

Construção de Terra – Projecto de Andorinha

Bruno Silva*, Fernando Nunes**, Pedro Tavares**, Humberto Varum***, Jorge Pinto*

*Departamento de Engenharias
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD)
Quinta de Prados – Vila Real

Telf: +351 259 350 356; Fax: +351 259 350 356; e-mail: brnsilva45@gmail.com,
jcorreia@utad.pt, tiago@utad.pt

**Departamento de Química
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD)
Quinta de Prados – Vila Real

Telf: +351 259 350 356; Fax: +351 259 350 356; e-mail: fnunes@utad.pt, ptavares@utad.pt

***Departamento de Engenharia Civil
Universidade de Aveiro (UA)
Campus Universitário de Santiago – Aveiro

Telf: +351 234 370 049; fax: +351 234 370 094; e-mail: hvarum@ua.pt

Resumo - O presente trabalho de investigação tem como principal objectivo dar um contributo na temática das soluções de melhoramento do comportamento e do reforço de elementos construtivos de terra a partir do estudo biomimético do ninho da *andorinha-dos-beirais*. Os resultados experimentais obtidos apontam para a existência de polissacarídeos/açúcares no material do ninho e que possivelmente são adicionados pela *andorinha-dos-beirais* durante o processo de construção do ninho.

1. Introdução

Cerca de metade da população mundial, aproximadamente três bilhões de pessoas em seis continentes, habita ou trabalha em edifícios construídos em terra [1]. Nos países menos desenvolvidos esta realidade atinge cerca de metade dos edifícios [2]. A construção de terra é um património mundial que reflecte a diversidade cultural [3].

Exemplos de construções antigas de terra são a *Muralha da China*, na China, de 2000 A.C. [4] e a cidade de *Arge Bam*, no Irão, de 500 A.C., este impressionante património de terra também é revelador que este tipo de construção pode ter uma enorme durabilidade. Paralelamente, também existem construções de terra de vanguarda tais como o *Adobe Repository for Buda Statue*, no Japão, de 2001 [5] e o *Desert Cultural Centre*, no Canadá, de 2006 [6] e que são reveladoras de que a construção de terra é uma alternativa de construção do futuro.

A biomimética é uma área da ciência que se baseia no estudo da natureza de forma a extrapolar novas formas de adaptação ao planeta. Mecanismos biológicos e estruturas naturais são dois exemplos de modelos naturais de imitação usados na biomimética. Têm sido realizados inúmeros trabalhos de investigação nesta área científica e em campos de aplicação diversos [7]. São exemplos, os mecanismos e as estratégias de defesa/ataque inspirados em organismos vivos, trabalhos

sobre nano-materiais e transplantes de órgãos humanos e o conceito de pré-esforço orgânico inspirado no modelo do músculo do bíceps humano [8].

No presente trabalho, o ninho da *andorinha-dos-beirais* foi o modelo natural estudado. Outros exemplos de construções naturais à base de terra crua são o ninho da *vespa solitária* e o ninho das *térmitas*. Este trabalho de investigação pretendeu aferir se a *andorinha-dos-beirais* introduz alguma espécie de aglutinante natural na fase de construção do ninho e que possa induzir uma melhoria de qualidade do material. Esta informação poderá ser extrapolada para o contexto da construção civil e, em particular, na construção de terra.

Para o efeito, foi necessário e fundamental efectuar uma identificação/caracterização exaustiva do material constituinte dos ninhos em termos de composição química elementar, de composição mineralógica e de composição orgânica, através de um estudo experimental que incluiu análises em Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive Spectroscopy (SEM/EDS), difracção de raios-X, análises colorimétricas e cromatografia iónica. Os resultados experimentais obtidos indicam que a *andorinha-dos-beirais* aparentemente adiciona uma pequena quantidade de polissacarídeos/açúcares ao solo argiloso durante o processo de construção do ninho.

2. *Andorinha-dos-beirais*

A *andorinha-dos-beirais*, Figura 1, é uma ave migratória. Em média, o seu comprimento é de 12,5 cm e seu peso é de 18,3 g. Cada postura inclui quatro ou cinco ovos (1,9 cm comprimento, 1,3 cm de diâmetro e 1,7 g de peso). Geralmente, há duas posturas por um período estival. O ninho que é uma estrutura natural feita de solo argiloso recolhido em cursos de água existentes em zonas circundantes e próximas do ninho, é

geralmente reutilizado em anos consecutivos o que requer que a andorinha-dos-beirais tenha que o reparar.

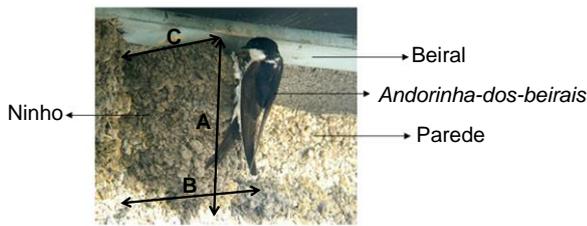


Fig. 1. Andorinha-dos-beirais e ninho

Entre outros países da Europa, esta ave também passa o período estival em Portugal e, em particular, na cidade de Vila Real (capital da região de Trás-os-Montes e Alto Douro, parte nordeste de Portugal continental) onde este trabalho de investigação foi desenvolvido.

3. O Ninho da *Andorinha-dos-beirais*

Actualmente é muito frequente encontrar a *andorinha-dos-beirais* nas áreas urbanas e em zonas próximas de cursos de água. Na Figura 1 é mostrado um ninho da *andorinha-dos-beirais*, este é construído na junção da parede e do beiral permitindo desta forma a existência de duas superfícies de contacto para o suporte do ninho e criar condições de protecção do ninho em relação à chuva e ao ataque de predadores. Pode-se também observar na Figura 1 que a parede do ninho é formada por pequenas porções de argila ligadas entre si e á semelhança de uma construção de adobe. Observa-se também que as dimensões das porções de argila tendem a diminuir no sentido da base para o topo do ninho.

Neste trabalho de investigação foram usadas seis amostras de ninho que foram recolhidas em três locais diferentes de Vila Real e que são São Dinis, Mateus e Noura. Na Figura 2 estão indicados esses locais assim como o local onde se recolheu o solo argiloso designado por material de referência. A Tabela I apresenta as coordenadas Global Position System (GPS) desses locais. A Tabela II apresenta o peso e as dimensões (altura (A), largura (B), a profundidade (C) e valor médio de espessura (D), Figura 1) das seis amostras de ninho.



Fig. 2. Locais de recolha do material de referência e dos ninhos [9]

TABELA I
COORDENADAS GPS DOS LOCAIS DE RECOLHA

	Norte	Oeste
Referência	41° 17' 02.21"	7° 45' 37.15"
São Dinis	41° 18' 13.78"	7° 45' 10.75"
Mateus	41° 17' 49.48"	7° 42' 45.52"
Noura	41° 23' 45.37"	7° 45' 37.15"

TABELA II
DADOS RELATIVOS AOS NINHOS RECOLHIDOS

Amostra	Local	Peso (g)	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)
1	São Dinis	388	12,7	18,3	7,4	2,1
2	São Dinis	414	12,3	17,7	8,1	2,2
3	Mateus	375	11,6	17,6	7,8	2,1
4	Mateus	584	13,2	18,2	8,2	2,2
5	Noura	393	11,8	18,3	7,7	1,9
6	Noura	403	12,1	18,4	7,9	2,2

Nos ensaios de identificação/caracterização do material do ninho, que serão apresentados e discutidos nas secções seguintes, foram considerados três tipos de amostras de ninho e que são relativas aos três locais de recolha (São Dinis, Mateus e Noura). A amostra por local de recolha foi obtida através da mistura do material dos dois ninhos recolhidos nesse local.

4. Identificação / Caracterização do material do ninho

Tal como foi referido anteriormente, o ninho da *andorinha-dos-beirais* é construído à base de um solo argiloso. De forma a verificar este facto e a verificar se a *andorinha-dos-beirais* incorpora algum componente ao solo durante o processo de construção do ninho foram realizados vários ensaios tais como SEM/EDS, difracção de raios-X, análise colorimétrica e cromatografia iónica.

A. SEM/EDS

A identificação/caracterização da composição química elementar foi efectuada através da realização de ensaios SEM/EDS, no laboratório de Microscopia Electrónica, da UTAD. Os resultados obtidos através destes ensaios estão apresentados na Tabela III e verifica-se que o material do ninho (amostras de São Dinis, Mateus e Noura) e o solo argiloso (amostra de Referência) apresentam uma composição química elementar semelhante, em que os elementos químicos mais abundantes são o oxigénio (O), a sílica (Si) e o alumínio (Al), que em termos médios existem com 45,6%, 29,4% e 14,1%, respectivamente.

TABELA III
RESULTADOS SEM/EDS. COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR

Elementos %	Amostras			
	Referência	São Dinis	Mateus	Noura
Oxigénio (O)	48,12	45,67	41,72	46,80
Sódio (Na)	0,69	0,81	0,42	1,43
Magnésio (Mg)	0,89	0,33	0,75	1,10
Alumínio (Al)	12,90	15,54	15,54	12,60
Silica (Si)	29,04	27,47	33,08	27,85
Cloro (Cl)	0,00	0,99	0,00	0,09
Potássio (K)	3,62	6,22	2,89	3,45
Cálcio (Ca)	0,00	0,00	0,00	0,61
Titânio (Ti)	0,38	0,21	0,48	0,57
Ferro (Fe)	4,36	2,76	5,12	5,50

B. Difracção de raios X

Os ensaios de difracção de raios-X também foram realizados no laboratório de Microscopia Electrónica, da UTAD e com o objectivo de identificar/caracterizar a composição mineralógica dos materiais. Para o efeito, foi utilizado o equipamento X`Pert PANalytical PRO com um detector Accelerator X.

Os resultados obtidos pelo ensaio de difracção de raios-X estão apresentados na Figura 5 através de curvas de difracção das quatro amostras de material ensaiadas (Referência, Mateus, São Dinis e Noura). Estes resultados indicam que a composição mineralógica das quatro amostras é semelhante, em que os minerais mais abundantes são o quartzo, a moscovite, o clinoclóro e o alumíno-silicato de potássio.

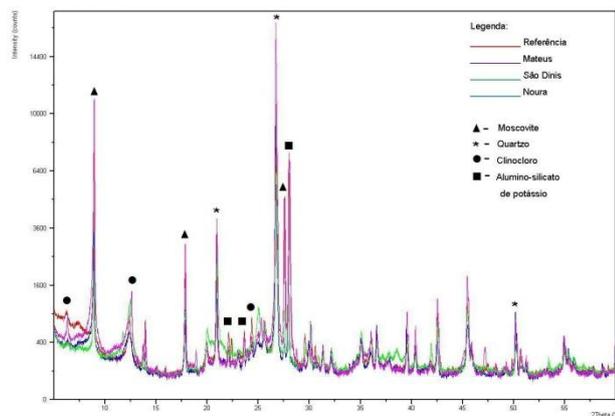


Fig. 3. Gráficos combinados da composição mineralógica resultantes da difracção de raios-X

C. Análise Colorimétrica

A composição orgânica das amostras de material foi identificada/caracterizada pela análise colorimétrica, no laboratório de Química Fina e Aplicada, da UTAD. Este processo de identificação foi realizado com a intenção de detectar a presença de proteínas ou de polissacarídeos/açúcares. Pensa-se que estes polímeros orgânicos sejam os mais prováveis de existir no material do ninho e resultantes do seu processo construtivo. Para a detecção da presença de proteínas foi utilizado o método do biureto. Para a detecção da presença de

polissacarídeos/açúcares foi utilizado o método dos açúcares totais [10]. Numa primeira fase, fase preliminar, apenas as amostras de São Dinis e de Referência foram analisadas, em que foram usadas duas amostras de cada material, Tabela IV. A Figura 4 ilustra as etapas principais deste procedimento.



Fig. 4. Etapas da análise colorimétrica e equipamentos utilizados

Os reagentes utilizados nos métodos do biureto e dos açúcares totais foram proteínas e ácido sulfúrico, respectivamente. Os resultados preliminares da análise colorimétrica estão apresentados na Tabela IV e em que se pode observar que foi usada uma amostra de água ultra-pura como um indicador comparativo.

TABELA IV
ABSORVÂNCIAS MOLECULARES DAS AMOSTRAS DE REFERÊNCIA E DO NINHO DE SÃO DINIS

Absorvância molecular	Branco (água ultra-pura)	Referência (Argila)		São Dinis	
		Biureto	Açúcares totais	Biureto	Açúcares totais
	0,156	0,174	0,176	0,127	0,138
	0,220	0,340	0,580	1,366	1,142

Comparando os valores das absorvâncias moleculares obtidos pelo método do biureto para as amostras de Referência e de material do ninho de São Dinis verifica-se que ambos os materiais apresentam uma quantidade semelhante e inexpressiva de proteínas.

Fazendo uma análise similar para os resultados obtidos através do método dos açúcares totais, Tabela IV, observa-se que o material do ninho de São Dinis apresenta uma quantidade de polissacarídeos/açúcares superior à obtida nas amostras de Referência e de água ultra-pura. Com o intuito de confirmar estes resultados, uma segunda série de análises colorimétricas focadas no método dos açúcares totais foram realizadas utilizando amostras de material do ninho de Mateus, de São Dinis e de Noura.

TABELA V
RESULTADOS DA ANÁLISE COLORIMÉTRICA – MÉTODO DOS AÇÚCARES TOTAIS

Água ultra-pura	Amostras			
	Referência	Mateus	São Dinis	Noura
0,220	0,392	0,702	1,812	0,427

Os resultados obtidos através desta segunda série de ensaios estão apresentados na Tabela V e confirmam a conclusão obtida através da primeira série de análises em que a quantidade de polissacarídeos/açúcares existente no material dos ninhos é superior à respectiva quantidade existente no solo argiloso extraído no curso de água.

D. Cromatografia iónica

De forma a identificar/caracterizar os tipos de polissacarídeos/açúcares e a quantificar estes componentes foram realizadas análises de cromatografia iónica, no laboratório de Cromatografia, da UTAD. Os polissacarídeos/açúcares foram extraídos das amostras através de hidrólise directa. Os tipos de polissacarídeos/açúcares estudados são aqueles que são considerados os mais comuns na natureza [11] e que são a fucose (Fuc), a arabinose (Ara), a galactose (Gal), a glucosamina (GlcN), a glicose (Glc), a manose (Man) e a xilose (Xyl).

TABELA VI
RESULTADOS DA CONCENTRAÇÃO DE AÇÚCARES DAS AMOSTRAS DE REFERÊNCIA E DE NINHO

Amostras	Fuc (mg/g)	Ara (mg/g)	Gal (mg/g)	GlcN (mg/g)	Glc (mg/g)	Man/Xyl (mg/g)	Total_1 (mg/g)
Referência	0,014 (1.7%)	0,177 (21.5%)	0,174 (21%)	0,00 (0%)	0,332 (40%)	0,128 (16%)	0,825 (19%)
Mateus	0,017 (1%)	0,220 (15%)	0,156 (11%)	0,257 (17%)	0,614 (42%)	0,208 (14%)	1,472 (35%)
Noura	0,020 (3%)	0,116 (20%)	0,105 (10%)	0,00 (0%)	0,248 (44%)	0,077 (14%)	0,565 (13%)
São Dinis	0,013 (1%)	0,202 (15%)	0,571 (42%)	0,00 (0%)	0,427 (30%)	0,165 (12%)	1,379 (33%)
						Total_2 (mg/g)	4,241

Os resultados estão apresentados na Tabela VI verificando-se que todas as amostras de materiais incluindo a amostra de Referência, têm polissacarídeos/açúcares nas suas composições. O material das amostras de ninho de Mateus e São Dinis têm uma percentagem de polissacarídeos/açúcares superior (35% e 33%, respectivamente) às amostras de material do ninho de Noura e de Referência (13% e 19%, respectivamente).

Em termos de quantidade de polissacarídeos/açúcares, a amostra do ninho Noura é aquela que é mais semelhante à amostra de Referência. Este resultado talvez possa estar relacionado com o facto do ninho de Noura ter sido recolhido num dia chuvoso e ter, por isso, havido um lixíviamento de material.

Considerando a possibilidade da *andorinha-dos-beirais* adicionar uma certa quantidade de polissacarídeos/açúcares ao material durante o processo de construção do ninho, será seguidamente identificado o tipo de polissacarídeos/açúcar que existe em maior quantidade nas amostras de ninho em relação à amostra de Referência. Os resultados da Tabela VI indicam que esse tipo de polissacarídeo/açúcar poderá ser a Glc

porque as amostras de material do ninho de Mateus e de Noura apresentam 42% e 44% de Glc, respectivamente, enquanto que o respectivo valor da amostra de Referência é de 40%.

Com base nestes resultados, pode-se pensar que existe a possibilidade da *andorinha-dos-beirais* adicionar uma pequena quantidade (aproximadamente 3%) de Glc no material do ninho durante o seu processo de construção. Contudo, estes resultados também evidenciam alguma discrepância e que poderá estar relacionada com o facto do solo argiloso utilizado como amostra de Referência não ser representativo do solo argiloso existente na região. Um trabalho de investigação adicional necessita de ser desenvolvido nesta matéria utilizando para o efeito um maior número de amostras de solo e também de ninhos.

6. Principais conclusões

O ninho da *andorinha-dos-beirais* é uma estrutura natural construída com solo argiloso e pode ser utilizado como um modelo biomimético no contexto da construção de terra.

Actualmente, é frequente encontrar ninhos da *andorinha-dos-beirais* em áreas urbanas e, principalmente, perto dos cursos de água. As dimensões médias de um ninho da *andorinha-dos-beirais* são 12 cm de altura, 18 cm de largura, 8 cm de profundidade e 2 cm espessura de parede.

O ninho tem uma durabilidade notável atendendo a que é re-utilizado em diversos anos.

Os ensaios SEM/EDS e de difracção de raios-X mostraram que as composições químicas elementares e mineralógica do material do ninho são similares às do solo argiloso local.

As análises colorimétricas revelaram que não existe uma quantidade expressiva de proteínas no material de ninho. Por outro lado, estas análises permitiram concluir que existe a possibilidade da *andorinha-dos-beirais* adicionar uma pequena quantidade de componentes orgânicos do tipo polissacarídeos/açúcares no solo argiloso durante o processo de construção do ninho.

O processo de identificação do tipo de polissacarídeo/açúcar de cromatografia iónica revelou-se muito complexo. Os resultados experimentais obtidos através deste processo, ainda que não sendo totalmente coerentes, indicam que a glicose poderá ser o tipo de polissacarídeo/açúcar naturalmente adicionado pela *andorinha-dos-beirais*. Foi sugerido que deverá ser realizado um trabalho de investigação adicional usando um maior número de amostras de solo argiloso da região e também um maior número de amostras de ninho e de forma a dissipar esta possível incoerência.

Referências

- [1] <http://www.eartharchitecture.org/>;
- [2] G. Minke, *Manual de construcción en tierra*, Editorial fin de siglo, Uruguai (2005);
- [3] J. Carvalho, J. Pinto, H. Varum, A. Jesus, J. Lousada, J. Morais, “Estudo do material terra usado nas construções em tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, in . *VII Seminário Ibero-americano de Construção com Terra e II Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasi'2008*;
- [4] www.greatwallchina.info;
- [5] www.flickr.com/photos/negaheno/;
- [6] <http://www.canadianarchitect.com/>;
- [7] Y. Bar-Cohen, *Biomimetics, Biological Inspired Technologies*, Taylor & Francis ,California, EUA (2006);
- [8] A. André, P. Pacheco, A. Fonseca, Pré-Esforço orgânico: Estudos sobre a Aplicação de uma nova tecnologia, *V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Tecnologia de Concreto*, São Paulo, Brasil, (2003);
- [9] URL:<http://maps.google.pt/maps?hl=pt-PT&tab=wl>;
- [10] M. K. Dubois, A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers, F. Smith, Colorimetric Method for determination of Sugars and Related Substances, (2002);
- [11] Y. C. Lee, “Carbohydrate analyses with high-performance anion-exchange chromatography”, in *Journal of Chromatography'1996, A*, pp. 137 – 149.