

CONTRIBUIÇÃO PARA A CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DAS FORMAÇÕES SEDIMENTARES CRETÁDICAS NO PLANEAMENTO REGIONAL E URBANO. O CASO DO COMPLEXO ARENO-SILTOSO DA REGIÃO DE AVEIRO*

Contribution to geotechnical characterisation of the cretacic sedimentary formation for regional and urban planning. The case of siltitic sandstone complex in Aveiro region

LUIS MANUEL FERREIRA GOMES **
FERNANDO LAGE LADEIRA ***

RESUMO - Apresentam-se os resultados de estudos geotécnicos como contributo para a cartografia geotécnica aplicada ao planeamento regional e urbano da região de Aveiro, onde as formações sedimentares do Cretácico são o substracto. As formações estudadas quando aparecem à superfície transformam-se em solos; em profundidade o comportamento destas formações está na fronteira solo/rocha. Apresentam-se as características de identificação, físicas e mecânicas, realçando-se os aspectos positivos e negativos para o planeamento regional e urbano.

SYNOPSIS - In this paper the results of geotechnical studies are presented, to contribute to the engineering geological mapping for the regional and urban planning of Aveiro region, where the soft rock formations are Cretaceous. The studied formations at surface are weathered to soils, whereas at depth these formations behaviour is in the borderline of rock/soil. One presents their identification, physical and mechanical characteristics which have negative and positive implications for regional and urban planning.

1 - INTRODUÇÃO

As formações em estudo foram designadas por Complexo areno-siltoso (Ferreira Gomes, 1992) e incluem as unidades litostratigráficas: "Arenitos do Mamodeiro", "Calcários e argilas do Carrajão" e "Arenitos de Requeixo" (Teixeira e Zbyszewski, 1976).

O Complexo areno-siltoso ocupa em afloramento vastas áreas a Este de Aveiro (Fig.1), que é uma cidade em franco crescimento e expansão para locais onde aquelas formações ocorrem.

Esta unidade, tendo geralmente mais de 100 metros de espessura, assenta em arenitos vermelhos do Triásico e xistos Ante-Ordovícicos. Em grandes superfícies o Complexo areno-

* Comunicação ao 8º Congresso da Associação Internacional de Geologia de Engenharia, Vancouver, 1998

** Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da UBI

*** Professor Associado do Departamento de Geociências da UA

siltoso serve de substracto a solos de idade recente (aluviões lodosos e arenosos) e do Quaternário (areias e cascalhos).

É uma unidade constituída essencialmente por materiais arenosos com intercalações de siltes e argilas e raramente com leitos conglomeráticos. Há ainda a particularidade de por vezes, pontualmente ocorrerem pequenas bancadas (5 a 70 cm de espessura) de calcários intercalados com argilas.

As cores da unidade em estudo são muito variadas, desde tons rosa, cremes, acastanhados, amarelos, acinzentados, arroxeados e avermelhados, tendo, por vezes no mesmo nível, laivos de várias cores.

2 - ESTUDOS REALIZADOS

2.1 - Ensaio de laboratório

Efectuou-se uma campanha de amostragem, seleccionando-se 37 amostras, de acordo com a representatividade dos vários tipos litológicos da unidade; as amostras foram recolhidas a profundidades inferiores a 5 metros.

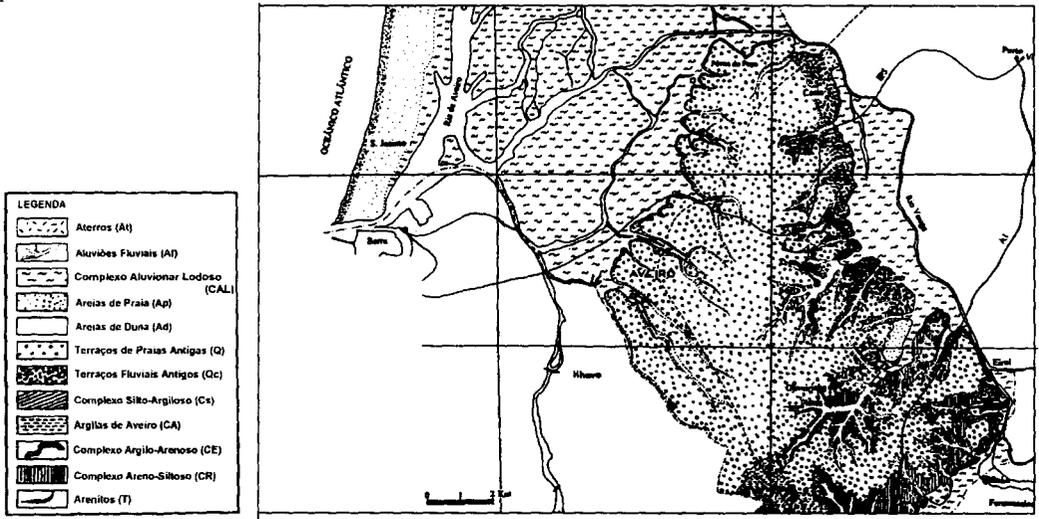


Fig. 1 - Esboço geotécnico da região de Aveiro

2 - ESTUDOS REALIZADOS

2.1 - Ensaio de Laboratório

Efectuou-se uma campanha de amostragem, seleccionando-se 37 amostras, de acordo com a representatividade dos vários tipos litológicos da unidade; as amostras foram recolhidas a profundidades inferiores a 5 metros.

Os resultados das análises granulométricas e limites de Atterberg, permitiram efectuar três agrupamentos de solos:

- Grupo I, constituído por argilas gordas e siltes elásticos;
- Grupo II, constituído por argilas magras arenosas, siltes e areias argilosas e argilo-siltosas;
- Grupo III, constituído por areias e cascalhos.

As classificações Unificada e AASHTO de todas as amostras, por grupo, apresentam-se na Fig. 2. No Quadro I apresentam-se os intervalos obtidos de P_f (percentagem de material inferior a 0.074 mm), LL (Limite de liquidez), IP (índice de plasticidade), Exp (Expansibilidade) e γ_s (peso específico dos grãos) para os vários grupos.

Em todas as amostras foram determinados parâmetros físicos *in situ*, apresentando-se na Quadro II, os intervalos obtidos de W_N (teor em água natural), γ_N (peso específico húmido natural), γ_{dN} (peso específico seco natural) e e_N (índice de vazios natural).

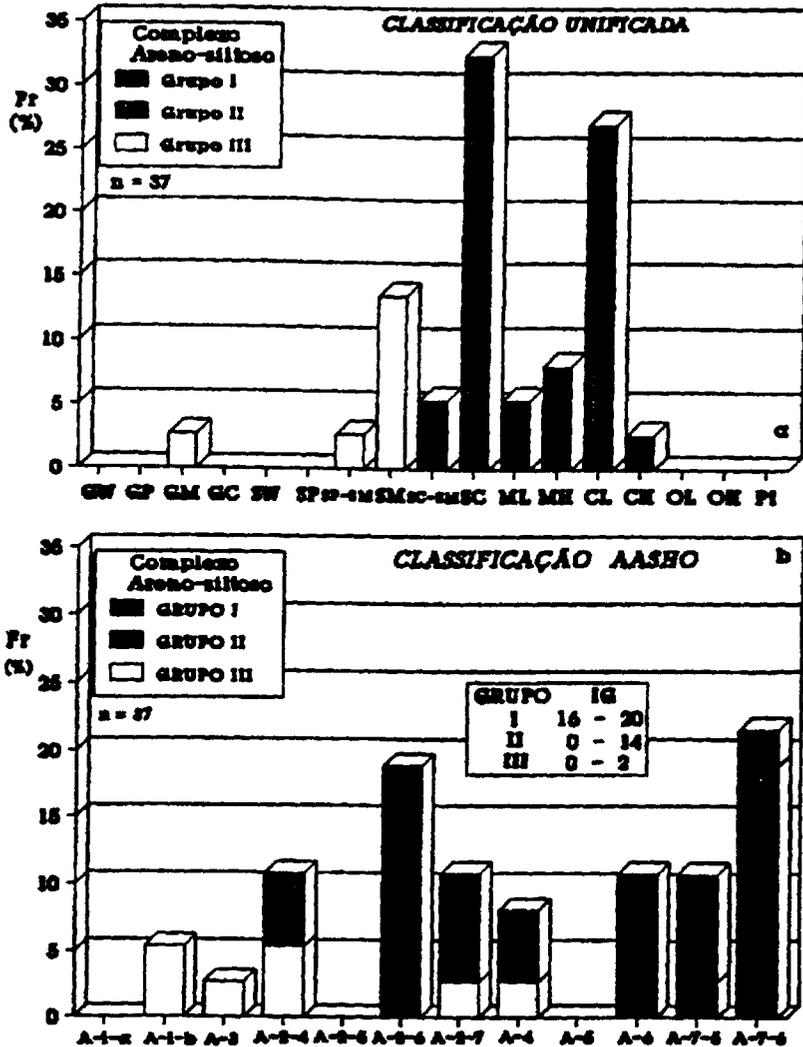


Fig.2 - Classificações das amostras estudadas do Complexo areno-siltoso cretácico de Aveiro

Outros ensaios de laboratório, como o ensaio de corte directo, ensaios triaxiais e edométricos foram realizados em amostras deformadas (DEF) e indeformadas (IND).

Os resultados dos ensaios de corte directo são apresentados na Fig. 3. A fase de consolidação demorou 24 horas e a velocidade de corte foi de 1 mm/min; as tensões normais na

fase de corte foram sempre iguais às da fase de consolidação e com valores inferiores a 500 kPa. As amostras do Grupo I e algumas do Grupo II eram do tipo IND; as amostras do Grupo III e algumas do Grupo II eram do tipo DEF.

QUADRO I
Parâmetros índice do Complexo areno-siltoso cretácico de Aveiro

Grupo	P_f (%)	LL (%)	IP (%)	Exp (%)	γ_s (kN/m ³)
I	84 - 96	61 - 68	21 - 41	23 - 30	26.0 - 27.3
II	14 - 85	21 - 80	5 - 47	5 - 23	26.0 - 27.4
III	9 - 44	18 - 57	0 - 11	0 - 6	26.0 - 27.7

QUADRO II
Parâmetros físicos *in situ* do complexo areno-siltoso cretácico de Aveiro

Grupo	W_N (%)	γ_N (kN/m ³)	γ_{dN} (kN/m ³)	e_N (-)
I	6 - 32	18.7 - 20.6	14.1 - 19.3	0.40 - 0.80
II	1 - 28	19.1 - 22.3	16.0 - 21.9	0.24 - 0.63
III	1 - 23	18.3 - 21.7	16.7 - 21.0	0.26 - 0.66

Ensaio triaxiais (CIU) realizaram-se em amostras do tipo DEF, em solos do Grupo II e do Grupo III, com medições das pressões neutras. Os ângulos de atrito interno daqueles ensaios, em termos de tensões totais, foram ligeiramente inferiores e por vezes iguais aos obtidos nos ensaios de corte directo, no entanto no triaxial apresentam coesões de 50 kPa no máximo, enquanto que no corte directo a coesão foi sempre nula. Em termos de tensões efectivas nos ensaios triaxiais, os resultados em relação aos obtidos em termos de tensões totais, verificam-se coesões semelhantes, mas os ângulos de atrito são geralmente 1 a 2 graus maiores.

Os ensaios edométricos realizaram-se em amostras dos Grupos I e II, do tipo IND, e recolhidas a profundidades inferiores a três metros. Alguns solos apresentam valores de OCR entre 2 e 20 e geralmente superiores a 10; para profundidades superiores a 5 metros admitem-se valores de OCR superiores a 20. Os resultados dos principais parâmetros de compressibilidade (c_c - índice de compressão, m_v - coeficiente de compressibilidade volumétrica, c_v - índice de consolidação, c_α - coeficiente de consolidação secundária, e c_s - índice de expansão) apresentam-se no Quadro III.

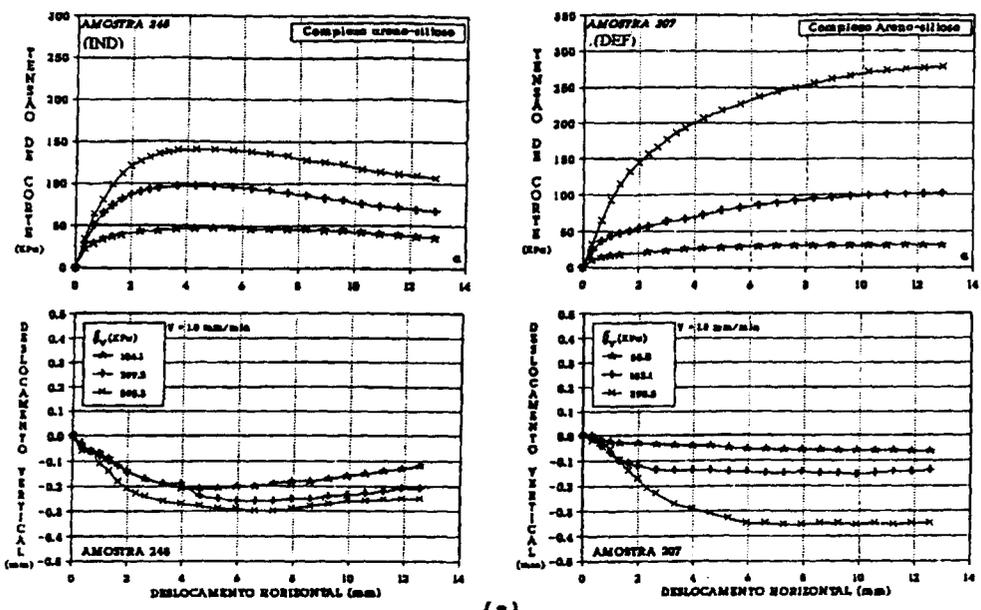
QUADRO III
Parâmetros de compressibilidade a partir de ensaios edométricos em amostras indeformadas dos solos mais finos do Complexo areno-siltoso cretácico de Aveiro

PARÂMETRO	c_c	$m_v \times 10^{-5}$ (kPa ⁻¹)	$c_v \times 10^{-7}$ (m ² /s)	$c_\alpha \times 10^{-3}$	c_s
Grupo I	0.15	2.0	1.0	1.0	0.02
e	a	a	a	a	a
Grupo II	0.25	25.0	15.0	10.0	0.08

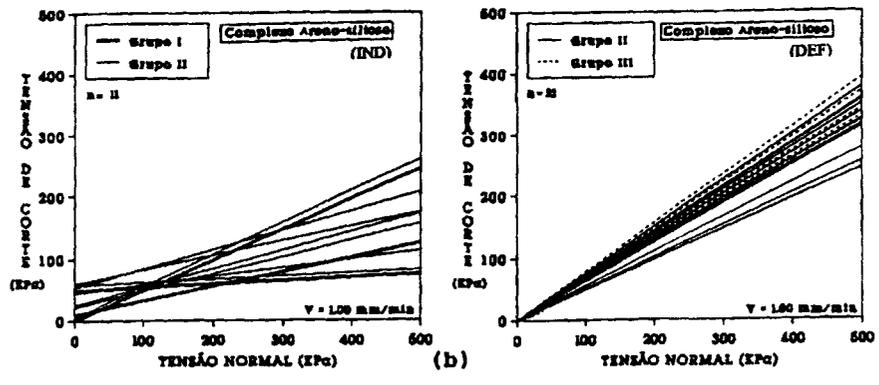
2.2 - Ensaio de Campo

Estudos de campo foram realizados nas formações sedimentares do Complexo areno-siltoso cretácico de Aveiro, apresentando-se neste trabalho os resultados da sísmica de refração, dos ensaios com o penetrómetro dinâmico ligeiro (DPL) e dos ensaios SPT.

Realizaram-se várias dezenas de perfis sísmicos de refração, tendo-se verificado como situação mais frequente, quando os ensaios foram realizados directamente na unidade, os seguintes resultados:



(a)



(b)

Parâmetro	Grupo			
	I (IND)	II (IND)	II (DEF)	III (DEF)
Coesão	0 ... 49	0 ... 60	0	0
Ângulo de atrito interno	3...26	3...27	20 ... 37	33 ... 38

Fig.3 - Resultados de ensaios de corte em solos do Complexo areno-siltoso cretácico de Aveiro: (a) - curvas típicas, (b) - resultados globais

Profundidade (m)	Vp (m/s)
< 2.0	230 ... 500
2.5 ... 5.0	1000 ... 2000
>5.0	2000 ... 2300

Em alguns ensaios, realizados directamente sobre outras unidades (do Quaternário) e que foi possível determinar Vp (velocidade das ondas P) do Complexo areno-siltoso, porque servia de substracto, obtiveram-se geralmente valores entre 1900 e 2300 m/s (geralmente a profundidades superiores a 4 metros).

Ensaio DPL foram realizados em vários locais onde o complexo areno-siltoso aflorava. Na Fig. 4 apresenta-se um DPL tipo e a síntese de todos os ensaios realizados. Estes ensaios mostram que os materiais do Complexo areno-siltoso cretácico, nos primeiros dois metros estão muito descomprimidos.

Realizaram-se várias centenas de ensaios SPT no Complexo areno-siltoso em estudo. Considerando o elevado número de ensaios SPT, dividiram-se em 4 grupos:

- Grupo a, inclui todos os ensaios realizados na unidade sempre que o seu topo estava a profundidades menores que 5 metros, incluindo portanto aqueles ensaios em que a unidade era aflorante;
- Grupo b, inclui os ensaios sempre que o topo da unidade foi encontrado entre 6 e 10 metros de profundidade;
- Grupo c, inclui os ensaios sempre que o topo da unidade se situava entre 11 e 20 metros de profundidade;
- Grupo d, inclui ensaios realizados na unidade sempre que o seu topo se situava a profundidades superiores a 20 metros.

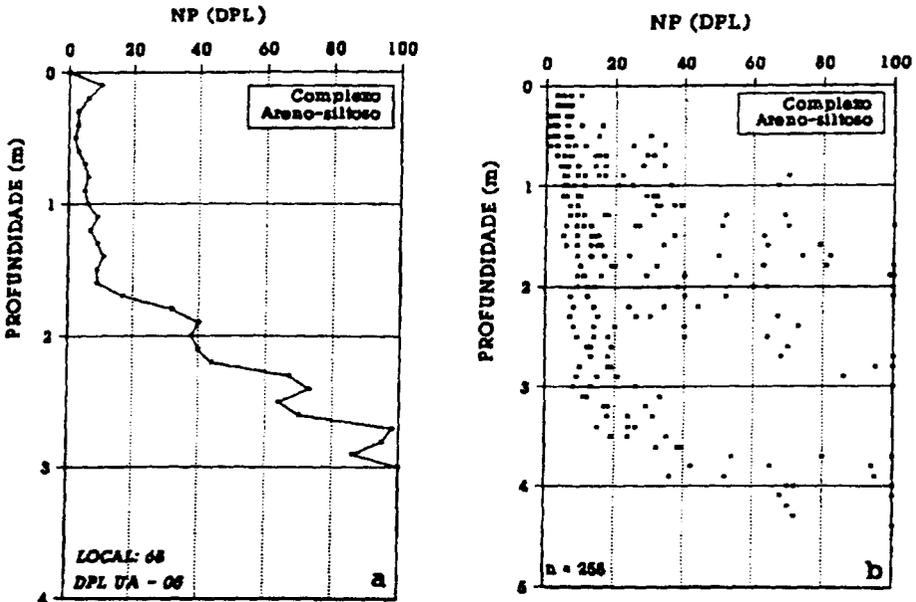


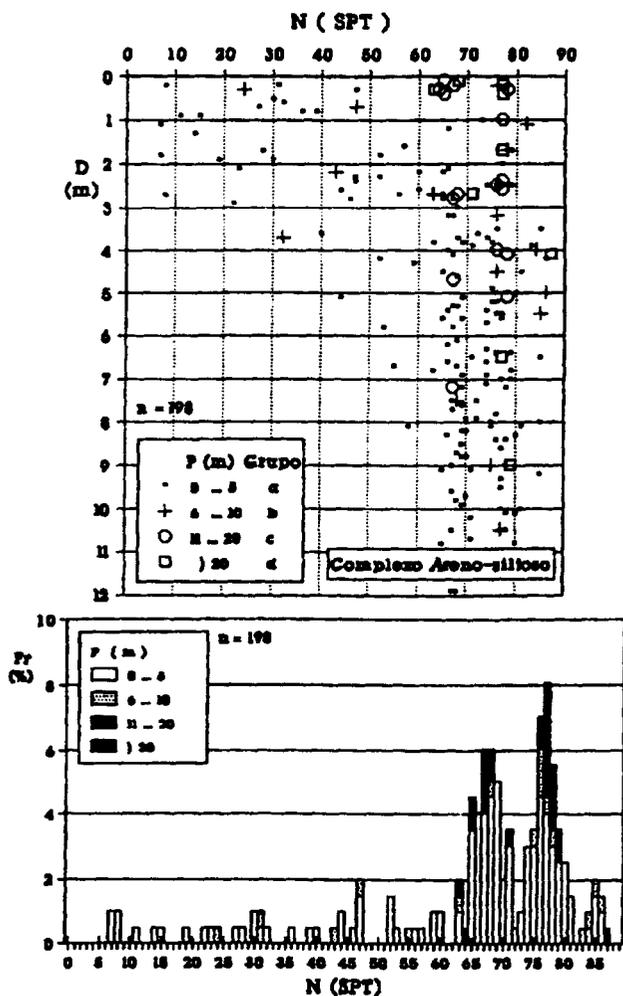
Fig. 4 - Resultados dos ensaios DPL obtidos no complexo areno-siltoso cretácico de Aveiro: a - ensaio tipo; b - resultados globais

Para tal, utilizaram-se as equações da literatura e considerou-se um tipo de “fundação padrão” (Ladeira e Ferreira Gomes, 1994a,b), constituída por uma sapata rectangular flexível, de 10 metros de comprimento, 2 metros de largura e à profundidade de 1.5 metros, e no caso dos assentamentos, a fundação carregada com uma tensão de 100 kPa.

Tendo em conta a aplicação da capacidade de carga e susceptibilidade aos assentamentos no zonamento geotécnico, numa análise conjunta com outras unidades geotécnicas, estabeleceram-se classificações de modo a que as características em causa fossem tomadas apenas com um carácter qualitativo e aproximado. As classificações referidas apresentam-se em síntese, nos Quadros V e VI.

Tomando os parâmetros geotécnicos mais prováveis do Complexo areno-siltoso, concluiu-se que tem capacidade de carga “muito alta” e uma susceptibilidade aos assentamentos instantâneos, primários e secundários, “muito baixa”.

Considerando as características da capacidade de carga e susceptibilidade aos assentamentos, o Complexo areno-siltoso cretácico é considerado “muito bom” para possibilitar a implantação das infraestruturas correntes, prevendo-se fundações directas.



QUADRO V
Capacidade de carga - Classificação (Ladeira e Ferreira Gomes, 1994a)

$\sigma_{Seg}^{(*)}$ (kPa)	< 50	50 - 100	100 - 200	200-300	300-500	500 - 800	> 800
CLASSIFICAÇÃO	Extremamente baixa	muito baixa	baixa	média	alta	muito alta	extremamente alta

(*) Tensão de segurança em relação à rotura, considerando um factor de segurança global de 3, aplicado na equação teórica de Terzaghi de capacidade de carga (Terzaghi e Peck, 1967).

QUADRO VI
Susceptibilidade aos assentamentos - Classificação (*) (Ladeira e Ferreira Gomes, 1994b)

Assentamento máximo total (cm)	< 1.5	1.5 -2.5	2.5 -5.0	5.0 - 10	10 - 20	20-30	> 30
CLASSIFICAÇÃO	muito baixa	baixa	média	alta	muito alta	elevada	extremamente elevada

(*) aplicada separadamente a assentamentos instantâneos, primários e secundários

A capacidade de carga e a susceptibilidade aos assentamentos, na região de Aveiro foram aspectos considerados básicos no âmbito do zonamento geotécnico para estabelecer uma cartografia sobre favorabilidade ao PRU, no entanto muitos outros aspectos foram considerados, apresentando-se uma síntese no Quadro VII.

Do Quadro VII salienta-se que apenas 30% do Complexo areno-siltoso ocupa áreas com declives favoráveis (<15%) à ocupação urbana. Em actividades em construção, com escavações e movimentos de terras deve haver particular atenção aos fenómenos de erosão ravinosa, em que chuvadas de média duração, conjugadas com a permeabilidade geralmente baixa, favorecem a escorrência, com a criação de sulcos. Note-se que apesar de serem terrenos que na generalidade estão na fronteira solo/rocha, nos primeiros dois metros estão descomprimidos, favorecendo a erosão.

São terrenos que se escavam com relativa facilidade, sem recurso a explosivos e os solos resultantes, (excluindo) os do Grupo I, porque também ocorrem com fraca representatividade, são de fácil trabalhabilidade e bons para compactar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERREIRA GOMES, L.M.- *Zonamento geotécnico da área urbana e suburbana de Aveiro*. Tese de doutoramento; Universidade de Aveiro, 531 p., 1992.
- LADEIRA, F. L. e FERREIRA GOMES, L.M. – *Bearing capacity in engineering geological mapping*. Proc. Seventh Int. Cong. IAEG, pp.1245-1250, Lisboa, 1994a.
- LADEIRA, F. L. e FERREIRA GOMES, L. M. - *Susceptibility for settlements in engineering geological mapping*. Proc. Seventh Int. Cong. IAEG, pp. 1251-1253, Lisboa, 1994b.
- TEIXEIRA, C e ZBYSZEWSKI, G. - *Mapa geológico de Portugal*; Escala 1/50 000, Folha 16-A. Serviços Geológicos de Portugal, 1966.
- TERZAGHI, K. e PECK, R.B.- *Soil Mechanics in Engineering Practice*; 2 nd Ed; John Wiley and Sons; New York, 729 p. 1967.

QUADRO VII

Aspectos complementares sobre o Complexo areno-siltoso cretácico, utilizados na cartografia geotécnica aplicada ao PRU da região de Aveiro

Grupo (*)	Aspectos geomorfológicos		Características geodinâmicas		Susceptibilidade à liquefação
	Declives		Fenómeno	Aspectos particulares	
	Classes	Freq (%)			
I	2 – 5%	2	verificam-se geralmente formas de relevo muito arredondadas e raramente se verificam pequenas escarpas de 2 a 3m de altura	(1) erosão laminar	nula
II	5 – 15%	28		(2) erosão ravinosa	
III	> 15%	70			

Grupo	Aspectos hidrogeológicos				Escavabilidade	Trabalhabilidade	Comportamento em aterro	
	Tipo de formação	Permeabilidade	Posição do nível freático	Drenagem superficial				
I	geralmente como equitardo e raramente como aquífero livre e como aquífero suspenso	Impermeável	muito variável dependendo da época do ano e da posição geomorfológica	zonas bem drenadas, com fraca infiltração e apreciável escorência	difícil manualmente, principalmente abaixo dos 2 m de profundidade; abaixo dos 2m há necessidade de recorrer a retroescavadoras, ou em situações mais difíceis a bulldozer com ripper para profundidades superiores a 5 m	má	instável a instabilidade razoável podendo - se tornar mole devido a fenómenos de absorção e expansibilidade	
II		Impermeável a permeabilidade média					Razoável a boa	estabilidade baixa a boa com possibilidade de compactação difícil
III		Permeabilidade Média					boa	estabilidade razoável

(*) note-se que em relação à globalidade do Complexo areno-siltoso a distribuição aproximada dos vários grupos é: Grupo I - 10%; Grupo II - 70 %; Grupo III - 20 % (Ver Fig.2).