

XVI LIÇÃO MANUEL ROCHA, 1999

A XVI Lição Manuel Rocha Intitulada “Geotecnia Ambiental – Perspectivas e Aplicações” foi proferida pelo Prof. C. Dinis da Gama em 18 de Outubro de 1999, na Fundação Calouste Gulbenkian.

A apresentação do Prof. Dinis da Gama foi efectuada pelo Prof. Simões Cortês, Professor Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto:

Mais um ano, mais uma Lição Manuel Rocha, mais um encontro de amigos, mais um diálogo científico e tecnológico entre os investigadores e aplicadores de uma área da ciência de fundamental necessidade na vida moderna.

Qual é a que engloba uma vasta panóplia de ciências desde o estudo mecânico dos solos e das rochas e, logo, do maciço rochoso, até ao estudo de ambos visando as obras mais ou menos perenes, mais ou menos monumentais que sobre eles, ou neles, os diversos ramos dessa tão nobre Engenharia vão depois projectar, construir, implantar e utilizar ao serviço do bem comum.

Mais que justa, justíssima, e bem clarividente esta maneira de lembrar tão ilustre Engenheiro, o sistematizador primeiro da Mecânica das Rochas, o dinâmico e entusiasta fundador da Sociedade Internacional da Mecânica das Rochas, seu primeiro presidente, um nome para a Mecânica das Rochas ao mesmo nível daqueloutro da Mecânica dos Solos, Karl Terzaghi, quatro dezenas de anos antes, ou, mais seu contemporâneo, Talobre.

Tão insigne patrono tem exigido, da parte dos organizadores destas lições, a Associação de Geotécnicos Antigos Alunos da Universidade Nova de Lisboa e a nossa Sociedade Portuguesa de Geotecnia, uma criteriosa escolha para que o docente da Lição honre a memória de tão ilustre antecessor.

O conferencista deste ano, que hoje tenho a subida honra e a grata satisfação de apresentar, é o Professor Catedrático do Instituto Superior Técnico CARLOS ALTINO JANSEN VERDADES DINIS DA GAMA, Engenheiro de Minas, Master of Science pela Universidade do Minnesota, doutor em Engenharia de Minas pela Universidade de Luanda e de S. Paulo, Agregado pela Universidade de Luanda.

Seria fastidioso, embora de muita elevação, descrever o longo e prestigiado “curriculum” do Prof. Dinis da Gama. Antes, salientarei as árvores maiores e mais frondosas que sobressaem numa floresta densa, variada e extremamente rica.

De vida intensa e multifacetada, dedica-se com igual entusiasmo, competência e produtividade à Docência, à Investigação e à Profissão.

Não é a docência de Engenharia, nem o deverá ser, particularmente adaptada à dedicação exclusiva, sendo bem necessário recheá-la com abundantes exemplos da prática profissional e resultados da investigação aplicada, num contínuo fluxo e refluxo de saberes, descobertas e experiências.

O seu crescente prestígio científico fora de Portugal origina o seu convite para Livre - Docente da Universidade de S. Paulo e confere-lhe o título de Professor Honorário da Universidade Nacional do Altiplano, no Peru.

Como docente ilustre e de vasta cultura científica tem ministrado lições nas mais diversas áreas a que pode chegar uma boa formação em Engenharia de Minas: desde as disciplinas básicas do variado leque das Ciências Matemáticas, passando pelo “núcleo duro” das áreas da Geomecânica e Mineração até às áreas complementares da Economia Mineira e do Planeamento.

Corolário lógico da sua actividade e do seu mérito na área da Geomecânica foi a sua eleição para o cargo de Vice-Presidente da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas, tendo a sua gestão de 4 anos (1989 - 1993) sido perpetuada com a atribuição de um prémio. Igualmente premiada foi a sua presidência da nossa Sociedade Portuguesa de Geotecnia durante o quadriénio 92 - 96.

E nesta faceta de associativismo profissional e científico recebe Dinis da Gama, entre outras, as seguintes distinções:

- Prémio da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia pela “relevante contribuição em prol de um conhecimento maior da Sismologia e Engenharia Sísmica”.
- Prémio Karl Terzaghi, 1982 - 84, pela Associação Brasileira de Mecânica dos Solos “por sua contribuição nas aplicações da Mecânica das Rochas à solução de problemas geotécnicos”.
- Título de Membro Honorário da “Asociación de Profesionales en Minería del Sur Andino”, do Perú.

Tem publicados, em revistas nacionais e internacionais, mais de 180 trabalhos de natureza científica e técnica no domínio da Geomecânica, da Geotecnia, do Ambiente, da Geologia de Engenharia, da Mineração, da Economia Mineral.

Ao ler os seus trabalhos, de uma parte se aprecia a correcção e clareza da escrita, de outra a fundamentação “quantum satis” na Matemática ou Física, de outra ainda a interligação criativa das diferentes áreas, finalmente, a preocupação de fazer progredir a Técnica com a contribuição da Ciência e esta com a daquela.

Particularmente grato me é sublinhar a sua actividade profissional de Engenheiro e, mais ainda, verificar como a sua formação básica de Engenharia de Minas lhe tem permitido tratar, com profundidade, com rigor científico, com eficiência técnica uma larga panóplia de problemas de tão diversas áreas.

Diversas, sim, todavia, não tão variadas, pois todas tem como base a **rocha**, a **terra**, o **solo**, entidades palpáveis e vivas, seres cujo sentir nos é particularmente fácil auscultar, apreender, medir e prever as reacções.

Organismos vivos que são, evoluindo ao longo do tempo, ao sabor das tensões e das intempéries, congénitas umas, suportadas outras, eles tem connosco, engenheiros de minas, uma relação particular de conluio, de afectividade, que nos dá o privilégio de os saber melhor dominar, afeiçoar, modelar para que cada vez mais e melhor contribuam para o nosso bem estar e aumento da nossa qualidade de vida.

Engenheiro na verdadeira e completa acepção da palavra, no que o acto de Engenharia tem de mais nobre na utilização dos recursos para o bem comum, foi e é Carlos Dinis da Gama um projectista competente, um consultor respeitado, um dinâmico director de projecto e de obra, um gestor esclarecido, um investigador persistente e bem documentado.

Os seus colegas de Engenharia de Minas têm reconhecido as suas qualidades humanas e profissionais elegendo-o para Membro do Conselho de Admissão e Qualificação da Ordem dos Engenheiros (1992/1995 e 1995/98) e a própria Ordem designando-o Presidente da Comissão de Acreditação dos Cursos Universitários de Engenharia de Minas.

A sua competência técnica e as suas qualidades humanas originaram igualmente a sua eleição ou designação para variados cargos nacionais, comunitários e internacionais do maior relevo e prestígio. São exemplos, para além dos já referidos e muitos outros:

- Presidência do Comité Brasileiro de Sismologia - (1979/81).
- Representante da América do Sul na comissão de Casos Históricos da Soc. Internacional de Mecânica das Rochas - (1981/83).
- Coordenador da comissão de Segurança de Pequenas Barragens do Brasil - (1982/84).
- Presidente do Comité Brasileiro de Mecânica das Rochas - (1981/86).

Eis, pois, Senhoras e Senhores, Prezados Colegas, em rápidas pinceladas, porventura de desbotada tinta, mas que não terão deformado, concerteza, a exacta reprodução do retratado, o perfil do ilustre Engenheiro e Professor que hoje dará continuidade às tão prestigiadas **Lições Manuel Rocha**, bem honrando o seu patrono e os docentes seus antecessores.

Tenho dito.

GEOTECNIA AMBIENTAL - PERSPECTIVAS E APLICAÇÕES*

Environmental geotechnics – perspectives and applications

C. Dinis da Gama**

“Como acontece cada vez mais com o desenvolvimento e diversificação dos conhecimentos humanos, são múltiplas as possibilidades que se oferecem de arrumação do saber, com vista ao estabelecimento de áreas de especialização profissional adaptadas às diversas famílias de problemas a resolver.” (Manuel Rocha, 1981).

RESUMO - Iniciada na década de 90, esta disciplina pretende englobar os princípios e metodologias oriundos da Mecânica dos Solos e das Rochas, incidindo nas suas aplicações relacionadas ao meio físico, tendo em vista as respectivas interações ecológicas e, em última instância, a qualidade da vida humana. Os problemas de Engenharia que mais preocupam os especialistas de Geotecnia Ambiental são, para além daqueles ligados ao ordenamento territorial, às obras tradicionais e à exploração dos recursos minerais (encarados na óptica das suas implicações ambientais, face aos novos requisitos legais), os inerentes aos campos de actividade criados recentemente sob pressão da civilização contemporânea, no que respeita à gestão de resíduos (sólidos, líquidos e gasosos), assim como a certas contribuições especializadas para a solução de problemas globais, tais como o efeito estufa, a extinção das espécies e a explosão populacional. Em simultâneo com essa visão holística dos problemas, a Geotecnia Ambiental permite perspectivar certos conceitos integradores de elevado interesse pluridisciplinar, como a estabilidade generalizada (ecológica + geotécnica) e a defesa racional contra catástrofes naturais, susceptíveis de conduzir a novas soluções de Engenharia e, assim, desenvolvendo as aplicações deste sector do conhecimento.

SYNOPSIS - Created in the 90's decade, this discipline claims to include the principles and methods of Soil and Rock Mechanics, by focusing its applications on the physical environment management with its corresponding ecological interactions and particularly their effects on the quality of human life. The engineering problems which concern most Environmental Geotechnics specialists are, besides those related to land use planning, traditional works and mineral resources exploitation (regarding their environmental implications, under new strict regulations), the recently created fields of activity that deal with solid, liquid and gaseous waste management, as well as certain contributions to the solution of global problems, such as the greenhouse effect, the extinction of species and the excessive population growth. Simultaneously with the formulation of a holistic approach to these problems, Environmental Geotechnics aims to put in perspective integrative concepts of relevant interdisciplinary interest as, among others, the generalised (ecological and geotechnical) ground stability and the rational defence against natural hazards, which may lead to new engineering solutions, thus developing the applications of this field of knowledge.

1 - INTRODUÇÃO

A Sociedade contemporânea pretende continuar a tirar benefícios dos Georrecursos, sem prejudicar a sua futura disponibilidade e sem comprometer a integridade dos sistemas naturais, ou seja, do Ambiente. Além disso, também pretende minimizar os impactes negativos para o Homem, das catástrofes naturais (sismos, vulcões, instabilidades de taludes, subsidências,

* XVI Lição Manuel Rocha

** Professor Catedrático do Instituto Superior Técnico

enchentes, etc.), sendo para tal necessário compreender, cada vez melhor, os ambientes terrestres e os processos geológicos, que são responsáveis pelas formas de relevo e pelas paisagens naturais, assim como pela formação dos recursos minerais essenciais ao progresso da civilização.

O conhecimento das propriedades dos solos, das rochas e dos minerais (fornecido pela Geologia e Geotecnia) é essencial para o seu aproveitamento racional e, também porque tais propriedades afectam os interesses do Homem, na medida em que controlam os fenómenos de instabilização catastróficos, interferem nas suas capacidades de absorver resíduos e de resistir a solicitações das estruturas construídas.

Assim, muitas possibilidades e desafios poderão nascer da interacção profícua entre áreas científicas ligadas à Geotecnia do Ambiente, objectivando uma melhor preparação das populações e dos seus dirigentes para serem tomadas decisões acertadas a respeito das consequências dos processos, não só naturais como inerentes ao desenvolvimento, que afectam as nossas vidas no dia a dia.

O Ambiente é um sistema dinâmico, extremamente complexo, de múltiplos componentes, que transcende as fronteiras dos países. Para além do espaço físico que o compõe (nele se incluindo os quatro domínios conhecidos- litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera - ver Fig. 1), o Ambiente envolve uma componente antropocêntrica, pois trata as causas e efeitos provocados pelo e sobre o Homem, visando a satisfação das suas necessidades e a consecução das suas mais nobres aspirações.

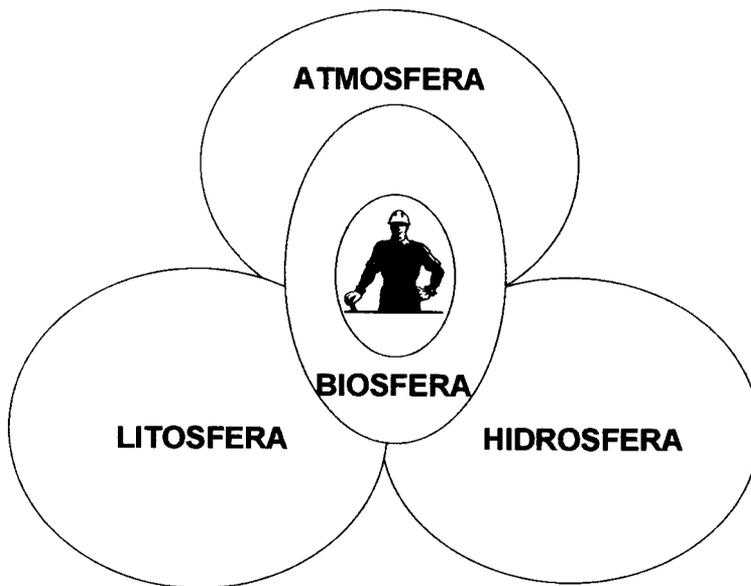


Fig. 1 - Os principais constituintes do Ambiente na Terra.

Reconhecem actualmente muitos cientistas genéticos que a intervenção do Ambiente é tal que se estende até à própria moldagem do carácter das pessoas, dada à sua influência no desenvolvimento dos genes humanos que dão forma às nossas resistências e fraquezas.

O estado do Ambiente depende das influências conjuntas da atmosfera, clima, processos químicos e biológicos, terrenos e cobertura vegetal, fauna e seres humanos.

Estes últimos actuam, com intensidade crescente, nos processos geológicos, geofísicos, químicos e bioquímicos que têm lugar nos solos, nas rochas, nas águas superficiais e subterrâneas, por vezes pondo em causa a sua integridade e, assim, colocando em risco a qualidade de vida, actual e das futuras gerações.

Conhecidos por *impactes ambientais*, esses efeitos nocivos possuem características de sobreposição no espaço e no tempo, que Ehrlich (1995) quantificou pela relação simples:

$$I = PAT$$

em que *I* representa a magnitude desses impactes numa dada região da Terra, *P* a população nela existente, *A* o consumo médio de recursos por indivíduo e *T* o correspondente uso de tecnologia prejudicial, não limpa.

O World Resources Institute (1991) encara o problema sob outra perspectiva: a poluição, considerada como indicador de degradação ambiental, é uma função da quantidade de população, do seu nível de vida *per capita* e da intensidade de contaminação criada pela produção agrícola e industrial.

Qualquer que seja o modelo adoptado, existem factos incontrovertidos que constituem verdadeiras ameaças ao equilíbrio ambiental da Terra, entre os quais se destacam:

- a) O crescimento populacional
- b) O aumento do volume de resíduos produzidos
- c) A extinção de espécies animais e vegetais
- d) O aquecimento global

A seriedade destes problemas exige uma mobilização de todos os ramos do conhecimento humano, indagando causas e consequências, estudando e implantando novas abordagens que os minimizem. Como poderá a Geotecnia contribuir, ainda que discretamente, para a respectiva solução?

2 - GEOTECNIA, AMBIENTE, ECOLOGIA E PAISAGEM

2.1 - Considerações gerais

Passou a época em que as ciências e as técnicas podiam alhear-se dos fenómenos à escala planetária, possuindo rígidas posturas neutras, circunscritas à procura de soluções para problemas localizados e sem preocupações de índole ambiental alargada.

Uma vez que presentemente os riscos de colapso são evidentes em muitas regiões da Terra, ameaçando o desenvolvimento sustentável e, conseqüentemente, a continuidade dos próprios ramos do saber, está em marcha uma reconversão de atitudes em praticamente todos os sectores.

Hoje em dia já vigora em muitos países uma *ética ambiental*, caracterizada pela preocupação das pessoas em relação aos outros seres vivos e à Natureza (Vesilind et al., 1994). São conhecidas as principais correntes éticas de utilitarismo, conservacionismo e preservacionismo, quanto à exploração dos recursos naturais (Coates, 1981). No passado era aceitável projectar qualquer obra de Engenharia, incluindo a exploração de georrecursos, com base apenas em critérios técnicos e económicos, sem fazer intervir as consequências ambientais daí resultantes. Tal postura modifica-se a cada dia e os próprios critérios de tomada de decisões, como a *relação benefício custo*, passaram a integrar variáveis e parâmetros antes considerados intangíveis, como os de tipo ambiental (melhorias vs. impactes emergentes dos projectos), estabelecendo assim um novo paradigma, que vai ganhando cada vez mais aceitação na opinião pública e, por consequência, no poder político.

A evolução dos comportamentos humanos parece deste modo pautada pelo respeito para com o Ambiente, tendo como base a ligação construtiva entre o Homem e a Natureza (Coates, 1981). É pois inevitável a sua influência nas metodologias e práticas que caracterizam os muitos ramos da Ciência e da Tecnologia, e a Geotecnia não parece ser excepção.

2.2 - Evolução das políticas ambientais

Na civilização ocidental, um dos mais eficazes instrumentos de mudança de comportamentos em matéria ambiental foi promulgado em 1970, nos E.U.A.. Tratou-se do National Environmental Policy Act, que exigia, para todas as obras a construir com dinheiros públicos, a avaliação dos impactes ambientais esperados, a explicação sobre o facto de não terem sido escolhidas outras soluções, assim como as formas de mitigar os referidos impactes.

Nesse mesmo ano foi criada a EPA (Environmental Protection Agency), com numerosas atribuições para coordenação do controle público sobre acções privadas, a nível federal e estadual. Diversos regulamentos emergiram subsequentemente deste organismo, nos domínios do ar limpo, água limpa, ruído, resíduos sólidos, substâncias tóxicas, conservação de recursos, espécies em extinção, reservas federais, património histórico, florestas, exploração mineira a céu aberto, produção de carvão, etc.

Especial referência merece o Cercla (Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act, de 1980), que estabeleceu doutrina para controlar as descargas de resíduos perigosos, neles incluindo as águas drenadas pelas minas, assim como lixiviados, rejeitados de lavarias e outros produtos químicos gerados na actividade industrial. O Cercla, também chamado Superfundo, tinha por missão gerir recursos financeiros para limpar os pontos mais contaminados dos E.U.A. Depois de organizada uma extensa lista desses locais, procedeu-se regularmente à sua descontaminação, ao custo médio de 30 milhões de dólares cada um e, até Junho de 1993, apenas 161 tinham sido tratados, ano em que foi suspensa a prática de incineração da grande maioria dos materiais tóxicos. Dados os elevados custos deste programa (em torno de mil dólares por tonelada de resíduos tóxicos), o Superfundo tem tido existência atribulada e um futuro incerto, tanto mais que foram criados outros programas federais para o efeito.

Na Alemanha o problema dos resíduos foi encarado frontalmente desde 1975, quando o governo estabeleceu o Programa de Gestão de Resíduos, cujos objectivos a alcançar seriam (Langer, 1993):

- Reduzir a sua produção na origem;
- Aumentar a reciclagem de resíduos e
- Depositá-los sem danos para o Ambiente.

O último destes propósitos tem tido considerável importância para a Geotecnia, uma vez que envolve todo um ciclo de actividades de caracterização, de tratamento, de inertização, e de deposição apropriada em locais a céu aberto e em subterrâneo.

Também a União Europeia tem promulgado numerosas directivas sobre este tema, desde 1973, quando adoptou o seu primeiro programa de actuação ambiental, seguido da Acta Única Europeia de 1987 (que inclui um capítulo de protecção ambiental), além do Programa de Sustentabilidade e do Tratado de Maastricht, ambos de 1992.

A criação da Agência Europeia do Ambiente em 1993, com sede em Copenhague, constituiu marco significativo desta atitude, com atribuições na política de protecção ambiental comunitária, nos métodos de medição e na implementação de uma rede europeia de informação e observação ambiental.

A nível global, há a assinalar importantes eventos de sensibilização para o problema, com destaque para a Conferência sobre Ambiente e Desenvolvimento, efectuada no Rio de Janeiro em 1992, e a criação, no âmbito da Organização das Nações Unidas, da Comissão sobre o

Desenvolvimento Sustentável, bem como a realização da Agenda 21 (em 1997) e a conferência de Kyoto em 1998.

Estas manifestações de carácter internacional revelam a grande preocupação que tais problemas provocam aos dirigentes políticos, reflectindo as tendências das respectivas populações e conferindo ao Ambiente um papel central na sociedade contemporânea.

2.3 - Ecologia Paisagística

A Ecologia, etimologicamente eco (casa ou lar) e logia (conhecimento), foi definida pela primeira vez em 1927 por Elton que a considerou o estudo dos animais e plantas, em relação aos seus hábitos e habitats.

Já Colinvaux (1986) considera-a o estudo da distribuição e abundância das espécies animais e vegetais, abordando conceitos de grande interesse como os de nicho ecológico, pirâmides de vida, ecossistema, sucessão, diversidade, energia e factores limitantes. Esta disciplina é ensinada focando a transição do indivíduo para a comunidade, seguindo todos os níveis de integração possíveis.

A par da evolução de atitudes, e em consequência da mesma, têm sido recentemente criadas áreas de conhecimento que preconizam novas abordagens integradoras em prol da protecção da Natureza. Entre elas encontra-se a *Ecologia Paisagística*, que procura envolver todas as áreas científicas relacionadas com o tema, designadamente a Antropologia, a Agricultura, a Sociologia, a História e a Geografia Humana.

Para além do conceito tradicional de paisagem como entidade física dotada de atributos visuais e espaciais, adicionou-se-lhe recentemente uma componente cultural (Naveh and Liberman, 1993), com evidentes repercussões em termos de Uso do Solo, envolvendo a sua utilidade sócio-económica, em consonância com os requisitos de mitigação dos impactes ambientais provocados pelo Homem e pelos processos geológicos em geral.

Algumas áreas de interacção entre a Ecologia Paisagística e a Geotecnia foram analisadas em trabalho recente (Gama, 1998), com destaque para assuntos comuns às duas disciplinas, tais como a estabilidade de encostas montanhosas, a alteração das rochas e a erosão dos terrenos. Diversas abordagens inovadoras resultam deste confronto de metodologias, com vantagens para o tratamento desses e outros problemas, na procura de novos equilíbrios e com envolvimento de número crescente de variáveis e parâmetros, assim como de especialistas dos vários ramos do saber, antes considerados independentes.

Dentro de tais conceitos, admite-se que, para além dos animais e vegetais, também os minerais podem ser considerados, à escala do tempo geológico, como seres vivos, na medida em que possuem nascimento, crescimento, maturidade e morte, sob a acção dos agentes naturais. A própria paisagem evolui na dependência da física e da química da biosfera, das variações de composição da atmosfera, da salinidade dos oceanos, do comportamento do clima e, ainda, das características dos habitats físicos.

Daí a importante noção de *equilíbrio dinâmico* (Selby, 1982), em que todas as entidades terrestres parecem coexistir, dentro dos seus ciclos de evolução próprios, sofrendo flutuações em torno de uma condição sempre modificável, que é caracterizada por uma sequência temporal de estados médios não repetitivos. Por exemplo, a encosta montanhosa de uma região com clima húmido, evolui episodicamente por meio de deslizamentos de taludes, provocados por fenómenos extremos ou simplesmente erosivos, seguidos de períodos de ajustamento em que ocorre uma mudança gradual dos terrenos movimentados, com revegetação da cicatriz do escorregamento e da base do talude. Os animais, incluindo o Homem, sofrem as consequências desses eventos, adaptando-se aos novos equilíbrios no seu curto período de vida, num incessante pulsar do ecossistema.

3 - GEOMECÂNICA E AMBIENTE

3.1 - Impactes ambientais das obras geotécnicas

As aplicações tradicionais da Geotecnia sempre tiveram em conta os constrangimentos ambientais, quando estes preponderavam nos projectos, quer em obras civis, quer na exploração de recursos minerais.

Apesar de muitos desses projectos incidirem sobre ambientes naturais, alguns dos quais se encontravam em equilíbrios delicados, as consequências das obras eram menosprezadas, não existindo à época razões de preocupação sobre os seus impactes, especialmente a longo prazo. Assim se executaram em todos os continentes grandes escavações, a céu aberto e subterrâneas, alterando as formas de relevo, se barraram e desviaram rios, modificando a quantidade e qualidade das águas, contaminando a atmosfera, poluindo terrenos agrícolas e zonas costeiras, etc..

Não obstante tais projectos aduzirem melhorias e vantagens para a Sociedade, os seus resultados por vezes eram caracterizados por elevados ónus ecológicos, paisagísticos e outros, principalmente por não se dispor de conhecimentos biológicos e geológicos adequados sobre o comportamento dos sistemas naturais e suas reacções às modificações artificialmente impostas.

Com a recente mudança de atitudes sociais em prol da qualidade da Vida e do Ambiente, tornou-se obrigatória a apresentação de Estudos de Impacte Ambiental para identificar e mitigar os impactes ambientais desses projectos e, ainda, para previsão dos ajustamentos dos ecossistemas face às perturbações induzidas pelas obras de Engenharia. Os principais campos de actuação são referidos a seguir.

3.1.1 - Urbanização

As áreas escolhidas para a implantação de cidades, não obedecendo geralmente a critérios geotécnicos, são objecto de diversos problemas de ordem ambiental, principalmente nos grandes aglomerados populacionais, em que se destaca uma impermeabilização intensa, fruto da construção de imóveis e da pavimentação de ruas, passeios, estacionamento, etc., com algumas consequências assinaláveis: i) grande acréscimo dos escoamentos superficiais, aumentando a frequência e a intensidade de inundações; ii) redução das infiltrações e consequente alteração do comportamento dos aquíferos subterrâneos, incluindo a sua contaminação frequente; iii) abaixamentos dos níveis freáticos e consequentes assentamentos em fundações de estruturas.

A consequência mais visível do processo de urbanização maciça que actualmente se vive na Terra, em resultado do crescimento populacional acelerado, é a deterioração ambiental, caracterizada pela poluição dos terrenos, das águas superficiais e subterrâneas, bem como dos oceanos e da atmosfera. Se acrescentarmos a este panorama o facto de cada ser vivo, em média, consumir, por ano, cerca de 10 toneladas de minerais extraídos da Terra, teremos que a população do planeta movimenta 60 Gt/ano destas substâncias, o que é apreciavelmente maior que as 16,5 Gt de materiais dissolvidos e em suspensão que os rios conduzem para os mares, no mesmo período (Murck et al., 1996).

Tais factos conduzem à conclusão que é cada vez mais urgente administrar o Ambiente de modo racional, o que implica, antes de tudo, gerir também o comportamento humano, reexaminando os hábitos de consumo e minimizando os impactes da nossa civilização sobre o

Planeta. Dado que muitos dos recursos afectados, como a atmosfera e os oceanos, são propriedade de todos os povos da Terra, haverá que alcançar-se consensos internacionais sobre os melhores processos de proteger e manter tais recursos.

O estudo e a compreensão desses processos é a principal via de progresso nesse campo, tentando entender a sua complexidade e as respectivas interações, incluindo as suas margens de incerteza, através do desenvolvimento de modelos de comportamento e da aplicação de técnicas avançadas de monitorização, como a teledeteção por satélites, destinados a aferir comportamentos anómalos e proceder às necessárias correcções.

Um desses processos é o conhecido aquecimento das grandes cidades, resultante da cobertura da superfície por betão e asfalto, que absorvem a energia solar e reflectem o calor, ao qual se somam as altas temperaturas libertadas pelos automóveis e pelos edifícios.

Outro enorme impacto ambiental contemporâneo traduz-se pela construção de vias de comunicação a ritmos crescentes, para atender ao domínio do automóvel e aos hábitos de vida adquiridos pela sociedade consumista. Os efeitos resultantes desta tendência, aparentemente irreversível, manifestam-se desde a fase construtiva até à actividade em serviço dessas vias, espalhando os seus efeitos nocivos por áreas cada vez maiores de terrenos agrícolas e de paisagens outrora intocadas.

As pressões da opinião pública, os esforços de certas organizações ambientalistas e respectivas influências sobre o poder político têm produzido retrocessos nessa tendência, com a obrigatoriedade do processo decisório actualmente depender da aprovação prévia de Estudos de Impacte Ambiental detalhados, envolvendo a sua discussão pública.

Não obstante, e porque na sua maioria tais estudos se concentram na fase de serviço e menos na etapa de construção, esta última é frequentemente acompanhada por sérias agressões ambientais, algumas delas responsáveis por danos permanentes (ver Figs. 2 e 3).

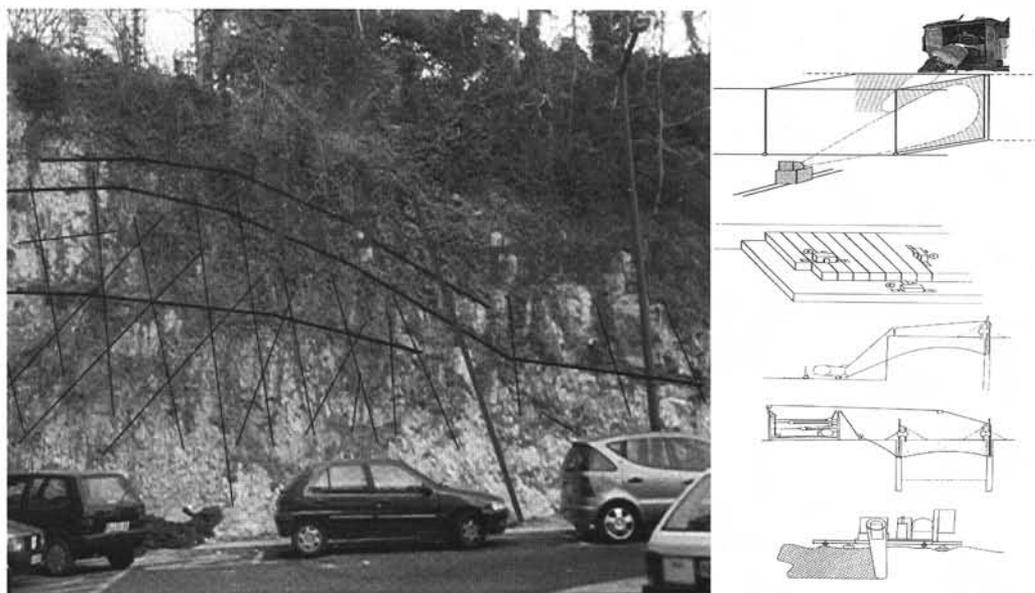


Fig. 2 - Escavação especial para a fundação de edifício em maciço rochoso localizado em zona urbana (Av. Infante Santo, Lisboa).

3.1.2 - Construção de barragens

Sendo os rios considerados como verdadeiras artérias dos ecossistemas, transportando nutrientes de uma parte do Planeta para outras, diluindo os produtos químicos prejudiciais e recuperando o oxigénio dissolvido para a atmosfera, é compreensível que essas múltiplas e

seculares funções sofram modificações bruscas aquando da construção de barragens. Alguns dos ajustamentos subsequentes que haverá que contabilizar, são : i) deposição de sedimentos no reservatório e descarga de águas a jusante com possibilidade de alta acção erosiva; ii) mudanças nos regimes de águas subterrâneas na zona das albufeiras e nos comportamentos freáticos das suas encostas; iii) diminuição dos volumes de sedimentos levados aos deltas, com consequente acréscimo da erosão costeira; iv) alterações, por vezes traumáticas, para a fauna e flora circundante.

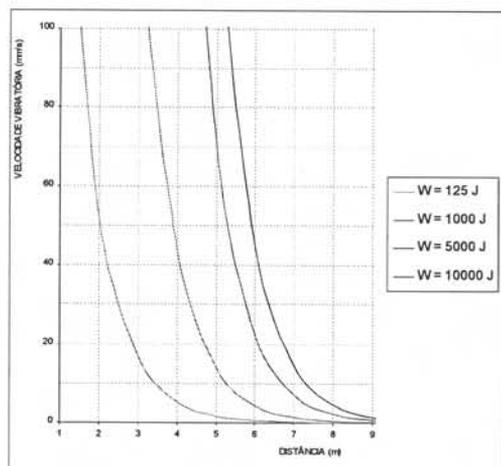


Fig. 3 - Estátua de Camões, em Lisboa, sob a qual será construído estacionamento subterrâneo. Previsão de efeitos dinâmicos da construção que justificaram a remoção temporária do monumento.

Noutras situações, como no caso de Foz Côa (Fig. 4) ponderaram-se seriamente a perda de recursos arqueológicos que a construção da barragem implicaria, tendo sido ordenada a suspensão da respectiva obra. Travaram-se debates apaixonados sobre as alternativas possíveis (barragem, gravuras ou conciliação), em que proliferaram argumentos políticos contrários, não se tendo observado abordagens científicas do problema em termos da análise benefício custo das várias opções.

Tais impactes negativos teoricamente teriam de ser compensados pelo somatório de benefícios esperados pela exploração dos aproveitamentos hidroeléctricos, aperfeiçoando-se cada vez mais o critério decisório proposto desde 1936 pelo U.S. Bureau of Reclamation (Gama, 1990), agora ampliado com a intervenção de factores ambientais e culturais significativos.

3.1.3 - Realização de grandes escavações

A remoção de grandes volumes de solos e de rochas, em que a indústria mineira é responsável por quantidades muito maiores que a construção pesada (por exemplo, nos E.U.A. as minas a céu aberto extraem cerca de $9 \text{ Gm}^3/\text{ano}$ e em Portugal estima-se um volume anual de escavações de 100 Mm^3), contribuem para a alteração da paisagem, com a consequente desmatamento e afectando animais e plantas, recursos aquíferos e provocando instabilizações de taludes.

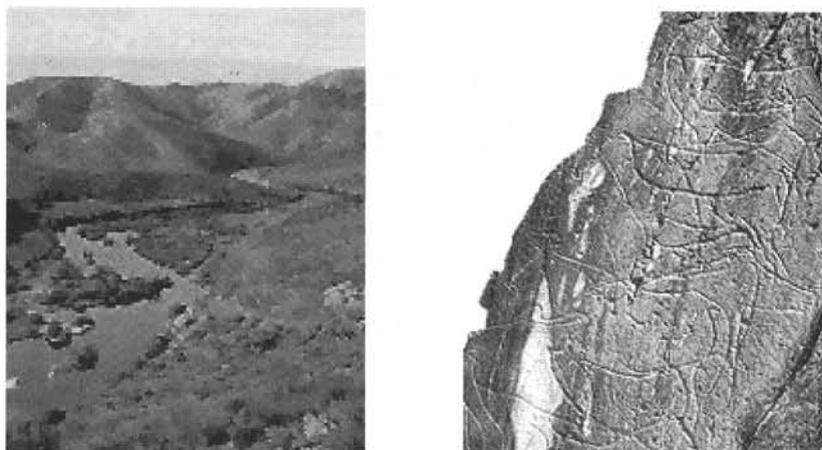


Fig. 4 - Vale do Rio Côa - Barragem vs. Gravuras Rupestres (Relação Benefício Custo).

A principal fonte de impactes ambientais provêm da escavação de maciços rochosos com uso de explosivos, devido aos seguintes efeitos: vibrações transmitidas aos terrenos e estruturas próximos, ruídos das detonações, produção de poeiras, projecção de fragmentos e instabilidades provocadas ao maciço rochoso remanescente. Destas, a primeira é geralmente a mais susceptível de provocar danos em estruturas próximas dos desmontes, cujo controle se efectua por aplicação da Norma Portuguesa NP 2704 (dada a ausência de legislação sobre o assunto) e após a obtenção de uma relação entre velocidades vibratórias v , cargas detonadas por retardo Q e distâncias D , a partir de registos de campo. Tal relação é do tipo:

$$v = aQ^b D^c$$

em que os coeficientes a , b e c dependem do tipo de maciço, do diagrama de fogo utilizado e da qualidade do explosivo.

Exemplo da aplicação deste critério de prevenção de danos é apresentado na Fig. 5.

O conhecimento científico da reacção explosiva no interior das rochas, obtido pela teoria e pela monitorização deste fenómeno, permite deduzir que a causa primordial dos respectivos impactes ambientais está no excesso de explosivo detonado, para além da quantidade estritamente necessária para fragmentar a rocha. Como esta última quantidade tem decisiva influência no grau de fragmentação obtido após a detonação, e este é tradicionalmente considerado como o critério de minimização de custos totais das operações envolvidas no ciclo de produção (perfuração, desmonte, carregamento, transporte e britagem), constata-se que o grau de fragmentação óptimo corresponde também à mínima incidência de impactes ambientais provenientes desta operação (Gama e Jimeno, 1993).

Assim, ao contrário do que ocorre na maioria das actividades industriais, a escavação de rochas com explosivos possui um critério de minimização de custos que coincide com o de redução de impactes ambientais, facto que justifica que a respectiva concepção, projecto e execução só deva ser assumida por especialistas credenciados (ver Fig. 6).

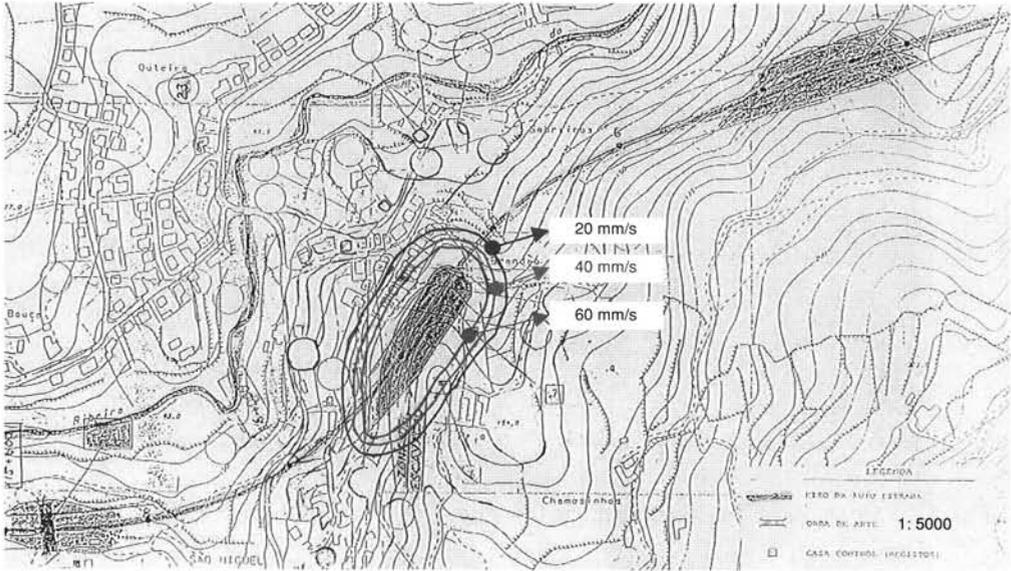


Fig. 5 - Zonamento das vibrações admissíveis para a escavação do Nó de Guimarães na A17 (60 mm/s-construções reforçadas; 40mm/s-construções correntes; 20mm/s-construções frágeis).

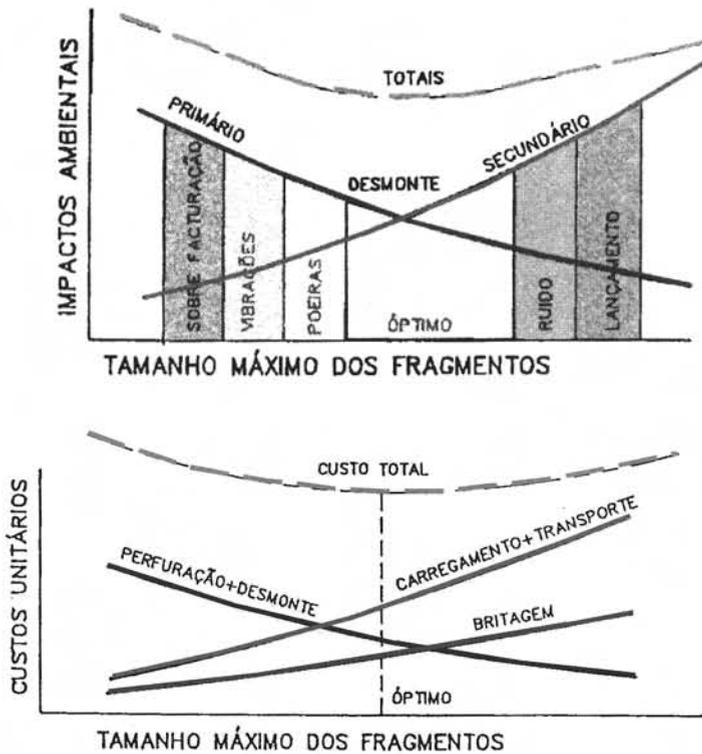


Fig. 6 - Critérios concordantes de minimização de custos e de impactes ambientais na escavação de rochas com explosivos.

3.1.4 - Zonas ribeirinhas e litorais

Os fenómenos de erosão fluvial e marinha são geralmente prejudiciais à ocupação humana das zonas litorais, ou à realização de grandes obras, sendo a compreensão dos mecanismos naturais essencial para estabelecer novos equilíbrios. Com efeito, o conhecimento do regime de correntes, do efeito dos ventos, do transporte de sedimentos e das acções mecânicas a elas associadas torna-se fundamental para estabelecer os tipos de aproveitamentos mais adequados, incluindo a definição de áreas impróprias para aproveitamento.

Como exemplo de uma das situações em que houve de compatibilizar a recuperação paisagística com a estabilização geotécnica da margem do Rio Douro, onde anteriormente existia uma escombreira de resíduos de carvão, apresenta-se na Fig. 7 uma imagem dessa mesma reabilitação, que foi elaborada após estudo geotécnico de estabilidade que sugeriu a criação de berma horizontal intermédia e a revegetação acelerada dos taludes resultantes.

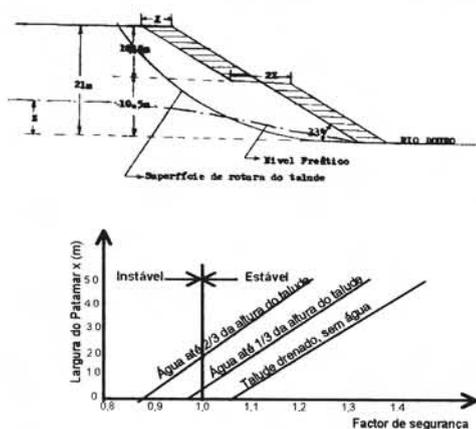


Fig. 7 - Aspecto da situação final da integração paisagística da escombreira de carvão na margem esquerda do Rio Douro e respectiva análise de estabilidade.

Outro tipo de constrangimentos ambientais ditados pelas localizações à margem de cursos de água tem a ver com a redução dos efeitos das detonações destinadas à escavação de rochas. Nestes casos, não só é essencial controlar os impactes devidos às vibrações transmitidas pelos terrenos de fundação, mas também pelas ondas subaquáticas que se propagam no meio líquido, podendo afectar nadadores, peixes e navios (Fig. 8).

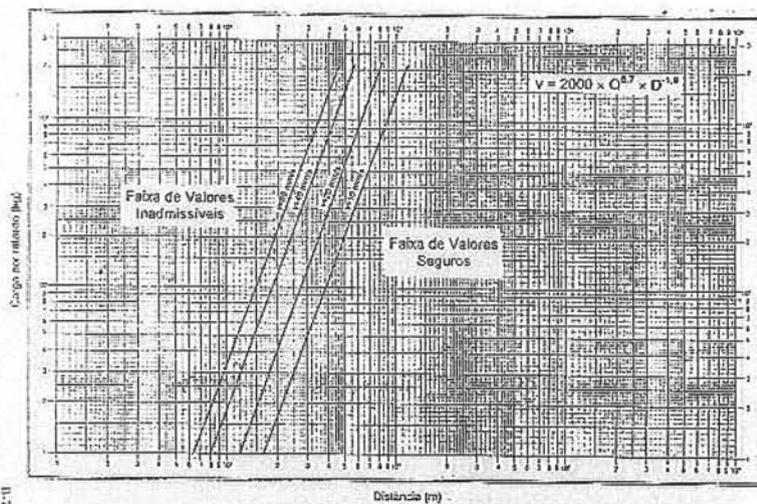
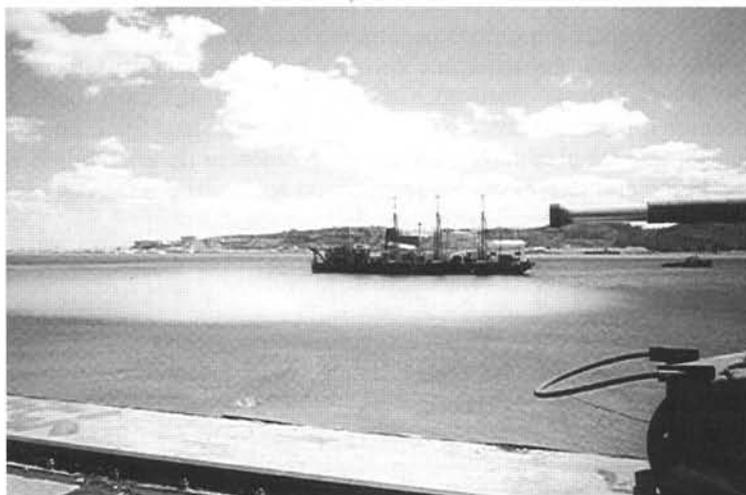


Fig. 8 - Desmorte subaquático da rocha do leito do Rio Tejo, junto ao Cais de Alcântara e correlações entre cargas, distâncias e velocidades vibratórias para protecção de construções próximas.

3.1.5 - Túneis e obras subterrâneas

A realização de obras subterrâneas, em muitos casos justificáveis por motivos de ordem ambiental (transportes metropolitanos, vias de comunicação e armazenamentos diversos)

podem também ocasionar sérios impactos durante a sua fase construtiva e no seu desempenho operacional.

Para além de poderem provocar efeitos incómodos durante o processo de escavação, em especial quando se tratam de maciços rochosos, estas obras causam geralmente modificações nos estados de tensões em profundidade, afectando aquíferos e baixando o nível freático, eventualmente contribuindo para a respectiva contaminação, originando problemas de assentamentos e subsidências, assim como alterações na fisiografia dos terrenos junto aos emboquilhamentos e na criação de escombrelas.

A moderna Engenharia de Túneis estabelece para metas de desempenho na construção destas obras a necessidade de minimizar os seguintes aspectos:

- a) A energia a utilizar no processo de escavação;
- b) A degradação do maciço, como principal material estrutural da obra;
- c) As perturbações e deslocamentos em torno da cavidade;
- d) As quantidades de aço e betão a usar para a sua estabilização.

Com efeito, qualquer excesso de energia empregue na fase de escavação é prejudicial, uma vez que tem como consequências:

- Ocasionar custos mais altos de equipamentos e materiais;
- Tornar o maciço menos resistente, mais deformável e mais permeável;
- Provocar impactos ambientais acrescidos (ruídos, vibrações, sobreescavação, etc.);
- Obrigar a usar suportes mais resistentes e mais caros.

Torna-se essencial monitorizar o comportamento dos maciços durante o avanço, para verificar a evolução das suas condições de estabilidade, como exige a aplicação, cada vez mais frequente, do Novo Método Austríaco. Uma correlação interessante foi verificada entre três variáveis características do processo (Gama, 1996b), que são: D (densidade de suporte a aplicar numa dada secção), C (classificação do maciço rochoso atravessado) e V (velocidade média de convergência medida durante o avanço da secção).

A equação que liga as três variáveis é do tipo:

$$D = k_1 + k_2 C + k_3 V$$

em que os coeficientes k são constantes, sendo representada graficamente na Fig. 9, onde as classes de maciço variavam desde o valor 1 (rocha de muito boa qualidade) a 5 (rocha muito fracturada e alterada). Este critério foi utilizado para estimar as necessidades de suporte que garantem a estabilidade do túnel, caracterizada por uma velocidade de convergência abaixo de um valor crítico, para cada classe de rocha.

Merece especial referência o problema dos danos causados aos maciços rochosos circundantes dos túneis, pelo método de escavação com recurso a explosivos, o qual é responsável pelos conhecidos fenómenos de sobrefracturação e sobrefragmentação, cuja origem provem da utilização de cargas explosivas inapropriadas nos diagramas de fogo, seja por indevida caracterização da variabilidade das propriedades geotécnicas dessas rochas, seja das suas fracturas naturais e do comportamento da água subterrânea.

As consequências negativas deste fenómeno manifestam-se através da degradação prematura dos volumes de maciço circundantes da escavação, com redução da sua resistência auto-suportante e aumentando a respectiva deformabilidade e permeabilidade, de modo a obrigar ao recurso a sistemas de suporte mais resistentes, mais impermeáveis e consequentemente mais caros. Por vezes essas perturbações propagam-se até à superfície através de assentamentos e subsidências, ocasionando sérios efeitos ambientais.

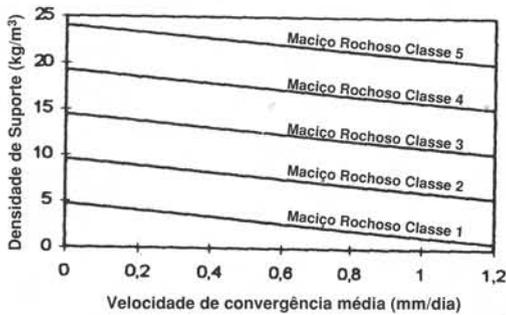


Fig. 9 - Correlação entre três grandezas principais que controlam a estabilidade no processo de avanço de túneis. Aplicação à Mina de carvão de Germunde (Gama, 1996b).

Uma tentativa de quantificação destes fenómenos (Gama, 1998d) revelou que a distância de dano D_d correspondente a cada carga explosiva Q integrada no diagrama de fogo é dada por:

$$D_d = \left(\frac{\sigma}{\rho u a Q^b} \right)^{1/c}$$

sendo σ a resistência à tracção dinâmica das rochas afectadas, u a velocidade de propagação de ondas sísmicas e a , b e c os coeficientes de atenuação da lei de transmissão ondulatória. A Fig. 10 mostra como as distâncias de dano podem ser previstas, em face destes parâmetros, sendo comparáveis a danos observados através de sondagens efectuadas a partir da parede do túnel.

3.2 - Exploração de georrecurso e de águas subterrâneas

3.2.1 - A protecção ambiental

A qualidade das fontes de abastecimento de água às populações constitui preocupação constante em todos os países, para a qual é essencial garantir a cooperação de todas as áreas científicas envolvidas, entre as quais figura a Geotecnia.

Em Portugal, a crescente dependência de aquíferos para abastecimento humano (cerca de 70% da população depende deste processo) implica na criação de sistemas artificiais de drenagem, susceptíveis de gerar problemas de vária ordem, como fenómenos de subsidência da superfície, alterações dos níveis freáticos, modificações da infiltração e exigindo cuidados permanentes com a sua qualidade, protegendo os respectivos perímetros de quaisquer contaminantes.

Num âmbito mais geral, a extracção de recursos minerais pode ser (e tem sido) uma das actividades mais danosas para o equilíbrio ambiental, uma vez que interage continuamente com o mesmo, afectando-o em praticamente todos os seus componentes, ou descritores. Jimeno *et al.* (1994) descrevem esses impactes de acordo com a representação da Fig. 11 .

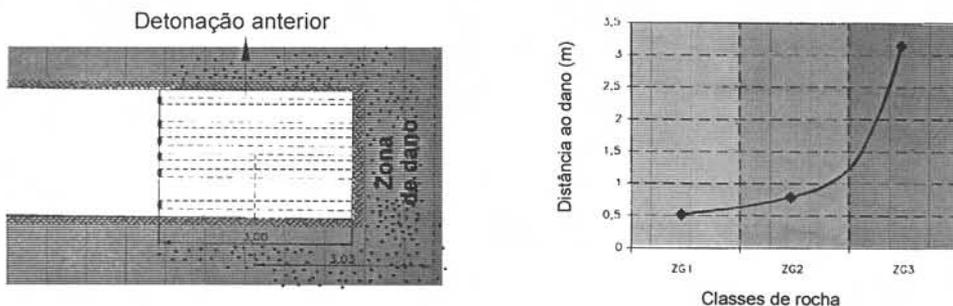


Fig. 10 - Previsão das distâncias de dano ao maciço causadas pelas detonações dos explosivos (exemplo dos Túneis da Sanest, Interseptor Jamor-Laje).

A problemática ambiental é tão vital para a indústria extractiva que passou a vigorar o chamado *princípio da protecção ambiental*, segundo o qual é imprescindível que qualquer exploração mineira respeite os requisitos de qualidade do ambiente, através de uma verdadeira Reengenharia a que se submeteu o sector, para que possa continuar a funcionar, especialmente nos países desenvolvidos. Gama (1995a) propôs os seguintes corolários a esse princípio:

a) A exploração mineira constitui um uso temporário do solo e do subsolo onde está implantada, competindo-lhe não degradar a qualidade da vida animal e vegetal durante a sua vigência e devolvendo à comunidade as áreas afectadas, com um padrão no mínimo equivalente ao da situação de referência. Sempre que possível é aconselhável desenvolver usos mais nobres para as áreas em causa, incluindo a utilização do espaço subterrâneo criado pelas escavações mineiras;

b) A recuperação das áreas degradadas deve ser efectuada em simultâneo com as actividades extractivas, e não na fase final dos projectos, de forma a evitar sobrecargas exageradas quando as empresas se encontram descapitalizadas.

c) A contribuição da indústria extractiva para o *desenvolvimento sustentável* será implementada através da criação de riqueza a partir de bens minerais extraídos em condições aceitáveis de operação das unidades industriais, em obediência às leis instituídas e não inviabilizando usos subsequentes das áreas envolvidas.

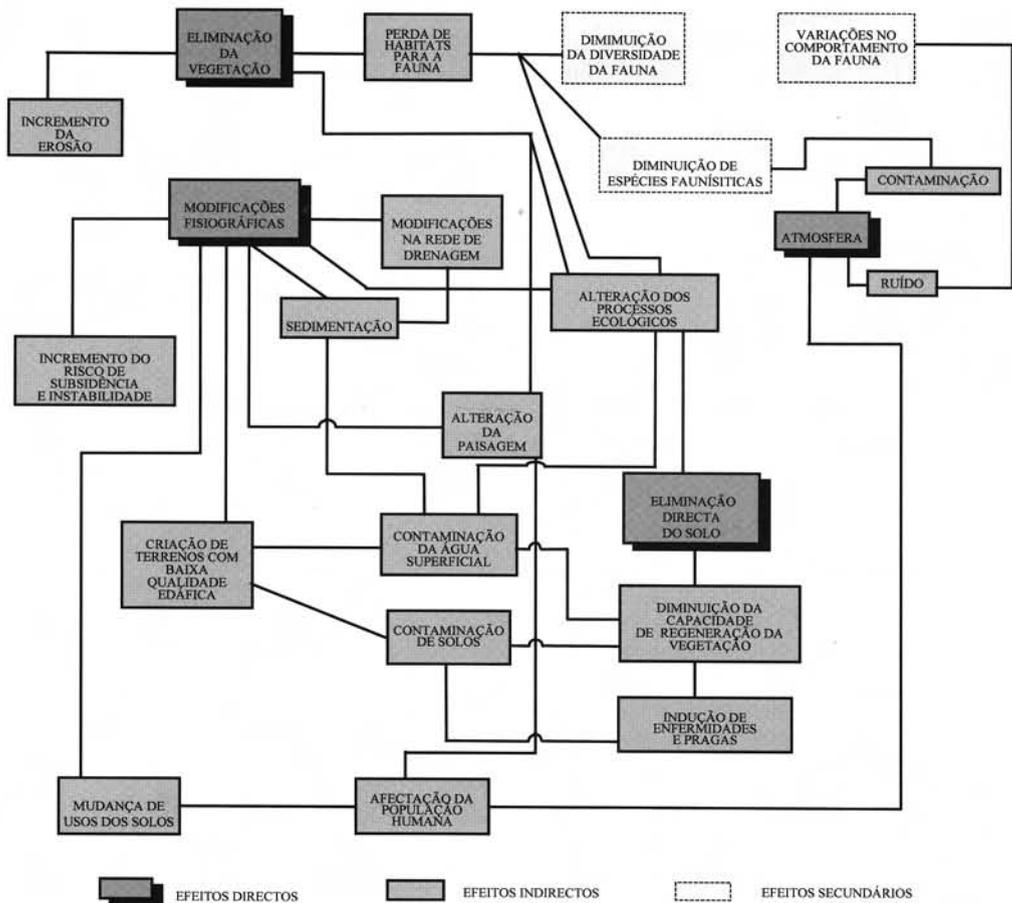


Fig. 11 - Principais impactes das explorações minerais sobre o ambiente (segundo Jimeno et al.,1994).

Em complemento destes preceitos, a indústria extractiva tem sido obrigada a usar, cada vez mais, tecnologias limpas e medidas preventivas em vez de correctivas (Gama, 1998a), assim como resolver os seus problemas ambientais através de abordagens inovadoras (Gama, 1999).

Alguns exemplos dessas tendências ilustram-se nas figuras seguintes.

3.2.2 - A recuperação ambiental de áreas afectadas

Face às pressões da opinião pública e da legislação do sector, as explorações de recursos minerais têm de promover trabalhos cada vez mais especializados em prol da qualidade ambiental, dentro da acepção geral de *recuperação*, significando o conjunto de obras e serviços destinados a recuperar, para uma dada área, o equilíbrio dos sistemas naturais, após um certo período de perturbação.

D.L. Law (1984) considera três modalidades distintas dentro do conceito geral de recuperação:

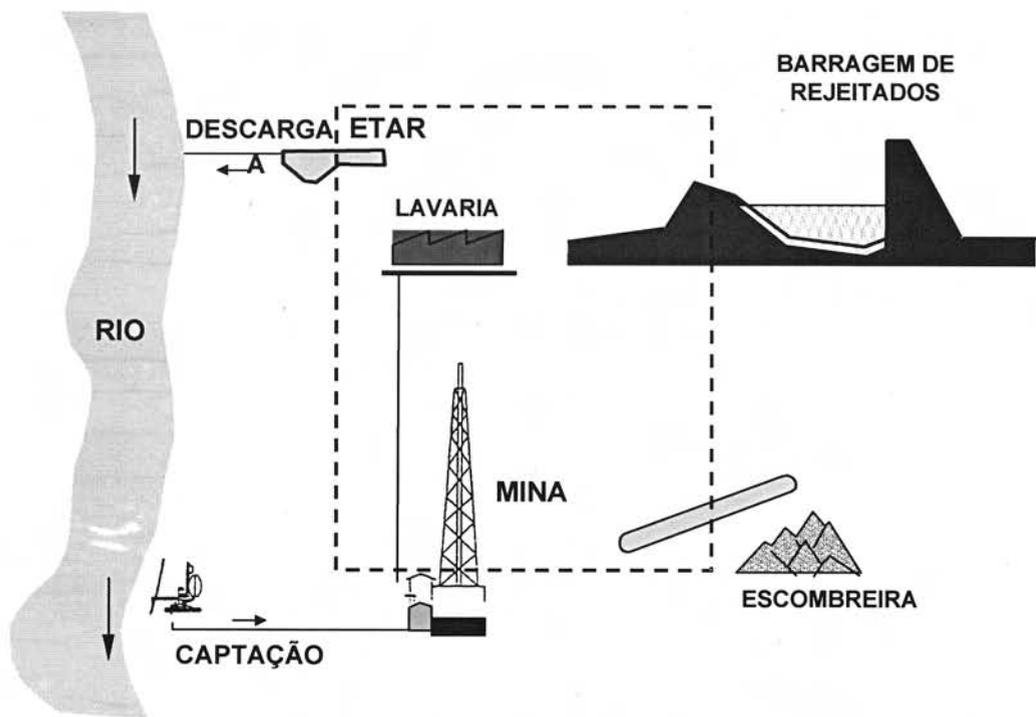


Fig. 12 - A auto-proteção ambiental na indústria extractiva (Gama, 1999).

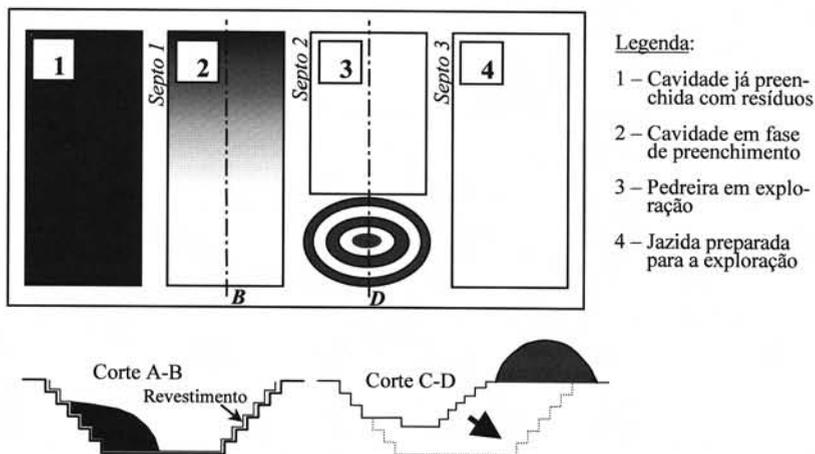


Fig. 13 - Aplicação do Sistema Pedreira - Aterro de Resíduos (Gama, 1999).

- a) Restauração - implicando que as condições do local antes da perturbação sejam alcançadas após a realização dos trabalhos necessários;
- b) Recomposição - quando o local ficará habitável para organismos que estavam originalmente presentes, ou por outros similares aos habitantes iniciais;
- c) Reabilitação - significando que a terra retorna a uma forma e um nível de produtividade compatíveis com os vigentes na situação de referência.

Dentro do princípio de recuperar as áreas afectadas em simultâneo com a sua exploração assume especial importância as técnicas de lavra com avanço contínuo em que, à rectaguarda se procede à modelação dos terrenos e revegetação (Fig. 14).

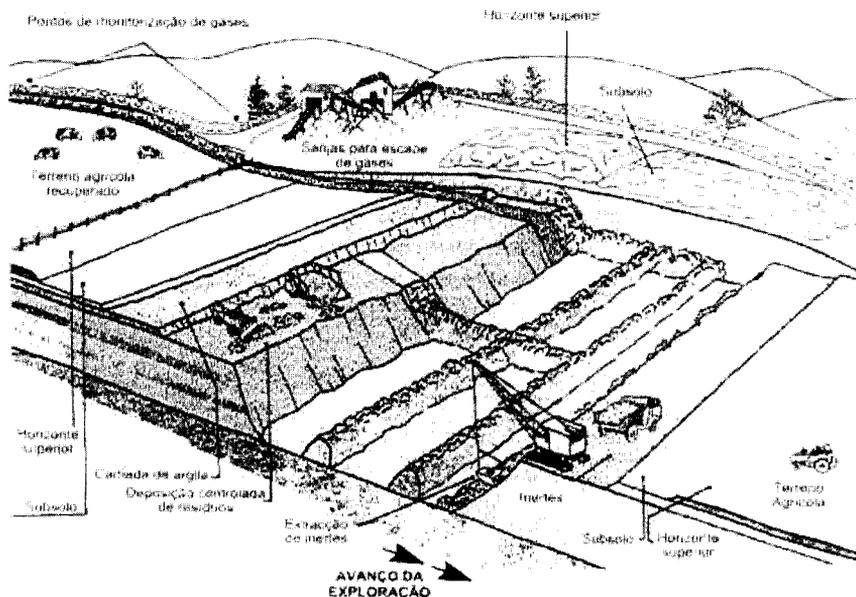


Fig. 14 - Método de exploração a céu aberto com recuperação à rectaguarda.

3.2.3 - Os problemas criados pelas escombrelras

A criação de escombrelras constitui sério impacte ambiental inerente a muitas explorações de recursos minerais. Para além de actualmente ser necessário desenvolver estudos geotécnicos aturados para criar novas deposições de escombros, existe ainda a necessidade, em muitas regiões, de recuperar ambientalmente antigas escombrelras.

Foi esse o caso da escombrelra da Serrinha, localizada dentro do Couto Mineiro do Pejão cujas dimensões e escombrelras de águas ácidas obrigaram a desenvolver projecto apropriado (Gama e Arrais, 1996), envolvendo estudo geotécnico de estabilização por mudança de geometria do talude principal, criando duas bermas horizontais intermédias, seguido da implantação de rede de drenagens de águas pluviais, da revegetação das suas faces expostas, do lançamento de brita calcária para neutralização de águas ácidas e do encaminhamento destas para quatro tanques situados na base do talude, sendo dois de decantação e dois de neutralização. Exemplo dessa recuperação é apresentado na Fig. 15.

3.2.4 - Os fenómenos de subsidência

As deformações superficiais excessivas que resultam de trabalhos mineiros podem ocasionar danos substanciais às estruturas construídas, devendo ser controladas por meio de uma melhor concepção e projecto de tais trabalhos, particularmente quando os mesmos se localizam sob regiões habitadas.

Importantes fenómenos deste tipo ocorreram na zona do Pejão, a 40 km do Porto, por efeito da exploração da mina de carvão de Germunde. Dada a morfologia subvertical das

camadas de carvão e pelo método de lavra adoptado a partir de 1966, designado por “sublevel caving”, que implicava no desabamento controlado dos tectos das áreas de desmonte, tais movimentos descendentes propagaram-se até à superfície, ocasionando danos em numerosas residências e caminhos, nascentes de água, condutas de água e postes de transmissão de electricidade (ver Fig. 16).

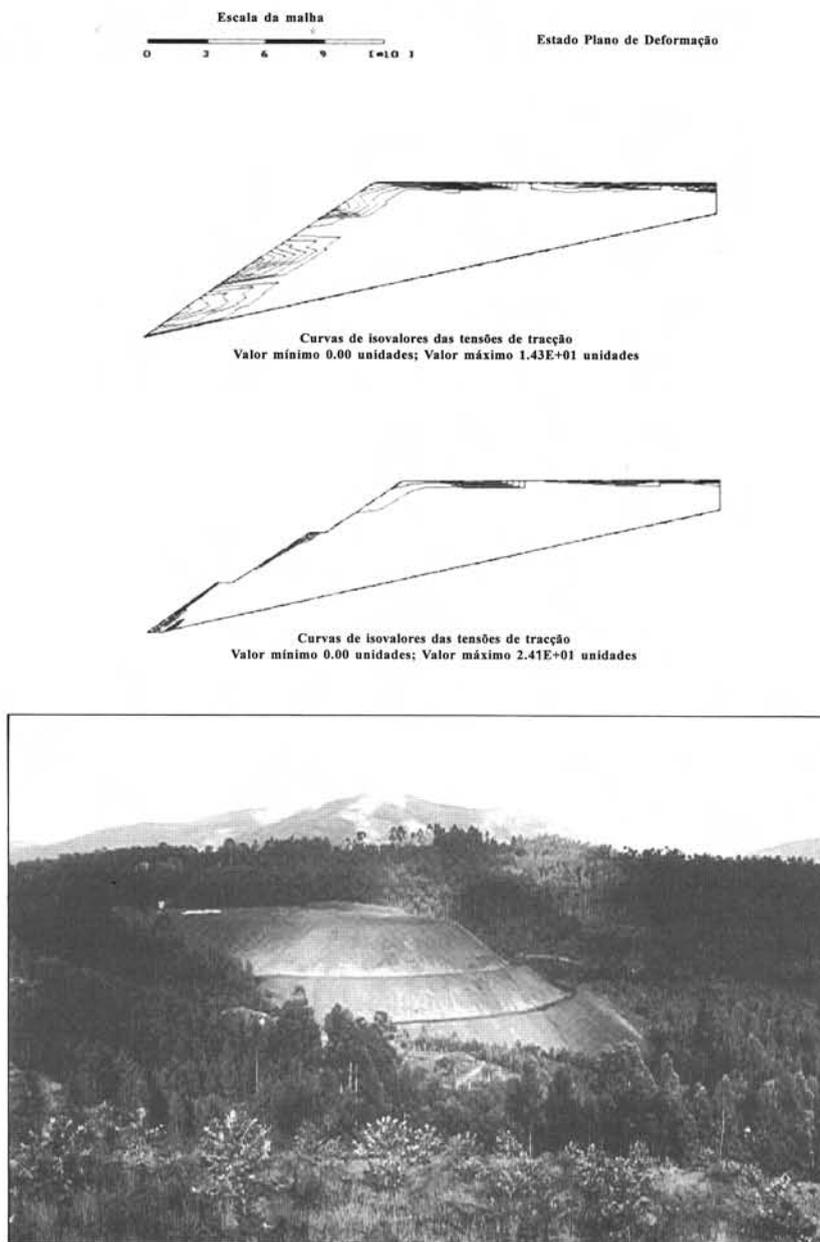


Fig. 15 - Estabilização e recuperação paisagística da escombreira da Serrinha, Pejão (Gama e Arrais, 1996).

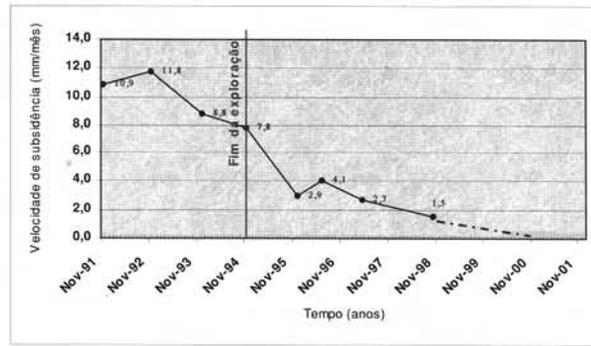


Fig. 16 - Exemplo de danos causados pela subsidência mineira na zona do Pejão e sua curva de atenuação com o tempo.

Diversos projectos de investigação foram realizados sobre o tema, com o propósito de minimizar os efeitos nocivos do método de lavra utilizado, assim como para simular o comportamento do maciço da mina. A quantificação dos danos nas habitações foi elaborada a partir da respectiva classificação, seguida da atribuição de uma pontuação que integrava o tipo de obra, o seu estado de manutenção e a proximidade de fracturas do terreno.

Um dos métodos desenvolvidos para representar o fenómeno foi o da “migração de vazios” (Gama e Dutra, 1994) que preconizava a movimentação dos volumes escavados após os desabamentos dos tectos das cavidades, em função do espaço e do tempo. Tratou-se de um modelo matemático baseado no mecanismo de escoamento de sólidos a três dimensões, com algoritmo matemático correspondente à difusão do ar, conhecida por 2ª lei de Fick, que é dada por:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = k_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}$$

onde c é a concentração de vazios, t o tempo e os parâmetros k representam os coeficientes de difusão ao longo das três direcções do espaço (x , y e z).

Aplicando o método das diferenças finitas, com as necessárias condições iniciais e de fronteira devidamente estabelecidas, foi possível determinar o efeito superficial das remoções de volumes na mina, ao longo do tempo.

A figura seguinte ilustra a previsão das linhas de isovalores de subsidência na região da mina, em comparação com os resultados de levantamentos topográficos efectuados regularmente.

Recentemente (1999) o problema das subsidências na zona do Pejão foi reanalisado, a fim de determinar as características da sua evolução após o encerramento da mina, ocorrido em Dezembro de 1994. Ficou demonstrada, com base nos levantamentos topográficos que continuaram a realizar-se, que é óbvia a tendência geral de decréscimo do fenómeno, até uma data próxima em que o mesmo se anulará, para efeitos práticos.

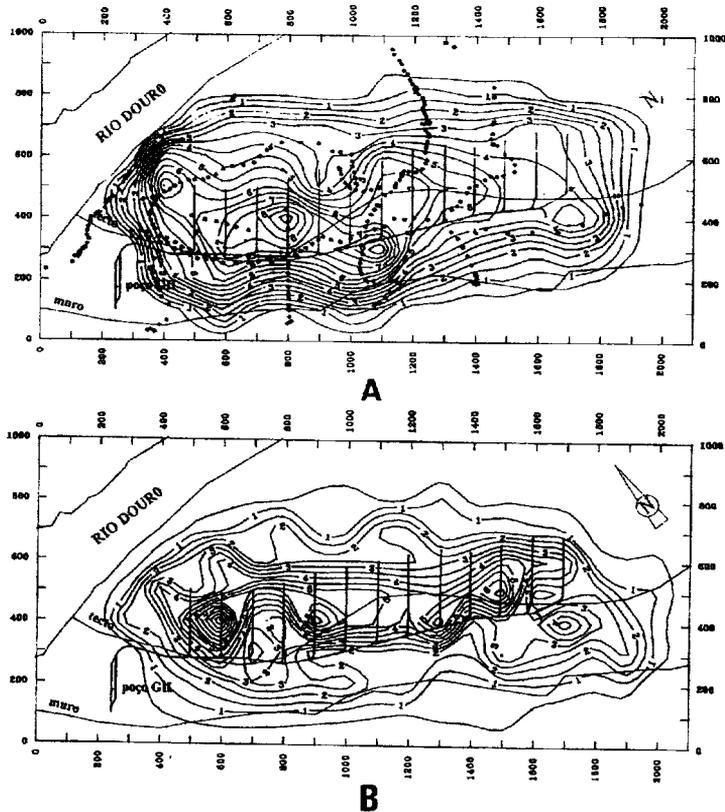


Fig. 17 - Representação dos valores da subsidência devida à mina de carvão de Germunde, obtidos por levantamentos topográficos (A) e pela solução matemática através do método da migração de vazios (Gama e Dutra, 1994).

3.2.5 - A exploração subterrânea de mármore

Pela importância crescente atribuída aos impactos ambientais das pedreiras de rochas ornamentais, nomeadamente a acumulação de escombros nas suas imediações, estão em estudo e em execução trabalhos de viabilização da respectiva exploração por métodos subterrâneos.

Dada a relativa novidade do tema e atendendo ao facto que sondagens efectuadas na região de Estremoz, Borba, Vila Viçosa revelaram a existência de mármore de excelente qualidade a profundidades que alcançam os 400 metros, desenvolvem-se estudos de viabilidade adequados, onde se integram conceitos geotécnicos, económicos e ambientais destinados a delinear as soluções mais recomendáveis.

As investigações incidem sobre o critério de dimensionamento das aberturas, resultante das condições de estabilidade das câmaras e pilares que integram essas escavações subterrâneas, e com base em dados de caracterização geotécnica das rochas e suas descontinuidades, assim como medições do estado de tensão "in situ" (Fig. 18).

Trata-se de técnica promissora, que oferece vantagens económicas e ambientais, nestas últimas se incluindo a redução drástica de escombros e do impacto visual, acrescido da possibilidade de uso futuro do espaço subterrâneo para armazenamento de resíduos.

As explorações subterrâneas têm ainda o mérito de evitar a degradação prematura da qualidade do mármore que se observa nas pedreiras profundas, onde as concentrações de

tensões ocasionam fracturações induzidas que comprometem a extracção de blocos comercializáveis.

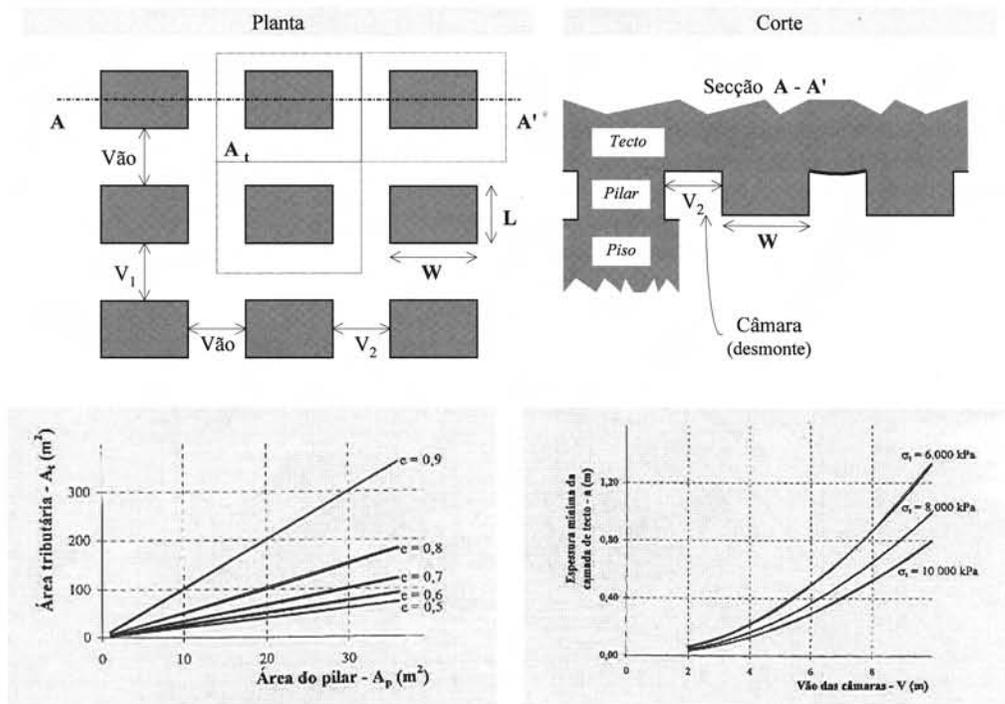


Fig. 18 - Dimensionamento das estruturas subterrâneas para a extracção de mármore.

3.3 - Geotecnia e Resíduos

3.3.1 - Definições

Pelo senso comum, chamam-se *resíduos* a todos os materiais (sólidos, líquidos e gasosos) que se rejeitam ou “atiram fora”, provenientes de actividades domésticas, urbanas, agrícolas, industriais e comerciais. Uma definição mais elaborada, do British Environment Protection Act (1990) considera que resíduo é:

- qualquer substância que constitui material descartado, ou efluente, ou ainda indesejado, que resulte da aplicação de qualquer processo; e,
- qualquer substância ou produto que requer deposição definitiva apropriada, por se encontrar gasto, usado, contaminado ou incapaz de funcionar.

A recente legislação portuguesa (Decreto Lei nº 239/97 de 9 de Setembro), que transpõe as Directivas Europeias nº 91/156 de 18 de Março e nº 91/ 689 de 12 de Dezembro), define resíduos como quaisquer substâncias ou objectos de que o seu detentor se desfaz, ou tem intenção de se desfazer, incluídos em duas extensas listas designadas por Catálogo Europeu dos Resíduos (promulgado em Portugal através da Portaria nº 818/97 de 5 de Setembro). Assinale-se que o citado Decreto Lei revogou o de nº310/95, que assim teve vida efémera, significando que o ritmo de aparecimento de novas leis ambientais é muito rápido, deixando confusos os interessados em cumpri-las e fazê-las cumprir.

É óbvio que certos subprodutos da actividade industrial só devem ser considerados como resíduos se perderem em definitivo o seu valor, o que invalida o uso dessa designação, por exemplo, para os blocos de rocha de uma escombreira que podem ter utilização subsequente, ou os rejeitados de uma lavaria que se lancem para uma barragem, os quais poderão vir a ser recuperados se futuramente a conjuntura económica o justificar.

É conveniente, portanto, que não se confundam resíduos com outros materiais (designados, conforme os casos, por subprodutos, ou escombros, ou estêreis, ou rejeitados, ou sucatas) que têm probabilidade concreta de virem a ser reaproveitados. Para estes poderá existir necessidade de os armazenar temporariamente em condições adequadas, antes de se proceder à sua recuperação, ou reciclagem, ou a qualquer outro tipo de tratamento subsequente.

Estas peculiaridades dos aterros de minas foram recentemente reconhecidas em Portugal, através de decisão do Conselho de Ministros tomada em 23 de Setembro de 1999.

3.3.2 - Contaminação e poluição

Segundo Lundgren (1986), os principais contaminantes do Ambiente podem ser classificados em quatro grupos:

- Microorganismos patogénicos
- Produtos químicos inorgânicos
- Produtos químicos orgânicos
- Substâncias radioactivas

Do ponto de vista dos locais receptores de resíduos, sejam eles terrenos, rios, lagos, oceanos, etc., há a considerar que poderão adquirir características nocivas aos seres vivos, as quais se designam por dois graus de severidade (por vezes confundidos):

a) Contaminação - quando existem compostos químicos prejudiciais, que podem exercer efeitos negativos na biosfera;

b) Poluição - quando esses compostos são em quantidade e/ou qualidade tais que ultrapassam a capacidade depuradora própria do local.

Em concreto, os riscos associados aos locais contaminados são de vários tipos distintos: toxicidade, fitotoxicidade, fogo, explosões e deterioração de materiais de construção. Sob o ponto de vista de intensidade, haverá a distinguir o respectivo grau de toxicidade, de inflamabilidade, de corrosão, de infecção, além da sua persistência no ambiente, a frequência da sua ocorrência e as probabilidades de exposição directa ou de incorporação na cadeia alimentar.

As tecnologias gerais de controle de contaminantes no Ambiente são, por ordem decrescente de prioridade e crescente de custos (Gama, 1998a):

- a) Prevenção (evitando o aparecimento);
- b) Remoção (eliminando na fonte);
- c) Supressão (absorvendo por reacções químicas);
- d) Contenção (isolando fisicamente);
- e) Diluição (reduzindo a concentração).

Estes preceitos traduzem a conhecida regra dos 4 R's, muito aplicada para os resíduos sólidos: Reduzir, Reutilizar, Reciclar e Recuperar.

Na prática colocam-se problemas desta natureza em situações onde é necessário proceder à detecção e à monitorização de terrenos contaminados, assim como na concepção e projecto de sistemas de deposição controlada de compostos químicos agressivos para o Ambiente.

Assinale-se que, em termos legais, a condenação de actos relacionados com a poluição não requer provas de dano ambiental concreto, mas simplesmente a capacidade de causar esses danos.

Um exemplo de previsão da migração de contaminantes foi apresentado por Gama e Bastos (1997), incidindo sobre o eventual armazenamento de resíduos nas câmaras

subterrâneas da Mina do Moinho, em Aljustrel. Considerando que os resíduos a lançar nas câmaras eram constituídos por rejeitados da lavaria e que as mesmas poderiam estar ou não revestidas interiormente, foram simuladas as condições de transporte dos contaminantes no aquífero subjacente da Mina, através de modelo matemático tridimensional baseado no fenómeno da difusão. Os resultados da citada simulação permitiram estimar os tempos de trajecto dessas substâncias, para as diferentes opções do estudo, tal como mostra a Fig. 19.

CASOS	REVESTIMENTO	REJEITADOS
Nº1	Nada	Tal-qual
Nº2	Argila	
Nº3	Betão	
Nº4	Nada	Inertizados
Nº5	Argila	
Nº6	Betão	

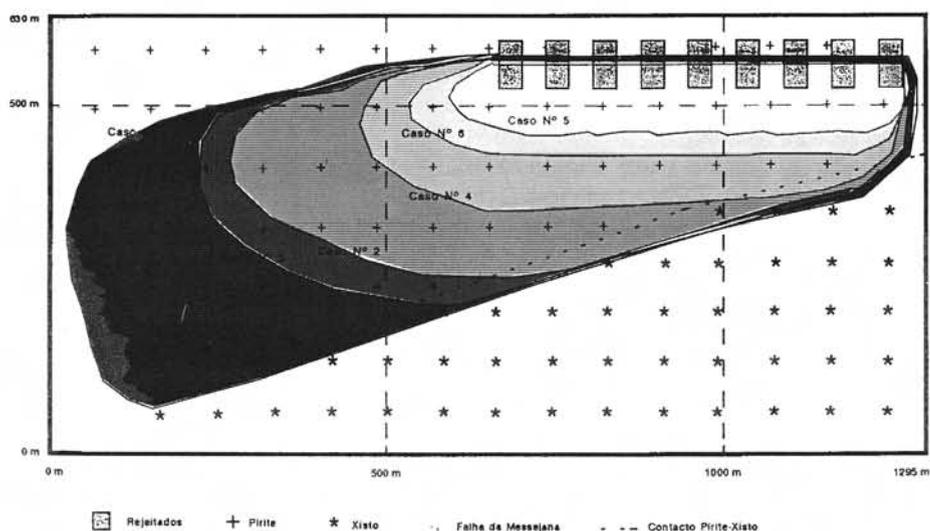


Fig. 19 - Previsão dos cenários de dispersão do contaminante em 9 anos, para a Mina do Moinho e indicação das alternativas de estudo.

3.3.3 - A deposição definitiva de resíduos

Uma das aspirações da Sociedade contemporânea consiste na eliminação dos resíduos que produz, sem que tal afecte a qualidade ambiental, em particular nas proximidades de locais habitados. O conhecido síndrome NIMBY (“not in my backyard”) é assim resolvido através da construção de infraestruturas adequadas a esse fim, após a realização de estudos especializados e de inquéritos à opinião pública.

A nomenclatura anglo-saxónica distingue “deposit” de “disposal”, considerando o primeiro como algo temporário ou provisório, enquanto que o segundo envolve a colocação definitiva em condições adequadas. Em português não existe tal diferença de vocábulos, mas poder-se-á traduzir “deposit” por deposição temporária e “disposal” por deposição definitiva.

Também a designação de *repositório*, proveniente do inglês “repository”, é cada vez mais aplicada, significando a obra de infraestrutura em que os resíduos, principalmente os perigosos, são armazenados adequadamente com carácter permanente.

O princípio fundamental a respeitar para a solução definitiva do destino a dar aos resíduos, principalmente aos “especiais”, caracterizados por serem perigosos para os seres vivos, consiste em isolá-los da biosfera por suficiente período de tempo, até que deixem de apresentar riscos para animais e vegetais.

Para tal, existem dois tipos de contenções ou barreiras a implantar: as *naturais*, através de solos e rochas que evitem ou reduzam, dentro de limites convenientes, o escoamento da água através dos resíduos, ou a percolação de águas contaminadas, e as *artificiais ou técnicas*, formadas por materiais manufacturados para selar os resíduos, diminuindo a produção de lixiviados e impedindo a ocorrência de reacções químicas com os terrenos de modo a que as barreiras naturais não entrem em contacto com a biosfera.

A maneira mais económica e rápida de proceder à deposição de resíduos consiste em utilizar alguma cavidade já aberta (pedreira já explorada, depressão natural do terreno, etc.) para a preencher com resíduos, dentro de condições tecnicamente apropriadas que garantam estabilidade e estanquidade a longo prazo. Esse procedimento apresenta vantagens e inconvenientes, como mostra o Quadro 1, devendo sempre ser considerado em alternativa aos aterros de resíduos construídos de raiz.

Quadro 1 - Vantagens e inconvenientes da utilização de minas a céu aberto para locais de aterros de resíduos (segundo Krause, 1997).

VANTAGENS	INCONVENIENTES
Uso de cavidade disponível a curto prazo	Dificuldades de aplicação de revestimentos
Localização frequente acima do nível freático	Idem, para sistemas de remoção de lixiviados
Escombrelras fornecem material de cobertura	Problemas com drenagem de águas pluviais
Finos usáveis em impermeabilizações	Colocação e estabilização dos resíduos
Rede de acessos já criados	Materiais de fundação pouco resistentes
Localizações geralmente remotas	Condições hidrogeológicas afectadas
Opinião pública mais complacente	Custos de transporte altos para zonas remotas
Receitas contribuem para a recuperação	

Para tais fins, tem sido muito abundante e variada a intervenção da Geotecnia em matéria de gestão dos resíduos (urbanos, industriais, hospitalares, perigosos, etc.), podendo incidir em todas as fases do processo, designadamente na prospecção dos locais para a sua deposição, no projecto, na construção, na operação, na monitorização e no encerramento dos mesmos.

Sharma e Lewis (1994) consideram que as principais áreas de intervenção geotécnica neste sector, são:

- a) Resíduos, sua classificação e caracterização;
- b) Remediação, aplicando métodos e tecnologias de isolamento de substâncias contaminantes para o ambiente e seres vivos;
- c) Deposição de resíduos, através da concepção e projecto de depósitos superficiais, de aterros sanitários e de repositórios subterrâneos;
- d) Análises, quer da infiltração e geração de lixiviados, quer da migração de contaminantes, quer ainda da estabilidade de taludes (estática e dinâmica).

Já Oweis e Khera (1998) ponderam sobre a necessidade de serem encontradas soluções mais eficazes do que a simples deposição de resíduos, cada vez mais difícil nas proximidades das áreas densamente povoadas, enfatizando as práticas de redução, de reutilização e de reciclagem.

Attewell (1995) apresentou contribuições significativas a respeito das aplicações da Geotecnia para a caracterização dos materiais constituintes dos resíduos e para a concepção de aterros sanitários. Depois de analisar os principais métodos de deposição definitiva de resíduos, desenvolve critérios de contenção e revestimento de aterros, a organização celular dos mesmos, problemas da co-deposição, a consideração dos aterros como biorreactores, o projecto de selagens, além de aspectos ligados à garantia de qualidade destas obras, à estabilidade dos taludes dos aterros, à condutividade hidráulica dos materiais de revestimento, à migração de gases e à aplicação de paredes diafragma.

Estando a solução aterro sanitário actualmente mais em voga, é interessante observar a organização geral que deve possuir essa solução (ver Fig.20), assim como os tipos mais característicos a que se aplica essa deposição (ver Fig. 21).

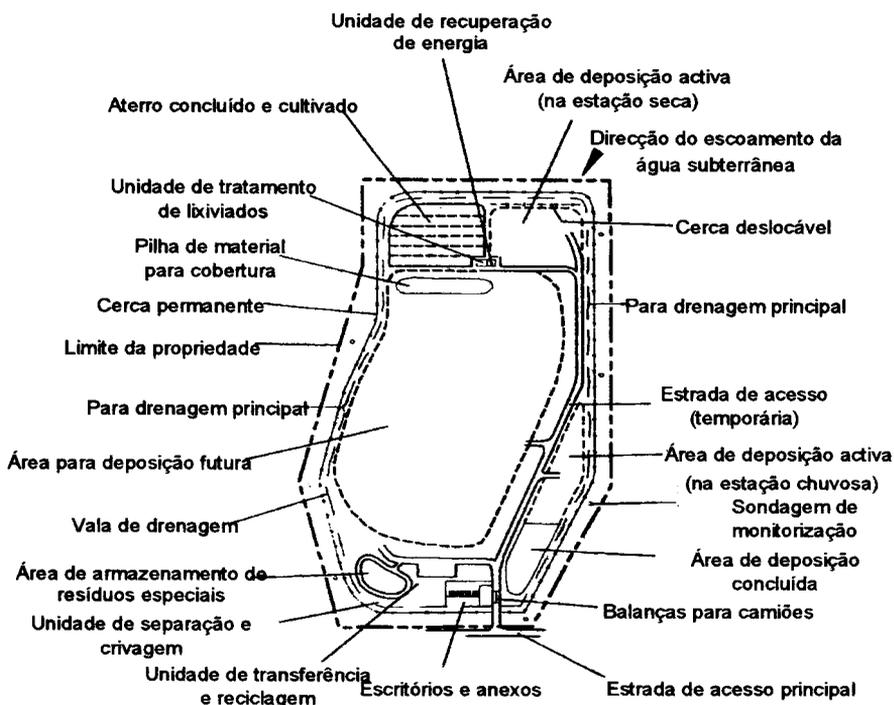


Fig. 20 - Configuração geral de um aterro sanitário (segundo Marcus, 1997).

Em termos classificativos, não existe um critério universal aplicável aos resíduos, dada as suas muitas variedades e origens, bem como as múltiplas formas de aparecimento. As mais representativas indicam-se no Quadro 2.

Manassero et al. (1998) abordam problemas pertinentes da Geotecnia Ambiental, incidindo sobre as especificações técnicas para as obras geotécnicas destinadas a receber resíduos, destacando duas orientações distintas:

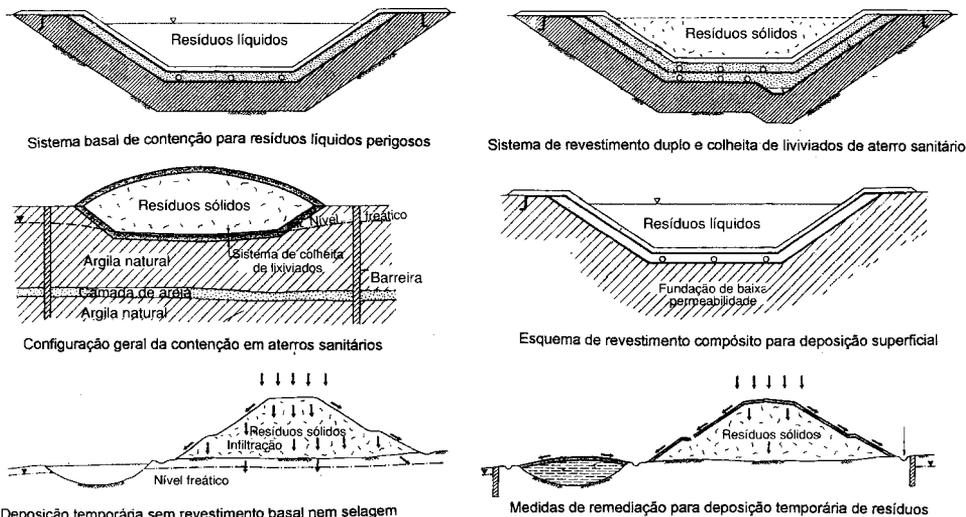


Fig. 21 - Aterros de resíduos: diversas situações de contenção e controle dos seus impactes ambientais (segundo Sharma e Lewis, 1994).

Quadro 2 - Alguns sistemas de classificação de resíduos

ATTEWELL	OWEIS & KHERA	DECRETO LEI n° 239/97
Resíduos controlados: - Domésticos - Industriais - Comerciais Resíduos especiais ou perigosos Resíduos restritos Resíduos difíceis	Resíduos sólidos municipais Resíduos minerais Resíduos industriais Resíduos da queima de carvão Resíduos de dragagens Esgotos municipais Resíduos perigosos	Resíduos urbanos Resíduos industriais Resíduos hospitalares Resíduos perigosos Outros tipos de resíduos

i) utilização de padrões de projecto especificados ou prescritos, geralmente pelo uso de regulamentação oficial, e

ii) aplicação de padrões de desempenho com base em dados de monitorização.

A primeira opção possui as características de receituário de soluções, geralmente proveniente de consensos políticos, com reduzida intervenção de critérios de Engenharia, sem perspectivas de optimização dos projectos, desinteressando a inovação e a criatividade.

Já a segunda opção pugna pela adopção de directrizes de projecto e de execução dessas obras a partir de comportamentos monitorizáveis dos sistemas em operação, visando a optimização de soluções a partir das características próprias de cada local de aterro, estimulando a investigação e evitando projectos inseguros ou redundantes.

O “estado da arte” desta disciplina é mais facilmente alcançado a partir da segunda metodologia, uma vez que a definição dos perfis adequados de revestimento e selagem é estabelecida a partir das características próprias do clima local, da natureza dos terrenos de fundação e das propriedades dos resíduos a armazenar, determinando-se regras para o projecto de desempenho em função de limites para as concentrações e caudais de contaminantes no tempo e no espaço. A intervenção de organismos neutros (ou grupos de especialistas independentes) é recomendável nesta via de solução, para garantia da qualidade da construção e segundo os ditames da Norma ISO/EN 9000.

Um dos domínios mais complexos deste contexto é o da deposição final de resíduos radioactivos, em que todos os países desenvolvidos procuram soluções capazes de garantir condições seguras a longo prazo para essas substâncias.

Nesta linha, Stephanson (1999) dedica a sua atenção à deposição de resíduos radioactivos em maciços rochosos, analisando os aspectos ligados à escolha de locais, ao projecto de repositórios, sua construção, colocação dos resíduos e respectiva selagem dessas instalações.

3.4 - A estabilidade dos terrenos e sua relação com o Ambiente

Trata-se de uma área de estudo extremamente rica de exemplos de interacção entre a Geotecnia e o Ambiente, particularmente no que tange a taludes em solos e em rochas, ou a taludes naturais, de aterro e de escavação.

A problemática de estabilização de taludes é hoje bem conhecida dos geotécnicos, estando a evoluir no sentido de passar a incorporar os constrangimentos ambientais relevantes, de modo a compatibilizar ambos os aspectos.

Com efeito, entre as principais causas dos deslizamentos de taludes figuram circunstâncias que possuem íntima relação com o clima e a qualidade do Ambiente, tais como a desmatamento e desflorestação. Por outro lado, os processos de revegetação dos taludes constituem, cada vez mais, formas de estabilização dos mesmos, garantindo em simultâneo a sua recuperação paisagística.

Lutton (1970), após estudar 91 locais de deslizamentos de taludes destacou a influência do tipo de terreno e do clima como determinantes da respectiva estabilidade, através de uma correlação entre as inclinações e as alturas dos taludes (Fig. 22).

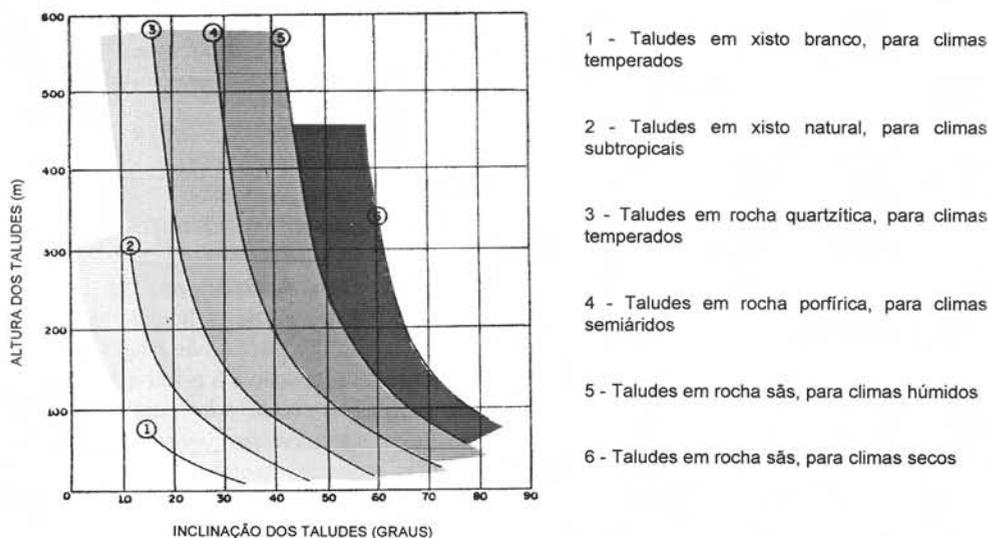


Fig. 22 - Variação da estabilidade de taludes com o clima e a litologia (Lutton, 1970).

A intervenção dos factores naturais em estudos da estabilidade de maciços terrosos e rochosos é, assim, cada vez mais divulgada. A nível de projecto, esta tendência possui características que se coadunam com as abordagens probabilísticas da estabilidade, uma vez que tais factores são de tipo estocástico. Com efeito, para a determinação do conceito de

inclinação óptima de um talude (Coates, 1981) através da minimização do custo generalizado de obtenção do talude, dado por:

$$C_g = C_o + P_c(D + R)$$

onde C_o é o custo de escavação/construção do talude, P_c é a respectiva probabilidade de colapso, D é o custo dos danos resultantes do deslizamento e R os custos da respectiva reconstrução. Como todas estas grandezas dependem da inclinação do talude, a sua variação típica é a que se indica na Fig. 23, revelando que a minimização do custo generalizado aponta para a inclinação óptima do talude em causa.

Exemplos de aplicação desta filosofia foram apresentados por vários autores, entre os quais Gama (1995b), verificando-se tendência para ser apresentados em explorações mineiras a céu aberto (ver Fig. 24) e taludes de vias de comunicação (Mendonça e Cardoso, 1998), integrando técnicas de revegetação e revelando grande sentido de integração de soluções para este problema (Fig. 25).

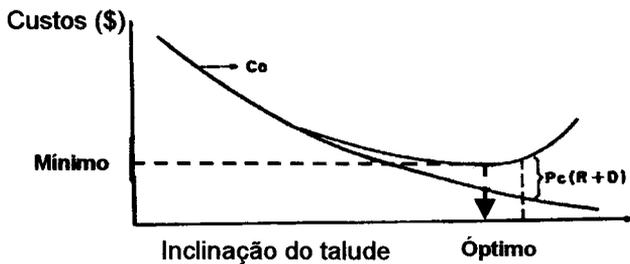


Fig. 23 - O custo generalizado de um talude e a determinação da sua inclinação óptima.

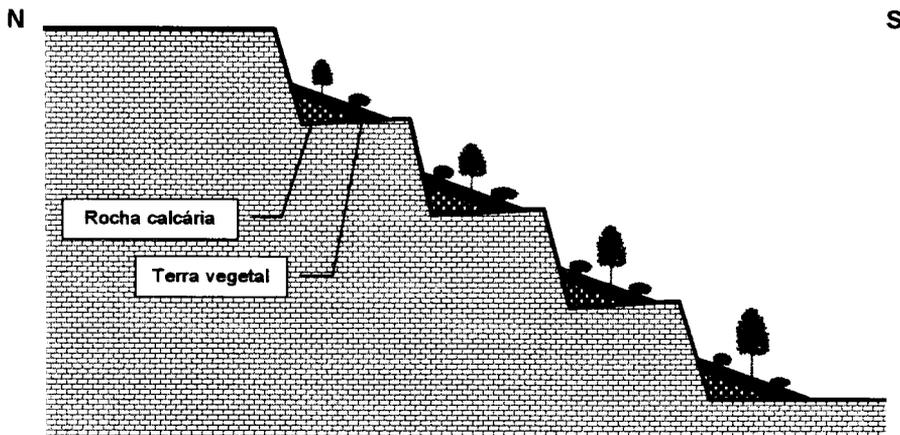


Fig. 24 - Estabilização dos taludes finais da pedreira de margas de Maceira.

3.5 - Erosão, Erodibilidade e Erosividade

O fenómeno da erosão dos terrenos superficiais assume proporções preocupantes a nível global, afectando todos os habitantes do planeta. Historicamente são conhecidos numerosos

exemplos de civilizações que entraram em colapso por não ter sido dada devida importância ao problema da conservação dos solos.

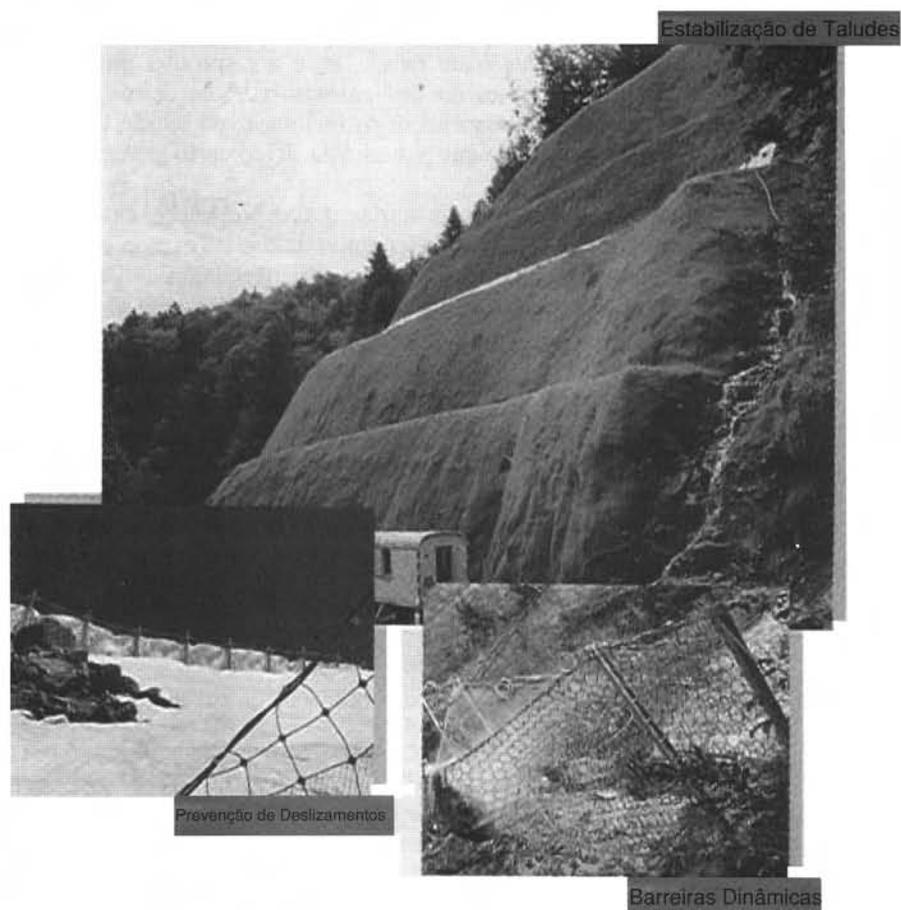


Fig. 25 - Aplicação de técnicas de estabilização de taludes de estradas com revegetação.

Actualmente, para uma população que já atingiu os 6 biliões de almas, estima-se que o consumo médio de alimentos por habitante é de 750 kg por ano (Murck et al., 1996). Por outro lado, a erosão de solos atinge 4,5 t por pessoa, o que significa que para cada kg de alimentos ingeridos, perdemos 6 kg de solos agricultáveis. A esta taxa de perda, os solos produtivos da Terra degradam-se à razão de 7% em cada década.

Uma estimativa recente (Murck et al., 1996) aponta que, em resultado da excessiva erosão e do elevado crescimento populacional, no ano 2000 existirão dois terços dos solos de cobertura que suportam cada habitante da Terra, em relação aos que estavam disponíveis em 1984, há 16 anos apenas.

É óbvio que se tornam essenciais medidas de combate a este fenómeno, apesar de existirem técnicas conhecidas para o combater (tais como a reflorestação, a rotação de colheitas agrícolas, a redução do uso de agroquímicos e a identificação e mapeamento de solos

vulneráveis), havendo espaço suficiente para numerosas contribuições especializadas, entre as quais a da Geotecnia, que na matéria tem sido praticamente inactuante. No entanto, os fenómenos envolvidos na erosão possuem características susceptíveis de serem minimizadas com intervenções de cariz geotécnico, como se verá.

Segundo Selby (1982) a erosão é função de dois mecanismos ou processos, a saber:

$$\text{Erosão} = f(\text{Erosividade}, \text{Erodibilidade})$$

em que a *erosividade* traduz os efeitos compostos dos agentes naturais característicos de uma dada região, tais como a chuva e ventos (sua intensidade, tamanho das gotas, velocidade, distribuição, ângulo e direcção, frequência e duração), assim como das águas superficiais correntes (caudais, profundidade do escoamento, velocidade, frequência, magnitude, duração e conteúdo de sedimentos) enquanto que a *erodibilidade* depende das propriedades dos terrenos (tamanho das partículas, coesão, capacidade de agregação e de infiltração), da vegetação (cobertura do terreno, tipo de plantas, grau de protecção das suas folhas), topografia (inclinação e comprimento da superfície dos terrenos, sua rugosidade, convergência ou divergência de escoamentos) e, ainda, as práticas de uso do solo (agricultura intensiva, estabilização de ravimentos, rotação de colheitas, cobertura das plantas, criação de terraços, conteúdo de matéria orgânica, etc.).

Decorre destes conceitos a importante noção de *erosão diferencial*, que explica a génese de muitas formas de relevo, caracterizadas por maiores taxas de remoção de terrenos para os de mais baixa resistência e vice versa, conforme é testemunhado em muitas regiões da Terra (ver Fig. 26).

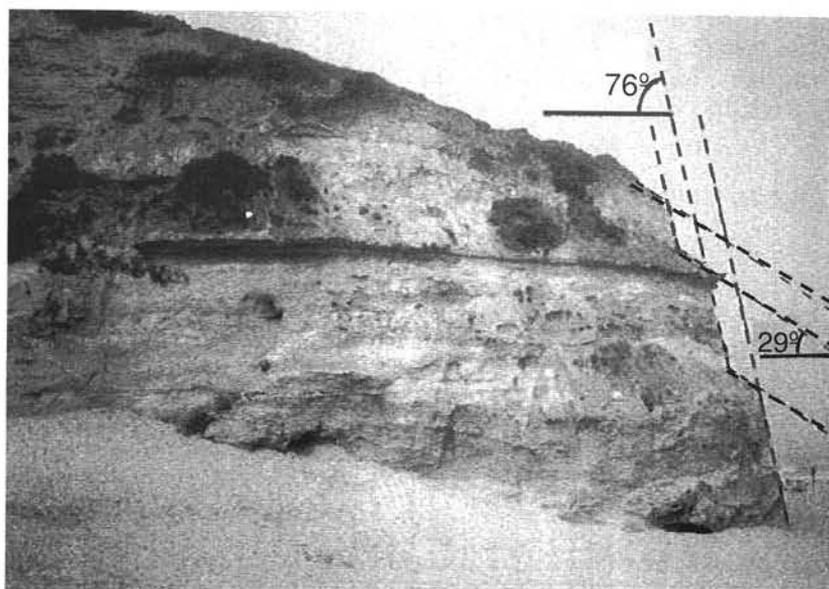


Fig. 26 - Exemplo de erosão diferencial, com taludes íngremes criados ao nível das camadas rochosas e declives mais suaves para as camadas de solos (falésia do litoral atlântico).

Outra ferramenta importante para quantificar a erosão é a conhecida *equação universal da perda de solos*, (Morgan, 1986) utilizada para prever a redução de terrenos agrícolas pelos agentes erosivos, sendo dada por:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

em que os símbolos possuem o seguinte significado:

- A - perda de solo arável, por ano
- R - factores de erosividade da chuva na região
- K - factor de erodibilidade do terreno em causa
- L - factor topográfico do comprimento dos taludes
- S - factor topográfico da declividade dos taludes
- C - factor de gestão adequada das colheitas
- P - factor relativo às práticas de conservação.

Como se observa, os factores K e S têm clara raiz geotécnica, devendo ser melhor avaliados e até objecto de normalização apropriada, através de métodos rigorosos, já que em muitas obras de Engenharia, como barragens, aterros sanitários, minas a céu aberto, etc., necessitam de previsões bem elaboradas a respeito da sua resistência aos fenómenos de erosão.

Algumas contribuições recentes sobre o controle da erosão têm sido desenvolvidas no âmbito da Geotecnia Ambiental para a protecção das selagens dos aterros sanitários (Oweis & Khera, 1998). Com efeito, os objectivos do revestimento exterior dessas obras devem ser:

- a) Minimização das infiltrações das águas das chuvas, para assim reduzir a formação de lixiviados;
- b) Criar uma selagem superior que não seja mais permeável que o sistema de revestimento lateral, e assim não permitir que as águas pluviais entrem para o aterro mais do que podem escapar através do revestimento basal;
- c) Promover a drenagem desde a superfície com erosão mínima;
- d) Conviver com assentamentos e subsidências;
- e) Operar com um mínimo de manutenção.

Os revestimentos são assegurados por combinações variadas em que participam camadas argilosas de espessuras apropriadas e materiais geossintéticos.

4 - A ESTABILIDADE GENERALIZADA E O CONCEITO DE GEOECOSSISTEMA

A evolução das formas de relevo na Terra, resultantes dos dois mecanismos opostos de erosão e de erupções na crosta, em que o Homem intervém com intensidade crescente, têm sido objecto de diversas teorias explicativas, entre as quais se destacam (Gama, 1998b):

- a) Uniformismo - considerando que os actuais mecanismos de conformação do relevo seriam também os que prevaleciam no passado geológico.
- b) Antropomorfismo - a evolução seria caracterizada por fases de juventude, maturidade e caducidade.
- c) Morfogeneticismo - a semelhança de regiões em termos de relevo seria o resultado de analogias no regime climático que suportam.
- d) Equilíbrio dinâmico - existe tendência ao estabelecimento de equilíbrios entre as resistências dos terrenos e os efeitos da alteração e erosão.
- e) Entropia - a forma geométrica do relevo é ditada pela distribuição de energia mais provável dentro de cada ecossistema.

Apesar da aparente contradição, tais teorias são complementares, pois cada uma apresenta as condições mais relevantes de certas regiões da Terra, podendo ser feita a sua conciliação através da acitação de que existem três causas básicas na obtenção das formas de relevo: a estrutura geológica, os tipos de processos evolutivos e o seu estágio de desenvolvimento.

É precisamente através do conhecimento da estrutura geológica (especialmente das respectivas propriedades geotécnicas) que se podem interpretar os processos evolutivos, neles se incluindo as obras de Engenharia com perspectivas de durabilidade longa, como por exemplo os repositórios de resíduos radioactivos, que terão de manter a integridade por períodos da ordem dos milhares de anos.

Preocupações desta índole constituem incentivos ao desenvolvimento da Geotecnia Ambiental, abrindo novas áreas de actuação. Haverá que desenvolver conceitos mais rigorosos sobre determinados comportamentos, tais como:

- a) A degradação das propriedades de resistência dos terrenos com o tempo;
- b) A evolução das interacções entre terrenos e estruturas construídas;
- c) A intervenção de comportamentos plásticos e viscoelásticos nos materiais geológicos;
- d) O desempenho a longo prazo das descontinuidades dos maciços rochosos;
- e) A evolução física e química das águas superficiais e subterrâneas;
- f) Os efeitos da actividade biológica sobre as obras de Engenharia.

Umás e outras permitem perspectivar os conceito de *geocossistema* como entidade integradora das intervenções naturais e humanas, no sentido de protegerem o planeta, tornando-o mais compatível com as melhores aspirações de todos os seus componentes, sejam eles animais, vegetais ou minerais.

Determinadas análises poderão tornar-se extensíveis à participação de todos estes componentes, como seja a da previsão de ângulos de taludes óptimos (ver § 3.4). Com efeito, a expressão do custo generalizado do geocossistema, isto é:

$$C_g = C_o + P_c(\sum D + \sum R)$$

poderá envolver, na definição da dependência da probabilidade de colapso P_c com a geometria do sistema, os factores a) a f) acima indicados, assim como no somatório dos danos $\sum D$ se incluiriam todos os prejuízos causados ao Ambiente pela sua eventual rotura (incluindo agressões à paisagem, perdas de habitats, etc.) e $\sum R$ o somatório dos custos de reconstrução, de revegetação, de repovoamento animal, etc.

Tratar-se-ia, assim, de substituir as noções restritas de estabilidade geotécnica por um conceito, mais alargado, de *estabilidade generalizada*, com componentes ecológicas e geotécnicas.

Poder-se-ia esperar, da virtual implementação dos conceitos acima enunciados, melhores e mais sábias intervenções humanas nas actividades que interessam directamente o Ambiente, principalmente para as de longo prazo, tendo em vista a protecção das futuras gerações, a integridade do nosso planeta e de todos os seus constituintes animais, vegetais e minerais.

5 - A DEFESA INTEGRADA CONTRA CATÁSTROFES NATURAIS

Os fenómenos catastróficos próprios da Natureza sempre afectaram a Humanidade desde os tempos mais remotos, deixando de ser considerados inelutáveis para entrarem na categoria de eventos que ocorrem com frequências mais ou menos esperadas, para as quais é essencial estar-se preparado, edificando estruturas capazes de os suportar, e/ou evitando as suas consequências nocivas para os seres vivos e para a propriedade. É evidente que só o aumento de conhecimentos sobre a génese e mecanismos das catástrofes naturais contribuirá decisivamente para mitigar os seus efeitos, através de um planeamento racional das actividades humanas.

Dado que tais fenómenos fazem parte do normal funcionamento deste planeta dinâmico, muitos deles tornaram-no habitável e continuam a desempenhar um papel relevante na

manutenção do seu equilíbrio. Por exemplo, os vulcões e os sismos estão entre os processos de formação dos continentes, de evolução das paisagens, do posicionamento das zonas climáticas e da estabilização dos oceanos e da própria atmosfera. Já a acção dos ventos e das águas causam inundações, deslizamentos de encostas, ciclones, etc., que promovem a renovação dos solos, sustentando a vida.

Murck et al. (1996) classificam estes fenómenos em três grupos principais: as catástrofes de índole geológica (sismos, erupções vulcânicas, inundações, avalanches), as naturais (choque de corpos celestes, ciclones, incêndios, pragas de gafanhotos, por exemplo), e as criadas pelo homem (poluição ambiental, chuvas ácidas, depleção da camada de ozono, contaminação de recursos hidrogeológicos, aquecimento global, etc.).

É de salientar o carácter antropocêntrico destes conceitos, visto que só se consideram estes eventos como catastróficos quando possuem ameaças para a vida ou propriedade humanas, directa ou indirectamente. A evolução das correntes de pensamento contemporâneo tendem a deixar de considerar tais processos como inimigos do homem, que deveriam ser combatidos a qualquer preço no sentido de submeter o Ambiente, para uma atitude de aperfeiçoamento do conhecimento humano a seu respeito, e em especial dos seus mecanismos de iniciação, a fim de delinear novas formas de gestão dos seus efeitos e consequências.

Nas duas últimas décadas registaram-se, em consequências destas catástrofes, cerca de três milhões de perdas de vidas humanas, com prejuízos materiais da ordem de 40 biliões de dólares por ano, o que conduz a uma cifra de 18,8 milhões de dólares por dia! Está em fase de conclusão a Década de Prevenção de Catástrofes Naturais, sob a égide da O.N.U., de cujos ensinamentos muito haverá a beneficiar para a defesa contra as mesmas, especialmente para as populações menos afluentes do Planeta.

Para atingir resultados cada vez mais eficazes de superação das catástrofes naturais são necessárias abordagens multidisciplinares integradoras, com aplicação de metodologias avançadas que proporcionem novas ferramentas de planeamento e de actuação. O emprego de tratamentos probabilísticos é uma dessas técnicas, mais consentâneas com a índole dos fenómenos em questão.

Algumas das questões a responder seriam (Murck et al., 1996):

- a) Em que locais e quando ocorreram os eventos no passado?
- b) Qual o grau de severidade dos efeitos físicos resultantes?
- c) Que frequência se pode atribuir aos eventos mais destruidores?
- d) Se um dado evento acontecer na actualidade, que tipo de efeitos terá?
- e) Será possível coligir toda a informação científica sobre os eventos e sua prevenção, tornando-a disponível para planeadores e decisores, assim como para o público em geral?

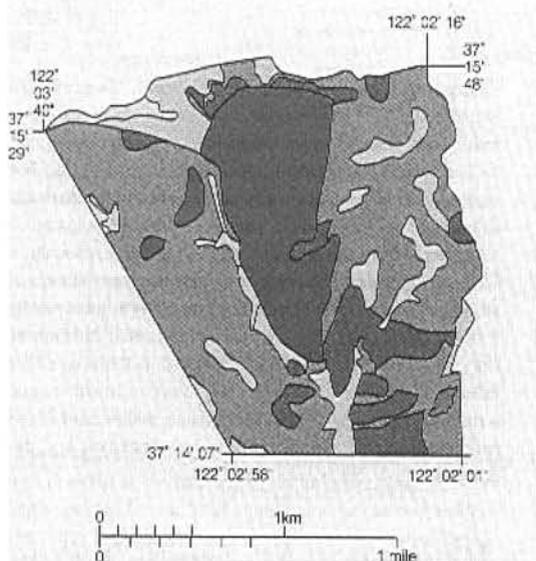
Determinados conceitos, como a *vulnerabilidade* e a *susceptibilidade*, possuem essa base estocástica, sendo muito úteis para fundamentar os critérios de defesa contra tais fenómenos. Assim, define-se *vulnerabilidade* como a probabilidade de um dado evento natural provocar danos físicos numa certa área, em função da sua população e tipo de propriedade, dependendo de numerosos factores: densidade habitacional, conhecimento científico existente sobre a região, grau médio de educação da respectiva população, preparação da mesma para tais eventualidades, existência de sistemas de prevenção e aviso antecipado, linhas de comunicação eficazes, rapidez de actuação de agentes especializados em emergências, estilos de construção e códigos de edificação, além de factores culturais e cívicos.

Tais factores justificam-se plenamente ao comparar efeitos destruidores de eventos naturais da mesma intensidade em diversas zonas da Terra: é um facto que os países menos desenvolvidos são mais vulneráveis que os industrializados, sendo a pobreza um aspecto negativo na defesa contra tais fenómenos.

Já a *susceptibilidade* envolve a noção de predisposição da região para determinados tipos de catástrofes, a qual pode ter causas naturais ou induzidas pelo homem. Com efeito, para além

de existirem motivos climáticos ou geológicos conducentes a uma maior frequência e magnitude desses fenômenos, poderão também registrar-se agressões ambientais sérias, como a desflorestação (que desencadeia escorregamentos de taludes e inundações), a ocupação desenfreada de terrenos impróprios para a construção, o recurso a áreas de aterros provenientes de dragagens, etc.

Habitualmente tais elementos são quantificáveis sob a forma de graus de risco (probabilidades de ocorrência vezes as consequências dos eventos) e apresentados sob a forma de mapas indicativos das probabilidades de danos resultantes, como se mostra na Fig. 27.



Estabilidade relativa	Área do mapa	Condições geológicas	Casas	Uso recomendado das terras	
				Estradas	
				Públicas	Privadas
Mais estável ↑ ↓ Menos estável	1	Taludes de inclinação suave, pouco sujeitos a deslizamentos, fluência e assentamentos	Sim	Sim	Sim
	2	Taludes de inclinação moderada em antigas zonas estabilizadas, sujeitos a assentamentos a fluência e a deslizamentos pouco profundos	Sim	Sim	Sim
	3	Taludes muito inclinados, sujeitos a fenômenos de erosão, com fluência, abatimentos e quedas de blocos	Sim	Sim	Sim
	4	Taludes de inclinação suave a elevada, em terreno instável, sujeito a deslizamentos, abatimentos e fluências	Não	Não	Não
	5	Deslizamentos pouco profundos (<3 m)	Não	Não	Não
	6	Deslizamentos profundos, sujeitos a rápidas roturas	Não	Não	Não

Fig. 27 - Exemplo de mapa de susceptibilidade ao deslizamento que oferecem as encostas de uma região montanhosa da Califórnia (segundo Murck et al., 1996).

Novas aplicações destes conhecimentos são incorporadas nos modelos de gestão de catástrofes naturais (Aswathanarayaana, 1995), fazendo intervir os aspectos incluídos no fluxograma da Fig. 28.

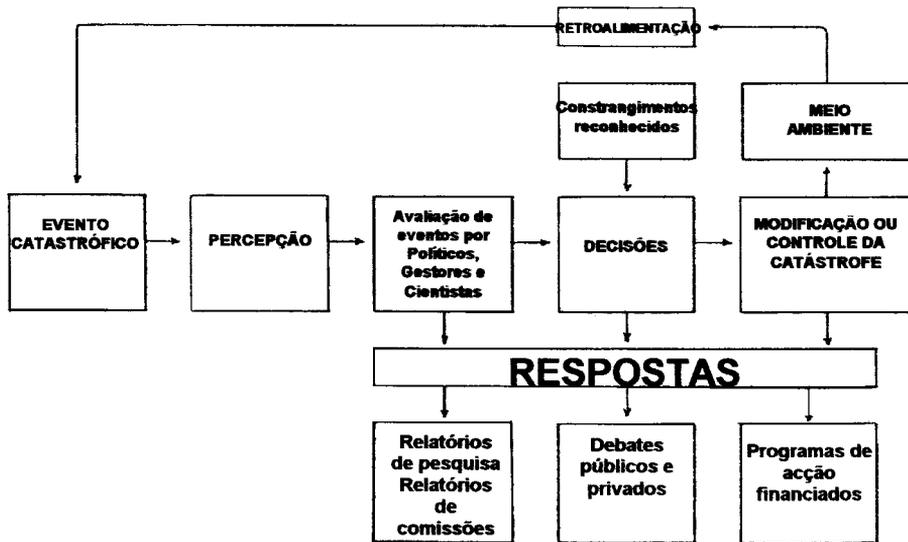


Fig. 28 - Modelo de gestão de catástrofes naturais (devido a Kaspersen, citado por Aswathanarayana, 1997).

É importante destacar o papel cada vez mais relevante da Geotecnia na produção destes instrumentos de planeamento territorial, uma vez que dispõe de métodos probabilísticos adequados à análise de muitas variáveis e parâmetros envolvidos nesses fenómenos.

Entretanto, no âmbito da Geotecnia Ambiental, com a incorporação de constrangimentos ligados aos factores ecológicos e humanos, muito há assim a esperar no aperfeiçoamento e na melhoria da precisão dos modelos de comportamento das catástrofes naturais.

6 - PERSPECTIVAS FUTURAS E CONCLUSÕES

Na sequência dos últimos capítulos deste trabalho, resta sintetizar algumas ideias básicas dos temas apresentados, todos eles com uma ou mais perspectivas de aplicação futura.

Por razões de proximidade da mudança de século, é usual lerem-se contribuições de diversos grupos para a estimativa de condições que marcarão a vida no século XXI. Uma dessas contribuições, devida a Meadows, citado por Hamblin e Christiansen (1995) é apresentada na Fig. 29, oferecendo curvas de previsão das evoluções de diversos parâmetros indicadores da qualidade de vida a nível mundial.

Para além do carácter pessimista de algumas destas previsões, interessando naturalmente aquelas mais ligadas ao tema (como sejam a evolução da disponibilidade de recursos naturais e a conservação dos solos), muito dependerá da atitude do Homem futuro perante o Ambiente e face à herança que terá recebido do passado.

O principal motivo de preocupações recai sobre o crescimento populacional descontrolado e suas consequências. Segundo o relatório sobre o Desenvolvimento e o Ambiente, elaborado

em 1992 pelo Banco Mundial (citado por Aswathanarayana, 1995), até 2030 a população da Terra aumentará em 3,7 biliões de habitantes, de modo que a procura de alimentos será o dobro da actual, assim como o consumo de energia e a produção industrial, com estes últimos crescendo 6 vezes, só para os países em desenvolvimento. É nestes países que ocorrerá 90% do referido aumento de população, assim distribuídos: a África ao Sul do Sahara subirá de 500 para 1.500 milhões, a da Ásia de 3,1 para 5,1 biliões e a da América Latina de 450 para 750 milhões.

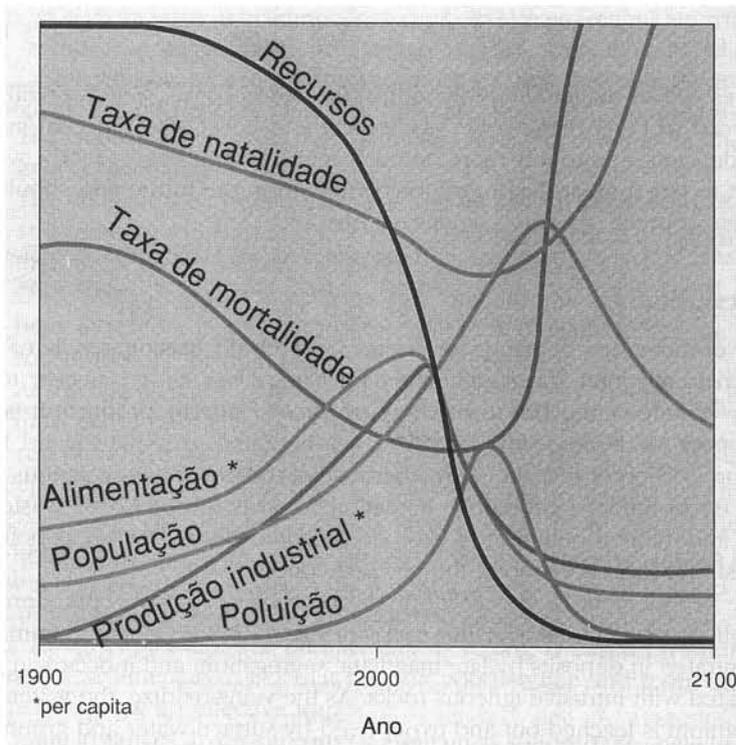


Fig. 29 - Previsão de curvas de variação, para o século XXI, dos factores da qualidade de vida (segundo Meadows)

O citado relatório assinala que “os pobres são, simultaneamente, vítimas e agentes da degradação ambiental”, sendo essencial combater a pobreza, a nível mundial, para evitar colapsos à escala global. Duas prioridades são apontadas:

- Aproveitar as vantagens positivas das ligações entre a eficiência económica, o crescimento do poder aquisitivo das populações, e a protecção ambiental;
- Quebrar as ligações negativas entre a actividade económica e o Ambiente.

As recomendações operacionais daquela instituição, são:

- Implementação de políticas que não tenham custos para os governos e que contribuam para a protecção ambiental, tais como a eliminação de subsídios sobre os combustíveis e a energia, pesticidas, adubos e água de irrigação, assim como evitar ajudas à exploração de madeiras e à criação de novas áreas agrícolas, e fazendo incidir impostos sobre o congestionamento urbano.

- Aplicação de investimentos públicos e privados favoráveis ao desenvolvimento sustentável, como sejam novos abastecimentos de água e aumento da sanidade pública, na conservação dos solos e na educação das mulheres.
- Criação de impostos adicionais sobre resíduos e emissões, principalmente na deposição de resíduos perigosos e na exploração de madeiras.

O relatório conclui que tais providências implicam investimentos e custos que são modestos quando comparados com as melhorias provenientes da eficiência económica, do desenvolvimento humano e dos benefícios ambientais resultantes.

Fica a interrogação: em matéria de degradação ambiental, entre as duas escolhas possíveis (evitá-la ou adaptar-se a ela), haverá tempo para proceder às necessárias correcções de comportamentos, ou tudo continuará a evoluir negativamente até ao colapso?

Saibamos, no presente, ser dignos da admiração e da indulgência das gerações vindouras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aswathanarayana, U. *Geoenvironment - An Introduction*. A. Balkema, Rotterdam, 1997.
- Attewell, P. B. *Waste and Waste Management: Some Geotechnical Considerations* (XII Lição Manuel Rocha). Revista Geotecnia, nº 75, Nov. 95, pp.7-37, 1995.
- Coates, D. F. *Rock Mechanics Principles (3rd ed.)*. CANMET Monograph 874, Ottawa, 1981.
- Colinvaux, P. *Ecology*. John Wiley and Sons, New York, 1986.
- Gama, C. D. *A Relação Benefício Custo como Critério de Projecto em Engenharia Geotécnica*. Revista Geotecnia, nº 58, Março de 1990, Lisboa, 1990.
- Gama, C. D. *Geotecnia Ambiental - Interações da Mecânica dos Solos e das Rochas com a Engenharia do Ambiente*. Palestra Especial do X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Foz do Iguaçu. Volume Pós Congresso, pp.143-175. (Também publicado na Revista INGEOPRES, Madrid, Novembro de 1995), 1994.
- Gama, C. D. e Dutra, J. I. G. *Void Migration Method of Analysis for Ground Subsidence*. Proc. 7th Int. Cong. Engineering Geology, Lisboa, pp.1871-1877, A. Balkema, Rotterdam 1994.
- Gama, C. D. *A Reengenharia das Explorações Mineiras face aos Constrangimentos Ambientais*. Simpósio Luso-Brasileiro de Geotecnia Ambiental, Lisboa, IST/SPG, 1995 a.
- Gama, C. D. *Reprojecto de dois Taludes com Abordagem Probabilística da Estabilidade*. 5º Congresso Nacional de Geotecnia, Coimbra, SPG, Vol.1, pp.85-95, 1995b.
- Gama, C. D. e Arrais, C. M. *Recuperação Ambiental e Paisagística da Escombreira da Serrinha, Anexa à Mina de Carvão de Germunde*. Boletim de Minas, Vol.33, nº1, pp.21-36, 1996.
- Gama, C. D. *Correlation between Rock Mass Classes, Convergence Rates and Support Densities for Underground Coal Mine Excavations*. Proc. EUROCK'96, Torino, Vol. 2, pp.825-830. A. Balkema, Rotterdam, 1996.
- Gama, C. D. e Bastos, M. N. *Análise 3-D da Migração de Contaminantes no Armazenamento Subterrâneo de Resíduos Piríticos*. 6º Congresso Nacional de Geotecnia, SPG/IST, Lisboa, Vol.1, pp.43-51, 1997.
- Gama, C. D. *Implementação de Medidas Preventivas e Aplicação de Tecnologias Limpas na Indústria Extractiva*. Simpósio Europeu sobre Legislação Ambiental na Indústria Extractiva, IGM, Lisboa, 1998a.
- Gama, C. D. *Landscape Ecology and Geotechnics*. Proceedings 3rd Int. Cong. Environmental Geotechnics, Lisboa, Vol. 2, pp. 855-860, A. Balkema, Rotterdam, 1998b.
- Gama, C. D. *Gestão de Escombreiras no PROZOM - Abordagem Metodológica*. Revista "A Pedra", nº 68, Abr./Jun., pp.37/54, 1998c.

- Gama, C. D. *Quantification of Rock Damage for Tunnel Excavation by Blasting*. Proc. World Tunnel Congress'98. São Paulo, Vol.1, pp.451-456. A. Balkema, Rotterdam, 1998d.
- Gama, C. D. e Bernardo, P. *Contribuição para o Estudo de Alternativas de Desmonte Subterrâneo de Mármore - Caso do Anticlinal Estremoz-Borba-Vila Viçosa*. Registo do XIII Encontro Nacional de Engenheiros de Minas, Ordem dos Engenheiros, Funchal, pp.149-169, 1998.
- Gama, C.D. *Abordagens Inovadoras para os Problemas Ambientais da Indústria Mineira*. Ingenium, Revista da Ordem dos Engenheiros, nº38, Jun.99, pp.76-79, 1999.
- Hamblin, W. K. e Christiansen, E. H. *Earth's Dynamic Systems (7th ed.)*. Prentice-Hall, New Jersey, 1995.
- Krause, A. J. *Use of Mines as Landfills and Repositories*. Chap. 14 in "Mining Environmental Handbook", edited by J.J. Marcus, Imperial College Press, London, 1997.
- Langer, M. *A Comparison of Protection Aims and Safety Criteria for Radioactive and Toxic Chemical Wastes*. Proceedings of Geoconfine'93, pp.431-436. A. Balkema, Rotterdam, 1993.
- Law, D. L. *Mined Land Rehabilitation*. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1984.
- Lundgren, L. *Environmental Geology*. Prentice-Hall, New Jersey, 1986.
- Manassero, M.; Parker, R.; Pasqualini, E.; Szabo, I.; Almeida, M. S.; Bouazza, A.; Daniel, D. E. e Rowe, R. K. *Controlled Landfill Design (Geotechnical Aspects)*. Proceedings 3rd Int. Cong. Environmental Geotechnics, Lisboa. Vol. 3, pp.1001-1038, A. Balkema, Rotterdam, 1998.
- Mendonça, A. A. e Cardoso, A. S. *Contribuição da Vegetação para a Estabilidade de Taludes, Partes I e II*. Geotecnia, nº 82 (Março 98) e nº 83 (Julho 98). Lisboa, 1998.
- Morgan, R. P. C. *Soil Erosion and Conservation, Longman Scientific and Technical*. Essex, 1986.
- Murck, B. W.; Skinner, B. J. e Porter, S. C. *Environmental Geology*. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1996.
- Naveh, Z. e Lieberman, A. *Landscape Ecology - Theory and Application*. Springer-Verlag, Berlin, 1993.
- Selby, M. J. *Hillslope Materials and Processes*. Oxford University Press, Oxford, 1982.
- Sharma, H. D. e Lewis, S. P. *Waste Containment Systems, Waste Stabilization and Landfills*. John Wiley and Sons, New York, 1994.
- Stephansson, O. *Rock Mechanics for Siting Radioactive Waste Repositories in Hard Rock*. Rock Mechanics for Industry, pp.23-26. A. Balkema, Rotterdam, 1999.

XVI LIÇÃO MANUEL ROCHA

VOTO DE AGRADECIMENTO

Exmos. Senhores membros da Mesa, Senhora Dona Maria Teresa Rocha, Filha e Genro, Querido Conferencista, ilustres convidados, colegas e amigos.

É com muito gosto que aqui estou neste momento e foi muito, honroso o convite que me endereçaram para fazer os comentários finais à conferência.

Acabamos de assistir a uma excelente Lição Manuel Rocha.

O nosso conferencista de hoje optou, como ele mesmo referiu, por dissertar sobre uma das áreas de especialização da GEOTECNIA, apresentando-a, definindo-a e comentando o seu conteúdo, em vez de tratar um tema mais restrito em maior profundidade.

Foi uma boa opção, por um conjunto de razões que me permito sublinhar.

A descoberta do Ambiente como tema político, por um lado, e estratégico, por outro, levou a que toda a comunidade científica procurasse para a sua disciplina posições se nem sempre hegemónicas, pelo menos confortáveis na solução dos problemas crescentes resultantes do desenvolvimento económico e, em muitos casos do crescimento ou da concentração populacional em zonas urbanas ou de risco.

Portugal partiu um pouco atrasado para essa corrida por não ser, nos finais da década de 60, dos países economicamente mais desenvolvidos e por não ter que lidar nem com o delicado problema dos resíduos radioactivos e outros de elevada toxicidade, nem com situações de grande poluição do terreno.

Começamos então a ver por esse mundo uma crescente preocupação pelo Ambiente e, em consequência, uma proliferação de designações da disciplinas ou áreas do saber, algumas completamente desprovidas de sentido e sem contornos definidos como Geologia do Ambiente, Ecogeologia e até Geocatastrofologia.

Assiste-se por isso à tentativa de consolidação de algumas dessas novas disciplinas, com base científicas diversas, procurando definir conteúdo e metodologias próprias, conteúdo esse já há muito existente, mas disperso e mal sistematizado.

Assim aconteceu com a Geotecnia Ambiental, reconhecida, como o nosso conferencista bem referiu, desde o início desta década.

O tema foi bem acarinhado pela comunidade geotécnica internacional e, como sempre acontece, graças à persistência e aos esforços de alguns, vemos a Geotecnia Ambiental a implantar-se e a impor-se através de várias realizações internacionais, com destaque para os 3 Congressos Internacionais de Geotecnia Ambiental organizados no Canadá em 1992, no Japão em 1994/96 e em Portugal em 1998. O próximo será no Brasil no ano 2002.

Mas a Geotecnia Ambiental, tal como internacionalmente entendida e aceite, tem um âmbito bem mais restrito do que aquele que o nosso conferencista de hoje entendeu dar à sua Lição, cobrindo essencialmente os temas do armazenamento de resíduos sólidos e líquidos, das barragens de rejeitos, da poluição de terrenos e de aquíferos, da gestão e recuperação de minas e pedreiras abandonadas e da reutilização de subprodutos.

O Prof. Diniz da Gama, contudo, preferiu tratar de, um número bem mais alargado de questões geoambientais da maior importância para a humanidade, decisão que, quanto a mim,

muito honra a memória de Manuel Rocha que teria, com certeza, dado impulsos decisivos ao, seu desenvolvimento, atendendo ao desejo permanente de abraçar novas causas científicas, sobretudo as impregnadas por um espírito social e de justiça.

Feitos estes comentários, e refreados outros, em resultado da forma estimulante como o tema foi apresentado, a mim compete-me com muito gosto fazer um juízo de valor sobre o interesse da Lição e sobre a qualidade da sua apresentação.

Como já referi, tratou-se de uma lição de elevada qualidade pela clareza da exposição, pelo nível do apoio gráfico animado e pelo ritmo da apresentação, características exigidas a um professor e por todos reconhecida no nosso Conferencista, o Professor Carlos Diniz da Gama, que mais uma vez demonstrou hoje uma profunda formação científica e técnica.

O facto de a minha tarefa se limitar aos comentários finais sobre a Lição, não me impede de testemunhar também as qualidades pessoais do Prof. Diniz da Gama, o dinamismo e o empenho que empresta a todas as facetas da sua vida profissional e, acima de tudo, de manifestar publicamente a amizade que fomos cimentando ao longo de várias décadas de convívio.

A terminar desejo felicitar o Prof. Diniz da Gama pela sua Lição Manuel Rocha e peço à audiência que a mim se junte, agradecendo-lhe da forma habitual.

Ricardo Oliveira

