

GEOLOGIA



AS  
SERRAS  
DO LITORAL  
SE MOVEM



Sujeitas a um desgaste incessante, lentamente elas avançam para o interior do continente e, em milhões de anos, podem formar uma vasta planície litorânea

**Carlos Fioravanti**

A identificação das taxas de desgaste das rochas nos últimos 100 mil anos esclareceu um pouco mais o passado e o que poderá ocorrer no futuro da paisagem das serras do Mar e da Mantiqueira, nas regiões do Sudeste e Sul. Depois de examinar a movimentação do relevo por meio da abundância de elementos químicos em minerais coletados em 24 pontos da região, o geógrafo Daniel Souza, do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE-USP), concluiu que as rochas das montanhas do município de Ubatuba, no litoral norte paulista, apresentam a maior taxa de erosão na região. Isso significa que perderam até 100 metros (m) de altura por milhão de anos, o equivalente a 1 centímetro a cada 100 anos – o desgaste da cordilheira dos Andes é dez vezes maior. Esse material é transportado e acumulado para o litoral, fazendo com que a praia se amplie lentamente em direção ao interior. Em milhões de anos, a planície costeira poderá ser tão larga quanto a do município de Santos, também no litoral paulista.

“A erosão das rochas das serras diminuiu, mas nas escarpas litorâneas nas bordas das serras continua tão intensa quanto há milhões de anos”, observou Souza. Escarpa é uma inclinação abrupta na borda de uma região plana, enquanto serra é uma estrutura que geralmente se assemelha a um prisma alongado. As análises do geógrafo indicaram que a erosão é mais intensa na serra do Mar, por causa das chuvas constantes, do que na serra da Mantiqueira, outro conjunto de montanhas que ocorre paralelo à do Mar, mas no interior dos estados de São Paulo e Minas Gerais. “Os rios e as chuvas estão corroendo as bordas dos planaltos e ampliando as escarpas”, concluiu.

Descrito em outubro de 2020 na *Journal of South American Earth Sciences*, o trabalho de

Souza reforçou as evidências sobre o recuo das escarpas litorâneas em 10 quilômetros (km) a cada 10 milhões de anos e delinea o que pode acontecer no futuro: o avanço das escarpas para o interior e a ampliação das planícies costeiras, além da transformação de regiões serranas em vastos planaltos, a não ser que outros movimentos da superfície terrestre façam as serras empinarem novamente ou criem outras.

Durante seu doutorado, realizado no Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da Universidade Estadual Paulista (Unesp), sob orientação do geólogo Peter Hackspacher, com apoio da FAPESP, Souza aplicou duas técnicas para analisar os movimentos do relevo na região serrana.

A primeira é a termocronologia, que estima a evolução da temperatura das rochas no interior do planeta ao longo do tempo, de acordo com a taxa de decaimento (perda de massa) de seus elementos químicos radioativos – quanto menor a temperatura, mais próximo à superfície a rocha foi gerada. Por meio dessa metodologia ele examinou a proporção de urânio, tório, samário e hélio de seis amostras de granitos e gnaisses, às quais somou análises de 130 pontos da região feitas desde a década de 1990 por Hackspacher e outros pesquisadores do Brasil e do exterior.

A outra técnica é a medição de isótopos do elemento químico berílio ( $^{10}\text{Be}$ ), formado pela interação de quartzo com raios cósmicos – quanto mais berílio  $^{10}$ , menor a erosão. Isótopos são variantes de um elemento químico que diferem na quantidade de nêutrons, mas possuem o mesmo número atômico ou de prótons.

Souza apresentou as análises de suas 18 amostras de sedimentos coletados em areia do fundo de rios em abril de 2019 na *Geomorphology* e as complementou com as 26 do geógrafo André Salgado, da Universidade Federal de Minas Ge-

# Cordilheira fragmentada

Movimentos da crosta formaram, separaram e moldaram as serras do Mar e da Mantiqueira

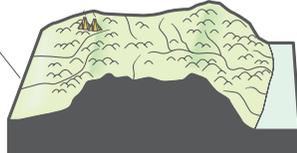
## 130 MILHÕES DE ANOS

Após a separação da América do Sul da África, as serras do Mar e da Mantiqueira se formaram, inicialmente, como uma única elevação



## ENTRE 100 MILHÕES E 70 MILHÕES DE ANOS

As serras crescem mais e atingem 4 mil metros de altitude, o dobro da atual. Há uma intensa atividade vulcânica nas regiões em que estão hoje Poços de Caldas, Itatiaia e São Sebastião



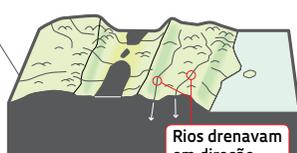
## ENTRE 70 MILHÕES E 55 MILHÕES DE ANOS

Tremores intensos separaram a montanha em dois grandes blocos: a serra do Mar, próximo ao litoral, e a da Mantiqueira, no interior. O planalto de Campos do Jordão se estabelece no trecho mais alto na região, com 2 mil metros



## DE 55 MILHÕES A 15 MILHÕES DE ANOS

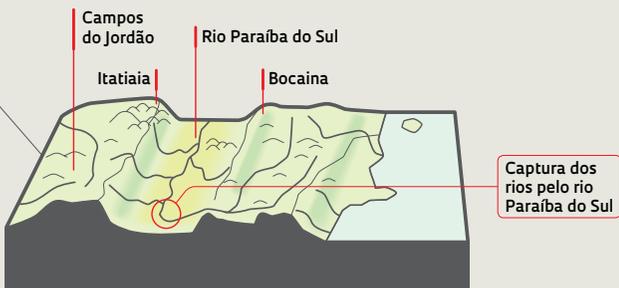
Sedimentos resultantes da erosão das serras do Mar e da Mantiqueira se acumulam no Vale do Paraíba e formam uma camada com 800 m de espessura. Áreas antes serranas se tornam planaltos com relevo aplainado



Rios drenavam em direção ao rio Tietê

## NOS ÚLTIMOS 15 MILHÕES DE ANOS

Em resposta a movimentos da crosta, o rio Paraíba do Sul se rompe, separa-se da bacia do Tietê, muda de direção e começa a drenar o Vale do Paraíba, desaguardo no mar. A erosão se concentra nas escarpas mais próximas do litoral, que se movimentam até suas posições atuais



Captura dos rios pelo rio Paraíba do Sul



FONTES DANIEL SOUZA, PETER HACKSPACHER E CLAUDIO RICCOMINI

rais (UFMG), descritas em fevereiro de 2016 na revista *Journal of South American Earth Sciences*.

Juntos, esses trabalhos detalham a história das serras do Mar e da Mantiqueira, moldadas por incessantes movimentos da superfície e pela erosão causada por rios e pelo clima, principalmente a chuva. Um dos resultados da separação dos continentes, iniciada cerca de 130 milhões de anos atrás, as serras litorâneas do Sudeste e Sul constituíram inicialmente uma elevação única. Depois cresceram um pouco mais, atingindo 4 mil m de altitude, o dobro da Pedra da Mina, o ponto mais alto da região hoje, e se afastaram, formando o Vale do Paraíba (*ver infográfico*).

**H**ackspacher enumera três consequências dessa movimentação. A primeira é a formação das reservas de petróleo nas bacias sedimentares de Santos e de Campos, no litoral dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. A segunda é o desvio de rios. “O soerguimento das serras bloqueou o curso do rio Paraíba, que se separou do Tietê e começou a correr para o mar”, exemplifica. A terceira é a separação de comunidades de animais e plantas, favorecendo a formação de novas espécies.

“Estamos apenas confirmando e detalhando, com técnicas modernas, as conclusões de Fernando Almeida [1916-2013]”, reconhece Hackspacher, que também recebeu apoio da FAPESP. Engenheiro carioca que se voltou à geologia, Almeida começou na década de 1950 a examinar a região serrana do estado de São Paulo, propondo hipóteses para a sua formação, como a separação das serras.

“Essa região é um exemplo fascinante de movimentação tectônica intraplaca, como ocorre em poucos lugares do mundo”, diz o geólogo Claudio Riccomini, do IEE-USP e do Instituto de Geociências da USP, que estuda a região desde os anos 1980. “Além do clima”, diz ele, “há uma forte influência dos movimentos tectônicos, mesmo nos últimos 20 mil anos, na modelagem e na erosão do relevo”. Um estudo de que ele participou, publicado em maio de 2018 na *Journal of Seismology*, registrou mais de 20 falhas geológicas potencialmente ativas na região. ■

## Projetos

1. Evolução do relevo da bacia do rio Sapucaí – MG: Relações entre dinâmicas de longo e curto prazo no tempo geológico (nº 14/14702-0); Modalidade Bolsa de Doutorado; Pesquisador responsável Peter C. Hackspacher (Unesp); Bolsista Daniel Henrique de Souza; Investimento R\$ 152.138,10.
2. História de exumação da plataforma sul-americana, a exemplo da região Sudeste brasileira: Termocronologia por traços de fissão e sistemáticas Ar/Ar e Sm/Nd (nº 00/03960-5); Modalidade Projeto Temático; Pesquisador responsável Peter C. Hackspacher (Unesp); Investimento R\$ 1.282.335,65.

Os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.