

Descobrir o planeta Terra: o Tempo e o Espaço em Geologia

Neste número da EaM desafiámos o *Laboratório de Geologia Experimental* (LabGExp), da unidade de investigação *Centro de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa*, a integrar uma perspetiva matemática no trabalho que tem desenvolvido para melhor compreendermos o Planeta Terra.

A evidência da evolução num Planeta por descobrir emergiu, desta vez, de uma feliz colaboração entre a Geologia e a Matemática.

O *LabGExp*, tem vindo a desenvolver, desde há alguns anos, atividades práticas e experimentais para aplicação no Ensino e na Divulgação da Geologia. As atividades são, em geral, de fácil execução e utilizam materiais acessíveis e pouco dispendiosos [Bolacha *et al.*, 2006].

No artigo que se segue são apresentadas conexões entre a Geologia e a Matemática, onde a relatividade da medida do tempo em Geologia tem consequências no desenvolvimento de sentido de número ao nível do 1.º ciclo e da relação funcional na formação da zona externa de cadeias de montanhas ao nível do 3.º ciclo do Ensino Secundário.

Joana Latas

A Geologia estuda os processos externos e internos que decorrem no nosso planeta. Os primeiros como, por exemplo, a erosão e a sedimentação, são, em geral, observáveis. O mesmo não se passa com a grande maioria dos processos internos, como a dinâmica do manto ou da crosta inferior, o que obriga à utilização de métodos indiretos, como a geofísica ou às simulações em laboratório ou computacionais.

Os processos internos são, usualmente, muito lentos, levando milhões de anos a decorrer, como a formação de uma cadeia de montanhas ou a abertura de um oceano. Para além disso, estes processos decorrem em áreas geográficas da ordem dos milhares de quilómetros. Mas enquanto decorre, por exemplo, a formação de uma cadeia de montanhas, no seu interior, ocorrem transferências de materiais que são transformados e transportados para fora da área que está a ser comprimida (Ribeiro, 2002) como uma esponja ao ser espremida. Isto modifica, física e quimicamente, os minerais que constituem as rochas tendo repercussões a várias escalas: à escala megascópica, neste caso, da cadeia de montanhas; à escala macroscópica, ao nível da amostra de rocha que cabe na palma da mão, a chamada amostra de mão; e mesmo à escala microscópica, unicamente observável em lâmina delgada com o auxílio de um microscópio.

As grandes dimensões espaço-temporais, como no caso da cadeia de montanhas, são assim comuns em Geologia, circunstâncias em que a quantificação matemática é importante para a compreensão de processos a diversas escalas, e em que a compreensão dos famosos números muito grandes é crucial (Deus *et al.*, 2011). Assim, a quantificação e outros métodos matemáticos permitem complementar a descrição e a observação, métodos em que sempre se baseou a Geologia.

Conexões entre a Geologia e a Matemática

A Matemática é uma ferramenta fundamental utilizada profusamente pelos cientistas, embora, seja comum o equívoco de,

no Primeiro Ciclo do Ensino Básico, assumir-se que quando os alunos estão a estudar Ciências (Estudo do Meio) não precisam de usar as competências que desenvolvem na Matemática. No documento oficial de Orientações Curriculares e Programas para o 1.º Ciclo do Ensino Básico (ME, 2004) para o Estudo do Meio menciona-se que os alunos deverão, a partir desse contexto, «aprender a organizar a informação e estruturá-la de forma que ela se constitua em conhecimento». Em determinado tipo de investigações, esta afirmação está claramente a apelar ao uso de competências e conhecimentos sobre análise quantitativa de dados. Por outro lado, tem-se verificado que a aplicação da Matemática em atividades integradas noutras áreas disciplinares prepara os alunos a pensarem de forma analítica e crítica, o que virá a ter um bom efeito a longo prazo no desenvolvimento e aplicação do raciocínio matemático e na respetiva capacidade de o transferir para múltiplos contextos da vida (Kelsey & Steel, 2001).

Os currículos em anos subsequentes ocultam a relevância da Matemática para *descobrir o planeta Terra*, nomeadamente as Orientações Curriculares do 3.º ciclo de Ciências Naturais (ME, 2001a), os programas de Biologia e Geologia do Ensino Secundário (Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologias), disciplina específica de prosseguimento de estudos (ME, 2001b, 2003). Esta situação permite que um estudante chegue à Universidade, tenha acesso, por exemplo, a um curso de Geociências sem ter experimentado a real importância da análise e dos métodos quantitativos no estudo da Terra.

Algumas ideias de interpretação matemática da Geologia ao longo do percurso escolar

Exemplo 1: Construção de um friso cronológico sobre a História da Terra

Os fenómenos geológicos podem ter durações muito variáveis como, por exemplo:



Figura 1. Alunos e professora a analisarem uma carta geológica.

- i) menos de um segundo (velocidades subsónicas), instalação de kimberlitos — as rochas portadoras de diamantes;
- ii) breves segundos a minutos, sismos e algumas torrentes de lama, os *lahares*;
- iii) anos, inclinação de árvores por deslizamento do substrato e assoreamento de rios;
- iv) décadas, deslocamentos dos glaciares (alguns quilómetros);
- v) séculos, formação de lagunas como a Ria de Aveiro ou o crescimento visível (alguns cm) de estalactites e estalagmites;
- vi) milhares de anos, alteração da forma e erosão de algumas cadeias de vulcões.
- vii) milhões anos, formação de cadeias de montanhas e de oceanos.

Algumas destas unidades de contagem do tempo são familiares para os alunos da segunda metade do Primeiro Ciclo do Ensino Básico. Umas são de uso diário e outras são abordadas no estudo da História da Humanidade. Porém, tudo se torna mais vago quando, por exemplo ao estudar o Sistema Solar (Estudo do Meio — 3.º e 4.º anos) se trabalha com fenómenos que duram vários milhões de anos (idade da Terra — 4600 milhões de anos). Milhões de anos é a unidade de tempo mais utilizada em Geologia.

Com efeito, só a «dilatação» da escala do tempo permite abordar a História da Terra de um modo pleno e verdadeiramente dinâmico. De facto, alguns dos episódios mais mediatizados da história deste planeta decorreram ao longo de muitos milhões de anos. Disto são exemplos: a origem dos primeiros seres vivos (microrganismos), a fragmentação da *Pangea*, a extinção dos dinossaúros, a origem e evolução dos seres humanos (género

Homo) e o momento a partir do qual eles foram capazes de controlar o fogo.

O uso de analogias pode ser de grande utilidade para potenciar a imaginação dos alunos, especialmente se o conceito científico a abordar for muito abstrato. A grandeza «tempo» assume um carácter tanto mais abstrato quanto menor for a idade dos alunos. Por essa razão, pode-se recorrer a analogias para ajudar os alunos a perceberem a ordem de grandeza dos números envolvidos quando se estuda a História da Terra, por exemplo bagos de arroz. Pode-se posteriormente construir um friso cronológico sobre a História da Terra, no qual se representam, com rigor matemático, alguns episódios reais evita conceções alternativas.

O estudo dos principais tipos de rochas e de alguns aspetos geomorfológicos das várias regiões do território português, continental e insular (Estudo do Meio — 3.º e 4.º anos), pode também tornar-se muito mais interessante se os alunos perceberem alguns aspetos da história geológica desses locais. Uma vez que o currículo refere o uso de mapas para localizar e estudar os principais rios e serras de Portugal, pode utilizar-se uma carta geológica simplificada de uma região para saber o tipo de rochas aí existentes, bem como as suas idades (figura 1).

Colocando uma maior ênfase nas conexões entre as várias áreas curriculares e os tópicos matemáticos, ao nível do 1.º ciclo, propõe-se conjugar as propostas curriculares da Matemática, no tema Geometria, e a área curricular de Expressão e Educação Plástica, no Bloco 2 (Descoberta e organização progressiva de superfícies — 3.º e 4.º anos). Para tal, sugere-se a exploração didática de documentos gráficos, tais como frisos, mapas e plantas, recorrendo a construções geométricas e aos instrumentos



Figura 2. Rochas deformadas, na Praia de Monte Clérigo [concelho de Aljezur], com mais de 300 Ma [foto cortesia do Prof. Nuno Pimentel].

fundamentais da construção geométrica (régua, esquadro e compasso).

O programa de Matemática (ME, 2007) refere que o propósito principal do tema de ensino «Números e Operações» é o de «desenvolver nos alunos o sentido de número, a compreensão dos números e das operações e a capacidade de cálculo mental e escrito, bem como a de utilizar estes conhecimentos e capacidades para resolver problemas em contextos diversos.» Para tal, sugere-se que os alunos realizem atividades que envolvam: contar, comparar números, ler e representar números até ao milhão, compreender e usar a regra de multiplicar um número por 10, 100 e 1000. Ao mesmo tempo, espera-se que os cálculos tenham uma aplicação prática nas atividades propostas.

Exemplo 2: Formação da zona externa de uma cadeia de montanhas

Os oceanos e as cadeias de montanhas podem ser, ao longo do tempo, duas faces da mesma moeda, porque é vulgar que, enquanto um oceano se fecha, se vá formando uma cadeia de montanhas, ao longo de muitos milhões de anos. Assim acontece porque a Terra tem volume e perímetros constantes (i.e. não se contrai nem se dilata).

As zonas externas das cadeias de montanhas formam-se por deformação dos sedimentos que se vão acumulando na zona imersa dos continentes e nos fundos oceânicos. À medida que o processo de subducção vai puxando a placa litosférica em que esses sedimentos (constituídos predominantemente por areias

e argilas) se acumulam, os mesmos vão sofrendo enrugamento e fracturação.

A deformação e compensações isostáticas são responsáveis pelo levantamento da cadeia, permitindo que esses sedimentos aflorem à superfície, transformados em rochas metamórficas, por pressão e temperatura a que foram sujeitos. Hoje podemos observar o resultado das transformações que aconteceram num passado longínquo, em diversas regiões do país, como por exemplo, na Costa Sudoeste do país — ou Costa Vicentina (figura 2).

Apresentamos uma experiência (Malavieille, 2010; Bolacha *et al.*, 2011), desenvolvida no LabGExp, que simula a formação da parte externa de uma cadeia de montanhas, associada a uma zona de subducção, como a que terá levado à formação de rochas que hoje se observam na Costa Vicentina (figura 2).

Trata-se de uma simulação análoga, na qual se comparam alguns aspetos do modelo com o que acontece na realidade. As areias simulam os sedimentos reais enquanto a rampa simula parte da cadeia de montanhas já formada (figura 3). O modelo tem limites, como as paredes (transparentes) que não existem na realidade. Torna-se assim necessário discutir com os alunos as principais diferenças e semelhanças entre o modelo e o processo real. A caixa tem os topos libertos e o acetato (figura 3A), sobre o qual se despejam camadas de areias (figura 3B), simula a placa em subducção. Este é puxado lentamente à mão, processo durante o qual é possível observar a formação de figuras geométricas como dobras e falhas, bem como a evolução da deformação (figuras 3 e 4).

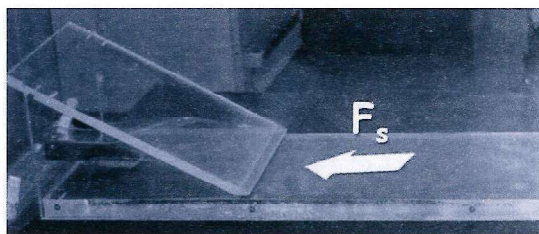


Figura 3a. As areias são despejadas em cima de um acetato. Este passa por baixo da rampa, e é puxado lentamente à mão. O acetato simula a placa de subducção. F_s = Força exercida sobre o acetato.

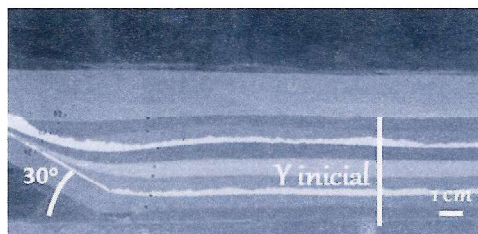


Figura 3b. Y inicial = Espessura inicial da pilha de areias (entre 3 e 4 cm). O pó branco (gesso) entre camadas de areia permite evidenciar melhor as dobras e falhas que se formam.



Figura 4. Aspecto final da simulação da zona externa da cadeia de montanhas. À medida que se puxa o acetato, a pilha de areias encurta (x) e aumenta a espessura (y).

Tabela 1. Exemplo de tabela a elaborar durante a experiência.

| Tempos | t0 | t1 | t2 | t3 | t4 | t5 | t6 |
|-------------------|----|-----|-----|------|------|-----|-----|
| Encurtamento [cm] | 0 | 3 | 12 | 19,5 | 28,5 | 37 | 50 |
| Espessamento [cm] | 0 | 0,5 | 2,8 | 3 | 4,8 | 4,8 | 4,8 |
| Número de falhas | 0 | 1 | 3 | 4 | 8 | 8 | 8 |

A aplicação da matemática nesta experiência é útil por várias razões. A primeira, e mais evidente, é de o modelo ser geometricamente à escala, 1 cm no modelo corresponde a 1 km na realidade. O modelo representado na figura tem 150×20 cm, e a multicamada de arcias tem cerca de 4 cm de espessura.

Para além disso, é possível estabelecer diversas relações ao longo do processo de simulação, como a relação encurtamento (diminuição do comprimento da pilha de areia) – espessamento (aumento da espessura máxima da pilha de areias).

Os dados a obter serão do tipo dos que constam na Tabela 1, e que foram registados durante a experiência realizada no LabGExp, em intervalos de tempo não regulares, definidos a partir da formação das falhas.

Com estes dados projetados em gráfico Excel® de linhas, pode-se obter o que se observa na figura 5. E projetando as três variáveis em função dos tempos num gráfico de barras obtêm-se as projeções da figura 6.

De modo simplificado é possível verificar, por leitura do gráfico da figura 5, que o espessamento varia (quase) linearmente

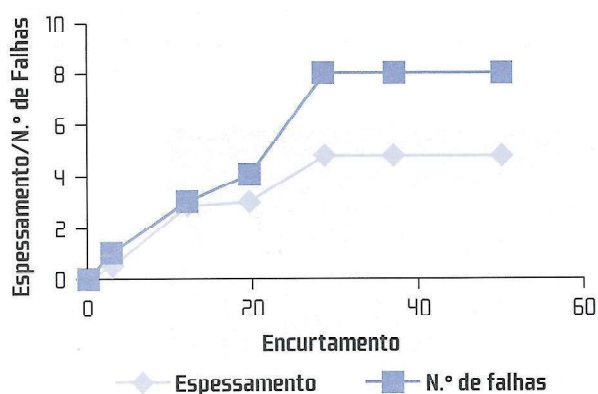


Figura 5. Gráfico Espessamento/Encurtamento e Espessamento/N.º de Falhas.

com o encurtamento até cerca dos 10 cm, valor a partir do qual até cerca dos 30 cm, aumenta mais o encurtamento do que o espessamento. A partir deste valor, só se regista encurtamento, deixando de ocorrer espessamento.

O gráfico da figura 6 reforça o que já se tinha inferido do primeiro gráfico, no entanto, torna-se ainda mais nítida a diferença de variação de valores entre o encurtamento e o espessamento. A relação entre a variação do número de falhas e o espessamento é evidente, sendo que, entre os 20 e os 30 cm de encurtamento, o aumento significativo do número de falhas não se reflete no espessamento.

Possíveis abordagens em sala de aula

Os exemplos apresentados exigem um tipo de raciocínio comum em Geologia, o raciocínio por analogia (Jee *et al.*, 2010). Comparam-se alguns aspetos de objetos e processos que nos são mais familiares com os daqueles que nos interessa compreender, recorrendo a analogias e modelos. Os modelos utilizados no

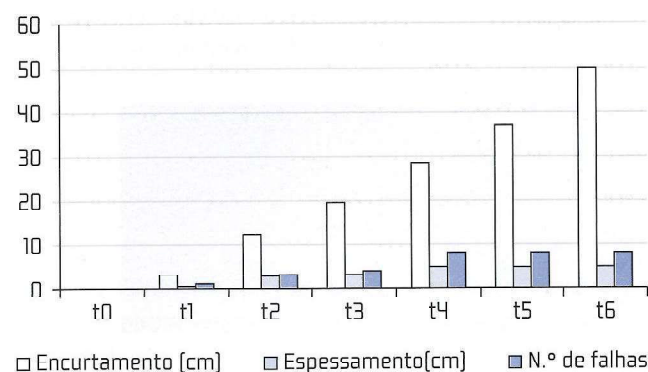


Figura 6. Variação das variáveis Encurtamento, Espessamento e número de falhas ao longo do tempo.

Ensino das Ciências representam, de forma simplificada, objetos e processos naturais. Nestes exemplos, o número de bagos de arroz, no primeiro, é comparado com os números (de anos) do tempo geológico longo, enquanto as areias, utilizadas no segundo exemplo, simulam alguns tipos de rochas (litologias) terrestres. É com base nessas similaridades que utilizamos arroz em vez de números, e areias no lugar de rochas.

Cada exemplo foi explorado no formato de tarefa para sala de aula. A primeira, dirigida a alunos do 1.º Ciclo do Ensino Básico está disponível em página no MPT2013 na APM (mpt2013.apm.pt), e a segunda, por exigir um maior grau de abstração, é dirigida a do 3.º Ciclo do Ensino Básico ou do Secundário, de preferência de forma interdisciplinar, Matemática e Ciências Naturais ou Matemática e (Biologia e) Geologia. Esta última é apresentada na secção de materiais para sala de aula neste número da E&M.

Referências bibliográficas

- Berna, F., Goldberg, P., Horwitz, L. K., Brink, J., Holt, S., Bamford, M., and Chazan, M. (2012). Microstratigraphic evidence of in situ fire in the Acheulean strata of Wonderwerk Cave, Northern Cape province, South Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 109, n.º 20, p. E1215–E1220.
- Bolacha, E.; Moita de Deus, H.; Dias, R.; Fonseca, P.E. (2011). Modelação Análoga de um Episódio da Geologia de Portugal. *Modelação de Sistemas Geológicos. Livro de homenagem ao Professor Manuel Maria Godinho*. Laboratório de Radioactividade Natural da Universidade de Coimbra. Coimbra. pp. 125–140.
- Bolacha, E.; Moita de Deus, H. A.; Caranova, R.; Silva, S.; Costa, A. M.; Vicente, J.; Fonseca, P. E. (2006). Uma Experiência na Formação de Professores: Modelação Análoga de Fenómenos Geológicos — A Geologia no Laboratório. *Geonovas*, 20. pp 33–56.
- Deus, H. M.; Bolacha, E.; Fonseca, P.E. (2011). Contribuição da Modelação Análoga para a compreensão dos colossais números do Tempo e do Espaço. Resumo no livro de actas do I Congresso Nacional Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2011, Estremoz, pp. 43–46.
- Jee, B. D.; Utal, D. H.; Gentner, D.; Manduca, C.; Shipley, T. F.; Tikoff, B.; Ormand, C. J.; Sageman, B. (2010). *Commentary: Analogical Thinking in Geoscience Education*. *Journal of Geoscience Education*, v. 58, n. 1 p. 2–13.
- Kelsey, K., & Steel, A. (2001). *The truth about science — A curriculum for developing young scientists*. Arlington, VA: NSTA. pp. 95–101.
- Malavieille, J. (2010). Impact or erosion, sedimentation, and structural heritage on the structure and kinematics of orogenic wedges: Analog models and case studies. *GSA Today*, v.20, n.º 1. pp. 4–10.
- ME (2001a). Orientações curriculares do 3.º ciclo do Ensino Básico — Ciências Físicas e Naturais. Lisboa: Ministério da Educação, Departamento da Educação Básica.
- ME (2001b). Programa de Biologia e Geologia. 10.º ou 11.º ano. Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologias. Lisboa: Ministério da Educação, Departamento do Ensino Secundário.
- ME (2003). Programa de Biologia e Geologia. 11.º ou 12.º ano. Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologias. Lisboa: Ministério da Educação, Departamento do Ensino Secundário.
- ME (2007). *Programa de Matemática do ensino básico*. Lisboa: Ministério da Educação, DGIDC.
- ME (2004). *Organização Curricular e Programas*. Lisboa: Ministério da Educação, Departamento da Educação Básica.
- Ribeiro, A. (2002). *Soft Plates and Impact Tectonics*. Berlin: Springer-Verlag.

Agradecimentos: A experiência descrita faz parte dos trabalhos de investigação da primeira autora que beneficiou da bolsa da FCT, ref. SFRH/BD/43297/2008 e de concessão de equiparação a bolseiro pelo Ministério da Educação e Ciência.

Edite Bolacha

LabGExp (Laboratório de Geologia Experimental)/Centro de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; Escola Secundária de D. Dinis, Lisboa

Helena Moita de Deus

LabGExp (Laboratório de Geologia Experimental)/Centro de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; Escola EB2,3 Dom Domingos Jardo

Inês Cruz

CREMINER – LARSyS [Centro de Recursos Minerais, Mineralogia e Cristalografia], Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Paulo Emanuel Fonseca

LabGExp (Laboratório de Geologia Experimental)/Centro de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

MATERIAIS PARA A AULA DE MATEMÁTICA

A tarefa que aqui propomos está enquadrada pelo artigo: *Descobrir o planeta Terra: o Tempo e o Espaço em Geologia*.

Nas Ciências Naturais, esta tarefa é perfeitamente enquadrável no programa de 7.º, enquanto no Secundário, é adequado quer no contexto do programa do 10.º como no do 11.º ano [Biologia-Geologia do Curso Humanístico de Ciências e Tecnologias].

Quanto à Matemática, enquadra-se preferencialmente no 3.º Ciclo, 7.º e 8.º anos de escolaridade: conceito de função, função de proporcionalidade direta, estatística — para tratamento de dados com a folha de cálculo. Trabalha também a comunicação matemática, uma vez que o aluno terá de justificar as conclusões obtidas.

Para além destas duas disciplinas poderão contribuir outras, como a Física ou a Geografia, desde que os conteúdos se cruzem.

As propostas que fazemos não passam disso mesmo, permitindo que cada professor explore a experiência de acordo com um sem número de conteúdos e de possibilidades, que passam pelos programas e objetivos das diversas disciplinas bem como pelo nível de complexidade. Aqui demos primazia, como é óbvio, à Matemática.

Edite Bolacha, Helena Moita de Deus,

Inês Cruz, Paulo Emanuel Fonseca