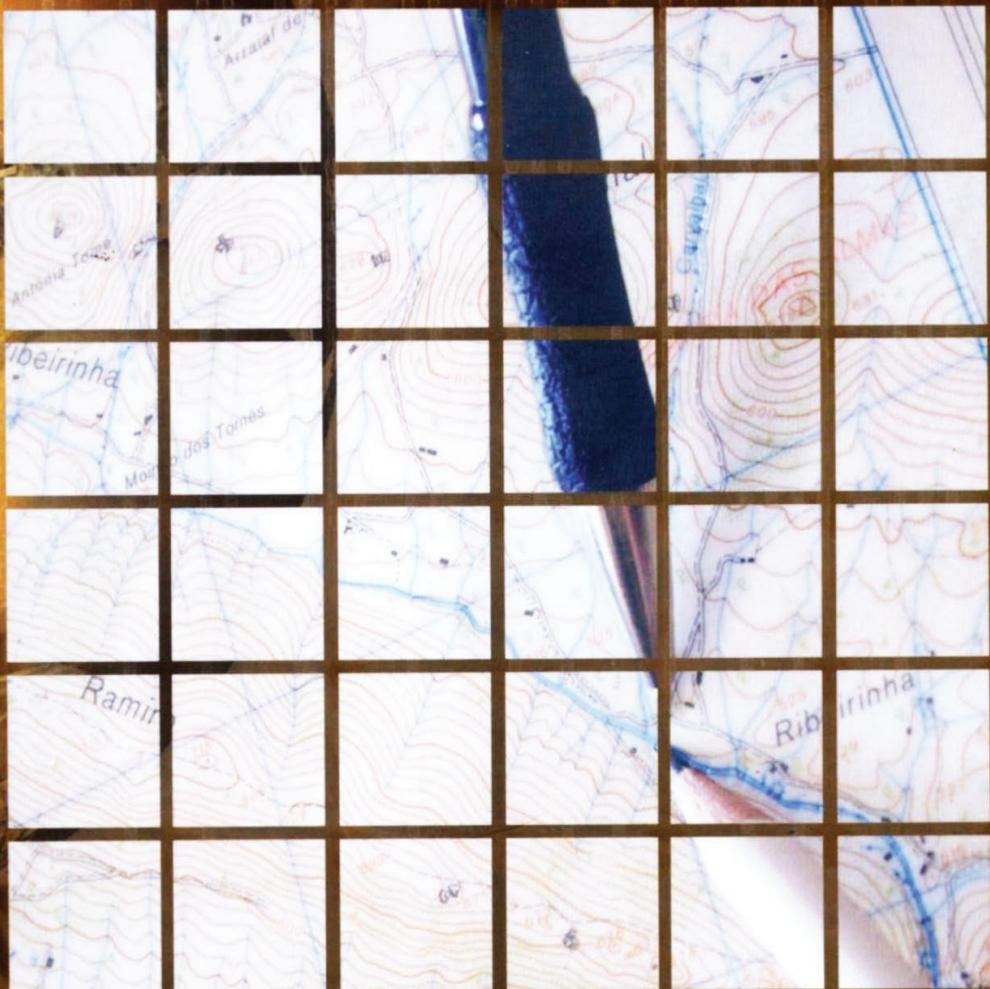


Instituto de Estudos Geográficos  
Centro de Estudos Geográficos

# Cadernos de Geografia



Nº 24/25 - 2005/06

Faculdade de Letras | Universidade de Coimbra

## Modelação tridimensional e georrecursos arenoargilosos da zona superior da "Bacia de Aveiro"

A. O. Amado

Geólogo. Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro - Coimbra. aamado@ctcv.pt

L. I. Ribeiro Santos

Geógrafa. luciarsantos@gmail.com

J. A. C. Correia Marques

Geólogo. joaocorreiamarques@sapo.pt

A. M. Rochette Cordeiro

Geógrafo. Centro de Estudos Geográficos da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra. amrochette@yahoo.com

### Resumo:

O recurso à utilização dos "Modelos Digitais de Terreno" em trabalhos no âmbito das Ciências da Terra mostra que, numa fase inicial, a aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) nesta área assumia, preferencialmente, objectivos de análise simples, tais como o do enquadramento morfológico.

As aplicações agora propostas inserem-se numa nova perspectiva para este tipo de análises, com relevância no âmbito do ordenamento e planeamento do território, associado, por exemplo, à revisão dos PDM's, mas, fundamentalmente, na sua aplicabilidade à avaliação de georrecursos, com grande importância para a indústria extractiva e, também, para a indústria transformadora, que os utilizam como matérias-primas nos respectivos processos fabris.

Através da compilação e síntese da informação geológica existente relativa à "Bacia de Aveiro" e, em particular, à formação cretácica terminal, conseguida através de dezenas de sondagens georeferenciadas e de centenas de pontos de afloramento desta formação, igualmente georeferenciados, foi possível a modelação da parte superior da bacia na sua quase totalidade, permitindo a constatação dos locais onde a espessura da formação é mais ou menos significativa, das variações geográficas dessa mesma espessura e da proximidade desta à superfície do terreno.

A importância económica das "Argilas de Aveiro" e das areias que a recobrem como georrecursos arenoargilosos de grande importância para diversas fileiras industriais torna a modelação uma componente relevante no perspectivar de novos caminhos para a sua exploração, permitindo, em simultâneo, um maior conhecimento da geologia, geomorfologia e mesmo paleogeomorfologia deste sector da Orla Meso-Cenozóica ocidental.

Palavras-chave: MDT's. Georrecursos. Geomorfologia e ordenamento. Centro litoral.

### Résumé

*Modélisation tridimensionnelle et géoressources arénoargileuses de la zone supérieure du Bassin d'Aveiro (Portugal)*

Le recours aux "Modèles Digitaux de Terrain" dans des travaux relevant des Sciences de la Terre montre que, dans une phase initiale, l'application des Systèmes d'Information Géographique (SIG) à ce domaine visait de préférence des objectifs d'analyse simple tel que l'encadrement morphologique.

Les applications proposées maintenant s'insèrent dans une perspective nouvelle où il est possible d'utiliser ce type d'analyses qui s'avère parfaitement adapté aux questions de l'aménagement du territoire, associé par exemple à la révision des PDM, mais fondamentalement approprié à l'évaluation de géoressources, d'une grande importance pour l'industrie extractive et, également, pour l'industrie transformatrice qui les utilisent comme matières premières.

En recueillant et en synthétisant l'information géologique relative au "Bassin d'Aveiro" et, en particulier, à la formation crétacique terminale, information obtenue à travers des dizaines de sondages géoréférenciés et des centaines de points d'aflurement de cette formation, eux aussi géoréférenciés, il a été possible de procéder à la modélisation de la partie supérieure du bassin dans sa quasi-totalité. Nous avons ainsi pu repérer les endroits où l'épaisseur de la formation est plus ou moins significative, tout en mesurant les variations géographiques de cette couche et sa proximité à la surface du terrain.

Du point de vue économique, les "Argiles d'Aveiro" constituent, avec les sables qui les recouvrent, des géoressources arénoargileuses de grande importance pour diverses industries. La modélisation est susceptible d'ouvrir de nou-

veaux chemins à leur exploitation, permettant, simultanément, de mieux connaître la géologie, la géomorphologie et même la paléogéomorphologie de cette portion de la bordure méso-cénozoïque occidentale.

Mots-clé: MDT, Géorressources. Géomorphologie et aménagement. Centre littoral.

## Abstract

### *3D Models and sandy-clayish georesources in the upper "Aveiro Basin"*

The use of "Digital Terrain Models" in Earth Science studies shows that, when applied at an early stage, Geographic Information Systems (GIS) in this domain tends to pursue simple analytical goals, as is the case of morphological description.

The applications herein proposed are part of a new approach for this type of analysis. The approach in question is particularly relevant in the context of regional planning (having to do, for instance, with municipal development plan reviews), but first and foremost in the context of the assessment of geological resources, which can be of great importance to mining and manufacturing, where they are used as raw materials.

Based on a compilation and a synthesis of available geological information regarding the "Aveiro Basin" and the late cretaceous formation in particular, with data obtained from dozens of geo-referred drillings as well as hundreds of geo-referred outcroppings of said formation, it was possible to establish a model of most of the upper basin. This allowed us to determine those locations where formation thickness was especially significant, as well as geographic variations of the thickness and its proximity to the topographic surface.

The economic importance of the "Aveiro Clays" and of their upper sands as sandy-clayish georesources for the mining and manufacturing industries makes model-building a most relevant part of the effort to find new avenues of exploration of those raw materials, while also permitting a wider knowledge of the geological, geomorphological and even paleogeomorphological nature of this sector of the western Meso-Cenozoic Rim.

Key-words: DTM's. Georesources. Geomorphology and distribution. Coastal Central Region.

## 1. Introdução

Nas actuais sociedades desenvolvidas a dependência relativamente aos recursos minerais é uma realidade irrefutável e de grande relevância. Estima-se que cerca de 80% dos bens móveis e imóveis consumidos anualmente "*per capita*" provenham do uso directo ou das transformações dos recursos naturais, nomeadamente os geológicos.

Esta constatação aconselha a implementação de acções urgentes de protecção dos georrecursos, com o objectivo de garantir um modelo de desenvolvimento que evite o continuar dos atentados que se têm vindo a verificar e que têm conduzido ao seu desperdício e delapidação crescente.

A prospeccção sistemática de recursos minerais é uma actividade indispensável, por englobar um conjunto de informação que possibilita definir as zonas potenciais de ocorrência de concentrações minerais úteis, as quais servirão de base ao investimento privado na respectiva avaliação, na quantificação das reservas exploráveis e, finalmente, na eventual implementação de novas actividades industriais.

A importância económica das "Argilas de Aveiro" e das areias sobrejacentes, como georrecursos arenosos e argilosos para a indústria extractiva e diversas fileiras transformadoras, torna a modelação

da bacia uma componente de capital importância na perspectivar de novos caminhos para a sua exploração, permitindo, em simultâneo, um maior conhecimento da geologia, geomorfologia e, mesmo, da paleogeomorfologia deste sector da Orla Meso-Cenozóica Ocidental.

O trabalho agora apresentado tem como ponto de partida estudos de índole académica sobre o território, um já realizado e outro em vias de concretização, os quais foram dedicados a duas temáticas que não raras vezes entram em conflito - a exploração dos recursos naturais e o desenvolvimento sustentado -, pretendendo, assim, contribuir para um melhor conhecimento integrado dos georrecursos existentes na parte superior da "Bacia de Aveiro".

Um destes estudos pretendeu, com base em trabalhos de levantamento de campo e informação disponível de sondagens realizadas, compilar, resumir, interpretar e propor um modelo para a parte superior da "Bacia de Aveiro" ("Argilas de Aveiro" e depósitos de cobertura sobrejacentes), bem como caracterizar os diversos materiais arenosos ocorrentes, de forma a maximizar a informação sobre estes recursos, apresentar as diferentes aptidões ao uso e possibilitar um investimento fundamentado aos principais interessados, que são os utilizadores directos destas matérias-primas ou, indirectamente, infra-estruturas que beneficiem das suas características (AMADO, 2006; AMADO *et al.*, 2007).

## 2. O enquadramento geográfico e temático

O estudo efectuado incide sobre o sector Norte da Bacia Lusitânica no litoral Centro-Norte de Portugal, constituindo o segmento mais setentrional da Orla Meso-Cenozóica Ocidental onde se localiza a "Bacia de Aveiro".

A "Bacia de Aveiro" estende-se por uma área com cerca 600 km<sup>2</sup>, incluindo a parte terminal da bacia hidrográfica do rio Vouga, na qual se insere um sistema lagunar do tipo "ilha barreira" - a Laguna de Aveiro, por norma impropriamente designado por "Ria de Aveiro". Esta extensa área encontra-se limitada, a Norte e a Sul, pelos paralelos 40° 53' e 40° 15' Norte, respectivamente, a Este pelo meridiano 8° 30' Oeste de longitude e, a Ocidente, pela actual linha de costa (ROCHA, 1993).

Na área ocupada pela "Bacia de Aveiro" encontram-se inseridos diversos Municípios, salientando-se que, neste trabalho, foi dada particular atenção aos territórios municipais onde o Cretácico superior aflora com especial relevância: Aveiro, Ílhavo, Vagos, Oliveira do Bairro e Mira (Figura 1).

No que respeita ao contexto geológico regional, a área em análise encontra-se, obviamente, na dependência dos sedimentos que a preenchem, com grande influência do acarreo de materiais, quer do desmantelamento do soco antigo (Maciço Hespérico), quer da retoma de depósitos anteriores (Figura 2).

O Soco ante-Mesozóico, que constitui o substrato da "Bacia de Aveiro", desenvolve-se no contacto entre as zonas Centro Ibérica (ZCI) e Ossa Morena (ZOM), as quais se encontram separadas pela faixa blastomilonítica. A unidade mais antiga da Zona Cen-

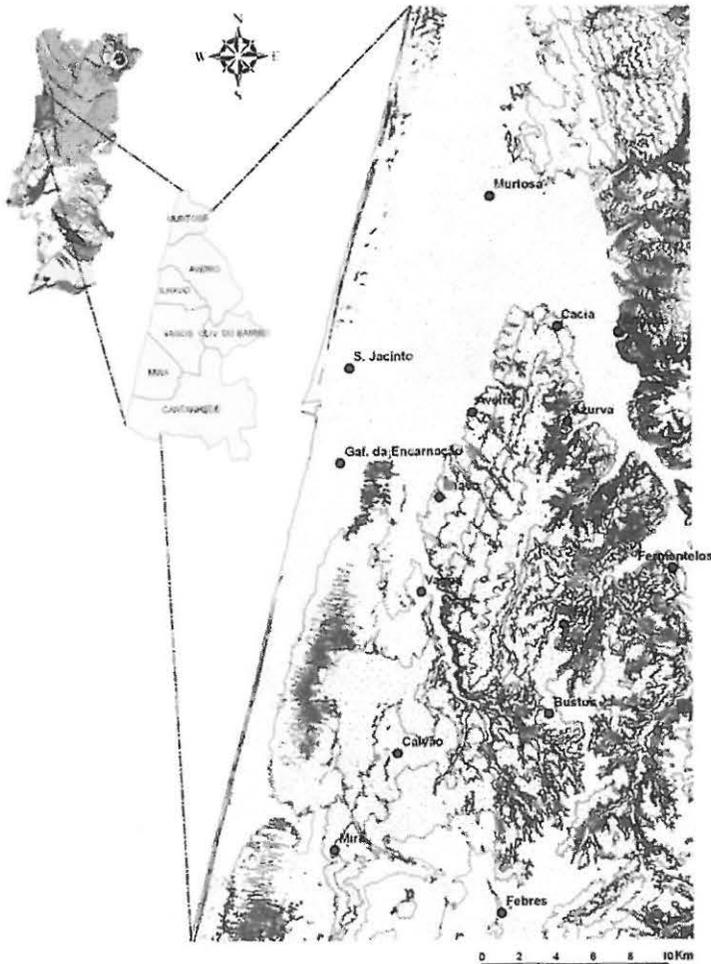


Figura 1  
Enquadramento da área em estudo.

tro Ibérica é o Complexo Xisto-Grauváquico (CXG) ante-Ordovícico, representado, essencialmente, pelos metassedimentos do Grupo das Beiras, que afloram no sector Nordeste da área em análise.

Em discordância angular com o soco desenvolve-se a formação sedimentar triássica dos "Grés de Silves" (inicialmente assim denominados em 1887 por Choffat e estudados em 1976 por Palain), que na folha da Carta Geológica de Portugal nº 16-A (Aveiro) é referenciada por "Arenitos de Eirol" (TEIXEIRA E ZBYSZEWSKI, 1976)<sup>1</sup>.

Relativamente aos materiais sedimentares do Jurássico inferior, estes afloram apenas na área localizada entre Montinho e Vilarinho do Bairro, exibindo um conjunto de calcários, calcários margosos, margas e calcários dolomíticos liássicos, aos quais se sobrepõem as formações cretácicas do Aptiano-Albiano ao Senoniano, constituídas por sedimentos essencialmente terrígenos, com episódios carbonatados no Cenomaniano-Turoniano (COROADO, 2000).

Um dos principais alvos de análise neste trabalho é a unidade que tem vindo a ser intensamente

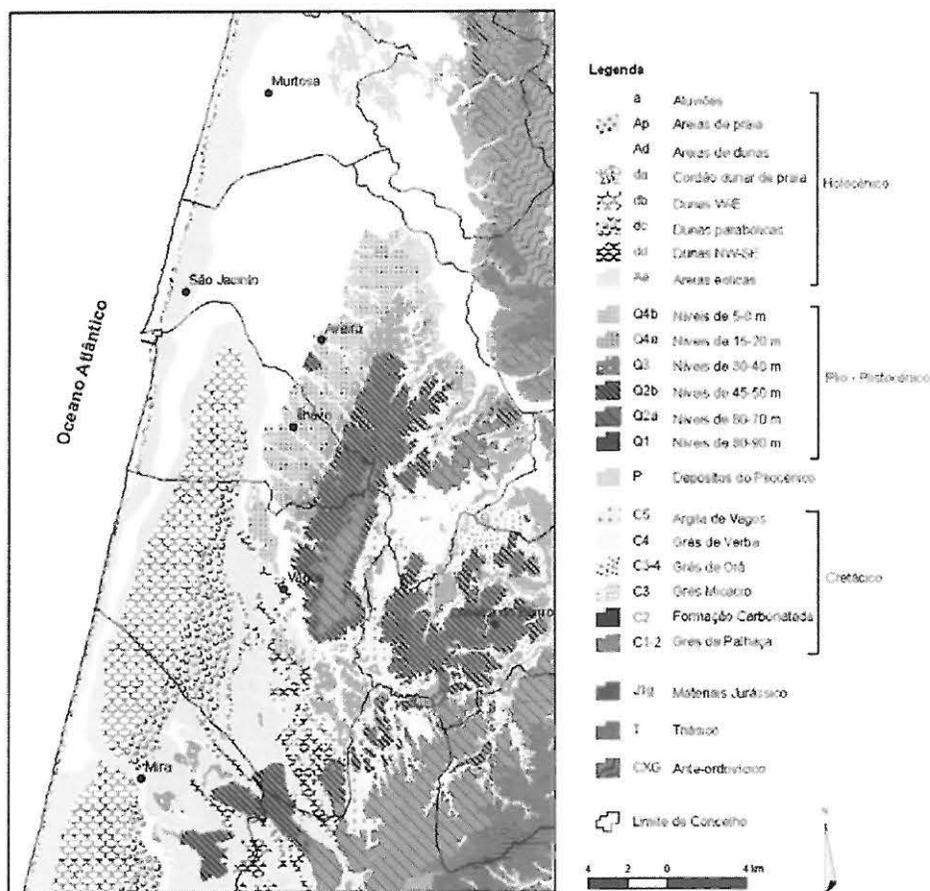


Figura 2

Enquadramento geológico simplificado da área em estudo. (Adaptada a partir da Carta Geológica de Portugal<sup>2</sup>).

<sup>1</sup> Esta formação, que na sua parte inferior, se caracteriza por uma coloração vermelha muito intensa, é constituída por depósitos continentais associados em três megassequências positivas (A, B e C), predominando as fácies conglomeráticas na parte basal, que evoluem para arenitos, siltitos, lutitos e litofácies carbonatadas dolomíticas, possuindo estas unidades uma coloração variada em tonalidades vermelha, cinzenta, esverdeada, bege e esbranquiçada (PALAIN, 1976).

<sup>2</sup> A maior parte da "Bacia de Aveiro" insere-se nas folhas da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000, nºs 16-A (Aveiro) e 16-C (Vagos).

explorada para a indústria cerâmica, sendo as matérias-primas extraídas comercializadas sob a designação de "Argilas de Bustos", que são parte integrante dos materiais do Cretácico superior (Campaniano superior-Maastrichtiano). Estes depósitos encontram-se representados pela unidade litoestratigráfica "Argilas de Aveiro/Vagos", constituída por argilitos e argilitos

siltosos de coloração vermelha e acinzentada, com intercalações de margas e calcários margosos.

Os depósitos sedimentares de cobertura ocorrentes na área, de idade Plio-Pleistocénica, correspondem a níveis de terraços e praias antigas, sendo constituídos por leitos de areias finas ou grosseiras de cor clara e cascalheiras de calhaus rolados, por vezes espessos. Na zona litoral, estes depósitos são cobertos por aluviões actuais, areias de praia e areias eólicas recentes (Holocénico), que constituem todo o cordão dunar que bordeja a Laguna de Aveiro e se estendem para o interior até cerca de 15 km da linha de costa.

As formações recentes encontram-se em grande continuidade e em posição horizontal ou sub-horizontal, indiciando uma actividade neotectónica pouco intensa ou de fraca amplitude. A área é, no entanto, afectada por duas estruturas importantes, a falha Porto-Tomar, localizada a Este, e o anticlinal Mogofores-Febres-Tocha, a Sul (BARBOSA, 1981 e TEIXEIRA, 1976), que condicionam o modelado da região. Salientam-se, também, duas estruturas em abóbada bastante fracturadas, com inclinações suaves nos flancos (6° a 12°), separadas pelo alinhamento estrutural Palhaça-Mamarrosa-Febres. Esta última zona estrutural divide a área em duas partes distintas: uma interior, constituída por estruturas sinclinais e anticlinais, e outra exterior, com inclinação suave para ONO (BARBOSA, 1981).

A morfologia deste sector do território nacional apresenta-se de baixa altitude e predominantemente aplanada, desenhada em função das grandes extensões associadas aos níveis de depósitos de terraço, praias antigas, dunas e areias eólicas. Estes depósitos, que cobrem parcialmente a área, dispõem-se em declives suaves desde os 130 metros de altitude máxima do sector SE até à actual linha de costa.

Muitas destas formas relacionam-se directamente com o traço geomorfológico fundamental que distingue a região, a Laguna de Aveiro e os seus canais, onde vão desaguar o rio Vouga e outros cursos de água de menor importância (Fontela, Gonde, Antuã, Jardim e Boco)<sup>3</sup>.

O traçado desta mesma rede de drenagem, muito dele concordante com a própria fracturação, recortou os depósitos mais recentes de terraços e praias antigas, das dunas e das areias eólicas, colocando, por vezes, a descoberto as unidades mais antigas, nomeadamente o substrato Cretácico.

O encaixe e o declive dos vales são, na generalidade, pouco acentuados, proporcionando um escoamento lento das águas com frequentes zonas de retenção, algumas de origem antrópica, associada a antigos arrozais.

Aliás, a totalidade da rede hidrográfica da área insere-se na bacia hidrográfica do rio Vouga, na unidade hidromorfológica do Baixo Vouga, a qual corresponde à zona terminal da bacia que abrange a Laguna de Aveiro. Esta estende-se para o interior, paralelamente ao mar, desde Ovar até Mira, com um comprimento de 47 km e uma largura máxima de 11 km. Encontra-se separada do mar por um estreito cordão arenoso, sendo a comunicação com o oceano feita através de uma única barra, mantida artificialmente desde 1808. Com características muito peculiares, é de formação muito recente (tempos históricos) e apresenta uma evolução dinâmica, como é característico dos sistemas litorais.

O processo evolutivo, que ocorreu através da deposição de areias com a formação de cordões dunares litorais e de um sistema de ilhas no interior da laguna, durou cerca de 800 anos, tendo sido interrompido no séc. XVIII através da acção antrópica (MARTINS, 1947).

No que diz respeito às características hidrogeológicas, na bacia em análise existe um sistema aquífero superficial ocorrente em depósitos quaternários e um sistema aquífero profundo localizado nas formações detríticas de idade cretácica (MARQUES, 1990).

O Sistema Aquífero Quaternário é constituído por depósitos de praias antigas e de terraços fluviais. O seu interesse, para efeitos de abastecimento público, é bastante reduzido, pela sua vulnerabilidade a diversos tipos de contaminação. Este aquífero, cuja base são as argilas impermeáveis do Cretácico superior, é explorado por um número considerável de poços abertos, de baixa profundidade, assumindo, normalmente, um comportamento freático associado a uma recarga pelas chuvas.

Por seu turno, o Sistema Aquífero Cretácico é a principal fonte para o abastecimento urbano e industrial da zona do Baixo Vouga, o qual apresenta uma litologia essencialmente gresosa com intercalações argilosas. Devido à intensa exploração destes recursos hídricos verificada nos últimos anos e à deficiente recarga natural destas formações, têm-se registado decréscimos significativos dos níveis piezométricos.

Este segundo sistema, que cobre quase toda a área do Baixo Vouga e se prolonga pelo mar, é constituído por três unidades aquíferas sobrepostas (SOARES, 1967): a unidade superior, de idade Senoniana, localiza-se em arenitos grosseiros mais ou menos argilosos

<sup>3</sup> O Baixo Vouga é constituído por terrenos planos, sendo uma zona de confluência de linhas de água, em que o escoamento para a laguna é dificultado pelo efeito das marés.

da formação denominada por "Grés Grosseiros Superiores", a unidade média é constituída pela Formação Carbonatada (Cenomano-Turoniano) e pela parte superior dos arenitos grosseiros basais do Cretácico inferior (Aptiano-Cenomaniano), designados de "Grés Grosseiros Inferiores", enquanto que a unidade mais profunda, também constituída pelos arenitos do "Grés Grosseiro Inferior", ocorre abaixo de um nível de argilas castanho-avermelhadas.

A recarga deste sistema é feita através de uma zona de formações cretácicas permeáveis (Grés Grosseiros Inferiores), que se desenvolvem numa extensão de cerca de 70 km<sup>2</sup>, e da alimentação lateral a partir das formações calco-margosas do Jurássico Inferior, que constituem a estrutura anticlinal Mogofores-Febres-Tocha.

O substrato do Sistema Aquífero Cretácico é, essencialmente, constituído por xistos ante-Ordovícicos, os quais, devido às suas características litológicas e estruturais, se consideram impermeáveis.

A tipologia dos solos que se encontram na área depende, no essencial, das litologias anteriormente referidas, cujo reflexo é, também, claro no uso respectivo a que as populações os destinam.

Junto à linha de costa, e tendo como base as areias eólicas, observam-se os regossolos, normais ou para-hidromórficos, calcários ou não, enquanto, no interior, as areias, que são mais antigas, dão origem a solos podzolizados, com ou sem surraipa.

Por seu turno, os solos do Baixo Vouga lagunar são, predominantemente, aluviossolos modernos, por vezes sujeitos a halomorfismo e a hidromorfismo de grau muito variável. Maioritariamente, são solos não calcários, húmidos, de textura mediana e ligeira ou não calcários de textura mediana, com matéria orgânica, que é normalmente elevada ou média na camada superficial.

Nos terraços do Plistocénico ocorrem, essencialmente, aluviossolos antigos e solos litólicos, húmidos nas regiões mais baixas, enquanto nas mais elevadas são os solos argiluvitados vermelhos, ambos de materiais não consolidados de textura mediana.

Nos arenitos do Cretácico predominam os solos litólicos húmidos ou não, enquanto que nos sectores de argilas ("Argilas de Aveiro") se formam solos argiluvitados pardos ou vermelhos, para-hidromórficos. No entanto, quando a espessura dos depósitos de cobertura destas formações é suficiente, poderão ocorrer solos podzolizados e aluviossolos antigos<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Nos calcários do Jurássico ocorrem solos calcários pardos de margas e calcários compactos inter-estratificados, enquanto os arenitos do Triássico originam habitualmente solos litólicos avermelhados de textura ligeira (ROGADO, 1987).

Muita desta contextualização, relativa aos solos existentes na área em análise, vai inferir na própria espacialização do uso do solo. Caso se abstraíam as manchas das zonas húmidas do Baixo Vouga (Laguna de Aveiro e da pateira de Fermentelos), no restante território parece existir um claro domínio das culturas anuais, essencialmente na envolvente dos alinhamentos definidos pelo espaço urbano. Por seu turno, na zona litoral é notória a grande mancha de pinheiro bravo, espécie que tem vindo a ser substituída pelo eucalipto, em especial nos sectores mais para o interior. No sector SE da área em análise ressalta, ainda, uma significativa ocorrência da vinha, correspondendo à demarcação da parte NO da região vitivinícola da Bairrada.

### 3. Aplicabilidade industrial dos materiais da parte superior da "Bacia de Aveiro"

#### 3.1. Materiais arenosos

Embora as areias sejam, normalmente, consideradas como matérias-primas de reduzido valor unitário, a realidade é que estes materiais são de elevado interesse económico para o país, gerando mais valias muito significativas e abastecendo diversas fileiras industriais de importância capital no tecido económico e social nacional, desde a construção civil à indústria de tecnologia avançada.

As exigências destes diferentes segmentos consumidores relativamente às características intrínsecas destas matérias-primas são variáveis, diferindo também a percentagem média da sua utilização e incorporação consoante as fileiras industriais consideradas.

As areias são, frequentemente, classificadas em duas categorias: as areias comuns e as areias especiais. Esta separação encontra-se intimamente relacionada com os preços comerciais dos produtos com elas produzidos, pois as areias especiais destinam-se a produtos de maior valor acrescentado. Também as areias especiais constituem depósitos menos frequentes que os das areias comuns, sendo as suas reservas bastante mais limitadas. Por outro lado, as areias especiais são materiais que possuem uma composição mineral e físico-química mais simples, homogénea e de maior grau de pureza, o que lhes confere propriedades muito próprias e específicas, apesar de serem, por vezes, submetidas a processos de beneficiação complexos e de custo relativamente elevado.

As areias globalmente, são maioritariamente constituídas por quartzo (SiO<sub>2</sub>), o qual possui uma dureza elevada (grau 7 na escala de Mohs) e uma massa volúmica situada entre 2,60 e 2,65 g/cm<sup>3</sup>.

Para além da composição química, são de referir outros parâmetros relevantes de âmbito tecnológico nalgumas indústrias em que é utilizado este material, tais como a distribuição granulométrica, a morfologia dos grãos, o teor e a percentagem de penalizantes, a perda ao rubro, a densidade real e aparente ou o teor de humidade de fornecimento.

As características reveladas pelos materiais arenosos dos depósitos dunares e dos terraços e praias antigas ocorrentes na zona (AMADO, 2006) evidenciam boas características e uma potencial adequabilidade para diversas utilizações industriais, das quais se perspectivam e salientam, pelas toneladas consumidas, a construção civil, o fabrico de betão, o vidro de embalagem corado, a fundição e a cerâmica, entre outras, podendo ser ainda passíveis de alguma beneficiação e tratamento, por indiciarem aptidão para o efeito.

O subproduto residual resultante do processo de lavagem e beneficiação das matérias-primas arenosas em apreço (lamas de lavagem), em especial dos depósitos de praias antigas e terraços fluviais, poderá ser valorizado se for filtrado, em virtude da sua composição mineral se mostrar aconselhada a uma utilização cerâmica.

### 3.2. Materiais argilosos

As argilas são um dos recursos minerais mais utilizados, nomeadamente como matérias-primas no fabrico de materiais de construção.

Desde as habitações mais rudimentares, que se perdem na memória do tempo, quando o Homem apenas recorria a materiais disponíveis na natureza com nenhuma ou poucas transformações, passando pelo advento do "tijolo neolítico" cerca de 8000 anos a.C., pelo adobe (tijolo cru) e possível introdução da cozedura no Neolítico final, até ao grande impulso que

o Império Romano lhe conferiu, a unidade elementar ou módulo de construção, que é constituído pelo tijolo de argila cozida (TRIÃES, 2003), evoluiu hoje para um produto de série, estandardizado e normalizado. Para além do tijolo, as argilas encontraram destinos finais numa gama muito diversa de materiais de construção, desde a telha ao pavimento/revestimento, sanitário, entre outras.

Para além da indústria cerâmica, as argilas são actualmente uma das matérias-primas naturais com maior diversidade de aplicações, continuando a ser encontradas novas e variadas utilizações.

Este facto é motivado pelas características que estes materiais possuem, das quais se pode destacar a fina granularidade, a diversidade estrutural e química dos minerais argilosos, a elevada superfície específica e capacidade de troca catiónica, aliadas às características próprias dos seus depósitos e à facilidade de extracção, quase sempre a céu aberto.

As "Argilas de Aveiro" são um claro exemplo deste tipo de matéria-prima, sendo muito procuradas pela indústria cerâmica de construção pelas características intrínsecas que exibem, em particular no referente à distribuição granulométrica, composição mineral e características tecnológicas.

No entanto, salienta-se a necessidade de lotação de alguns destes materiais sentida pela indústria cerâmica, em especial os mais finos, de maior plasticidade e com carácter predominantemente esmectítico, com outras matérias-primas de características diferentes que actuem como desengordurantes.

Neste contexto de uma ampla riqueza de aplicações, é possível sintetizar-se a possível aplicabilidade dos materiais argilosos e arenosos da parte terminal da "Bacia de Aveiro" (Quadro I).

Quadro I

Quadro resumo das principais aplicações das matérias-primas ocorrentes na parte superior da "Bacia de Aveiro"

Aplicações Industriais	Matérias-primas									
	Materiais arenosos									Materiais argilosos
	Areias dunares			Praias antigas e terraços fluviais						"Argilas de Aveiro"
	db	dc	dd	Q <sup>2</sup> a	Q <sup>2</sup> b	Q <sup>3</sup>	Q <sup>4</sup> a	Q <sup>4</sup> b	Subprodutos do processamento	C <sup>5</sup>
Indústria vidreira	/	/	/							
Indústria de fundição	/	/	/			/				
Indústria cerâmica	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Construção civil e fabrico de betões	/	/	/	/	/	/	/	/		
Impermeabilizações confinamentos e selagens										/
Agregados leves										/

#### 4. Modelação da bacia

O objecto deste artigo prende-se, tal como anteriormente referido, com a necessidade de concretização de um modelo 3D, particularmente sobre os materiais do Cretácico superior e da sua relação com a actual morfologia da área.

A base de toda a concretização do projecto teve por pressuposto inicial o facto de existir uma quantidade significativa de informação escrita disponível sobre a "Bacia de Aveiro" dispersa por trabalhos de índole diversa, publicados por inúmeros autores, quer integrando relatórios de diferentes serviços da CCDR Centro, das autarquias interessadas ou mesmo dos arquivos de algumas empresas de sondagens de pesquisa e captação de águas. Contudo, até ao momento, a sua visualização em profundidade consubstanciava-se, apenas, na apresentação de alguns perfis.

Por tudo isto, e tendo em consideração a necessidade de um conhecimento mais alargado sobre este recurso natural, foi realizada neste trabalho a compilação e síntese de toda essa informação, propondo-se então um modelo para a "Bacia de Aveiro" que incluíse a formação terminal cretácica ("Argilas de Aveiro") e os depósitos arenosos de cobertura que se lhes sobrepõem (dunares, praias antigas ou terraços fluviais). Este objectivo norteou-se pelos interesses económico e industrial intrínsecos a estes recursos geológicos, mas também por este modelo poder vir a desempenhar um papel fundamental na definição de um racional ordenamento do território autárquico, por força do que se perspectiva no contexto da actual concretização dos PDM's de 2ª geração da área em análise, majorando nos Municípios incluídos nesta área o aproveitamento e a gestão dos recursos concelhios de uma forma sustentada.

Esta modelação foi conseguida através do desenvolvimento de uma aplicação SIG (Sistema de Informação Geográfica) e consequente manipulação do conjunto dos dados disponíveis.

Para o desenvolvimento do MDT foram utilizadas como suporte bases cartográficas distintas. No caso do "Modelo de Superfície" foi utilizada a cartografia digital do Exército Português (IGEOE) à escala 1: 25 000, com base nas curvas de nível, a que foram associados os pontos cotados, em virtude da baixa altimetria da zona assim o exigir, permitindo a obtenção de um modelo mais próximo da morfologia actual.

Quanto à informação digital referente ao "tecto" e ao "muro" dos materiais do Cretácico Superior, esta foi obtida através da construção de uma base de dados a partir de uma exaustiva pesquisa bibliográfica. Esta base de dados reuniu 79 sondagens georeferenciadas com informação das superfícies do

tecto e do muro da unidade litoestratigráfica "Argilas de Aveiro". A informação foi ainda complementada com o levantamento de 748 pontos georeferenciados recolhidos no contexto do afloramento desta formação, observados na actual cartografia geológica das folhas nºs 16-A (Aveiro) e 16-C (Vagos) da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000.

Após recolha de toda a informação, a base de dados elaborada foi trabalhada e processada na principal aplicação do ArcGis (ArcMap) para apresentação, inquirição, edição, criação e análise de dados, de forma a gerar a informação intermédia necessária à modelação final.

Depois de analisadas, as bases digitais a utilizar na construção do Modelo Digital de Terreno foram importadas para o ArcGis 9.1 (software de base tecnológica especializada em análises SIG). Com recurso à extensão 3D Analyst do mesmo software, foram atribuídos ao modelo, à superfície, ao tecto e ao muro parâmetros de acordo com as tipologias da informação, como, por exemplo, a definição do factor Z a cada nível de informação, assim como a definição do processo de adição da informação à triangulação dos modelos desenvolvidos.

Após a conclusão dos modelos digitais, de acordo com os referidos parâmetros, procedeu-se à sua interpolação em modo *raster*, utilizando o modelo de *Kriging*, de modo a elaborar um avançado conjunto de análises geoestatísticas e melhorar a visualização dos modelos.

As saídas gráficas resultantes desta fase intermédia para as superfícies do tecto e muro da formação "Argilas de Aveiro" são observadas através da Figura 3. Tal como foi referido, o tecto foi elaborado com base na informação dos furos de sondagem, bem como dos próprios afloramentos, enquanto o muro foi construído, apenas, com recurso aos dados obtidos nos furos e diagrfias, por serem os únicos elementos fiáveis disponíveis. Esta representação encontra-se expressa por valores relativos à cota do terreno.

A análise das diferentes figuras torna possível a constatação que a unidade litoestratigráfica "Argilas de Aveiro" parece evoluir em profundidade de Este para Oeste, atingindo as menores cotas topográficas nos sectores Oeste e Noroeste da bacia (zonas da Gafanha da Encarnação e Noroeste da Murtosa). Resalta, de forma evidente, a existência de duas linhas definidas, aproximadamente, pelos alinhamentos Aveiro, Ílhavo, Vagos e Mira e, a nascente, Azurva, Nariz e Bustos, onde, aliás, a formação permanece aflorante, embora a respectiva espessura diminua progressivamente de ocidente para oriente até desaparecer completamente. A sua profundidade aumenta gradualmente para Norte e para a zona costeira, ten-

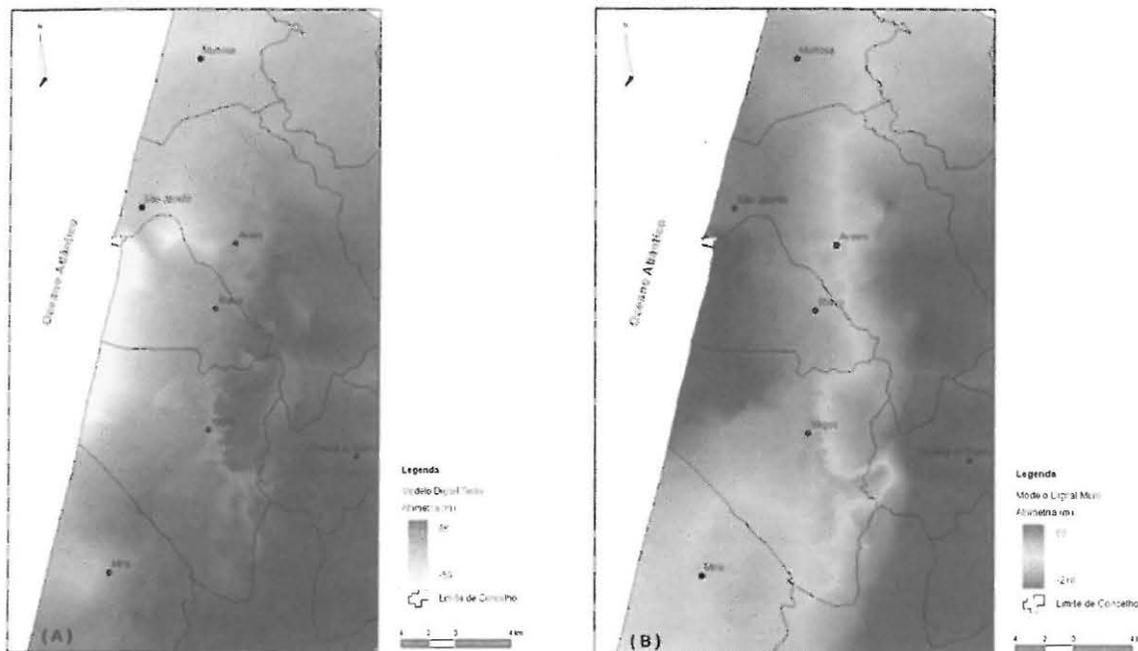


Figura 3  
Superfícies do tecto (A) e do muro (B) da formação "Argilas de Aveiro".

dência que é interrompida por uma linha de água (zona inicial do Rio Boco) que escoia de SSE para Norte, na qual as "Argilas de Aveiro" atingem uma maior profundidade para, de seguida, voltarem à tendência anteriormente referida.

O tecto da formação "Argilas de Aveiro"/muro dos depósitos de cobertura pode encontrar-se tanto à superfície do terreno, como é o caso das zonas de Nariz - Bustos, até uma profundidade máxima de 134 metros, valores que se observam no sector a Ocidente da Gafanha da Encarnação e da Murtosa (Figura 3, imagem esquerda), enquanto o muro das "Argilas de Aveiro" (Figura 3, imagem direita) pode encontrar-se desde uns escassos 4 m da superfície até uma profundidade máxima de 278 metros na zona da Gafanha da Encarnação. Pode assim concluir-se que a espessura máxima das "Argilas de Aveiro" é observada na zona Oeste da área em estudo, mais propriamente na envolvente da Gafanha da Encarnação, onde se regista um valor próximo dos 145 metros.

Os diversos depósitos de cobertura sobrejacentes, materializados em solo, aluvião, areias dunares e depósitos de terraço e praias antigas, enquadram-se entre o tecto da formação C<sup>5</sup> e a superfície topográfica, sendo possível, através da respectiva localização cartográfica, estimar a respectiva tipologia.

No âmbito de uma melhor visualização da espacialidade, assim como de uma melhor compreensão da estrutura da formação, foram localizadas as bocas de todos os furos de sondagem, assim como os pontos de afloramento da formação das "Argilas de Aveiro" obtidos a partir da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000 (Figura 4).

Com os elementos obtidos nesta fase intermédia da aplicação ArcMap procedeu-se à criação dos dados espaciais através da modelação em 3D (ArcScene) (Figuras 5 a 7).

Na Figura 7 pode observar-se a sobreposição da geologia de superfície com o modelo desenvolvido, nomeadamente, o tecto e o muro das "Argilas de Aveiro".

## 5. Algumas considerações finais

As "Argilas de Aveiro" têm sido estudadas por muitos autores, sendo caracterizadas por uma granularidade fina a muito fina, com uma importante fracção argilosa essencialmente ilitico/esmectítica, com um aumento do valor percentual de esmectite para a zona Sudeste de ocorrência da formação, facto confirmado pela elevada plasticidade, superfície específica, expansibilidade e capacidade de troca catiónica que apresentam.

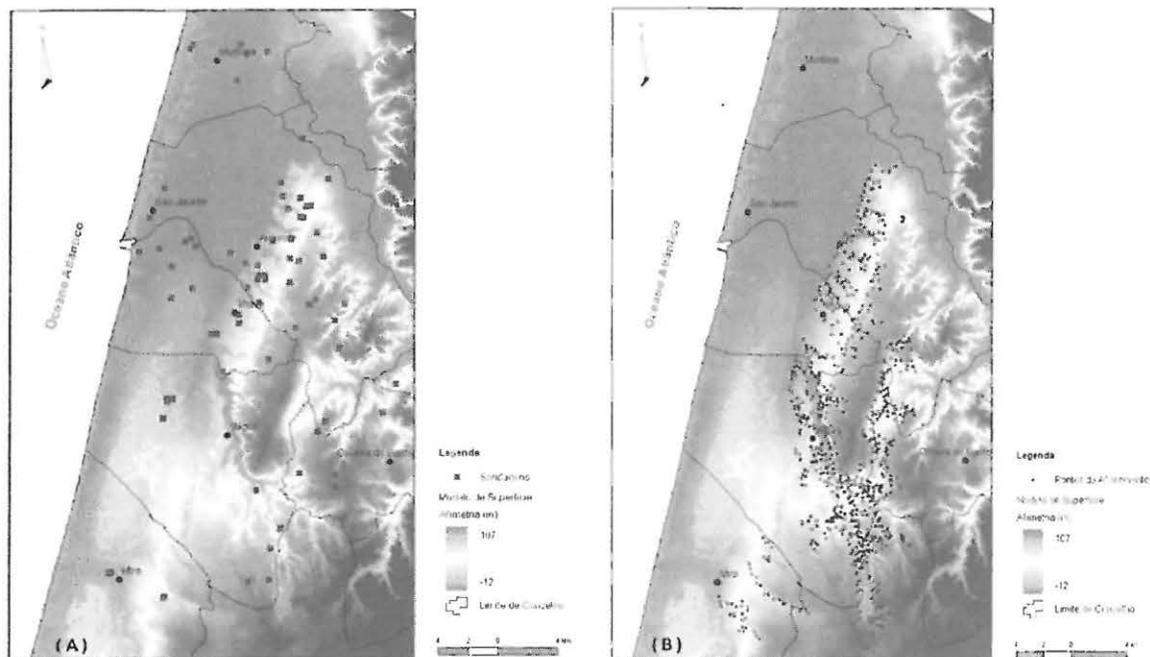


Figura 4

Superfície do terreno com localização dos furos de sondagem (A) e dos pontos de afloramento (B).

Em função das suas características intrínsecas e específicas possuem diversas possibilidades de aplicação, com maior incidência na indústria cerâmica de construção (segmentos do tijolo, telhas e abobadilha), quando devidamente lotadas, mas também na produção de agregados leves de argila expandida, em processos ou obras de impermeabilização, de confinamentos e selagens, constituindo uma das barreiras naturais mais eficazes e protectoras de eventuais contaminações do meio (GOMES, 2002). Por este motivo, o aproveitamento de antigas explorações, já abandonadas e que nunca foram recuperadas ou requalificadas, para futura implantação de infra-estruturas de aterros de RSU, RIB's ou RIP's ou estações de triagem e valorização de resíduos, é aconselhável por constituírem espaços privilegiados (GALHANO, 1999), desde que devidamente construídos, monitorizados e controlados, promovendo-se a recuperação ambiental e paisagística de zonas que, actualmente, se encontram degradadas e envolvem perigos vários para as pessoas, animais e bens.

No que concerne aos recursos arenosos sobrejacentes e em função da caracterização mineralógica,

química e física efectuada, verificou-se que os materiais arenosos das diversas tipologias (areias dunares, depósitos de praias antigas e terraços fluviais) evidenciam uma adequação a um uso diversificado, dos quais se salientam segmentos industriais mais nobres para as areias dunares, tais como as fileiras do vidro de embalagem corado e da fundição, enquanto os materiais dos depósitos de praias antigas e terraços fluviais se encontram vocacionados, preferencialmente, para as indústrias cerâmica, de construção civil e fabrico de betões (AMADO, 2006).

Através da constituição de uma base de dados com informações de sondagens realizadas na "Bacia de Aveiro" elaborou-se um modelo representativo das formações alvo, com recurso ao desenvolvimento de uma aplicação SIG e conseqüente manipulação do conjunto de dados disponíveis no software ArcGis. A modelação realizada permite visualizar as superfícies do tecto e do muro das "Argilas de Aveiro" na maior parte da extensão da bacia, localizando-se os depósitos de praias antigas e terraços fluviais entre o tecto daquela formação e a superfície topográfica do terreno.



Figura 5  
Superfície topográfica e muro da formação "Argilas de Aveiro".

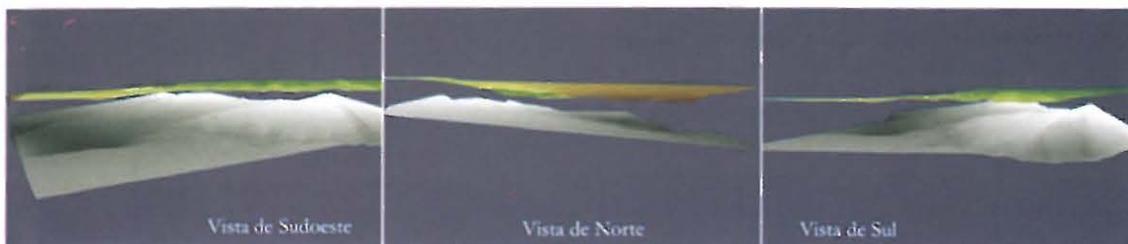


Figura 6  
Tecto e muro da formação "Argilas de Aveiro".

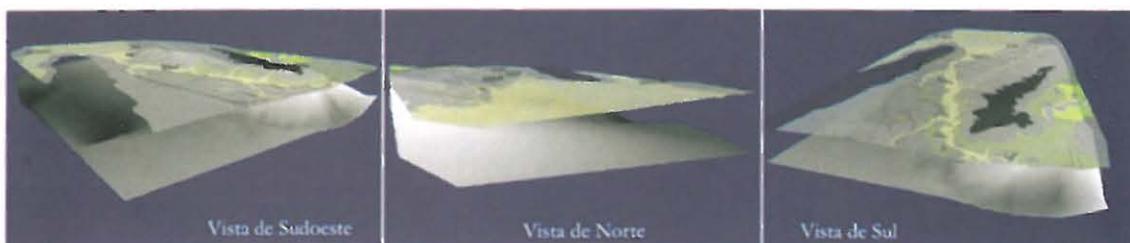


Figura 7  
Sobreposição da vista Oeste (3D) do modelo e da geologia de superfície.

Neste modelo é notória a evolução das "Argilas de Aveiro" em profundidade de Este para Oeste, atingindo uma espessura máxima de 145 metros na envolvente da Gafanha da Encarnação.

Este trabalho pretendeu, assim, constituir uma ferramenta à qual a indústria poderá aceder para definir os locais da bacia que melhor se enquadrem com os objectivos pretendidos pela actividade extractiva, estimar a espessura de argilas e de materiais arenosos de cobertura e consequente cubicagem, a tipologia das matérias-primas argilosas e arenosas nos diferentes locais, contribuindo deste modo para um melhor planeamento e aproveitamento dos recursos

geológicos da zona e a promoção da sua gestão racionalizada.

Perspectiva-se, também, que a informação disponibilizada poderá ser de grande importância para as entidades com responsabilidade no cabal ordenamento do território, na elaboração de Planos Directores Municipais de 2ª geração, na definição de espaços destinados ao aproveitamento destes recursos que, em muitos casos, não estão contemplados nos actuais diplomas, na localização de equipamentos e na construção ou implementação de infra-estruturas de incidência ambiental, de âmbito local ou nacional, com aspectos relevantes no desenvolvimento sustentável que é essencial para o país.

## Bibliografia

- AMADO, A. O. (2006) - *Georrecursos arenoargilosos na zona superior da "Bacia de Aveiro"*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 128 p.
- AMADO, O. A.; MARQUES, J. C.; SANTOS, L.; CORDEIRO e A. M. Rochette (2006) - *O Modelo Digital de Terreno (MDTs) como técnica de aplicação prática no desenvolvimento de estudos em Geologia e Geomorfologia. A modelação da "Bacia de Aveiro"*. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Vol. 5, APGeom, Lisboa, pp. 303-312.
- BARBOSA, B. (1981) - *Carta Geológica de Portugal, 1/50 000. Notícia explicativa da folha 16-C, Vagos*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 60 p.
- COROADO, J. F. (2000) - *Propriedades cerâmicas das argilas das unidades litoestratigráficas "Argilas de Aveiro" e "Argilas de Tomar"*. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de doutor na Universidade de Aveiro, 366 p.
- GALHANO, A. C. (1999) - *Relações entre as propriedades geotécnicas, mineralógicas e geoquímicas das argilas e lodos da região de Aveiro*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 267 p.
- GOMES, C. S. F. (2002) - *Argilas: aplicações na indústria*. Aveiro, 337 p.
- MARQUES DA SILVA, M. A. (1990) - *Hidrogeologia del sistema multiaquifero Cretacico del Bajo Vouga-Aveiro (Portugal)*. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de doutor na Universidade de Barcelona, 436 p.
- MARTINS, A. F. (1947) - "A configuração do litoral português no último quartel do século XIV. Apostila a um mapa". *Biblos*, Coimbra, XXI, pp 163-177.
- PALAIN, C. (1976) - "Une série détritique terrigène. Les "Grés de Silves": Trias et Lias inférieur du Portugal". *Mem. Serv. Geol. Portugal*, XXV, 377 p.
- ROCHA, F. J. F. T. (1993) - *Argilas aplicadas a estudos litoestratigráficos e paleoambientais na bacia sedimentar de Aveiro*. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Doutor na Universidade de Aveiro, Aveiro, 399 p.
- SOARES, A. F. (1967) - "Estudo das formações pós-jurássicas na região entre Sargento-Mor e Montemor-o-Velho (margem direita do Rio Mondego)". *Rev. Fac. Ciênc. Univ. Coimbra*, Coimbra Editora, vol XL, 348 p.
- TEIXEIRA, C. e ZBYSZEWSKI, G. (1976) - *Carta Geológica de Portugal, 1/50 000. Notícia explicativa da folha 16-A, Aveiro*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 39 p.
- TRIÃES, R. P. (2003) - *Estudo composicional e tipológico de materiais cerâmicos de civitas de Conímbriga*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 192 p.