

Classificação de solos para usos urbanos: considerações em torno dos aspectos geotécnicos

L. M. Ferreira Gomes ¹

Departamento de Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal

José F. G. Mendes ²

Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal

RESUMO

A classificação de solos para usos urbanos baseia-se na observância de critérios de natureza diversa. Atendendo à concentração de construções que, por definição, caracteriza o espaço urbano, os aspectos geotécnicos do solo assumem um papel diferenciador no que concerne à selecção das áreas mais adequadas.

Neste artigo faz-se o enquadramento da questão da cartografia geotécnica no processo de classificação do uso do solo.

Apresentam-se os factores de zonamento e os atributos que lhes estão associados e discute-se o processo de zonamento por cores, o qual proporciona uma medida da aptidão dos solos para o desenvolvimento urbano.

1. INTRODUÇÃO

No contexto do ordenamento do território, o solo pode ser encarado de diferentes perspectivas, sendo de considerar: o solo como espaço funcional vocacionado para diferentes usos; o solo como suporte de sistemas de actividades; o solo como objecto susceptível de ser desenvolvido; e o solo como imagem perceptiva e recurso estético (Kaiser et al., 1995).

A perspectiva funcional refere-se aos diversos usos que estão implantados no espaço ou para os quais o espaço está vocacionado. A funcionalidade do espaço pode descrever-se através de múltiplos atributos, organizados segundo temas como: características fisiográficas; características legais; características do solo, subsolo e meio aquático; e ocupação do solo e dos edifícios.

Os sistemas de actividades incluem as interacções que têm lugar nos espaços urbanos e entre os espaços urbanos. As actividades geram procura de solo, com exigências diferenciadas

¹ Professor Auxiliar

² Professor Associado

na quantidade, tipo e localização, dando origem a arranjos espaciais do uso do solo que, por sua vez, determinam em grande parte os padrões de interação. Um exemplo representativo são os movimentos pendulares entre áreas de residência e locais de trabalho.

A susceptibilidade de desenvolvimento do solo consiste na possibilidade de lhe ser dado um uso urbano. De um modo geral, pode considerar-se adequado para desenvolvimento urbano um solo que, cumulativamente, esteja vago ou subaproveitado, não tenha condicionalismos físicos severos, esteja destinado para uso mais intenso (através de plano de ordenamento) e disponha ou possa vir a ter acesso às infraestruturas necessárias para suportar esse desenvolvimento.

O solo pode, por fim, constituir um sistema visível ou de imagens, capaz de proporcionar orientação, despertar valores estéticos e simbolismo social.

A classificação do uso do solo é uma abordagem que visa proceder à diferenciação do espaço em termos da sua ocupação por classes, tomando em linha de conta as perspectivas enunciadas (Mendes, 1996).

No caso particular da classe de uso urbano, caracterizada por um elevado nível de infraestruturização, pela presença de construções e pela concentração humana em actividades diversificadas, a determinação da vocação dos solos implica a análise de diferentes características, assumindo especial relevância os aspectos geotécnicos.

2. O PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO

O exercício de classificação do uso do solo resulta numa carta de síntese onde se apresentam as diferentes classes de uso organizadas segundo um determinado arranjo espacial. A metodologia seguida para se chegar ao arranjo final consiste numa sequência de cinco passos que se aplicam a cada classe de uso, a saber (Kaiser et al., 1995):

- *Passo 1.* Definição dos requisitos de localização para a classe de uso em análise (princípios e *standards*);
- *Passo 2.* Classificação dos solos quanto à aptidão para o uso em análise (carta de aptidão);
- *Passo 3.* Estimativa das áreas de solo necessárias para a classe de uso em análise (quadro de áreas);
- *Passo 4.* Análise da capacidade dos solos adequados para o uso em análise (quadro de áreas e/ou intensidades de ocupação);
- *Passo 5.* Desenho de arranjos espaciais alternativos para as classes de uso do solo (carta de síntese).

Na Figura 1 pode observar-se a sequência e as relações entre os cinco passos. Nesta conceptualização está implícita a procura de equilíbrios entre:

- a procura e a oferta de solo;
- os requisitos de localização e os requisitos de espaço;
- a análise (passos 1 a 4) e a síntese (passo 5).

No processo de classificação importa, para o objectivo do presente artigo, reter os passos 1 e 2.

No passo 1, referente aos requisitos de localização, definem-se os princípios e

standards exigíveis para a localização do uso em estudo, no caso em apreço o uso urbano.

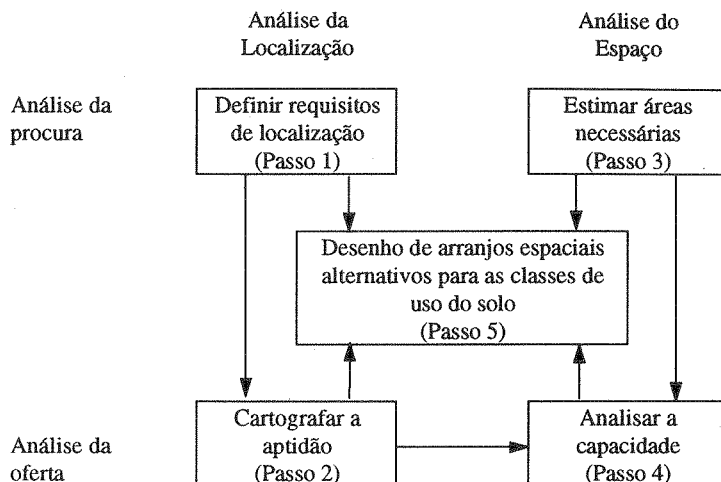


Fig. 1 - Processo de classificação do uso do solo

Os princípios derivam geralmente dos objectivos e políticas definidos no quadro do planeamento, podendo no entanto identificar-se princípios gerais válidos que têm subjacentes critérios de natureza técnica. Estes devem ser complementados com *standards*, normalmente de natureza quantitativa. Assim, o princípio *características geotécnicas favoráveis* para construção pode concretizar-se através de um conjunto de *standards* referentes, por exemplo, à capacidade de carga do solo ou à susceptibilidade aos assentamentos.

O passo 2 consiste na aplicação dos requisitos de localização (princípios e *standards*) ao território em estudo, obtendo-se um mapa representativo da aptidão de cada parcela de terreno em relação a cada classe de uso do solo. É importante referir que o mapa ou carta de aptidão não representa a atribuição de usos mas tão somente o potencial, baseado no conjunto de requisitos considerado.

Considerando então o princípio *características geotécnicas favoráveis* e os *standards* que lhe estão associados, o resultado deste segundo passo do processo de classificação seria uma carta geotécnica de aptidão dos solos para fins urbanos ou, se se pretender maior especificidade, para a construção.

3. CARTAS GEOTÉCNICAS

Uma carta geotécnica pode definir-se como um documento síntese que apresenta a delimitação de um conjunto de zonas, caracterizadas por apresentarem homogeneidade a respeito de determinadas características ou atributos, supondo-se que essa homogeneidade corresponda a uma resposta semelhante a um mesmo tipo de solicitação mecânica. Os atributos considerados em cada carta geotécnica dependem da região a que se referem, devendo no entanto ser contemplados em qualquer cartografia geotécnica os seguintes aspectos: características de solos e rochas e respectiva distribuição espacial; aspectos geohidráulicos; características geomorfológicas; e fenómenos geodinâmicos (Dearman e Eyles, 1982).

As primeiras cartas geotécnicas parecem ter aparecido em 1913 na Alemanha, aquando da Exposição Técnica de Construção de Leipzig (Saraiva, 1986). Desde então, assistiu-se ao desenvolvimento de uma grande variedade de cartas, situação que levou a Comissão de Cartografia Geotécnica da IAEG a publicar alguns documentos normalizadores sobre a classificação de cartas geotécnicas, a descrição das características de solos e rochas, as unidades e a simbologia (UNESCO/IAEG,1976; IAEG,1979, 1981a,b). Salienta-se o documento "Guide pour la préparation des cartes géotechniques" (UNESNCO/IAEG,1976), por apresentar os fundamentos da cartografia geotécnica e estabelecer a classificação das cartas, de acordo com o seu conteúdo, escala e objectivos.

Em Portugal, o primeiro projecto de uma carta geotécnica com aplicação no planeamento regional e urbano surgiu em 1962, integrado na colaboração do Laboratório Nacional de Engenharia Civil à Câmara Municipal de Lisboa (Gomes Coelho, 1980). Depois deste primeiro marco merece referência a carta geotécnica da área de Sines, de 1974, e ainda a cartografia geotécnica da região de Setúbal, apresentada por Gomes Coelho (1980). Na sequência, surgiram vários trabalhos desta índole, destacando-se os de Saraiva (1986), Marques (1988), Lamas (1989), Tavares (1990), Silva (1990), Almeida (1991), Ferreira Gomes (1992), Duarte (1993), Ibrahim de Oliveira (1994) e Rodrigues (1995). Salientam-se ainda outros referidos por Silva (1989), Barbosa e Borges (1991), Oliveira et al. (1995) e Sobreira (1995). Entretanto, é de assinalar a realização em 1995 do 1º Seminário Nacional de Cartografia Geotécnica.

4. FACTORES DE ZONAMENTO GEOTÉCNICO

O conjunto de factores a adoptar para a elaboração de um zonamento geotécnico depende da finalidade da carta e da região em estudo. Os factores que aqui se apresentam foram identificados e utilizados no estabelecimento da cartografia geotécnica da região de Aveiro (Ferreira Gomes, 1992). Este estudo, realizado à escala 1/10000, cobre uma área de 225 Km² e destina-se a fins múltiplos, permitindo designadamente avaliar a aptidão dos solos para o desenvolvimento urbano.

Foram considerados sete factores agrupados em três tipos, tal como se apresenta no Quadro 1.

Quadro 1 - Factores considerados na cartografia geotécnica

Factor	Tipo
1. Unidade geotécnica	Factor básico
2. Capacidade de carga	Factores de zonamento
3. Susceptibilidade aos assentamentos	
4. Aspectos geomorfológicos	
5. Permeabilidade	Factores secundários
6. Susceptibilidade à liquefacção	
7. Fenómenos geodinâmicos	

A unidade geotécnica considerou-se factor básico porque foi a partir das várias unidades definidas que resultou o primeiro ensaio de zonamento. A sua definição teve por base o critério litogenético (UNESCO/IAEG, 1976), apoiando-se num reconhecimento geológico e em ensaios de campo e de laboratório.

Os factores de zonamento são aqueles que, por combinação dos seus atributos, permitem delimitar as zonas geotécnicas. Os Quadros 2 e 3 apresentam os atributos dos factores *capacidade de carga* (Ladeira e Ferreira Gomes, 1994a) e *susceptibilidade aos assentamentos* (Ladeira e Ferreira Gomes, 1994b), respectivamente.

Quadro 2 - Atributos para a capacidade de carga

Classificação (Atributo)	Q _{seg} - kPa (*)		
extremamente baixa	0	a	50
muito baixa	50	a	100
baixa	100	a	200
média	200	a	300
alta	300	a	500
muito alta	500	a	800
extremamente alta	> 800		

(*) - Q_{seg} é a tensão de segurança à rotura determinada a partir da equação teórica de Terzaghi, utilizando um factor de segurança de 3.0, tendo-se admitido a fundação considerada "unidade padrão" na avaliação da capacidade de carga em cartografia geotécnica (sapata contínua flexível, de 2 metros de largura e à profundidade de 1.5 metros).

Quadro 3 - Atributos para a susceptibilidade aos assentamentos

Classificação (Atributo) (*)	Assentamentos (cm)		
muito baixa	< 1.5		
baixa	1.5	a	2.5
média	2.5	a	5.0
alta	5.0	a	10.0
muito alta	10.0	a	20.0
elevada	20.0	a	30
extremamente elevada	> 30		

(*) - Classificação usada em separado para os assentamentos instantâneos, primários e secundários. Utilizou-se a fundação considerada "unidade padrão" na avaliação dos assentamentos em cartografia geotécnica (sapata rectangular de largura B (B = 2m) e comprimento 5B, flexível, à profundidade de 1.5 metros e sujeita a uma tensão de 100 KN/m²).

Em relação aos *aspectos geomorfológicos*, foram considerados dois atributos: i) declives inferiores ou iguais a 15%; e ii) declives superiores a 15%.

Os factores secundários são aqueles que, não tendo sido utilizados para estabelecer o zonamento, caracterizam as diferentes zonas geotécnicas, disponibilizando informação complementar útil à avaliação da aptidão do solo.

Os atributos do factor *permeabilidade*, definidos de acordo com a classificação proposta por Lambe e Whitman (1979), são apresentados no Quadro 4.

No Quadro 5 apresentam-se os atributos referentes ao factor *susceptibilidade à liquefacção* (Ferreira Gomes, 1992).

Os aspectos relacionados com os *fenómenos geodinâmicos* são de natureza muito diversa, tendo-se identificado como mais importantes os seguintes: erosão hídrica (laminar, ravinosa e fluvial), erosão eólica, sedimentação, fluência, escorregamentos e quedas de material e blocos.

Quadro 4 - Atributos para a permeabilidade

Classificação (Atributo)	K (cm/s)		
	praticamente impermeável		< 10 ⁻⁷
muito baixa	10 ⁻⁷	a	10 ⁻⁵
baixa	10 ⁻⁵	a	10 ⁻³
média	10 ⁻³	a	10 ⁻¹
alta		> 10 ⁻¹	

Quadro 5 - Atributos para a susceptibilidade à liquefacção

Classificação (Atributo)	F1 (*)		
	elevada		< 0.5
alta	0.5	a	0.75
moderada	0.75	a	1.00
fraca	1.00	a	1.25
muito fraca	1.25	a	2.00
nula		> 2.00	

(*) F1 - Factor de segurança em relação à liquefacção, calculado com base na "relação das tensões cíclicas", segundo metodologia apresentada por Seed e Idriss (1982).

A aplicação destes factores, através da combinação dos seus atributos, resulta na delimitação cartográfica de zonas geotécnicas, as quais podem ser codificadas de acordo com a sua aptidão segundo um código de cores. Assim foi feito no estudo de Aveiro (Ferreira Gomes, 1992), onde se adoptaram três cores básicas: verde, vermelho e amarelo.

As zonas a verde são as que apresentam maior aptidão para o desenvolvimento urbano, possuindo capacidade de carga "extremamente alta", susceptibilidade aos assentamentos (instantâneos, primários e secundários) "muito baixa", e declives "inferiores a 15%".

As zonas a vermelho são as que, em oposição às verdes, apresentam piores características geotécnicas, com capacidade de carga em geral "extremamente baixa", com susceptibilidade aos assentamentos em geral "elevada" e declives "inferiores a 15%"; são ainda zonas inundáveis, além de apresentarem outros aspectos negativos para a implantação de estruturas urbanas.

As zonas a amarelo apresentam situações intermédias em relação às anteriores.

Outras zonas com cores intermédias, como alaranjadas, amarelo-esverdeadas ou outras, têm características geotécnicas próximas ou distantes das zonas com cores básicas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No âmbito do processo de classificação do uso do solo procede-se à cartografia da aptidão do território para fins urbanos, daí resultando a cartografia geotécnica.

Os factores mais relevantes para o estabelecimento de zonas geotécnicas são a capacidade de carga, a susceptibilidade aos assentamentos e os aspectos geomorfológicos (considerando-se normalmente o declive). Da combinação dos atributos associados a cada factor resulta um zonamento por cores que fornece uma medida da aptidão dos solos, sob o ponto de vista geotécnico, para a implantação de construções.

Este modelo pode constituir-se como um auxiliar de grande valor na elaboração de cartas de síntese de planos de ordenamento do território, na medida em que contribua para despistar situações de má localização de actividades, evitando as indesejáveis e onerosas consequências motivadas pela verificação tardia de condições geotécnicas desfavoráveis.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I.M.B.M. (1991). *Características geotécnicas dos solos de Lisboa*. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- BARBOSA, B.P.; BORGES, L. (1991). Cartografia geotécnica - A Carta Geotécnica do Porto. In *4º Congresso Nacional de Geotecnia*, vol. 1, pp. 39-46.
- DEARMAN, W.R. e EYLES, N. (1982). An engineering geological map of the soils and rocks of United Kingdom. *Bull. IAEG*, nº 25, Paris, pp.3-18.
- DUARTE, I.M.R. (1993). *Contribuição para a cartografia geotécnica da região de Águeda*. Dissertação de Mestrado, Univ. Nova de Lisboa, Lisboa.
- FERREIRA GOMES, L.M. (1992). *Zonamento geotécnico da área urbana e suburbana de Aveiro*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- GOMES COELHO, A. (1980). *A cartografia geotécnica no planeamento regional e urbano. Experiência de aplicação na região de Setúbal*. Tese para especialista, LNEC, Lisboa.
- IAEG (1979). Classification of the rocks and soils for engineering geological mapping. Part I Rock and Soil Materials. *Bull. IAEG*, nº 19, Krefeld, pp.364-371.
- IAEG (1981a). Recommended symbols for engineering geological mapping. *Bull. IAEG*, nº 24, Krefeld, pp.227-234.
- IAEG (1981b). Rock and Soil description and classification for engineering geological mapping. *Bull. IAEG*, nº 24, Krefeld, pp.235-274.
- IBRAHIM DE OLIVEIRA, R.E. (1994). *Geomecânica dos solos do concelho de Ovar*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- KAISER, E.; GODSCHALK, D.; CHAPIN, F. (1995). *Urban Land Use Planning*. 4th ed. University of Illinois Press.
- LADEIRA, F.L. e FERREIRA GOMES, L.M. (1994a). Bearing capacity in engineering geological mapping. In *Proc. VII Int. Cong. IAEG*, Lisboa, pp.1245-1250.
- LADEIRA, F.L. e FERREIRA GOMES, L.M. (1994b). Susceptibility for settlement in engineering geological mapping. In *Proc. VII Int. Cong. IAEG*, Lisboa, pp.1251-1253.
- LAMAS, P.C. (1989). *Carta de riscos de movimentos de terrenos dos taludes da margem sul do Tejo (Cacilhas-Trafaria)*. Dissertação de Mestrado, Univ. Nova de Lisboa, Monte da Caparica.
- LAMBE, T.W. e WHITMAN, R.V. (1979). *Soil Mechanics*. SI version. John Wiley & Sons, New York.
- MARQUES, F.M.F.S. (1988). *Contribuição para o conhecimento geológico e geotécnico do território de Macau*. Dissertação de Mestrado, Univ. de Lisboa, Lisboa.
- MENDES, J.F.G. (1996). *Planeamento Territorial*. Braga, Universidade do Minho.
- OLIVEIRA, R.; GOMES, C.; NORONHA, F.; BORGES, L. (1995). Características geológicas e geotécnicas da cidade do Porto (Carta Geotécnica do Porto). In *5º Congresso Nacional de Geotecnia*, Coimbra; pp. 119-132.
- RODRIGUES, C.M.G. (1995). *Cartografia geotécnica no planeamento do concelho de Oliveira do Bairro*. Dissertação de Mestrado, Univ. de Coimbra, Coimbra.

- SARAIVA, A.L.A. (1986). *Caracterização e aptidão geotécnica dos terrenos envolventes das albufeiras das barragens da Aguieira e do Coiço*. Tese de Doutoramento, Univ.de Coimbra, Coimbra.
- SEED, H.B. e IDRIS, I.M. (1982). *Ground motions and soil liquefaction during earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute.
- SILVA, A.P.F. (1990). *Cartografia geotécnica assistida por computador*. Dissertação de Mestrado, Univ. Nova de Lisboa, Monte da Caparica.
- SILVA, H.S. (1989). A importância das ciências geológicas no planeamento urbano. A zona litoral entre Faro e Olhão. *Geotecnia*, 57, pp. 75-82.
- SOBREIRA, F.G. (1995). Cartografia geotécnica de Sesimbra e Santana. In *5º Congresso Nacional de Geotecnia*, pp. 149-165.
- TAVARES, A.M.Q.S. (1990). *Caracterização geotécnica da zona sudeste da cidade de Coimbra*. Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica, Univ. de Coimbra, Coimbra.
- UNESCO/IAEG (1976). *Guide pour la préparation des cartes géotechniques*. Les Presses de l'Unesco, Paris.