



FILÉ MINERAL
Raras vezes a apatita é visível a olho nu, como nesta rocha de uma jazida no sul da Bahia

A idade da pedra

Geólogos de Rio Claro encaram um trabalho árduo e minucioso para investigar a história térmica das rochas e mapear potenciais jazidas de petróleo, ouro e diamante

Igor Zolnerkevic

Como muitas mulheres maduras, a maioria das rochas não revela a idade. Nunca informa claramente quando nasceu ou a data precisa de um evento importante de seu passado. Alguns geólogos, entretanto, estão sempre dispostos a ser indiscretos com essas duras senhoras e não disfarçam o interesse por suas riquezas. Com habilidade e paciência, eles penetram no coração radioativo da pedra, para descobrir há quantos milhões de anos ela superou quilômetros de profundidade para aflorar em algum ponto da superfície do planeta onde foi recolhida.

“Nesta subida, a rocha acumula uma história”, explica o geólogo Peter Hackspacher, coordenador do Núcleo de Cronometria e Cronologia da Unesp em Rio Claro. “Interessa-nos saber quando ela subiu e o que ocorreu durante essa subida, se houve um terremoto pelo caminho, se houve um

oceanos em cima dela etc.” Conhecer essas circunstâncias pode revelar os locais onde vale a pena buscar riquezas minerais como ouro, diamante e petróleo.

Para reconstruir a sequência de eventos que formou uma rocha e a paisagem a sua volta, os geólogos observam e mapeiam várias pistas ambientais, buscando marcas do tempo não só na aparência, mas também nas propriedades químicas e físicas das formações pétreas. Depois de analisar os elementos radioativos contidos nelas, eles conseguem determinar com precisão quando e a que temperatura ocorreram os eventos mais importantes de sua longa trajetória. Para isso, o laboratório de Hackspacher conta com infraestrutura de ponta. Os equipamentos usados para datar a história térmica das rochas foram adquiridos com apoio de Fapesp, CNPq e também de empresas como Vale e Petrobras.

Para recontar histórias que aconteceram há dezenas de milhões de anos, os cientistas de Rio Claro usam como referências dois processos que simultaneamente transformaram a superfície da Terra: a erosão e a atividade tectônica.

A erosão é o desgaste das rochas, que

se transformam em sedimentos pela ação da água, do vento e dos seres vivos. Isso pode fazê-las afundar ou soerguer-se alguns quilômetros ao longo de milhões de anos. O peso dos sedimentos acumulados em uma bacia, por exemplo, faz a camada rochosa abaixo dela afundar. Mais tarde, outro evento que cause erosão ou arraste para longe as rochas sedimentares do mesmo local pode aliviar essa pressão e trazer a camada à tona.

A energia que move os processos erosivos vem da luz do Sol e da força da gravidade. Já no caso da atividade tectônica, o que move as placas sobre as quais se assentam continentes e oceanos é o calor do interior da Terra. Esse movimento é o que origina os vulcões e suas erupções, os terremotos e o erguimento de montanhas, eventos que ocorrem principalmente nas bordas das placas – caso da cordilheira dos Andes, formada na zona de choque das placas do continente sul-americano com as do assoalho do oceano Pacífico.

Apesar de em menor grau, os movimentos tectônicos também podem acontecer no interior das placas, lembra Daniel de Godoy, aluno de pós-doutorado de Hackspacher. Segundo ele, o Brasil está localiza-

do bem no meio da placa Sul-americana, mas são visíveis os reflexos da atividade nos Andes em falhas rochosas observadas no Acre, por exemplo. “Além disso, nosso litoral sofreu no passado grandes esforços tectônicos durante a formação do oceano Atlântico”, explica ele.

Esquenta e esfria

Assim como os processos erosivos, forças no interior e nas bordas das placas tectônicas podem afundar ou elevar uma porção rochosa. Esses eventos são bem marcados por aquecimento ou resfriamento das rochas, causados pelo atrito do movimento ou pela própria variação de temperatura no interior da Terra – a cada quilômetro de profundidade, ela aumenta cerca de 25°C. Essas mudanças de temperatura deixam marcas em minerais como o zircão (silicato de zircônio) e a apatita (fosfato de cálcio), que funcionam como termômetros e cronômetros naturais.

Zircão e apatita contêm alguns átomos do elemento químico radioativo urânio, que se alojam em meio à estrutura que forma o mineral. Os núcleos dos átomos de urânio, com massa atômica de 238, não conseguem se manter inteiros por muito



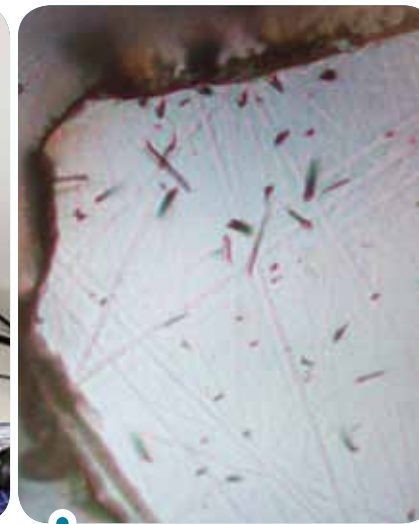
DOBRA NO TEMPO
Rocha encontrada em Sobral (CE), numa das últimas viagens dos geólogos



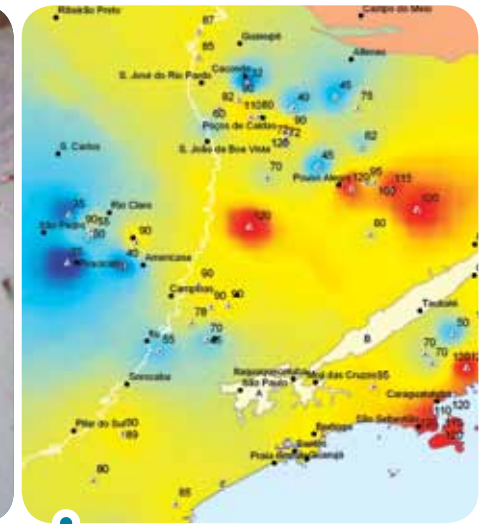
MÉTODO CASEIRO
Usando um ímã de geladeira embrulhado em papel, a estudante de graduação Jaqueline Silva tira o excesso de minerais que não interessam ao estudo



LEITURA NA PEDRA
O pós-doutorando Daniel Godoy analisa ao microscópio uma lâmina de apatita



RASGOS DO PASSADO
Cada traço indica um átomo de urânio que se partiu e "rasgou" o mineral



HÁ 60 MILHÕES DE ANOS EM SP
Mapa de paleotemperatura mostra rochas entre 120 °C (vermelho) e 25 °C (azul)

tempo e tendem a se quebrar. O processo é conhecido como fissão espontânea e acontece ao acaso, ao longo de bilhões de anos. Uma pequena explosão parte o núcleo do urânio-238 ao meio e a energia dessa ruptura faz com que se afastem os demais átomos próximos a ela. “Essa energia provoca um rasgo no mineral”, explica Hackspacher.

Se, durante a fissão do urânio-238, a temperatura das profundezas onde a rocha está for muito alta, os rasgos cicatrizam e logo desaparecem. Mas se estiver abaixo de um certo valor – menos de 120 °C para a apatita e menos de 240 °C para o zircão – as marcas da explosão vão perdurar e poderão ser analisadas pelos geólogos.

Quilos de material

Na prática, o trabalho da equipe de Hackspacher começa com viagens para “esses fins de mundo”, como diz o geólogo, dos quais voltam com caixas e sacos de rochas que extraem com martelos de afloramentos devidamente descritos e mapeados. As últimas expedições foram ao interior do Ceará e do Piauí e a próxima será ao Paraguai. Às vezes é tanto material que precisam contratar uma transportadora para trazê-lo até Rio Claro.

No laboratório, a primeira etapa é quebrar as rochas a marretadas, até elas ficarem em pedaços suficientemente pequenos para entrar numa máquina britadora. Os

dentes da britadeira precisam estar muito bem escovados e limpos para evitar contaminações. Depois vem a moagem e a pulverização, feitas por equipamentos dotados de rolos compressores e peneiras ultrafinas para garantir que os grãos do pó tenham todos a mesma dimensão – mais ou menos entre o tamanho dos grãos de argila e de areia muito fina. A uniformidade é importante para que funcionem bem as técnicas de separação da apatita e do zircão do restante do material. “Da rocha moída, aproveitamos em geral menos de 1% do material”, diz Hackspacher.

O trabalho braçal geralmente é realizado por alunos de graduação, que usam óculos para se proteger de lascas de rocha e máscaras com filtros de ar para poupar os pulmões de doenças como a silicose. “Se não usar a máscara, tosse tijolo”, brinca Godoy. Na aparência, porém, ninguém sai ileso. “Precisa ver uma moça bem arrumada entrar aqui e, depois, como ela sai, com o cabelo todo branco”, conta Hackspacher.

Usando uma autêntica batedeira de garimpeiro em um tanque com água, Godoy separa os minerais mais leves, como o quartzo e o feldspato, dos mais pesados, entre eles o zircão e a apatita. “A batedeira manual exige uma habilidade que só o Daniel Godoy tem por aqui”, conta o chefe. “Se ele não está disponível, usamos uma batedeira automática, mas que demora muito.”

Depois do trabalho de peão, vêm as

etapas mais meticulosas do processo, que começam num laboratório de separação magnética. Ali, um ímã de intensidade ajustável permite separar zircão e apatita do que não interessa. A amostra então segue para outro laboratório, onde o pó é jogado num líquido denso chamado bromofórmio, que ajuda a purificar ainda mais a amostra. Os grãos mais leves que o líquido boiam, enquanto os mais pesados afundam. Depois de secas, as partículas de densidade certa estão prontas para serem examinadas sob uma lupa.

Contando cicatrizes

Enquanto observa pela lupa com ampliação de quarenta vezes, Godoy manipula o material com a ponta lixada de uma lapiseira de grafite 0,5 mm. “Faço uma fileira com os grãos e empurro apatita para um lado e zircão para o outro”, explica o geólogo de olhos muito bem treinados para a tarefa. “Vejo cor, brilho e a forma, que refletem as características do retículo cristalino do mineral”, acrescenta.

Separados a apatita e o zircônio, chega a hora de cortar uma lâmina fina de cada um deles para enxergar o rasgo mineral, isto é, as marcas deixadas pela fissão do urânio-238. “Para descobrir a densidade exata de traços, a gente precisa tirar uma camada mínima do mineral”, descreve Godoy. Essa camada mínima é a superfície plana mais delgada possível, obtida por

meio de polimento com pasta de diamante.

Em seguida as lâminas são expostas a ácidos que realçam o contraste entre as porções intactas do mineral e as áreas machucadas pela fissão do urânio-238. Finalmente, os pesquisadores podem colocar o molde em um microscópio, ampliá-lo entre 1.000 e 1.500 vezes e, com a ajuda de softwares, contar o número de traços de fissão de urânio-238.

Apenas contar os traços de fissão, porém, não é suficiente para determinar há quanto tempo a apatita da amostra esteve a 120 °C graus ou o zircão esteve a 240 °C. O número de cicatrizes diz quantos átomos de urânio-238 fissionaram desde aquela data, mas não revela outro dado fundamental para calcular a idade da pedra: quantos átomos de urânio-238 existiam originalmente no mineral.

Para fechar esta conta, os geólogos analisam outro elemento da amostra, o urânio-235. Diferentemente de seu congêner de maior massa atômica, este não sofre fissão espontânea ao longo do tempo. Logo, seu número na amostra praticamente não muda desde a formação da pedra. “No início de sua cristalização, o mineral capturou esses átomos [urânio-238 e urânio-235] em uma proporção fixa que a gente conhece”, explica Godoy. A partir do número de átomos de urânio-235 na amostra, portanto, dá para deduzir o quanto ela continha de urânio-238.

Para quantificar o urânio-235, as amostras são enviadas ao Ipen (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares), associado à USP. Lá, um feixe de nêutrons bombardeia cada amostra, induzindo o urânio-235 a fissionar, o que deixa um traço na lâmina de mica posicionada sobre ela. Pela quantidade desses traços, os pesquisadores descobrem quantos átomos de urânio-235 existem na amostra.

Finalmente, os geólogos têm tudo o que precisam saber para calcular quantos milhões de anos se passaram desde a última vez que a rocha esteve a 120 °C ou 240 °C. Mas esse é apenas o começo da análise. “É o comprimento dos traços que conta a história térmica do mineral”, explica Hackspacher.

“Os traços de fissão na apatita, por exemplo, surgem com o mesmo tamanho, em

torno de 15 micrômetros (milionésimos de milímetro). Com o tempo, a estrutura cristalina do mineral se recompõe e o traço vai encurtando”, acrescenta o geólogo.

O ritmo de encurtamento dos traços depende das temperaturas pelas quais o mineral passou até chegar à superfície. Se o calor aumenta, o encurtamento é mais rápido; se diminui, ocorre o contrário. Os pesquisadores conhecem bem essa dinâmica por meio de experimentos com os minerais em laboratório.

Mapas do tesouro

Com análises estatísticas e modelos matemáticos baseados nesses experimentos, eles constroem um gráfico da evolução da temperatura ao longo do tempo para cada amostra, o que permite criar mapas de paleotemperatura de uma região (veja a figura acima).

Godoy dá um exemplo de como mapas de paleotemperatura podem ajudar a localizar jazidas de hidrocarbonetos. “O traço de fissão de apatita é sensível a eventos que aconteceram em temperaturas entre 120 °C e 60 °C, justamente a janela de maturação da matéria orgânica que dá origem ao petróleo”, explica.

“Se estudarmos uma bacia sedimentar e descobrirmos que ela esteve aquecida a 80 °C durante 10 milhões de anos, isso sugere que houve tempo e condições suficientes ali para a formação de petróleo.”

O trabalho braçal geralmente é feito por alunos de graduação, que usam óculos para se proteger das lascas e máscaras com filtros de ar para poupar os pulmões de doenças como a silicose. “Se não usar a máscara, tosse tijolo”