

## **Materiais e técnicas antigas para melhorar a durabilidade dos edifícios em terra**

EIRES Rute<sup>1,a</sup>, CAMÕES Aires<sup>1,b</sup> e JALALI Said<sup>1,c</sup>

<sup>1</sup> C-TAC, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 4800-058 Guimarães, Portugal

<sup>a</sup> rute@civil.uminho.pt, <sup>b</sup> aires@civil.uminho.pt, <sup>c</sup> said@civil.uminho.pt

**Palavras-chave:** Técnicas antigas, durabilidade, resistência à água, biopolímeros.

**Resumo.** Uma grande parte do património mundial construído tem sido realizada com recurso à construção em terra. A durabilidade deste património existente e principalmente dos novos edifícios construídos em terra é particularmente condicionada pela erosão causada pela ação da água, especialmente em países com uma elevada taxa de pluviosidade. Com esta pesquisa pretende-se contribuir para o aumento do conhecimento relativo a antigas técnicas de construção que permitam obter uma maior durabilidade. Analisando as práticas ancestrais para proteger o material terra face à ação da água é possível perceber como os antigos edifícios construídos em terra foram preservados, ao longo de vários séculos, resistindo a condições ambientais severas. Entre estas técnicas, encontram-se: a incorporação de biopolímeros (tal como os óleos ou gorduras de origem animal ou vegetal); a adição de alguns minerais; e a estabilização da terra com cal. Contudo, o conhecimento acerca destas técnicas parece ter sido esquecido, provavelmente devido ao preconceito existente em relação à construção em terra, que muitas vezes é associada a uma construção pobre. Esta pesquisa centra-se também no estudo de novos métodos de estabilização com cal e biopolímeros, adaptando o conhecimento antigo para melhorar a durabilidade relacionada com a ação da água. Deste modo, são obtidas soluções alternativas para melhorar o desempenho dos edifícios em termos de resistência, em especial quando em contato com a água, reduzindo a permeabilidade à água. Além disso, verifica-se que com as soluções propostas será possível manter bons níveis de permeabilidade ao vapor de água, uma das maiores vantagens da construção em terra.

### **Introdução**

O interesse pela construção em terra tem reemergido com as atuais preocupações ambientais e a atual conjuntura económica por todo o mundo. Assim, têm surgido novas tecnologias para otimizar o processo de construção em terra com recurso a equipamento que melhorou a resistência à compressão de elementos construídos com recurso ao material terra. No entanto, durante a construção de novos edifícios, os métodos de proteção face à ação da água são por vezes insuficientes ou, por outro lado, recorrem à aplicação de materiais excessivamente impermeabilizantes que comprometem a permeabilidade ao vapor de água.

De seguida, apresentam-se diversos materiais e técnicas antigas utilizadas para promover uma melhor proteção face à água nas construções em terra. Eires realizou um estudo de investigação experimental, cujo objetivo era a obtenção de misturas de solo estabilizado com desempenho melhorado face à ação da água, recorrendo à adaptação de técnicas ancestrais, com biopolímeros, utilizadas para este fim. Pretendia-se que estas misturas pudessem ser utilizadas para a construção de paredes em terra comprimida ou compactada, sem necessidade de recorrer a um revestimento adicional de proteção, como por exemplo argamassas ou pinturas. Assim, poder-se-iam construir paredes de terra à vista, mantendo-se a estética do material terra e conseguindo-se igualmente uma boa durabilidade, sem comprometer a permeabilidade ao vapor de água [1]. Neste artigo apresentam-se os principais testes e resultados obtidos num estudo que teve por base a estabilização

de solo recorrendo às composições com melhores resultados relativamente à redução de absorção de água no referido estudo [1].

### **Materiais e técnicas antigas para proteção face à água**

As soluções antigas para proteger o material terra na construção são aqui apresentadas em duas partes: técnicas utilizadas no processo construtivo global e técnicas de estabilização de solos para construção de paredes e para preparação de argamassas.

**Processo construtivo.** Verifica-se que o processo construtivo está intrinsecamente ligado à função de proteção do material, procurando-se contornar a sua vulnerabilidade à ação da água. Assim, nas construções tradicionais em terra verificam-se as seguintes medidas de proteção:

- impermeabilização das lajes térreas, utilizando materiais como a pedra ou solo argiloso;
- fundações e embasamento das paredes realizadas com um material mais resistente à água, como por exemplo, a pedra ou o tijolo cerâmico;
- proteção de fachadas conseguida com argamassas mais resistentes à água ou o recobrimento com outros materiais mais duráveis, ou com argamassas de sacrifício que precisam de ser repostas periodicamente. Assim como a proteção de fachadas com aplicação de tintas naturais, à base de cal ou silicatos, muitas vezes com adição de caseína ou óleos naturais para maior impermeabilização, mantendo a permeabilidade ao vapor de água [2, 3];
- zonas mais suscetíveis à ação da água, como por exemplo cunhais, portas e janelas reforçadas com materiais mais resistentes à água, como a pedra, o tijolo cerâmico ou a madeira;
- coberturas construídas com materiais resistentes às intempéries e com beirados salientes para melhor proteção das paredes em terra;
- a conexão entre materiais diferentes, com retração distinta, precisa de ter um material que evite a formação de fissuras e reduza a passagem de água. Por exemplo, entre peças de madeira e taipa de pilão pode-se utilizar argila [4]; e
- proteção de pavimentos e paredes em zonas húmidas no interior dos edifícios, executada em terra estabilizada, com melhor resistência à água, ou revestindo-se com materiais impermeáveis à água. Também é necessário algum cuidado na colocação de tubagens para abastecimento de água. Sendo de boa prática impermeabilizar estas zonas ou, se possível, colocar a tubagem no exterior da parede de terra.

**Estabilização de solos.** Ao estabilizar o solo está-se também a aumentar a durabilidade do material, uma vez que se melhora a resistência mecânica e a resistência à ação da água. Assim, desde os tempos antigos, têm sido adicionados ao material terra diferentes estabilizantes e aditivos com este propósito. Apresentam-se, seguidamente, os materiais que têm sido mais utilizados para estabilização de solos, quer de forma individual, quer em simultâneo.

**Cal e pozolanas.** A cal tem sido o material mais utilizado para estabilização de solos (paredes e argamassas) a fim de melhorar as suas resistências mecânicas e a resistência à ação da água.

Pozolana é um material de elevada finura que ao ser adicionado à cal se torna cimento na presença de água. Esta propriedade pode ser benéfica na estabilização de solos, quer para construção de paredes, quer para preparação de argamassas para revestir paredes em terra.

As melhores resistências conseguidas com a incorporação da cal nos solos poderão ser explicadas pela reação de carbonatação que ocorre gradualmente na cal, na presença de CO<sub>2</sub>, mas também pela reação pozolânica que ocorre entre as partículas de cal e argila presente no solo. Reação essa que pode ser influenciada por diversos fatores, como por exemplo, as propriedades do solo, pH e temperatura. Quimicamente, verificam-se reações entre a cal, a sílica e a alumina livres nas partículas de argilas e são formados compostos cimentícios, designadamente silicatos de cálcio hidratados e/ou aluminato cálcico [5]. Estes materiais contribuem para o aumento da resistência verificada no solo com cal. Contudo, estas reações são lentas, também devido à reação de carbonatação, resultante da interação entre a cal e o dióxido de carbono, que forma materiais

ligantes mais fracos, como o carbonato de cálcio que prejudica o desenvolvimento das reações pozolânicas [5].

A utilização a cal com pozolana também tem sido utilizada, proporcionando um aumento acrescido das resistências e, conseqüentemente, uma melhoria da durabilidade da construção com estes materiais. Existe um exemplo milenar de utilização de cal com pozolana na construção em terra e em argamassas, o “*sarooj*”. Este material é originário do Irão e tem sido utilizado para proteger os edifícios da ação da água. É um material durável que consiste numa mistura pozolânica baseada em solo argiloso (areia e argila), cal, cinzas e outros aditivos. Esta mistura resulta num material com propriedades semelhantes ao cimento Portland. Deste modo, o “*sarooj*” tem sido aplicado em situações que requerem materiais resistentes à água, como por exemplo em tanques de água, designados no Irão de “*āb anbār*” e em reservatórios de gelo, designados “*Yakhchal*” [6, 7].

**Biopolímeros.** Polímeros são macromoléculas com unidades de repetição menores (os monómeros) que contêm na sua estrutura carbono e hidrogénio. As proteínas, os polissacarídeos, os carboidratos e os ácidos nucleicos são exemplos de polímeros orgânicos. Porém, estes compostos podem ser de origem natural ou artificial, de origem biológica (vegetal ou animal) ou mineral. Deste modo, considera-se no presente estudo que os biopolímeros são polímeros orgânicos de origem natural e biológica e sem sintetização em laboratório.

Existem diversos exemplos de biopolímeros que têm vindo a ser adicionados na construção em terra a fim de melhorar a impermeabilidade à água e, conseqüentemente, a durabilidade do material face à ação das chuvas. Entre vários exemplos encontram-se os biopolímeros de origem vegetal, como as farinhas, amidos, gomas de catos, óleos, ceras ou resinas de plantas e os de origem animal, como as gorduras animais, o soro de leite ou caseína, a clara de ovo, o sangue, os excrementos e a urina [8].

A incorporação de óleos ou gorduras tem sido o processo de impermeabilização da construção em terra mais utilizado em todo o mundo, incluindo Portugal. A utilização destes materiais era realizada sobretudo mediante a incorporação dos mesmos no processo de hidratação da cal viva. Todavia esta extinção podia ser feita seguindo dois métodos distintos [9]:

- Por hidratação simples, juntando à cal a quantidade de água necessária para a mistura e determinada quantidade de óleos ou gorduras. A cal hidratada obtida era utilizada quer como estabilizante do solo para paredes ou argamassas, quer como pintura de cal ou caiação das construções em terra; e
- Por hidratação em simultâneo com o solo ou areia argilosa. Ou seja, era adicionada cal viva e óleos ou gorduras ao solo com a quantidade de água adequada à hidratação da cal e à plasticidade final desejada. Processo designado por hidratação “a quente” [9].

Em termos históricos, a hidratação da cal com óleos já era referida por Vitruvius tendo sido utilizada em juntas de tubos de argila para passagem de água e na aplicação de ladrilhos em pavimentos [10]. Um dos óleos utilizados no séc. XVI era o refugo da utilização de óleo de baleia que era usado na iluminação. Este, juntamente com a cal, formava uma pasta chamada de “*gala-gala*”, muito utilizada na construção nos Açores e no Brasil [11,12]. Em Portugal este tipo de mistura de óleos ou gorduras com cal viva, a quente, era utilizado tanto na construção em pedra como na estabilização de solos em paredes de terra, sendo mencionada a sua utilização em edifícios tradicionais de madeira e taipa em Lisboa [13].

Além das técnicas de proteção com cal e gorduras, também foram utilizadas técnicas com outros biopolímeros por todo o mundo. Na Tabela 1 encontram-se vários exemplos de técnicas passadas de geração em geração que eram utilizadas para melhorar ou proteger a construção em terra das intempéries.

Os biopolímeros podem ter diversos efeitos na argila presente no solo: efeito dispersante, permitindo uma redução da quantidade de água para se obter a mesma viscosidade; o efeito de religar as partículas de argila e o efeito hidrofóbico (repelente de água) através de moléculas anfífilas (possuem uma parte hidrofílica e outra hidrofóbica), como as gorduras, os óleos, as ceras e a albumina presente no leite e na clara de ovo [19].

Tabela 36: Biopolímeros na antiga construção em terra

Local/Referência	Biopolímero (s)	Técnica/ Materiais/ Propriedades obtidas
Índia	<b>Estrume</b> de vaca, sem ou com adição de <b>urina</b>	<b>“Gohber”</b> – técnica de reboco, utilizado sobretudo para preenchimento de fissuras. Composição: 1 parte de estrume de vaca e 5 partes de terra (em massa). Sendo referido que <i>“a urina atua como endurecedor e melhora a impermeabilidade e a resistência ao impacto”</i> [14].
Norte do Gana	<b>Estrume e vagens</b> de alfarrobeira	Pintura – Efeito impermeabilizante e endurecedor de paredes e pavimentos em latrite [15].
Egito e Sudão	<b>Palha e estrume com fermentação</b>	Adobes e rebocos - Propriedades hidrófugas e maior resistência [16].
México e povos pré-colombianos	<i>Nopal</i> – cato <i>Nopalea coccinellifera</i> ou <i>Cactus cochenilliferus</i> ou <i>figueira-da-índia</i> – cato	Utilizado no fabrico de tintas à base de cal. O <i>nopal</i> ainda hoje é utilizado para proteção face à chuva, para permitir a inclusão de outros materiais de decoração nas paredes em terra, como impermeabilizante e, também, como aglutinante para o betão [17].
México e sudoeste dos EUA	<i>Agave</i> – cato <i>Leuchtenbergia principis</i> , <i>Lophanta</i> , <i>Caerulens</i> ou <i>Lechuguilla</i>	Utilizado em argamassas - a goma é fervida e o extrato é guardado por duas ou três semanas antes da mistura na argamassa de argila [15].
América do Sul, em especial Peru	<i>Tuna</i> – cato <i>Opuntia Ficus Indica</i>	Estabilizante de solo e de argamassas para revestimento. Consolidante. Mais resistente à água quando combinado com a técnica de polimento de superfície [15].
América do Sul e África	<b>Látex</b> - Resina natural <i>Hevea Euphorbiacex</i>	Pinturas – Efeito impermeabilizante [15].
América do Sul e África	<b>Banana</b> – hastes, caules e folhas	Utilização dos componentes fervidos em argamassas, mas também em pinturas (só folhas). Impermeabilizante. As fibras evitam o aparecimento de fissuras [15].
Malaya, Indonésia e Este da Índia	<b>Dammar</b> – resina natural Árvores da família <i>Dipterocarpaceae</i>	Argamassas – Efeito impermeabilizante [15].
“Ásia menor”	<b>Sangue de animais</b>	Técnica que caiu em desuso como estabilizante de solo e de argamassas com ou sem cal. Utilização em pavimentos de terra, nomeadamente em adobe. Melhora a resistência à água e a resistência à compressão. Mas apresenta elevado risco de crescimento de fungos [15].
“Babilónia” (sec.V a.C.)	<b>Betume natural</b> - resultante da decomposição natural de seres vegetais e/ou animais.	Estabilizante de solo. Mais efetivo em solos com pouca argila. Formação se filme impermeabilizante que impede a entrada de água [18].

Em ambientes básicos, como por exemplo em argamassas à base de cal ou em solo estabilizado com cal, os triacilgliceróis, constituintes dos óleos ou gorduras, sofrem uma hidratação resultando na formação de sais insolúveis de cálcio de ácidos gordos. Estes sais são hidrofóbicos e interligam-se bem na argamassa ou no solo estabilizado devido a interação com cálcio proporcionando a repelência à água [20]. Todavia, em outras propriedades como a resistência nem sempre é benéfica esta adição, ocorrendo por vezes diminuição das resistências mecânicas. Além disso, os mecanismos ocorridos na microestrutura obtida não são claramente conhecidos. Esta redução da resistência é justificada pela particularidade do óleo ou gordura encapsular as partículas de hidróxido de cálcio e evitar que ocorra o processo de carbonatação. No entanto, a utilização de uma percentagem adequada de óleos pode conduzir a maiores resistências devido à existência de uma redução da porosidade no estado endurecido [20].

**Aditivos minerais.** Vários minerais têm vindo a ser adicionados ao solo para melhorar as suas características, sobretudo a durabilidade. Entre estes encontram-se alguns sais e compostos minerais. Os mais utilizados na construção em terra são o cloreto de sódio e o hidróxido de sódio [2, 21]. O efeito conhecido do cloreto de sódio é o controlo de viscosidade e a floculação das partículas de argila com posterior consolidação das mesmas devido à atração proporcionada pela polaridade dos elementos. O controlo da viscosidade também é importante, uma vez que pode permitir a redução do teor em água da mistura e, conseqüentemente, reduzir a porosidade, aumentando as resistências mecânicas [21]. A adição de hidróxido de sódio, assim como outros aditivos à base de sódio, é conhecida por aumentar a reatividade do solo, desenvolvendo reações cimentícias. Este efeito pode complementar a estabilização de solos melhorando as resistências dos mesmos [2].

### **Investigação experimental**

O estudo de investigação experimental tem por base a campanha experimental realizada por Eires, em que foi testada a incorporação de diferentes biopolímeros e aditivos minerais, bem como a estabilização de solos com materiais mais comuns, tais como a cal e o cimento [1].

O foco principal deste estudo é a estabilização de solo com cal viva e óleo a quente, com e sem hidróxido de sódio. De seguida, apresenta-se a metodologia geral adotada e os principais resultados obtidos neste estudo.

**Metodologia.** A presente investigação resultou do estudo sequencial de diferentes misturas [1]. Na primeira etapa, utilizando solo não estabilizado, foram testados diferentes biopolímeros (amido de milho, farinha, açúcar, caseína, glicerol, água com celulose, óleo de linhaça e óleo de cozinha usado) e aditivos minerais (hidróxido de sódio, cloreto de sódio, silicato de sódio, alumínio, cloreto de cálcio e borato de sódio). Na segunda, foi testado o mesmo solo com diferentes estabilizantes (cal hidratada, cal viva e cimento). Na terceira, foram testadas composições do mesmo solo com os biopolímeros, aditivos minerais e cal viva, incluindo a utilização da hidratação da cal a quente, ou seja, misturando a cal viva, o óleo (sem ou com hidróxido) e a água com o solo 24 horas antes da realização dos provetes [1].

Neste artigo apresenta-se um estudo que estabilização de solo com cal viva e óleo a quente, tendo por base as composições com melhores resultados relativamente à redução de absorção de água no referido estudo [1]. Para tal, foram selecionados os seguintes materiais: como biopolímero o óleo de cozinha usado; como aditivo mineral o hidróxido de sódio; e como estabilizante a cal viva. Este solo também foi estabilizado apenas com cal hidratada ou com cimento para comparação de resultados.

**Testes.** A fim de se realizarem diferentes testes laboratoriais foram preparados diferentes provetes com solo prensado para simular blocos de terra comprida (BTC) ou taipa de pilão. Prepararam-se provetes com duas dimensões distintas: cilindros de Ø50 mm com 60 mm de altura e cilindros de Ø150 mm e 30 mm de altura.

Os principais testes realizados foram:

- Resistência à compressão, recorrendo-se ao teste simples uniaxial com velocidade de 1 mm/min de acordo com a norma ASTM D1633 [22];
- Absorção de água por capilaridade, utilizando-se a adaptação de um método de ensaio do LNEC [23], que consiste em colocar provetes sobre uma camada de areia húmida. Acrescentou-se a este teste um tecido permeável à água entre a areia e os provetes para manter a superfície mais lisa e limpa; e
- Permeabilidade ao vapor de água, baseado na norma NP EN 1015 19:2000 [24], expondo provetes a dois ambientes com humidades relativas distintas, utilizando-se uma solução salina de nitrato de potássio.

**Materiais seleccionados e composições testadas.** Para preparação dos provetes foi utilizado um solo com pouca quantidade de argila, representativo de um solo pobre que precisa de estabilizantes para melhorar as suas resistências. Este solo continha 85% de areia, 6 % de silte e 9% de argila.

Relativamente ao tipo de argila presente no solo, recorrendo ao teste de “Emerson” descrito por Houben & Guillaud [2] e a análises microscópicas, observou-se que continha uma maior percentagem de caulinite e menos ilite e montemorilonite.

Para a estabilização do solo utilizou-se cal viva (CV) contendo na sua composição 99% de CaO e cal hidratada (CH) com 90% de CaO. Utilizou-se, também, o cimento (Ci) de emprego mais comum em Portugal (CEM II/B-L 32.5N). Como aditivos utilizaram-se óleo vegetal usado (OVU), resultante de processos de fritura devidamente coado para evitar impurezas, e hidróxido de sódio em grânulos.

Na Tabela 2 estão presentes as composições testadas: solo sem qualquer estabilizante (REF); solo apenas com estabilizante (Ci, CH e CV); e solo com cal viva e aditivos (CV\_NaOH, CV\_OVU e CV\_OVU\_NaOH). As percentagens são em função da massa de solo utilizada.

Tabela 2: Principais composições testadas

Mistura	Estabilizante	Aditivo mineral	Biopolímero
REF	-	-	-
Ci	Cimento 4 %		
CH	Cal hidratada 4 %		
CV	Cal viva 4%	-	-
CV_NaOH		NaOH 0.1 %	-
CV_OVU		-	OVU 1 %
CV_OVU_NaOH		NaOH 0.1 %	OVU 1 %

## Resultados obtidos

**Resistência à compressão.** A Figura 1 mostra os resultados médios [kPa] obtidos nos testes de resistência à compressão realizados em provetes secos e em provetes saturados com água (após imersão por 24 horas). Os provetes testados foram cilíndricos de Ø50 mm/ 60 mm de altura com 56 dias de cura. Apresenta-se, também, o respetivo coeficiente de variação em percentagem.

Os resultados obtidos mostram que se obtém maior resistência à compressão utilizando a cal viva como estabilizante, CV, superando a resistência obtida com cimento. Na estabilização com cal hidratada, CH, verifica-se uma ligeira redução da resistência obtida face ao solo de referência, REF. Analisando os resultados das restantes composições face à composição CV, parece existir vantagem na incorporação de óleo e de hidróxido de sódio, em separado ou em simultâneo, CV\_NaOH, CV\_OVU e CV\_OVU\_NaOH, uma vez que todas estas composições apresentam maiores resistências.

Em relação às resistências em provetes no estado saturado verifica-se, no geral, que existe uma correspondência com as resistências no estado seco. Todavia, no estado saturado, as misturas CV\_OVU e CV\_OVU\_NaOH apresentam resultados similares.

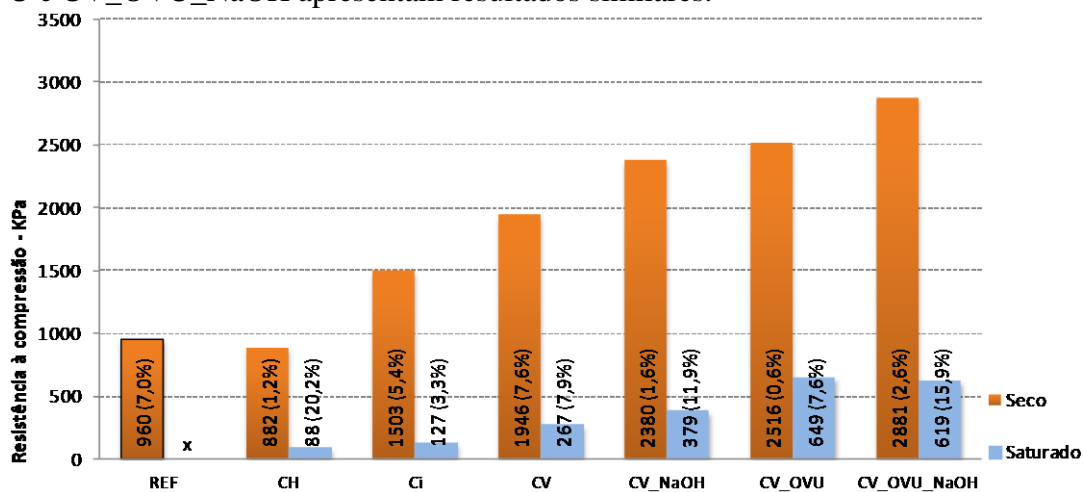


Figura 1: Resistência à compressão no estado seco e saturado aos 56 dias [kPa]

**Absorção de água por capilaridade.** Para este ensaio foram utilizados provetes idênticos aos do ensaio de compressão, ou seja provetes cilíndricos de Ø50 mm/ 60 mm de altura com 56 dias de cura. Na Figura 2 observam-se os resultados deste ensaio, mostrando-se a quantidade de água absorvida [ $\text{kg/m}^2$ ] por unidade de tempo [ $\sqrt{t}$ ], em minutos.

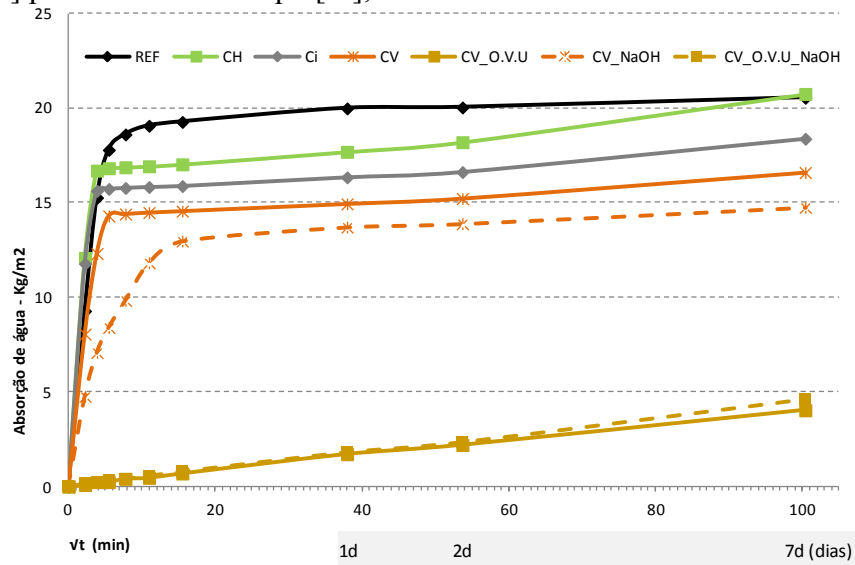


Figura 2: Absorção de água por capilaridade aos 56 dias

Os resultados obtidos mostram que parece existir vantagem com a utilização da cal viva como estabilizante, face aos restantes estabilizantes e uma significativa vantagem com a adição complementar de óleo vegetal usado. No entanto, as curvas das composições CV\_OVU e CV\_OVU\_NaOH são semelhantes, pelo que não parece existir vantagem na utilização dos aditivos em simultâneo.

Observando os provetes durante o ensaio de absorção de água por capilaridade após 1 hora de ensaio (Figura 3 (a)) e após 24 horas de absorção de água (Figura 3 (b)), verifica-se que os provetes com cal viva se distinguem dos restantes pela menor altura de absorção capilar (identificada pela coloração mais clara), sobretudo os provetes com cal viva e óleo.



Figura 3: provetes durante o ensaio de absorção de água por capilaridade: a – 1h e b – 24h

**Permeabilidade ao vapor de água.** O ensaio de permeabilidade ao vapor de água realizou-se a fim de se avaliar se as composições com óleo (com ou sem hidróxido de sódio), apesar do seu bom desempenho hidrófugo, permitem a passagem de vapor de água. Este teste realizou-se segundo a metodologia já descrita, em provetes específicos para este ensaio, cilíndricos de Ø150 mm/ 30 mm de altura. O ensaio realizou-se a partir dos 28 dias de idade dos provetes, prolongando-se até aos 90 dias.

A Figura 4 mostra uma análise comparativa dos resultados obtidos com valores médios de permeabilidade ao vapor de água de outros materiais de construção [25]. Os resultados obtidos são apresentados segundo os valores do coeficiente de permeabilidade ao vapor de água, encontrando-se expressos em  $(\text{kg/m.s.Pa}) \times 10^{12}$ .

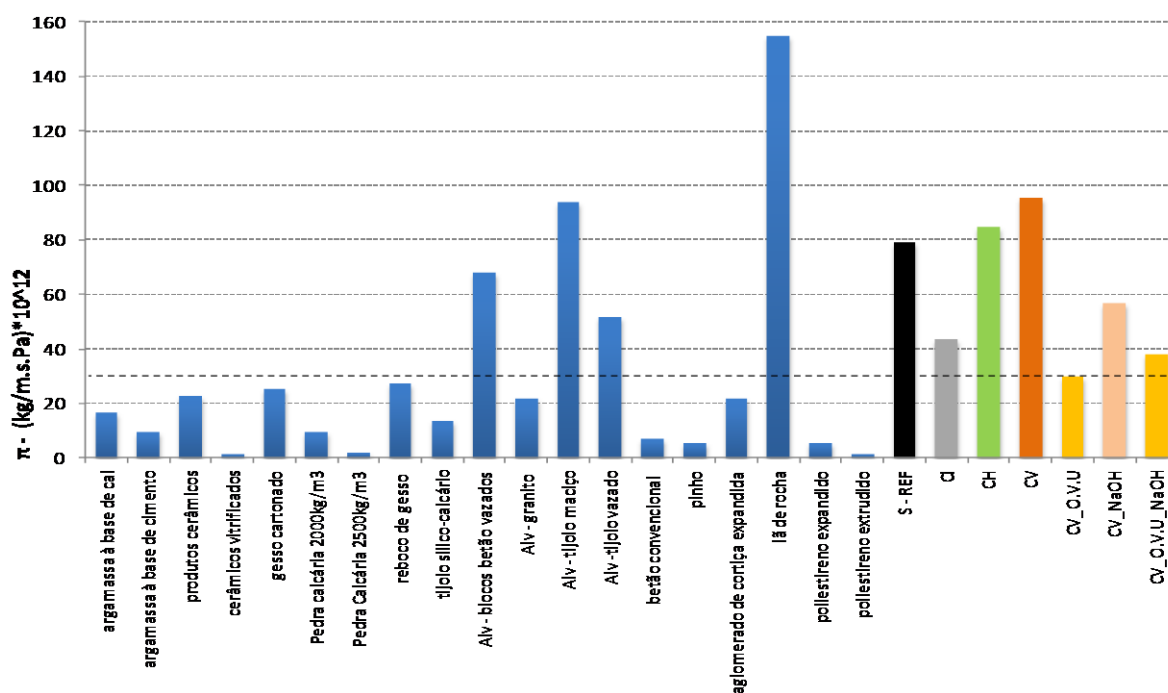


Figura 4: Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água – vários materiais de construção e composições testadas

Os valores em comparação mostram que o solo de referência e o solo estabilizado com cal viva ou cal hidratada apresentam valores com a mesma ordem de grandeza que a alvenaria de tijolo maciço. Observando-se, também, que o solo estabilizado com cimento ou com cal viva e hidróxido de sódio apresentam valores com a mesma ordem de grandeza que a alvenaria de tijolo vazado.

Relativamente às composições com óleo, comparando-se os valores mínimos obtidos com os restantes materiais (ver linha a tracejado sobre CV\_OVU), verifica-se que mesmo existindo uma redução da permeabilidade ao vapor de água, esta não terá um efeito prejudicial no controlo da humidade no interior dos edifícios. Isto porque são apresentados valores superiores a materiais que tradicionalmente costumam ser conhecidos pelo seu bom desempenho de permeabilidade ao vapor de água, como por exemplo, a argamassa à base de cal e reboco de gesso.

## Conclusões

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o uso da cal viva para estabilização de solos recorrendo à técnica de aplicação a quente apresenta um bom desempenho, com melhores resistências mecânicas (nas duas condições analisadas, estado seco e saturado) e menor absorção de água por capilaridade, sem comprometer a permeabilidade ao vapor de água.

A adição de óleo usado ou hidróxido de sódio pode melhorar ainda mais este desempenho associado à presença da cal viva. A utilização conjunta destes aditivos permitiu a obtenção das melhores resistências entre as composições testadas. No entanto, na absorção de água não parece haver vantagens da adição de hidróxido de sódio à composição com óleo usado, uma vez que os valores são semelhantes.

Deste modo, pode-se concluir que estas adições serão benéficas na construção em terra no sentido de melhorar a sua durabilidade, sobretudo em relação à ação da água. Verificando, ainda, que este tipo de estabilização e adições possibilitarão construir paredes exteriores, em solo prensado ou compactado, sem posterior necessidade de pintura, prevendo-se que consigam atingir uma boa durabilidade segundo os resultados obtidos.

## Referências

- [1] Eires, R. Construção em Terra: Desempenho melhorado com incorporação de biopolímeros. Tese de doutoramento, Universidade do Minho, Portugal (2012).



- [2] Houben, H. e Guillaud, H. Earth Construction – A comprehensive guide, original publicado com o título “Traite de construcion en terre de CRA Terre”. Ed. Parenthèse, 1989, Edição CRATerre-EAG, Practical Action Publishing, The Schumacher Centre for Technology & Development (2008).
- [3] Crews, C. Earth Plasters and Aliz, em The Art of Natural Building, NetWorks' Productions, Informação obtida em [www.networkearth.org](http://www.networkearth.org), em 2010.
- [4] Correia, M. e Merten, J. A taipa alentejana: sistemas tradicionais de proteção. Em: PROTERRA/CYTED, Centro de investigación de Arquitectura Tradicional (CIAT), II SIACOT, Seminário Ibero-americano de Construção e Arquitetura com Terra. Madrid, Spain (2003).
- [5] Santos, C. Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de petróleo para uso em pavimentos rodoviários. Dissertação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Maio (2010).
- [6] Hutton, S. Answers to questions about Oman - Making sarooj. Informação obtida em [www.newsbriefsoman.info](http://www.newsbriefsoman.info), em 2010.
- [7] Malekzadeh M.J. Dams of the Ancient City of Istakhr. Em: IRNCID e ICID, International History Seminar on Irrigation and Drainage, pg.121, Tehran, Iran, Maio (2007).
- [8] Eires, R., Camões, A. e Jalali S. Otimização do desempenho de construção em terra com recurso a bio-polímeros. Seminário de Arquitetura de Terra em Portugal, 6º ATP/Seminário Ibero-americano de Construção e Arquitetura com Terra - 9º Siacot, Coimbra, 20 a 23 Fevereiro. Ed. Argumentum (2010).
- [9] Margalha, M. G., Veiga, M. R., e Brito, J. Algumas vantagens do uso da cal em pasta em revestimentos. 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, Patorreb, Porto (2006).
- [10] Vitruvius P. De architectura – Book VIII, em Vitruvius: On Architecture, texto original escrito pelo autor em século I A.C. Informação obtida em <http://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Vitruvius>, em 2011.
- [11] Veiga, E. Arquitetura luso brasileira e suas relações com a toponímia. Colóquio 260 anos de herança açoriana. Em: NEA, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – Santa Catarina, Brasil, 15 -17 Setembro (2008).
- [12] Teixeira, G. e Belém, M. Diálogos de edificação: técnicas tradicionais de restauro. Publication, Porto: Centro Regional de Artes Tradicionais, CRAT (1998).
- [13] CML, Câmara Municipal de Lisboa, Baixa Pombalina: bases para uma intervenção de salvaguarda. Edição Câmara Municipal de Lisboa – Pelouros do Licenciamento Urbanístico, Reabilitação Urbana, Planeamento Urbano, Planeamento Estratégico e Espaços Verdes (2005).
- [14] BASIN & Practical Action. Mud plasters and renders. BASIN - Building Advisory Service and Information Network. Texto original - Appropriate Technology Magazine, Volume 26/Number 1th June of 1999, AT Brief N.28, Editado por Practical Action Publishing, The Schumacher Centre for Technology & Development (2002).
- [15] Beas, M. Traditional architectural renders on earthen surfaces. Dissertação de mestrado, Universidade da Pensilvânia (1991).
- [16] Fathy, H. Arquitetura para os pobres – Uma experiência no Egito rural. Texto original de Cairo 1969 com o título “Gourna, a Tale of two Villages”, Editado em Portugal por Argumentum e Dinalivro (2009).

- [17] CPNT - Consejo de Promocion de Nopal y Tuna. Usos y Aplicaciones del Nopal, Informação obtida em <http://www.cpnt.org.mx>, em 2009.
- [18] Maniatidis, V. e Walker, P. A Review of Rammed Earth Construction, DTi Partners in Innovation Project ‘Developing Rammed Earth for UK Housing’, Maio (2003).
- [19] Fontaine, L.; Anger, R.; Houben, H. Quelques mecanismes de stabilisation du materiau terre de l’aterre stabilisee aux composites argiles – biopolymeres. Conferência Internacional Mediterra 2009, 1ª Conferenza Mediterranea sull’ Architettura in Terra Cruda, Ed. Edicom, Itália (2009).
- [20] Čechová, E. The effect of linseed oil on the properties of lime-based restoration mortars. Tese de doutoramento, Universidade de Bolonha (2009).
- [21] Anger, R., Fontaine, L. e Houben, H. Influence de la teneur en sel et du ph sur la plasticite du materiau terre. Conferencia International MEDITERRA 2009, 1ª Conferenza Mediterranea sull’ Architettura in Terra Cruda, Ed. Edicom, Itália 2009.
- [22] ASTM, D 1633 – 00. Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders, ASTM, West Conshohocken, PA 19428-2959, Estados Unidos (2000).
- [23] Gomes, R. e Folque, J. O uso da terra com material de construção. Documento técnico - C.I.T N°9, série D-4, LNEC (1953).
- [24] IPQ, NP EN 1015-19:2000, Métodos de ensaio de argamassas para alvenaria, Parte 19: Determinação da permeabilidade ao vapor de água de argamassas de reboco endurecidas. Instituto português da qualidade, IPQ (2000).
- [25] Pinto, P. Caraterização de Barreiras Pára-Vapor e sua Aplicação. Dissertação de mestrado, Universidade do Porto (2002).