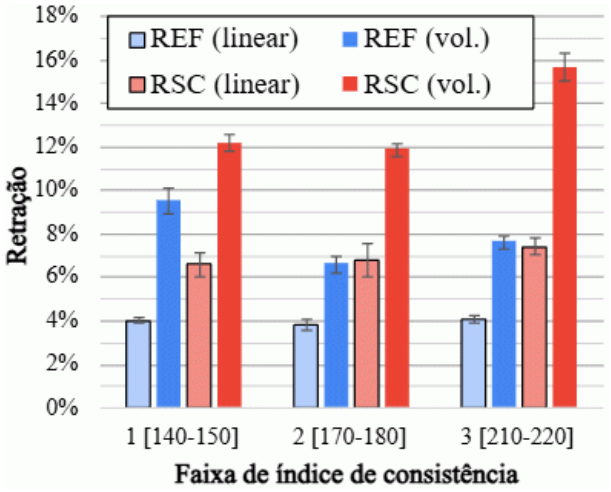
Figura 3: Evolução da retração linear com a idade



Fonte: os autores.

A Figura 4 apresenta os valores de retração linear (RL) e retração volumétrica (RV) aos 15 dias. A análise estatística da RL (teste t de Welch, $p < 0,05$) indicou que a incorporação do resíduo sílico-calcário reciclado promoveu aumento significativo da retração em todas as faixas de consistência avaliadas. Na faixa de 140–150 mm, a RL aumentou de 4,01 ± 0,13% para 6,63 ± 0,56% ($p = 0,0116$). Para a faixa de 170–180 mm, os valores passaram de 3,84 ± 0,26% para 6,81 ± 0,75% ($p = 0,0135$). Já na faixa de 210–220 mm, a RL elevou-se de 4,05 ± 0,17% para 7,44 ± 0,41% ($p = 0,0016$). Esses resultados confirmam que a presença do resíduo influencia significativamente o comportamento de retração das argamassas, sendo o efeito mais pronunciado nas misturas com maior teor de água.

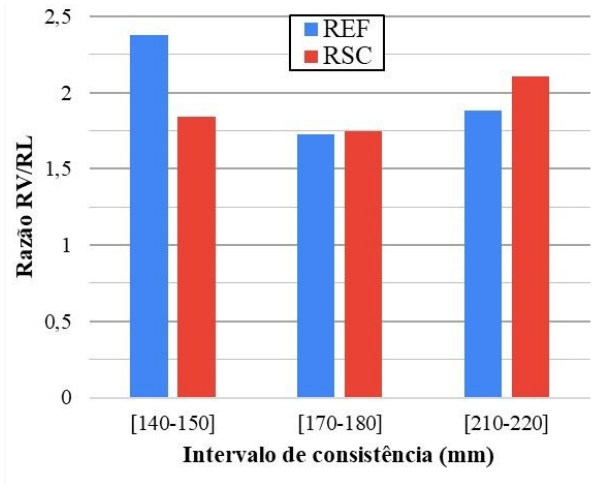
Figura 4: Retração linear e volumétrica no 15º dia



Fonte: os autores.

A Figura 5 sugere que a razão RV/RL foi mínima na faixa de consistência de 170–180 mm. Nas demais condições, a RV variou entre 1,7 e 2,4 vezes a RL, confirmando que a retração volumétrica captura deformações não representadas pela avaliação linear.

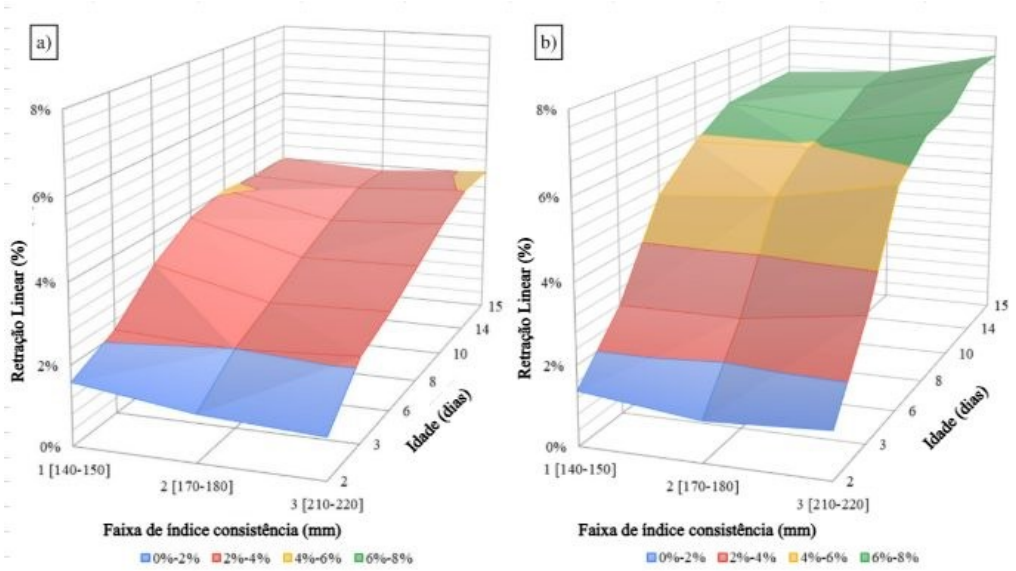
Figura 5: Relação entre retração volumétrica e linear no 15º dia



Fonte: os autores.

A Figura 6 apresenta, em um gráfico de superfície, a relação entre a RL, a faixa de consistência e a idade das argamassas dos grupos REF e RSC.

Figura 6: Correlação entre retração linear, faixa de consistência e tempo: a) argamassas REF; b) argamassas RSC.



Fonte: os autores.

DISCUSSÕES

Os resultados da Figura 2 sugerem que a incorporação do RSC reduziu a demanda de água das argamassas, possivelmente em função de suas características físicas e granulométricas. Diferenças de porosidade e absorção de água entre o resíduo e os demais constituintes da mistura também podem ter contribuído para esse comportamento. Entretanto, como não foram realizadas análises microestruturais ou de porosidade, essas interpretações devem ser consideradas hipóteses a serem verificadas em estudos futuros.

A RL estabilizou-se em ambos os grupos a partir do 14º dia de cura (Figura 3), em concordância com estudos anteriores [6,9]. Como não foi realizado o monitoramento da perda de massa durante a secagem, não foi possível correlacionar quantitativamente a evolução da retração com a evaporação da água, o que constitui uma limitação do estudo e uma oportunidade para pesquisas futuras. Os ensaios foram conduzidos em ambiente de laboratório, sem controle de temperatura e umidade relativa; entretanto, como todas as misturas foram submetidas às mesmas condições, considera-se válida a comparação entre os grupos REF e RSC. Nas argamassas RSC com menor teor de água, a RL observada no segundo dia foi inferior à das misturas de referência, sugerindo que o resíduo pode contribuir para limitar as deformações iniciais.

A adição do resíduo aumentou significativamente a RL nas três faixas de consistência avaliadas ($p < 0,05$), indicando que o efeito observado não decorre apenas da variabilidade experimental dos corpos de prova. No entanto, esse efeito foi menos significativo nas argamassas com menor teor de água. Esse comportamento não foi observado nas argamassas REF, onde a RL permaneceu constante independentemente do teor de água (Figura 4). Além disso, nas argamassas REF, a RV diminuiu com o aumento do teor de água na mistura (classe 1 em comparação com as classes 2 e 3);

essa tendência não foi observada no grupo RSC. Entre os intervalos 1 e 2 (consistência de 140 a 180 mm), a RV em misturas com adição de resíduo sílico-calcário reciclado permaneceu praticamente inalterada, em torno de 12%. No entanto, para a classe 3 (210 a 220 mm), houve um aumento significativo nessa propriedade, atingindo 15,7%.

As tendências observadas para RL e RV sugerem que a disponibilidade de água influencia a estabilidade dimensional das argamassas contendo RSC, atuando tanto nos processos de adsorção, retenção e secagem quanto em possíveis interações com as fases cálcio-silicato presentes no resíduo. Em materiais sílico-calcários, a água pode favorecer a dissolução de fases reativas, o transporte iônico e a formação de produtos hidratados [15,16,28,29]. Entretanto, como os mecanismos envolvidos não foram investigados diretamente neste estudo, interpretações relacionadas a reações químicas ou modificações microestruturais devem ser consideradas apenas como hipóteses preliminares.

Ao comparar os resultados com a norma DIN 18947 [21], constatou-se que as argamassas avaliadas ultrapassaram os limites máximos de RL estabelecidos para argamassas de revestimento (2%) e argamassas de camada fina de argila mineral (3%). Essa constatação ressalta a necessidade de aprimorar as misturas por meio do ajuste dos teores de resíduo e argila, além de considerar a adição de fibras para melhorar o controle da retração.

A Figura 6 mostra que, nos primeiros três dias, todas as misturas apresentam valores de RL que excedem os limites máximos especificados pela DIN 18947 [21]. Contudo, ambas as misturas, cujas proporções atendem à faixa de consistência média de 170-180 mm, tendem a apresentar menores valores de RL, conforme evidenciado pela depressão característica nos gráficos de superfície da Figura 6. Esse resultado destaca a importância da dosagem adequada de água para promover a fluidez, garantindo ao mesmo tempo a retenção de água nas argamassas.

Conforme discutido em outros resultados, as argamassas com adição de resíduo reciclado mostram uma evolução de RL mais intensa, o que também é observado na inclinação das linhas das argamassas RSC na Figura 3.

CONCLUSÕES

O estudo conclui que a adição de 25% de resíduo sílico-calcário reciclado influenciou a trabalhabilidade das argamassas, reduzindo a demanda de água, e promoveu aumento significativo da retração linear em todas as faixas de consistência avaliadas. A retração volumétrica superou a retração linear em mais de 1,5 vez, evidenciando a importância de sua determinação para uma avaliação mais representativa da estabilidade dimensional. Os resultados também indicam que o teor de água exerce influência relevante sobre o comportamento de retração, sugerindo que o controle da umidade pode contribuir para sua mitigação. Como limitações do estudo, destacam-se a ausência de controle climático durante a secagem e o não monitoramento da perda de massa dos corpos de prova. Estudos futuros devem investigar diferentes teores de resíduo sob condições controladas de temperatura e umidade, avaliando

simultaneamente a retenção de água, o comportamento reológico, a retração e as deformações volumétricas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Araucária (FA) pelo apoio concedido por meio da outorga de bolsa de iniciação científica. Agradecem à UTFPR pelo fornecimento da terra e ao Laboratório de Materiais e Técnicas de Construção do campus Apucarana por viabilizar a realização dos experimentos.

Durante a preparação deste artigo, os autores utilizaram o a ferramenta GPT-5.5 para melhoria de coesão textual. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] LUIZ, A. M. DE F.; BESSA, S. A. L.; REZENDE, M. A. P. Trends and innovations in earthen plaster mix design: A review. **Journal of Building Engineering**, v. 98, p. 111346. dez. 2024. DOI: 10.1016/j.jobe.2024.111346.

[2] CABEZA, L. F.; BARRENECHE, C.; MIRÓ, L.; MORERA, J. M.; BARTOLÍ, E.; INÉS FERNÁNDEZ, A. Low carbon and low embodied energy materials in buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 23, p. 536–542. jul. 2013. DOI: 10.1016/j.rser.2013.03.017.

[3] ARRIS-ROUCAN, S.; MCGREGOR, F.; FABBRI, A.; PERLOT, C. Towards the determination of carbon dioxide retention in earthen materials. **Building and Environment**, v. 239, p. 110415. jul. 2023. DOI: 10.1016/j.buildenv.2023.110415.

[4] GIADA, G.; CAPONETTO, R.; NOCERA, F. Hygrothermal Properties of Raw Earth Materials: A Literature Review. **Sustainability**, v. 11, n. 19, p. 5342. 27 set. 2019. DOI: 10.3390/su11195342.

[5] GOMES, M. I.; GONÇALVES, T. D.; FARIA, P. Unstabilized Rammed Earth: Characterization of Material Collected from Old Constructions in South Portugal and Comparison to Normative Requirements. **International Journal of Architectural Heritage**, v. 8, n. 2, p. 185–212. 4 mar. 2014. DOI: 10.1080/15583058.2012.683133.

[6] DELINIÈRE, R.; AUBERT, J. E.; ROJAT, F.; GASC-BARBIER, M. Physical, mineralogical and mechanical characterization of ready-mixed clay plaster. **Building and Environment**, v. 80, p. 11–17. out. 2014. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.05.012.

[7] GOMES, M. I.; GONÇALVES, T. D.; FARIA, P. Characterization of earth-based mortars for rammed earth repair. Em: FEIGLSTORFER, H. (Ed.). **Earth construction & tradition**. Viena, Austria: [s.n.]. p. 259–274.

[8] SANTOS, T.; GOMES, M. I.; COELHO, F.; FARIA, P. Eco-efficient earth plasters: influence of clay content, sand particle size and support. **Journal of World Architecture**, v. 2, n. 6. 1 dez. 2018. DOI: 10.26689/jwa.v2i6.634.

[9] NARLOCH, P.; WOYCIECHOWSKI, P. Assessing Cement Stabilized Rammed Earth Durability in A Humid Continental Climate. **Buildings**, v. 10, n. 2, p. 26. 10 fev. 2020. DOI: 10.3390/buildings10020026.

[10] HALL, M. R.; NAJIM, K. B.; KEIKHAEI DEHDEZI, P. Soil stabilisation and earth construction: materials, properties and techniques. Em: **Modern Earth Buildings**. [s.l.] Elsevier, 2012. p. 222–255.

[11] RAO, S. M. **Stabilization of Earthen Building Materials by Select Native Binders**. Cham: Springer International Publishing, 2023.

[12] LABOREL-PRÉNERON, A.; AUBERT, J. E.; MAGNIONT, C.; TRIBOUT, C.; BERTRON, A. Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review. **Construction and Building Materials**, v. 111, n. 10, p. 719–734. maio 2016. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.119.

[13] GHISELLINI, P.; RIPA, M.; ULGIATI, S. Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector. A literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 178, p. 618–643. mar. 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.207.

[14] QIAO, L.; TANG, Y.; LI, Y.; LIU, M.; YUAN, X.; WANG, Q.; MA, Q. Life cycle assessment of three typical recycled products from construction and demolition waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 376, p. 134139. nov. 2022. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.134139.

[15] SCHUUR, H. M. L. Calcium Silicate Products with Crushed Building and Demolition Waste. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 12, n. 4, p. 282–287. nov. 2000. DOI: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2000)12:4(282).

[16] AL-OTAIBI, S.; EL-HAWARY, M.; ABDUL-JALEEL, A. Recycling crushed concrete fines to produce lime–silica bricks. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management**, v. 163, n. 3, p. 123–127. ago. 2010. DOI: 10.1680/warm.2010.163.3.123.

[17] CORNELIS, W. M.; CORLUY, J.; MEDINA, H.; DÍAZ, J.; HARTMANN, R.; VAN MEIRVENNE, M.; RUIZ, M. E. Measuring and modelling the soil shrinkage characteristic curve. **Geoderma**, v. 137, n. 1–2, p. 179–191. dez. 2006. DOI: 10.1016/j.geoderma.2006.08.022.

[18] BAILLY, G. C.; EL MENDILI, Y.; KONIN, A.; KHOURY, E. Advancing Earth-Based Construction: A Comprehensive Review of Stabilization and Reinforcement Techniques for Adobe and Compressed Earth Blocks. **Eng**, v. 5, n. 2, p. 750–783. 30 abr. 2024. DOI: 10.3390/eng5020041.

[19] RAHAMAN, M. N. Kinetics and mechanisms of densification. Em: **Sintering of Advanced Materials**. [s.l.] Elsevier, 2010. p. 33–64.

[20] SOLTANI, A.; AZIMI, M.; O'KELLY, B. C. Reappraisal of linear shrinkage test for plasticity index determination and classification of fine-grained soils. **Applied Clay Science**, v. 238, p. 106920. jun. 2023. DOI: 10.1016/j.clay.2023.106920.

[21] DIN. **DIN 18947: Earth plasters - Requirements, test and labelling**. Berlin, 2024.

[22] CEN. **EN 1015-11: Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar**. Brussels, 2020.

[23] FUJITA, N. A.; LUIZ, A. M. DE F.; LOPES DA SILVA, S. H. **Consistência e fissuração em revestimento argamassado de solo com adição de fibra de poliéster**. (C. Neves, O. B. Faria, L. Maia, Eds.). Congresso de arquitetura e construção com terra no Brasil. **Anais**...Florianópolis: Rede TerraBrasil / UFSC, 2022.

[24] ABNT. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro. ABNT, 2016.

[25] LUIZ, A. M. F.; REZENDE, M. A. P.; SILVA, A. S.; FARIA, P. Tropical earthen plastering mortars: Effects of earth mineralogy, earth-to-sand proportion, and moisture conditioning. **Journal of Building Engineering**, v. 125, p. 116109. maio 2026. DOI: 10.1016/j.jobe.2026.116109.

[26] CEN. **EN 1015-3: Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)**. Brussels, 1999.

[27] ABNT. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento paredes e tetos - determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

[28] BULLARD, J. W.; JENNINGS, H. M.; LIVINGSTON, R. A.; NONAT, A.; SCHERER, G. W.; SCHWEITZER, J. S.; SCRIVENER, K. L.; THOMAS, J. J. Mechanisms of cement hydration. **Cement and Concrete Research**, v. 41, n. 12, p. 1208–1223. dez. 2011. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.09.011.

[29] SCRIVENER, K. L.; NONAT, A. Hydration of cementitious materials, present and future. **Cement and Concrete Research**, v. 41, n. 7, p. 651–665. jul. 2011. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.03.026.