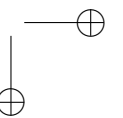
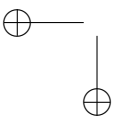
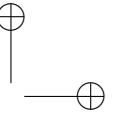
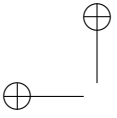


1

AS EQUAÇÕES CONSTITUTIVAS NA MODELAÇÃO GEOTÉCNICA



A modelação faz sempre parte, de uma forma ou outra, da atividade de projeto, embora frequentemente muitos engenheiros não se apercebam desse facto.

Um modelo (matemático, físico, económico, entre outros) é sempre uma simplificação da realidade. «É, e tem de ser irrealista, no sentido em que esta palavra é mais geralmente usada. No entanto e num certo sentido paradoxalmente, se é um bom modelo ele fornece a chave para compreender a realidade» (Baran & Sweezy, 1968, citado por Wood, 2004).

No caso dos solos, sobre cuja modelação este livro se debruça, a modelação do seu comportamento é boa se identifica adequadamente os fatores que são importantes e os que não o são. A atenção é dirigida sobretudo, como é natural, para as equações constitutivas. Embora seja feita uma introdução ao método das diferenças finitas e ao método dos elementos finitos, as referências a aplicações numéricas, por exemplo, terão sempre como primeiro objetivo proporcionar um melhor entendimento do papel das equações constitutivas. Estas serão introduzidas admitindo quase exclusivamente condições de axissimetria no espaço de tensões principais, pois, não se afastando dos seus objetivos principais, a exposição torna-se mais fácil. E a formulação das equações constitutivas, para um espaço em que as tensões principais obedecem à condição $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$, não se reveste de dificuldades especiais.

Na verdade, sempre que se modela, formulam-se determinadas hipóteses relativamente às ações, à geometria, às condições de fronteira, às equações constitutivas e aos métodos numéricos (quando a estes se recorre), e a natureza de tais hipóteses, bem como os respetivos efeitos, não podem deixar de ser tidos em conta.

Procurar-se-á também, ao tratar o comportamento dos solos não saturados, mostrar que a engenharia geotécnica nos domínios da engenharia civil não se esgota na mecânica dos solos saturados, permitindo assim que, na prática, os engenheiros possam identificar melhor os problemas geotécnicos com que são confrontados.

Sendo hoje comum o uso de programas de cálculo baseados em modelos tais como os que aqui são expostos, afigura-se indispensável um conhecimento destes últimos suficientemente aprofundado para permitir descortinar também as respetivas vantagens e limitações, o qual pode proporcionar, não só a melhor utilização de tão úteis ferramentas, como a mais adequada interpretação dos resultados do seu uso.

No capítulo 2 far-se-á referência a algumas equações constitutivas usadas na Mecânica dos Solos clássica e que constituíram as bases para o desenvolvimento do projeto geotécnico no domínio da Engenharia Civil. É um assunto com alguma ressonância histórica, mas que

pode ser extremamente formativo quando se abordam, nos capítulos seguintes, os conceitos e métodos atuais da mecânica em que se baseiam os modelos que serão tratados neste livro.

No capítulo **3** trata-se, genericamente, a relação entre a modelação e os métodos de análise, com ênfase não só nos requisitos teóricos da análise estrutural, como nos métodos correntes de a realizar. É ainda abordado o papel essencial do recurso aos métodos numéricos para a realização das análises estruturais.

O capítulo **4** aborda a questão dos critérios de cedência, isto é, da determinação do lugar geométrico dos estados de tensão de cedência no espaço de tensões. São tratados os critérios de Tresca, de von Mises, de Mohr-Coulomb, de Drucker-Prager, de Lade-Duncan e de Matsuoka-Nakai.

O capítulo **5** centra-se nos métodos numéricos a que mais frequentemente se recorre na modelação dos problemas geotécnicos no domínio da Engenharia Civil, salientando-se, para além da sua justificação intrínseca, as particularidades da sua aplicação nesta área.

No capítulo **6** entra-se mais diretamente na modelação elástica, sendo descrito, através das equações constitutivas mais adequadas, o comportamento dos materiais hiperelásticos, elásticos e hipoeelásticos. É também tratada a questão da quantificação dos parâmetros das equações constitutivas apresentadas.

No capítulo **7** desenvolvem-se os aspetos relacionados com as leis constitutivas que descrevem o comportamento elástico variável, as quais exprimem os módulos elásticos em função dos estados de tensão ou de deformação ou de ambos. É dada particular atenção a modelos, de natureza hipoeelástica e com grande aplicação prática na Geotecnia, tais como o hiperbólico e o $K-G$.

Com o capítulo **8** entra-se já no domínio da elastoplasticidade aplicada ao critério de cedência de Mohr-Coulomb. São tratadas, não só, as equações constitutivas correspondentes ao comportamento elástico perfeitamente plástico, de uso tão generalizado na Mecânica dos Solos clássica, mas também as que descrevem o comportamento elastoplástico, com endurecimento ou com amolecimento. Apresenta-se, também, uma modelação do amolecimento recorrendo a um parâmetro volumétrico de estado.

O capítulo **9** trata da modelação elastoplástica com endurecimento (ou amolecimento) com base no modelo Cam-Clay. São deduzidas as equações constitutivas relativamente a este último modelo.

O capítulo **10**, após uma introdução aprofundada dos conceitos fundamentais relativos ao estado de não saturação dos solos, centra-se na apresentação do seu comportamento resistente e do *Barcelona Basic Model* (modelo *BBM*), quer quando aplicado às previsões de deformações resultantes de compressão isotrópica a sucção constante, quer quando da aplicação de uma tensão deviatória. Como é natural, também se apresenta a caracterização experimental dos parâmetros do modelo *BBM*.

Finalmente, no fim de cada capítulo, são apresentadas aplicações relacionadas com a matéria do capítulo em causa e que são constituídas por problemas resolvidos que, para além da sua justificação óbvia, pretendem contribuir para uma melhor apreensão das matérias expostas.