

O meio geológico e a sua relação com a engenharia

**Introdução à cadeira de Mineralogia e Geologia
das Licenciaturas de Engenharia Civil e do Território do IST
- 2006 -**

Ref. Bibliográfica :

Vallejo L. I. G. de; Ferrer M.; Ortuño L. & Oteo C. (2002) – Ingeniería Geológica, Pearson Educacion, Madrid, 744p.

O meio geológico e a sua relação com a engenharia

O meio geológico encontra-se em contínua evolução e os processos afectam tanto as rochas e os solos como a globalidade do meio natural. O meio antrópico, representado pelas cidades, infra-estruturas, obras públicas, etc., surge com frequência em regiões geologicamente instáveis, modificando e desencadeando, inclusivamente, os processos geológicos. A procura de soluções harmoniosas entre o meio geológico e o antrópico deve basear-se na consideração prévia dos seus factores distintivos, cujo conhecimento está na base de algumas interpretações erróneas. Dentro destes factores destacam-se:

- **A escala geológica e a da engenharia**
- **O tempo geológico e o antrópico**
- **A linguagem geológica e a da engenharia**

Geologia	Engenharia
Fenómenos físicos da Terra, com escalas que vão desde o cósmico até ao microscópico, e o tempo mede-se em centenas de milhões de anos	Escalas espaciais e temporais adaptam-se à medida das actividades humanas.
Processos geológicos, como a orogénese, petrogénese, etc., decorrem ao longo de milhões de anos	A acção antrópica intervém de forma extraordinária em determinados processos naturais como a erosão, sedimentação, e inclusive o clima. A possibilidade de acelerar ou modificar os processos naturais é um dos aspectos fundamentais
Perigos naturais de grande magnitude, têm em geral uma probabilidade muito baixa de ocorrência	Muitas propriedades dos materiais geológicos de interesse geotécnico como a permeabilidade, alterabilidade, resistência, deformabilidade, etc., ou processos como a dissolução, subsidência, expansividade, etc., podem ser substancialmente modificadas pela acção humana.
Velocidades em que se desenvolvem os processos geológicos, desde o quase instantâneo como os terremotos, até ao muito lento como a dissolução e a erosão	Maioria das obras operacionais entre 50 a 100 anos Segurança geológica e ambiental 500 a 1 000 anos Armazenamento de resíduos radioactivos >10 000 anos

Em geologia parte-se de um visão espacial dos fenómenos físicos da Terra, com escalas que vão desde o cósmico até ao microscópico, e o tempo mede-se em centenas de milhões de anos. Em engenharia as escalas espaciais e temporais adaptam-se à medida das actividades humanas. Grande parte dos processos geológicos, como a orogénese, petrogénese, etc., decorrem ao longo de milhões de anos, e condicionam factores tão diferentes como as propriedades e características dos materiais e a ocorrência de processos sísmicos ou vulcânicos. O homem como espécie surge no Quaternário, com uma antiguidade de cerca de 2 milhões de anos, face aos 4 600 milhões de anos de vida

deste planeta. No entanto a acção antrópica intervém de forma extraordinária em determinados processos naturais como a erosão, sedimentação, e inclusive o clima. A possibilidade de acelerar ou modificar os processos naturais é um dos aspectos fundamentais a considerar em engenharia geológica. Muitas propriedades dos materiais geológicos de interesse geotécnico como a permeabilidade, alterabilidade, resistência, deformabilidade, etc., ou processos como a dissolução, subsidência, expansividade, etc., podem ser substancialmente modificadas pela acção humana.

A comparação entre o tempo geológico e o humano é fundamental para avaliar as possíveis consequências dos factores e riscos geológicos. Pode considerar-se que a maioria das obras se projectam para ser operacionais entre 50 a 100 anos; no entanto é habitual exigir garantias de segurança geológica e ambiental para períodos entre 500 e 1 000 anos, como sucede face ao risco de inundações ou terremotos, etc.; há circunstâncias nas quais a estabilidade geológica deve ser assegurada para períodos ainda mais dilatados, como é o caso do armazenamento de resíduos radioactivos, onde se consideram períodos superiores a 10 000 anos.

Considerando a escala humana, muitos processos geológicos, como os perigos naturais de grande magnitude, têm em geral uma probabilidade muito baixa de ocorrência. O amplo domínio de velocidades em que se desenvolvem os processos geológicos, desde o quase instantâneo como os terremotos, até ao muito lento como a dissolução e a erosão, é outro factor que deve ser considerado.

As escalas cartográficas, como meio de representação espacial, são mais um dos aspectos distintos a ter em conta. Em geologia as escalas são condicionadas pela dimensão dos fenómenos ou das unidades geológicas, formações, estruturas, etc., a representar. A maioria dos mapas (cartas) geológicos tem escalas compreendidas entre 1/1 000 000 e 1/50 000, enquanto em engenharia as escalas mais frequentes se encontram entre 1/10 000 e 1/500. As cartas geológicas regionais permitem identificar factores que, não estando representados na área específica do projecto, poderão ser importantes para observar aspectos geológicos regionais, ou a presença de perigos cujo alcance poderá afectar a zona em estudo. As cartas geológicas a escalas de pormenor constituem uma prática habitual nas cartografias geotécnicas, litológicas ou temáticas, onde se representam descontinuidades, dados hidrogeológicos, materiais, etc., a escalas iguais às do projecto.

Um problema que se coloca frequentemente ao integrar dados geológicos em projectos de engenharia é a falta de comunicação entre os dois campos. Devido à independência

das terminologias próprias da geologia e da engenharia, cada área dá destaque a aspectos diferentes e os resultados são valorizados de modo distinto, de acordo com as suas especificidades próprias. Em engenharia trabalha-se com materiais cujas propriedades variam muito pouco, podendo ser ensaiados em laboratório, como os betões, aços, etc., não se registando variação significativa das propriedades com o tempo. No entanto em geologia a maioria dos materiais são anisotrópicos e heterogéneos, e apresentam propriedades muito variáveis e que sofrem alterações e modificações com o tempo.

Num projecto de engenharia precisa-se de dados quantificáveis e susceptíveis de serem modelizados. Em geologia a quantificação numérica e a simplificação dos amplos domínios de variação das propriedades em valores compreendidos dentro de limites muito próximos é difícil, ou às vezes impossível de modo a cumprir os requisitos de um projecto. Por outro lado, é habitual dispor em engenharia de um grau de conhecimento muito preciso sobre os materiais de construção, enquanto a informação geológico-geotécnica baseia-se num número limitado de reconhecimentos, ocasionando um factor de incerteza presente nos estudos geotécnicos, circunstância que afecta a maioria dos projectos. A apreciação destas diferenças e a utilização de uma linguagem comum adequada às finalidades do Projecto é um dos componentes da engenharia geológica, que dispõe de métodos para quantificar ou exprimir dados geológicos de forma a poderem ser integrados na modelização numérica ou na tomada de decisões a nível de Projecto e da Construção.

A estatística é uma ferramenta importante para analisar dados muito variáveis, e inclusive aleatórios. O estudo de certos fenómenos, de periodicidade insuficiente conhecida, pode ser abordado a partir de análises probabilísticas com resultados aceitáveis, como é o caso de determinados riscos geológicos. A quantificação de um conjunto de propriedades geológico-geotécnicas para aplicações construtivas é possível mediante os sistemas de classificações geomecânicas de maciços rochosos e de solos. A utilização do conceito de coeficiente de segurança, habitualmente empregue em engenharia para exprimir o grau de estabilidade da obra, é igualmente incorporado na prática da engenharia geológica. A incorporação destes e de outros procedimentos, sobretudo mediante o conhecimento do meio geológico e da sua interacção com as actividades construtivas, faz com que possam definir, avaliar e integrar os factores geológicos que incidem e devem ser considerados na engenharia.

Factores geológicos e Problemas geotécnicos

A diversidade de meios geológicos e a complexidade dos seus processos fazem com que nas obras de engenharia devam existir soluções geotécnicas sempre que os factores geológicos condicionem o projecto.

Em primeiro lugar, devido à sua maior importância, estão os riscos geológicos, cuja incidência pode afectar a segurança ou viabilidade do Projecto. Em segundo lugar estão todos aqueles factores geológicos cuja presença condicione técnica ou economicamente a Obra.

Nos Quadros 1 e 2 apresentam-se as possíveis influências da litologia e da estrutura geológica sobre o comportamento geotécnico dos materiais rochosos e solos. Nos Quadros 3 e 4 referem-se o papel dos processos geológicos, incluindo determinados pela presença água, sobre os materiais geológicos e que conduzem a problemas geotécnicos.

De acordo com a informação dos quadros referidos pode dizer-se:

- Os factores geológicos são a causa da maioria dos problemas geotécnicos.
- A água é um dos factores de maior incidência no comportamento geotécnico dos materiais.
- Os processos geológicos podem modificar o comportamento dos materiais, incidindo sobre o meio físico, e ocasionar problemas geotécnicos.

Condições gerais que devem estar presentes num local de implantação de uma obra de modo a que possa ser considerado geológico e geotecnicamente favorável:

- Ausência de processos geológicos activos que representem riscos inaceitáveis para o projecto.
- Adequada capacidade de suporte do terreno para a fundação das estruturas.
- Suficiente resistência dos materiais para manter a sua estabilidade em escavações superficiais ou subterrâneas.
- Disponibilidade de materiais para a construção de obras de terra.
- Estanquicidade das formações geológicas para armazenar água ou resíduos sólidos ou líquidos.
- Facilidade de extracção de materiais para a sua escavação

Quadro 1

Influência da litologia no comportamento geotécnico dos terrenos		
Litologia	Propriedades típicas	Problemas geotécnicos
Rochas duras	Minerais duros e abrasivos	Abrasividade Dificuldade de escavação
Rochas brandas	Resistência média a baixa Minerais alteráveis	Roturas em taludes Deformabilidade em túneis Alteração das propriedades com o tempo
Solos duros	Resistência média a alta	Problemas nas fundações com argilas expansivas e com estruturas instáveis
Solos brandos	Resistência baixa a muito baixa	Assentamentos de fundações Roturas em taludes
Solos orgânicos ou biogénicos	Alta compressibilidade Estruturas meta-estáveis	Subsidência e colapsos

Quadro 2

Estruturas geológicas e problemas geotécnicos		
Estruturas geológicas	Propriedades típicas	Problemas geotécnicos
Falhas e fracturas	Superfícies muito contínuas; espessura variável	Roturas, instabilidades, acumulação de tensões, infiltrações e alterações
Planos de estratificação	Superfícies contínuas; pequena separação	Roturas, instabilidades e infiltrações
Descontinuidades	Superfícies pouco contínuas, fechadas ou pouco separadas	Roturas, instabilidades, infiltrações e alterações
Dobras	Superfícies de grande continuidade	Instabilidade, infiltrações e tensões condicionadas pela orientação
Foliação, xistosidade	Superfícies pouco contínuas e fechadas	Anisotropia em função da orientação

Quadro 3

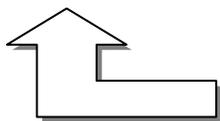
Efeitos dos processos geológicos relacionados com a água e sua incidência geotécnica		
Processos geológicos na dependência da água	Efeitos sobre os materiais	Problemas geotécnicos
Dissolução	Perda de material em rochas e solos solúveis Carsificação	Cavidades Colapsos
Erosão-Transporte	Perda de material e lixiviação Erosão interna Ravinamento	Quedas e colapsos Assentamentos Escavações Aterros
Reacções químicas	Alterações da composição química	Ataque a cimentos, inertes, metais e rochas
Alterações	Alteração das propriedades físicas e químicas	Perda de resistência Aumento da deformabilidade e permeabilidade

Quadro 4

Influência dos processos geológicos na engenharia e no meio ambiente		
Processos geológicos	Efeitos sobre o meio físico	Problemas geoambientais e tipos de actuação
Sismicidade	Terramotos, tsunamis Movimentos do solo, roturas, deslizamentos, liquefacção	Danos a populações e infra-estruturas Projecto anti-sísmico Medidas de prevenção Planos de emergência
Vulcanismo	Erupções vulcânicas Alterações do relevo Tsunamis e terremotos Colapsos e grandes movimentos de vertente	Danos a populações e infra-estruturas Sistemas de vigilância Medidas de prevenção Planos de evacuação
Empolamentos, subsidiências	Alterações morfológicas de longo prazo Alterações na dinâmica litoral e no nível do mar a longo prazo	Medidas de controlo e vigilância
Erosão-Sedimentação	Alterações geomorfológicas a médio prazo Arrastamento e aumento da escorrência Colmatação	Aumento do risco de inundações e deslizamentos Medidas de protecção em leitos e zonas costeiras
Movimentos de vertente	Deslizamentos, Desprendimentos, Mudanças morfológicas a curto e médio prazo Desvio de leitos de rios	Danos a populações e infra-estruturas Obstrução de leitos de rio Medidas de estabilização, controlo e prevenção
Alterações do nível freático	Alterações nos aquíferos Alteração das propriedades do solo Secagem e encharcamento Subsidiência e instabilidade de vertentes	Problemas na cimentação Afectação de culturas e regadios Medidas de drenagem
Processos tectónicos	Tensões naturais Sismicidade Instabilidades	Explosões de rocha em minas e túneis profundos Deformações a longo prazo em obras subterrâneas Concepção do projecto em túneis e minas
Processos geoquímicos	Altas temperaturas Anomalias térmicas Presença de gases	Risco de explosão Dificuldade de execução em obras subterrâneas

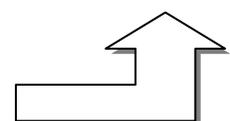
Metodologia utilizada em Engenharia Geológica

1. Identificação de materiais e processos. Definição da geomorfologia, estrutura, litologia e condições da água subterrânea.
2. Investigação geológica-geotécnica do subsolo
3. Distribuição espacial de materiais, estruturas e descontinuidades
4. Condições hidrogeológicas, tensionais e ambientais
5. Caracterização de propriedades geomecânicas, hidrogeológicas e químicas
6. Caracterização dos materiais geológicos utilizados na construção, extracção de recursos naturais e trabalhos de protecção do meio ambiente
7. Comportamento geológico-geotécnico segundo a construção do projecto
8. Avaliação do comportamento mecânica e hidráulico de solos e maciços rochosos. Previsão das alterações das propriedades anteriores com o tempo
9. Determinação dos parâmetros que devem ser utilizados nas análises de estabilidade para escavações, estruturas de terras e fundações
10. Avaliação dos tratamentos do terreno para a sua melhoria face a infiltrações, assentamentos, instabilidades de taludes, desmoronamentos, colapsos , etc.
11. Considerações face a riscos geológicos e impactos ambientais
12. Verificação e adaptação dos resultados do projecto às condições geológico-geotécnicas encontradas na obra. Instrumentação e auscultação.



Mineralogia
e Geologia

Geologia de
Engenharia



**CONTRIBUTO DAS CADEIRAS PARA APLICAÇÕES NO DOMÍNIO
DA ENG. CIVIL, ENG. DO TERRITÓRIO E ENG. DO AMBIENTE**