

EFEITOS DA ADIÇÃO DE EXCREMENTO BOVINO EM ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM TERRAS DO BRASIL E DE PORTUGAL – RESISTÊNCIA À ÁGUA

Raphael N. Pachamama¹, Paulina Faria², Marco A. P. Rezende³, Antônio Santos Silva⁴

PPG-ACPS, Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, 31270-901, Brasil;
¹raphael.n.pachamama@gmail.com, ³marco.penido.rezende@hotmail.com

²CERIS, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, 2829-516, Portugal; paulina.faria@fct.unl.pt

⁴Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1700-066, Lisboa, Portugal; ssilva@Inec.pt

Palavras-chave: construção com argila, reboco de terra, DIN 18947, bioestabilização, esterco de vaca

Resumo

Embora o excremento bovino (EB) seja um material utilizado há milênios pela humanidade na arquitetura vernácula, este estabilizante tem sido pouco investigado cientificamente. Neste estudo foi avaliado o efeito da adição de EB em argamassas de terra (terra + areia) produzidas com uma terra do Brasil (ITA) e duas terras de Portugal (CAP e MON). Para avaliar os efeitos da adição do EB, com cada uma das três terras foram produzidas e testadas argamassas: sendo uma de referência (0% EB), e mais duas com adição de EB nas seguintes proporções volumétricas 10% e 20% do volume total de terra + areia adicionada. Os ensaios de densidade e a produção dos corpos de prova foram realizados de acordo com a norma alemã DIN 18947, específica para avaliação de argamassas de terra para reboco sem adição de estabilizantes químicos. Para avaliação da durabilidade e resistência à água foi realizado o ensaio de imersão em água. O comportamento dos corpos de prova foi fotografado ao imergi-los e depois de 1, 2, 5, 10, 15 e 30 minutos imersos, e até aos 14 dias. A avaliação da integridade dos corpos de prova possibilitou analisar o efeito da adição do EB na argamassa de terra tropical e nas duas com terras ibéricas. As argamassas sem EB se desintegraram rapidamente nos primeiros 3 minutos. A adição de EB aumentou visivelmente a durabilidade dos corpos de prova produzidos com todas as terras avaliadas, sendo a adição de 20% EB mais eficiente em relação à de 10% EB. Vale destacar que a argamassa produzida com a terra MON e adição de 20% EB manteve sua forma intacta por 14 dias, quando as últimas observações foram realizadas. Assim, o EB demonstrou o seu potencial para argamassas e rebocos de terra com as terras tropical e ibéricas testadas, justificando ser mais investigado como um bioestabilizante eficiente.

1 INTRODUÇÃO

A terra é um material marcante na arquitetura popular brasileira, portuguesa e de muitos outros países. Atualmente, além de encontrar estes saberes ainda muito vivos em comunidades tradicionais e rurais, é possível encontrar uma grande variedade de estudos sobre técnicas, métodos e materiais da construção com terra. Nas últimas décadas nota-se um aumento no interesse por investigações sobre a terra como material construtivo a nível mundial, tanto para aprimorar técnicas de conservação de patrimônio arquitetônico, como para desenvolver conhecimento para apoiar a utilização da terra em novas construções, principalmente devido a preocupações ambientais (Zhang et al., 2024).

Na construção com terra, as argamassas de terra são essenciais para muitas etapas, como para produzir adobes, assentar adobes e blocos de terra comprimida, tratar juntas de alvenarias, no enchimento do pau a pique, nos pisos com terra e na produção de revestimentos (rebocos) para cobrir a superfície das paredes e tetos e protegê-los dos impactos mecânicos e da ação da água. Por tanto, pesquisas que visam entender e aprimorar a construção com terra são muito importantes para garantir durabilidade, qualidade, ampliar aceitação pela população e auxiliar no processo de normalização e financiamento

governamental de construções com terra e outros materiais responsáveis ambiental e socialmente.

As argamassas de terra, são basicamente uma mistura de terra e água, podendo ser misturadas terras diferentes ou acrescida areia e fibras naturais quando necessário, principalmente para conter a retração e fissuração quando as terras são muito argilosas. Estas adições têm essencialmente um efeito físico. Além destes componentes básicos, também podem ser adicionados estabilizantes com o objetivo de melhorar algumas propriedades das argamassas, principalmente a resistência a água, uma vez que é o principal condicionante para algumas das aplicações destas argamassas que têm a argila como único ligante de base.

Para além de agregados mais grossos que são removidos por peneiração antes da aplicação em argamassas, a terra é naturalmente composta por diferentes frações e tipos de argila, silte e areia. Nas argamassas, a areia contribui na formação da estrutura, o silte atua essencialmente como filler e a argila é um aglomerante reversível e atua como aglutinante na mistura. Os argilominerais disponíveis na natureza possuem diferentes origens minerais e apresentam diferentes comportamentos quando utilizados na produção de argamassas de terra, sendo alguns dos tipos de argila mais comuns a caulinita, illita e montmorilonita (Lima et al., 2020).

Apesar de contribuir para as argamassas apresentarem bom desempenho em termos de trabalhabilidade, resistência mecânica e aderência ao suporte, a argila é sensível à ação da água (Lima et al., 2020). Portanto, quando é necessário melhorar o comportamento das construções com terra em relação à ação da chuva, historicamente foram utilizados diferentes tipos de adições como a cal aérea, cinzas de madeira, mucilagens de plantas, óleos vegetais, gordura e excrementos de animais, como urina e fezes de ruminantes e equinos.

No entanto, segundo Mileto e López-Manzanaraes (2017), para otimizar as propriedades dos elementos construtivos com terra, como a higroscopicidade e a contribuição para o conforto higrotérmico, as argamassas para reboco interno devem ser produzidas à base de terra argilosa e areia, com possibilidade de adição de materiais estabilizantes em baixas proporções, mas priorizando aqueles com maior compatibilidade química (testada) com os componentes da terra argilosa e que não reduzam significativamente a referida higroscopicidade. Além disso, devem evitar-se as adições que possam impedir a reversibilidade da terra, ou seja, ao final de seu ciclo de vida, os elementos com terra devem poder ser reutilizados na produção de novos elementos. Finalmente, os materiais utilizados como estabilizantes devem ter baixa energia incorporada, para manter baixo o impacto ambiental das argamassas de terra. Por isso é importante testar todo e qualquer material a ser usado como adição estabilizante, para assegurar que não sejam alterados estes desempenhos positivos.

A Alemanha exemplifica bem a importância que os produtos de terra para construção têm ganhado na atualidade. Desde 2013 o Instituto Alemão para Normalização (DIN) tem redigido e publicado um conjunto de normas técnicas específicas para a construção com terra. Recentemente, as normas DIN para construção com terra foram revistas, e alguns ajustes foram feitos. Especificamente na norma DIN 18947 (2024) para argamassas de terra para reboco não estabilizadas com aglomerantes, já era permitida a adição de fibras naturais (animal e vegetal), mas foi incluída ainda a possibilidade de utilizar agregados reciclados (desde que não haja contaminantes prejudiciais à saúde) e efetuar o reforço dos rebocos com aditivos adesivos à base de argila e celulose. O uso de aglomerantes quimicamente ativos e irreversíveis, como cal, gesso ou cimento, permanece excluída da norma alemã para rebocos de terra e para outros elementos da construção com terra (ZRS, 2024).

Como uma alternativa natural, econômica e ecoeficiente à adição destes aglomerantes ativos como estabilizante na construção com terra, no Brasil e em diversas outras regiões ao redor do mundo (Bamogo et al. 2020), o excremento bovino é um resíduo que tradicionalmente é usado na arquitetura vernácula. Até hoje suas aplicações e benefícios são praticados e

reconhecidos na cultura popular oral em comunidades tradicionais brasileiras (Pachamama et al., 2020b) e também em outros países.

O uso do excremento de bovinos (assim como de outros ruminantes e equinos) é amplamente conhecido e estudado como fertilizante na agricultura. Nesta aplicação, ele é utilizado depois de curtido e em avançado estado de decomposição, sendo denominado e conhecido popularmente por esterco de vaca. À medida que as preocupações ambientais e a agricultura orgânica começaram a ganhar mais destaque nos últimos anos, também surgiram algumas preocupações sobre as bactérias presentes no excremento bovino, pois este é um dos materiais naturais que podem ser utilizados na fertilização orgânica. No entanto, amostras investigadas evidenciam atividade antimicrobiana contra patógenos por outras bactérias presentes no próprio excremento bovino (Munshi et al., 2018).

Além do uso do excremento bovino na agricultura e como biomassa combustível para substituir lenha e para produção de energia (Gupta et al., 2016), outras novas aplicações são testadas, como o uso das fibras do excremento para compósitos de fricção reforçada (Ma et al., 2019), o uso da adição de cinzas produzidas a partir da incineração do excremento em argamassas de cimento e concreto para substituir as cinzas volantes (Worku et al., 2023) (Kumar et al., 2015) e também o uso da adição do excremento *in natura* em elementos da construção com terra como adobe, blocos e argamassas para pisos e rebocos.

Apesar de ainda ser um campo carente de investigação, desde a década de 1990 é possível encontrar alguns trabalhos publicados sobre os efeitos da adição de excremento bovino na construção de terra, com destaque para países asiáticos e africanos. Essas publicações mostram que, na proporção correta, a incorporação desse excremento reduz a retração e a absorção de água, enquanto aumenta a resistência mecânica, aderência à alvenaria, trabalhabilidade, durabilidade e resistência à água (Pachamama et al., 2020a; Manette et al., 2015; Santos e Souza, 2018; Yalley and Dorothy, 2013; Kulshreshta et al., 2022).

Para comparar os benefícios e propriedades do excremento bovino com uma adição estabilizante usual e popular na construção com terra, em dois estudos anteriores, Pachamama et al. (2020a) e Pachamama et al. (2024a), investigaram e compararam os efeitos do excremento bovino e de cal aérea hidratada (do tipo CH-I) em argamassas de terra produzidas com duas terras tropicais brasileiras (sendo KCE uma terra argilosa e SSE uma terra areno siltosa) com predominância de argila caulinita. O excremento bovino foi recolhido no pasto, seco ao ar (à sombra) e revirado diariamente para arejar e arrefecer durante 18 dias. A areia adicionada foi a mínima considerada necessária para controlar a retração em cada uma das argamassas. Para produzir as argamassas foi usado o traço volumétrico terra:areia 1:4 para a terra KCE, e 1:1 para a terra SSE. Para avaliar os efeitos das adições, foram produzidas argamassas de referência (0% de adição de excremento e cal) e mais quatro argamassas com adição de 10% e 20% de excremento, 5% da cal, e com a adição combinada de 10% excremento mais 5% da cal. Os resultados mostraram que a adição de excremento reduziu a retração e proporcionou maior aderência e resistência mecânica em comparação aos da adição de cal. O reboco com ambas as adições misturadas apresentou resultados superiores que o reboco somente com cal, mas inferiores aos rebocos somente com excremento.

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 caulinita estudada, esses componentes reagem com a caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e o quartzo fino (SiO_2) presentes na terra argilosa, resultando em aminas silicatadas insolúveis ($\text{Si}(\text{OH})_4\text{NH}_3$). Este composto une os componentes da mistura, proporcionando resistência à água, dureza e resistência mecânica. Segundo estes autores, as fibras presentes no excremento também limitam a retração das argamassas durante a secagem e reduzem a formação de fissuras na superfície do reboco, contribuindo para a unidade da argamassa e o aumento do desempenho mecânico.

Kulshreshtha et al. (2022) evidenciaram que a adição de excremento bovino na argamassa de terra para tijolos compactados proporciona higrofbocidade, ou seja, repele a água na superfície do tijolo. Segundo os pesquisadores, esse efeito é atribuído à presença de microrganismos, ácidos graxos, bactérias e outros produtos oriundos do processo de digestão do animal, que reagem com as micropartículas minerais presentes na terra. Os resultados estão em concordância com as conclusões de Millogo et al. (2016) e Bamogo et al. (2020), mas usando explicações diferentes e complementares.

Embora estes dois estudos apresentem as explicações mais completas até o momento para os efeitos causados pela adição do excremento bovino, ainda existem muitas dúvidas quanto aos mecanismos de reação entre a terra e este tipo de adição, e principalmente se os efeitos se mantêm com diferentes tipos de terras e de excremento. Portanto, é importante continuar investigando os efeitos do excremento como bioestabilizante em produtos da construção com terra, produzidos com terras de diferentes composições químicas e mineralógicas, para descobrir como os benefícios desta adição podem ser otimizados.

2 OBJETIVO E METODOLOGIA

Ao contrário de outros materiais padronizados, as terras utilizadas como material de construção são distintas de uma região para outra, mesmo num país pequeno como Portugal, quanto mais num tão grande como o Brasil. Entre continentes, as diferenças ainda podem ser mais expressivas, pois os solos tropicais e os solos mediterrâneos (clima temperado) apresentam diferente composição e origem geomorfológica. Por esta razão, o objetivo do presente estudo é testar e comparar argamassas de terra produzidas com terras diferentes (tropical e ibérica) e verificar os efeitos da adição de excremento bovino em relação à resistência ao contato com água nas argamassas produzidas com as três terras avaliadas.

Para alcançar estes objetivos, foi formulada uma argamassa para reboco sem adição de excremento (como referência) com a terra brasileira e com as duas terras portuguesas de diferente origem. Além disso também foram formuladas mais duas argamassas (com cada terra) com a adição do mesmo excremento bovino nas mesmas percentagens (10% e 20%). Nas argamassas, adicionou-se a areia necessária para controlar a retração. As propriedades das duas argamassas de Portugal foram comparadas entre si e com a argamassa de terra do Brasil. Também foram comparados os efeitos da adição de excremento bovino nas três argamassas.

3 MATERIAIS

3.1 Terras

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 CAP (figura 1b) foi coletada na região metropolitana de Lisboa, na Caparica, e a terra MON (figura 1c) foi coletada na zona rural de Monsaraz, região do Alentejo, ambas em Portugal. As três amostras de terra foram desagregadas manualmente e peneiradas passando por uma malha com abertura de 2,79 mm.



Figura 1. Aspeto das amostras de terra peneiradas: (a) ITA; (b) MON; (c) CAP

A distribuição granulométrica das partículas foi determinada utilizando a EN 1015-1 (1998) e a NBR 7181 (2016a) por sedimentação para a fração mais fina. Os limites de liquidez e plasticidade e a umidade higroscópica foram determinados pelas NBR 7180 (2016) e NBR 6459 (2017). A densidade aparente foi determinada com base na EN 1097-3 (1998). Os resultados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Distribuição granulométrica, limites de Atterberg, umidade e densidade aparente das três terras

Limites e granulometria	ITA	MON	CAP
Areia ($0.06 < d < 2\text{mm}$) (%)	15	45	60
Silte ($0.002 < d < 0.06\text{mm}$) (%)	15	40	25
Argila ($< 0.002\text{mm}$) (%)	70	15	15
Limite de liquidez (%)	54	20	33
Índice de plasticidade (%)	23	3	5
Umidade higroscópica (%)	14	3.8	2.8
Densidade aparente (g/cm^3)	1.06	1.34	1.14

A caracterização mineralógica das terras (tabela 2) foi realizada por análise de difração de raios X (DRX), utilizando um difratômetro de raios X Malvern PANalytical, modelo AERIS, com radiação $\text{Cu K}\alpha$ 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 utilizando o software HighScore Plus versão 4.0 da Malvern Panalytical e o Crystallography Open Database (COD), e a análise semiquantitativa foi realizada por refinamento de Rietveld.

ITA apresenta predominância de caulinita, seguida de quartzo e goethita; CAP apresenta predominância de quartzo, seguido de feldspatos, moscovita e illita e MON tem predomínio de feldspatos, seguido de quartzo, hornblenda e illita. Da tabela 2 é visível que as amostras da terras portuguesas (MON e CAP) são mais ricas em areia do que a brasileira (ITA).

Tabela 2. Análise semiquantitativa (porcentagem em massa) por DRX das três amostras de terra

Componentes cristalinos - Fases minerais	ITA (%)	MON (%)	CAP (%)
Quartzo - SiO_2	22.1	33.6	51.2
Feldspato (microcline) - KAlSi_3O_8	-	5.2	9.7
Feldspato (albite) - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	-	40.2	17.5
Mica (moscovita) - $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$	-	-	9.6
Mica (illita) - $(\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,\text{H}_2\text{O}]$	-	7.1	8.2
Hornblenda - $\text{Ca}_2[\text{Mg}_4(\text{Al},\text{Fe}^{3+})]\text{Si}_7\text{AlO}_{22}(\text{OH})_2$	-	13.3	-
Montmorillonita - $(\text{Na},\text{Ca})_{0,3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.n\text{H}_2\text{O}$	-	0.1	0.1
Caulinita - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	62.7	0.1	0.7
Coesita - SiO_2	-	1.4	-
Goethita - $\text{FeO}(\text{OH})$	15.2	-	-

3.2 Areia

Foi utilizada uma areia siliciosa, composta basicamente por quartzo (SiO_2), lavada, de granulometria média, com diâmetro de grão entre 0,2 mm a 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/cm^3 .

3.3 Excremento bovino

O excremento bovino (EB) utilizado foi coletado na zona rural de Moita, uma pequena cidade da área metropolitana de Lisboa, Portugal, ao sul do rio Tejo. O EB foi excretado 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 sem tampa (figura 2), com o intuito de evitar que qualquer componente químico líquido (ou solúvel na água contida no EB) fosse perdido para o solo.

Diariamente o EB foi revirado para arejar e resfriar. Após sete dias secando à sombra, o EB foi peneirado em uma peneira de 2,79 mm de abertura. Ainda estava bastante úmido, apresentava leve odor orgânico e alguns torrões, facilmente desagregados manualmente. Depois de peneirado o material estava homogêneo e com considerável quantidade de fibras vegetais, cujo comprimento não ultrapassa 2 cm (figura 2). O EB foi adicionado à terra e areia no mesmo dia em que foi peneirado e as medidas de densidade e umidade foram determinadas. A densidade medida foi de 0,40 g/cm³ e o teor de umidade 61%.

À medida que seca, o EB perde água e massa, o que diminui a densidade. Por isso, em investigações sobre efeitos desta adição em argamassas de terra, é importante informar a umidade e a densidade da amostra de EB utilizada, no dia em que foi adicionada a argamassa.



Figura 2. Excremento bovino sendo peneirado após 7 dias secando (esq.) e após peneiramento (dir.).

Segundo Millogo et al. (2016) e Gupta *et al.* (2016), enquanto o EB seca é liberado calor, água, metano, dióxido de carbono e amônia. Depois de seco, os principais componentes do EB são fibras vegetais (essencialmente compostas por celulose, hemiceluloses 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.

4 ARGAMASSAS FORMULADAS E METODOLOGIA

Para definir o traço das argamassas (terra:areia), foi realizado um ensaio preliminar de retração a fim de identificar a adição mínima de areia necessária para conter o surgimento de fissuras na superfície do reboco. Com cada amostra de terra foram produzidas argamassas com adições de 0, 1, 1,5, 2 e 3 volumes de areia. Com cada argamassa foi rebocada a superfície de um tijolo cerâmico. Após a secagem por 24 horas ao ar no ambiente do laboratório, foi observada a retração de cada argamassa aplicada. Após realizar o ensaio, definiu-se que o traço volumétrico terra:areia utilizado para produzir as argamassas com a terra ITA é 1:3. Já com as terras CAP e MON, que já possuíam mais areia em sua composição natural, foi utilizado o traço volumétrico 1:1,5.

Para avaliar o efeito do EB, foram produzidos e testados corpos de prova de argamassas (terra+areia+água) com cada uma das três amostras de terra sem adição de EB (referência) e formuladas mais duas argamassas (terra+areia+água) com cada uma das três amostras de

terra e com adição de 10% e 20% de EB (em volume dos componentes secos terra+areia). Todas as composições das argamassas estão definidas na tabela 3.

As argamassas foram produzidas em misturador mecânico de laboratório seguindo as instruções da norma DIN 18947 (2024). A água foi adicionada até atingir uma consistência para espalhamento de 170 ± 5 mm, garantindo uma boa trabalhabilidade. A relação água/componentes secos (em massa) é apresentada na tabela 3. As argamassas frescas foram caracterizadas usando as normas europeias (EN) indicadas na norma DIN, mas também foram consultadas as normas brasileiras correspondentes.

Para a consistência por espalhamento realizou-se o ensaio com base no procedimento descrito nas normas EN 1015-3 (1999) e NBR 13276 (2005). Para a densidade no estado fresco, seguiu-se as orientações das normas EN 1015-6 (1998) e NBR 13278 (2005). Conforme exigido pela norma DIN, todas as argamassas frescas apresentaram densidade superior a $1,2 \text{ g/cm}^3$ (tabela 3).

Tabela 3. Composição das argamassas formuladas

Argamassas e traço volumétrico (terra:areia)	Quantidade de terra (T) presente (% vol.)	Quantidade de areia (A) presente (% vol.)	Adição de excremento bovino (EB) (% vol. T+A)	Relação água/ (T+A+EB) (%)	Densidade fresca (g/cm^3)
ITA-REF (1:3)	25	75	0	22	1,85
ITA+10EB	25	75	10	24	1,79
ITA+20EB	25	75	20	26	1,74
MON-REF (1:1.5)	40	60	0	21.5	1,40
MON+10EB	40	60	10	23	1,36
MON+20EB	40	60	20	25	1,31
CAP-REF (1:1.5)	40	60	0	20	1,45
CAP+10EB	40	60	10	21.5	1,39
CAP+20EB	40	60	20	23	1,36

Para cada argamassa formulada, foram produzidos quatro corpos de prova prismáticos em moldes metálicos de 4 cm x 4 cm x 160 cm, conforme determinado pela norma DIN 18947 (2024). Após a secagem, três corpos de prova foram utilizados para realização de outros ensaios (apresentados em Pachamama et al., 2024b), e um corpo de prova foi utilizado para o ensaio de imersão. Para isto, este foi cortado em três cubos de 4 cm x 4 cm x 4 cm.

Os corpos de prova foram produzidos e armazenados em laboratório, a $63 \pm 5\%$ de umidade relativa (UR) e 26 ± 3 °C, até à realização dos testes aos 30 dias de idade. Todas as amostras foram testadas em equilíbrio com o meio ambiente, ou seja, ensaiadas depois de atingirem massa constante, conforme determinado pela DIN 18947 (2024).

No teste de imersão em água, cada corpo de prova cúbico de 4 cm foi imerso em um béquer de vidro de 250 ml preenchido com 150 ml de água na temperatura ambiente do laboratório de 26 °C. Foram feitas fotografias quando o corpo de prova foi imerso (tempo 0 minutos) e após 1, 2, 5, 10, 15 e 30 minutos de imersão. Observações visuais complementares também foram realizadas após 24 horas, 7 e 14 dias. A análise foi feita sobre os efeitos visuais observados nas fotos.

Este ensaio é muito mais exagerado e exigente do que os requisitos e ensaios habituais para revestimento de terra, seja em ambientes internos (mesmo para cozinha e banheiro) ou ambientes externos (mais expostos a chuvas). Apesar disso, o ensaio utilizado, além de pedagógico, ilustra e evidencia o efeito da adição de excremento quanto à resistência à água.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 3 apresenta as fotografias dos corpos de prova das argamassas produzidas respectivamente com as amostras de terra ITA, MON e CAP, quando imersas na água, e após 1, 2, 5, 10, 15 e 30 minutos de imersão.



Figura 3. Corpos de provas das argamassas com terra (ITA, MON e CAP respectivamente) com 0%, 10% e 20% de EB em imersão em água até 30 minutos.

Comparando as argamassas de referência, a argamassa ITA-REF foi a mais resistente. Aos 2 minutos, o corpo de prova ainda mantinha a forma cúbica, e, aos 5 minutos, parte da forma; a corpo de prova da argamassa CAP-REF começou a desagregar após 1 minuto, e aos 5 minutos estava totalmente desintegrado; o corpo de prova da argamassa MON-REF desagregou-se antes dos 2 minutos.

A maior durabilidade da argamassa ITA-REF pode ser justificada pelo maior teor de argila (18%) entre as argamassas de referência, o que a torna mais resistente. De acordo com Vargas (1977) devido às características climáticas (altas temperaturas e muita chuva) e geológicas, os solos tropicais apresentam composição mineralógica diferente dos solos de clima temperado. A terra ITA foi extraída em uma região cujos solos são classificados como lateríticos. Estes solos são constituídos essencialmente por argilominerais do grupo das caulinitas, de óxido e hidróxido de ferro e alumínio ocasionalmente; apresentam uma capacidade de troca catiônica (CTC) menor que os solos formados em clima temperado. Estas características conferem a estrutura porosa e agregações altamente estáveis com menor capacidade de adsorção de água e justificam a maior durabilidade da argamassa ITA-REF em relação às duas argamassas com terras de clima temperado (MON-REF e CAP-REF). O fato da argamassa MON-REF começar a se desagregar rapidamente em relação às outras duas argamassas de referência, também está relacionado ao menor teor de argila (6%), maior presença de silte e areia com granulometria mais grossa.

Ao analisar as imagens, as contribuições da adição de EB para a resistência em contato com a água são nítidas. A proporção de 10% EB aumentou a durabilidade das argamassas, mas a proporção de 20% EB foi capaz de manter intacta a forma cúbica do corpo de prova das argamassas formuladas com as três terras durante todo o ensaio.

O efeito provocado pela adição de EB foi mais expressivo nas argamassas produzidas com a terra MON. Mesmo a proporção de 10% de EB já mantinha a forma cúbica intacta após 30 minutos de imersão (figura 5). Além disso, vale ressaltar que, após 14 dias de imersão, os corpos de prova da argamassa MON+20EB mantinham a forma cúbica, apesar de se apresentarem macios à compressão manual.

Nas argamassas produzidas com as terras CAP e ITA, os corpos de prova com adição de 10% EB começaram a deformar após 5 minutos de imersão. Após 30 minutos, já estavam parcialmente desintegrados. Já os corpos de prova das argamassas com adição de 20% EB mantiveram a forma cúbica até 30 minutos de imersão. Após 7 dias começaram a deformar e aos 14 estavam parcialmente desintegrados.

Bamogo et al. (2020) avaliaram a resistência à água usando dois métodos de teste menos agressivos: os testes de absorção de água por capilaridade e um teste de pulverização usado para avaliar a resistência dos rebocos de terra à erosão causada pela chuva "lateral ou com vento". Os resultados mostraram que o coeficiente de absorção capilar de água diminuiu à medida que aumentava, de 0 a 6% em massa, a adição de EB. O teste de pulverização mostrou uma diminuição da perda de massa após o ensaio, à medida que o EB foi adicionado às argamassas. A argamassa de referência (0% EB) apresentou maior erosão. Os pesquisadores atribuem esses resultados à formação das aminas silicatadas que aglutinam as partículas soltas da terra e conferem alguma hidrofobicidade.

Kulshreshtha et al. (2022) realizaram o mesmo ensaio de imersão em água e outros ensaios para caracterização do EB para tentar entender o que causa o efeito hidrofóbico por esta adição, ou seja, de repelir a água. Os autores produziram argamassas de terra com a adição de apenas 2% (em massa) de EB para produzir pequenos blocos de terra compactada e realizaram o teste de imersão em água. Nas imagens, também foi claramente observada a maior durabilidade do formato dos corpos de prova com adição de EB.

Para identificar e analisar componentes do EB, Kulshreshtha et al. (2022) coletaram o EB fresco, retiraram grande parte das fibras com uma peneira, e centrifugaram o material passado na peneira para separar a fração líquida da fração sólida (basicamente fibras vegetais). Ambas

as partes foram adicionadas separadas na produção dos blocos compactados e a parte líquida ofereceu efeitos visivelmente mais expressivos. Por esta razão, o efeito higrofóbico foi atribuído a algo que está presente na fração líquida.

Essa suspensão líquida, rotulada pelos pesquisadores como pequenos agregados microbianos, foi caracterizada e “os resultados indicaram que os pequenos agregados microbianos são compostos por partículas do tamanho de argila com carga negativa, ricas em ácidos graxos de cadeia curta, média e longa. Os ácidos graxos de cadeia curta no intestino de uma vaca são produzidos através da digestão da fibra alimentar pelas bactérias intestinais (Brody, 1999). Um dos ácidos graxos dominantes, o ácido octadecanóico, tem sido usado com nanopartículas de sílica para preparar revestimentos super higrofóbicos resistentes à água (Heale et al. 2018)” (Kulshreshtha et al., 2022, p. 6)

Portanto, no presente estudo, os ácidos graxos e as aminas de silicato podem muito provavelmente justificar a melhoria da resistência à água das argamassas com 10% e particularmente com 20% de EB.

Num estudo prévio (Pachamama et al., 2024b), complementar ao presente estudo, foram avaliadas as resistências à flexão, compressão e aderência de argamassas produzidas com as mesmas terras ITA, MON e CAP com os mesmos traços (terra:areia) e com adição do mesmo EB de Moita, Portugal. Nos referidos ensaios, a adição de 20% EB aumentou as resistências, mas a proporção 10% aumentou de forma mais expressiva ainda. Já no ensaio de imersão em água, apresentado no presente estudo, a proporção de 20% EB apresenta desempenho superior comparada à adição de 10% em todas as terras. Os resultados mostram que não apenas a proporção de EB é importante, pois o efeito também depende da formulação da argamassa com terra, da composição mineral e da distribuição granulométrica da terra.

Por fim, ao comparar os resultados de Pachamama et al. (2020a; 2024b), em que foram avaliadas as resistências à flexão, compressão e de aderência em argamassas produzidas com a mesma amostra de terra ITA, embora com traço (terra:areia) diferente (1:4 e 1:3 respectivamente), conclui-se que a adição de dois EB diferentes, sendo um produzido por bovinos no Brasil e outro por bovinos em Portugal, causou o mesmo efeito nas argamassas produzidas com a terra ITA: aumentou a resistência mecânica e a aderência em relação à argamassa de referência.

6 CONCLUSÕES

Os resultados mostram que existem diferenças entre o comportamento das três argamassas de referência. A argamassa com a amostra de terra do Brasil, ITA-REF, apresenta maior durabilidade quando imersa em água, o que provavelmente se justifica pelo seu maior teor de argila, permitindo que essa tenha mais tempo em contato com a água antes de começar a se desintegrar; MON-REF teve a menor durabilidade, possivelmente pelo maior teor de silte e areia grossa.

Os efeitos da adição de excremento bovino nas propriedades hidrofóbicas das argamassas de terra são significativos em todas as argamassas testadas, sendo a proporção de 20% (com base no volume de terra mais areia) mais eficaz que 10%. Os efeitos positivos causados pela adição de excremento bovino nas argamassas de terra, parece ser justificada pela presença de ácidos graxos e novos compostos formados (aminas de silicato) que proporcionam alguma hidrofobicidade ao aglutinar as partículas de terra.

Com os presentes resultados, e validados pela literatura, este efeito positivo da adição de excremento bovino é evidenciado para argamassas de terra de clima tropical e temperado. Ou seja, mesmo para terras com características diferentes, o efeito positivo desta adição se manteve.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bamogo, H.; Ouedraogo, M.; Sanou, I.; Ouedraogo, K. A. J.; Dao, K.; Aubert, J.-E.; Millogo, Y. (2020). Improvement of water resistance and thermal comfort of earth renders by cow dung: an ancestral practice of Burkina Faso. *Journal Cult. Heritage*, 46, 42-51.
- EN 1015-1 (1998).: Methods of test for mortar for masonry - Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis). Bruxelas: Comitê Europeu para Normalização
- EN 1015-3 (1999). Methods of test for mortar for masonry. Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). Bruxelas: Comitê Europeu para Normalização
- EN 1015-6 (1998). Methods of test for mortar for masonry. Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar. CEN. Bruxelas: Comitê Europeu para Normalização
- EN 1097-3 (1998). Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 3: Determination of loose bulk density and voids. Bruxelas: Comitê Europeu para Normalização
- DIN 18947 (2024). Argamassas de terra para reboco – Termos, definições, requerimentos, métodos de ensaio. Berlim: NABau - Instituto Alemão para Normalização
- Gupta, K. K.; Aneja, K. R.; Rana, D. (2016). Current status of cow dung as a bioresource for sustainable development. *Bioresources and Bioprocessing*, 3, 1-11.
- 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? *Const. Techn. Architecture*, 1, 540-548.
- Kumar, D. J.; Surendra, R. (2015). Utilization of fly ash and cow dung ash as partial replacement of cement in concrete. *Int. Journal Civ. Struct. Eng*, 6 (1), 34-39
- Lima, J.; Faria, P.; Santos Silva, A. (2020). Earth plasters: The influence of clay mineralogy in the plasters' properties. *Int. J. Archit. Heritage*, 14 (7), 948-963.
- Ma, Y.; Wu, S.; Zhuang, J.; Tong, J.; Qi, H. (2019). Tribological and physio-mechanical characterization of cow dung fibers reinforced friction composites: An effective utilization of cow dung waste. *Tribology International*, 131, 200-211.
- 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 Env. Research*, 7 (8), 117-124.
- Mileto, C.; López-Manzanaraes, F. V. (2017) The COREMANS Project. Intervention criteria for earthen architecture (in Spanish). Spain: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte
- 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.
- Munshi, S. K.; Roy, J.; Noor, R. (2018). Microbiological investigation and determination of the antimicrobial potential of cow dung samples. *Stamford Journal of Microbiology*, 8 (1), 34-37.
- NBR 6459 (2017). Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas
- NBR 7180 (2016). Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas
- NBR 7181 (2016). Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas
- Pachamama, R. V.; Rezende M. A. P; Faria, P. (2020a). Evaluating the physical and mechanical properties of earth plasters with cow dung – a vernacular solution for earth building in Brazil. *Lehm*
- Pachamama, R. N.; Rezende M. A. P.; Junior A. N. C.; Barbosa R. A.; Moraes P. M. (2020b). Earth mortars: a vernacular technology and a modern eco-efficient solution, *Int. J. Dev. Research*, 10 (09), 40329-40335.
- Pachamama, R. N.; Faria, P.; Rezende, M. A. P. (2024a). Efeitos da adição de excremento bovino e cal em argamassas com terra para reboco produzidas com um solo areno siltoso e com um solo argiloso

– Caracterização de materiais da arquitetura vernácula popular brasileira. 4º seminário de arquitetura vernácula. Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil.

Pachamama, R.N.; Faria, P.; Rezende, M.A.P.; Santos Silva, A. (2024b). Effect of Cow Dung Additions on Tropical and Mediterranean Earth Mortars-Mechanical Performance and Water Resistance. *Materials*. 2024, 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. *Anais do 7º Congresso Brasileiro de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil*. Rio de Janeiro, Brasil, p.102-113.

Vargas, M. (1977). *Introdução à mecânica dos solos*. São paulo: Mcgraw-Hill, Editora da Universidade de São Paulo.

Worku, M.A.; Taffese, W.Z.; Hailemariam, B.Z.; Yehualaw, M.D. (2023). Cow dung ash in mortar: an experimental study. *Appl. Sci.*, 13, 6218.

Yalley, P. P-K; Dorothy M. (2013). Strength and durability properties of cow dung stabilized earth brick. *Civ. Env. Research*, 3 (13), 117-125.

Zhang, Y.; Jiang, S.; Quan, D.; Fang, K.; Wang, B.; Ma, Z. (2024). Properties of sustainable earth construction materials:a state-of-the-art review. *Sustainability*, 16, 670.

ZRS (2024). New generation of earth building standards. *ZRS Arquitetura e Engenharia*. Disponível em: <https://www.zrs.berlin/en/article/new-generation-of-earth-building-standards/> (acessado em 5/4/24)

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Brasil) pelo apoio financeiro na pesquisa; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq Brasil, bolsa número 201060/2022-1 para doutorado sanduíche SWE; à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (Portugal), pelo suporte UIDB/04625/2020 à unidade de investigação CERIS (DOI: 10.54499/UIDB/04625/2020); e à EU pelo financiamento do projeto Erasmus+ Bio-fiber (2022-1-DK01-KA220-HED-000086641).

AUTORES

Raphael Nascimento Pachamama, doutor em arquitetura - UFMG e NOVA de Lisboa, com foco em avaliação de argamassas de terra, normalização, bio-estabilização e excremento bovino. Mestre em arquitetura - UFMG - sobre avaliação de adições estabilizantes em rebocos de terra. Arquiteto - UFMG. Educador popular e atuação em projetos de Assessoria Técnica para construções regenerativas utilizando materiais naturais e outras técnicas agroecológicas em comunidade tradicionais. Membro da rede Terra Brasil.

Paulina Faria, doutora em eng. civil com especialidade na conservação do património edificado, mestre em construção, professora associada da Universidade NOVA de Lisboa, investigadora do CERIS. Membro do Centro da Terra, da Rede Ibero-Americana PROTERRA, das comissões sobre conservação da terra e pedra do ICOMOS (ISCEAH e ISCS), membro do Development Advisory Committee da RILEM e membro das respetivas comissões técnicas BEC, MAE e PEM para a construção com terra.

Marco Antônio Penido de Rezende, arq. UFMG, 1987; Mestre Arq UFMG, 1998; Doutor Construção Civil USP, 2003; Pós-Doc Arq. Vernácula (University Oregon, USA, 2010). Professor Titular Escola de Arq. da UFMG. Bolsista Pesquisa Produtividade CNPQ. Autor vários projetos e obras. Pesquisas, publicações, orientações mestrado e doutorado áreas de ACT, arq. vernácula, sustentab. Membro redes Proterra e TerraBrasil. Membro ICOMOS-ISCEAH.

António Santos Silva, doutor em eng. civil, licenciado em química, investigador principal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Lisboa. Coordenador e membro de diversos projetos, incluindo sobre a conservação do património arquitetónico e arqueológico, nomeadamente de construções com terra.