

Cartografia geológica

Uma mais-valia para o desenvolvimento do território

José Manuel Correia Romão^a & Teresa Arriaga e Cunha^b

Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Estrada da Portela, Bairro do Zambujal – Alfragide, Apartado 7586, 2720-866 Amadora.

a - manuel.romao@lneg.pt; b - teresa.cunha@lneg.pt

Resumo

A cartografia geológica é uma infraestrutura básica e precisa, que sintetiza todo o conhecimento geológico de uma região. Utiliza o método cartográfico de forma intensiva e é, hoje em dia, indispensável a sua interação com novas tecnologias, nomeadamente imagens de satélite (ópticas e radar) e Sistemas de Informação Geográfica.

Constitui um instrumento durável e indispensável para o desenvolvimento sustentável, sob o ponto de vista económico, ambiental e social de um País, pois permite apoiar políticas de gestão de recursos (água, minerais, rochas industriais, entre outros), de ambiente e ordenamento do território, de prevenção de riscos associados a catástrofes naturais (erupções vulcânicas, sismos, escorregamentos, etc.), bem como políticas energéticas. A autoridade nacional que detém a missão de produzir cartografia geológica, com funções de “Geological Survey”, é actualmente o Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).

Em vários países do mundo, em particular no Reino Unido, Estados Unidos da América e Espanha, foram elaboradas análises quantitativas e qualitativas de avaliação da rendibilidade económica e social de programas de cartografia geológica, de carácter geral e sectorial. Todos os estudos apontam para uma relação benefícios/custos relativamente elevada, que se torna ainda mais acentuada à medida que o tempo decorre.

As cartas geológicas do futuro constituem bancos de dados georreferenciados, interoperáveis e normalizados, acessíveis através da *internet* e que devem estar em permanente actualização. Estas características estão materializadas numa carta geológica mundial elaborada pelos serviços geológicos de diversos países do mundo, no âmbito do projecto *OneGeology*.

A representação espacial 3D é uma mais-valia a acrescentar à carta geológica clássica, e é cada vez mais necessária para se conhecer o espaço subterrâneo, de forma a que a sua gestão seja optimizada, quer na exploração mineral e de hidrocarbonetos, quer na resolução de problemas ambientais.

Conclui-se que todas as actividades geocientíficas suportadas por cartografia geológica colocam à disposição dos responsáveis, soluções que permitem o desenvolvimento socioeconómico do País em equilíbrio com as características do seu território.

Palavras chave: Cartografia geológica; projecto *OneGeology*; rendibilidade; cartas geológicas do futuro.

Abstract

Geological mapping is a basic and exact infrastructure, which summarizes all the geological knowledge of a region. It uses intensively the mapping method for the graphical representation of the geoscientific knowledge, and it is essential, nowadays, a strong interaction with new technologies, such as Remote Sensing (optical and radar) and Geographic Information Systems.

It is a durable and crucial tool for sustainable development, from an economic, environmental and social point of view, as it supports energy policies and resource management (water, minerals, industrial rocks, etc.), environment and land use planning policies, mitigation of risk associated with natural disasters (volcanic eruptions, earthquakes, landslides, etc.). The national authority that produces systematic geological mapping, with a Geological Survey mission, is the National Laboratory for Energy and Geology (LNEG).

Several countries particularly the United Kingdom, United States of America and Spain, carried out quantitative and qualitative analysis to assess the economic and social profitability of geological mapping programs, at global or regional scales. All studies clearly showed a relatively high benefit/cost rate, which increases with time.

Geological maps of the future will be geo-referenced databases, interoperable and standardized, accessible over the Internet, and updatable in real time. OneGeology project is an international initiative of the geological surveys, which aims to create a geological map of the world with these features.

The 3D spatial representation of geological data is increasingly necessary to the knowledge of the underground space, and its efficient management both in mining, for minerals and hydrocarbons, and in solving environmental problems.

It is concluded that all geoscientific activities supported by geological mapping provide responsible solutions that enable the socio-economic development of a country in balance with the characteristics of its territory.

Key-words: *Geological mapping; OneGeology project; profitability; geological maps of the future.*

I. Introdução

A cartografia geológica de um país representa a máxima expressão do conhecimento geológico do território que o constitui. Corresponde a uma infraestrutura básica e fundamental para a descrição das características geológicas de espaços territoriais e é um elemento chave na planificação, gestão e controle de todas as actividades humanas que requerem o uso do território (Romão, 2005). Daí a existência, em quase todos os países do mundo, de organismos maioritariamente dependentes do Estado, que assumem a elaboração de cartas geológicas, designados na sua grande maioria por Serviços Geológicos (*Geological Survey*, nos países de língua inglesa).

A carta geológica consiste num documento científico e técnico onde se representa graficamente de forma sintética, sobre um fundo topográfico adequado, informação relativa aos materiais rochosos que afloram na superfície da crosta terrestre e aos fenómenos que os afectaram no passado, alguns dos quais ainda persistem na actualidade. Contém abundante informação relativa à natureza e distribuição espacial das diferentes rochas, quer à superfície quer em profundidade, à sua posição, atitude, idade relativa ou absoluta e a movimentos tectónicos ocorridos no decurso do tempo geológico, bem como à ocorrência de substâncias minerais e localização de jazidas fossilíferas, nascentes de água naturais, poços, pedreiras, entre outros. Nas cartas geológicas incluem-se, na generalidade, colunas estratigráficas representativas, cortes geológicos sintéticos e legenda com simbologia adequada e, actualmente, esquemas de enquadramento geológico. Toda esta geoinformação é traduzida por um conjunto vasto de cores e símbolos, que se destina a facilitar a sua leitura e interpretação.

Além da carta geológica de base, elaborada com fins técnicos, científicos e didácticos, bem como de utilização geral, podem ser preparadas, a partir desta, outras cartas que incluem informação especializada de carácter geológico, relacionadas com o uso ou benefício dos recursos geológicos do subsolo ou com a actividade humana sobre o meio físico. Constituem as cartas geológicas derivadas, elaboradas com a finalidade de

tratar especificamente determinado assunto, também designadas, pela comunidade científica, cartas geológicas temáticas. As mais comuns correspondem às cartas hidrogeológicas, litológicas, mineiras, tectónicas, geoquímicas, geofísicas, geotécnicas, geomorfológicas, de riscos geológicos, entre outras.

Numa concepção mais tradicional, a carta geológica era apresentada em suporte de papel, acompanhada da respectiva notícia explicativa. Tendo em conta as novas tecnologias digitais, as cartas mais modernas evoluíram para um conjunto de bases de dados gráficos e alfanuméricos, georreferenciados e manipulados num Sistema de Informação Geográfica (SIG). Actualmente, as cartas geológicas apresentam-se como um conjunto de dados de diferentes áreas científicas, organizados em diferentes níveis de informação, o que permite recorrer a técnicas cada vez mais sofisticadas de modelização e, até, representar o espaço subterrâneo tridimensional em modelos computacionais em três dimensões (3D). A carta geológica do futuro será um modelo tridimensional da geologia de superfície e de subsuperfície, manipulado interactivamente em computador, e do qual se poderá extrair, em tempo real, informação temática detalhada, também em 3D, capaz de facultar, de forma muito mais eficaz, respostas para a resolução de problemas que actualmente preocupam a sociedade, em particular questões relacionadas com a gestão e exploração dos recursos geológicos e energéticos não renováveis, a mitigação das catástrofes naturais, a contaminação de sistemas aquíferos, o armazenamento subterrâneo de resíduos perigosos, gases com efeito de estufa, lixo nucleares, entre outras.

Este trabalho centra-se na importância da cartografia geológica como instrumento de expressão do conhecimento das Ciências da Terra para o planeamento e desenvolvimento sustentado do território. Aborda-se a metodologia cartográfica em interacção com as novas tecnologias de imagem de satélite e dos Sistemas de Informação Geográfica, efectua-se descrição histórica sumária da cartografia geológica no nosso País e apresenta-se o projecto internacional *OneGeology*. São ainda focados o papel e a rentabilidade económica e social da cartografia geológica,

considerando que esta é uma ferramenta nuclear, fundamental para a gestão dos sistemas que suportam a vida no futuro.

2. Metodologia cartográfica e novas técnicas sofisticadas

As Ciências da Terra utilizam, de forma intensiva, o método cartográfico (Robinson *et al.*, 1995) para a representação do conhecimento geológico, em particular o de natureza espacial. Tradicionalmente, o método cartográfico em Geologia era integralmente desenvolvido pelo geólogo de campo no espaço territorial, com a recolha e análise *in loco* de dados geológicos e sua representação sobre uma carta topográfica de referência, expressando a extensão e a variação dos litótipos e das suas propriedades, bem como das transformações sofridas por estes ao longo do tempo geológico.

Contudo, o grau de exposição dos afloramentos, às vezes inacessíveis, e o método científico em geologia, impõem alguns limites a este método cartográfico. Baseando-se na análise e na interpretação de afloramentos críticos, e tendo em conta a complexidade das relações entre as diferentes unidades geológicas, o geólogo de campo, durante o processo de aquisição de dados, formula várias hipóteses de trabalho, as quais expressa na carta geológica. Esta apresenta, assim, um carácter dinâmico, em que há interpenetração entre a componente puramente descritiva e a interpretativa (Ribeiro, 1984). De facto, a carta geológica corresponde a um objecto que expressa relações espaciais e temporais entre diversas unidades geológicas, sendo a via fundamental de interligação e comunicação dos seus utilizadores com o espaço territorial.

A elaboração de uma carta geológica de base, tem o seu início no gabinete, com recolha de informação geológica pré-existente, análise de imagens de satélite e de fotografia aérea e pesquisa bibliográfica. Segue-se a fase dos levantamentos geológicos no campo. Procedem-se, posteriormente à definição de unidades litológicas distintas e efectua-se a sua separação das unidades adjacentes, sendo estas representadas espacialmente no mapa. Estas unidades constituem corpos geológicos limitados por superfícies de referência que são designadas por contactos (Fig. 1).

As relações possíveis entre estes contactos são interpretadas de acordo com princípios básicos da Geologia, nomeadamente o Princípio do Uniformitarismo de James Hutton (1726-1797) que postula que o presente é a chave da interpretação do passado e o Princípio da Sobreposição de Nicholas Steno (1638-1686), que afirma que as rochas sedimentares se formaram originalmente na posição horizontal e que qualquer desvio desta posição deve ser interpretado como resultado de fenómenos posteriores à sua formação.

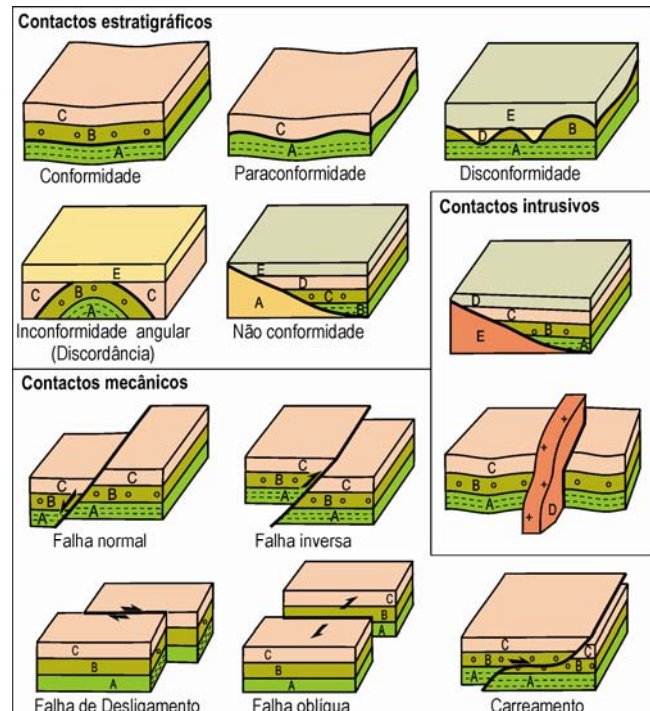


Figura 1 – Relações geométricas entre unidades geológicas.

Assim, o conhecimento preciso da posição original das superfícies de referência permitirá compreender a sua evolução desde o estado original até ao estado actual. No caso da cartografia de rochas sedimentares estratificadas, tem-se o máximo de informação possível, uma vez que a posição original é conhecida, ou seja, as camadas definem estruturas que são aproximadamente planares, paralelas e horizontais, aquando da sua deposição. As acções de geodinâmica interna produzem modificações e os agentes de geodinâmica externa modelam-nas, constituindo o estado actual o ponto de partida para as reconstituições relativas ao seu passado.

A aquisição sistemática de dados geológicos no campo é insubstituível e fundamental no processo de elaboração de uma carta geológica. Contudo, o tempo despendido é longo, e como tal, esta actividade apresenta custos elevados. Na tentativa de otimizar o rendimento da cartografia, surge a necessidade de utilizar, com eficácia, técnicas sofisticadas, com recurso a imagens de satélite (ópticas e radar), radiometria espectral, geofísica aerotransportada e sistemas de informação geográfica. Estas técnicas, possibilitam um melhoramento significativo dos produtos cartográficos finais e permitem reduzir a necessidade de trabalho de rotina no campo, disponibilizando-se tempo para a resolução de problemas chave, investigação científica e para o levantamento de áreas de cartografia mais complexa.

As novas técnicas utilizam programas computacionais específicos, permitindo abordagens do território no próprio gabinete. É possível observar com detalhe e

precisão imagens de satélite de alta resolução e grande variedade espectral, modelos digitais de terreno a 3D e até, em casos especiais, obter informações sobre a estrutura do subsolo a partir de imagens de radar com resolução espacial muito fina. Assim, a diferenciação de unidades litológicas e representação de estruturas geológicas podem ser traçadas nas cartas, considerando estas novas técnicas. Contudo, todas as informações e dados adquiridos no gabinete de forma indirecta deverão ser confirmados por observação directa no campo, através da realização de levantamentos geológicos no próprio terreno.

3. Cartografia geológica em Portugal

A cartografia como actividade, contendo a ideia do traçado de mapas, surge na Pré-Histórica, muito antes da invenção da escrita. Como vocábulo, foi criado pelo historiador português Visconde de Santarém em carta de 8 de Dezembro de 1839, escrita em Paris e endereçada ao historiador brasileiro Adolfo de Varnhagem (Oliveira, 1988). Desde esta data, o termo cartografia foi adoptado internacionalmente.

Portugal foi um dos primeiros países do mundo a produzir cartografia geológica, sendo de salientar a publicação dos esboços geológicos dos arredores de Lisboa (1841) e do Porto (1849), bem como da região do Alto Douro (1848). Esta actividade foi iniciada de forma sistemática a partir da criação da "1ª Comissão Geológica" em 1848, que constitui uma das primeiras instituições oficiais de geociências a surgir a nível mundial.

O desenvolvimento da cartografia geológica no nosso País está directamente relacionado com a evolução das instituições que administraram o conhecimento científico do território nacional. A produção de mapas geológicos, a diversas escalas, tem sido efectuada de forma quase contínua até aos nossos dias.

Com a criação, em 1857, do organismo sucessor, a Comissão Geológica do Reino, tendo como directores Carlos Ribeiro e Pereira da Costa, foi possível desenvolver um trabalho de excepcional qualidade, reconhecido internacionalmente, como é demonstrado pelo prémio conquistado na Exposição Internacional de Filadélfia, em 1876, pela primeira "Carta Geológica de Portugal", levantada na escala 1:500 000, por Carlos Ribeiro e Nery Delgado" (Rebello, 1998). Neste período áureo, publicaram-se numerosos trabalhos científicos e monografias, bem como sucessivas edições da Carta Geológica de Portugal na escala 1:500 000 (1876, 1878 e 1899), o que testemunha o rápido avanço do conhecimento geológico do território nacional. Este enorme progresso geocientífico deve-se à extraordinária actividade não só de Carlos Ribeiro e Nery Delgado, mas também de Paul Choffat, geólogo de nacionalidade suíça e professor da Escola

Politécnica Federal de Zurique, que, a partir de 1879 passou a trabalhar em Portugal ao serviço da Comissão Geológica.

Só em 1935, já depois da morte de Choffat, ocorrida em 1919, se veio a publicar a primeira Carta Geológica à escala 1:50 000 – a Folha 34C-Cascais – baseada em levantamentos geológicos à escala 1:20 000 da autoria de P. Choffat (Rebello, 1998).

Nos anos 50, já com a designação de Serviços Geológicos de Portugal, e sob o impulso de Carlos Teixeira, há uma reactivação da produção de cartografia geológica de base do território nacional através da implementação de um programa de cartografia geológica sistemática com a finalidade de elaborar a Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000. Este projecto proporcionou a publicação de numerosas cartas geológicas, incluindo as dos arquipélagos dos Açores e Madeira, bem como um crescimento substancial de informação e publicações de índole geológica. Este progresso notável foi sintetizado no documento que constituiu a 4ª Edição da Carta Geológica de Portugal na escala 1:500 000 (1972), coordenada por Carlos Teixeira, exprimindo-se pela representação das unidades eruptivas, revisão das formações plio-quadernárias, introdução de acidentes tectónicos e pela minúcia da escala estratigráfica (Rebello, 1998).

A partir de 1975 assiste-se a um novo impulso no desenvolvimento e produção da Cartografia Geológica do país na escala 1:50 000, com a formação de novas equipas de geocientistas e a adopção de novos modelos de cartas geológicas. As novas cartas passaram a incluir mais informação, com introdução de colunas estratigráficas, cortes geológicos e elementos estruturais. Este formato inovador veio facilitar a leitura e interpretação da informação geológica contida nas cartas.

Na década de 80, iniciou-se a publicação da Carta Geológica de Portugal na escala 1:200 000 com a edição das folhas n.ºs 7 e 8, no sul de Portugal (Alentejo e Algarve), e a folha n.º 1 (Entre Douro e Minho). Foi ainda implementado um programa sistemático de cartografia temática para o País, iniciado com a impressão das Cartas Hidrogeológicas da Orla Algarvia na escala 1:100 000, e posteriormente com a publicação das folhas n.ºs 7 e 8 à escala 1:200 000.

A 5ª Edição da Carta Geológica de Portugal na escala 1:500 000 (1992) surge posteriormente, em consequência do aumento significativo do conhecimento da geologia do território nacional, que resultou da publicação das folhas de escala 1:50 000 e dos novos dados relativos à geologia da plataforma continental. Os principais elementos inovadores que integraram esta carta consistiram na representação, pela primeira vez, de unidades geológicas na área imersa e na diferenciação de unidades na área emersa tendo em conta o zonamentotectono-estratigráfico do Maciço Ibérico, para além da exposição do mapa de neotectónica.

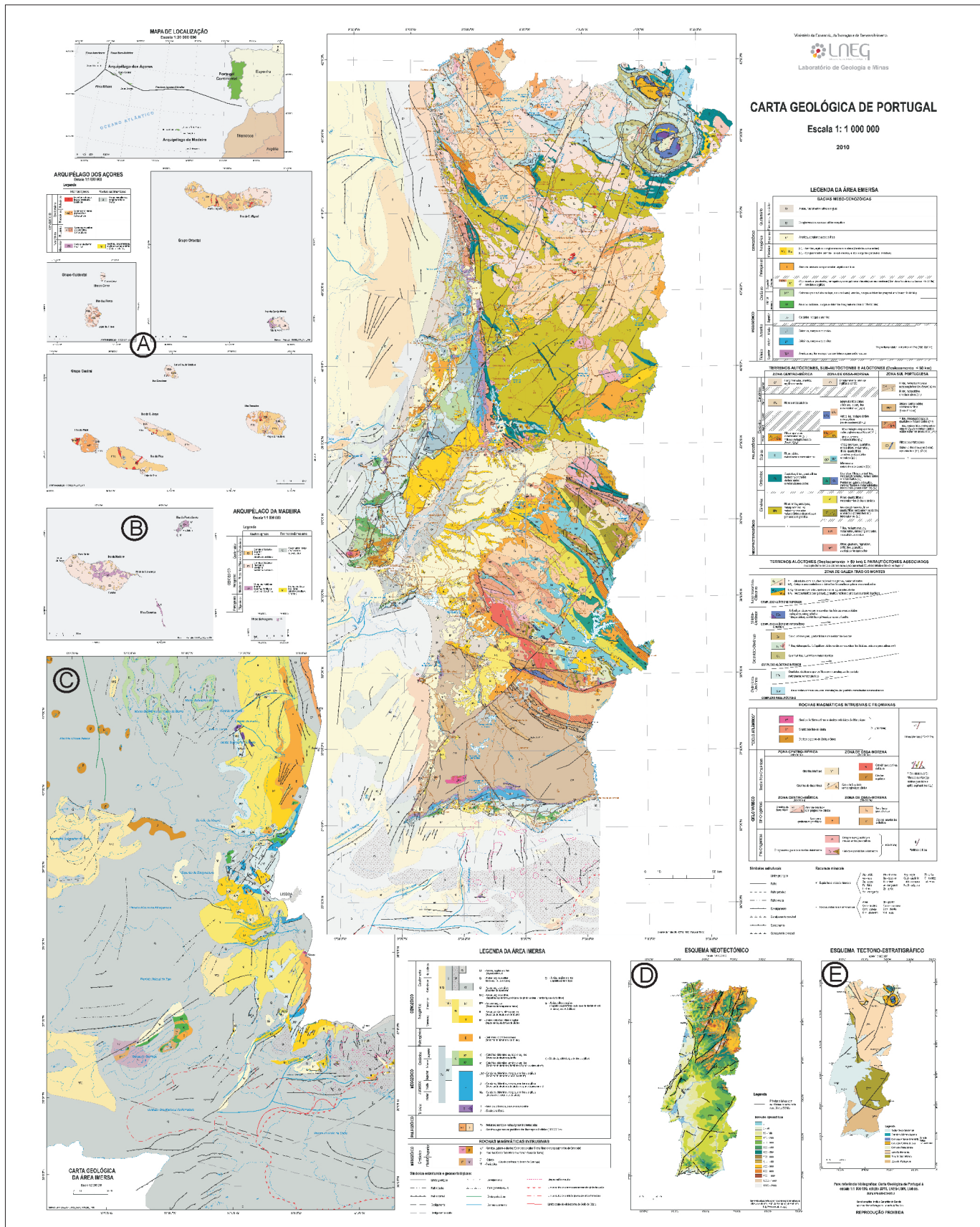


Figura 2 – Carta Geológica de Portugal na escala 1:1 000 000 (LNEG, 2010) e outras cartas de síntese (reduzida X0,26). A e B, Cartas Geológicas dos arquipélagos dos Açores e da Madeira na escala 1:1 000 000; C, Carta Geológica da Área Imersa na escala 1:2 000 000; D, Esquema Neotectónico de Portugal Continental na escala 1:4 000 000; E, Esquema Tectono-Estratigráfico de Portugal Continental, na escala 1:5 000 000.

Nos últimos anos, as actividades nucleares dos programas de cartografia geológica nas escalas 1:50 000 e 1:200 000, têm sofrido constrangimentos de natureza financeira e na renovação dos quadros de pessoal, o que reduziu significativamente o número de cartas geológicas publicadas nestas escalas.

Em 1995, a introdução de técnicas digitais na elaboração das cartas geológicas com recurso a programas informáticos de CAD – Computer Assisted Design (*Microstation* ©Bentley) e de Sistemas de Informação Geográfica (SIG-MGE ©Intergraph) permitiu diminuir fortemente o tempo e o preço de edição da cartografia geológica, possibilitando igualmente a produção de um novo tipo de cartas geológicas, com funções específicas, que se traduzem em cartas geológicas simplificadas e adaptadas. Neste tipo de cartografia geológica, vocacionada essencialmente para o planeamento regional e geoturismo, contam-se as cartas do Parque Natural de Sintra-Cascais (1995), do Parque Natural da Serra da Estrela (1999), do Parque Natural da Ria Formosa e região envolvente (2000), do Parque Arqueológico do Vale do Côa (2001), do Parque de Natureza de Noudar (2008) e ainda a Carta Geológica Simplificada das Ilhas da Madeira e do Porto Santo (2009). Estas cartas refletem um acentuado crescimento da procura deste tipo de documentos pela generalidade do público. Ainda a partir de 1995, passaram a ser disponibilizadas ao público em geral cartas geológicas inteiramente digitais. Esta cartografia tem sido produzida a pedido de diversas entidades, por forma a responder às suas necessidades específicas, como por exemplo as cartas geológicas de diversos concelhos do País, utilizadas na elaboração dos respectivos Planos Directores Municipais e as cartas geológicas de áreas específicas para a implantação de grandes obras de engenharia, nomeadamente barragens, TGV, novo aeroporto, entre outras.

Foi recentemente editada a Carta Geológica de Portugal na escala 1:1000000 (Fig. 2), pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG). Este novo documento foi produzido integralmente com *software* ArcGis ©ESRI publicado, igualmente, em suporte papel. Trata-se de uma actualização da anterior edição publicada pelos Serviços Geológicos de Portugal (1968), correspondendo a uma síntese do conhecimento geológico actual de todo o território nacional. Em relação à edição anterior, esta nova publicação acrescenta a geologia dos arquipélagos dos Açores (Fig. 2-A) e da Madeira (Fig. 2-B) e de uma parte da área imersa da Plataforma Continental Portuguesa, também na escala 1:1 000 000. Contém ainda um excerto da vasta área imersa, adjacente ao continente na escala 1:2 000 000 (Fig. 2-C) e duas sínteses do continente relativas à Neotectónica (Fig. 2-D) e à Tectono-Estratigrafia (Fig. 2-E) nas escalas 1:4 000 000

e 1:5 000 000, respectivamente. Esta carta síntese, de marcada vocação didáctica, oferece uma visão global da diversidade litológica e da complexidade estrutural do substrato geológico do território português constituindo apoio fundamental à definição de estratégias nacionais, sejam elas de exploração de recursos, de ordenamento do território ou mesmo de avaliação de riscos geológicos.

Dando continuidade ao programa de cartografia geológica nacional foram publicadas pelo LNEG em 2010, mais duas folhas da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000: Mirandela (7-C) e Rosmaninha (25-C), estando incluídas nesta última as folhas de Segura (25-D) e Retorta (29-A), sector norte, bem como a respectiva notícia explicativa.

Nestas novas cartas foram introduzidas diversas inovações, nomeadamente a inserção do esquema de enquadramento regional extraído da Carta Geológica de Portugal à escala 1:1.000.000 (LNEG, 2010), a integração da legenda com a coluna litostratigráfica regional e a identificação dos ambientes de sedimentação das unidades litológicas sedimentares e metamórficas de baixo grau. Evidenciando a permanente evolução tecnológica no processamento de dados cartográficos, deve referir-se que estas cartas foram as primeiras da série 1:50 000 a serem produzidas integralmente com recurso a *software* ArcGis.

Actualmente, 75% do território nacional continental encontra-se coberto por cartografia geológica publicada na escala 1:50 000 (Fig. 3A) e 50% por cartografia geológica publicada na escala 1:200 000 (Fig. 3B).

O território insular encontra-se 100% coberto por cartografia geológica nas escalas 1:25 000 ou 1:50 000 necessitando contudo de actualização, já que a maioria das cartas foi produzida há mais de 30 anos.

Das 131 cartas do continente publicadas na escala 1:50 000, 48% foram publicadas antes de 1975, 31% entre 1976 e 1995 e 21% após 1995. Em relação à área do território que não está coberta por cartografia geológica na escala 1:50 000, existem no arquivo do LNEG minutas de levantamentos geológicos realizados na escala 1:25 000, que conjuntamente com as minutas que deram origem às cartas publicadas na escala 1:50 000 totalizam uma cobertura de 90% do território continental à escala 1:25 000. Contudo, parte dos levantamentos geológicos existentes necessitam de trabalhos de actualização, com introdução de novas metodologias, pois foram elaborados há várias décadas.

Toda a cartografia geológica produzida pelo LNEG encontra-se presentemente disponível em formato digital ArcGis, podendo ser adquirida neste formato, ou em formato CAD exportado, tanto pelos limites convencionais da divisão cartográfica, como por quaisquer outros limites de áreas específicas, de acordo com as necessidades dos utilizadores.

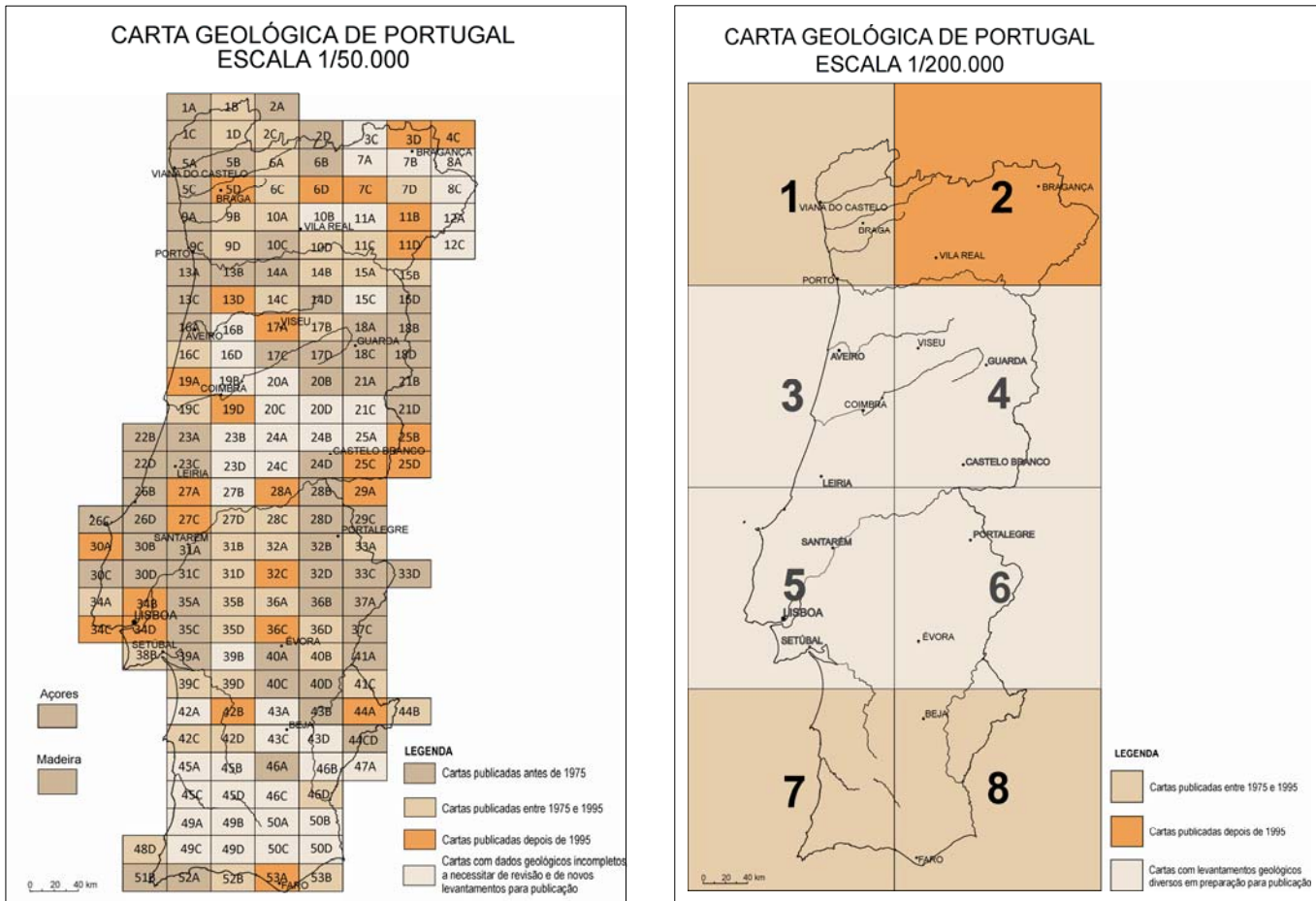


Figura 3 – Cartas geológicas de Portugal publicadas na escala 1:50 000 (A) e 1:200 000 (B). Dados fornecidos pela Unidade de Geologia e Cartografia Geológica do Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

Desde 2010, a Carta Geológica de Portugal à escala 1:500 000 (edição de 1992) (Fig. 4A) e a Carta Geológica de Portugal à escala 1:1 000 000 (edição de 2010) (Fig. 4B) encontram-se disponíveis para consulta e visualização no geoPortal do LNEG, <http://geoportal.lneg.pt/>.

Neste geoPortal, que se encontra em permanente actualização, é ainda possível consultar os metadados referentes à cartografia geológica de âmbito nacional, bem como um conjunto de bases de dados de diversos temas das geociências.

4. Cartografia Geológica à escala mundial: OneGeology

O Projecto *OneGeology* é um projecto inovador, de âmbito mundial, que foi lançado em 2007, como um contributo para o Ano Internacional do Planeta Terra (2008), tendo-se revelado um dos mais valiosos projectos que integraram este evento. Juntou Serviços Geológicos de um número significativo de países de

todo o mundo (actualmente 117), entre os quais Portugal, representado pelo LNEG, numa iniciativa comum e ambiciosa de produzir um mapa geológico do mundo em formato digital na escala 1:1 000 000, disponível ao público através da *Internet*.

Na sequência do projecto *OneGeology*, emergiu a iniciativa *OneGeology-Europe* com uma finalidade similar, mas restrito ao continente europeu. Envolveu Serviços Geológicos de 20 países europeus e 6 representantes da comunidade de utilizadores de informação geocientífica; contou com o apoio dos *EuroGeoSurveys* (organização que agrupa todos os Serviços Geológicos da Europa) e foi financiado pelo programa *eComtemplus* da Comissão Europeia.

O objectivo inicial era o de disponibilizar, através da *Internet*, cartografia geológica e outros dados geológicos à escala 1:1 000 000, de forma gratuita e sem qualquer tipo de restrições, objectivo que foi cumprido no final do ano de 2010.

O projecto *OneGeology-Europe* foi desenhado para permitir a melhoria de metodologias de gestão de dados compartilháveis em rede, fomentar a harmonização da

informação geocientífica entre os diferentes países europeus e aplicar as mais recentes normas, protocolos e especificações no que respeita à partilha de dados

espaciais, em conformidade com a Directiva INSPIRE – *IN*frastructure for *SP*atial *IN*foRmation in *EU*rope, aprovada em 2007 pelo Parlamento Europeu.

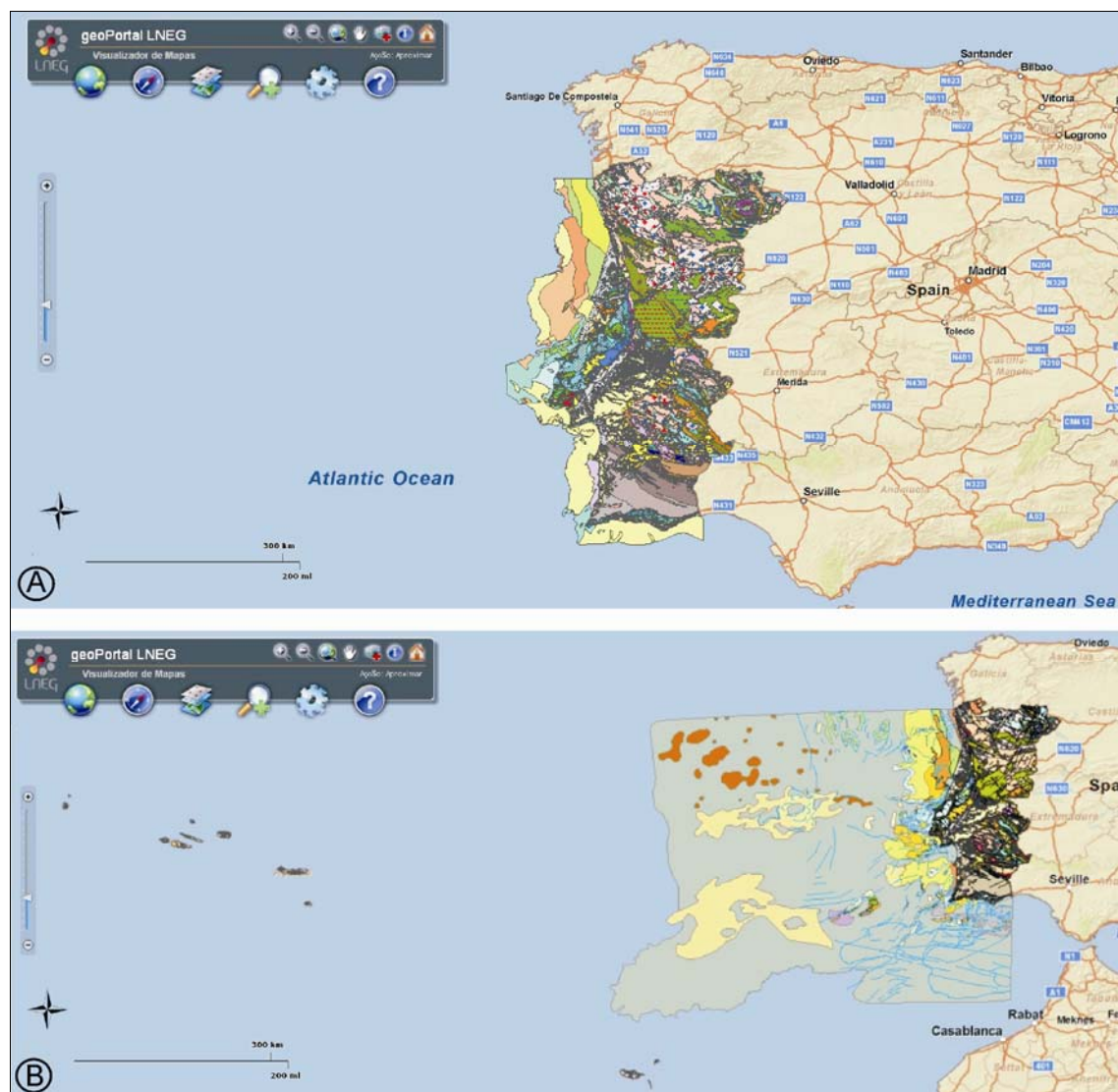


Figura 4 – Imagem do geoPortal do LNEG (<http://geoportal.lneg.pt/>): (A), Carta Geológica de Portugal na escala 1:500 000 (ed., 1992 ©LNEG); (B), Carta Geológica de Portugal na escala 1:1 000 000 (ed. 2010 ©LNEG).

Este projecto permitiu a partilha do conhecimento geológico entre os países europeus participantes e a adopção de uma linguagem comum para descrever os seus dados geológicos. Para assegurar a partilha dos dados de forma harmonizada, foram criadas especificações de dados para os tópicos litologia (Fig. 5), idade, génese e estruturas (falhas e contactos) com uma hierarquização dos termos, respectivas definições e referência à fonte da informação referida.

Esta questão não foi pacífica, dado que, de maneira geral, todos os Serviços Geológicos desenvolveram convenções próprias para descrever os seus dados. O Work Package 3 (WP3) do *Projecto OneGeology-Europe*,

liderado pelo BGR (*Federal Institute for Geosciences and Natural Resources* – Alemanha) teve por missão a definição da especificação para os dados geológicos, que pode ser consultada em <http://www.onegeology-europe.eu/files/doc/D3-1%20-%20Data%20specification.pdf>. Este dicionário de dados geológicos foi elaborado tendo em conta a escala do projecto (1:1 000 000). No entanto, foi concebido para poder ser alargado a escalas mais detalhadas, e por conseguinte adaptar-se a dados geológicos de maior resolução. A aplicação deste dicionário de dados assegura, deste modo, que as unidades geológicas sejam descritas de forma harmonizada por todos os países da Europa que participaram no projecto.

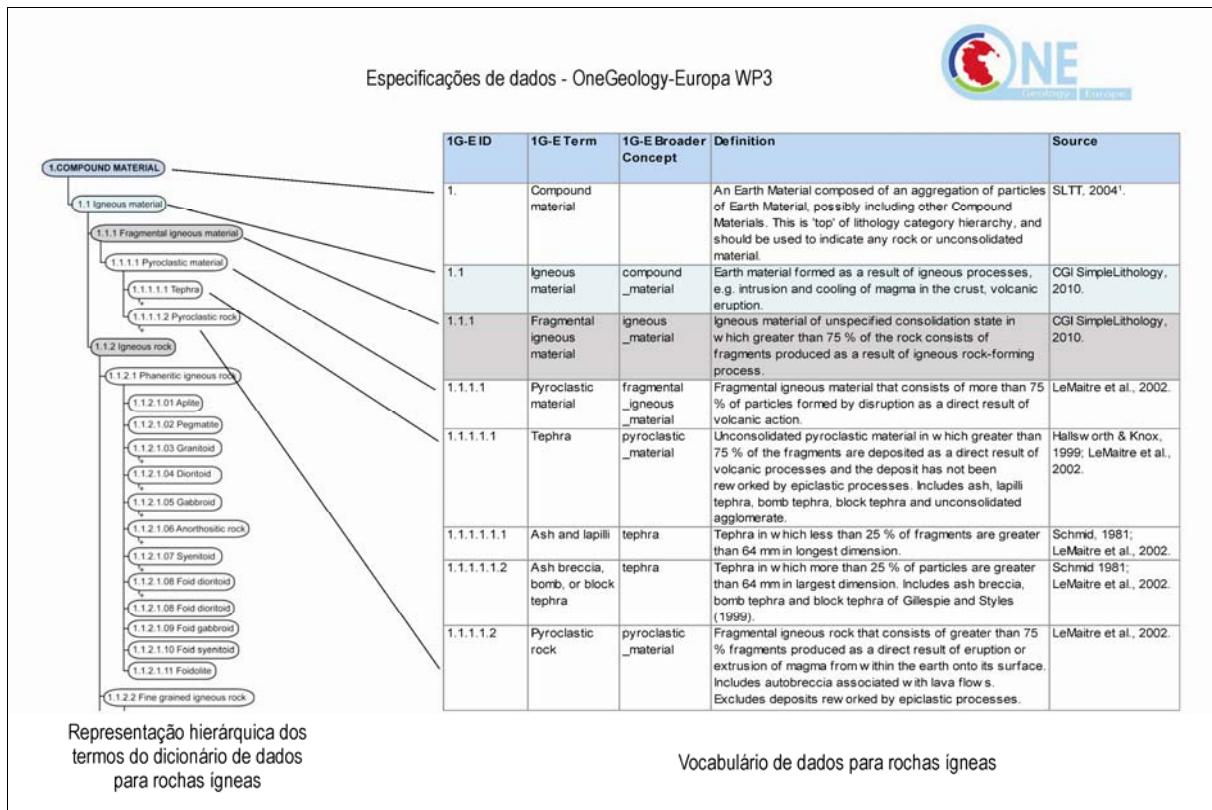


Figura 5 – Especificações de dados litológicos para o projecto OneGeology-Europe.



Figura 6 – Imagem do geoportal do projecto OneGeology-Europe.

De forma a visualizar, disponibilizar e partilhar dados geológicos espaciais na Europa, à escala 1:1 000 000, foi criado o portal OneGeology-Europe: <http://www.onegeology-europe.eu/> (Fig. 6).

Os dados ficam armazenados nos servidores das instituições geológicas de cada país participante, onde permanecem sob o seu controle e responsabilidade, podendo ser geridos e actualizados, sempre que as instituições o entenderem, e sendo de imediato as alterações reflectidas no geoportal OneGeology-Europe.

A principal vantagem deste modelo adoptado é o carácter descentralizado e dinâmico permitindo aos utilizadores acederem sempre às versões mais actualizadas da informação de cada instituição participante.

O projecto OneGeology-Europe, concluído com total êxito em Outubro de 2010, constitui o primeiro passo para a interoperabilidade dos dados geológicos de toda a Europa, que passaram a ficar disponíveis a uma comunidade europeia de utilizadores. Constituem uma base de dados fundamentais para a pesquisa de matérias-primas, gestão dos recursos naturais, preservação do ambiente e mitigação de catástrofes naturais, bem como para o estudo e compreensão das alterações climáticas.

5. O papel da cartografia geológica no desenvolvimento da sociedade

O aparecimento da maioria dos Serviços Geológicos no mundo foi justificado historicamente pela necessidade de dispor de mapas geológicos do território de

cada país, o que permitia conhecer e valorizar o seu potencial em recursos minerais e energéticos. Em Portugal, no século XIX, as “Comissões Geológicas” tiveram como finalidade principal realizar cartografia geológica para prospecção e avaliação de recursos minerais. Contudo, a sua utilidade foi estendida em pouco tempo a outras áreas da sociedade, nomeadamente à construção civil e às grandes obras públicas de engenharia, à agricultura e ao abastecimento de águas a núcleos populacionais.

A necessidade crescente da utilização de mapas geológicos pela generalidade da sociedade, bem como as vantagens económicas inerentes ao seu uso, levou muitos países a investir numa infra-estrutura básica e fundamental para o conhecimento das características geológicas do espaço territorial que integra a sua superfície (Romão, 2010). Foram assim implementados programas de cartografia geológica de base para a produção de mapas geológicos, maioritariamente nas escalas 1:50 000 e 1:200 000 e nomeadamente em Espanha, França, Inglaterra, Alemanha, Estados Unidos da América, entre outros. Nos últimos anos, foram aprovados pelo congresso dos EUA, programas de financiamento para a elaboração de cartografia geológica em todos os seus estados na escala 1:24 000, por forma a cobrir o país na sua totalidade.

À escala mundial e no contexto macroeconómico actual, há um número relevante e crescente de sectores de actividade, quer económica quer social, para os quais é imprescindível a existência desta infra-estrutura geológica de base territorial, que tem como suporte o conhecimento do território através dos mapas geológicos (Fig. 7).



Figura 7 – Diagrama ilustrativo das relações entre cartografia geológica e vários sectores da actividade económica.

Entre os sectores da actividade económica que recorrem de forma sistemática à cartografia geológica, destaca-se a área dos recursos minerais, dando-se

ênfase aos estratégicos (críticos) e industriais, dos hidrocarbonetos, dos recursos hidrogeológicos e geotérmicos.

De facto, a procura de recursos minerais estratégicos e de hidrocarbonetos foi relançada nos últimos anos, devido ao forte crescimento económico dos países emergentes, em particular, da China, Índia e Brasil. A escassez, os preços elevados e os altos investimentos na procura destes recursos indicam que este sector atravessa um período extremamente positivo a nível mundial, que é marcado por sucessivas cotações em valores máximos das matérias-primas. Salienta-se ainda que, na área das rochas e minerais industriais, há um crescimento sustentado da sua procura a nível mundial (o total da extracção global é de cerca de 25 biliões de toneladas) e que o seu conhecimento e quantificação, bem como o dos recursos hidrogeológicos, requerem a necessidade imprescindível de se dispor de mapas geológicos com informação pormenorizada relativa às características das unidades geológicas, para que se possa implementar uma política correcta para a sua avaliação, exploração, regulação e ordenamento.

A geotermia, fonte de energia que utiliza o calor interno da Terra, tem sido utilizada pelo homem desde há mais de um século e a sua procura fortemente incrementada desde que se começou a investir nas fontes de energia alternativas aos combustíveis fósseis.

Em todos os tipos de geotermia, a água desempenha um papel fundamental. De facto, a água, em contacto com rochas que se encontram a profundidades não muito elevadas, é aquecida, podendo ser utilizada directamente em actividades domésticas e industriais muito diversas, ou, por outro lado, ser captada sob a forma de vapor para produzir electricidade, ou alimentar centrais eléctricas, neste caso, a profundidades mais elevadas. A definição dos potenciais reservatórios geotérmicos é função das características das formações geológicas, bem como do grau de fracturação das rochas que as constituem, sendo os mapas geológicos essenciais nesta escolha.

A crescente ocupação do território por todo o tipo de actividades associadas com o Homem, aumenta, de forma considerável, o número dos seus bens expostos aos processos geológicos activos. Consequentemente, existem cada vez mais perdas económicas e humanas provocadas por catástrofes naturais, tais como: inundações catastróficas, movimentos elementares e em massa de vertentes, erosão hídrica e costeira, expansividade de argilas, actividade sísmica ou vulcânica, entre outras. A partir de cartografia geológica de base e de cartas temáticas derivadas é possível delimitar áreas inadequadas para determinados usos com consequências gravosas para a humanidade. Os mapas geológicos são, assim, essenciais para a

prevenção e mitigação de riscos naturais, constituindo um elemento pouco dispendioso para um adequado ordenamento do território num planeamento eficaz.

A cartografia geológica pode ainda desempenhar um papel de relevo na prevenção contra a propagação de incêndios florestais e no ordenamento e planeamento da floresta, dado que fornece indicações sobre litologias, circulação de água, erosão do solo e das vertentes e uso do solo pelo Homem. Neste domínio e em relação à litologia, podemos referir que alguns litótipos de grande resistência à erosão, como por exemplo cristas de quartzitos, formam barreiras geomorfológicas podendo constituir áreas tampão que são defesas contra a propagação dos fogos. A representação cartográfica de áreas tampão a várias escalas pode ser utilizada pelas autoridades, quer no planeamento florestal, quer em cenários de crise, constituindo instrumentos para um eficaz controlo de incêndios florestais.

Muitos investigadores afirmam que as emissões de dióxido carbónico (CO₂) contribuem significativamente para o aquecimento global, sendo que três quartos do CO₂ de origem antrópica são imputáveis a combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás) utilizados nas centrais térmicas, siderurgias e transportes. Uma das soluções a médio prazo para a resolução deste problema consiste na sequestração geológica de CO₂; de facto, o armazenamento deste gás pode ser efectuado em reservatórios já esgotados de petróleo e gás, em camadas de carvão, em aquíferos salinos profundos e cavernas de sal, bem como pela formação de carbonatos a partir do processamento de rochas ultramáficas ou carbonatadas. A escolha de sítios com as condições necessárias para o armazenamento de dióxido de carbono e de outras substâncias, ou resíduos, em espaço subterrâneo, bem como a sua implementação efectiva, requerem elaboração de cartografia geológica detalhada, a várias escalas.

Existem ainda outras actividades humanas que provocam um forte impacto no meio físico, nomeadamente contaminação de solos e de aquíferos por lixeiras, efluentes, pesticidas e/ou produtos fitossanitários utilizados essencialmente na agricultura, intervenções no litoral, abandono de minas, entre outros. O impacto destas actividades pode ser mitigado mediante a realização de um eficiente ordenamento territorial, tendo por base os mapas geológicos e outros factores de carácter geoambiental.

Também no planeamento agrícola se utilizam mapas geológicos simplificados, para a definição espacial, por exemplo, de áreas vitivinícolas, dado que existe uma clara conexão entre a geologia e a tipicidade dos vinhos. De facto, há uma estreita relação entre as formações geológicas, a topografia, o solo, a água, o microclima e as vinhas; estes factores determinam o

comportamento das águas subterrâneas, bem como o seu escoamento, e vão influenciara alimentação hídrica da videira, que exerce um papel fundamental na maturação das uvas.

A utilização de cartografia geológica de qualidade, a várias escalas, é um instrumento necessário e imprescindível na escolha de locais para a construção de obras públicas, em particular as de cariz linear e barragens. Esta cartografia tem reflexos importantes e eficazes no valor económico das obras, uma vez que optimiza os custos do traçado e reduz ao mínimo as zonas constituídas por terrenos instáveis, bem como os seus impactos ambientais.

Na sociedade actual, a dinamização lúdica e, mais concretamente, o sector do geoturismo, vão adquirindo importância económica e social cada vez mais relevante. O seu desenvolvimento tem implicado um crescimento da procura de documentos geológicos de natureza cartográfica, nomeadamente mapas simplificados com a representação de Locais de Interesse Geológico (LIGs) ou Geossítios. Alguns destes mapas apresentam elevado interesse didáctico e científico, pois contêm figurações esquemáticas elucidativas da evolução dos processos geológicos presentes nos LIGs, bem como de algumas das suas particularidades. Servem assim de suporte ao conhecimento e compreensão dos elementos e processos responsáveis, quer pela génese, quer pela modelação da paisagem natural. Os Parques Naturais são as áreas de maior procura para este tipo de cartografia.

Duas novas disciplinas da geologia têm vindo a desenvolver-se nas últimas décadas e tiram enorme partido da cartografia geológica: trata-se da geomedicina e da geologia forense. A geomedicina está relacionada com o estudo dos efeitos de factores ambientais de natureza geológica não só na saúde pública, mas também em animais e plantas. De facto, elementos como o mercúrio, arsénio, chumbo, etc., e minerais ricos em silicatos e os asbestos, são reconhecidos, desde longa data, como prejudiciais à saúde. Por outro lado, existem elementos como o cálcio, flúor ou magnésio, bem como muitos outros, assim como determinadas lamas, que são utilizados em medicamentos ou como terapêutica para certas doenças, trazendo enormes benefícios para a saúde humana.

A geologia forense corresponde à análise detalhada de evidências relacionadas com minerais, solos ou outros materiais, através do uso de técnicas geológicas, que são relevantes para responder a questões do foro judicial. Por exemplo, a presença no local de um crime de determinado tipo de argila ou areia, pode constituir prova sobre o lugar de onde provém o suspeito, dando desta forma pistas sobre a culpabilidade do transgressor.

6. Rendibilidade económica e social da cartografia geológica

A mais-valia dos mapas geológicos pode ser ilustrada por benefícios económicos, directos e indirectos, bem como socioeconómicos, podendo apresentar-se muitos e variados exemplos. Como benefício económico directo aponta-se a descoberta de jazidas de recursos energéticos (carvão, petróleo, gás natural e fontes geotérmicas), de minerais metálicos (ouro, prata, cobre, platina, entre outros) e de depósitos de rochas e minerais industriais (argilas, rochas ornamentais, gesso, entre outros). Cita-se, por exemplo, a descoberta do campo aplito-pegmatítico do Barroso-Alvão (Norte de Portugal), efectuada durante a elaboração de levantamentos geológicos para a folha 6C – Cabeceiras de Basto (Noronha & Charoy, 1991). Nesta região, foi reconhecida uma área caracterizada pela abundância de filões ricos em espodumena, com ocorrências de petalite e eucryptite como minerais acessórios, para além de filões com raras ocorrências de lepidolite (Charoy *et al.*, 2001). Este campo filoniano tem vindo a ser explorado e os seus constituintes são usados na indústria da cerâmica.

Indirectamente, o uso dos mapas geológicos apresenta relevante e significativa mais-valia sócio-económica; pelo seu contributo na adopção de decisões ponderadas no ordenamento do território, na preservação do ambiente e na segurança de obras de engenharia. No âmbito da gestão do território, nomeadamente no que se refere à sensibilidade geotécnica, a cartografia geológica e a informação contida nas respectivas notícias explicativas dos mapas publicados, estão na base da elaboração de cartas de risco geotécnico. Apresenta-se, a título de exemplo, o caso do concelho de Vila Franca de Xira, que é um território com elevada pressão urbanística, caracterizado por unidades geomorfológicas e geológicas muito diversas e complexas, constituídas por formações competentes do ponto de vista geotécnico, e outras não competentes, como as aluviões do rio Tejo. Esta diversidade geológica, associada à existência de falhas consideradas activas, tem influência determinante no comportamento dos terrenos e por conseguinte na escolha do tipo de assentamento a usar nas edificações, bem como na identificação de locais propícios a movimentos em massa nas vertentes. No sentido de agilizar e otimizar o planeamento e licenciamento urbano, e a segurança das obras de engenharia, o município de Vila Franca de Xira preparou uma carta de sensibilidade e risco geotécnico, cujo factor base para a sua elaboração foi a cartografia geológica. Passou, assim, a dispor de condições para aferir, de forma célere, o risco inerente à obra em causa e, face à localização, inviabilizar, viabilizar com, ou sem estudo geotécnico associado, ou adequar determinado projecto.

No campo oposto, a ausência de mapas geológicos e, conseqüentemente, de conhecimentos geológicos de uma dada região, pode levar a uma variedade de efeitos adversos, quer em relação a impactos no ordenamento do seu território, quer devido ao desconhecimento da existência de matérias-primas necessárias ao seu crescimento sustentado. A inexistência, por exemplo, de cartas de neotectónica, onde são representadas as estruturas activas responsáveis pela génese de sismos, pode potenciar um ordenamento do território pouco eficaz, aumentando os danos no caso da ocorrência de um sismo numa estrutura activa não identificada.

Na perspectiva de conhecer com exactidão os benefícios relativos à elaboração e utilização de mapas geológicos, foram efectuados, a partir da década de noventa do século XX, estudos de avaliação económica de programas de cartografia geológica de cobertura nacional, que consistiram, na sua maioria, em abordagens essencialmente qualitativas da relação benefício/custo, mas também sobre a rendibilidade económica e social da cartografia geológica. Bernknopf *et al.* (1993) realizaram este tipo de análise quantitativa, tendo por base um caso concreto, designadamente a elaboração de um mapa na escala 1:100 000 nos Estados Unidos da América (EUA). A metodologia utilizada partiu da aplicação, com maior precisão, de restrições legais sobre certas actividades desenvolvidas no território, apoiadas em informação geológica detalhada sobre esse território. Em particular refere-se o valor dos terrenos de acordo com restrições de índole geológica, ou o custo de obras de mitigação de riscos geológicos na construção de obras de engenharia. A partir das premissas precedentes e tendo em conta o custo de execução da cartografia, a sua rendibilidade foi estimada, numa óptica conservadora, como compreendida entre 210% e 400%.

Estudos de custo/benefício nos EUA mostraram que um mapa geológico de base, que reflecta e sintetize os conhecimentos geológicos actuais, reduz em cerca de 35 000€ o valor de cada projecto que envolva o uso do território, desde que este ocorra no interior da área onde foi efectuada a cartografia geológica (Price, 2011). Contudo, como o mesmo mapa geológico pode ser utilizado em vários projectos, o valor mencionado pode ser multiplicado inúmeras vezes, consoante o número de projectos existentes na área coberta por esse mapa.

Bhagwat & Ipe (2000) avaliaram quantitativamente o impacto económico que os mapas geológicos na escala 1:24 000 criaram no estado de Kentucky (EUA), estimando uma razão benefício/custo entre 25 a 39, ou seja, foi calculado que o valor económico dos mapas geológicos é 25 a 39 vezes o custo dos levantamentos geológicos elaborados. Mais tarde, Haling *et al.* (2004, 2004a) estimaram que os custos de uma carta geológica de base estariam totalmente

pagos ao fim de 14 anos e, acima dos 12 anos, os benefícios aumentariam de forma exponencial, partindo do pressuposto que a região teria uma taxa constante de desenvolvimento.

Na óptica de responder com eficácia às necessidades actuais no campo das geociências e de estimar as mais-valias das cartas geológicas para o desenvolvimento sustentado da sociedade, Ellison & Calow (1996) calcularam que os mapas geológicos do Reino Unido, considerando vários sectores de actividade económica e social, traziam um benefício económico anual de

aproximadamente 27 milhões de euros para o país (Quadro I). Este estudo incluiu ainda exemplos de casos concretos de utilização da informação geológica de natureza cartográfica para a planificação urbana e exploração de areias, que proporcionaram benefícios da ordem de 3,3 a 7,2 milhões de euros anuais. Para além disso, foi estimado que o British Geological Survey (organismo inglês responsável pela produção de cartas geológicas) contribuiu com cerca de 5 a 8% do seu valor para o total da produção nacional (Tym & Partners, 2003).

Quadro I – Síntese de benefícios económicos e sociais das Cartas Geológicas no Reino Unido, por sectores de actividade (BGS, 1996).

Sectores de Actividade	Tipo de benefício			Benefício anual (€ Milhões)
	Saúde	Ambiente	Financeiro	
Minerais industriais		X	X	3,0
Aterros sanitários	X	X		0,6
Avaliação ambiental	X	X		0,3
Planeamento local e regional		X		1,0
Gestão do litoral		X		0,3
Gestão hidráulica		X		1,0
Gestão hidrogeológica	X	X		0,4
Construção de estradas			X	6,4
Construção, excepto estradas		X	X	5,9
Seguros e tramitações			X	3,5
Educação			X	0,3
Investigação académica			X	
Hidrocarbonetos			X	2,3
Carvão			X	0,3
Saúde	X			1,7
Conservação		X		
Turismo e lazer			X	
Agricultura		X	X	
Floresta		X	X	
TOTAL				27,0

Na vizinha Espanha, com o objectivo de avaliar o plano de cartografia geológica Magna (MAGNA 50 – Mapa Geológico de España à escala 1:50 000-IGME – Instituto Geológico y Minero de España), que completou a cobertura total do país, elaboraram-se questionários e inquéritos detalhados a utilizadores dos mapas

geológicos. Concluiu-se que a cartografia geológica é utilizada em quase todos os sectores de actividade económica e em algumas áreas sociais. De facto, o uso da informação geológica contida nos referidos mapas permite a obtenção de benefícios consideráveis de natureza diversificada. A partir de cálculos empíricos

quantitativos, foi estimado que o valor económico da implementação do programa de cartografia geológica acima mencionado, representou um acréscimo para a economia compreendido entre 10,35 e 27,54 vezes os seus custos. De facto, foi estimado para o plano Magna uma razão custo/benefício média de 18, isto é, para um investimento de 122 000€ foi produzida uma poupança de 2 200 000€ na economia espanhola até ao ano de 2004 (Rodrigues, 2005; García-Cortés *et al.*, 2005).

Em Portugal, a elaboração de mapas geológicos a várias escalas é efectuada pelo LNEG, sucessor do Instituto Geológico e Mineiro (IGM), que incorporou os Serviços Geológicos de Portugal. Não são conhecidos, até ao momento, estudos sobre a rentabilidade da cartografia geológica em Portugal. Contudo, nos últimos anos, verifica-se um aumento da procura de mapas geológicos, tanto em papel, como em formato digital, por parte de investigadores, engenheiros, geólogos, técnicos de planeamento e urbanismo, para além do público em geral. O seu interesse centrou-se, em particular, na aquisição de mapas de maior pormenor, levantados à escala 1:25000.

7. Conclusões e carta geológica do futuro

A cartografia geológica moderna, disponibilizada em formato digital, é hoje em dia um instrumento durável e indispensável para o desenvolvimento social e económico de um país. É importante compreender que uma carta geológica de uma determinada zona geográfica, em virtude de descrever com precisão a infra-estrutura do subsolo, corresponde a uma verdadeira síntese de conhecimentos geológicos, sobre a qual se podem apoiar políticas de energia, de gestão de recursos (água, rochas industriais, minerais, entre outros), de prevenção de riscos naturais, de ambiente e de ordenamento do território.

A cartografia geológica, ao ser utilizada em quase todos os sectores de actividade económica, proporciona, na maioria das vezes, consideráveis ganhos económicos, sociais e muitas vezes ambientais. Acresce que os diversos estudos qualitativos e quantitativos que têm sido elaborados em diversos países, para a avaliação da rentabilidade económica e social de programas de cartografia geológica de âmbito nacional, apontam para relações benefícios/custos relativamente elevadas, que se torna ainda mais acentuada à medida que o tempo decorre.

O desenvolvimento de programas de cartografia geológica a 3D, ou seja, a representação cartográfica de unidades geológicas, quer à superfície quer no subsolo, integrando dados de natureza hidrogeológica, geotécnica, geofísica, geoquímica, entre outros, tem revelância crescente nos diversos sectores de actividade,

em particular no progresso do conhecimento geocientífico em áreas densamente povoadas que necessitam do saber geológico entre os 0 e 100m de profundidade, bem como no seu uso detalhado para a exploração de jazidas de hidrocarbonetos e minerais.

De facto, as cartas geológicas do futuro constituem bancos de dados georreferenciados, interoperáveis e normalizados, que devem estar em permanente actualização. Integram numerosos dados de diferentes disciplinas e fazem apelo à digitalização e a técnicas cada vez mais sofisticadas de modelização para representação a 3D do espaço subterrâneo. Quando se pretendem elaborar modelos preditivos deve-se introduzir nas cartas a evolução temporal, produzindo-se cartas 4D.

Actualmente, a elaboração de cartas geológicas requer cada vez mais o uso de tecnologias avançadas, como a detecção remota de alta resolução espacial e espectral, e a geofísica aerotransportada através de magnetometria e radiometria espectral.

Estas ferramentas e procedimentos sofisticados são particularmente úteis em países ainda pouco desenvolvidos, cujo território é de difícil acesso, para a elaboração de cartografia geológica a pequena escala e abordagens ao conhecimento das principais unidades geológicas que constituem o seu subsolo.

Agradecimentos

Agradece-se à Unidade de Geologia e Cartografia Geológica do Laboratório Nacional de Energia e Geologia os dados disponibilizados, ao colega Daniel Metodiev a ajuda na preparação da Figura 1 e à comissão científica da Geonovas a leitura crítica do manuscrito e as sugestões apresentadas.

Bibliografia

- Bernknopf, R. L.; Brookshire, D. S.; Soller, D. R.; McKee, M. J.; Sutter, J. F.; Matti, J. C. & Campbell, R. H. (2006) - The Societal Value of Geologic Maps. *Reviews of Studies on the Economic Evaluation of Geologic Maps in the United States*, *GSJ Interim Report* N.º. 37, Geological Survey of Japan, AIST, 5-58.
- Bhagwat, S. B. & Ipe, V. C. (2000) - The economic benefits of detailed geologic mapping to Kentucky. *Illinois State Geological Survey Special Report* 3, 39 p.
- Charoy, B.; Noronha, F. & Lima, C. (2001) - Spodumene-Petalite-Eucryptite: mutual relationships and alteration style in pegmatite-aplite dykes from Northern Portugal. *Canadian Mineralogist*, 30: 639-651.
- Ellison, R. A. & Calow, R. (1996) - The economic evaluation of BGS geological mapping in the United Kingdom. *British Geological Survey, unpublished report*, 28 p.

- García-Cortés, A.; Vivancos, J. & Fernández-Gianotti, J. (2005) – Evaluación económica y social del Plan MAGNA. *Boletín Geológico y Minero de España*, 116,4: 291-305.
- Halsing, D. L.; Theissen, K. M. & Bernknopf, R. L. (2004) – The national mapping: benefits at what costs? *Geospacial solutions*, February, nº 1.
- Halsing, D.; Theissen K. & Bernknopf, R. (2004a) – A Cost-Benefit Analysis of The National Map, USGS Circular 1271, 40p.
- Noronha, F. & Charoy, B. (1991) – Pegmatitos graníticos com elementos raros da região de Barroso (Norte de Portugal). *1ª Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa (Resumo) US Paulo 1*: 276-279.
- Oliveira, C. (1988) – *Dicionário de cartografia*. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE.
- Price, J. G. (2011) – *Testimony on "Examining the Spending Priorities and the Missions of the U.S. Geological Survey and the President's FY 2012 Budget Proposal"*. Subcommittee on energy and mineral resources. Natural Resources Committee, United States House of Representatives.
- Rebelo, J. A. (1998) – As Cartas Geológicas ao serviço do desenvolvimento. Publicação integrada nas comemorações dos 150 anos da criação da I Comissão Geológica, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 56 p.
- Ribeiro, A. (1984) – Fundamento do método cartográfico em geologia. *Revista da Associação Portuguesa de Geólogos*, 6: 85-90.
- Robinson, A. H.; Morrison, J. L.; Muehrcke, P. C.; Kimerling, P. C. & Guptill, S. C. (1995) – *Elements of Cartography*. John Wiley & Sons, inc. (ed.), 6th Edition. 674 p.
- Rodrigues Fernández, L. R. (2005) – El Plan MAGNA: evolución histórica y perspectivas futuras. *Boletín Geológico y Minero de España*, 116,4: 281-289.
- Romão, J. C. (2005) – Cartografia Geológica: um instrumento do conhecimento para o desenvolvimento do território. *Actas do XV Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Geológica e de Minas da Ordem dos Engenheiros*, 377-386.
- Romão, J. (2010) – O papel da Cartografia Geológica no desenvolvimento do território. *Maleo 1*, Short Notes: 9-10.
- Tym, R. & Partners (2003) – The Economic Benefit of the British Geological Survey – Executive Summary, November, 9 p.



Terra, Ambiente e Recursos Hídricos, Lda
 Rua Forte do Monte Cintra, nº1, 2C
 2685-141 Sacavém, Portugal
 Telef: +351 21 940 2389
 Fax: +351 21 940 2390
 e-mail: info@tarh.pt
 www.tarh.pt



AMBIENTE

- Impactes de túneis e grandes escavações
- Estudos de impacte ambiental (hidrogeologia e recursos geológicos)

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

- Projecto, acompanhamento e fiscalização de obras
- Auditoria e recuperação de sistemas de captação
- Avaliação e monitorização de aquíferos

RECURSOS HIDROMINERAIS E GEOTÉRMICOS

- Prospecção, pesquisa e captação
- Qualificação de águas minerais naturais e de recursos geotérmicos
- Estudos de viabilidade técnico-económica