



EFEITOS DA ADIÇÃO DE EXCREMENTO BOVINO NO DESEMPENHO MECÂNICO DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM UMA TERRA ARGILOSA DO BRASIL E OUTRA ARENOSA DE PORTUGAL

Raphael N. Pachamama^a; Paulina Faria^b; Marco A. P. Rezende^a; António Santos Silva^c

^a PPG-ACPS, Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil; raphael.n.pachamama@gmail.com; marco.penido.rezende@hotmail.com

^b CERIS, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal; paulina.faria@fct.unl.pt

^c Departamento de Materiais, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1700-066 Lisboa, Portugal; ssilva@lnec.pt

RESUMO

O excremento bovino é um material utilizado há milênios pela humanidade como estabilizante em técnicas de construção com terra, sendo comum até à atualidade em comunidades tradicionais no Brasil. No entanto, esta estabilização ainda é pouco estudada cientificamente. Neste estudo foi avaliado o efeito da adição de excremento bovino em argamassas produzidas com uma terra argilosa do Brasil e outra areno siltosa de Portugal. Os métodos e ensaios utilizados para esta avaliação são os descritos na norma alemã DIN 18947 para avaliação de argamassas de terra para reboco não estabilizadas com ligantes convencionais. Nas argamassas produzidas com as duas terras a adição resultou na redução da retração linear por secagem e no aumento das resistências à flexão, à compressão e da aderência por cisalhamento. Assim, o excremento bovino demonstrou ter efeitos positivos em argamassas de terra para reboco produzidas tanto com uma terra de clima tropical como com uma terra de clima temperado mediterrâneo, merecendo ser mais estudado como bioestabilizante eco-eficiente.

Palavras-chave: Reboco de terra, bioestabilização, solos tropical e mediterrânico, estrume de vaca, DIN 18947.



1 INTRODUÇÃO

Considerando as consequências que vêm sendo observadas no planeta relacionadas com as alterações climáticas, buscar materiais e soluções que possam atender às demandas construtivas da humanidade, ao mesmo tempo em que são capazes de contribuir para a redução das emissões de poluentes na atmosfera, é cada vez mais fundamental e urgente.

A construção com terra é um saber ancestral e seu uso atravessa milênios, sendo amplamente utilizada até a atualidade. Além do imenso acervo de patrimônios edificados com terra em todo o mundo, evidenciando seu potencial e durabilidade, nas últimas décadas a construção com terra tem sido cada vez mais investigada a nível mundial. Essas investigações visam melhorar as técnicas de conservação, mas também suportar a utilização da terra em novas construções. Além disso, outro fato que demonstra a importância que os produtos com terra para a construção têm vindo a ganhar são as normas técnicas que vêm sendo publicadas em diversos países com destaque para a Alemanha (Schroeder, 2018). Desde 2013 o Instituto Alemão para Normalização vem publicando um conjunto abrangente de normas DIN que estimula o uso de bioestabilização em detrimento do uso de aglomerantes químicos irreversíveis como cimento, cal e gesso, cujo processo produtivo e descarte ao fim do ciclo de vida penalizam as vantagens da construção com terra.

Neste tipo de construção, as argamassas de terra são necessárias em várias etapas: produção de adobe e de outras técnicas que utilizam compósitos à base de terra plástica, assentamento de alvenarias, piso e contra piso, reparações, além de emboço e reboco para cobrir e proteger a superfície das paredes. As argamassas de terra são, no mínimo, uma mistura de terra e água podendo conter adição de agregados complementares para controlar a retração e, opcionalmente, de estabilizantes. Especialmente em aplicações em rebocos interiores, as adições não devem comprometer o vantajoso comportamento higroscópico da argila. Assim, a composição das argamassas pode variar de acordo com o tipo de terra utilizada, que é constituída por diferentes tipos e frações de argila, silte e areia, depois da remoção de agregados de maiores dimensões.

Apesar de contribuir significativamente para o bom desempenho da argamassa em termos de trabalhabilidade, resistência mecânica e aderência aos suportes, a argila existente na terra, que constitui o ligante dessas argamassas, é sensível à ação da água (Pachamama *et al.* 2024). Para melhorar o comportamento das construções com terra em relação à ação das chuvas, muitas adições foram historicamente utilizadas nas argamassas de reboco, tais como cal aérea, óleos vegetais, gordura e excremento animal (Mileto e López-Manzanaraes, 2017). Ainda hoje em comunidades rurais no Brasil (Pachamama, 2020) e em diversas outras regiões do mundo (Bamogo *et al.* 2020), o excremento bovino é tradicionalmente utilizado como estabilizante nas argamassas de terra desde a produção do piso e do adobe, até aos rebocos.

Apesar de ainda ser um campo carente de investigação, desde a década de 90 vêm sendo publicados algumas pesquisas sobre os efeitos da adição do excremento bovino na construção com terra. Essas publicações evidenciam que, na proporção correta, a adição desse excremento reduz a retração (Manette *et al.* 2015) e a absorção de água (Santos e Souza, 2018), aumenta a trabalhabilidade, a resistência mecânica e a aderência (Yalley e Dotoyhy, 2013; Pachamama *et al.* 2020) e a durabilidade (Kulshreshtha *et al.* 2022; Pachamama *et al.* 2024).

Millogo *et al.* (2016) e Bamogo *et al.* (2020) esclarecem que o excremento bovino é rico em nitrogênio, fósforo, ácido fosfórico e potássio. Quando adicionado às argamassas de terra argilosa caulinitica, esses componentes reagem com a caulinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) e a sílica (SiO_2) presentes na terra, resultando em amins silicatadas insolúveis ($Si(OH)_4NH_3$). Este composto une os componentes da



mistura, proporcionando resistência à água e dureza. Segundo estes investigadores, as fibras presentes no excremento também limitam a retração das argamassas durante a secagem e reduzem a formação de fissuras, contribuindo para a melhoria do desempenho.

Ao contrário de outros materiais mais padronizados, os solos e as terras deles extraídas são diferentes de uma região para outra, o que se agrava quando se compara terras de continentes e climas diferentes. O mesmo também pode acontecer com o excremento bovino, pois a espécie, o clima e a alimentação das vacas são diferentes. Assim, neste estudo foram formuladas e comparadas argamassas para reboco utilizando uma terra brasileira (clima tropical) já utilizada em estudos anteriores (Pachamama *et al.* 2020) e uma terra portuguesa (clima temperado). Foi comparado o efeito causado pela adição de uma amostra de excremento bovino de Portugal nas argamassas produzidas com ambas as terras. Além disso, como a argamassa produzida com a terra ITA e os efeitos nela causados pela adição de um excremento bovino do Brasil já foram avaliados anteriormente (Pachamama *et al.* 2020), os resultados das argamassas com terra ITA e excremento bovino de Portugal da presente pesquisa também serão comparados com esse estudo anterior para avaliar a influência de excrementos das distintas regiões numa mesma terra tropical. Os rebocos foram avaliados em termos de retração linear por secagem, resistências à flexão, à compressão e à aderência através do ensaio de cisalhamento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

2.1.1 Terras e areia

Para produzir as argamassas de terra para reboco foram utilizadas uma terra do Brasil (extraída de solo de clima tropical) e outra de Portugal (de solo de clima temperado). A terra brasileira (ITA) (Figura 1a) foi coletada na zona rural de Itabirito, região metropolitana de Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais. A terra portuguesa (CAP) (Figura 1b) foi recolhida na região metropolitana de Lisboa, na Caparica. As duas terras foram desagregadas manualmente e em seguida foram peneiradas passando por uma malha com abertura de 2,79 mm. Após secagem ao ar e ao sol, as terras já peneiradas foram levadas ao laboratório para produção das argamassas e corpos de prova.



Figura 1 – Terra ITA (a) e terra CAP (b)

A caracterização física das terras foi determinada pela distribuição do tamanho das partículas, limites de Atterberg e densidade aparente. O tamanho das partículas foi determinado utilizando a EN 1015-1 (1998) e a NBR 7181 (2016) por sedimentação para a fração mais fina. Os limites de liquidez e plasticidade e a umidade higroscópica foram determinados pela NP 143 (1969); a densidade aparente foi determinada com base na EN 1097-3 (1998). Os resultados são apresentados no Quadro 1.

A caracterização mineralógica das terras foi realizada por difração de raios X (DRX), utilizando um difratômetro de raios X Malvern PANalytical, modelo AERIS, com radiação Cu K α filtrada por Ni com 40



kV e 15 mA e velocidade de 0,02 °/s variando de 5 a 66° 2 θ . Os minerais foram identificados combinando as fases cristalinas com o Centro Internacional de Arquivos de Difração de Pó de Dados de Fração (ICDD PDF), e a análise semiquantitativa foi realizada por refinamento de Rietveld.

Quadro 1 – Caracterização granulométrica e limites de Atterberg das terras brasileira ITA e portuguesa CAP

Limites e granulometria	ITA	CAP
Limite de Liquidez (%)	54	33
Índice de Plasticidade (%)	23	5
Argila (<0.002mm)	70	15
Silte (0.002< d <0.06mm)	15	25
Areia (0.06< d < 2mm)	15	60
Umidade higroscópica (%)	14	2.8
Densidade (g/cm ³)	1.06	1.14

A caracterização mineralógica das duas terras utilizadas na produção das argamassas é apresentada no Quadro 2. A terra ITA apresenta predominância de caulinita, seguida de quartzo e goetita; a terra CAP apresenta predominância de quartzo, seguido de feldspatos, moscovita e ilita.

Quadro 2 – Análise semiquantitativa (porcentagem em massa) por DRX das duas terras ITA e CAP

Fases minerais	ITA (%)	CAP (%)
Quartzo - SiO ₂	22.1	51.2
Feldspato (microclina) - KAlSi ₃ O ₈	-	9.7
Feldspato (albita) - NaAlSi ₃ O ₈	-	17.5
Mica (moscovita) - KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	-	9.6
Mica (ilita) - (K,H ₃ O)(Al,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,H ₂ O]	-	8.2
Montmorillonita - (Na,Ca) _{0,3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ .nH ₂ O	-	0.1
Caulinita - Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	62.7	0.7
Goethita - FeO(OH)	15.2	-

Para controlar a retração e fendilhação por secagem das argamassas de terra, foi utilizada uma areia siliciosa (A), composta basicamente por quartzo (SiO₂), lavada, de granulometria média, com diâmetro de grão entre 0,2-0,6 mm, comumente utilizada para produção de argamassas de reboco na região de Lisboa, Portugal. A densidade aparente da areia é de 1,40 g/cm³.

2.1.2 Excremento bovino

O excremento bovino (CD) utilizado foi coletado na zona rural de Moita, um município e pequena cidade da área metropolitana de Lisboa, Portugal. O CD foi produzido por animais alimentados no pasto e por isso continha muitas fibras vegetais. Foi coletado fresco no pasto (no mesmo dia em que foi excretado) e colocado para secar à sombra em recipiente plástico descoberto (Figura 2a), com o intuito de evitar que qualquer componente químico líquido (ou solúvel na água contida no CD) fosse perdido para o solo. Diariamente o CD foi revirado para uniformizar a secagem. Após sete dias o CD ainda estava bastante úmido, apresentava leve odor orgânico e alguns grumos que foram facilmente desagregados ao passar o CD em uma peneira com abertura de 4,8mm com auxílio de leve pressão manual sobre a malha para retirar gravetos e cascalhos indesejados. Em seguida o material foi passado na peneira com abertura de 2,79 mm da mesma forma. Depois de peneirado o material ficou bem homogêneo e com grande quantidade de fibras vegetais visíveis, cujo comprimento não ultrapassa 1 cm (Figura 2b). O CD foi adicionado à mistura de terra e areia (argamassa) no mesmo dia em que foi peneirado e as medidas de densidade e umidade foram determinadas pelos mesmos métodos utilizados na caracterização das terras. A densidade medida foi de 0,40 g/cm² e o teor de umidade de 61%.



Figura 2 – Excremento bovino sendo peneirado após 7 dias secando (a) e após peneiração (b)

Segundo Millogo *et al.* (2016), enquanto o CD seca é liberado calor, água, metano, dióxido de carbono e amônia. Depois de seco, os principais componentes do CD são fibras vegetais (essencialmente compostas por celulose, hemicelulose e lignina), microrganismos e compostos orgânicos de aminas (provenientes da amônia que evaporou). Além disso, há fragmentos de tecidos intestinais, potássio, ácido fosfórico, vestígios de enxofre, cálcio, ferro, magnésio, e também quartzo e argila ingeridos acidentalmente pelo animal junto com o capim de que se alimenta.

2.2 ARGAMASSAS FORMULADAS E CORPOS DE PROVA

Para definir o traço terra:areia das argamassas, foram experimentadas diferentes proporções de areia na produção de argamassas com uso de água necessária para obter espalhamento de 170 mm. Com cada terra foram produzidas argamassas nos traços volumétricos terra:areia 1:0, 1:1, 1:1.5, 1:2 e 1:3, com as quais se rebocou a superfície de tijolos cerâmicos vazados. Após 24 horas observou-se qual traço apresentou menor surgimento de fissuras na superfície do reboco (Figura 3). Para produzir as argamassas com a terra CAP, optou-se pelo traço volumétrico terra:areia 1:1.5. Já com a terra ITA, apesar de o traço 1:3 não ter evitado 100% do surgimento de fissuras, optou-se por usá-lo devido as conclusões obtidas num estudo prévio (Pachamama *et al.* 2020). Nesse estudo foi utilizado o traço 1:4 por conter completamente o surgimento de fissuras. No entanto, foi observado que a maior adição de areia reduziu a resistência mecânica das argamassas e também que a adição de CD reduziu expressivamente a retração das argamassas avaliadas. Portanto optou-se na presente pesquisa por utilizar o traço 1:3, contando com a redução da retração que seria, e foi, causada pela adição de CD.

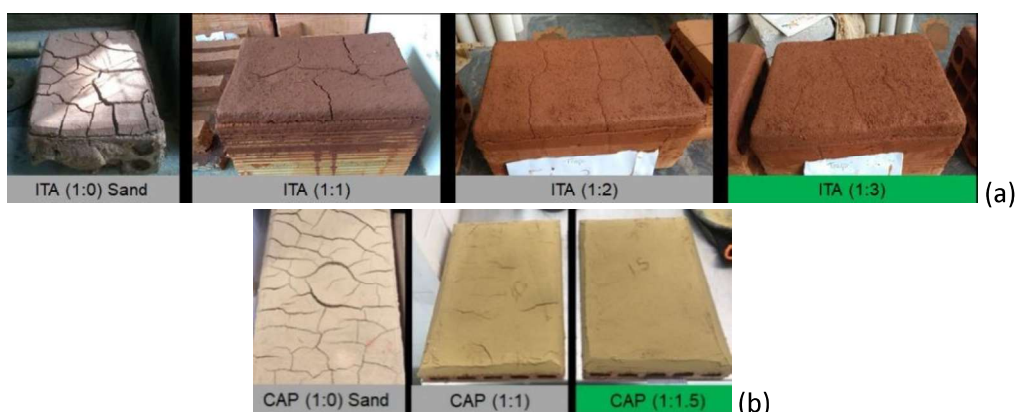


Figura 3 – Ensaio preliminar de retração com a terra ITA (a) e a terra CAP (b). Em verde, as proporções volumétricas de terra:areia dos rebocos que evitaram o surgimento de fissuras.

Para avaliar o efeito do CD, além das argamassas de referência sem adição (0% CD), foram formuladas mais duas argamassas com cada uma das duas terras: uma com adição de 10% e a outra com 20% de CD (em volume dos componentes secos: terra mais areia). Todas as composições das argamassas estão apresentadas no Quadro 3.



Quadro 3 - Composição, relação mássica água/componentes secos necessária para atingir espalhamento de 170 ± 5 mm no ensaio de consistência por espalhamento e densidade fresca das argamassas de terra.

Argamassa e traço volumétrico (terra:areia)	Terra T (% vol.)	Areia A (% vol.)	Adição de CD (% vol. T+A)	Água/componentes secos (T+A+CD)	Densidade fresca (g/cm^3)
CAP REF (1:1,5)	40	60	0	20	1.45
CAP+10CD (1:1,5)	40	60	10	21.5	1.39
CAP+20CD (1:1,5)	40	60	20	23	1.36
ITA REF (1:3)	25	75	0	22	1.85
ITA+10CD (1:3)	25	75	10	24	1.79
ITA+20CD (1:3)	25	75	20	26	1.74

As argamassas foram produzidas em misturador mecânico no laboratório com base nas instruções da norma DIN 18947 (NABau, 2024). A água foi adicionada até a argamassa atingir o espalhamento de 170 ± 5 mm no ensaio de mesa de espalhamento (garantindo uma boa trabalhabilidade). A relação água/componentes secos (em massa) é apresentada no Quadro 3. As argamassas frescas foram caracterizadas pela consistência por espalhamento, de acordo com a EN 1015-3 (CEN, 1999) e na densidade fresca, de acordo com a EN 1015-6 (CEN, 1998c). Conforme exigido pela norma DIN, todas as argamassas frescas apresentaram densidade superior a $1,2 \text{ kg/dm}^3$ (Quadro 3).

Para avaliar as argamassas depois de secas, foram produzidos dois tipos de corpos de prova. O primeiro tipo são os corpos de prova prismáticos com $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$ (Figura 4a), padrão indicado na norma alemã DIN 18947 (2024). Para cada argamassa formulada foram produzidos 3 destes corpos de prova prismáticos em moldes metálicos para os ensaios de retração, resistência a flexão e a compressão. Estes corpos de prova foram produzidos e armazenados em laboratório, com umidade relativa (UR) de $63 \pm 5\%$ e temperatura de $26 \pm 3^\circ\text{C}$. Permaneceram no ambiente laboratorial desde a sua produção até a realização dos ensaios, aos 30 dias de idade. Todos os corpos de prova foram ensaiados após atingirem massa constante.

O segundo tipo de corpo de prova foi constituído por argamassa aplicada como reboco em paredes experimentais no exterior, coberto, do laboratório para ensaio de aderência por cisalhamento, baseado em Hamard *et al.* (2013). As pequenas aplicações de reboco tinham superfície de $5 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ e 2 cm de espessura. Antes das aplicações na parede, as superfícies foram umedecidas por pulverização de água. Foram produzidos seis corpos de prova de reboco para cada argamassa formulada, sendo três em parede de alvenaria de tijolo cerâmico vazado, assentados com argamassa de cimento, e três em parede de alvenaria de adobe, assentados com argamassa de terra (Figura 4).

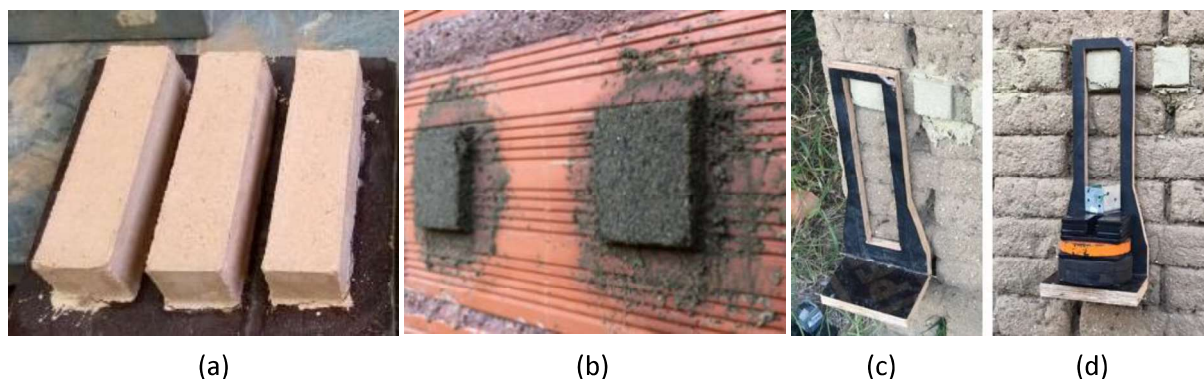


Figura 4 – Corpos de prova prismáticos (a), corpos de prova de reboco aplicado em alvenaria de tijolo cerâmico vazado (b) e em adobe (c), sendo testados com dispositivo artesanal com a adição de massas (d).



2.3 ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Os ensaios foram realizados utilizando as normas europeias recomendadas pela DIN 18947 (2024). Para a retração linear por secagem foram utilizados três corpos de prova prismáticos e, conforme a norma DIN, a retração ocorrida durante a secagem foi avaliada em percentagem pela diferença entre as dimensões do corpo de prova desmoldado e do molde metálico.

Para resistência à flexão e compressão foram utilizados os mesmos três corpos de prova prismáticos, seguindo a norma EN 1015-11 (2019). O ensaio de flexão foi realizado primeiro, rompendo 3 corpos de prova por argamassa avaliada. Em seguida, com as 6 metades obtidas, foi realizado o ensaio de compressão axial. Para o ensaio de flexão, uma célula de carga de 2 kN foi acoplada e configurada a uma velocidade constante de 0,2 mm/min em aplicação de carga vertical. Para o ensaio de compressão, a célula de carga de 2 kN foi mantida e a velocidade foi ajustada em 0,7 mm/min.

Para a resistência adesiva por cisalhamento de cada argamassa avaliada, foram ensaiados três corpos de prova de reboco aplicado sobre paredes de adobe e três sobre paredes de alvenaria de tijolo cerâmico vazado, utilizando o método definido por Hamard *et al.* (2013) e um dispositivo artesanal de madeira para suportar o aumento progressivo de massa de 250 g. A resistência ao cisalhamento adesivo (em N/mm²) foi definida pela massa máxima suportada (em g) multiplicada pela aceleração gravitacional ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) e dividida pela área de contato entre o reboco e a parede (em mm²).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RETRAÇÃO LINEAR POR SECAGEM

A Figura 5 mostra que as argamassas com terra portuguesa apresentam retração menor que as argamassas com terra brasileira. Isto é interessante e possivelmente se justifica pela composição final das argamassas (terra + areia) mas principalmente pelo teor de argila da terra utilizada. Enquanto as argamassas produzidas com CAP (1:1,5) apresentam aproximadamente 6% de argila em sua composição, as argamassas produzidas com ITA (1:3) possuem o dobro de areia adicionada (3 volumes) mas ainda assim apresentam 18% argila em sua composição, o que causa mais retração.

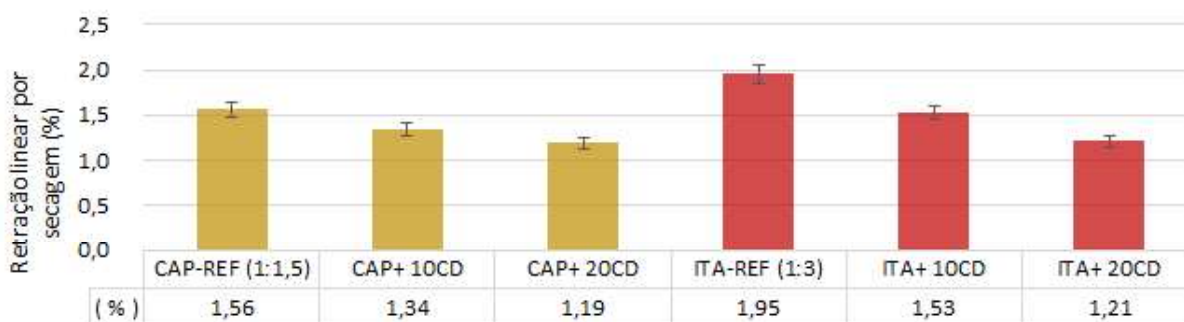


Figura 5 – Retração linear por secagem das argamassas avaliadas: média e desvio padrão.

Nas argamassas produzidas com as duas terras, a adição de CD reduziu a retração linear, sendo a redução proporcional à adição. Isto é provavelmente justificado pelo elevado teor de fibras do CD adicionado às argamassas. Além disso todas as argamassas cumprem a norma DIN 18947 (2024), apresentando índices de retração inferiores a 2%, limite máximo da norma.

Outros autores também registraram redução da retração com adição de CD; Bamogo *et al.* (2020) quando adicionou 0 a 6% em massa de CD em rebocos de terra e Millogo *et al.* (2016) ao adicionar 0 a



3% em massa de CD na produção de adobe. Ambos utilizaram CD em pó seco e observaram a redução da retração mesmo com as fibras trituradas. Os autores atribuíram este facto às aminas de silicato, composto formado a partir da reação entre os componentes presentes no CD e as pequenas partículas soltas na terra, aglomerando-as e conferindo coesão e resistência.

3.2 RESISTÊNCIAS À FLEXÃO, COMPRESSÃO E ADERÊNCIA

Quanto aos resultados dos ensaios de resistência à flexão e à compressão (Figura 6), as argamassas com a terra tropical ITA apresentaram valores menores em comparação às de clima temperado. Isto pode estar relacionado à quantidade de areia que foi adicionada nesta argamassa: o dobro do que em CAP-REF. No entanto, ao observar os resultados da retração linear por secagem, na figura anterior (Figura 5) constata-se que a adição de CD reduz significativamente a retração das argamassas produzidas com a terra ITA. Neste sentido, para melhorar o desempenho ambiental e aumentar a resistência de argamassas produzidas com a terra ITA, a dosagem destas poderia ser otimizada, reformulado o traço terra:areia, reduzindo para 1:2 ou mesmo 1:1,5 (como as argamassas produzidas com terra CAP) e adicionando CD para reduzir sua retração.

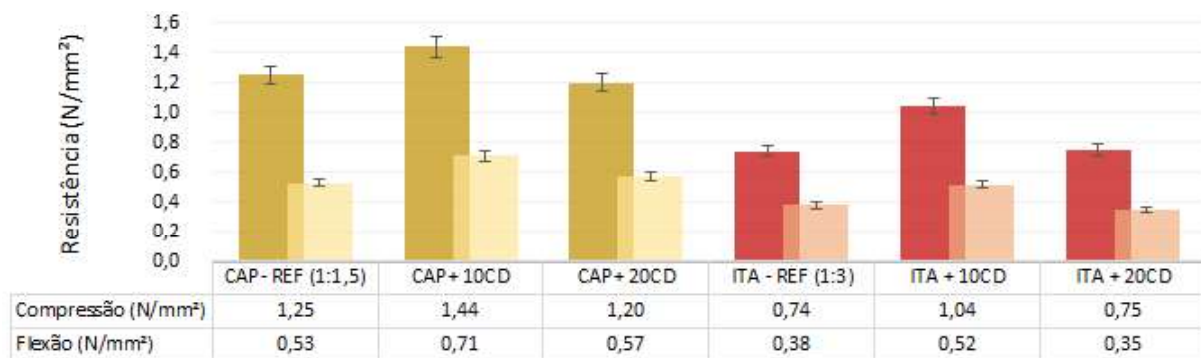


Figura 6 – Resistências à compressão e flexão das argamassas avaliadas: média e desvio padrão.

Lima *et al.* (2020) avaliaram as propriedades mecânicas de argamassas de terra produzidas com 3 diferentes terras que apresentaram predominância de 3 diferentes tipos de argila em sua composição. Em todas as argamassas produzidas foram adicionadas 3 proporções volumétricas de areia. Os rebocos de terra íltica apresentaram maior resistência à compressão e flexão (0,88 N/mm² e 0,25 N/mm² respectivamente) que os rebocos de terra caulinitica (0,45 N/mm² e 0,18 N/mm² respectivamente). Isso pode justificar as argamassas com argila Ilita (presente em CAP) oferecerem maior resistência mecânica que as argamassas de terra com argila caulinita (presente em ITA).

Outra razão para as diferenças entre os resultados de ITA e CAP pode ser a origem geográfica e o clima. Existem muitos componentes e variedades microminerais que podem influenciar o comportamento das argamassas em relação à resistência à flexão e à compressão. Como ainda existem poucas pesquisas avaliando as propriedades físicas e mecânicas de argamassas de terra com terras tropicais, torna-se difícil determinar de forma precisa que diferenças específica entre as argamassas de terra produzidas com terras tropicais e temperadas ocorrem, e neste sentido, identificar quais são os agentes responsáveis pelos diferentes comportamentos.

Walter *et al.* (2022) testaram a resistência à flexão e à compressão de corpos de prova prismáticos de argamassas de terra sem adição de areia, produzidas com 14 diferentes terras tropicais da Guiana Francesa e encontraram resistências à compressão de 0,21 N/mm² a 2,53 N/mm² e resistências à flexão de 0,3 N/mm² a 0,8 N/mm². Isso mostra a grande variação existente apenas entre as terras tropicais de uma pequena região tropical. Após realizar a caracterização química das terras, os investigadores



observaram que a resistência mecânica das argamassas com as terras tropicais avaliadas tem correlação direta com a presença de óxidos de ferro e de alumínio na terra. No presente estudo, a terra tropical ITA possui presença expressiva de óxidos de ferro, mas quando comparada com a terra CAP de clima temperado, a resistência mecânica é inferior àquelas temperadas. Portanto, há uma combinação de fatores que contribuem para gerar os diferentes comportamentos entre essas argamassas de terra, como a composição química e mineralógica das terras, distribuição granulométrica e tipo de argila.

Em relação aos efeitos da adição de CD, a Figura 6 evidencia o aumento proporcionado na resistência em comparação às argamassas de referência, sendo a proporção de 10% mais eficiente que a de 20%. Apesar disso, na argamassa produzida com a terra CAP, mesmo a adição de 20% de CD proporciona resistência acima dos parâmetros determinados pela norma DIN 18947 (2024), que estipula que a resistência à flexão deve ser superior a $0,3 \text{ N/mm}^2$ e à compressão deve ser superior a 1 N/mm^2 , valor superior ao mínimo de argamassas para reboco segundo a norma EN 998-1 (2016): $0,4 \text{ N/mm}^2$.

Em argamassas de terra produzidas com a mesma terra ITA mas na proporção volumétrica terra:areia de 1:4, Pachamama *et al.* (2020) também observaram o aumento da resistência à flexão e à compressão com 10% e 20% com adição de CD do Brasil. A argamassa de referência sem adição de CD apresentou resistência à flexão de $0,3 \text{ N/mm}^2$ e resistência à compressão de $0,6 \text{ N/mm}^2$. A adição de 10% de CD aumentou em 50% ambas as propriedades e a adição de 20% de CD diminuiu 10% a resistência. Na presente pesquisa os valores foram maiores, mas isso se justifica pela menor adição de areia (1:3) e, logo, um maior teor de argila presente na mistura. No presente estudo, a adição de 10% CD também aumentou em 50% as resistências à flexão e compressão da argamassa de terra ITA, e a adição de 20% CD não alterou significativamente a resistência da argamassa em comparação à de referência.

Millogo *et al.* (2016) também registraram o aumento da resistência mecânica ao adicionar até 3% em massa de CD em adobe. O aumento na resistência à compressão dos adobes foi proporcional ao aumento no teor de pó de CD adicionado, tendo seu melhor desempenho na adição de 3%: $2,8 \text{ N/mm}^2$. Em outro estudo, Bamogo *et al.* (2020) ao avaliar a adição de até 6% em peso de CD em rebocos de terra, evidenciaram que a proporção de 6% foi a mais eficiente. Registrou-se aumento da resistência à flexão para $0,7 \text{ N/mm}^2$ e da resistência à compressão para $2,4 \text{ N/mm}^2$. Os pesquisadores atribuíram esse fato à formação do novo composto (amina de silicato) resultante da interação entre o CD e a terra. Segundo os autores, a formação deste composto aglutina partículas isoladas de terra e proporciona mais dureza e resistência.

Já em relação aos resultados para resistência de aderência ao cisalhamento (Figura 7), a diferença entre as argamassas produzidas com a terra CAP e com a terra ITA não é tão significativa, mas nota-se que os resultados na alvenaria de adobe são sempre superiores aos da alvenaria de tijolo cerâmico. Embora o ensaio tenha sido realizado utilizando um método diferente do definido na norma DIN 18947 (2024), todas as argamassas apresentaram resultado superior a $0,05 \text{ N/mm}^2$, conforme os parâmetros da norma.

A proporção de 10% CD aumentou em 100% a aderência dos rebocos com as duas terras na alvenaria de tijolo cerâmico e na de adobe aumentou em mais de 50%. Já a adição de 20% de CD também aumentou a aderência em relação às argamassas de referência, mas de forma menos expressiva. Este efeito da adição do excremento bovino possivelmente também se deve à formação da amina de silicato. Segundo Bamogo *et al.* (2020), devido aos pares de elétrons livres nos átomos de oxigênio e especialmente nos átomos de nitrogênio, as aminas de silicato se comportam como um adesivo. Parece que este caráter adesivo da molécula pode melhorar a aderência dos rebocos com terra.

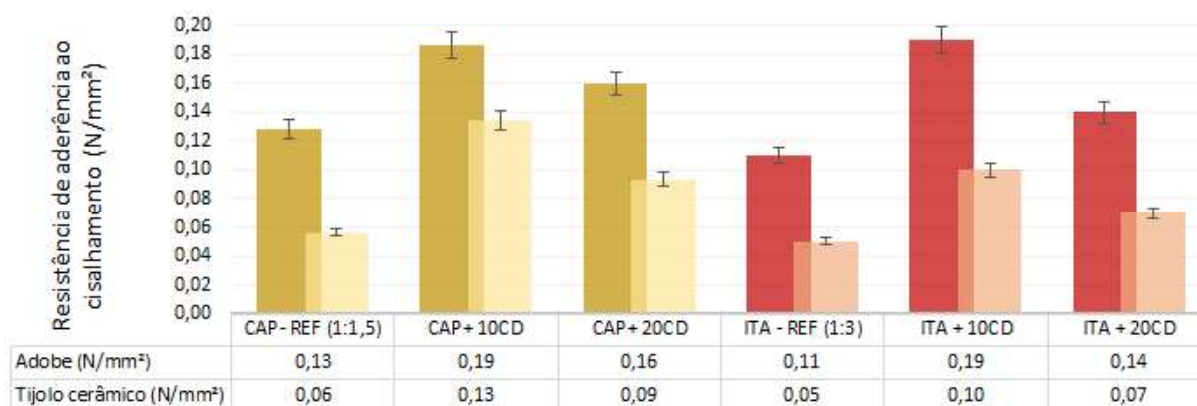


Figura 7 – Tensão de aderência ao cisalhamento das argamassas avaliadas: média e desvio padrão.

Pachamama *et al.* (2020), ao testar a aderência de rebocos de terra ITA com adição de CD, mas com adição de areia na proporção volumétrica de 4 em vez de 3 como no presente estudo, e utilizando um CD diferente (do Brasil) e mais seco do que no presente estudo obteve resistência a aderência no adobe de 0,10 N/mm² para a argamassa de referência, 0,17 N/mm² para argamassa com adição de 10% de CD e 0,12 N/mm² para argamassa com adição de 20% de CD. No presente estudo os resultados em alvenaria de adobe foram um pouco superiores e isto provavelmente se justifica pelo maior teor de argila (menos areia) nas argamassas, pela superfície mais rugosa do adobe e também pelo diferente método de ensaio. Em Pachamama *et al.* (2020) foi utilizado o método padrão de ensaio pull-off, enquanto no presente estudo foi utilizado o ensaio de resistência ao cisalhamento adesivo, de acordo com Hammard *et al.* (2013). Este método de ensaio foi escolhido por ser considerado mais adaptado e apropriado para ensaiar rebocos com terra, pois reduz falhas na preparação de amostras de adesão.

O método de ensaio de Hammard *et al.* (2013) é menos agressivo para a superfície de contato entre o reboco e o suporte, e foi desenvolvido para avaliação de rebocos produzidos e aplicados *in situ* em edifícios antigos para proteger paredes de taipa na França. Com este método, os investigadores encontraram resultados entre 0,018 e 0,047 N/mm² para resistência a aderência dos rebocos com terra avaliados. Usando este mesmo método, Lima *et al.* (2020) também avaliaram a resistência de aderência de rebocos produzidos com terras ílticas e caulínicas na relação volumétrica 1:3 terra:areia. Os rebocos foram aplicados sobre tijolos cerâmicos e obtiveram resistência de 0,07 e 0,04 N/mm², respectivamente. Assim como os resultados de resistência a compressão e flexão realizados por estes investigadores, os resultados deste ensaio também são semelhantes à resistência adesiva obtida em tijolos cerâmicos pelas argamassas de referência avaliadas na presente pesquisa, que também foram produzidas com terra caulínica (ITA) e terra íltica (CAP).

4 CONCLUSÕES

Na presente pesquisa, argamassas produzidas com uma terra tropical brasileira (ITA) foram comparadas com argamassas produzidas com uma terra portuguesa de clima temperado mediterrâneo (CAP) para investigar alterações entre argamassas de reboco de referência e também os efeitos de duas diferentes porcentagens de adição de excremento bovino.

Para a retração linear por secagem, a proporção de 20% (em massa dos constituintes secos - terra e areia adicional) de excremento bovino foi mais eficiente para evitar o surgimento de fissuras. Já para a resistência à flexão, compressão e aderência a proporção de 10% de excremento bovino foi mais eficiente que 20%. Como a adição de 20% também aumenta as propriedades das argamassas com ITA e CAP, não é problema utilizar esta proporção maior quando a terra utilizada para produzir as



argamassas for mais expansiva, possibilitando reduzir a adição de areia para conter a retração. Segundo a literatura, a otimização das argamassas de terra através da adição de excremento bovino é justificada pelas amins de silicato formadas e pelos ácidos graxos contidos no excremento, que melhoram o desempenho mecânico ao aglutinar as partículas de terra e a aderência do reboco ao suporte.

Uma conclusão importante do presente estudo é quanto às argamassas de terra produzidas com a terra brasileira ITA. No outro estudo prévio dos autores citado ao longo de todo o artigo, foram avaliados os efeitos causados pela adição de um excremento bovino do Brasil em argamassas de terra produzidas com a mesma terra tropical ITA utilizada na presente pesquisa, porém no traço volumétrico terra:areia 1:4. Os resultados do referido estudo prévio evidenciaram aumento da resistência mecânica e aderência ao suporte, além de redução da retração. Comparando com os resultados do presente estudo, onde a terra ITA também foi utilizada na produção de argamassas de terra, porém com traço volumétrico 1:3 e com a adição de um excremento bovino de outra espécie, de outro continente e oriundo de outra realidade geográfica e climática, também teve os mesmos efeitos positivos.

Com os presentes resultados, e também validados pela literatura, este efeito positivo da adição de excremento bovino parece ser válido para argamassas de terra tanto de clima tropical como temperado. A terra tropical apresenta características diferentes e, portanto, desempenho diferente em relação à terra de clima temperado. Além disso, as terras tropicais não são tão profundamente investigadas para produção de rebocos com terra em comparação com as terras europeias. Portanto, é importante que sejam realizadas mais pesquisas sobre argamassas produzidas com terras tropicais para gerar valores adequados à realidade das terras de países tropicais, afim de compor os parâmetros de avaliação em normas técnicas nacionais para argamassas e rebocos de terra nestes países.

Agradecimentos: Os autores agradecem o financiamento ao CNPq, Brasil (201060/2022-1), à FCT, Portugal, pelo financiamento ao CERIS (UIDB/04625/2020, DOI: 10.54499/UIDB/04625/2020, e à EU pelo projeto Erasmus+ BIO-FIBRE (2022-1-DK01-KA220-HED-000086641).

REFERÊNCIAS

- Bamogo, H., Ouedraogo, M., Sanou, I., Ouedraogo, K.A.J., Dao, K., Aubert, J.-E., Millogo, Y. (2020). Improvement of water re-sistance and thermal comfort of earth renders by cow dung: an ancestral practice of Burkina Faso. *Journal of Cultural Heritage*, 46:42-51. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.04.009>
- DIN 18947 (2024). Earth plasters – Terms and definitions, requirements, test methods (in German). NABau - Normenausschuss Bauwesen, Berlin.
- EN 998-1 (2016). Specification for mortar for masonry - Part 1: Rendering and plastering mortar. CEN - European Committee for Standardization, Brussels.
- EN 1015-1 (1998). Methods of test for mortar for masonry - Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis). CEN, Brussels.
- EN 1015-3 (1999). Methods of test for mortar for masonry. Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). CEN, Brussels.
- EN 1015-6 (1998). Methods of test for mortar for masonry. Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar. CEN, Brussels.



- EN 1015-11 (2019). Methods of test for mortar for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. CEN, Brussels.
- EN 1097-3 (1998). Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 3: Determination of loose bulk density and voids. CEN, Brussels.
- Hamard, E., Morel, J.-C., Salgado, F., Marcom, A., Meunier, N. (2013). A procedure to assess the suitability of plaster to protect vernacular earthen architecture. *Journal of Cultural Heritage*, 14(2):109-115. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.04.005>
- Kulshreshtha, Y., Vardon, P.J., Meesters, G.M.H., Van Loosdrecht, M.C.M., Mota, N., Jonkers, H.M. (2022). What makes cow-dung stabilized earthen block water-resistant? *Construction Technologies and Architecture*, 1:540-548. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/CTA.1.540>
- Lima, J., Faria, P., Santos Silva, A. (2020). Earth plasters: The influence of clay mineralogy in the plasters' properties. *International Journal of Architectural Heritage*, 14(7):948-963. <https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1727064>
- Manette N., Oyawa, W., Nyomboi, T. (2015). Potential of quarry dust and cow dung as stabilizers for black cotton soil eco-blocks for housing. *Civil and Environmental Research*, 7(8):117-124.
- Mileto, C., López-Manzanaraes, F.V. (2017). The COREMANS Project. Intervention Criteria for Earthen Architecture. Ministerio de Educación, Cultura Y Deporte, Madrid.
- Millogo, Y., Aubert, J.-E., Séré, A.D., Fabbri, A., Morel, J.-C. (2016). Earth blocks stabilized by cow-dung. *Materials and Structures*, 49(11):4583-4594. <https://doi.org/10.1617/s11527-016-0808-6>
- NBR 7181 (2016). Solo – Análise granulométrica. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- NP 143 (1969). Limites de consistência. IGPAI - Inspeção Geral dos Produtos Agrícolas e Industriais, Lisboa.
- Pachamama, R.N., Rezende, M.A.P., Faria, P. (2020). Eco-efficient earth plasters: effect of cow dung and air lime on a kaolinitic clayish earth. *International Journal of Development Research*, 10(08):39323-39328. <https://doi.org/10.37118/ijdr.19774.08.2020>
- Pachamama, R.N., Faria, P., Rezende, M.A.P., Santos Silva, A. (2024). Effect of cow dung additions on tropical and mediterranean earth mortars - Mechanical performance and water resistance. *Materials*, 17:2885. <https://doi.org/10.3390/ma17122885>
- Santos, D.P., Sousa, J.G.G. (2018). Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de adobes com incorporação de adições naturais. 7º Congresso Brasileiro de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil, Rio de Janeiro, Brazil, 102-113.
- Schroeder, H. (2018) The New DIN Standards in Earth Building—The Current Situation in Germany. *Journal of Civil Engineering and Architecture*. 12:113-120. doi: 10.17265/1934-7359/2018.02.005
- Walter, L., Medjigbodo, G., Claudot, L., Nait-Rabah, O., Linguet, L. (2022). Influence of metal oxides and particle size on earthen mortar built with tropical soils. *Academic Journal of Civil Engineering*, 40:1–10. <https://doi.org/10.26168/ajce.40.2.34>
- Yalley, P.P.-K., Manu, D. (2013). Strength and durability properties of cow dung stabilized earth brick. *Civil and Environmental Research*, 3(13):117-125.