

## **OPTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO DE CONSTRUÇÃO EM TERRA COM RECURSO A BIO-POLÍMEROS**

**Rute Eires, Aires Camões e Said Jalali**

Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil,  
Campus de Azurém, 4800-058, Portugal

Tel: (+351) 253 510 200; E-mail: rute@civil.uminho.pt

**Tema 3:** Técnicas, construção, pesquisa e desenvolvimento

**Palavras-Chave:** Arquitectura em terra, taipa, B.T.C., bio-polímeros.

### **Resumo**

Um dos principais problemas da construção em terra consiste no seu débil desempenho quando em contacto com a água. Se não forem tomadas medidas de protecção, a acção da água pode originar desgaste na camada superficial, decréscimo da resistência mecânica e pode, mesmo, levar à desagregação do material. Por outro lado, a capacidade da terra ser um material permeável ao vapor de água é uma mais-valia que deverá ser assegurada e mantida a fim de manter a salubridade e conforto do espaço habitável. Por esta razão, deve-se ter um especial cuidado na selecção dos materiais a incorporar na construção em terra de modo a não originar uma impermeabilização excessiva. Outra preocupação a ter em consideração resulta da necessidade de evitar o possível aparecimento de fungos na superfície das paredes ao utilizar determinados compostos orgânicos.

Existem várias formas para contornar esta problemática, seja recorrendo a meios físicos, através de soluções arquitectónicas que minimizem o contacto com a água das chuvas, ou pela utilização de um revestimento, seja por recurso a uma acção físico-química mediante a adição de materiais que melhorem a estabilização e coesão do solo evitando a sua desagregação. Para minimizar este factor, desde a antiguidade tem-se vindo a utilizar diferentes aditivos na construção em terra bem como revestimentos, argamassas ou pinturas à base de terra ou argila. Recentemente os investigadores têm-se debruçado sobre este tema, estudando diferentes adições, sempre com a preocupação de recuperar esse conhecimento antigo e associá-lo aos conhecimentos actuais.

O objectivo deste estudo é a análise e comparação do efeito de diversos biopolímeros perante a presença de água, seja pela influência na capacidade de absorção de água, seja pela estabilização do material, proporcionando um melhor comportamento mecânico quando este se encontra em presença de água. Pretende-se, de igual modo, responder aos requisitos exigíveis a este tipo de material, por vezes aparentemente contraditórios como a impermeabilidade à água e permeabilidade ao vapor de água, prevenir o aparecimento de fungos e verificar a sua equi-libridade na prática construtiva.

### **1. OS BIO-POLÍMEROS**

Polímeros são macromoléculas ou moléculas orgânicas de elevada massa molecular relativa com unidades de repetição, unidades estruturais menores (os monómeros). Compostos ou moléculas orgânicas são as substâncias 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, podemos referir que os bio-polímeros são polímeros orgânicos de origem natural e biológica.

A incorporação de bio-polímeros, na construção em terra, realiza-se desde longa data e estes eram utilizados, sobretudo, no sentido de melhorar o comportamento da terra face à água, existindo inúmeros exemplos de bio-polímeros que têm vindo a ser adicionados como estabilizantes na construção em terra. Existem os de origem

vegetal, como as farinhas, amidos, gomas de cactos, óleos, ceras e 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.

Um conhecido exemplo de utilização de bio-polímeros na antiguidade consiste no uso de *nopal* pelos povos pré-colombianos, como os Astecas, nas construções à base de terra. *Nopal*, *Nopalea coccinellifera* ou *Cactus cochenilliferus* ou *figueira-da-índia* são nomes dados a um cacto comum do México. O *nopal* ainda hoje é utilizado para protecção face à chuva, para permitir a inclusão de outros materiais de decoração nas paredes em terra, para o fabrico de tintas à base de cal, como impermeabilizante e, também, como aglutinante para o betão (Consejo de Promocion de Nopal y Tuna, 2009).

Os bio-polímeros podem ter diversos efeitos na argila que constitui o solo: efeito dispersante, permitindo uma redução da quantidade de água para se obter a mesma viscosidade, através de moléculas de pequeno tamanho e forte densidade de carga superficial, como por exemplo, celulose, amido ou ácidos orgânicos; o efeito de re-ligar as partículas de argila através de moléculas de cadeias longas de pouca carga superficial como a celulose, o amido, a caseína e as gomas e o efeito hidrofóbico (repelente de água) através de moléculas anfifílicas (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 (Fontaine, 2009, p.475-478). Em simultâneo, nestes compostos, verifica-se, ainda, o efeito de controlo de humidade e absorção de água através de moléculas de comportamento higroscópico, ou seja que absorvem água e humidade. Pode-se constatar que o principal efeito em termos reológicos é a capacidade que os bio-polímeros têm de alterar as cargas electrostáticas das placas de argila, que as mantém ligadas (*face to face*) (figura 1), originando a sua dispersão e atracção do *tipo face to edge*, podendo originar floculação (figura 2) (Fontaine, 2009, p.475-478 e Hamer, 2004).

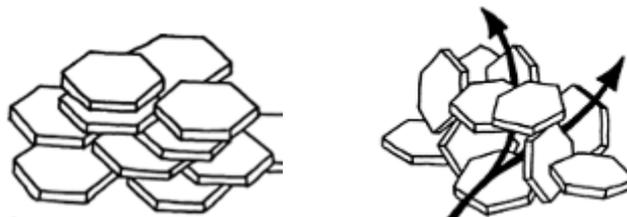


Fig.1 – placas de argila, disposição *face to face*; Fig.2 - placas de argila, disposição *face to edge* (Créditos: Hamer, 2004).

## 2. O EFEITO DE BIOPOLÍMEROS EM SOLO ARENOSO

Neste estudo, foi testado em laboratório o efeito de três bio-polímeros: amido, óleo de linhaça e glicerol de origem vegetal.

O amido consiste na mistura de dois polissacarídeos, amilose (moléculas de cadeias longas) e amilopectina (moléculas de cadeias curtas), que são polímeros de glicose (Almeida, 2007, p. 8-10). Pela sua composição o amido tem dois efeitos nas moléculas de argila: a amilopectina actua como dispersante, permitindo uma redução da quantidade de água para se obter a mesma viscosidade; por outro lado, a amilose tem a capacidade de re-ligar as partículas de argila.

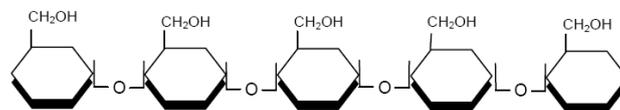


Fig.3 – Macromolécula de amido com n moléculas de glicose (Créditos: Almeida, 2007).

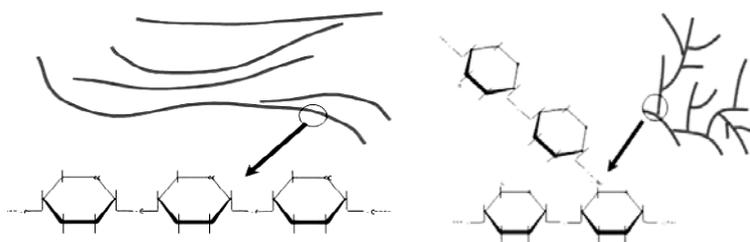


Fig.4 – Molécula de Amilose; Fig.4 – Molécula de amilopectina (Créditos: Almeida, 2007).

O óleo de linhaça é um ácido graxo, conhecido como ácido linoleico, cujas moléculas possuem uma cadeia longa. Deste modo, este óleo, além da sua propriedade de repelente da água, tem a função de re-ligar as partículas da argila, característica dos óleos em geral que possuem moléculas com uma parte hidrófoba na sua constituição.

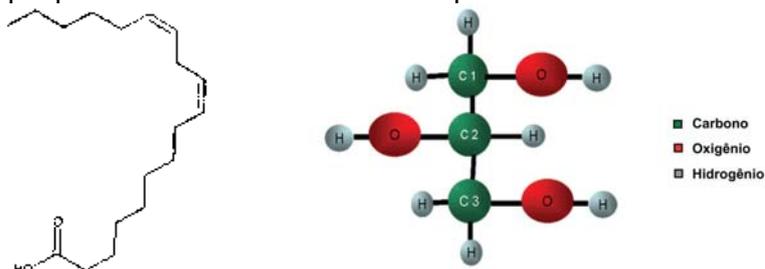


Fig.5 – Molécula de ácido linoleico (Créditos: www.3dchem.com); Fig.6 – molécula de glicerol (Créditos: Arruda, 2007).

O glicerol é um poliálcool, de fórmula estrutural apresentada na figura 6, é um produto higroscópico, não tóxico, viscoso, sem cor e odor produzido a partir de gorduras de origem animal ou vegetal. O termo glicerina é utilizado para compostos com 95% ou mais de glicerol (Arruda, 2007 p. 56-57).

Tradicionalmente, o glicerol era um subproduto da produção de sabão, contudo, esta produção tem diminuído. Por outro lado, o processamento de gorduras vegetais tem aumentado com a produção de biodiesel. Deste modo, o glicerol tem sido obtido por este processo, sendo, por isso, um subproduto cuja produção tem vindo a aumentar.

Sendo o glicerol uma substância higroscópica, a particularidade de reter água pode ser benéfica nas argilas, na medida em que será possível reter água quando esta começa a ser absorvida, demorando mais tempo o processo de absorção através de uma parede. Além disso permite o controlo da humidade do ar, devido à sua capacidade de absorção de vapor de água.

Para este estudo foram utilizados glicerol de origem vegetal com 99% de pureza, amido e óleo de linhaça comercial.

Para que fossem mantidas as melhores condições de neutralidade do solo, para uma avaliação mais precisa do efeito dos bio-polímeros, foi preparado um solo arenoso em laboratório com 80% de areia e 20% de caulino, garantindo assim a ausência de matéria orgânica.

Prepararam-se provetes cilíndricos de 30 mm de diâmetro e 40 mm de altura, prensados em prensa hidráulica manual, de solo simples e solo com cada um dos aditivos nas seguintes percentagens em relação à massa de solo: 0.4 % de amido; 1.0 % de óleo de linhaça e 1.0 % de glicerol. Procurou-se adicionar uma dosagem reduzida de bio-polímeros por razões económicas, tendo-se recorrido a uma quantidade de amido ainda menor que a dos restantes com base em estudos

anteriormente realizados (Eires, 2009). Estes foram mantidos em laboratório, submetidos à temperatura e humidade ambiente.

Posteriormente, realizaram-se os seguintes ensaios: ensaio de resistência à compressão simples, para uma avaliação das resistências mecânicas; resistência à compressão em estado saturado, atingido por absorção por capilaridade de 24 horas, para avaliação da perda de resistência; ensaio de absorção por capilaridade e ensaio de secagem para avaliação do comportamento face à presença de água.

O ensaio de absorção foi realizado através da colocação dos provetes cilíndricos em estufa a 40 °C, até estabilizar a sua humidade. Em seguida, durante 24 horas, os provetes foram sujeitos a absorção de água por capilaridade segundo o esquema representado na figura 7, sendo efectuadas pesagens em intervalos de tempo crescentes.

No ensaio de secagem procedeu-se à secagem dos provetes, colocando-os em estufa a 40 °C durante um período de 8 horas, sendo também efectuadas pesagens em intervalos de tempo crescentes.

Realizou-se ainda um estudo de microscopia electrónica das misturas com melhores resultados no ensaio de absorção, à excepção da amostra com aditivo aglutinante.



Mediante a análise dos resultados dos ensaios de compressão simples e compressão após saturação (figura 8), verifica-se que a incorporação de óleo de linhaça na mistura incrementa significativamente a resistência. A introdução de glicerol melhora ligeiramente as resistências e o amido diminui ligeiramente a resistência à compressão simples, embora tenha tido um ligeiro aumento quando as amostras se encontravam saturadas.

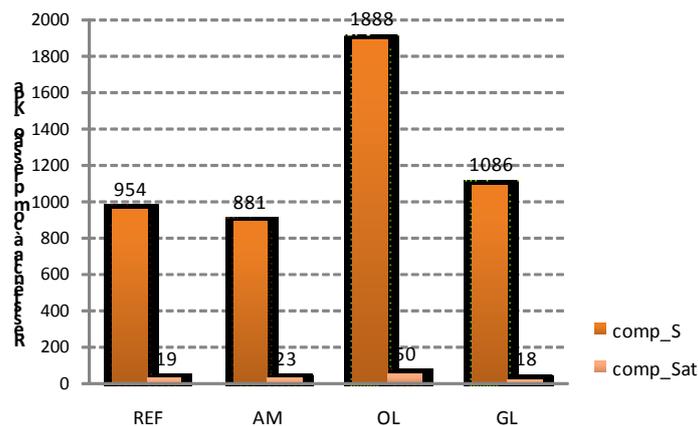


Fig.8 – Resistência à compressão, estado seco e saturado, com 14 dias de cura (Créditos: Rute Eires, 2009).

Os resultados de absorção de água por capilaridade (figura 9) mostram que a incorporação de glicerol (GL) resulta no melhor comportamento face à absorção de água durante mais horas, ≈14 horas, tem a menor absorção. Contudo o óleo de linhaça (OL) mostra uma menor absorção a longo prazo, após 6 horas o nível de

absorção começa a estabilizar. O solo com amido (AM) apresentou um comportamento semelhante ao solo simples (REF) durante as primeiras 8 horas, mas depois o seu comportamento convergiu para próximo do glicerol às 24 horas.

Quanto ao ensaio de secagem dos provetes a 40°C (figura 10), durante a secagem verifica-se que com o glicerol (GL), pela sua higroscópicidade, o solo tem uma menor perda de água em relação ao solo simples a partir de 2 horas de secagem. O Amido (AM) tem maior perda de água até às 6 horas, mas às 8 horas atinge o mesmo valor do solo simples (REF). Já o solo com óleo de linhaça (OL), mais hidrofobo, tem a maior perda de água em relação ao solo simples durante as 8 horas.

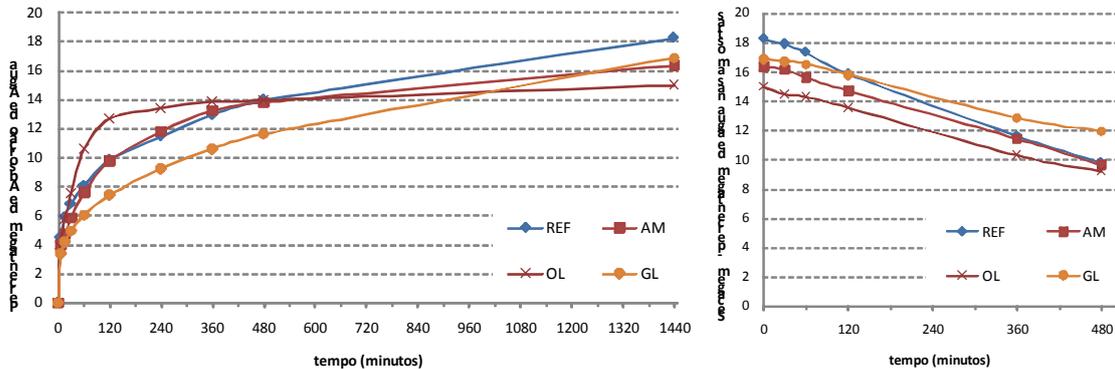


Fig.9 – Absorção de água por capilaridade; Fig.10 – Secagem (ensaios aos 14 dias de cura) (Créditos: Rute Eires, 2009).

### 3. O EFEITO COMPLEMENTAR DE UM ADITIVO AGLUTINANTE

Preparam-se provetes cilíndricos idênticos aos anteriores, com as mesmas percentagens de solo simples, amido, óleo de linhaça e glicerol e adicionou-se a cada uma das misturas um aditivo aglutinante, na percentagem de 0.1% em relação à massa de solo.

A figura 11 mostra que a introdução do aglutinante no solo simples e no solo com amido originou um aumento significativo da resistência à compressão (Ad. e AM\_Ad.). No entanto, as resistências decresceram nas misturas com óleo de linhaça e glicerol (OL\_Ad. e GL\_Ad.).

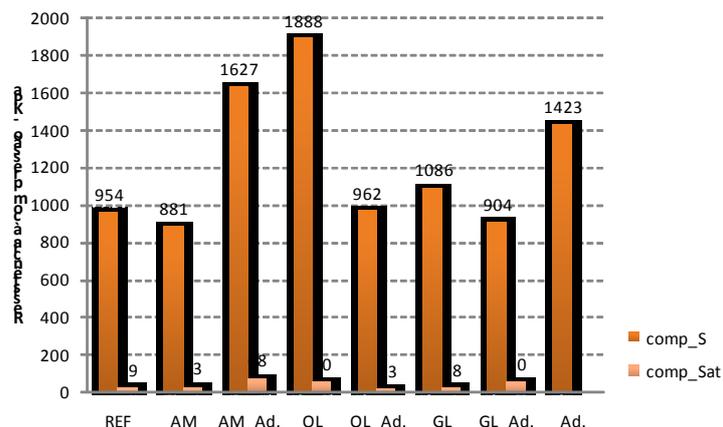


Fig.11 – Resistência à compressão, estado seco e saturado, com 14 dias de cura (Créditos: Rute Eires, 2009).

No ensaio de absorção de água por capilaridade (figura 12) verificou-se que a composição com melhor comportamento, ou seja com uma menor absorção de água, foi a do solo com o aditivo aglutinante (Ad.). Contudo, a mistura com glicerol e aditivo (GL\_AD.) também teve um comportamento próximo. Das restantes misturas

destacam-se, em relação ao solo de referência, as composições com amido e aditivo (AM\_AD.) e com glicerol (GL) com menor absorção, sobretudo nas primeiras horas.

Relativamente ao ensaio de secagem (figura 13), os resultados mostram que a composição com aditivo (Ad.) tem uma retenção de humidade menor do que as restantes composições.

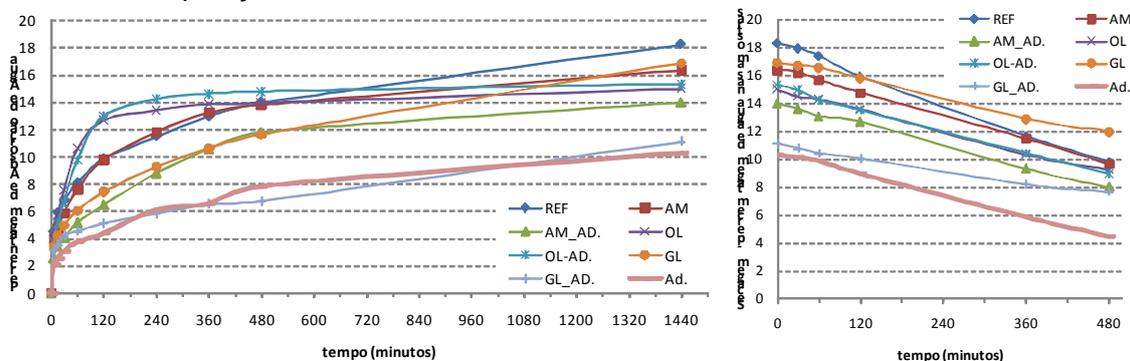


Fig.12 – Absorção de água por capilaridade; Fig.13 – Secagem (ensaios aos 14 dias de cura) (Créditos: Rute Eires, 2009).

Por intermédio da análise dos resultados do estudo microscópico realizado, pode-se observar, no solo simples, alguma dispersão da argila (caulino), mas continua com a maioria das placas paralelas (*face to face*) (figura 15). Nas composições com amido (AM), amido com aditivo (AM\_AD.), glicerol (GL) e glicerol com aditivo (GL\_AD.) não se notam diferenças significativas entre estas, mas em relação ao solo simples nota-se o efeito *face to edge*.

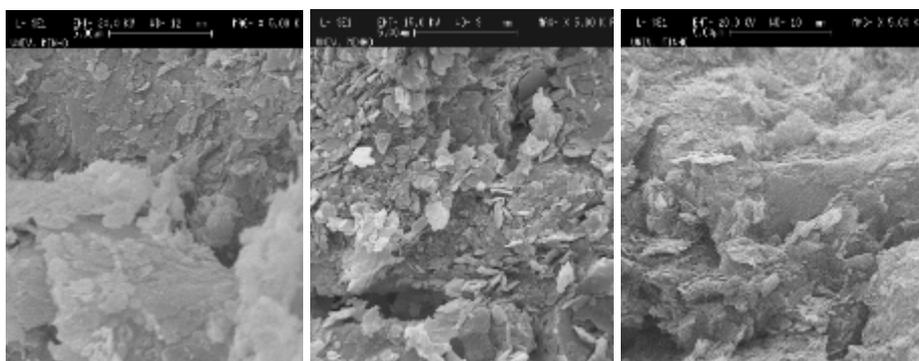


Fig.14, 15 e 16 – imagens de microscopia, a 5000 vezes, das composições REF; AM e AM\_AD. respectivamente (Créditos: Rute Eires, 2009).

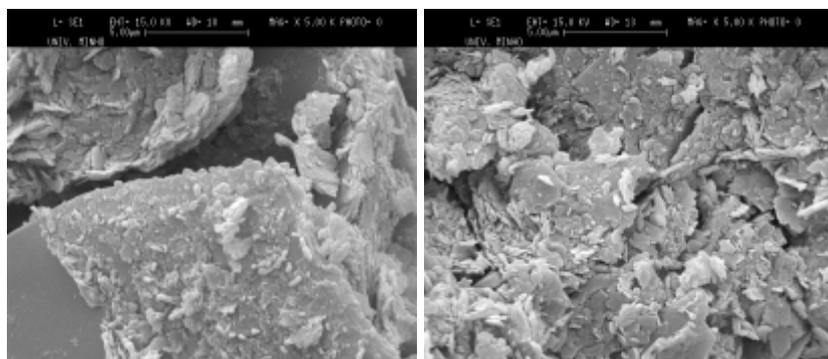


Fig.17 e 18 – imagens de microscopia, a 5000 vezes, das composições GL e GL\_Ad. respectivamente (Créditos: Rute Eires, 2009).

### 3. O EFEITO COMPLEMENTAR DO CLORETO DE SÓDIO

O cloreto de sódio, ou sal comum, é utilizado actualmente como aditivo em argamassas e betões cimentícios, com o propósito de acelerar a presa ou o processo de cura dos mesmos (Komar, 1974). Este produto é, também, aplicado em solos para evitar a suspensão de partículas de pó nas estradas não pavimentadas, uma vez que, devido à alta capacidade higroscópica dos sais, mantêm o solo humedecido (Bastos, 2009).

Desde a antiguidade que o sal foi empregue como acelerador de presa em argamassas à base de cal, sendo referido o seu possível uso em argamassas na Sé Catedral de Évora (Adriano, 2006 p. 53). Por outro lado, é referido o efeito do sal na viscosidade da argila e na sua consolidação, consoante o pH do solo, existindo um efeito de ligação óptimo aquando da utilização de uma quantidade de sal reduzida, sobretudo em solos alcalinos (Anger, 2009 p. 395-396).

A fim de avaliar o efeito da adição de cloreto de sódio, foram preparadas misturas com 0,1%, 0,25% e 0,5% de NaCl em relação à massa de solo.

Na figura 19 observa-se que a resistência à compressão, em provetes secos e saturados, apresenta um aumento crescente com a adição de NaCl no ensaio aos sete dias (ver linhas de tendência Comp\_S\_7d e Comp\_Sat\_7d). Contudo, aos 14 dias apenas se verifica uma melhor resistência na composição com 0,1% no estado saturado. Deste modo, verifica-se que a longo prazo a adição de sal terá influência nas resistências mecânicas apenas em solo saturado, deixando de haver influência no estado seco.

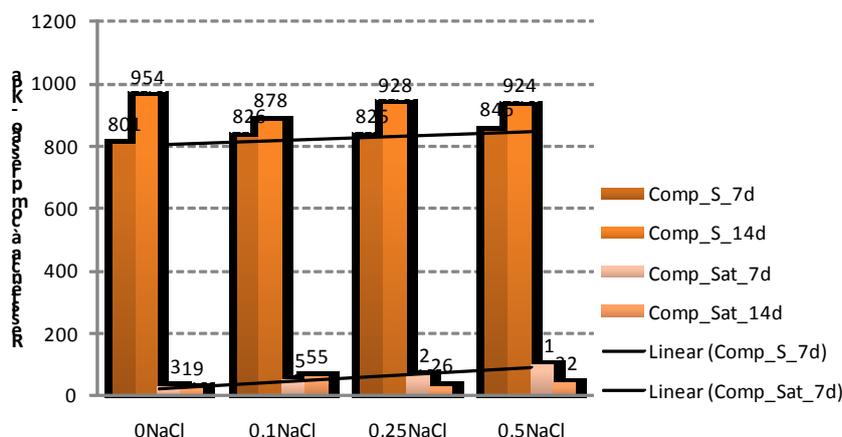


Fig.19 – Resistência à compressão, estado seco e saturado, com 7 e 14 dias de cura (Créditos: Rute Eires, 2009).

Em relação ao comportamento face à absorção de água, na figura 20, verifica-se um melhor comportamento face ao solo simples, ou seja uma menor absorção, nas composições com sal, sobretudo nas com 0,1% e 0,5% de NaCl (0,1NaCl e 0,5NaCl).

No ensaio de secagem confirma-se, ainda, o comportamento higroscópico do sal, uma vez que se verifica uma perda da água mais lenta das amostras com NaCl em comparação com o solo simples (0NaCl). Deve-se notar que o solo com 0,25% de NaCl retém mais humidade que as outras composições.

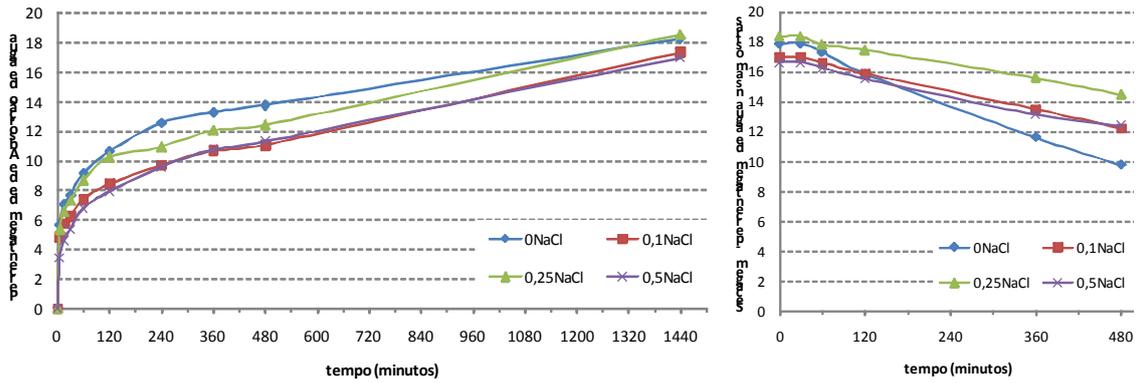


Fig.20 – Absorção de água por capilaridade; Fig.21 – Secagem a 40°C (ensaios aos 14 dias de cura) (Créditos: Rute Eires, 2009).

Posteriormente realizaram-se amostras com bio-polímeros, aditivo aglutinante e NaCl com as seguintes composições: uma com 0,4% de amido, 0,1% de aditivo e 0,1% de NaCl e outra com 1% de glicerol, 0,1% de aditivo e 0,1% de NaCl.

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que a introdução de sal nas misturas com glicerol (GL\_Ad\_NaCl) incrementou a resistência à compressão da composição análoga, sem NaCl (GL\_Ad.) (figura 23). Nas composições com amido (AM\_Ad\_NaCl) o efeito da adição de NaCl foi contrário, decrescendo a resistência à compressão face à composição análoga (AM\_Ad.). Contudo, a resistência à compressão continuou a ser superior na composição com amido (figura 22).

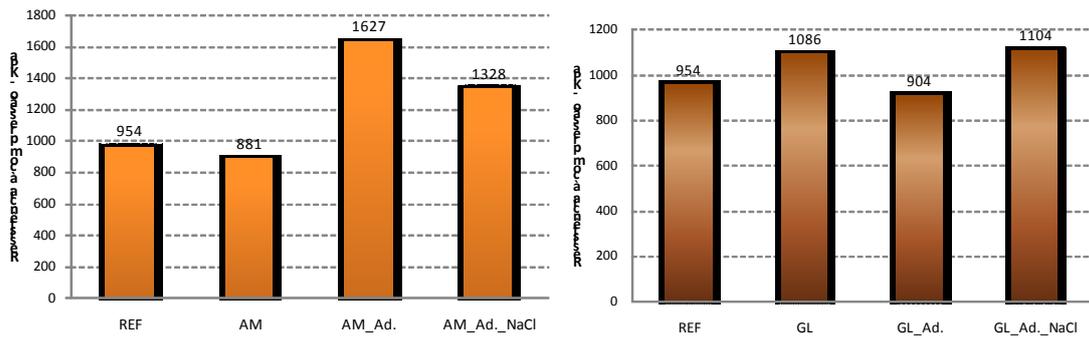


Fig.22 e 23 – Resistência à compressão, estado seco, com 14 dias de cura

Em relação à absorção de água, por observação da figura 24 constata-se que a adição de sal origina alguma redução de absorção de água (AM\_Ad\_NaCl), embora não seja uma diferença significativa em relação à mistura equivalente sem NaCl (AM\_Ad.).

Os resultados de secagem (figura 25) mostram uma perda menor que a amostra de referencia.

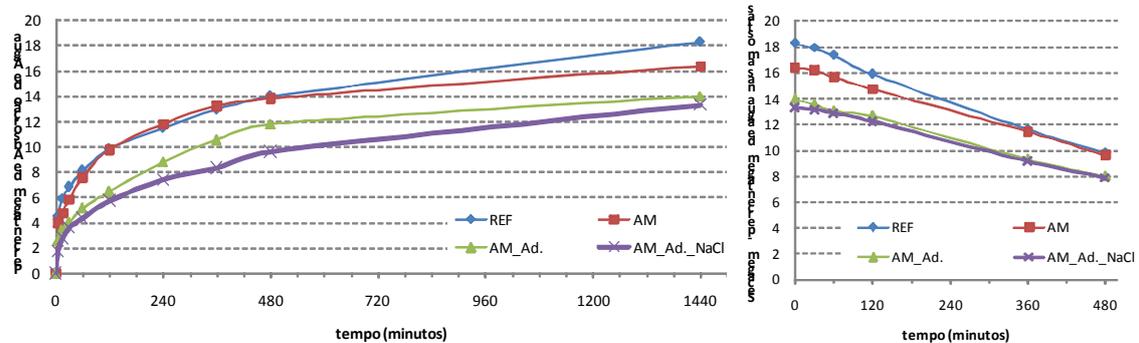


Fig.24 – Absorção de água por capilaridade; Fig.25 – Secagem (ensaios aos 14 dias de cura) (Créditos: Rute Eires, 2009).

No que refere à adição de sal na mistura com glicerol (figura 26) verifica-se um comportamento análogo ao da mistura com amido, apresentando a mistura com sal (GL\_Ad.NaCl) uma menor absorção de água em relação à mistura de glicerol com aditivo (GL\_Ad.). Relativamente à secagem, a figura 27 mostra com NaCl uma ligeira redução da quantidade de água nas amostras em relação à amostra análoga.

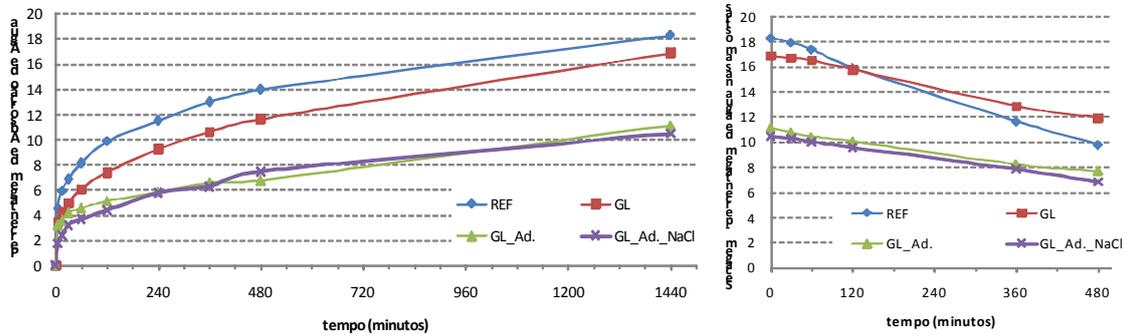


Fig.26 – Absorção de água por capilaridade; Fig.27 – Secagem (ensaios aos 14 dias de cura) (Créditos: Rute Eires, 2009).

No que se refere ao estudo de microscopia electrónica, as figuras 28 a 31 mostram que as composições de solo com sal (0,1NaCl) e de amido com aditivo e sal (AM\_Ad.\_NaCl) apresentam um maior efeito de floculação e efeito *face to edge* das placas de argila. Enquanto a composição com glicerol com aditivo e sal (GL\_Ad.\_NaCl) apresenta uma dispersão maior das placas de argila, mas um menor efeito *face to edge*.

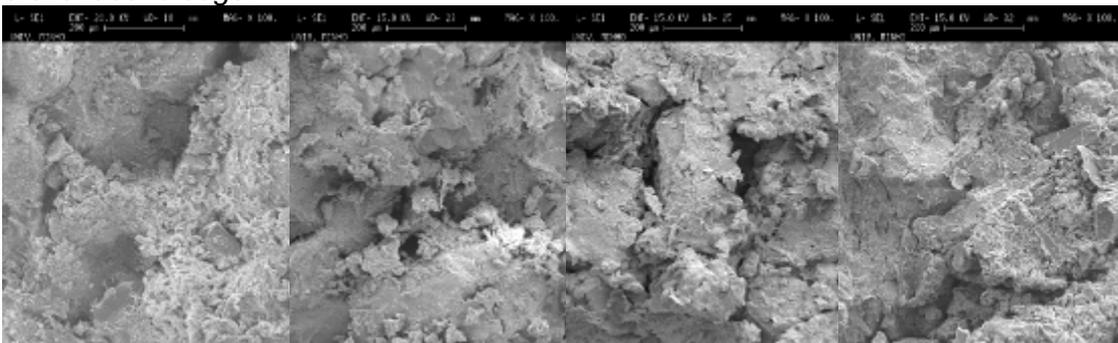


Fig.28, 29, 30 e 31 – imagens de microscopia, a 100 vezes, das composições REF; 0,1NaCl; AM\_Ad.\_NaCl e GL\_Ad.\_NaCl (da esquerda para direita) (Créditos: Rute Eires, 2009).

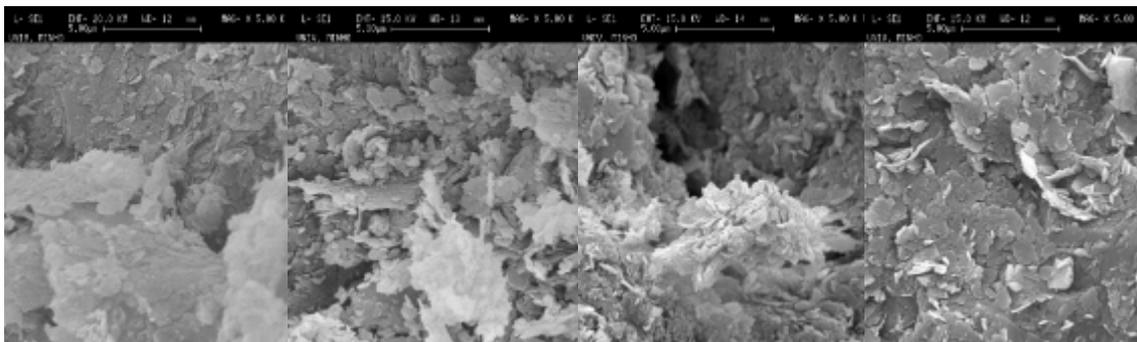


Fig.32, 33, 34 e 35 – imagens de microscopia, a 5000 vezes, das composições REF; 0,1NaCl; AM\_Ad.\_NaCl e GL\_Ad.\_NaCl (da esquerda para direita) (Créditos: Rute Eires, 2009).

#### 4. CONCLUSÃO

Este estudo permitiu analisar o efeito dos bio-polímeros estudados, da adição de aglutinantes e da adição de cloreto de sódio. Com base nos resultados obtidos, constata-se que não há uma relação directa entre as resistências mecânicas e a absorção de água ou da secagem, verificando-se melhores resistências mecânicas

com a adição de óleo de linhaça. No entanto, o melhor efeito na redução da absorção de água obteve-se com o aditivo aglutinante e com glicerol.

Os ensaios de absorção de água e de secagem permitiram ainda retirar conclusões sobre a perda de água por evaporação das diferentes composições. Os resultados obtidos confirmaram o efeito higroscópico do glicerol e do sal, através da menor perda de água nas amostras durante a secagem. Verificando-se que as composições com maior perda de água foram as composições com aditivo aglutinante, com glicerol e aditivo e esta última com sal. Notando-se quer o aditivo ou o sal tem um efeito redutor da higroscopicidade nas misturas com glicerol.

### **Bibliografia**

Ácido linoleico, [www.3dchem.com](http://www.3dchem.com) (acedido em 30-09-2009).

Adriano, P.; Silva, A. Santos (2006), Caracterização de Argamassas Antigas da Igreja de Santa Maria de Évora - Sé Catedral de Évora, Relatório LNEC 59/06-NMM, pp 53.

Almeida, A. ; Pinheiro, A.; Alexandre, G.; Silva, G.; Carneiro, R. e Melo, P. (2007), Influência da viscosidade no amido/cola no processo de fabricação de papel e papelão ondulado. FATEB – Faculdade de Telêmaco Borba - PR, pp. 8-10.

Anger, R.; Fontaine, L. e Houben, H., (2009), Influence de la teneur en sele et du ph sur la plasticite du materiau terre. *Mediterra 2009, 1ª Conferenza Mediterranea sull' Architettura in Terra Cruda*, Edicom Edizioni, pp. 391-397.

Arruda, P.; Rodrigues, R. e Felipe, M. (2007), Glicerol: um subproduto com grande capacidade industrial e metabólica. *Revista Analytica*, Dezembro 2006/Janeiro 2007, Nº26, pp 56-62.

Bastos, C. Estabilização de solos, *Mecânica dos Solos*, DMC/FURG, <http://www.dmc.furg.br/geotecnia/mecsolos> (acedido em 30-09-2009).

Consejo de Promocion de Nopal y Tuna, Usos y Aplicaciones del Nopal. Disponível em <http://www.cpnt.org.mx> (acedido em 15-09-2009).

Eires, R.; Camões, A. e Jalali, S. Compressed earth blocks Using metakaolin and lime with antifungicide additions *Mediterra 2009, 1ª Conferenza Mediterranea sull' Architettura in Terra Cruda*, Edicom Edizioni, pp.

Fontaine, L.; Anger, R.; Houben, H. (2009), Quelques mecanismes de stabilisation du materiau terre de l' terre stabilisee aux composites argiles – biopolymeres, *Mediterra 2009, 1ª Conferenza Mediterranea sull' Architettura in Terra Cruda*, Edicom Edizioni, pp. 475-478.

Hamer, F. e Hamer, J. (2004) *The Potter's Dictionary of Materials and Techniques*, Univ. of Pennsylvania Pr.

Komar, A. (1974), *Building Materials and Components*. Mir Publishers Moscow.

### **Curriculum**

**Rute Eires**, Arquitecta, (UM, 2003). Mestre em Materiais e Reabilitação da Construção na área dos Materiais Sustentáveis (UM, 2006). Doutoranda em Materiais de Construção no Departamento de Engenharia Civil (UM desde 2008).

**Aires Camões**, Doutorada em Engenharia Civil, Professor Auxiliar do grupo de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho.

**Sáid Jalali**, Doutorado em Engenharia Civil, Professor Catedrático do grupo de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho.