

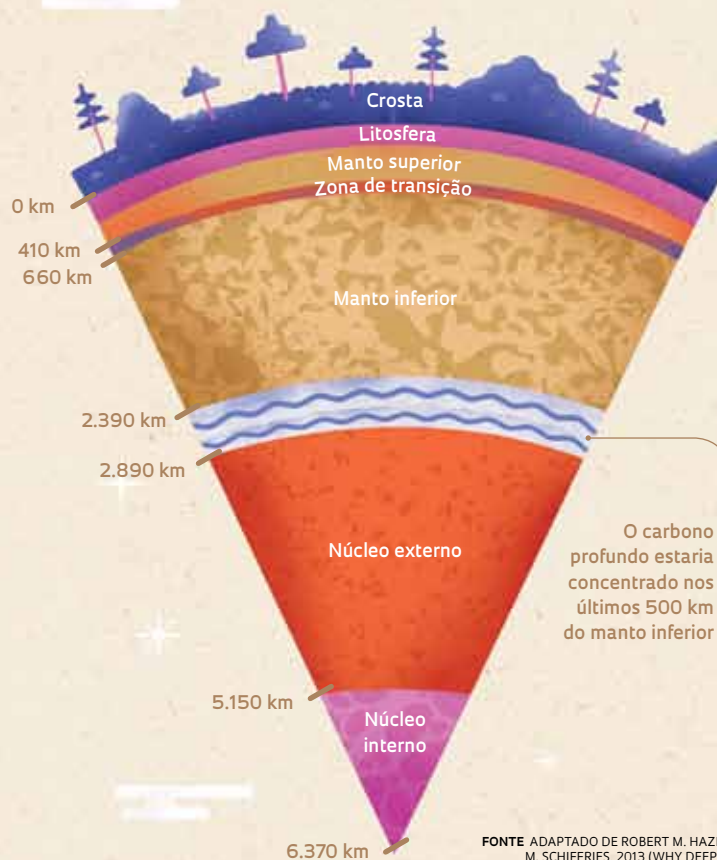
O elemento subterrâneo

Simulações sugerem que parte considerável do carbono do planeta estaria escondida nas profundezas da Terra

Igor Zolnerkevic

Cálculos de um trio de físicos teóricos da Universidade de São Paulo (USP) forneceram uma nova pista que pode ser útil para desvendar um dos principais enigmas sobre a composição e o funcionamento do interior da Terra: onde estão as reservas ultraprofundas que contêm 90% do carbono do planeta? As simulações computacionais feitas por Michel Marcondes e Lucy Assali, do Instituto de Física (IF), e João Francisco Justo Filho, da Escola Politécnica, sugerem que alguns desses depósitos de carbono poderiam estar escondidos em manchas subterrâneas com cerca de mil quilômetros (km) de extensão e 100 km de espessura por onde as ondas sísmicas viajam relativamente mais devagar.

Essas manchas, chamadas zonas de baixas velocidades sísmicas ou simplesmente ULVZ (Ultra Low Velocity Zones), encontram-se sobretudo no segmento final de uma camada da Terra conhecida como manto inferior, de profundidade entre 660 km e 2.890 km (ver figura). De acordo com um estudo publicado pelos brasileiros em setembro na revista científica *Physical Review B*, o elemento carbono tende a não se misturar como uma impureza no meio dos depósitos de minerais à base de silício, as chamadas perovskitas silicáticas, predominantes no manto inferior. Ao invés de se unir, ele se separa das perovskitas silicáticas e forma seus próprios depósitos de minerais, como a magnesita ($MgCO_3$) e o carbonato de cálcio ($CaCO_3$).



FONTE ADAPTADO DE ROBERT M. HAZEN E CRAIG M. SCHIFFRIES, 2013 (WHY DEEP CARBON?)



Os físicos aplicaram as leis da mecânica quântica para simular em computador a estrutura atômica de alguns tipos de minerais nas condições do manto inferior, onde as temperaturas chegam a milhares de graus Celsius e as pressões são milhões de vezes maiores do que na superfície terrestre. Em seguida, calcularam como esses minerais se comportariam quando fossem atravessados por uma onda sísmica gerada por um terremoto. “A presença dos minerais de carbono diminui consideravelmente a velocidade de propagação das ondas, como ocorre nas ULVZs”, diz Marcondes. Nos depósitos de minerais à base de silício, os abalos sísmicos viajaram mais rapidamente. Marcondes utilizou as técnicas que aprendeu com Renata Wentz-covitch, física brasileira da Universidade de Minnesota, Estados Unidos, que desenvolve métodos computacionais para estudar a estrutura atômica de materiais nas condições extremas de temperatura e pressão do interior da Terra, muito difíceis de ser reproduzidas em laboratório (ver Pesquisa FAPESP nº 198).

“Nos últimos 500 km do manto inferior, há grandes regiões em que as velocidades das ondas sísmicas são cerca de 5% mais lentas do que a média”, explica o geofísico Marcelo Assumpção, do Centro de Sismologia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP. “Antes, achava-se que a origem delas eram flutuações de temperatura no manto inferior. Mas estudos recentes vêm mostrando que variações na composição química das camadas geológicas, como a presença de mais ou menos sílica, ferro ou carbonatos, são necessárias para explicar as observações.” O trabalho de Marcondes e seus colegas sinaliza que uma maior porcentagem de minerais ricos em carbono, como as magnesitas e os carbonatos de cálcio, poderia ser a explicação para a ocorrência de ULVZs. “Resta saber como essa concentração de carbonatos teria se acumulado no manto inferior, mas isso é outra história.”

O OUTRO CICLO DO CARBONO

As teorias sobre a origem do Sistema Solar sugerem que a concentração total de carbono na Terra deveria ser mais ou

O carbono pode estar inserido em diversos materiais, como diamantes, líquidos e sólidos misturados ao manto e ao núcleo terrestre, ou em microrganismos

menos a mesma das rochas de um tipo de meteorito, os condritos carbonáceos, cuja composição química permaneceu praticamente inalterada desde a época de formação do planeta, há cerca de 4,5 bilhões de anos. Mas, quando os pesquisadores somam a quantidade de carbono presente em todas as fontes conhecidas – na atmosfera, nos oceanos, na superfície da crosta terrestre e a algumas dezenas de quilômetros logo abaixo dela –, o valor chega a apenas 10% do esperado. “Esse carbono faltante tem de estar em algum lugar”, diz Marcondes, que abordou o problema em sua tese de doutorado, defendida em setembro. “Há evidências de que os 90% restantes estão armazenados em regiões profundas do interior da Terra.”

Base química da vida, o carbono circula pela superfície terrestre de maneira já bem conhecida pelos pesquisadores. Como gás metano (CH₄), monóxido (CO) ou dióxido de carbono (CO₂) está na atmosfera. Por meio da fotossíntese, algas e plantas retiram CO₂ do ar e fixam carbono na forma de matéria orgânica, que eventualmente vai se decompor e ser depositado em reservas de combustíveis

fósseis em camadas de rocha da crosta continental e oceânica. A respiração de vegetais e de animais, além de processos de combustão, devolve o carbono ao ar.

Pesquisas recentes nas áreas de sismologia e geoquímica, porém, têm indicado que esse ciclo superficial do carbono deve estar ligado a outro, mais lento e mais profundo. Ao longo de dezenas de milhões de anos, as rochas do manto se comportam como um fluido. Suas correntes descendentes poderiam arrastar consigo grandes pedaços da crosta oceânica, cheias de carbono, que afundariam até o manto inferior. Já as correntes ascendentes do manto poderiam levar parte do carbono ultraprofundo à superfície. Uma evidência disso, explica Marcondes, são os chamados diamantes ultraprofundos, como os descobertos nas minas do município de Juína, em Mato Grosso. São pequenos pedaços de diamante cujas impurezas químicas indicam que, antes de serem trazidos à superfície por erupções vulcânicas, eles se originaram em profundidades superiores a 670 km. A maioria dos diamantes se forma a cerca de 150 km abaixo da superfície.

Segundo um relatório publicado em 2014 pelo Observatório do Carbono Profundo, um programa de pesquisa coordenado por Robert Hazen, geofísico do Instituto Carnegie, Estados Unidos, a localização exata das reservas de carbono profundo e sua extensão ainda são uma grande incógnita. O relatório conclui, entretanto, que o carbono pode estar inserido em uma grande variedade de materiais, além dos diamantes ultraprofundos e dos minerais carbonáticos. Ele pode se encontrar na forma de microrganismos vivendo nas profundezas da crosta terrestre ou em uma dúzia de tipos de sólidos e líquidos que estão misturados ao manto e ao núcleo terrestre. “É uma questão muito complicada”, diz Marcondes. “Ainda vamos demorar muito para chegar a uma resposta definitiva.” ■

Artigo científico

MARCONDES, M. L. et al. Carbonates at high pressures: Possible carriers for deep carbon reservoirs in the Earth's lower mantle. *Physical Review B*. v. 94, n. 10. Set. 2016.