



Tectônica de Placas, 50 anos: as origens e a evolução do conhecimento

PLATE TECTONICS, 50 YEARS: THE ORIGINS AND THE EVOLUTION OF KNOWLEDGE

BENJAMIM BLEY DE BRITO-NEVES

PROFESSOR SÊNIOR. INSTITUTO GEOCIÊNCIAS, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, S. PAULO-SP, BRASIL.

E-MAIL: BBLEYBN@USP.BR

Abstract: The formulation of Plate Tectonics Theory in the 1970's revolutionized Earth Sciences. For the first time, geologists explained and justified orogenic phenomena, considering the seismic-petrologic composition and the geodynamic behavior of Earth. The extraordinary expansion of these conceptions influenced all fields of Geosciences, becoming reference in textbooks and burying the "Geosynclinal theory", "fixists ideas" etc. New scientific observations reinforced the original models. The paradigma of the Phanerozoic orogenic systems received many complements, some from the study of Precambrian terranes. Details of the interaction of plates over Geologic Time, anatomy of different orogenic belts, processes of fusion and fission of continents have revealed the irreversible evolution of the planet. After 50 years, Plate Tectonics is an innovative theory, scientifically enriched without losing essential roots. This article presents the most scientific facts and addenda, based on references and the author's professional experience, as professor and field geologist.

Resumo: Nos anos 1970, a formulação da Teoria da Tectônica de Placas revolucionou as Ciências da Terra. Pela primeira vez, os geólogos conseguiam explicar o fenômeno orogênico, com base na composição e estrutura sísmico-petrológica do planeta e de sua geodinâmica. A expansão daquelas concepções iniciais influenciou todos os campos das Geociências, tornando-se referência de livros-textos e sepultando a "Teoria Geossinclinal" e as ideias "fixistas", em geral. Os detalhes da interação de placas ao longo do Tempo Geológico, a anatomia de diferentes cinturões orogênicos, bem como os processos de fusão e fissão de continentes revelaram a evolução irreversível da Terra. Após 50 anos, *Plate Tectonics* é uma teoria cientificamente rejuvenescida e inovadora, sem perder os vínculos essenciais. Este artigo apresenta os mais importantes fatos científicos e adendos, com base em referências bibliográficas e na experiência do autor, como professor e geólogo de campo.

Citation/Citação: Brito-Neves, B. B. de. (2020). Tectônica de Placas, 50 anos: as origens e a evolução do conhecimento. *Terra Didática*, 16, 1-20, e020043. doi: 10.20396/td.v16i0.8660244.

Keywords: Lithosphere, Asthenosphere, Magmatic Arcs, Mobilism, Fixism, Crustal types.

Palavras-chave: Litosfera, Astenosfera, Arco Magmático, Mobilismo, Fixismo, Tipos crustais.

Manuscript/Manuscrito:

Received/Recebido: 20/06/2020

Revised/Corrigido: 08/10/2020

Accepted/Aceito: 13/11/2020



Introdução

A Geotectônica como ciência, mais ou menos definida (extraída da então ampla Geognósia), tem cerca de 160 anos. Neste tempo atravessou várias fases de modelos e conceitos, ora considerados virtuosos, ora rapidamente contestados, até a metade do século passado, quando ficou encurralada entre os novos adeptos do *Mobilismo* (defensores da Tectônica de Placas) e os predecessores, adeptos do *Fixismo* (os "geossinclinalistas" e afins) como eram informalmente designados. A cisão e competição têm vários capítulos; o saldo da soma algébrica dos embates pode ser considerado positivo.

Os *fixistas* não revelaram qualquer preocupação com a estrutura do interior do planeta e/ou com sua geodinâmica. Bastavam para eles modelos gráficos inteligentes que incorporassem (e servissem de explicação razoável) para o máximo de feições tectônicas e tipos crustais expostos. No início

dos anos 1970 (com alguns trabalhos precursores como suporte) apareceram as teorias da Expansão do Assoalho Marinho (*Sea-Floor Spreading*) e da Tectônica de Placas Litosféricas, com relativo suporte em observações geológicas, geofísicas e geoquímicas. Estabeleceu-se a convencionalizada "Revolução dos anos 1970", como foi apelidada a Tectônica de Placas, muito focada na evolução das cadeias fanerozoicas.

Nas últimas cinco décadas o modelo das placas sofreu muitas contestações, em alguns aspectos, e muitas observações complementares (enxertos qualitativos, adendos) de geólogos de todo mundo, principalmente dos que trabalhavam em áreas pré-fanerozoicas (mas, não somente). Foram observações preciosas, advertências científicas e inserções inteligentes de diversas ordens, e com suporte de dados de ciências auxiliares (Geofísica e Petrologia sobretudo).

A “Revolução dos anos 70” teve méritos extraordinários. Os méritos incontáveis estão realçados em vários trabalhos, incluindo-se o banimento da Teoria Geossinclinal. Os primeiros modelos propostos (Dewey & Bird, 1970a e 1970b, Dewey & Burke, 1973) sofreram críticas e, gradativamente, muitos enxertos de várias observações geológicas e geofísicas preciosas, e este aprimoramento foi considerável. Sem perder os liames e raízes originais, o enriquecimento das observações complementares (algumas delas já do começo dos anos 1970) foi incessante e de grande valia. Os modelos originais (tolhidos pelo relativamente pequeno conhecimento da época) foram extremamente enriquecidos pelo que chamamos “adendos” que transformaram em muito e aprimoraram a Tectônica de Placas. Muito do que hoje é parte inalienável do contexto e acervo da teoria, como observações concretas e possibilidades indicadas, havia inicialmente sido condenado pelos proponentes sementais. Vivenciamos meio século de progresso contínuo, graças aos debates críticos e a adendos científicos que foram propostos *pari passu*. Já podemos sentir que há muitas possibilidades de enriquecimento de contexto atual para os próprios decênios, pelo progresso contínuo das investigações e graças ao extraordinário crescimento (em processo) de novas tecnologias.

Há três anos, *The Geological Society of London* promoveu um evento comemorativo da proximidade dos 50 anos da Tectônica de Placas, com a presença de cientistas de todo o mundo, com destaque para alguns dos pioneiros do tema, como John Dewey (*University College, Oxford*), Xavier Le Pichon (*Collège de France*) e Dan Mackenzie (*Cambridge University*). Nossa participação foi alvissareira e nos deu a oportunidade de tomar ciência e se inteirar/conviver intensamente com os progressos feitos no conhecimento da Tectônica, a partir de e por conta daqueles modelos remotos dos anos 1970. Houve um extraordinário *up to date* que, ao invés de desmerecer, exalta a oportunidade e os valores intrínsecos daqueles modelos primordiais.

O objetivo deste trabalho – ao destacar o quinquagenário desta teoria – é tentar atualizar os conceitos, rememorar a bibliografia (inclusive agregando os muitos adendos/fatos científicos enxertados). Procuraremos ser objetivos na pretensão de trazer o conhecimento tectônico para as exigências (cobranças) e patamares de nossos dias. Houve progresso inquestionável, mas ainda há vários problemas que só doravante poderão ser enfrentados (dependemos ainda de tempo, novas

investigações e tecnologias). Deixemos bem claro que muitos que criticam hoje a chamada Tectônica de Placas não ficaram cientes dos progressos e do enriquecimento da Teoria ao longo de 50 anos, fato que foi bastante discutido no encontro comemorativo, celebrado em Londres (2017).

Muitas críticas (ainda) feitas sobre a teoria procedem da falta de informação sobre o progresso auferido (como discutido no encontro de Londres, 2017) e pelas tentativas de observância incondicional de esquemas (então valiosos) do início dos anos 1970, atualmente superados, mas que foram gatilho fundamental.

Em tempo, devemos enfatizar que Tectônica de Placas e Tectônica Global são designações que se alternam na bibliografia desde a década de 1970, dependendo da escolha do autor. Não existem definições formais (institucionalizadas) para separar tais usos.

Breve Histórico

A Geotectônica desde sua concepção como ciência (ca. 1860) passou por várias fases evolutivas, e admitiu diferentes esquemas para a interpretação dos crátons e faixas móveis. Neste momento, conhecer este histórico é importante para embasar o longo caminho para se chegar ao quadro de conhecimento das últimas décadas, e os passos necessários a serem dados e marcados para o futuro.

- a) Na segunda metade do século passado, delongado embate ocorreu. Do lado norte-americano (e em parte da Europa Ocidental) houve o predomínio absoluto dos modelos ditos *mobilistas ou plaquistas* (adeptos da Tectônica de Placas) com muitos seguidores. Estes modelos e conceitos começaram a estar presentes e lastreados pelos principais livros textos de Tectônica Global de circulação mundial. Diga-se, de passagem, com modelos baseados em paradigmas fanerozoicos dos continentes setentrionais.

É possível destacar dois grupos de alicerces fundamentais (Tab. 1):

- i) o dos pioneiros (“revolução dos anos 1960”, de alguns autores) que começaram tatear de forma segura alguns dos alicerces fundamentais da teoria, como o *sea floor spreading*, presença e significado das cristas meso-oceânicas, histórico das bacias oceânicas, anotações iniciais sobre as falhas transformantes, interações continentes-oceanos etc.
- ii) o dos elaboradores da teoria, costurando as

observações de seus predecessores, e de forma notável (e feliz, ao seu tempo) chegando a formular a teoria, com ênfase na elaboração/ interpretação de processos orogênicos. Os paradigmas principais utilizados foram as faixas orogênicas dos continentes setentrionais. Principalmente as sínteses de Dewey & Bird (1970a, 1970b) e Dewey & Burke (1973) tiveram divulgação mundial, de forma marcante, mas não exclusiva, nos continentes setentrionais. A terceira publicação já “corrigira/incrementara” as primeiras críticas que surgiram aos modelos do início dos anos 1970, de Dewey & Bird (orogênicas acrescionárias: arcos de ilhas; arcos magmáticos; orógenos colisionais: continente vs. continente, continente vs. arco magmático). Na verdade, foram muitos os trabalhos importantes dessa época, mas os três acima foram disparadamente os que mais circularam no mundo.

- b) Do ponto de vista das escolas orientais (soviéticas e aficionadas) houve predomínio absoluto dos modelos ditos geossinclinais – *sensu lato* – ou da chamada linha “Kober-Stille-Aubouin”, que eram/foram seguidos em grande parte do mundo, e que se antepunham aos modelos ditos *mobilistas*. Isto pode ser observado em trabalhos até a última década do século passado: os livros de Belousov (1962), Aubouin (1965), Muratov (1972), Khain (1960), dentre outros, eram intensamente utilizados (antes, e mesmo ao longo de décadas pós-1970). Os suportes, alicerces mais utilizados dessa escola de pensamento científico, hoje, sequer são citados. É oportuno acrescentar que todo o conhecimento geotectônico do nosso continente foi inicialmente esboçado com base nessas escolas. Somente a partir de meados da segunda metade da década de 1970, começaram a surgir os primeiros trabalhos tentando seguir as premissas da Tectônica de Placas.
- c) O debate entre esses grupos de modelos (*mobilistas* vs. *fixistas*) chegou aos países do terceiro mundo por várias razões como: acesso mais fácil, melhor divulgação, rivalidade político-científica, resíduos da guerra fria, condição “terceiro mundista” etc. Os modelos *plaquistas/mobilistas* enfatizavam a importância da participação da litosfera oceânica, apoiados nos dados geofísicos e geoquímicos, que em essência procuravam coordenar os modelos com o

Tabela 1. Quadro de autores e datas dos precursores e pioneiros da Tectônica de Placas

Precusores (anos 1960)	Dietz (1961, 1963) Hess (1962) Dietz & Holden (1966) Wilson (1965a, 1965b, 1968) Vine & Mathews (1963) Le Pichon et al. (1965) McKenzie & Morgan (1969) Molnar & Gray (1969)) Morgan (1968, 1972) Isacks et al. (1968) Mitchell & Reading (1969) Coney (1970)
Pioneiros (anos 1970)	Dewey & Bird (1970a, 1970b)* Dewey & Horsfield (1970) Dickinson (1970, 1971a, 1971b, 1971c, 1972) Toksoz et al. (1971) Dewey & Burke (1973)* (acrescentar as revisões e atualização de: Burke & Sengör (1979) e Sengör (1990).

Obs.: *Autores clássicos da chamada “revolução dos anos 1970”, e os mais divulgados no mundo.

conhecimento geodinâmico do planeta (então, ainda muito escasso).

Os modelos ditos *fixistas* mostravam, por sua vez, um leque muito amplo e distinto de faixas móveis em geral (com participação de vários figurantes: *basement inliers*, visão zenital em mosaico, com variedade grande de tipos de faixas móveis e granitogênese etc.), com base em mapeamentos geológicos regionais, na estruturação geral, e em parte na fisiografia e organização geográfico-geológica dos sistemas orogênicos. A falta de um comprometimento claro com a estruturação interna do planeta tornava tudo (enganosamente) mais fácil, e era (ao mesmo tempo) uma deficiência científica explícita. Prevalcia a melhor ideia gráfica, as ilações e as propostas teóricas de modelagem que “acobertassem bem” o sistema orogênico (externamente) observado. Além deste arranjo de elementos e conceitos, os movimentos verticais eram exaltados e os movimentos horizontais, em geral, subestimados (daí a designação irônica de *fixistas*).

No Congresso Geológico Internacional, em Paris, 1980, foi enfatizada a necessidade de um acordo entre essas partes litigantes (*mobilistas* + *fixistas*), na Seção de Geotectônica. Deveria haver concessões de parte a parte, além

da sempre necessária incorporação dos dados da geodinâmica. Deveriam ser consideradas e incorporadas as novas observações (os muitos “adendos”) críticas aos modelos *mobilistas* originais, que apareceram em vários trabalhos, inclusive o fomento de modelos auxiliares (que foram promulgados já a partir do início dos anos 1970), em diferentes continentes. De certa forma, ao longo das décadas de 1970 (desde o início) e 1980, a proposição de emendas aos modelos *mobilistas* passou a ocorrer com grande frequência, a partir de diferentes centros de pesquisa de diversos países.

- d) Várias observações específicas surgiram e foram sendo propostas em auxílio das “deficiências” dos modelos clássicos *plaquistas*. Os livros editados por Kröner (1981 e 1987), entre outros, trazem vários destes adendos, averiguados e propostos consoante observações em faixas móveis de vários continentes (principalmente dos continentes meridionais, muito desprezados na elaboração dos modelos clássicos) e que foram gradativamente inseridos em novos modelos *plaquistas* (em parte, com certa resistência).

Ficava mais e mais evidente a necessidade da busca/concessão para que os adendos passassem a incorporar devidamente os modelos originais, pelas observações, hauridas pelos geocientistas (pre-cambrianistas) de várias partes do mundo. O desabafo de Kröner (1977) deve ser aqui inserido e exaltado, por retratar uma época importante para o desenvolvimento da Geotectônica, e que se destacou na Seção de Tectônica do Congresso Internacional de 1980, em Paris:

“There is now clearly a need for a broader tectonics theory of orogenesis.... To bridge the apparently widening gap between mobilistics and fixists” (Kröner, 1977).

É justo e oportuno adiantar aqui, de já, o livro editado por Martin & Eder (1983) (*Intracontinental Fold Belts*) que consolidou uma linha inovadora dos modelos (não necessariamente *fixistas*), onde vários das observações críticas (disponíveis no debate dos cientistas) foram incorporadas, e atendidas, tendo as faixas hercínicas europeias e as faixas neoproterozoicas (Damarano, África) como especiais objetos de análise e discussão. Certamente, isto era esperável, do ponto de vista científico, porque os paradigmas para

aqueles modelos *mobilistas* se baseavam apenas em faixas móveis fanerozoicas (que constituem apenas ca. <14% da superfície da Terra), e, mais, estas faixas não eram suficientemente conhecidas ainda. Na verdade, estas eram algumas das razões porque a aplicação dos modelos *plaquistas* originais em faixas proterozoicas era muito problemática.

- e) Como veremos, *a posteriori*, ainda hoje, há na Europa e na América do Norte cientistas que defendem que a Tectônica de Placas só passou a ocorrer a partir do Neoproterozoico (e.g. R. Stern, 2004, Hamilton, 2011), que enfrentam muitas contestações. Reuniões internacionais específicas (e.g., Penrose Conference, Wyoming, 2006, “When did Plate Tectonics begin?”) têm sido promovidas, mas o problema permanece em aberto, com sugestões as mais distintas. Há várias propostas para o começo do funcionamento da Tectônica de Placas no planeta, com incrível diversidade de argumentações e opiniões (desde o Arqueano? desde o Neoarqueano? desde a primeira metade do Paleoproterozoico? apenas a partir do Neoproterozoico?). O tema – importante e muito delongado – ainda não resolvido, ficará de fora dos objetivos desta publicação.

Os modelos ditos *fixistas* mostravam um leque muito amplo e distinto de faixas móveis em geral (com participação ou não de *basement inliers*, retrabalhamento crustal, heranças tectônicas etc.), com base em mapeamentos geológicos regionais, na estruturação geral, e em parte na fisiografia. E muita criatividade mental, sem amarras aos subsídios de conhecimento da litosfera. A falta de um comprometimento claro com a geodinâmica do planeta era a deficiência explícita e, ao mesmo tempo, um atrativo para as regiões de países subdesenvolvidos (que não possuíam estes dados). Daí a circulação facilitada aos mesmos.

À medida que os modelos *fixistas* iam se desgastando (em várias frentes, por razões da cobrança por sustentáculos científicos), os modelos *mobilistas* foram sendo enriquecidos por muitas observações complementares primorosas, por pesquisadores de muitos continentes, ganhando novos adeptos e auferindo conhecimentos adicionais por sua utilização que passou a ser feita faixas móveis pré-fanerozoicas. Uma escola do pensamento científico ia se desgastando (falta de um embasamento científico sólido, a *fixista*) e a outra escola (rival, *mobilista*) ia se enriquecendo

gradativamente por ir abrigoando, e enquadrando devidamente as observações (preciosas) da sua concorrente.

- f) Alguns modelos alternativos (e adicionais) àqueles clássicos Tectônica de Placas surgiram, com relativo embasamento científico, com os geólogos trabalhando na Ásia, África e Austrália, principalmente. E estes modelos eram cada vez mais desgarrados daqueles do binômio litigante (URSS/*fixistas* vs. EUA/*mobilistas*), e isto foi notável para o enriquecimento do conhecimento da tectônica. Os avanços e contribuições foram valiosos. Particularmente, as novas propostas de modelos começaram a ser utilizadas por tectonistas brasileiros (a partir da segunda metade dos anos 1970) em faixas móveis neoproterozoicas. As observações e premissas dos modelos alternativos foram gradativamente migrando para aquela Tectônica de integração de valores, propostas por A. Kröner (1977, 1981), e hoje são parte da nova face da Tectônica de Placas (hoje, desgarrada de muitos dos seus corolários iniciais incongruentes).
- g) Não se pode colocar um epílogo no item de “Breve Histórico”, porque as investigações continuam avançando nos continentes e nos oceanos, sempre trazendo novas informações, mesmo porque, com o avanço das tecnologias (e dos projetos internacionais de pesquisa), as observações que ainda estão aportando são cada vez mais bem qualificadas. Várias novas teorias, atreladas desde os remotos alicerces à Tectônica de Placas (e.g. *Large Igneous Provinces*, ou LIP, supercontinentes, *MOMO*, evolução irreversível da história do planeta vs. Princípio do Atualismo etc.) estão em verdadeiro estágio de fluxo, impossibilitando, por mais algum tempo, a pretensão de se colocar um ponto final sobre qualquer tema. Além disso, há muitas questões em aberto e/ou não suficientemente resolvidas ainda – como discriminado no final do artigo. Em trabalho sobre os 50 anos da teoria, Wilson et al. (2019) elencaram cuidadosamente uma série de questões abertas na pesquisa sobre o desenvolvimento do planeta, clamando por respostas nos próximos anos, mesmo que reconhecendo a validade do que se aprendeu e se explicou com a Tectônica de Placas.

Considerações iniciais: a problemática da bibliografia e de outros fatos

Na observação e interpretação dos sistemas orogênicos (pré-cambrianos e fanerozoicos) expostos no continente sul-americano (e de outros continentes) houve várias dificuldades no ajuste/“obediência” aos modelos pretéritos da Tectônica de Placas mais divulgados e clássicos; mesmo depois, quando os modelos buscaram revisões e atualizações, após seus primeiros anos de circuito e progressos (vide revisões de Burke & Sengör, 1979 e de Sengör, 1990). O fato é e que os modelos foram os mais reiterados (quase incondicionalmente) pelos principais livros-textos em Geotectônica no tema (desde as últimas décadas do século passado), em todo mundo, de forma imponente e sem críticas e/ou reparos. São trabalhos valiosíssimos de fato, mas não poderiam ser irrecorríveis. Infelizmente, muitas das críticas, sugestões e modelos adicionais que já existiam na bibliografia, de grande valia, estão ausentes nesses livros.

Os livros-textos principais de Geotectônica em uso no mundo (como Condie, de 1982 a 2011, der Pluijm & Marshak (2004), Windley (1995), Moores & Twiss (1995), Kearey et al, 2009) etc. que seguiram os trâmites dos modelos acima descritos (*mobilistas* ou *plaquistas*), foram predominantes em todos os países, universidades, departamentos e núcleos de estudos de Tectônica no mundo. Raramente, as obras trazem alguma citação dos autores da linha *fixista* e nem mesmo se referem aos adendos científicos já consolidados, e publicados (adendos dos anos 1970 a 1990).

Já para os livros e artigos clássicos designados como *fixistas* e afins da escola soviética e seguidores (e.g. Belousov, 1962, Auboin, 1965, Muratov, 1968, 1972, 1977), Khain, 1980, Khain & Sheinmann, 1962 etc.), a divulgação foi cada vez mais se restringindo e praticamente desapareceu, antes do início do século XXI (em livros, simpósios e congressos). Em todo o mundo, a escola dita “geossinclinal/*fixista*” chegou ao ostracismo. Por exemplo, no Congresso Geológico Internacional, 2000, Rio de Janeiro, tais modelos e temas *fixistas* estiveram praticamente ausentes.

Quando examinamos a bibliografia e os exemplos posteriores às conceituações clássicas, verificamos que muitas dificuldades de aplicação foram confrontadas por vários pesquisadores, trabalhando em todos os continentes, até mesmo, ocasionalmente, também nos continentes setentrionais onde

figuravam os modelos ditos paradigmáticos (ou mais divulgados). Isto ocorreu principalmente com autores trabalhando em terrenos pré-cambrianos, mas também com muitos daqueles que estavam trabalhando em orogênias fanerozoicas (na América do Norte, principalmente na cordilheira ocidental, caso dos geólogos do USGS). De certa forma, tal adversidade foi relevante estopim (e chamada de atenção) para o progressivo ajuste nos modelos iniciais, com as propostas de novos caminhos e alternativas (os chamados adendos), sem ferir a essência dos modelos.

As dificuldades, críticas e conseqüentes tentativas de superação dos problemas foram gradativamente se constituindo em novas vias de entendimento, de respaldo e caráter científicos valiosos, resultando em adendos, principalmente no último quartel do século passado. Os adendos modificaram e transformaram completamente os parâmetros e preceitos da chamada Tectônica de Placas (como inicialmente proposta, nos anos 1970). Tanto o que se conhece hoje, quanto o que foi sendo investigado (geologia, geoquímica, tectônica) e proposto, elevaram a comunidade geocientífica a um campo distinto de observações, conclusão e classificação dos elementos que compõem um sistema orogênico.

Muitos dos novos elementos/observações gradativamente alocados nas disciplinas da Tectônica (*sensu lato*) eram desconhecidos e até inimagináveis pelos autores clássicos dos modelos *mobilistas* e seus seguidores. Por algumas vezes, eram até axiomas inaceitáveis. Saímos de um cerco científico predominante (sob a ditadura de paradigmas) para outras paragens, de forma evolutiva, delongada e gradual. Contudo, foram os proponentes e seguidores da Teoria e seus modelos que, direta ou indiretamente, nos levaram ao progresso. É justo e oportuno acrescentar: a Tectônica que hoje se conhece (“de Placas ou “Global”, como se queira chamar) é muito distinta e enriquecida em relação àquela dos empedernidos modelos *plaquistas* iniciais.

Nos modelos clássicos *mobilistas* iniciais (anos 1970) houve um enfoque demasiado nos propostos paradigmas da América do Norte e da Europa, que, na verdade, nem eram conhecidos com suficiência aquele tempo. Na revisão e sínteses de Dewey & Bird (1970) e a de Sengör (1990) – os modelos foram amplamente enriquecidos e subdivididos, mas ainda assim, o conhecimento sobre aquelas faixas não dispunha de todos os dados/elementos necessários, conforme vislumbrado por autores críticos. Nas revisões permaneceram muitos claros

não considerados e/ou respondidos pelos *plaquistas* de primeira hora. Por exemplo, não havia uma palavra sequer sobre a presença de frações continentais (e.g., microplacas, microcontinentes etc.), *basement inliers* diversos, no interior dos sistemas orogênicos. A ênfase e o destaque eram sempre para (apenas!) duas grandes placas interagindo. Foram deixadas de lado muitas lacunas marcantes de elementos e outros atores importantes da tectônica regional. A omissão veio a ser corrigida, gradativamente, sem fugir aos preceitos da teoria.

Várias “deficiências” foram observadas nos modelos clássicos originais ao serem então revistos. Inúmeras observações críticas construtivas foram consignadas já nas duas últimas décadas do século passado. Das constatações e reparos, vários adendos (enxertos científicos) foram sendo gradativamente introduzidos e incorporados (com resistências, é verdade) aos modelos tidos como paradigmáticos.

Como por exemplo, um axioma dos modelos originais era de que a “litosfera continental é indestrutível, indigerível e insubmersível”. Como veremos, nos três conceitos havia erros (e desconhecimentos) notáveis. Outro exemplo especial do divórcio com a realidade geológica: há livros-textos de Tectônica, nos quais inexistente a palavra *cráton*. Assim sendo, Tectônica de Placas de hoje é uma teoria muito mais completa e abrangente de que aquela de 50 anos atrás, porque absorveu os muitos adendos aportados.

No estudo da Plataforma Sul-Americana, com frequência lidamos com tais dificuldades (e embate de modelos), ao tentar sistematizar as faixas orogênicas. Muitos dos elementos/preceitos expostos nos modelos *mobilistas* não eram encontrados, ou eram de reconhecimento difícil pelos tectonistas. A recíproca é verdadeira: vários elementos (atores) e fatos tectônicos presentes nos nossos sistemas orogênicos não encontravam abrigo no seio daqueles modelos “clássicos”. De fato, lidávamos com uma paisagem geológica mais rica em elementos (desde a paleogeografia, e todo o desenvolvimento tectônico etc.) e formas, com dificuldades de encontrar paradigmas na literatura mobilista. Particularmente, a presença de muitos atores comuns no *cast* do interior das nossas faixas orogênicas, com várias adjetivações (vide síntese de Brito-Neves, 2019) nos levou a pensar e procurar modelos mais abrangentes e mais próximos da nossa realidade geológico-geotectônica. Em vários continentes, a mesma problemática foi enfrentada (principalmente no hemisfério sul e no estudo dos

sistemas orogênicos pré-fanerozoicos) e contornada por adendos científicos racionais, com alguns subsídios firmes em tectônica e geofísica.

Em nossos dias, quando observamos com isenção científica as faixas móveis proterozoicas e fanerozoicas de todo mundo, discriminamos uma quantidade significativa de elementos (“atores”) continentais e oceânicos, dantes nem imaginados, que ocorrem e agem em momentos diferentes do processo orogênico. Observando a paisagem geográfico-geológica atual de qualquer parte do globo observamos uma pluralidade natural de tipos crustais continentais e oceânicos. Muitos desses tipos crustais foram absolutamente deixados de fora da montagem dos modelos clássicos. Ademais, as observações indiretas dos processos orogênicos em desenvolvimento (zonas de subdução, magmatismo, colapso orogênico etc.) evidenciaram para todos nós muitos fatos e problemas, que não constaram nos modelos clássicos. À medida que esses problemas eram enfrentados e equacionados com soluções racionais, com respaldo científico, os adendos aos modelos clássicos foram surgindo e a Tectônica foi gradativamente sendo enriquecida.

Last not least, devemos reiterar que os modelos clássicos da Tectônica de Placas foram meritórios, valiosíssimos e inauguraram nova etapa na história da Geotectônica como ciência. As críticas consignadas – e os adendos que foram sendo gradativamente propostos não desfazem, nem desmerecem os méritos incontestes. Além disto, tais modelos afastaram a comunidade dos modelos *fixistas* (que perduraram por cerca de 110 anos), e estabeleceram conexão entre os processos da estruturação geodinâmica do interior do planeta com o registro tectônico documentado na superfície. A pretensão no presente trabalho é fazer uma síntese do que foi aprendido/discutido, revisto e incorporado aos modelos nos últimos 50 anos. A evolução dos conhecimentos foi notória (e revolucionária), e mais ainda, abriu muitas novas frentes carentes de pesquisa.

A Litosfera

O aprofundamento no conhecimento da litosfera (continental e oceânica) nas últimas décadas foi notável, sobretudo com muitas novas perspectivas exploratórias (em continentes submersos propostos, em platôs basálticos, em ilhas vulcânicas), todos a serem exploradas. Sabe-se hoje que o conhecimento das cordilheiras fanerozoicas e seus respectivos antepaíses estava muito aquém do necessário nos anos 1970 para se propor modelos.

O problema se destacou mais ainda quando os orógenos passaram a ser abordados e conhecidos, desvinculando-se da guerra *fixistas* vs. *mobilistas*. Os sistemas orogênicos foram reconhecidos como de composição bem mais complexa e variada de elementos/protagonistas e de traços estruturais regionais (arranjos lineares raríssimos, arranjos complexos predominantes). Também o reconhecimento da presença de mais atores (no drama da tectônica) do que aqueles modelos sempre com interação de apenas duas placas. Terrenos continentais e oceânicos de diferentes naturezas e dimensões (não só interação de duas placas) foram percebidos como participantes usuais (dantes negligenciados), e importantes para aperfeiçoamento dos modelos.

As diferenças fundamentais entre litosfera continental e oceânica abrangem contingente notável de características, como origem, constituição, unidades litológicas, estrutura, espessura, extensão global, desenvolvimento/crescimento e destruição/retrabalhamento com o tempo, características físicas e químicas etc., que são hoje já reconhecidas pela comunidade científica. Alguns autores chegam a catalogar e discriminar aproximadamente 25 diferenças mais significativas entre elas. As diferenças e peculiaridades nem sempre estão devidamente confrontadas e discutidas, como deveriam, prefaciando os livros-textos.

Litosfera Continental

Não existe de fato uma suposta uniformidade composicional e de comportamento geofísico “isotrópico” (e o caráter insubmersível) da litosfera continental assumida nos modelos clássicos. As heterogeneidades intrínsecas da litosfera continental são flagrantes, de uma área de observação para outra, e ainda no interior de cada uma. Já em 1999, Marshak et al. indicaram 10 tipos distintos de litosfera continental, consoante observação no histórico evolutivo (vide Tab. 2) e composicional das mesmas. Cada uma delas como tem possibilidade de comportamento próprio, bem diferente de um processo orogênico para outro. Deve ser esperada sempre uma diversidade de tipos crustais continentais e respectivos comportamentos geofísicos. Inexiste o pleiteado e festejado caráter monolítico da litosfera continental, tendo sido pois uma assunção inadvertida e prejudicial a muitas interpretações e modelos preexistentes. As espessuras da litosfera dependem de seu histórico evolutivo; as mais espessas são aquelas que pertencem aos domínios cratônicos mais antigos.

Devem ser destacados ainda os muitos casos de litosfera continental afetados por intrusões magmáticas que produzem o enriquecimento em HPE (elementos produtores de calor radiogênico) e que podem ser incorporados em diferentes porções do perfil da litosfera. Segundo Sandiford (1999) uma variação de temperatura de 20°C pode causar enfraquecimento sensível no comportamento reológico da litosfera. Além disso, cada quilômetro de cobertura sedimentar na litosfera pode ser responsável pelo enfraquecimento na ordem de grandeza de 5% (função do tipo de bacias e da natureza de seus sedimentos).

Na análise dos movimentos verticais principais na litosfera, coligidos pelo Task Force do ILP/IUGS (Bertotti et al, 2009), se tem uma noção muito interessante dos muitos mecanismos de subsidência e soerguimento na escala litosférica, em domínios continentais. Como já abordado antes, sabe-se hoje que a litosfera continental é destrutível, digerível e submersível (a flutuabilidade negativa pode existir, de forma circunstancial e local). A constatação, denegada pelos defensores dos primórdios da Tectônica de Placas, hoje é observação cotidiana dos monitoramentos geológicos e geofísicos em vários programas científicos internacionais (Vide Bird, 1978, Scholl & Von Huene, 2007).

Hoje, é praticamente unânime o reconhecimento da presença de faixas de dobramentos intracontinentais – sobrepostas a um embasamento pretérito (“síalico”, como se costuma dizer, sem oceanos envolvidos), com vários exemplos no mundo (na América do Sul, inclusive). Esta era uma observação impensável para os “plaquistas” pioneiros, de modo geral, e faz diferença muito importante no comportamento da litosfera continental, como a presença de heranças tectônicas indeléveis e outros efeitos, conforme se pode ver nas sínteses do problema em Hand & Sandiford (1999), Raymond et al. (2010) e Aitken et al. (2013), dentre dezenas de outros, e as respectivas questões levantadas sobre o tema, com extraordinário suporte em dados geofísicos.

As faixas intracontinentais são zonas de deformacionais produzidas por esforços (*far field stresses*) gerados a distâncias consideráveis (> 1.000 km) a partir das zonas de criação (*ridge push*) e de interação (*slab pull*) de placas. Em praticamente todos os continentes estas faixas têm sido cada vez mais encontradas e investigadas, com exposições excelentes de elementos tectônicos, embora existam

alguns detalhes de evolução ainda não esclarecidos. É oportuno destacar que a existência de faixas intracontinentais fora ousadia defendida em livro texto (Martin & Eder, 1983) com exemplos hercínicos e pan-africanos), com muito boa argumentação, antecipando (com certa propriedade) o que se conhece hoje.

A linearidade proposta em vários modelos (*mobilistas*, mas não exclusivamente) de faixas móveis foge em muito da realidade geológica, nos exemplos do presente e do passado. Basta considerar o atual panorama fisiográfico interplacas do mundo (em uma concessão ao tema do Atualismo): sempre há um quadro complexo de elementos fisiográficos e tectônicos presentes; entre estes, marinhos e continentais. No caso, evocar a teoria do Atualismo é uma boa ação. O mesmo se pode falar quando se observa o traçado atual da costa sul-americana (ou de qualquer outro continente) e da plataforma continental, onde são comuns porções fisiográficas bastantes distintas (sedimentares, vulcânicas, de embasamento, de relevo etc.), promontórios e reentrâncias significativas, desde alguns poucos a centenas de quilômetros de extensão. Na prática, as feições geográfico-geológicas apresentam sempre um suporte (herança) derivado da natureza do embasamento.

Além disto, sobre as irregularidades naturais, de composição litoestrutural e de diversidade do contexto geográfico-geológico, é preciso reiterar que as placas se movem respeitando polos de rotação. Em geral, tem sido comprovado que a aproximação das placas (antecedendo um processo de interação) é de natureza francamente oblíqua (atualmente, em cerca de 59% dos casos), e que os vetores de interação fatalmente são decompostos, com resultantes ortogonais entre si.

Usualmente os livros textos falam de doze a vinte placas litosféricas no globo (*that slowly move relative to any other*) o que não pode ser considerado como uma verdade, tendo em vista o número de variáveis/atores que compõem esse contexto. Temos muito a aguardar ainda para definir número de placas e de outros atores do processo, mesmo no panorama tectônico global atual.

A crosta continental difere em muitos aspectos da crosta oceânica Tab. 2, Figs. 1 e 2) (vide Tab. 1 em Brito-Neves, 2020). A começar porque a crosta continental pode duplicar e/ou até triplicar sua espessura média (ca. 33-40 km) nos processos orogênicos, principalmente em interações coli-

TIPOS CRUSTAIS E/OU LITOSFÉRICOS

CONTINENTAIS		OCEÂNICOS
160.10 ⁶ km ²		360.10 ⁶ km ²
<p>Áreas Estáveis = Crátons (20%)</p> <p>Áreas Instáveis = (18%)</p> <p>Tafrógenos = Riftes (1%)</p> <p>Bacias Sedimentares → (sobre crátons, riftes e faixas móveis)</p> <p>Junções Triplíceis (R) (F)</p> <p>Mares Epicontinentais</p> <p>Terrenos Tectonoestratigráficos</p> <p>Zonas Ativadas Diversas</p> <p>Mares Interiores →</p> <p>Bacias Marginais →</p> <p>LIP →</p>	<p>Coberturas Embasamento</p> <p>Margens Continentais "Passivas" (NVPM; VPM)</p> <p>Margens Continentais "Ativas" Associada com arcos (Tipo Pacífico)</p> <p>Margens Continentais Transformantes (Tipo "Califórnia")</p> <p>Margens tipo Mar do Japão</p>	<p>Planície Abissal (crescente, decrescente)</p> <p>Platôs Oceânicos</p> <p>Montes Submarinos</p> <p>Ilhas Vulcânicas "Guyots"</p> <p>"Swell" (inchaço)</p> <p>Sinéclise</p> <p>Cristas Assísmicas ("Hot Spots")</p> <p>-----</p> <p>Crista Meso-Oceânica</p> <p>Falhas Transformantes</p> <p>Zonas de Fraturas</p> <p>Ilhas Associadas</p> <p>← (Bacias Sedimentares)</p> <p>-----</p> <p>Junções Triplíceis (R) (F) (T)</p> <p>-----</p> <p>Curvatura ("Bulge")</p> <p>Fossa - Paredes</p> <p>Bacia</p> <p>Prisma Acrescionário</p> <p>Bacia Ante-Arco (BAA)</p> <p>Bacia Intra-Arco (BIA)</p> <p>← Arco Vulcânico</p> <p>Bacia Retro-Arco (BRA)</p> <p>← Mares Interiores</p> <p>← Bacias Marginais</p> <p>← LIP</p>

Figura 1. Tipos crustais e/ou litosféricos continentais e oceânicos. Observar a simplicidade dos tipos continentais, que passam por transitoriedade em menor grau. Os tipos oceânicos, além de diversos, se caracterizam pela grande transitoriedade

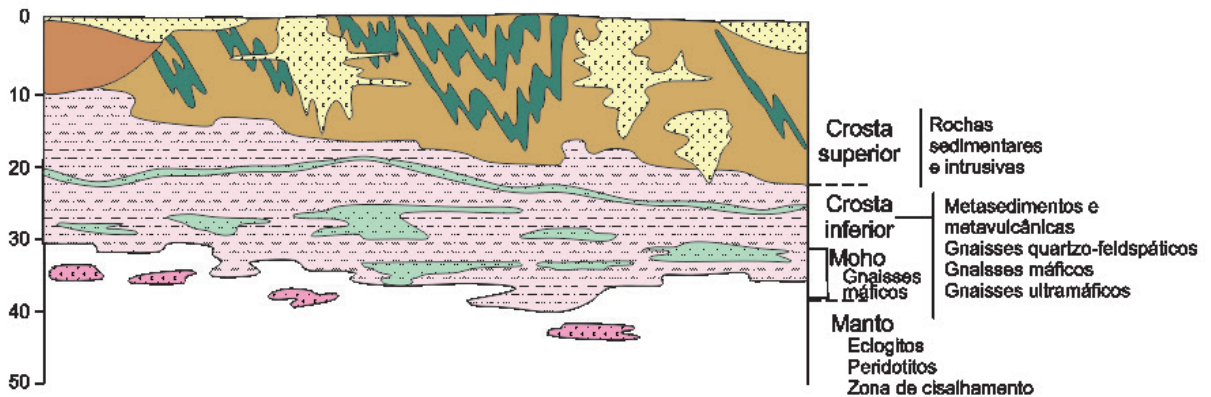
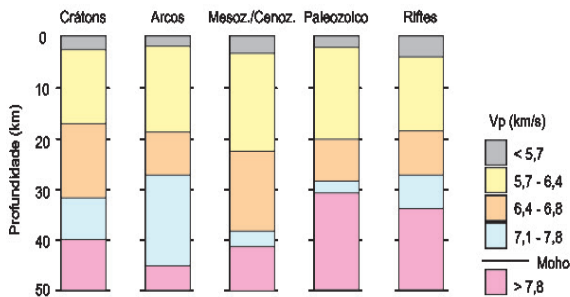


Figura 2. Perfis propostos em diferentes tipos crustais para a crosta continental (com velocidade de ondas Vp assinaladas) (a). Esquema geológico esperado em seção para a composição petrográfica da crosta continental (b). Fonte: Der Pluij & Marshak (2004)

físicas naturais da crosta continental e da parte superior do manto sotoposta são importantes e merecem ser destacadas. Trata-se de uma zona instável e sujeita (com muita frequência) a fenômenos de deslocamento (ou delaminação) todas as vezes que as condições tectônicas ou termais são modificadas de forma relativamente brusca.

Nas zonas orogênicas (arcos, faixas móveis), qualquer perfil idealizado da crosta continental é problemático. Primeiro que tudo, temos que avaliar a história pretérita daquele fragmento litosférico em análise (natureza de evolução e tempo). Verificamos, de pronto, que há sempre um simplismo nestas representações gráficas usuais.

A Terra parece ser o único planeta onde a Tectônica de Placas é ativa, embora se discuta quando essa tipologia tectônica começou decisivamente a operar. O estudo da crosta continental (bem como da oceânica) é a única forma de chegarmos a esse “quando”, tão procurado e discutido (Hawkesworth et al., 2020). O caminho para se entender os processos é o estudo da composição (em termos globais) da crosta continental, acompanhado pela geoquímica e pela geologia isotópica.

Com base nos estudos de reologia das rochas, a parte superior do planeta pode ser subdividida em Litosfera (crosta + parte superior do manto = manto superior) até a Zona de Baixa Veloci-

dade (ZBV), onde começa a Astenosfera. Segundo Rudnick (1995), a crosta continental possui composição global andesítica (intermediária entre basalto e riolito), que não pode ter sido produzida exclusivamente pelo magmatismo basáltico que domina os sítios atuais de crescimento crustal, tanto nas margens como no interior das placas. Isso sugere que houve modos diferentes de produção de crosta continental no Arqueano, assim como pode ser um indicador de que a delaminação foi sempre um processo importante de reciclagem. Apesar de possuir massa insignificante, se comparada com a do manto (~ 0,5% daquela do manto), a crosta é um reservatório muito importante dos elementos mais incompatíveis.

Apresentamos as características que devem ser consideradas no trato com a litosfera continental na Tabela 2, organizada por Marshak et al. (1999) como alerta e para se contrapor à suposta “homogeneidade”, como ela havia sido tratada em muitos modelos. Certamente as considerações de tempo e posição tectônica relativa são as mais importantes, mas claramente não são únicas: informações de espessura, condições termais, constituição física e geoquímica entre outras, dependem do contexto geológico regional em observação.

No tocante aos tipos crustais continentais, pode-se dizer que os tipos são em pequeno núme-

Tabela 2. A litosfera continental consoante sua evolução: dez tipos discriminados (no tempo) por Marshak et al. (1999), com o objetivo de se contrapor à suposta homogeneidade

A – Crosta em orógeno de margem continental ativa	Faixa móvel acrescionária ou periférica	Cenozoico
B – Crosta em orógeno colisional ativo	Faixa móvel colisional ou interior	Cenozoico
C – Crosta em rifte ativo	Rifte/tafrógeno ativo	Cenozoico
D – Crosta em margem transformante	Faixa móvel transpressional interior	Cenozoico
E – Crosta reativada (não ativa termotectonicamente) desde o Mesozoico	Várias possibilidades: margens cratônicas, “maciços medianos”	Mesozoico
F – Crosta em orógeno de margem convergente. Não afetado por tectonismo de margem desde o Mesozoico	Faixa móvel acrescionária, não retrabalhada desde então	Mesozoico
G – Crosta continental em rifte mesozoico, agora adjacente à margem continental passiva ou rifte inativo.	Margens continentais do tipo Atlântico e/ou margens de riftes mesozoicos abortados	Mesozoico
H – Crosta afetada por atividade termotectônica paleozoica e não mais retrabalhada	Várias possibilidades: faixas móveis hercínicas, embasamento de faixas móveis hercínico/variscanas	Paleozoico
I – Crosta afetada por deformação e metamorfismo penetrativos proterozoicos e não mais retrabalhada	Crátons sinbrasilianos e sinpanafricanos e entidades similares (plataformas consolidadas no final do Neoproterozoico)	Proterozoico
J – Crostas afetadas por atividades termo-tectônicas arqueanas (exclusivamente)	Alguns núcleos cratônicos arqueanos, núcleos-sementes arqueanos de crátons proterozoicos	Arqueano

ro, numa classificação geral, aceita por muitos autores (vide Figs. 1 e 3). Mas, é preciso acrescentar as muitas possibilidades ensejadas em cada dos tipos discriminados (há crátons e crátons, faixas móveis e faixas móveis etc.). Ademais, a transitoriedade existente dos tipos crustais continentais é facilmente perceptível, embora em intensidade e feições bem inferiores àquelas verificadas nos tipos oceânicos.

Litosfera Oceânica

Os estudos da litosfera oceânica foram privilegiados, desde o primeiro momento, como carro-chefe dos modelos iniciais de Tectônica de Placas, promovendo, no mundo todo, grandes desdobramentos nas pesquisas. A documentação sobre a pluralidade e transitoriedade dos tipos crustais oceânicos enriquece muitas publicações e livros textos específicos. Em alguns livros, a litosfera continental foi deixada de lado, sem menções comparáveis com os dados e discussão sobre a litosfera oceânica. Neste caso em particular, a espessura da litosfera oceânica é controlada pelo resfriamento, de forma que a camada superior tem um gradiente de temperatura que controla o interior adiabático. A vida dessa litosfera começa nas cristas meso-oceânicas quando da extração de magma basáltico.

De certa forma, o crescimento bilateral progressivo e o espessamento da litosfera continuam, em geral até os 70Ma, pois daí para frente a espessura se mantém relativamente constante (exceto pelos fenômenos e processos sedimentares e biogênicos sobrepostos) até o caminho da subdução. Os caminhos de crescimento, magnetização, espessamento da litosfera oceânica são muito bem documentados e ilustrados nos livros-textos.

No caso da litosfera oceânica, as variações de espessura, composição, densidade, estrutura e propriedades sísmico-petroológicas são muito amplas e muito distintas daquelas consideradas na elaboração dos primeiros modelos. Só hoje podemos avaliar (sem críticas impertinentes) a insuficiência de informações no início da década de 1970. além

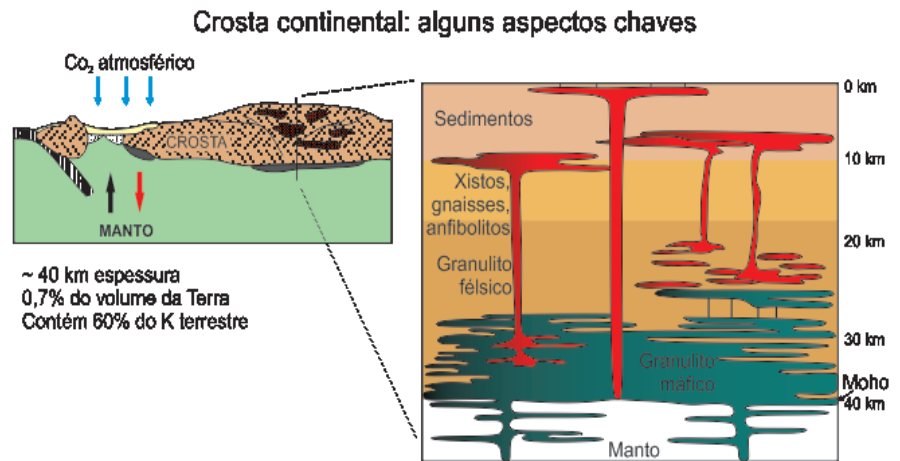


Figura 3. Esquema moderno geológico-metamórfico/ contextos litoestruturais da crosta continental, consoante Hawksworth et al. (2020). Compostos de SiO₂: crosta superior (66,1%), média (63,5%), inferior (53,4%). Média total = = 60,6%

disto, é extraordinária a transitoriedade dos tipos oceânicos com o tempo e com o desenvolvimento do processo orogênico, de certa forma relativamente bem monitorados. É praxe dizer que, por suas características composicionais e sua dinâmica, nenhuma crosta oceânica “pura” (tal como descrita na literatura plaquista original) superará 200 Ma de existência (seria inteiramente consumida antes). Por sinal, os valores fazem parte do chamado “Ciclo de Wilson”. Assim, não é possível expressar as características gerais de transitoriedade no quadro de tipos crustais, embora os números já retratem a diferença entre a litosfera oceânica (bem maiores e mais variáveis nos tipos oceânicos) e a litosfera continental (Fig. 2).

A seção colunar clássica da crosta e do manto da litosfera oceânica permanece tal como fora há muito formulada, mas com conhecimento muito enriquecido (camadas 1, 2a, 2b, 3, manto). Há muitas variações/intromissões de elementos de um lugar para outro, para as quais devemos estar atentos. Por seu turno, ultimamente o conhecimento das características gerais dos tipos crustais oceânicos (planícies abissais, cristas meso-oceânicas, cristas assísmicas, *seamounts*, platôs, *guyots* etc.) tem sido incrementado de forma notável, fazendo carecer de revisão as ideias simplistas e os modelos pretéritos. Além da grande diversidade de tipos, há de se destacar adicionalmente a característica de frequente transitoriedade. Não obstante, como já previamente mencionado, outros tipos crustais “oceânicos” (e continentais)

têm sido identificados. Há a certeza de que nenhum tipo crustal é eterno, e tudo indica que temos um longo e atribulado caminho de pesquisas pela frente, pelo pouco que se sabe hoje. Mais à frente (Fig. 4) o tema será retomado.

De certa forma, foram revolucionários os panoramas e feições apresentados por Ben Avraham et al. (1981, Nur & Ben Avraham, 1982) – para os tipos crustais oceânicos após

o primeiro decênio da Tectônica de Placas –, mostraram a grande diversidade de tipos crustais que constituem a litosfera oceânica: os autores estimaram 10% da litosfera oceânica com características de composição e densidade anômalas. A discriminação dos diferentes “tipos crustais” e “terrenos” presentes no remoto interior dos oceanos foi inovação de suma importância e acarretou observações preciosas. Nos trabalhos revolucionários, para a época e para fase de conhecimento da Tectônica, que se baseava em feições de imageamento (geofísicas e geológicas), os autores mostraram a complexidade de partes importantes da litosfera oceânicas (platôs oceânicos, *seamounts*, cristas assísmicas, terrenos alóctones da margem Pacífica). Muitos destes platôs vieram posteriormente a ser identificados como LIP.

Cerca de dezenas de “tipologias crustais” anômalas distintas foram observadas e discriminadas, com destaque para os grandes platôs oceânicos, cuja somatória territorial é estimada em 5% da superfície dos oceanos (um total de 18.10^6 km^2). Os montes submarinos (*seamounts*), que apresentam elevações de 3.000 a 4.000m, mas, em geral, não afloram acima do nível das águas. Considerados produtos de vulcões extintos, que geralmente se agrupam em domínios de arquipélagos, são hoje contabilizados em cerca de 9.950 unidades, geralmente próximos dos limites de placas tectônicas ou próximos de *hot spots*. Os montes, quando chegam a aflorar, são nivelados por erosão e depois voltam a submergir; configuram os chamados *guyots* (centenas deles são contabilizados até o presente, caracterizados pelo topo aplainado (*flat tops*)).

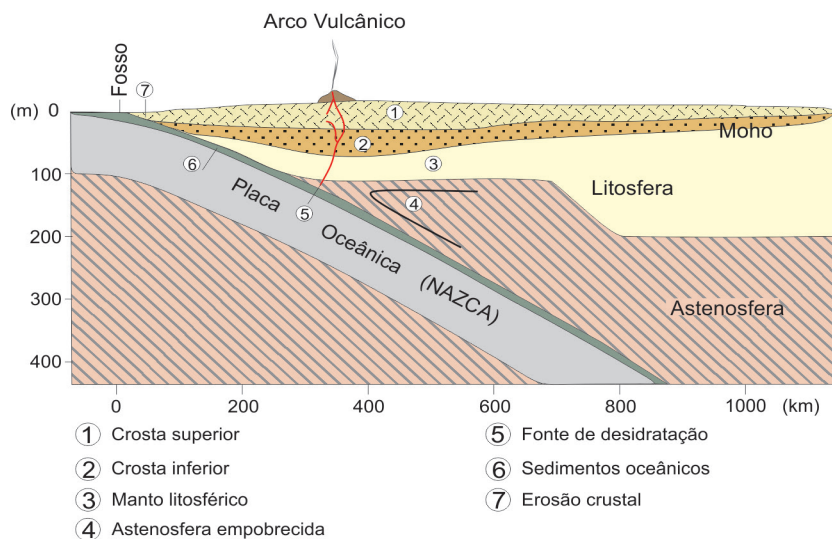


Figura 4. As diferentes fontes plausíveis para a formação de granitos no desenvolvimento de um arco magmático (Fonte: cedida por V. Ramos)

Há vários tipos de cristas submarinas, sem considerar aquela ativa atual, que é a zona de criação das placas. Elas têm diferentes origens, quer por vulcanismo associado a *tracks* de *hot spots*, antigas falhas transformantes preenchidas por materiais ígneos (*leaky transforms*), ou ainda por antigas cristas (interplacas) abortadas. Acrescente-se a essas manifestações os domínios amplos de soerguimento (*swell*) e/ou de abatimento (*bulges/sinclises*). Ainda é muito restrito, e de grande escala, o nível de conhecimento litoestrutural e geofísico de grande parte desses tipos crustais e litosféricos. Poucos deles apresentam nível razoável de conhecimento.

Em uma confrontação simples e expedita dos mapas de plumas do manto (LIP) nos oceanos atuais (e.g Coffin & Eldeholm, 1994, Ernst, 2014) com os diversos platôs oceânicos, há algumas observações interessantes. A somatória de platôs basálticos, províncias de basaltos continentais e LIP silicosas é impressionante. Particularmente no caso da litosfera oceânica, um comportamento consignado como este levanta muitas dúvidas sobre os problemas remanescentes no estudo dos processos de subdução.

Se a crosta oceânica fora mais homogênea e simples (e “dócil”) como inicialmente descrita, a subdução não dar-se-ia tão facilmente que arcos magmáticos pudessem vir a ser formados, mas sem construções orogênicas de vulto. Geralmente, nesse quesito acima, de tratos anômalos, o maior destaque tem sido feito para as LIP formadas nos últimos 250 Ma, seguindo-se a fusão de Pangea e a fissão subsequente

Assim, são importantes também aqueles tipos associados com vulcanismo que acompanham os diferentes passos e as construções dependentes dos processos de interação de placas: fossa, paredes da fossa, bacias de antearco e de retroarco, arcos e ilhas vulcânicas etc. Além disso, há sempre as construções sedimentares (cones fluviais) e organogênicas, e alguns outros tipos de “altos” do embasamento oceânico (inclusive com afloramento local do manto) e do embasamento continental (riftes do processo de fissão nas proximidades das margens continentais).

No tocante à litosfera oceânica como um todo, nos últimos anos, há vários dados e estudos adicionais – imageamentos diversos, sísmica, furos profundos, estudo de diversos tipos distintos de sequências ofiolíticas (Dilek, 2003, Dilek & Newcomb, 2003), e monitoramento nos domínios oceânicos de zonas de acreção e subdução (Scholl & Von Huene, 2007). Todos esses empreendimentos trouxeram várias descobertas científicas de monta. O monitoramento de várias zonas de subdução em todo mundo e de furos profundos constituem projetos de cooperação internacional, que enriquecem, e em muito, aquela proposição (já revolucionária) de grande valia de Ben Avraham et al. (1981). No tocante aos processos das zonas de subdução, o balanço hoje estimado, entre litotipos subdutados e reciclados fornece dados e surpreendentes para todos, principalmente para os que cuidavam de modelar orogênias.

A complexidade da litosfera oceânica (muito distinta daquela idealizada nos modelos seminais da Tectônica de Placas), mesmo depois de ser caracterizada nas linhas mais gerais, requer algumas observações complementares, a serem revistas e/ou acrescentadas:

- a) A identificação dos diversos tipos de terrenos continentais acrescidos à crosta ocidental norte americana (identificados pela primeira vez já em 1972, por Irwin, posteriormente e enfatizados por Ben Avraham et al. 1981) e revistos já no clássico trabalho de Jones et al. (1982). Eles foram classificados como *hard to subduct*: “nativos”, “displaced”, “suspeitos”, “exó-

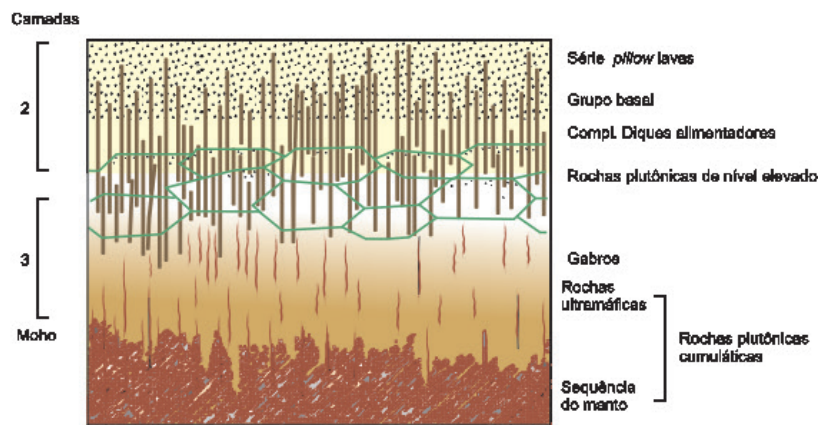


Figura 5. O esquema clássico de representação da crosta oceânica, camadas 1 (sedimento), 2 (basaltos almofadados, 2b (*sheeted* basaltos e gabros), 3 (cumulatos), esta limitada pelo Moho. Este tipo de perfil é o encontrado na planície abissal não muito distante das cristas meso-oceânicas

ticos” etc. foi descoberta científica que abalou os defensores dos modelos originais da Tectônica de Placas. De fato, as regiões posicionadas nas margens de antigas das fossas oceânicas têm se revelado como formadas por um mosaico o colagem de unidades litoestruturais de alguns

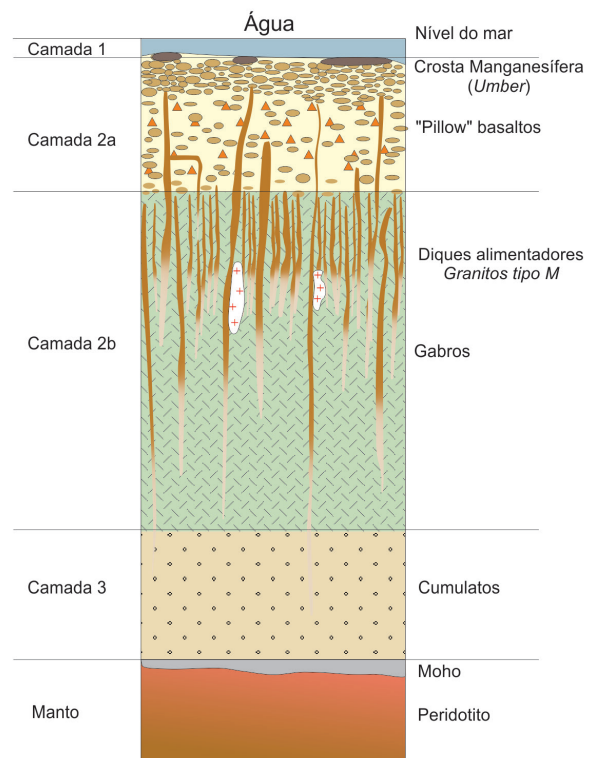


Figura 6. Seção da crosta oceânica como encontrada aflorando (no Chipre, na *klippe* ofiolítica/nappe de Troodos). Estas exposições são ponto de referência para aquelas esquematizadas na planície abissal (vide Fig. 3)

poucos a milhares de quilômetros quadrados de extensão (alguns dos quais, aparentemente nem mais associados com o processo de subdução atualmente em andamento), que foram encaixados/trapeados nas zonas de interação. As zonas costeiras ocidentais da América do Norte são os exemplos mais chamativos, e que têm haurido várias designações.

Particularmente os chamados *cordilleran suspect terranes* (distribuídos do México ao Alaska – circundando o Pacífico), em grande parte têm sido identificados como de procedência continental (próxima ou longínqua da margem norte-americana). Alguns outros são frações diversas do oceano (incluindo platôs, frações da crosta oceânica e acumulações ofiolíticas), geralmente de origem diversa, até mesmo longínqua, não relacionada como o processo de subdução ali próximo, em andamento.

- b) A descoberta recente de tratos continentais significativos no interior dos oceanos (por furos profundos, dragagem, investigações geofísicas diversas etc.), é fato relativamente novo. Tratos continentais têm sido encontrados em platôs oceânicos, em ilhas vulcânicas, em arquipélagos etc. Um alerta adicional relevante contra o simplismo dos modelos e ideias é a identificação de resquílios continentais e paleocontinentais (subaflorantes).

A presença dessas ocorrências aglutinações/edificações continentais de vulto no fundo dos oceanos é fato novo (adicional às antigas observações de Ben Avraham et al., 1981 e de Nur & Ben Avraham, 1982). São constatações tão revolucionárias, nessa década, quanto o foram os trabalhos dos autores mencionados, no século passado.

Entre a África e a Eurásia (ao sudeste da Ibéria) foram identificados recentemente restos de uma ocorrência continental inusitada no Mediterrâneo (supercontinente Adria) (Douwwe, 2020) com restos espalhados por cerca de 30 países, da Espanha ao Iran. Acredita-se que até 240 Ma fazia parte do contexto de Pangea, e provavelmente era parte da placa gondwânica da África que foi se aproximando e submergindo por sob a placa euroasiática (sendo subdotada parcialmente nos últimos 120 Ma, consoante uma velocidade calculada de 3 a 4 cm por ano. A forma original, as dimensões e a história da subdução (e o total das repercussões)

ainda não foram reconstituídas plenamente.

Já a leste da Austrália, entre a placa do Pacífico e da Austrália, com 94% de sua área total submersa (estimada em 4.900.000 km²), mas com áreas topograficamente realçadas até 1.000 m, tendo a Nova Caledônia a norte e as ilhas subantárticas da Nova Zelândia a sul, foi recentemente identificado um novo continente. O continente, “Zealandia”, “Zelândia” ou “Tasmantis” (Campbell & Mortimer, 2014) está sendo proposto como continente subaflorante. É constituído principalmente de rochas pré-cambrianas e paleozoicas, sendo considerado também um produto da fissão de Gondwana (IODP, *International Ocean Discovery Program*, Sutherland et al., 2020). A massa continental teria se separado da África há 85-60 Ma e da Antártida há cerca de 130 Ma. A submersão ter-se-ia iniciado há cerca de 25 Ma.

Para quem acompanhou os estudos dos terrenos gerados pela fissão de Gondwana e as suas variadas dispersões, para América do Norte, Europa e Ásia, a surpresa causada por essas descobertas é menor (vide Stampfli et al. 2002), mas, em geral, são descobertas científicas impactantes que não foram digeridas integralmente ainda (possibilidades de outras descobertas, repercussões etc.) pela comunidade das Geociências.

Há outras ocorrências similares a essas, ainda que de menores proporções, em fase de investigação em Seychelles (Ashwal et al., 2002) e em Mauritius, no Indico (Aswhwal, 2017) etc. Juntos, todos estes fatos nos alertam que, no futuro, devem ser esperados novos e inusitados conhecimentos, já que estamos longe de construir/propor modelos de processos orogênicos irrecoráveis.

Por conta dos fatos acima descritos, e vários outros em fase de investigação (há várias frentes de monitoramento), e considerando as características estruturais e composicionais (e sua dinâmica), é possível prescrever: a subdução da crosta oceânica enfrenta muitos problemas sempre, não é, pois, tranquila e ininterrupta. Ao contrário será sim submetida a muitos contrastes tectônicos.

- c) Nas construções ofiolíticas hoje mais bem conhecidas e classificadas, o complexo arranjo litoestrutural das unidades, a presença de falhas transformantes e outras feições complicam muito o esquema (que eram originalmente

arquitetados com geometrias e estruturas muito simples). Tipos distintos em evolução, estruturação, espessamento e composição, e que, embora ainda dependam de dados geológicos e geofísicos e precauções adicionais, constituem fato novo. Em outros termos, os esquemas de evolução precisam ser mais bem arquitetados. Além disso, mesmo nos esquemas usuais clássicos da crosta oceânica original estão consignadas várias formas distintas de relação dela para com o manto superior. São constatações a serem computadas nos próximos modelos da litosfera oceânica e dos processos de subdução.

A crosta oceânica

A crosta oceânica (*s.s.*) varia de 6 a 10 km de espessura, sendo composta em geral por rochas máficas, cobertas por fina camada sedimentar de espessura variável. Seu estudo tem sido feito a partir de sondagens profundas, sísmica, e principalmente dos tratos ofiolíticos (porções da litosfera oceânica em várias zonas orogênicas). O perfil clássico de camada 1 (sedimentos), 2a (basaltos com *pillows*), camada 2b (*sheeted dikes* e gabros estratificados), camada 3 (*cumulatos*), estes sobrepostos ao manto peridotítico, com limite muito marcante. O perfil, cravado nos principais livros-textos, está bem representado apenas nas planícies abissais (ou nappes das mesmas). A variação do esquema no sentido dos continentes e/ou das cristas meso-oceânicas é sempre esperada. Excelentes observações diretas dessa constituição podem ser feitas em zonas ofiolíticas colocadas por nappes sobre o continente (caso de Chipre, em Troodos).

Chamamos atenção para a Figura 1, com presença das LIP (*Large Igneous Provinces*/Grandes Províncias Ígneas) tanto nos continentes como nos oceanos. As províncias, nos últimos anos, têm sido mais comuns em fundos oceânicos, com uma importância significativa, estando cobertas por muitas publicações e livros específicos.

Interações continente-oceano

Nos modelos *plaquistas*, sempre foram considerados dois grandes atores (placas) em interação, precedidos por abertura oceânica, e depois seguidos de subdução até o consumo total da placa oceânica e a seguir a colisão continental (tectônica de escape lateral, nem sequer fora então abordada).

A simples participação de dois atores em interação existe, é comprovada, mas não é tão genérica, nem tão simplista como tem sido representado. É hoje absolutamente denegado o que foi dito e descrito sobre a litosfera continental e oceânica nas áreas paradigmáticas (fanerozoico dos continentes setentrionais), bem como o simplismo dos modelos de poucos atores e de linhas retas de interação. O normal é uma complexidade (maior) de atores e de interações, em diferentes tempos e modos do processo global. O caso dos terrenos “suspeitos” ou “exóticos” na cordilheira ocidental, e reconhecimento de vários terrenos do embasamento que ramificam os Appalachians (vide Hatcher Jr. et al., 2007) devem ser evocados. Similarmente, o traçado proposto para o sistema alpino-himalaiano, nos dias atuais, expressa claramente o reconhecimento da presença de vários terrenos, e assim, um esquema geral extremamente ramificado.

Nas interações oceano-contidente naturalmente é preciso considerar (estar atento para) todas as observações feitas acima, no tocante a litosfera continental e oceânica. Mas, os modelos clássicos colocados nos livros textos sobre a subdução “B” e a formação de rochas graníticas ainda trazem um ranço dos primeiros ensinamentos sobre o problema. Vamos examinar e ressaltar aqui dois problemas recorrentes e decorrentes deste simplismo de interações, lembrando que não são únicos. Na verdade, haveria muito mais “adendos” científicos a serem considerados, e que futuramente serão incorporados.

O primeiro caso é da subdução simples, oceano sob continente. O objetivo é destacar o número imenso de ambientes e subambientes que vão sendo constituídos e gradativamente importantes no processo de subdução. Além do que está sendo representado (de forma limitada pelo que permite um gráfico bidimensional), devemos alertar que:

- a) Vários atores adicionais podem chegar a vir ser partes (terrenos continentais de diversas procedências e natureza) nos domínios da interação.
- b) A transitoriedade dos tipos crustais está presente, principalmente no lado da placa inferior.
- c) Variações no ângulo de subdução são eventos comuns, na dependência da natureza e idade (mais denso, menos denso) da porção oceânica em subdução. Da variação deste ângulo vamos ter arcos compressoriais (ângulos menores, < 30°), extensionais (ângulos maiores). A alternância entre um quadro e outro pode ocorrer

ao longo do processo (vide Figs. 4 e 7).

- d) Arcos compressoriais e extensionais (estes com formação de bacias de retroarco) podem se alternar no tempo.
- e) O arco pode ser do tipo “*non-accreting*”, quando o distanciamento do eixo da fossa para o continente é mantido (isto ocorre hoje em mais de 75% das zonas de subdução, ca. 31.250 km), ou ainda do tipo “*accreting*” (isto ocorre hoje em ca. 25% dos domínios em subdução), quando a distância eixo da fossa-continente vai sendo acrescida (crescimento gradativo do prisma acrescionário).

Outra observação interessante é a riqueza de fontes que podem vir a formar rochas magmáticas no contexto do arco. No esquema da Figura 4 (cedido pelo Prof. Victor Ramos, observações nos Andes) temos várias possibilidades: frentes de desidratação (a fonte mais mencionada, quando não única), astenosfera empobrecida, manto litosférico, erosão crustal reciclada etc. Usualmente, muitos autores recorrem mecanicamente aos diagramas discriminantes de Geotectônica mais divulgados, para tentar definir procedências do magmatismo. Não vamos questionar a qualidade e a oportunidade de utilização dos mesmos, mas se deve estar atento para estes fatos, como esquematizado nas figuras 4 e 7, antes de conclusões apressadas.

Principais Excertos

Os principais fatos

- a) Os modelos clássicos da Tectônica de Placas/ Tectônica Global foram inicialmente baseados em faixas fanerozoicas, que no cômputo global representam menos ca. 14% da litosfera continental como um todo.
- b) As margens continentais são em geral não retilíneas, com reentrâncias e saliências importantes. Margens retilíneas (hoje em dia) são raridades
- c) A litosfera continental é fundamentalmente variada em espessura, tipos, rigidez, idade etc. A condição heterogênea prevalece sempre, diferentemente de como tem sido tratada. A evolução de sua composição com o tempo é fundamental para o entendimento da tectônica.
- d) Os vetores de aproximação de placas são em geral oblíquos, e submetidos à decomposição de seus vetores, com resultados deformacionais

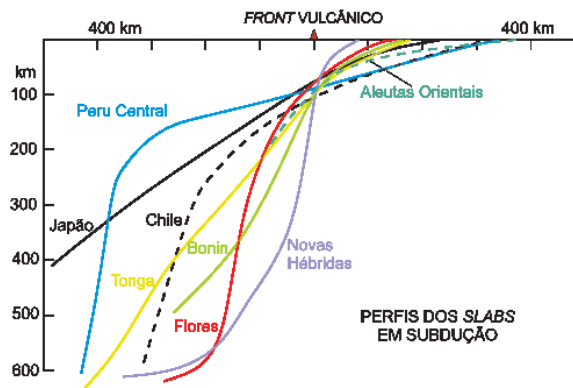


Figura 7. Perfis verticais, em diferentes zonas de subdução, mostrando as muitas possibilidades de percurso (em projeção vertical) dos *slabs*, trajetetos e ângulos. Fonte: Conrad & Bertelloni (2002)

bastante distintos (os vetores da compressão horizontal são os mais comumente representados, o que é criticável)

- e) A deformação causada por colisão não se limita às bordas das placas. Geralmente adentram por dezenas, e por vezes até milhares de quilômetros placa adentro, com consequências (e organizações) estruturais de vulto.
- d) Existem inúmeros casos de faixas de dobramentos de substrato continental, ou seja, nestes casos, sem a presença de tratos oceânicos e de subdução. Em praticamente todos os continentes estes tipos têm sido encontrados e estudados.
- e) A litosfera continental é destrutível, digerível e submersível, em diferentes circunstâncias (condições cuja negação absoluta foi praxe nos primórdios da Tectônica de Placas).
- f) No interior dos oceanos atuais (e certamente nos antigos) há várias evidências de tipos crustais continentais, por diferentes circunstâncias. Várias porções continentais têm sido documentadas em terrenos tectonoestratigráficos, platôs, ilhas vulcânicas e mesmo alguns domínios maiores subaflorantes (placas e microplacas).
- g) A rigidez absoluta das placas continentais não é fato. As placas podem sofrer *desplacamentos*, delaminações, desflacamento, cisalhamentos, dobramentos e outras ingerências deformacionais (dependendo das circunstâncias e das interações).
- h) A separação do casal litosférico: crosta + manto

superior pode ocorrer (delaminação ou *desplacamento*). Próximo às zonas de interação, isto ocorre sempre, por razões físicas, problemas de densidade e momento (físico).

- i) Materiais magmáticos (bolsões) quentes podem ser abrigados no interior da litosfera continental (*underplating*), e costumam ser fontes de magmatismo intracontinental, e de enfraquecimento da litosfera como um todo. Podem causar a instalação de Ciclos de Wilson.
 - j) Cessada a colisão, a deformação continua (componentes *strike-slips* são enfatizados), provocando fenômenos de extrusão: fuga lateral dos blocos em interação. Movimentos laterais podem chegar a milhares de quilômetros (em alguns casos são os mais vultosos daqueles resultantes da interação de placas). A colisão ocorre, mas continua a aproximação/convergência.
 - k) A litosfera oceânica é muito extensa (como se sabe, superfície alcança um total global estimado em 360.000.000 km²), e comumente é muito variada no varejo em seus tipos crustais usuais e outros (em número bem superior aos da litosfera continental). Além disso, a transitoriedade dos tipos oceânicos é mais vigorosa do que aquela dos tratos continentais.
 - l) A litosfera oceânica, a seu modo, no interior dos seus domínios, apresenta muita diversidade de tipos crustais. A estimativa é de que ca. 20% do que se supunha muito anteriormente como plenamente subdutável, apresentam dificuldades de subdutar ou nem o fazem. A homogeneidade decantada e esperável (e exaltada antes) não é fato.
 - m) Diferentes tipos de fragmentos crustais continentais pequenos, médios e grandes, têm sido identificados no interior da litosfera oceânica. Ultimamente até placas continentais subaflorentes (e.g. Adria, Zelândia) vêm sendo identificadas. E estas detecções tendem a crescer com a investigação direta (dragagem, furos) e indireta (métodos geofísicos).
 - n) Nos termos acima, a subdução não pode ser fenômeno unilateral nos oceanos, ao longo das interações de placas. Há tratos crustais no interior dos oceanos, que por questões de densidades e espessuras (apresentam dificuldades de entrar em subdução ou nem o fazem) e são classificados como *hard to subduct*. Estes tratos encaixam nas zonas de interação.
 - o) Há um desequilíbrio aparente entre os totais
- lineares de dorsais meso-oceânicas (as criadoras) vigentes (ca. 65 000 km) e de zonas de subdução em atividade (as destruidoras, ca. 42.500 km). Diversas causas são apontadas e creditadas para este interessante confronto (mas nem todas suficientemente convincentes ainda, algumas carentes de dados adicionais).
 - p) A designação de crista meso-oceânica tem que ser vista com cuidado, pois há casos onde estas cristas não estão no meio dos oceanos, mas sim entrando em zonas de subdução (vide crista do Chile).
 - q) Segundo vários autores, os fenômenos de Tectônica Global, com interação comum de placas continentais e oceânicas, fechamento de bacias oceânicas etc., são conjuntos de fenomenologia única nos planetas terrestres. Os processos refletem formas distintas de perda de calor do manto. A designação usual para os mesmos é de processos “wilsonianos”
 - r) No tocante às LIP (*Large Igneous Provinces*), elas independem da convecção e são posicionados nos oceanos (com maior desenvoltura e número), nos continentes, nas margens entre continentes e oceanos, no interior e nas margens de placas. Estas LIP têm privilegiado domínios oceânicos, mas as causas para isto não são muito discutidas.
 - s) As LIP apresentam uma série grande de características próprias, e especiais que estão sendo abrigadas como uma espécie de teoria complementar à Tectônica de Placas. Sua importância na formação das crostas continental e oceânica nos períodos pré-neoproterozoicos tem sido considerada superior àquela dos ciclos chamados “wilsonianos”.
 - t) A transitoriedade é uma característica dos tipos crustais, mais imponente naquelas situadas nos oceanos. A variação dos tipos crustais acompanha as etapas do processo de separação e posterior interação de placas.
 - u) É possível se traçar uma equação geral para os processos de passagem de uma litosfera continental para oceânica (coroamento de uma tafrogênese), do tipo:
Domo → Gráben → Rife → Golfo → Pequeno Oceano → Grande Oceano → Superoceano
 - v) Para os processos contrários, de evolução de um processo orogênico, há vários caminhos, diversificados e com sínteses sempre difíceis e incompletas. Há diferentes interações de

tipos crustais e oceânicos e equação desse tipo acima é difícil de ser traçada. Para cada termo da equação há mais de uma possibilidade a ser desenvolvida (aproximação → subdução → orogênese/interação principal → pós-interação/colagem orogênica)

Algumas questões em aberto

- Como, onde e como surgiu a crosta continental primitiva?
- Qual teria sido a natureza petrológica desta protocosta (hadeana/paleoarqueana)? Estudos geoquímicos e isotópicos têm nos levado a cerca de quatro dezenas de hipóteses e possibilidades.
- O Arqueano formou entre 60 e 65% (em 1,5 Ga) da litosfera continental, e o Proterozoico + Fanerozoico juntos apenas 30 a 35% (em ca. 2,5 Ga). Qual a razão dessas proporções e performances distintas de desenvolvimento geotectônico?
- Quando se instalou definitivamente o Ciclo de Wilson? Quando a Tectônica de Placas se instalou na Terra? Seria ela dominante apenas a partir do Fanerozoico, como insistem alguns autores?
- Quais as causas da fusão supercontinental periódica e da subsequente fissão respectiva?
- São forças oriundas no manto da Terra ou nascidas das zonas de subdução?
- *Did the Atlantic close and then re-open?* (J. T. Wilson, 1966)
- Por que e como as novas zonas de subdução costumam se formar próximo às predecessoras?
- Quando saberemos que a herança tectônica é controlada inteiramente pela crosta ou pelo manto?
- Qual o real significado dos grandes lineamentos transcontinentais em termos de Tectônica Global como um todo?
- Quando poderemos sair do descritivismo genérico para uma interpretação geodinâmica bem respaldada?
- Como se desenvolve a anisotropia da litosfera e como ela realmente determina a geometria das margens que são rifteadas?
- Os geólogos, geofísicos e tectonistas já explo-

raram devida e suficientemente todos os tipos de crosta continental e oceânica e de seus tipos litoestruturais – em todos os contextos possíveis na superfície da Terra –, para falar em nome do global?

Agradecimentos

O autor agradece a vários colegas de seu departamento de origem (Departamento de Mineralogia e Geotectônica, Instituto de Geociências da USP) pelas muitas discussões encetadas e pelo produtivo intercâmbio de referências bibliográficas. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), agradece pelos incentivos consubstanciados na manutenção de uma bolsa de Pesquisador 1A, por quase cinco décadas. Aos revisores anônimos de *Terræ Didactica*, o agradecimento pelas excelentes sugestões e advertências para o nosso aprimoramento.

Referências

- Aitken, A. R. A., Raimondo, T., & Capitanio, F. A. (2013). The intraplate character of supercontinent tectonics. *Gondwana Research*, 24(3-4), 807-815. doi: 10.1016/j.gr.2013.03.005.
- Ashwal, L. D., Demafife, D., & Torsvik, T. A. (2002). Petrogenesis of Neoproterozoic granitoid and related rocks from the Seychelles: the case for an Andean-type arc origin. *Journal of Petrology*, 43(1), 45-83. doi: 10.1093/petrology/43.1.45.
- Ashwal, L. D., Wedenbeck, M., & Torvik, T. H. (2017). Archean zircons in Miocene oceanic hotspot rock establish continental crust beneath Mauritius. *Nature communications*. doi: 10.1038/ncomms14086.
- Auboin J. 1965. *Geosynclines*. Amsterdam, Elsevier. 335p.
- Belousov V. V., 1962. Basic problems in Geotectonics. New York, Mc-Graw Hill. 862p.
- Ben Avraham, Z., Nur, A., Jones, D., & Cox, A. (1981). Continental accretion from oceanic plateaus to allochthonous terrane. *Science*, 213(4503), 47-54. doi: 10.1126/science.213.4503.47.
- Bertotti G., Lamotte D. F., Charroud M. (2009). The Geology of the vertical movements of the Lithosphere; an overview. *Tectonophysics*, 475, 1-8
- Bird, P. (1978). Initiation of intracontinental subduction in the Himalaya. *Journal of Geophysical Research*, 83, 7561-7571. doi: 10.1029/JB083iB10p04975.
- Brito-Neves, B. B. de. (2019). Terrenos tectonoestratigráficos e/ou “Maciços”. Evolução do conceito e aplicação na Zona Transversal da Província Borborema. *Terræ Didactica*, 15, 1-28. doi: 10.20396/td.v15i0.8655818.
- Brito-Neves, B. B. de. (2020). Tectônica de Placas, 50 anos: os adendos científicos e as teorias complementares. *Terræ Didactica*, 16, 1-24, e020044. doi: 10.20396/td.v16i0.8662073.
- Burke, K., & Sengör, A. M. C. (1979). Review of Plate Tectonics. *Reviews of Geophysics*, 17(6), 1081-1090. doi: 10.1029/RG017i006p01081.

- Campbell, H. & Mortimer, N. (2014). *Zealandia, our continent revealed*. Auckland, NZ: Penguin Group New Zealand. 231p.
- Coffin, M. F., & Eldholm, O. (1994). Large igneous provinces: crustal structure, dimensions and external consequences. *Review of Geophysics*, 32(1), 1-36. doi: 10.1029/93RG02508.
- Coffin, M. F., & Eldholm, O. (2005). Large igneous provinces. In: Selley, R. C., Cocks, R., & Plimmer, I. R. (Eds.) (2005). *Encyclopedia of Geology*. Oxford, Elsevier. p. 315-323.
- Condie, K. C. (1982). *Plate Tectonics and Crustal Evolution*. 2 ed. Oxford, Pergamon Press. 280p.
- Condie, K. C. (2011). *Earth as an Evolving Planetary System*. 2 ed. Amsterdam, Netherlands, Elsevier. 574p.
- Condie, K. C. (2001). *Mantle Plumes and their record in Earth History*. Cambridge, UK: Press Syndicate of the University of Cambridge. 326p.
- Condie, K.C. (2007). Accretionary orogens in space and time. In: Hatcher Jr., R. D., Carlson, M. P., McBride J. H., & Catalán. J. R. M. (Eds.) (2007). *4D Framework of Continental Crust*. Boulder, Colorado: The Geological Society of America Memoir, 200. p. 145-158.
- Coney, P. J. (1973). Tectonics of Marginal Foreland Thrust and Fold Belts. *Geology*, 1, 131-134. doi: 10.1130/0091-7613(1973)1<131:PTOMFT>2.0.CO;2
- Conrad, P. C. & Bertelloni, C. (2002). How mantle slabs drive Plate Tectonics. *Science*, 298(5591), 207-209. doi: 10.1126/science.1074161.
- Der Pluijm, B. V. A. & Marshak, S. (2004). *Earth Structure*. 2 ed. New York, USA, London, England: Norton & Co.
- Dewey, J. F. (1988). Extensional collapse of orogens, *Tectonics*, 7, 1123-1139. doi: 10.1029/TC007i006p01123.
- Dewey, J. F. (2007). The secular evolution of plate tectonics and the continental crust. In: Hatcher Jr., R. D., Carlson, M. P., McBride J. H., & Catalán. J. R. M. (Eds.) (2007). *4D Framework of Continental Crust*. Boulder, Colorado: The Geological Society of America Memoir, 200. p.1-7.
- Dewey, J. F., & Bird, J. M. (1970). Mountain belts and the new global tectonics. *Journal of Geophysical Research*, 75(14), 2625-2647. doi: 10.1029/JB075i014p02625.
- Dewey, J. F., & Bird, J. M. (1970b). Plate Tectonic and geosynclines. *Tectonophysics*, 10, 625-638. doi: 10.1016/0040-1951(70)90050-8.
- Dewey, J. F., & Burke, K. A. (1973). Tibetan, Variscan, and Precambrian basement activations: products of continental collision. *Journal of Geology*, 81(6), 683-692. URL: 10.1086/627920.
- Dewey, J. F., & Horsfield, B. (1970). Plate Tectonics, Orogeny and Continental Growth. *Nature*, 225, 521-525. doi: 10.1038/225521a0.
- Dietz, R. S. (1963). Collapsing continental rises: an actualistic concept of geosynclines and mountain building. *Journal of Geology*, 7, 314-333. doi: 10.1086/626904.
- Dietz, R. S., & Holden, J. C. (1966). Miogeoclines (Miogeosynclines) in Space and Time. *Journal of Geology*, 74, 566-583. doi: 10.1086/627189.
- Dickinson, W. R. (1970a). Global Tectonics (2nd Penrose Conference). *Science*, 168, p.1250-1259. doi: https://doi.org/10.1126/science.168.3936.1250.
- Dickinson, W. R. (1970b). Relation of andesites, granites and derivative sandstones to arc trench tectonics. *Review Geophysical Space Physics*, 8, 813-860. doi: 10.1029/RG008i004p00813.
- Dickinson, W. R. (1971). Plate Tectonic models of geosynclines. *Earth and Planetary Science Letters*, 10, 165-174. doi: 10.1016/0037-0738(71)90018-2.
- Dickinson, W. R. (1974) *Tectonics and Sedimentation*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 22, Tulsa, 1-27.
- Dickinson, W. R. & Seely, D. R. (1970). The new global tectonics. 2nd Penrose Conference. *Geotimes*, 15, 18-22.
- Dilek, Y. (2003). *Ophiolite concept and its evolution*. In: Dilek, Y. & Newcomb, S. (Eds.). (2003). *Ophiolite concept and the evolution of the geological thought*. Boulder, Colorado. Geological Society of America Special Paper, 373, 1-16.
- Dilek, Y. & Newcomb, S. (Eds.). (2003). *Ophiolite concept and the evolution of the geological thought*. Boulder, Colorado. Geological Society of America Special Paper, 373, 182p.
- Douwwe, J. J. (2020). Orogenic architecture of the Mediterranean region and kinematics reconstruction of its evolution since the Triassic. *Gondwana Research*, 81, 79-229. doi: 10.1016/j.gr.2019.07.009.
- Ernst, R. E. (2014). *Large Igneous Provinces*. Cambridge, England: Cambridge University Press. 653 p.
- Hand, M. & Sandiford, M. (1999). Intraplate deformation in Central Australia, the link between subsidence and fault reactivation. *Tectonophysics*, 305(1-3), 121-140. doi: 10.1016/S0040-1951(99)00009-8.
- Hatcher Jr., R. D., Carlson, M. P., McBride J. H., & Catalán. J. R. M. (Eds.) (2007). *4D Framework of Continental Crust*. Boulder, Colorado: The Geological Society of America Memoir, 200. 641p.
- Hawkesworth, C. J., Cawood, P. A., Dhuime, B. (2020). The evolution of the continental crust and the onset of plate tectonics. *Frontier Earth Sciences (Lausanne)*, 2, 1-39. doi: 10.3389/feart.2020.00326.
- Hess, H. H. (1962). History of ocean basins. *Geological Society of America Special Paper*, 62, 391-408.
- Howell, D. G. (1995). *Principles of Terrane analysis: new application for global tectonics*. 2 ed. London, England, Chapman and Hall, 235p.
- Irwin, P. (1972). Terranes of the western Paleozoic and Triassic belts of the Lamath Mountains, California. *United States Geological Survey Professional Paper*. 800-C, C3-C111.
- Isacks, B., Oliver, J., & Sykes, L. R. (1968). Seismology and the new Global Tectonics. *Journal of Geophysical Research*, 73(18), 5855-5899. doi: 10.1029/JB073i018p05855.
- Jones, D. L., Coney, P. & Beck, M. (1982). The growth of Western North America. *Scientific American*, 247(5), 70-85. URL: https://www.jstor.org/stable/24966727. Acceso 11.11.2020.
- Kay, R. W., & Kay, S. M. (1993). Delamination and delamination magmatism. *Tectonophysics*, 219, 177-189. URL: https://earthscience.rice.edu/wp-content/uploads/2020/03/Kay-and-Mahlburg-Kay-1993-Delamination-and-delamination-magmatism.pdf. Acceso 11.11.2020.
- Kearcy, P, Klepeis, K. A. & Vine, F. J. (2009). *Global Tectonics*. 3 ed. Oxford, Wiley-Blackwell, 496p.

- Khain, V. Y. (1960). *Main types of tectonic structures, their principal features and probable origin*. In: International Geological Congress 21, Copenhagen, part. 18, p. 215-226.
- Khain, V. Y. & Sheinmann, M. V. (1962). Hundredth anniversary of the geosynclinal theory. *International Geology Review*, 4, 166-198.
- Khain, V. Y. (1960) *Main types of tectonic structures, their principal features and probable origin*. In: XXI International Congress Proceedings, 18, Copenhagen. p. 215-226.
- Kröner, A. (1977). The Precambrian geotectonic evolution of Africa: plate accretion versus plate destruction. *Precambrian Research*, 4 (2), 163-213.
- Kröner, A. (1981). *Precambrian Plate Tectonics*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 780p.
- Kröner, A. (Ed.) (1987). *Proterozoic Lithospheric Evolution*. Boulder, Colorado, America Geophysical Union. (Geodynamics Series, 17), 273p.
- Le Pichon, X. (1968). Sea floor spreading and continental drift. *Journal of Geophysical Research*, 73, 3661-3697. doi: 10.1029/JB073i012p03661.
- Marshak, S., Karlstrom, K. & Timmons, J. M. (2000). Inversion of Proterozoic extensional faults: an explanation for the patterns of Laramide and Ancestral Rockies intracratonic deformation, United States. *Geology*, 26, 735-738. doi: 10.1130/0091-7613(2000)28<735:IOPEFA>2.0.CO;2.
- Marshak, S., van Der Pluijm, B. A. & Hamburger, M. (1999). The Tectonics of Continental Interiors. *Tectonophysics*, 305(1/3), 1-408. (Preface of the Penrose Conference, Utah, Special Issue). doi: 10.1016/S0040-1951(99)00003-7.
- Martin, H. & Eder, F. W. (1983). *Intracontinental Fold Belts. Case studies in the Variscan Belt of Europe and the Damara Belt in Namibia*. Berlin, Springer Verlag. 945p.
- Mitchel, A. H. & Reading, H. G. (1969). Continental margins, geosynclines and sea floor spreading. *Journal of Geology*, 77, 629-646. doi: 10.1086/627462.
- Molnar, P. & Gray, D. (1979). Subduction of continental lithosphere: some constraints and uncertainties. *Geology*, 7, 58-62. doi: 10.1130/0091-7613(1979)7<58:SOCLSC>2.0.CO;2.
- Moore, E. M. & Twiss, R. J. (1995). *Tectonics*. New York, Freeman & Co, 415p.
- Morgan, W. J. (1971). Convection plumes in the lower mantle. *Nature*, 230, 42-43. doi: 10.1038/230042a0.
- Morgan, W. J. (1972). *Deep mantle convection plumes and plate motion*. Geological Society of America Memoir, 132, 7-22.
- Mortimer, N., Hammish, J. Campbell, J. Tulloch, A. J., King, P. R., Vaughan, Staggpoole, M., Wood, R. A., Ratenbourny, M. S., Sutherland, R., Adams, C. J., Collot, J. & Seton, M. (2017) Zelandia: Earth's hidden continent. *GSA Today*, 27(3), 27-33. doi: 10.1130/GSATG321A.1
- Muratov, M. V. (1972). Main structural elements of the crust on continents, their interrelations and Age. In: *International Geological Congress, 24, Section III*. Montreal, Canada, p.71-78
- Muratov, M. V. (1977). *The origin of Continents and Ocean Basins*. Moscow, Mir, 191p.
- Nur, A. & Ben-Avraham Z. (1982). Oceanic plateaus, the fragmentation of continents and mountain build-ups. *Journal of Geophysical Research*, 87 (issue B 5), 3644-3666. doi: 10.1029/JB087iB05p03644.
- Raimondo, T., Collins, A., Hand, M., Walker-Hallam, A., Smithies, R. H., Evins, P. M. & Howard, H. M. (2010). The anatomy of a deep continental orogen. *Tectonics*, 29, 1-31. doi: 10.1029/2009TC002504.
- Rudnick, R. L. (1995). Making continental crust. *Nature*, 378, 571-578 doi: 10.1038/378571a0.
- Sandiford, M. (1999). Mechanics of basin inversion. *Tectonophysics*, 305, 109-120. doi: 10.1016/S0040-1951(99)00023-2.
- Sandiford, M. & Hand, M. (1998). Controls on the locus of intraplate deformation in Central Australia. *Earth Planetary Science Letters*, 162, 97-110 doi: 10.1016/S0012-821X(98)00159-9.
- Scholl, D.W. & Von Huene, R. (2007) Crustal recycling of modern subduction zones applied to the past. Issues of growth and preservation of continental basement crust, mantle geochemistry and supercontinent reconstruction. In: Hatcher Jr., R. D., Carlson, M. P., McBride J. H., & Catalán, J. R. M. (Eds.) (2007). *4D Framework of Continental Crust*. Boulder, Colorado: The Geological Society of America Memoir, 200. 9-32.
- Sengör, A. M. C. (1990). Plate Tectonics and Orogenic Research after 25 years; a Tethyan perspective. *Earth Science Reviews*, 27(1-2), 1-201. doi: 10.1016/0012-8252(90)90002-D.
- Sengör, A.M.C. (2014). Eduard Suess and global tectonics: An illustrated "short guide" . *Austrian Journal of Earth Sciences*, 107, 6-82.
- Stampfli, G. M., von Haumer, J. & Borel, G. D. 2002. Paleozoic evolution of pre-Variscan terranes: from Gondwana to the Variscan collision. In : Catalan, J. R. M., Hatcher Jr., R. D., Arenas, R., & Garcia, F. D. (Eds). (2002). *Variscan Appalachian Dynamics. The building of the Paleozoic basement*. Geological Society of America, Special Paper, 364, p. 263-280.
- Stein, M. & Hofmann, A. W. (1994). Mantle plumes and episodic crustal growth. *Nature*, 382, 63-68. URL: <https://www.nature.com/articles/372063a0>.
- Stern, R. (1994). Neoproterozoic (900-550 Ma) arc assembly and continental collision in the East African Orogen. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 22, 319-351. doi: 10.1038/372063a0.
- Toksöz, M. N. (1975). La subduction de la Lithosphère. *Scientific American*, november 1975, 56-68.
- Vine, E. J. & Mathews, D. H., 1963. Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature*, 199(4897), 947-949.
- Wilson, J. T (1966). Did the Atlantic close and then reopen? *Nature*, 211, 676-681.
- Wilson, J. T. (1965). Transform faults, oceanic ridges and magnetic anomalies southwest of Vancouver Island. *Science*, 150, 482-485. doi: 10.1126/science.150.3695.482.
- Wilson, J. T. (1968). A revolution in the Earth Sciences. *Geotimes*, 13, 10-16.
- Wilson, R., Houseman, G. A., Buitter, S. J. H., McCaffrey, K. J. W., Doré, A.G. (2019). Fifty years of the Wilson Cycle concept in plate tectonics: an overview. *Geological Society of London, Special Publication*, 470, 1-17. doi: 10.1144/SP470-2019-58.
- Windley, B. (1979). *The evolving continents*. Chichester, J. Wiley, 385p.