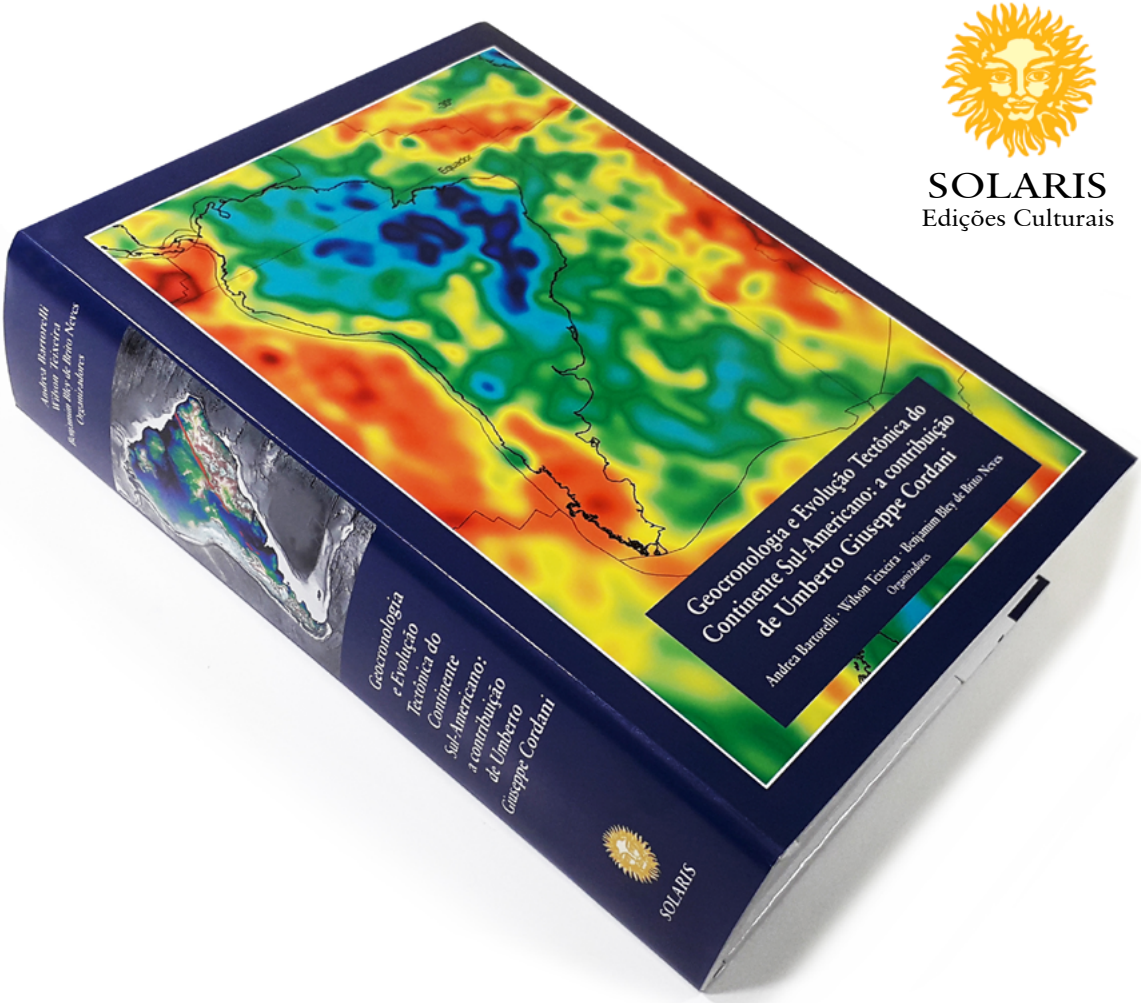


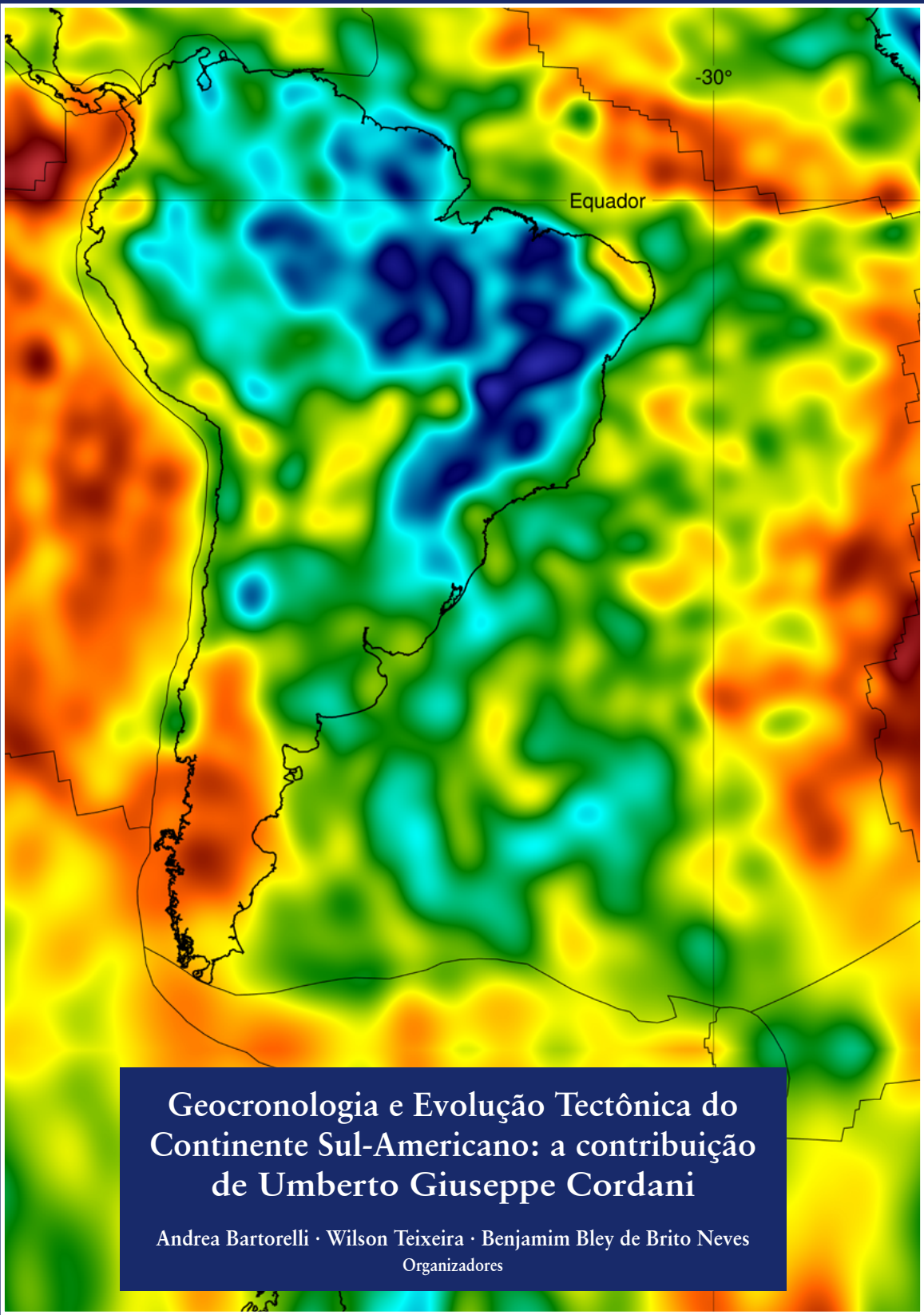
SOLARIS
Edições Culturais

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
(CPRM) – Serviço Geológico do Brasil

Mineração Caraíba

Sens Advanced Mass Spectrometry

MGA – Mineração e Geologia Aplicada



Geocronologia e Evolução Tectônica do Continente Sul-Americano: a contribuição de Umberto Giuseppe Cordani

Andrea Bartorelli · Wilson Teixeira · Benjamim Bley de Brito Neves
Organizadores

ANDREA BARTORELLI
WILSON TEIXEIRA
BENJAMIM BLEY DE BRITO NEVES
Organizadores

Geocronologia e Evolução Tectônica do Continente Sul-Americano: a contribuição de Umberto Giuseppe Cordani

1ª edição

SOLARIS
Edições Culturais

São Paulo, 2020

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

8 O protagonismo científico do Professor Umberto Giuseppe Cordani. Apresentação de Andrea Bartorelli, Wilson Teixeira e Benjamim Bley de Brito Neves (Organizadores).

PREFÁCIO

15 José Goldemberg.

APOIO E PATROCÍNIOS

16 Cordani, uma história mais que geológica. Simone Cerqueira Pereira Cruz, Presidente da Sociedade Brasileira de Geologia.

17 Centro de Pesquisas em Geocronologia e Geoquímica Isotópica – CPGeo. Maria Helena Bezerra Maia de Hollanda, Diretora – CPGeo.

18 Laboratório de Geocronologia de Alta Resolução. Prof. Dr. Colombo Celso Gaeta Tassinari, Coordenador do GeoLab-SHRIMP.

PRIMEIRA PARTE: INTRODUÇÃO

20 Um cientista cidadão. Jacques Marcovitch.

26 A elaboração do Mapa Tectônico da América do Sul. Umberto G. Cordani.

30 O Brasil sob a ótica tectônica e o caso do Cráton do São Francisco: a contribuição de U. G. Cordani. Fernando Flecha de Alkmim, Simone Cerqueira Pereira Cruz.

SEGUNDA PARTE: ESTADO DA ARTE DO CONHECIMENTO

47 **Capítulo 1:** O Cráton Amazônico e suas províncias geocronológicas: o legado de Umberto Cordani. Moacir José Buenano Macambira, Wilson Teixeira, Marcelo Lacerda Vasquez.

63 **Capítulo 2:** O sudeste do Cráton Amazônico e seu significado como embrião cratônico. Moacir José Buenano Macambira, Marcelo Lacerda Vasquez, Gilmar José Rizzotto.

79 **Capítulo 3:** Compartimentação tectônica na porção sudeste do Escudo das Guianas: as províncias Maroni-Itacaiúnas e Amazônia Central. Jean Michel Lafon, Lúcia Travassos da Rosa Costa.

92 **Capítulo 4:** Geologia e evolução tectônica das porções central e nordeste do Escudo das Guianas e sua estruturação em cinturões eo-orosirianos. Lêda Maria Barreto Fraga, Jean-Michel Lafon, Colombo Celso Gaeta Tassinari.

111 **Capítulo 5:** Geologia e evolução crustal do centro-norte do Cráton Amazônico e correlações com as províncias geocronológicas. Marcelo Esteves Almeida, Rielva Solimairy Campelo Nascimento.

122 **Capítulo 6:** O caráter crustal policíclico do sudoeste do Cráton Amazônico. Jorge Silva Bettencourt, Wilson Teixeira, Amarildo Salina Ruiz.

136 **Capítulo 7:**
Umberto Cordani e a Geologia do Centro-Oeste.
Reinhardt Adolfo Fuck.

146 **Capítulo 8:**
O Orógeno Brasília Meridional.
Mario da Costa Campos Neto, Cauê Rodrigues Cioffi, Alice Westin, Brenda Chung Rocha, Gabriella Labate Frugis, Mahyra Tedeschi, Marco Aurélio Piacentini Pinheiro.

181 **Capítulo 9:**
O Lineamento Transbrasiliano: um elemento chave na evolução da Plataforma Sul-Americana.
Marlei Antônio Carrari Chamani.

203 **Capítulo 10:**
Província Borborema, síntese retrospectiva do conhecimento.
Benjamim Bley de Brito Neves.

250 **Capítulo 11:**
O Orógeno Araçuaí à luz da Geocronologia: um tributo a Umberto Cordani.
Antônio Carlos Pedrosa-Soares, Carolina Deluca, Cristina Santos Araujo, Camila Gradim, Cristiano de Carvalho Lana, Ivo Dussin, Luiz Carlos da Silva, Marly Babinski.

273 **Capítulo 12:**
Terrenos policíclicos da Província Mantiqueira: da superposição de orogêneses aos modelos atuais.
Miguel Tupinambá, Beatriz Paschoal Duarte, Monica Heilbron, Claudio de Morisson Valeriano.

288 **Capítulo 13:**
Geocronologia do magmatismo granítico no sudeste brasileiro: evolução do conhecimento a partir das contribuições de Umberto G. Cordani.
Silvio Roberto Farias Vlach, Valdecir de Assis Janasi.

305 **Capítulo 14:**
Geocronologia e Tectônica do Grupo Brusque – Cinturão Dom Feliciano
Miguel Angelo Stipp Basei, Cláudia Regina Passarelli, Mathias Hueck, Oswaldo Siga Júnior, Marina Q. Fernandes, Neivaldo Araújo de Castro.

334 **Capítulo 15:**
Geocronologia e geoquímica isotópica da Província Ígnea Paraná-Etendeka.
Evandro Fernandes de Lima, Valdecir de Assis Janasi, Lucas de Magalhães May Rossetti, Breno Leitão Waichel.

348 **Capítulo 16:**
U. G. Cordani e o magmatismo alcalino.
Celso de Barros Gomes.

357 **Capítulo 17:**
Influência do embasamento na evolução de bacias sedimentares: a contribuição de Umberto Giuseppe Cordani e do grupo de Geocronologia e Tectônica da USP para as atividades exploratórias da Petrobras.
Edison José Milani, Peter Szatmari.

392 **Capítulo 18:**
Geochronological record of plutonic activity on a long-lived active continental margin, with emphasis on the pre-Andean rocks of Chile.
Mauricio Calderón, Francisco Hervé, Francisco Munizaga, Robert John Pankhurst, Christopher Mark Fanning, Carlos W. Rapela.

408 **Capítulo 19:**
Geocronología e isotopía de Sr y Nd en los Andes Colombianos como trazadores de la formación del Supercontinente Pangea.
César Vinasco.

418 **Capítulo 20:**
Tectonic juxtaposition of Triassic and Cretaceous meta-(ultra)mafic complexes in the Central Cordillera of Colombia

(Medellín area) revealed by zircon U-Pb geochronology and Lu-Hf isotopes.
Mauricio Ibañez-Mejia, Jorge J. Restrepo, Antonio García-Casco.

444 **Capítulo 21:**
Geochronology of the Makenene-Bafoussam transect in Cameroon: constraints for a major crustal boundary in the Precambrian terrains of Cameroon (Central Africa).
Jean Pierre Tchouankoue, Depesquidoux I Tchato Tchaptchet, Nicole Armelle Simeni Wambo, Madeleine Liliane Nyassa, Joseline Dieugnou Juinang, Celine Maffo Feudjou, Noel Aimee Kouamo Keutchafo.

456 **Capítulo 22:**
Reviews of the Eburnean geodynamic evolution: case study of the Kedougou-Kenieba Inlier (Senegal).
Gueye Mamadou, Ngom Papa Malick.

475 **Capítulo 23:**
Trajetória geocronológica do Prof. Cordani na África e a colaboração científica com Moçambique.
Rômulo Machado, Ruy Paulo Philipp.

482 **Capítulo 24:**
A review of the modern geochronological record of the Mozambique Belt in Mozambique and its key in understanding the crustal evolution.
Daud L. Jamal, Fátima R. Chaúque, Pete Siegfried, Heldo Manhiça, Felizardo M. Augusto, Doldêncio C. Macute.

TERCEIRA PARTE: ENTREVISTAS E DISCURSOS

496 **Capítulo 1:**
De Milão para São Paulo.
Entrevista de Andrea Bartorelli.

507 **Capítulo 2:**
Cordani e a revolução científica da tectônica de placas. Entrevista de Marta Silvia Maria Mantovani.

526 **Capítulo 3:**
Saudação pela outorga do título de Professor Emérito a Cordani em sessão solene da Congregação em 19 de novembro de 2010.
Sônia Barros de Oliveira.

528 **Capítulo 4:**
"Nature to be commanded..." Address by the IUGS President at the opening ceremony of the 28th International Geological Congress.
Umberto G. Cordani.

QUARTA PARTE: DEPOIMENTOS

534 **Capítulo 1:**
Origin of the Center for Geochronological Research at São Paulo.
John Hamilton Reynolds (*in memoriam*).

546 **Capítulo 2:**
Trajetória histórica do Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo.
Enio Soliani Jr., Koji Kawashita.

563 **Capítulo 3:**
A importância do SHRIMP da USP para a Geologia Brasileira.
Kei Sato.

568 **Capítulo 4:**
A geocronologia de rochas sedimentares, interação CPGeo/IGc-USP e PETROBRAS.
Antonio Thomaz-Filho.

572 **Capítulo 5:**
Umberto Cordani, o Professor.
Paulo César Boggiani.

577 **Capítulo 6:**
O Professor Umberto Cordani
e a Geofísica.
Igor Ivory Gil Pacca.

579 **Capítulo 7:**
Magmatic Evolution of the Andes: the
contributions of the IGCP Project 120.
Victor Alberto Ramos.

593 **Capítulo 8:**
Three decades of educational
and research collaborations
in Brazil, with special recognition
of Prof. Umberto Cordani's role
in initiating and facilitating
the programs.
William R. Van Schmus.

602 **Capítulo 9:**
O *Brazilian Journal*
of Geology.
Claudio Riccomini.

608 **Capítulo 10:**
A Carta Geológica
do Brasil ao Milionésimo.
Carlos Schobbenhaus.

610 **Capítulo 11:**
Cordani: um dos ícones
da Geologia brasileira.
Carlos Oití Berbert, Carlos Schobbenhaus,
Lêda Maria Barreto Fraga.

618 **Capítulo 12:**
Un triangolo Bologna – Milano –
San Paolo. Intesa italo-brasiliana tra
IUGS e IGC in una visione globale
della geologia non più *Big Science*.
Gian Battista Vai, William Cavazza,
Attilio Boriani.

631 **Capítulo 13:**
Lembranças do convívio
com Umberto.
Andrea Bartorelli.

QUINTA PARTE: DEPOIMENTOS DE COLEGAS DE TURMA

635 **Capítulo 1:**
Umberto, meu amigo
de longa data.
Adolpho José Melfi.

638 **Capítulo 2:**
O convívio com Umberto.
Celso de Barros Gomes.

647 **Capítulo 3:**
Umberto, meu primo por adoção.
Vicente Antônio Vitório Girardi.

651 **Capítulo 4:**
Estágio em Mato Grosso.
Wilson Scarpelli.

657 **Capítulo 5:**
Memórias do Cordani.
Milton Assis Kanji.

659 **Capítulo 6:**
O colega Umberto.
Fernão Paes de Barros.

SEXTA PARTE: DESTAQUES ACADÊMICOS

661 Umberto Cordani
na Academia Brasileira
de Ciências.
Diogenes de Almeida Campos.

679 Produção científica de
Umberto G. Cordani.
Compilação de
Anderson Santana.

689 Distinções acadêmicas.

702 Álbum fotográfico de
Umberto G. Cordani.

726 Agradecimentos.

O protagonismo científico do Professor Umberto Giuseppe Cordani

Andrea Bartorelli,
Wilson Teixeira,
Benjamim Bley de Brito Neves,
organizadores.

O presente volume nas mãos do leitor confere ímpeto ao perfil produtivo da Universidade de São Paulo (USP), não só por trazer resultados de impacto ao alcance da comunidade geológica, mas também por ressaltar o protagonismo científico do Professor Umberto Giuseppe Cordani e sua notável personalidade.

Desde cedo, sua carreira acadêmica foi dedicada à geocronologia. Em 1963 o Professor Viktor Leinz, então diretor do antigo Departamento de Geologia e Paleontologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, FFCL, da USP, necessitava indicar alguém para ir à Universidade da Califórnia em Berkeley, EUA para ser treinado em geocronologia com a supervisão do Prof. John H. Reynolds, coordenador do laboratório daquela instituição. A escolha acabou recaindo sobre o jovem assistente Cordani do departamento, revelando-se posteriormente em uma feliz e muito bem-sucedida indicação. As circunstâncias mostraram que Cordani estava no lugar certo na hora certa: ninguém a não ser ele teria se mostrado tão adequado para assumir essa responsabilidade, dando início ao programa de datações no Brasil, na América do Sul e até na África.

Mais de cinco décadas passadas desde a fundação do Centro de Pesquisas em Geocronologia e Geoquímica Isotópica (CPGeo), a sua trajetória de sucesso deve-se muito às ações estratégicas de Umberto Cordani e seus colaboradores, seja na ampliação da infraestrutura laboratorial, seja na sua postura proativa na cooperação científica e na disseminação da geocronologia na América do Sul – hoje uma especialidade consolidada das Geociências. Sem dúvida, todos os que utilizam a geocronologia devem muito a ele.

Portanto, a edição de um livro de caráter histórico sobre a importante contribuição do Professor Umberto Cordani para o conhecimento da evolução tectônica do continente Sul-Americano, e que também apresenta aspectos da sua trajetória acadêmica e pessoal, é muito oportuna neste ano em que ele chega aos 82 anos em plena atividade profissional. Contudo, esta iniciativa foi circunstancial: em uma viagem a Manaus em 2018, a convite de Ennio Candotti, Diretor do Museu da Amazônia (MUSA), para atender a um *workshop*, Andrea Bartorelli, um dos organizadores do livro, viajou ao lado de Cordani nos voos de ida e volta, e comentou sobre a possibilidade de uma eventual obra em sua homenagem. A surpresa de Cordani e sua perplexidade com a proposta foram manifestadas no *e-mail* dele reproduzido no quadro a seguir (*Conversa necessária*), combinando o português com a língua materna de ambos.

Após dois anos de maturação, o projeto *Geocronologia e Evolução Tectônica do Continente Sul-Americano: a contribuição de Umberto Giuseppe Cordani*

Umberto Giuseppe Cordani, em 2002.

resulta num livro que integra informações precisas e atualizadas sobre o patrimônio geotectônico do Brasil e da América do Sul, com excelente qualidade gráfica e ilustrações. A grande receptividade de renomados pesquisadores do Brasil e do exterior para contribuir com capítulos atesta o reconhecimento à atuação de Cordani, consubstanciada agora nesta obra histórica.

Umberto Cordani representou um papel muito importante na modernização da área de Geociências

José Goldemberg, Professor Sênior do Instituto de Eletrotêcnica e Energia da Universidade de São Paulo, USP, da qual foi reitor (1986-1990). Foi Presidente da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP. Entre 1990 e 1992 ocupou vários cargos no Governo Federal: Secretário de Ciência e Tecnologia, Secretário de Meio Ambiente e Ministro da Educação. É co-Presidente do Global Energy Assessment, sediado em Viena.

A criação da Universidade de São Paulo (USP) em 1934 representou um passo importante na modernização do ensino superior público no Brasil, mas sua efetiva implantação não ocorreu de forma uniforme em todas as áreas do conhecimento.

Há exemplos claros de sucesso rápido nesse esforço, como ocorreu nas áreas de Física, Matemática e Humanidades em geral, mas em outras a modernização demorou, tendo encontrado até resistência aberta em algumas das escolas tradicionais, cuja criação antecedeu em muitos anos à criação da USP.

Umberto Cordani representou um papel muito importante na modernização da área de Geociências.

Formado em 1960, especializou-se em geocronologia no período que passou na Universidade da Califórnia, em 1963. Essa era uma área de pesquisa incipiente na época e que marcou depois toda sua carreira como pesquisador. Assim sendo, ele deu inicio na USP a uma tecnologia revolucionária que permitiu enormes avanços na compreensão da evolução do nosso planeta em contraste com a geologia do passado.

Só vim a conhecê-lo melhor mais tarde, em 1987, como Reitor da USP, período no qual o escolhi em lista tríplice para Diretor do Instituto de Geociências. Como membro do Conselho Universitário, me impressionou sempre pela clareza das suas posições e mente aberta às medidas que tentei introduzir na modernização da Universidade.

Em 1990, Cordani organizou a "Regional Conference on Global Warming and Sustainable Development", que presidi como Secretário de Ciência e Tecnologia da Presidência da República. Esses foram tempos difíceis, porque a compreensão clara dos problemas do aquecimento global e das mudanças climáticas era questionada por alguns colegas que negavam que estes fenômenos fossem causados por ações antropogênicas. A conferência, organizada por Cordani, foi importante em legitimar as ações do Governo Federal, que levaram o país a sediar em 1992 a histórica Conferência das Nações Unidas, no Rio de Janeiro, que adotou a Convenção do Clima e da Biodiversidade.

Cerca de 25 anos depois, em 2017, Cordani preparou para a Presidência da FAPESP, a meu pedido, uma análise do "estado da arte" na geologia no Brasil, em que apresentou com clareza e objetividade os problemas desta área de conhecimento.

Este livro, em que contribuíram mais de uma centena de cientistas, apresenta o estado da arte do conhecimento da geologia do continente Sul-Americano, com destaque para o Brasil, e fica evidente nele a contribuição do Umberto Cordani para esta área. Ele constitui uma justa homenagem às suas inúmeras contribuições, tanto na área científica como administrativas na USP, em que seu bom senso e padrões elevados foram uma constante ao longo de mais de 50 anos de atividade como cientista e professor universitário.

José Goldemberg

Antônio Carlos Pedrosa Soares, Rudolph Trouw, Fernando Flecha de Alkmim, Carlos Maurício Noce, Umberto Cordani e Monica Lavalle Heilbron, numa reunião durante o XII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, em Ouro Preto, Minas Gerais, em maio de 2009.

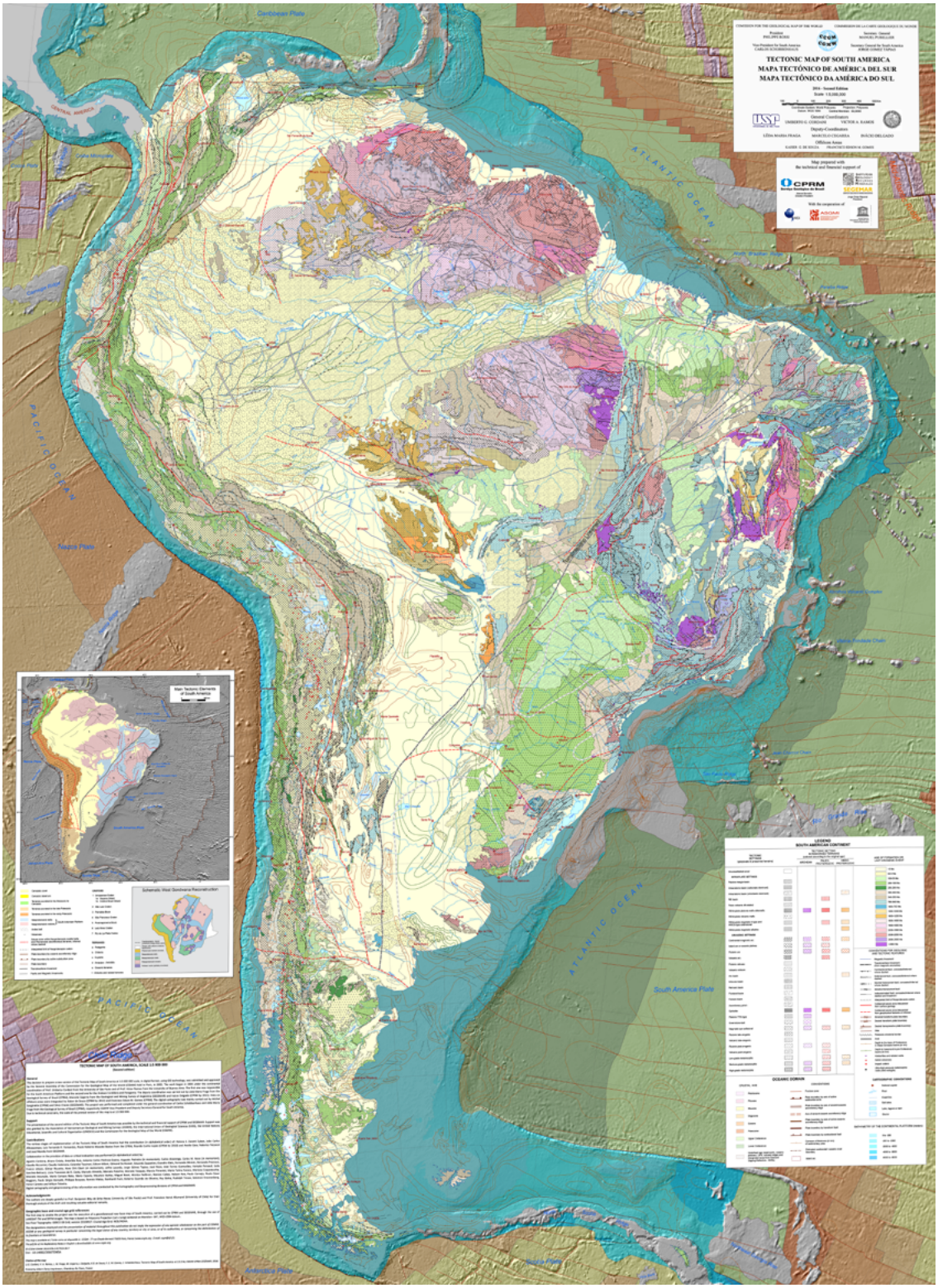
Página oposta: Mapa tectônico da América do Sul, 2ª edição. 2016 – Escala 1:5.000.000 – UNESCO, Paris – CGMW/CPRM/SEGEMAR – Umberto Cordani e Victor Ramos, coordenadores. *https://doi.org/10.14682/2016TEMSA.* Depositório que dá acesso ao arquivo do mapa e nota explicativa: *http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/16750?show=full*

A elaboração do Mapa Tectônico da América do Sul

Umberto G. Cordani
(*ucordani@usp.br*).

A Comissão para o Mapa Geológico do Mundo, CGMW, em sua Assembleia Geral realizada em fins de 2002, decidiu pela elaboração de uma nova edição do Mapa Tectônico da América do Sul. Para coordená-lo resolveu convidar o colega Victor Ramos, da Universidade de Buenos Aires e eu, da Universidade de São Paulo. Ambos consideramos o honroso convite de modo muito positivo, reconhecendo a importância da obra, e logo aceitamos essa responsabilidade. Nossa primeira conversa foi feita em Buenos Aires, alguns meses mais tarde. Discutimos ali os grandes traços do mapa, sua estruturação, sua legenda e a maneira com que buscaríamos realizar esses objetivos. Mal sabíamos nós que esse mapa invadiria a nossa vida nos 12 anos seguintes.

Nossa proposta inicial foi apresentada durante o Congresso Geológico Internacional de 2004, realizado em Florença. Começou em seguida o trabalho, que contou com os suportes técnicos e financeiros fundamentais do Serviço Geológico do Brasil, CPRM, e


TECTONIC MAP OF SOUTH AMERICA
MAPA TECTÓNICO DE AMÉRICA DEL SUR
MAPA TECTÔNICO DA AMÉRICA DO SUL
ATLANTIC OCEAN
PACIFIC OCEAN
Caribbean Plate
Nazca Plate
South America Plate
Main Tectonic Elements of South America
Schematic West Gondwana Reconstruction
LEGEND
SOUTH AMERICAN CONTINENT
OCEANIC DOMAIN

Fernando Flecha de Alkmim.

Simone Cerqueira Pereira Cruz.

O Brasil sob a ótica tectônica e o caso do Cráton do São Francisco: a contribuição de U. G. Cordani

Fernando Flecha de Alkmim,
Universidade Federal de Ouro Preto,
Escola de Minas
(*alkmim@ufop.edu.br*).
Simone Cerqueira Pereira Cruz,
Universidade Federal da Bahia,
Instituto de Geociências
(*simonecruzufba@gmail.com*).

1. Introdução

Quando foi que o conhecimento geológico sobre o Brasil permitiu a caracterização do seu arcabouço tectônico? Como foi construída a visão geodinâmica que hoje se tem do seu vasto território? Com estas perguntas como pano de fundo, o presente capítulo versa sobre a participação do Prof. Umberto G. Cordani no desvendar da constituição e evolução da chamada Plataforma Sul-americana, expressão que pode ser entendida como o nome tectônico do Brasil.

Escolheram-se as questões acima mencionadas como guia da abordagem de uma das muitas facetas da atuação do Prof. Cordani, pelo fato de ter sua carreira científica se realizado em uma fase excepcional do desenvolvimento das geociências, tanto no plano geral, como no caso particular do Brasil. Ela se inicia justamente quando a Geologia se torna ciência em plenitude, ao ser instrumentalizada, no decorrer dos anos 1960 e primeira metade dos anos 1970, com a teoria geodinâmica da Tectônica de Placas. Nestes mesmos anos e início da década seguinte, a investigação geológica do Brasil experimenta um considerável impulso, que consolida uma base de conhecimentos para os passos seguintes rumo a uma visão integradora e dinâmica do seu território.

O presente capítulo, organizado como um relato contextualizado e não como um ensaio crítico, visa a explicitar a contribuição do Prof. Cordani nos campos da Tectônica e da Geotectônica. Após uma breve descrição das concepções pioneiras acerca do arcabouço tectônico do território brasileiro, prossegue-se com a apresentação dos principais estudos realizados por Cordani, quando da investigação científica da Plataforma Sul-americana e, em particular, do Cráton do São Francisco, que é a peça mais bem conhecida do seu substrato e alvo da atenção de inúmeros pesquisadores e geólogos exploracionistas. Discorre-se, a seguir, sobre a introdução dos conceitos da Teoria da Tectônica de Placas nas abordagens gerais do território brasileiro e compilam-se as incursões recentes que o pesquisador faz no tema da trajetória pregressa dos constituintes principais da plataforma. Conclui-se com uma menção ao

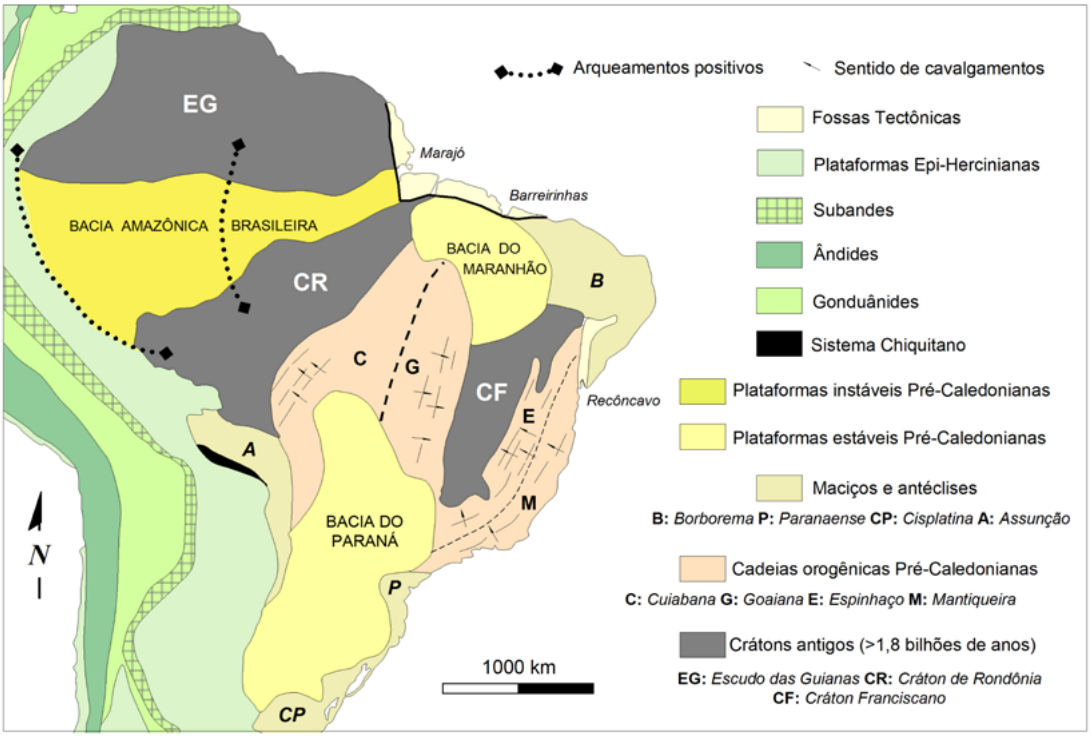


Figura 2. Mapa dos constituintes do arcabouço tectônico do Brasil como parte do continente sul-americano elaborado por Barbosa (1966). (Modificado a partir do original do autor).

O segundo panorama geológico geral do Brasil que se tem notícia surge na *Síntese da Evolução Geotectônica da América do Sul* de autoria de Barbosa (1966), que se baseia em um volume consideravelmente maior de dados, do qual constam até mesmo idades absolutas. Para o autor, o território brasileiro, inteiramente disposto na zona extra-andina, abarcaria duas grandes áreas de exposição do substrato pré-cambriano do continente, que seriam os escudos das Guianas e Brasileiro, bem como bacias sedimentares fanerozoicas (figura 2). O Escudo das Guianas corresponderia, na sua totalidade, a um cráton de mesmo nome, entendido como um bloco estabilizado em parte no Arqueano e, em parte, em episódios que tiveram lugar em tempos anteriores a 1,8 bilhões de anos. O Escudo Brasileiro, por outro lado, é apresentado com uma constituição bem mais diversa, que abarcaria: i) dois crátons consolidados no Arqueano; ii) faixas orogênicas proterozoicas, designadas pré-caledonianas; iii) sinéclises paleozoicas; iv) antéclises geradas no Paleozoico e Mesozoico; e v) fossas tectônicas.

Os crátons de Rondônia e Franciscano aparecem separados por uma larga zona orogênica proterozoica composta pelas cadeias Cuiabana e Goiana, cujas vergências são dirigidas para os crátons a elas adjacentes. Além destas, outras duas zonas orogênicas também proterozoicas, do Espinhaço e Mantiqueira, balizariam o Cráton Franciscano pelo leste e sudeste, respectivamente (figura 2).

Figuram dentre as sinéclises paleozoicas, as bacias do Paraná e Maranhão (Parnaíba), que teriam se desenvolvido sobre plataformas[3] que adquiriam estabilidade em tempos pré-caledonianos. A Bacia do

3- Termo empregado na sua acepção tectônica tanto por esse autor, como por aqueles que lhe sucederam para designar as porções dos continentes não envolvidas em um dado evento orogenético. Distinguiam-se à época, as paraplataformas, aquelas ainda em processo de estabilização, e as ortoplataformas, de estabilidade adquirida em tempos pré-cambrianos. Estas últimas correspondem aos crátons como atualmente definidos.

O Cráton Amazônico e suas províncias geocronológicas: o legado de Umberto Cordani

Moacir José Buenano Macambira,
Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências
(*moamac@ufpa.br*).
Wilson Teixeira,
Universidade de São Paulo,
Instituto de Geociências
(*wteixeir@usp.br*).
Marcelo Lacerda Vasquez,
Serviço Geológico do Brasil – CPRM
(*marcelo.vasquez@cprm.gov.br*).

Moacir José Buenano Macambira.

Wilson Teixeira.

Marcelo Lacerda Vasquez.

1. Introdução

Este artigo apresenta o estado atual do conhecimento geológico-geocronológico do Cráton Amazônico e da contribuição do Professor Umberto Cordani para o entendimento da sua evolução. É inegável a importância dos avanços que o professor produziu, a partir da década de 1970, um período em que as informações geológicas sobre a Amazônia eram muito limitadas, assim como os métodos científicos aplicados na região. Vale destacar que, naquela época, o homenageado conseguiu vislumbrar, com um enfoque moderno, através do conceito de províncias geocronológicas, um quadro complexo unindo, em uma mesma história, a evolução pré-cambriana do Estudo das Guianas e do Escudo Brasil Central. É impressionante que tal modelo visionário se mantenha válido até os dias de hoje, logicamente com as devidas atualizações em função do avanço do conhecimento e das técnicas de investigação.

O Mapa Tectônico da América do Sul (Cordani *et al.*, 2016) foi utilizado como base geológica para os capítulos 2 a 6, legendado e subdividido em domínios geológicos (figuras 1 a 3), segundo a divisão adotada pela CPRM-Serviço Geológico do Brasil em seus produtos cartográficos. Entende-se por domínio, uma região que mostra similaridades em termos de ambiente geológico e tectônico no tempo e no espaço. Tais domínios foram adaptados nas províncias geocronológicas definidas originalmente por Cordani *et al.* (1979) para o Cráton Amazônico, e por seguidores desse modelo, e que estão aqui sintetizados de modo a oferecer um panorama atual da evolução tectônica. A figura 4 retrata o Professor Cordani e colaboradores por ocasião da apresentação do Mapa Tectônico da América do Sul durante o 15º Simpósio de Geologia da Amazônia, em Belém, em 2017.

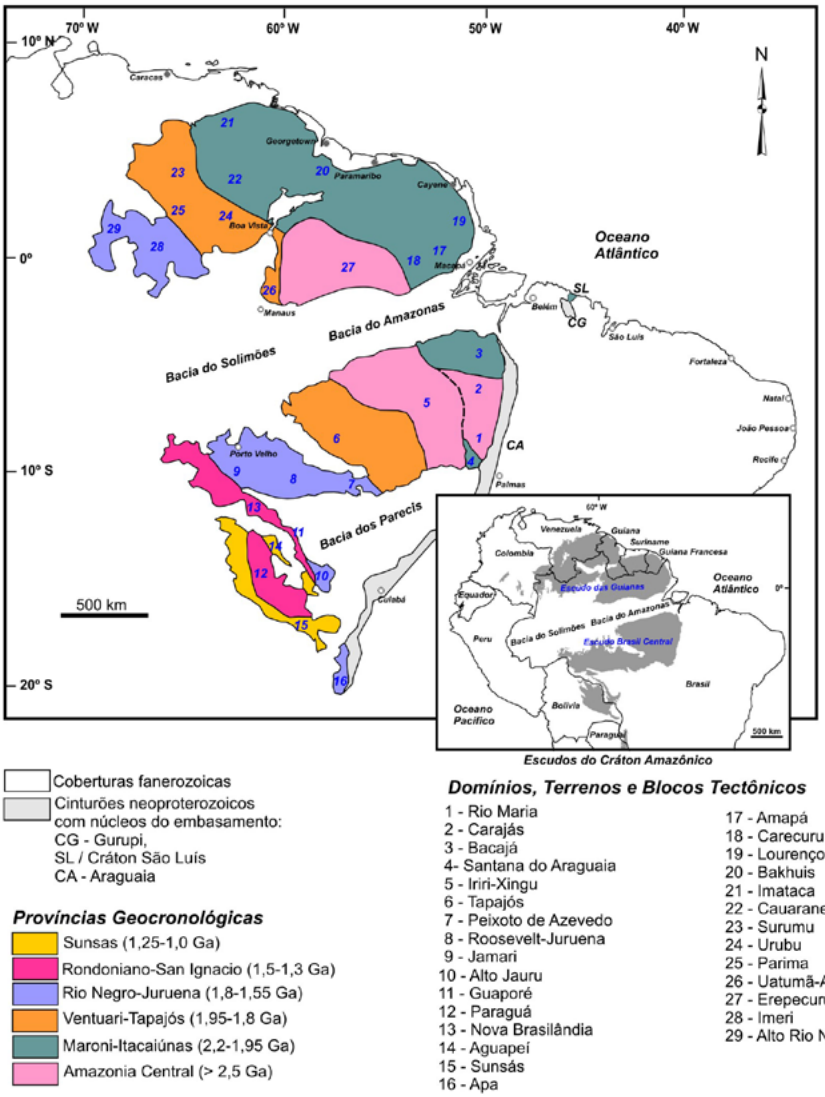


Figura 1: Províncias gecronológicas do Cráton Amazônico (modificado de Tassinari e Macambira, 2004) e domínios tectônicos.

Para a redação desta síntese sobre o Cráton Amazônico, coordenada por Moacir Macambira, que se estende até o capítulo 6, foram convidados destacados estudiosos da sua geologia, divididos em grupos, segundo suas áreas de conhecimento específico, conforme discriminado a seguir:

Capítulo 2: Sudeste cratônico (domínios Carajás, Rio Maria, Santana do Araguaia, Bacajá, Iriri-Xingu, Tapajós, Peixoto de Azevedo, Roosevelt-Juruena e Jamari). Esse capítulo apresenta o estado atual do conhecimento geológico das partes central e leste do Escudo Brasil Central, incluídas nas províncias Amazônia Central, Maroni-Itacaiúnas, Ventuari-Tapajós e Rio Negro Juruena. Envolve, portanto, as rochas mais antigas do cráton, particularmente preservadas na Província Mineral de Carajás (domínios Carajás e Rio Maria) e discute as principais contribuições do Professor Cordani.

Capítulo 3: Nordeste cratônico (domínios Amapá, Lourenço, Carecaru e Erepecuru-Trombetas). Esse capítulo aborda as partes brasileiras das províncias Maro

Lêda Maria Barreto Fraga.

Jean-Michel Lafon.

Colombo Celso Gaeta Tassinari.

Geologia e evolução tectônica das porções central e nordeste do Escudo das Guianas e sua estruturação em cinturões eo-orosirianos

Lêda Maria Barreto Fraga,
Serviço Geológico do Brasil – CPRM
(*leda.fraga@cprm.gov.br*).
Jean-Michel Lafon,
Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências
(*lafonjm@ufpa.br*).
Colombo Celso Gaeta Tassinari,
Universidade de São Paulo,
Instituto de Geociências
(*ccgtassi@usp.br*).

1. Introdução

Nas últimas décadas, um enorme número de dados isotópicos foi adquirido e a necessidade de absorvê-los e integrá-los levou o Professor Cordani a aceitar mais um grande desafio e, junto com inúmeros colaboradores, revisar a geologia do Cráton Amazônico através da elaboração do novo Mapa Tectônico da América do Sul (Cordani *et al*., 2016) – ver na Primeira Parte deste livro, página 26. O mapa, também disponível em SIG (*site* do SGB-CPRM), apresenta a interpretação tectônica das principais unidades geológicas do Cráton Amazônico, atualizadas e harmonizadas. Com relação à parte central do Escudo das Guianas, o mapa inclui informações produzidas por programas sistemáticos de mapeamento geológico e de pesquisa científica, que levaram a uma nova concepção tectônica daquele setor (Fraga *et al*., 2009a, b e referências citadas).

Na parte central do Escudo das Guianas, um cinturão de rochas supracrustais de alto grau metamórfico com forma sinuosa, denominado Cinturão Cauarane-Coeroeni se destaca como a principal feição tectônica (Fraga *et al*., 2009a, b; Fraga e Cordani, 2019) (figura 3 do capítulo 1 e figura 1 deste capítulo). Neste capítulo, será utilizada a grafia "Curuni", que representa melhor a forma como o termo Coeroene, original, deve ser pronunciado. Este cinturão supracrustal é limitado ao norte por um cinturão de caráter essencialmente vulcano-plutônico – o Cinturão Ígneo Orocaima – com idades de 1,99-1,96 Ga e, ao sul, por granitoides e gnaisses com idades de 1,96-1,92 Ga do Cinturão Rio Urubu (Fraga *et al*., 2017a; Fraga e Cordani, 2019). Esses cinturões, que correspondem respectivamente aos domínios 22, 23 e 24 da figura 3 do capítulo 1, dividem o escudo em dois blocos distintos. No bloco situado a nordeste do alinhamento do Cinturão Cauarane-Curuni e seu prolongamento para NW e SE, afloram os terrenos arqueanos, representados pelo Com

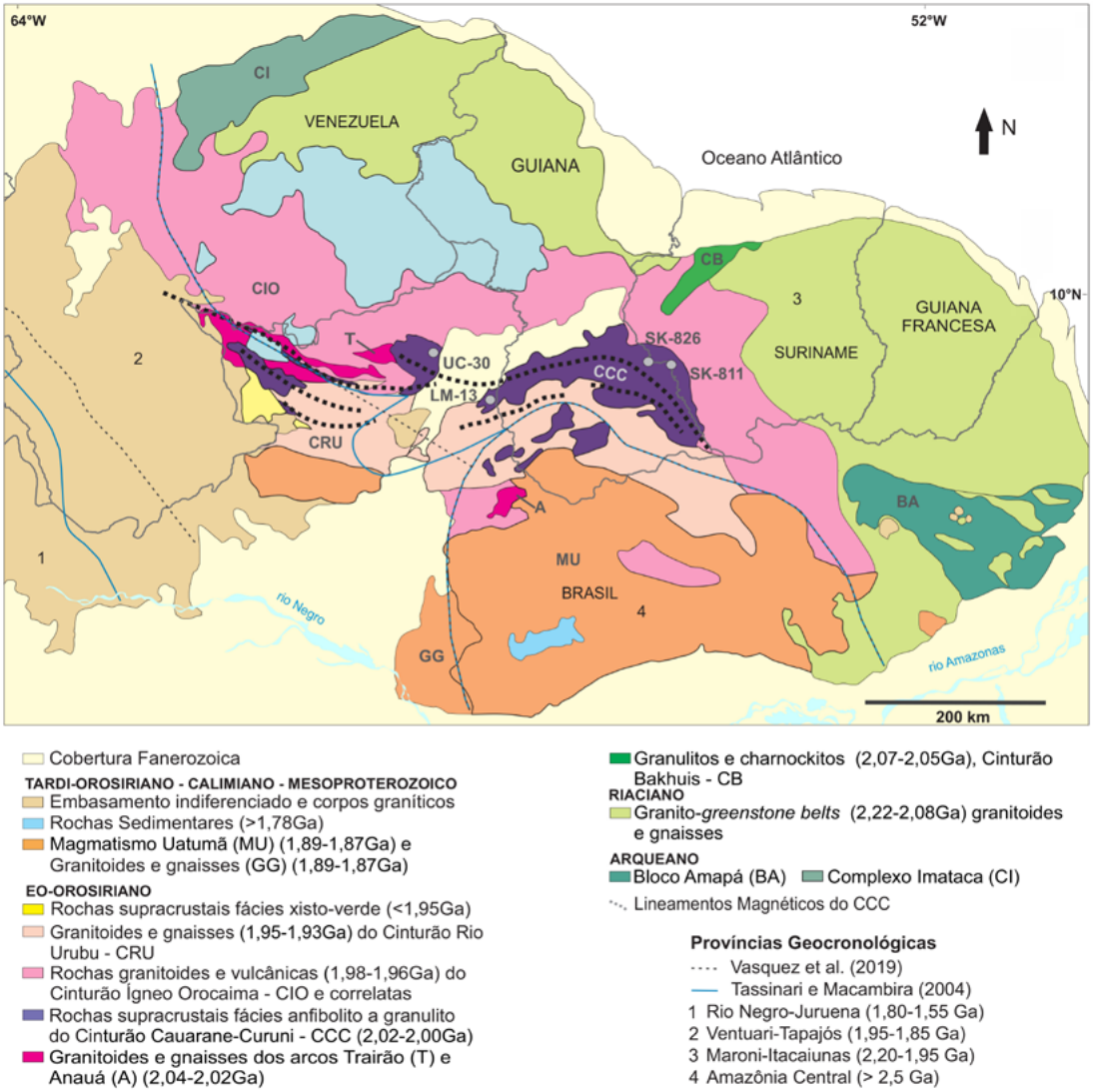


Figura 1: Mapa esquemático da parte central do Escudo das Guianas com disposição dos limites entre as províncias geocronológicas de acordo com Tassinari e Macambira (2004), e Vasquez *et al.* (2019). O ajuste dos limites foi feito com base na distribuição dos corpos geológicos.

plexo Imataca e Bloco Amapá e terrenos TTG, granito-*greenstone* e granulíticos com evolução meso a neo-riaciana. Contrastando com o bloco nordeste, a sudoeste desses cinturões, o embasamento exibe idades inferiores a 1,82 Ga na parte sudoeste do escudo ou está intensamente obliterado pelo plutono-vulcanismo de 1,89-1,87 Ga da SLIP Uatumã, ao longo de seu setor centro-sul (figura 1).

Embora um conjunto de aproximadamente 120 idades U-Pb em zircão esteja disponível para os terrenos eo-orosirianos do Escudo das Guianas, a contribuição do Professor Cordani para a história evolutiva da parte central do Escudo das Guianas (em especial para os três cinturões mencionados acima) foi fundamental. Através de seu apoio, mais de 40 novas idades U-Pb foram obtidas para essa porção do Cráton Amazônico, parte das quais já disponibilizada preliminarmente por Fraga *et al*. (2017a), Fraga e Cordani (2019) e Reis *et al*. (2017). Os dados

Mario da Costa Campos Neto.

Cauê Rodrigues Cioffi.

Alice Westin.

O Orógeno Brasília Meridional

Mario da Costa Campos Neto[1]
(*camposnt@usp.br*).
Cauê Rodrigues Cioffi[2]
(*caue.cioffi@yahoo.com.br*).
Alice Westin[1]
(*alice.teixeira@usp.br*).
Brenda Chung Rocha[1]
(*brenda.rocha@usp.br*).
Gabriella Labate Frugis[1]
(*gabriella.frugis@usp.br*).
Mahyra Tedeschi[3]
(*mahyratedeschi@gmail.com*).
Marco Aurélio Piacentini Pinheiro[4]
(*marcopiacentini@gmail.com*).

[1]Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências;
[2]Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-Doutorado;
[3]Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências;
[4]Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

1. Introdução

Sínteses tectônicas recentes como as de Kröner e Cordani (2003), Cordani *et al.* (2003a, 2003b, 2010a, 2010b, 2013) e de Brito Neves e Fuck (2014) segmentaram o embasamento da Plataforma Sul-Americana em dois amplos domínios geotectônicos: o domínio Amazonas ou pré-Brasiliano (de afinidades Laurencianas) e o domínio Brasiliano (de afinidades Gondwânicas), este com faixas orogênicas ancoradas nos blocos cratônicos Río de la Plata, Paranapanema e São Francisco. Essa abordagem permitiu uma correlação intercontinental entre fragmentos de arcos insulares e lascas tectônicas eclogito-retroeclogíticas que, no Neoproterozoico, deixaram registros desde o contraforte alpino na África Ocidental, à Borborema e Centro-Oeste brasileiros. Estes registros geológicos de regimes convergentes de placas oceânicas e de uma sucessão de colisões entre blocos continentais (Arthaud *et al.*, 2015; Berger *et al.*, 2011, 2014; Brito Neves *et al.*, 1999; Caby e Monié, 2003; Ganade de Araújo *et al.*, 2012; Pimentel e Fuck, 1992; Pimentel *et al.*, 1997; Santos *et al.*, 2009) foram reconhecidos ao longo de uma faixa contínua, o Lineamento Transbrasiliano-Kandi (Cordani *et al.*, 2003a; Cordani *et al.*, 2013a, b; Ganade de Araújo *et al.*, 2014), relacionada à cicatriz do fechamento diacrônico de um grande oceano, o Oceano Goiás-Farusiano (Cordani *et al.*, 2003a, 2013a e b).

A longa vida de processos convergentes, em parte intraoceânicos, através do Neoproterozoico (do Toniano ao Ediacarano), permitiu uma revisão do supercontinente Rodínia (Li *et al.*, 2008). A paleogeografia alternativa, com massas continentais de afinidades Laurencianas

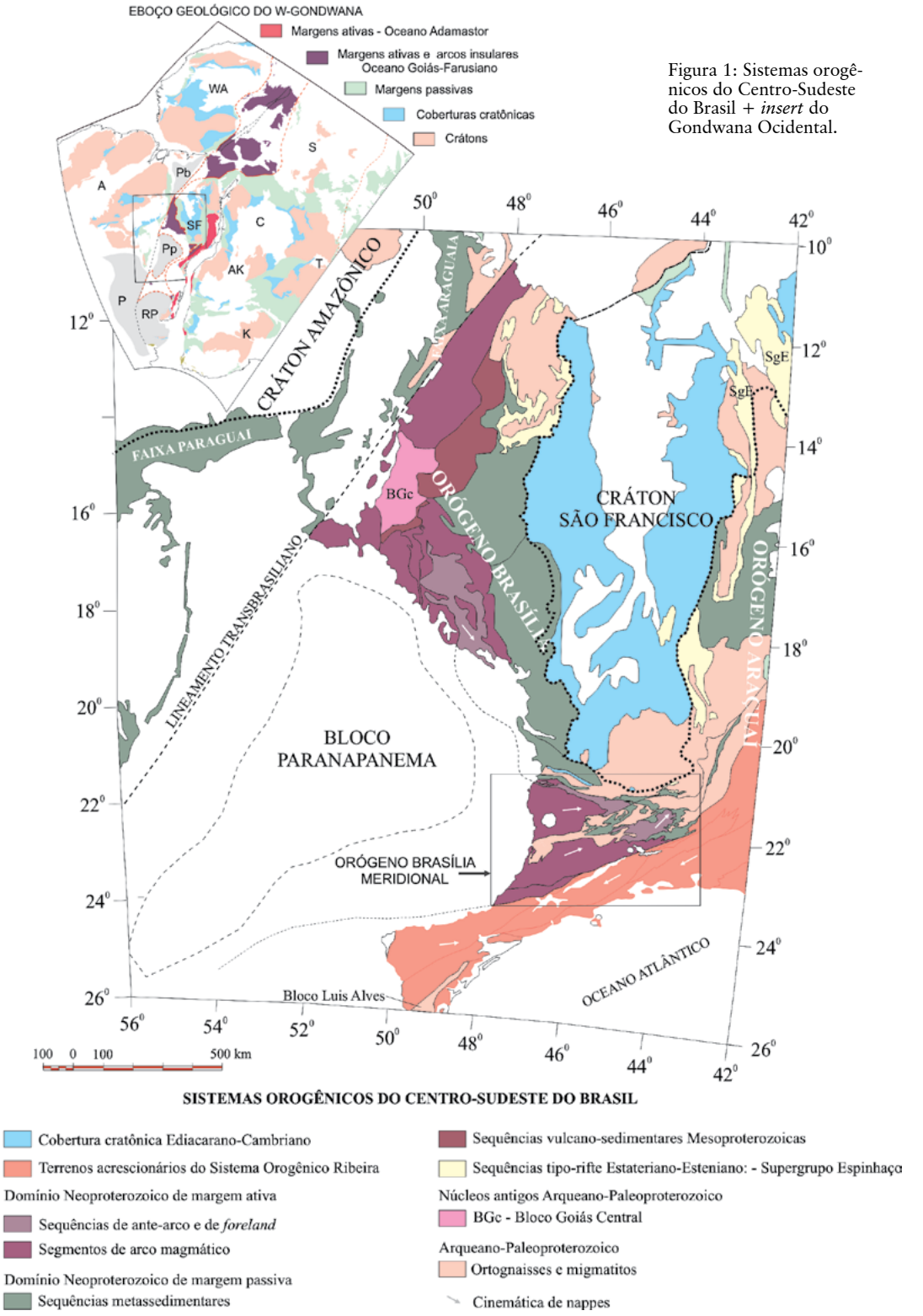


Figura 1: Sistemas orogênicos do Centro-Sudeste do Brasil + *insert* do Gondwana Ocidental.

O Lineamento Transbrasiliano: um elemento chave na evolução da Plataforma Sul-Americana

Marlei Antônio Carrari Chamani
(*marlei.chamani@gmail.com*).

Marlei Antônio Carrari Chamani.

1. Introdução

O Lineamento Transbrasiliano (LTB) foi definido por Schobbenhaus (1975), durante a execução do Projeto Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (DNPM), como uma faixa intensamente falhada, representando uma estrutura de 1ª ordem. Trabalhos posteriores enfatizam a importância do LTB como uma das principais estruturas do Gondwana Ocidental. Brito Neves e Cordani (1991) são pioneiros ao enfatizarem a importância e significado tectônico do LTB, considerando-o uma das principais suturas na gênese do Gondwana. Vários autores (*e.g.,* Cordani *et al.,* 2003; Arthaud *et al.,* 2008) evidenciam a continuidade do LTB em território africano, onde é chamado, entre outros nomes, de Lineamento Hoggar-4°50' (Cordani *et al.,* 2003) e Transbrasiliano-Kandi (Ganade de Araújo *et al.*, 2014b). Attoh e Brown (2008) consideram o LTB como talvez a mais longa zona de cisalhamento coerente do mundo, com extensão de cerca de 4.000 km. A figura 1 mostra a extensão do eixo principal do LTB na América do Sul e sua contraparte africana.

Nos últimos anos multiplicaram-se as publicações abordando vários aspectos do lineamento e de estruturas a ele associadas: sua origem e evolução, seu papel na gênese do Gondwana, suas características geofísicas, suas reativações fanerozoicas. Neste sentido, é fundamental destacar o papel do Prof. Dr. Umberto Giuseppe Cordani e colaboradores no estudo do LTB, tanto pelo seu pioneirismo na percepção da real importância do lineamento como uma das principais estruturas da Plataforma Sul-Americana, como pela sua contribuição na evolução dos conhecimentos a respeito do lineamento, contribuição esta que se estende até os dias atuais. O presente capítulo pretende mostrar de forma resumida a evolução e estado atual dos conhecimentos sobre o LTB, abordando suas características morfológicas em superfície e evidências geofísicas de sua continuação em profundidade (itens 2 e 3); sua origem, evolução pré-cambriana e papel na colagem do Gondwana Ocidental (item 4); e suas reativações fanerozoicas, influenciando o magmatismo e as bacias sedimentares da Plataforma Sul-Americana (item 5).

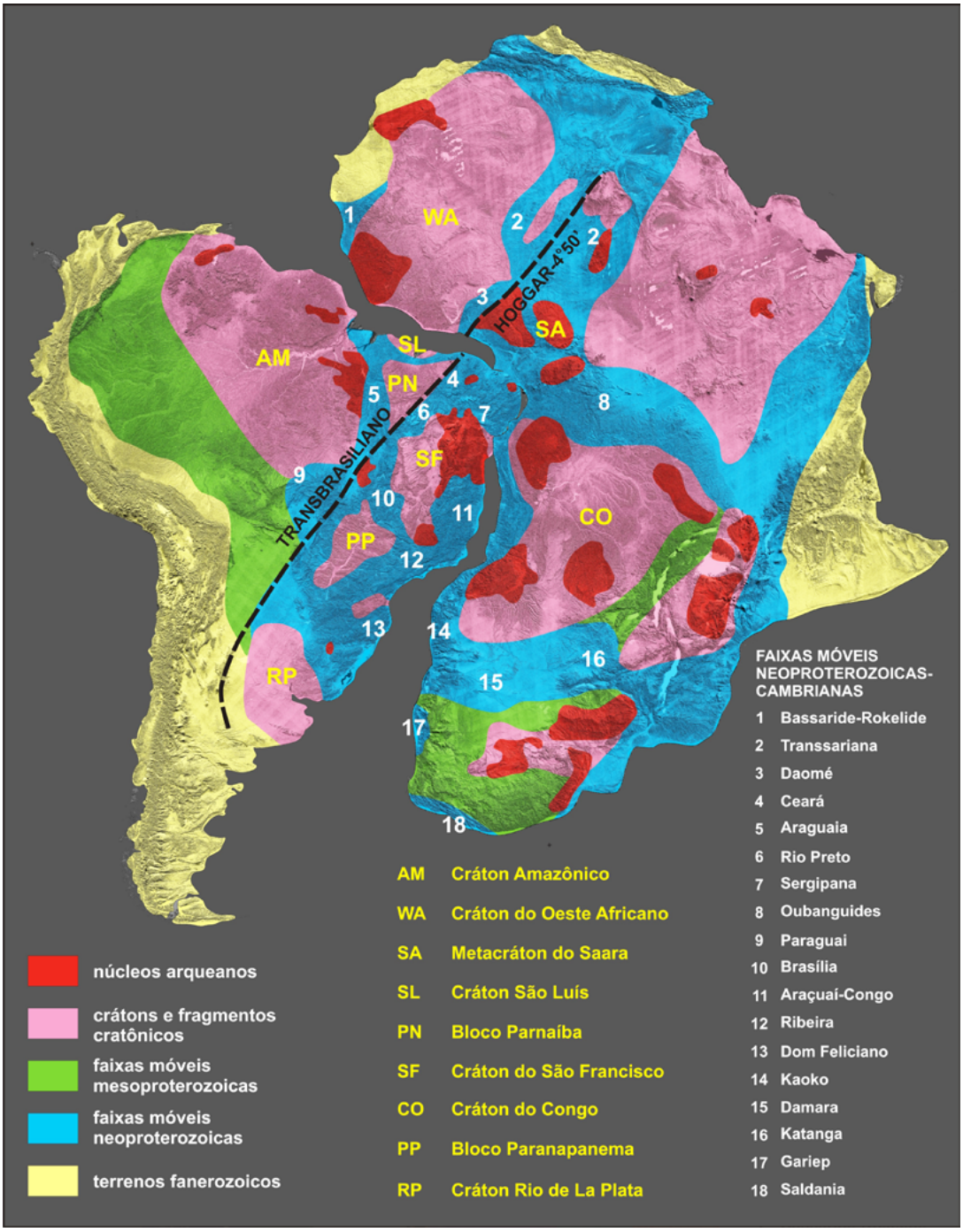


Figura 6: Reconstrução esquemática do Gondwana ocidental e o posicionamento do LTB e do Lineamento Hoggar-4°50' em relação às áreas cratônicas e faixas móveis que constituem o supercontinente. Reconstrução esquemática do Gondwana modificada de Cordani *et al.* (2016); nomenclatura dos elementos tectônicos segundo Cordani *et al.* (2013).

Província Borborema, síntese retrospectiva do conhecimento

Benjamim Bley de Brito Neves,
Universidade de São Paulo,
Instituto de Geociências
(*bbleybn@usp.br*).

Benjamim Bley de Brito Neves.

1. Introdução

A Província Borborema compreende um complexo sistema ramificado de faixas orogênicas neoproterozoicas instalado entre os núcleos cratônicos West África – São Luís (ao norte), Parnaíba (bloco Parnaíba, a norte, e a sul o "bloco Terezina"), a oeste (encobertos pela Sinéclise do Parnaíba) e o Cráton São Francisco-Congo-Kasai ao sul. Ocupa uma área com cerca de 450.000 km^2 do nordeste oriental do Brasil e tem continuidade por cerca de 400.000 km^2 no centro-oeste do território africano, entre Gana e Gabão. O embasamento desses sistemas neoproterozoicos se expõe em várias formas de microplacas e microcontinentes até diversos outros tipos de *basement inliers* (segmentos poligonais menores). Estas exposições têm sido chamadas genericamente de "maciços", ou "terrenos tectonoestratigráficos". Estas designações genéricas, não trazem ainda vínculos comprovados de caráter geotectônico primário (microplacas, microcontinentes, *forebulges*). O contexto de linhas estruturais desta província se acha disposta num amplo leque, de NNE (a noroeste, no domínio Médio Coreaú) para SE -NW (Faixa Sergipana, a sudeste), sempre chegando de forma diagonal ou perpendicular à linha de costa.

Estes *basement inliers* são muito variados em causa, forma e dimensões. Mostram características petroestruturais gerais similares àquelas dos crátons adjacentes, consoante a presença de contextos gnáissico-migmatíticos preponderantes, exibindo alguns núcleos arqueanos, e um histórico paleoproterozoico marcante (riaciano, sobretudo). Mas estes *inliers*, em geral, se apresentam muito retrabalhados pelos ciclos subsequentes ao Mesoproterozoico. Deste particular eratema a representação é pequena e esparsa, com alguns corpos graníticos e de rochas máfico-ultramáficas de características anorogênicas.

A estruturação ramificada da província tem evocado designações regionais antigas como "hercinotipo" (geólogos europeus) e/ou "região de dobramentos em mosaico" (escola russa). Os principais ciclos orogênicos neoproterozoicos desta província são do Eotoniano ("Cariris Velhos", 1000-930 Ma) e do Brasiliano (Neotoniano ao Neocambriano, 800/750Ma → 480Ma). Estes ciclos são responsáveis por contextos metassedimentares e metavulcanossedimentares muito variados em com

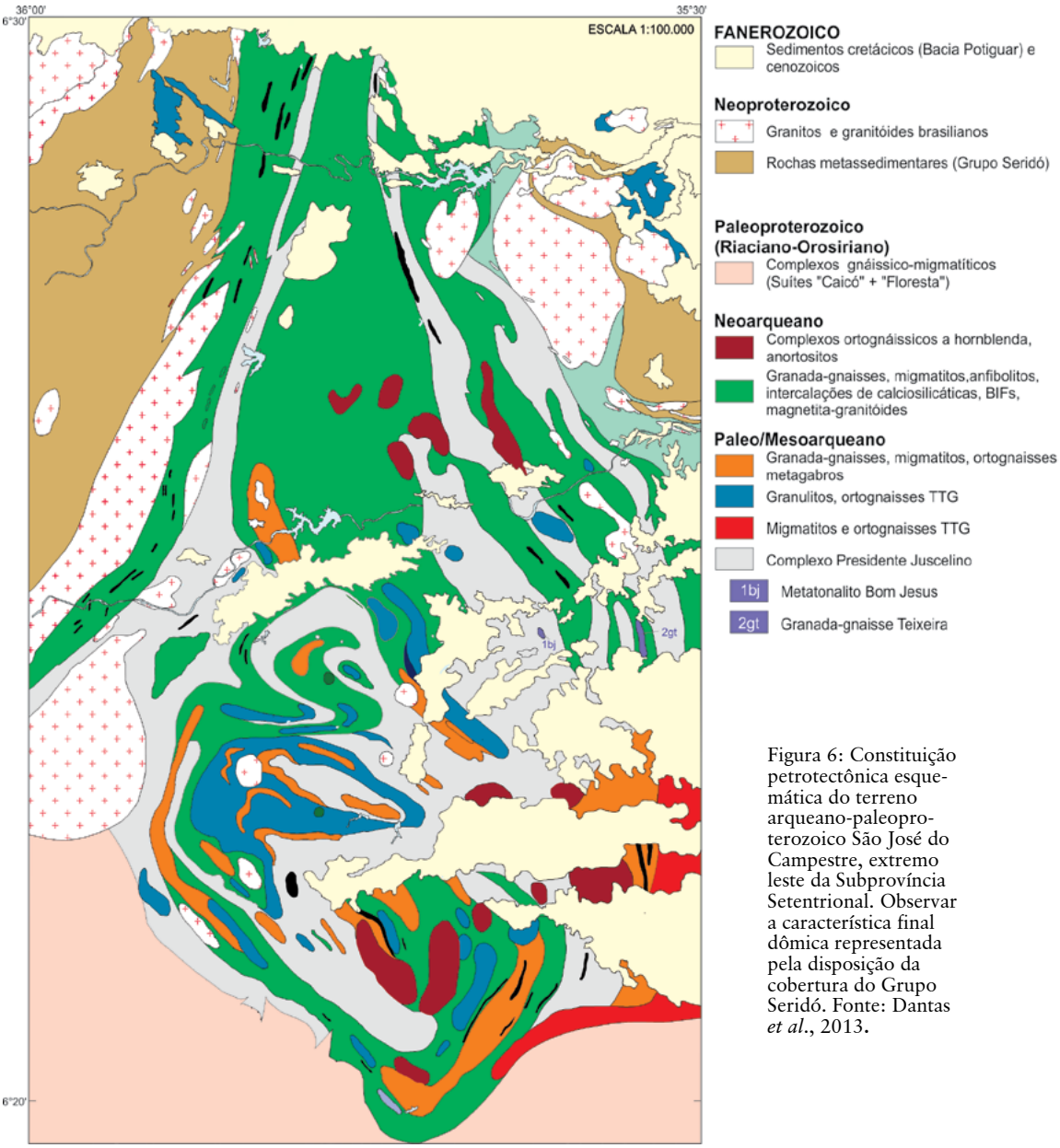


Figura 6: Constituição petrotectônica esquemática do terreno arqueano-paleoproterozoico São José do Campestre, extremo leste da Subprovíncia Setentrional. Observar a característica final dômica representada pela disposição da cobertura do Grupo Seridó. Fonte: Dantas *et al.*, 2013.

sigmoidal irregular. Varia de 40 a 80 km de largura por cerca de 450 de km de extensão, das imediações de Floresta (Pernambuco, centro-sul) ao litoral paraibano, com trende predominante NE-ENE. Se considerarmos a continuidade provável deste terreno paleoproterozoico em África, teremos extensão linear de cerca de 1.000 km.

Este terreno (TAM) se dispõe separando faixas móveis neoproterozoicas (atuando como um *inlier*), dos ciclos Cariris Velhos (Eo-toniano) e Brasiliano (Criogeniano/Eo-ediacarano), como visto na figuras 7 e 8. A definição e delimitação deste terreno são marcadas pela presença de linhas de cisalhamento e empurrões importantes.

Antonio Carlos Pedrosa-Soares.

Carolina Deluca.

Cristina Santos Araujo.

Camila Gradim.

O Orógeno Araçuaí à luz da Geocronologia: um tributo a Umberto Cordani

Antonio Carlos Pedrosa-Soares,
Universidade Federal de Minas Gerais,
Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa
(*pedrosasoares@gmail.com*).
Carolina Deluca,
Universidade Federal de Minas Gerais,
Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa
(*cdelucam@gmail.com*).
Cristina Santos Araujo,
Universidade Federal de Minas Gerais,
Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa
(*crsantosaraujo@gmail.com*).
Camila Gradim,
Universidade Federal de Minas Gerais,
Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa
(*gradim_camila@yahoo.com.br*).
Cristiano de Carvalho Lana,
Universidade Federal de Ouro Preto,
Departamento de Geologia
(*cristianodeclana@gmail.com*).
Ivo Dussin,
Universidade Estadual do Rio de Janeiro,
Faculdade de Geologia
(*ivodusin@yahoo.com.br*).
Luiz Carlos da Silva,
Serviço Geológico do Brasil – CPRM
(*luizsilva.cp2012@gmail.com*).
Marly Babinski,
Universidade de São Paulo,
Instituto de Geociências
(*babinski@usp.br*).

1. Introdução

A geocronologia absoluta é um ramo científico resiliente, porque seus métodos analíticos se sucedem rapidamente em busca de resultados radiométricos mais precisos e reprodutíveis, demandando criatividade e produtividade de laboratórios sofisticados e caros, em face de resistências de toda sorte. Resiliente também tem sido Umberto Cordani, cientista e pioneiro da geocronologia absoluta no Brasil, em sua imensa contribuição para o entendimento da evolução geológica da América do Sul e, especificamente, por seu trabalho para a caracterização de um intrigante setor orogênico da região leste-sudeste do Brasil: o Orógeno Araçuaí.

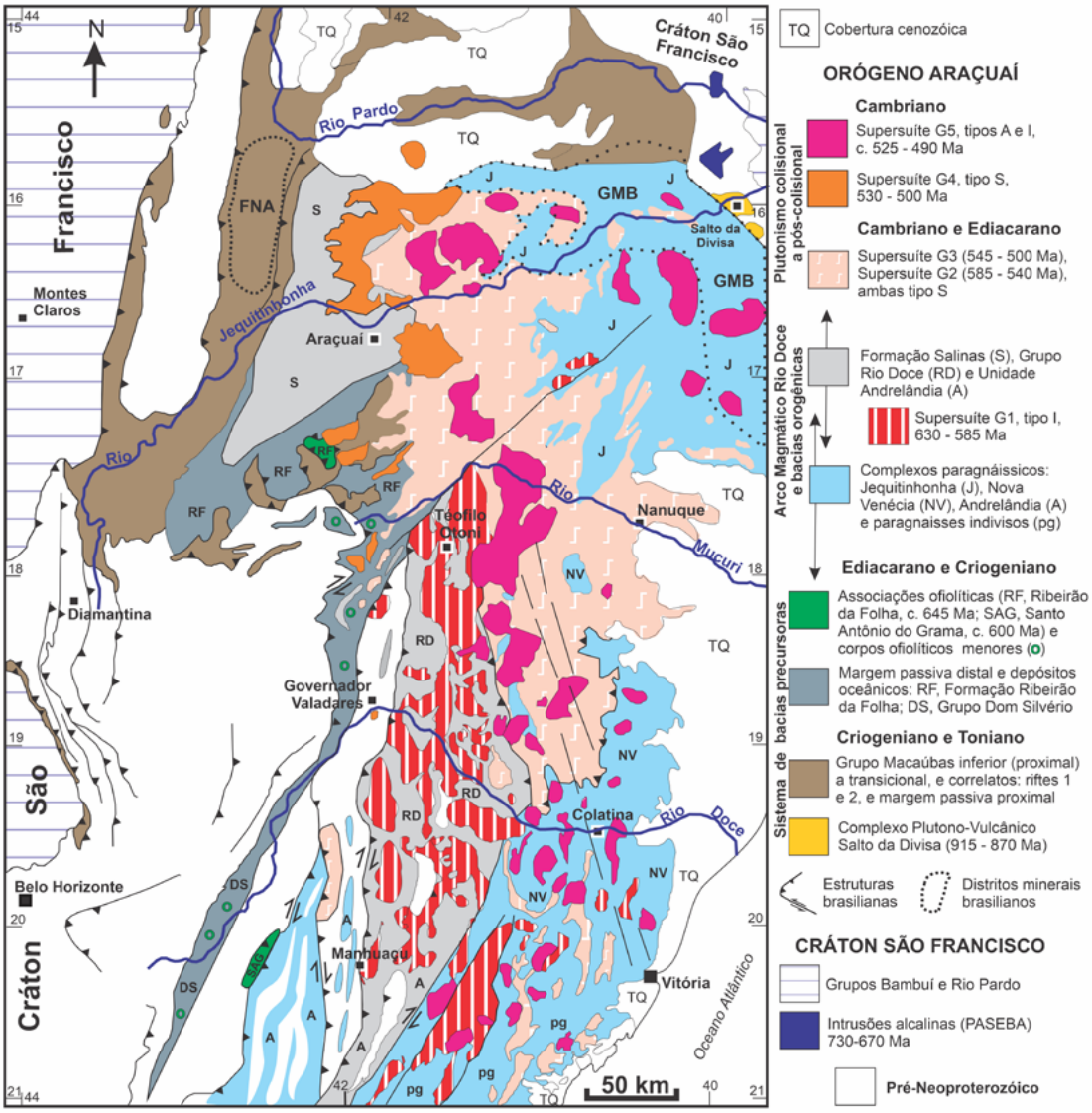


Figura 3: Mapa geológico simplificado do Orógeno Araçuaí (atualizado após Pedrosa-Soares *et al.*, 2007) com indicação de distritos minerais (*cf.* Vilela *et al.*, 2014; para distritos da Província Pegmatítica Oriental do Brasil ver Pedrosa-Soares *et al.*, 2011b).

O Grupo Macaúbas, que tem sido palco de estudos desde o início do século passado (*cf.* Pedrosa-Soares *et al.*, 2011a), está preservado como unidade mais extensa e completa do sistema de bacias precursoras do Orógeno Araçuaí. Este grupo registra dois processos de rifteamento continental na bacia precursora, sendo que o segundo evoluiu para margem passiva e abertura oceânica (Pedrosa-Soares e Alkmim 2011; Kuchenbecker *et al.*, 2015; Amaral *et al.*, 2020). O rifte 1, do Toniano Inferior, inclui as rochas sedimentares e vulcânicas do pacote depositado abaixo dos diamictitos Macaúbas, ou seja, antes do período glacial registrado nesse grupo (Bitencourt *et al.*, 2019; Castro *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2019). O intervalo de idades balizador deste rifteamento toniano (950-880 Ma) está registrado por datações U-Pb (zircão e baddeleyita) de enxames de diques má-

Geocronologia e Tectônica do Grupo Brusque – Cinturão Dom Feliciano

Miguel Angelo Stipp Basei[1]
(*baseimas@usp.br*).
Cláudia Regina Passarelli[1]
(*cr.passarelli@usp.br*).
Mathias Hueck[2]
(*mathiashueck@gmail.com*).
Oswaldo Siga Júnior[1]
(*osigajr@usp.br*).
Marina Q. Fernandes[1].
Neivaldo Araújo de Castro[3]
(*n.castro@ufsc.br*).

[1]Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências.
[2]Goettingen University, Geoscience Centre.
[3]Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Geologia.

Miguel Angelo Stipp Basei.

Cláudia Regina Passarelli.

Mathias Hueck.

Oswaldo Siga Júnior.

Marina Q. Fernandes.

Neivaldo Araújo de Castro.

1. Introdução

O conhecimento da geologia do Pré-Cambriano do sul do Brasil teve forte influência do Prof. Umberto Cordani. Mesmo sem ter escolhido essa região como um de seus alvos principais, ele atuou de forma decisiva na produção de conhecimento geocientífico. Na década de 1960 iniciou suas pesquisas geocronológicas com base no método K-Ar em diques de diabásio e basaltos da Bacia do Paraná. No *Symposium on Continental Drift*, ocorrido em Montevidéu, Uruguai, em 1967, comparou pela primeira vez resultados Rb-Sr e K-Ar das rochas do embasamento de ambos os lados do Atlântico sul. Mais especificamente, ao final da década de 1970, passou a orientar duas teses de doutorado, de Miguel Basei e Enio Soliani, respectivamente, no Pré-Cambriano de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Dessa forma, apesar de Umberto Cordani, nunca ter, ele próprio, realizado trabalhos de detalhe na região sul brasileira, como o fez em muitas outras áreas do país e da América do Sul, teve uma importância muito grande na condução das pesquisas geológicas dessa região, principalmente pelo apoio e orientação de estudos, em especial para o caso do Cinturão Dom Feliciano (CDF).

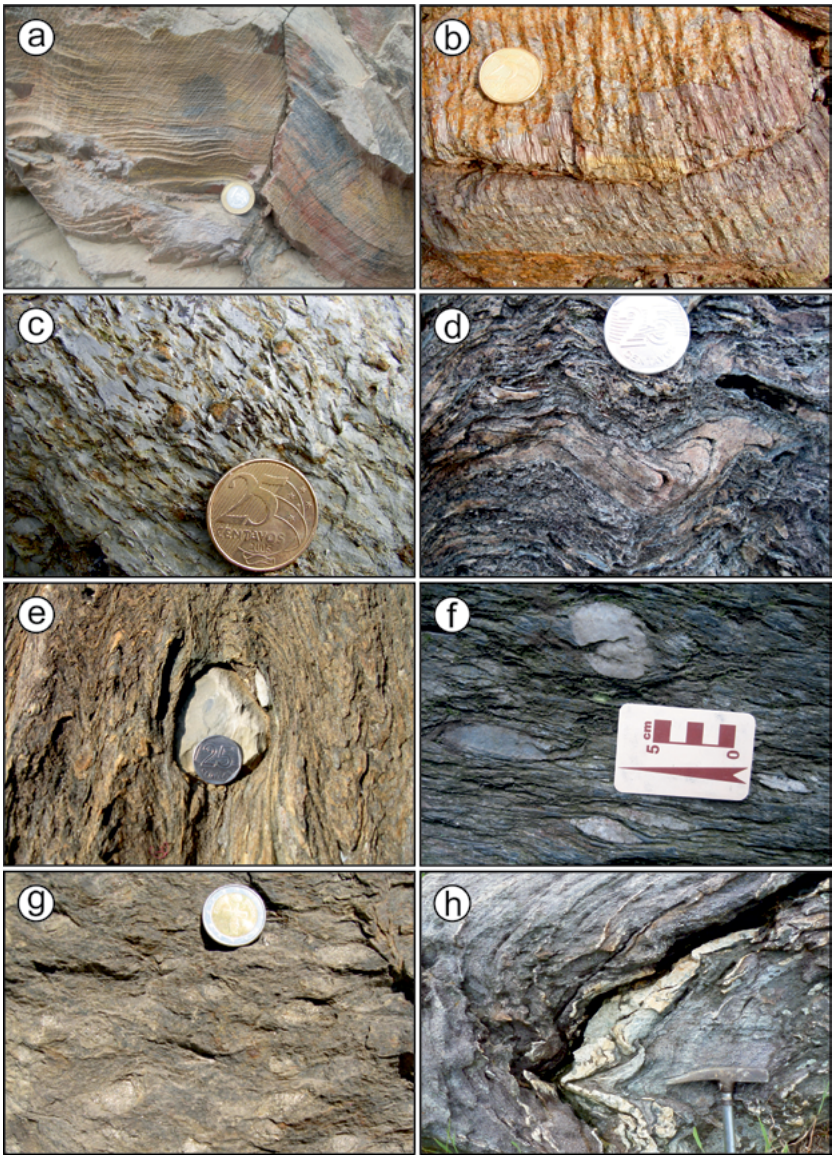


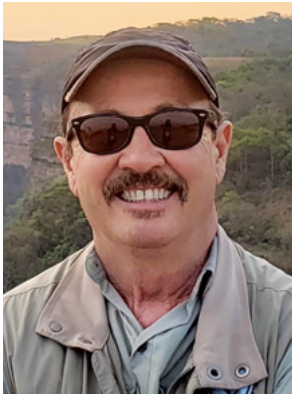
Figura 4: Sequências metapsamo-pelíticas:
a) metapsamitos com a superfície S_2 em dobras tardias com intensa crenulação plano axial (entrada da cidade de São João Batista).
b) mesma localidade com detalhe, em outro ângulo, da crenulação deformando a foliação principal.
c) detalhe da mineralogia metamórfica com porfiroblastos de granada, andaluzita e cloritoides (mesmo corte de estrada das fotos anteriores).
d) interferência tipo 3 em metadiamictitos marinhos intensamente deformados (Praia Cabeçudas).
e) detalhe de clasto centimétrico de metacalcários.
f) clastos de quartzito muito estirados em diamictitos do Morro do Carneiro.
g) porfiroblastos de cianita em quartzo-mica-xistos (corte da BR 110 em Itapema).
h) dobra D_3 sub-horizontal com clivagem plano axial bem desenvolvida afetando granada-mica-xistos com cianita (Praia de São Miguel).

3.3. Formação Botuverá

A Formação Botuverá é composta principalmente por rochas metassedimentares e representa a principal unidade do GB em termos de volume (figura 2). Rochas subvulcânicas filoneanas, deformadas e metamorfizadas, ocorrem de forma muito subordinada. Foram reconhecidas três unidades principais, onde o metamorfismo pode variar de xisto verde baixo a médio (figura 4).

A *Unidade Metapelítica* é formada por xistos finos, sericita-xistos e clorita-sericita-xistos com alguma biotita (geralmente cloritizada). Microbandamento resultante da deformação é caracterizado pela alternância de bandas sericíticas e quartzíticas. Camadas de quartzo-xisto e de quartzito estão intercaladas com os metapelitos.

A *Unidade Metarítmica* é constituída por filitos rítmicos basais que gradam para ritmitos com componente psamítico em direção ao topo. Quartzo-xistos



Evandro Fernandes de Lima.

Valdecir de Assis Janasi.

Geocronologia e geoquímica isotópica da Província Ígnea Paraná-Etendeka

Evandro Fernandes de Lima[1]
(*eflgeologo@gmail.com*).
Valdecir de Assis Janasi[2]
(*vjanasi@usp.br*).
Lucas de Magalhães May Rossetti[3]
(*lucasross@hotmail.com*).
Breno Leitão Waichel[4]
(*breno@cfh.ufsc.br*).

[1]Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências.
[2]Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências.
[3]Universidade Federal do Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra.
[4]Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Geociências.

1. Introdução

O primeiro artigo publicado pelo CPGeo-USP, de autoria de Gilberto Amaral, Umberto Cordani, Koji Kawashita e John Reynolds (Amaral *et al.*, 1966), apresentou à literatura internacional as idades das rochas basálticas da Província Magmática Paraná, determinadas pelo método K-Ar. O artigo destaca 3 principais conclusões: 1) concentração de idades em torno de 120 Ma, estabelecendo claramente a idade cretácea para o magmatismo; 2) intervalo de pelo menos 28 Ma (147-119 Ma) para o magmatismo; 3) inexistência de diferenças significativas nas idades de rochas vulcânicas e intrusivas na porção sul da Província. A idade Cretácea do vulcanismo principal, contrariando a ideia até então de que ele seria Jurássico e correlato aos basaltos do Karoo, Antártica e Tasmânia, levou os autores a registrar na frase final do artigo: ...*The present work certainly does not rule out the theory of continental drift, but seems to remove the possibility, previously suggested, that the major basaltic occurrences in all these continents were contemporaneous*. Posteriormente, foi demonstrada na Província Ígnea Etendeka (Namíbia e Angola) a ocorrência de rochas basálticas de idade equivalente às da Província Ígnea Paraná. A duração do vulcanismo basáltico tem sido tema de ampla discussão e, atualmente, existe um consenso de que foi bem menor que 28 Ma. A variação obtida no trabalho reflete limitações intrínsecas ao método K-Ar (perda ou ganho de Ar).

A petrogênese do vulcanismo da Província Ígnea Paraná-Etendeka é também tema de amplo destaque na literatura internacional, dada a sua importância como uma das maiores Províncias Basálticas Continentais (CFB) do planeta. A geoquímica de rocha, com destaque para a geoquímica isotópica, tem sido utilizada para inferir fontes e processos magmáticos evolutivos que geraram as rochas da Província. Os primeiros dados isotópicos de Sr para a Província foram apresentados por Compston *et*

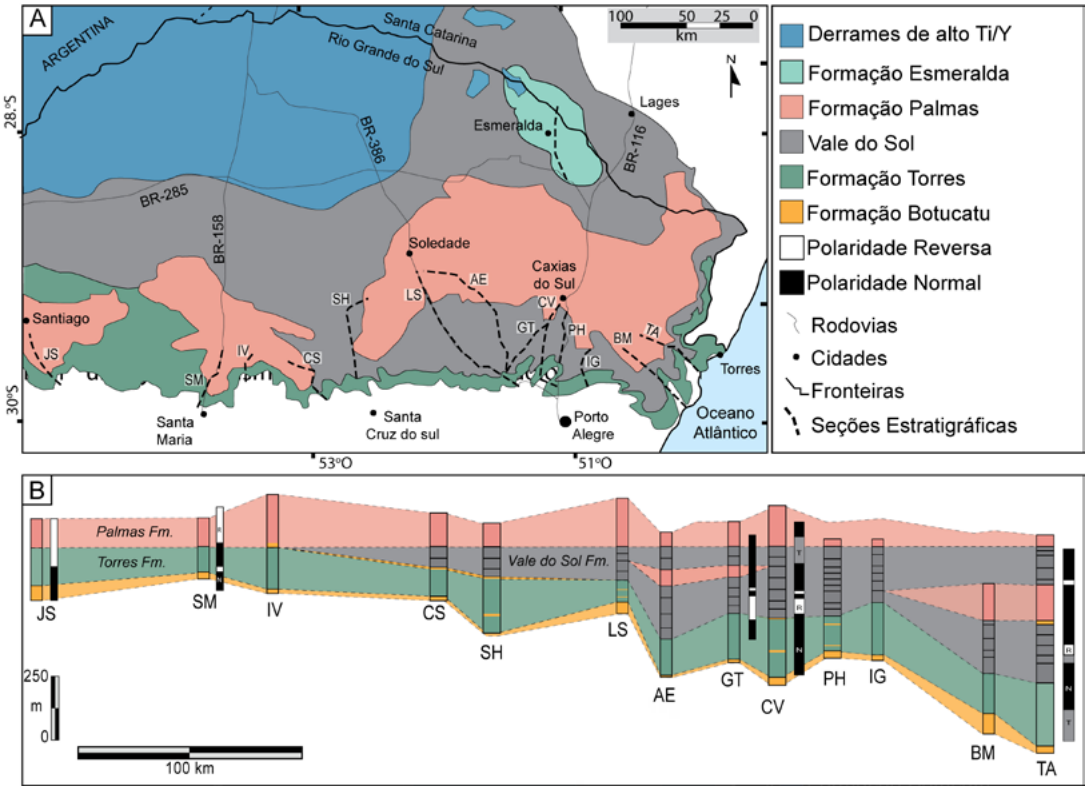


Figura 4 (acima):
A: Mapa geológico simplificado da porção sul da Província Paraná-Etendeka. Em destaque as principais seções que expõem a variação da estratigrafia.
B: empilhamento estratigráfico das seções geológicas e correlação com dados paleomagnéticos de Ernesto e Pacca (1988). Extraído de Rossetti *et al.* (2018).

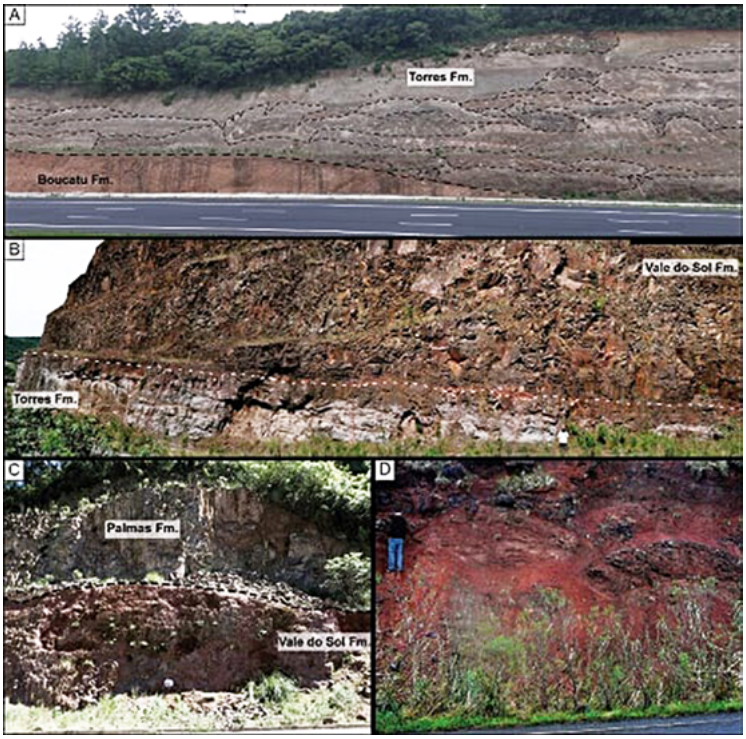
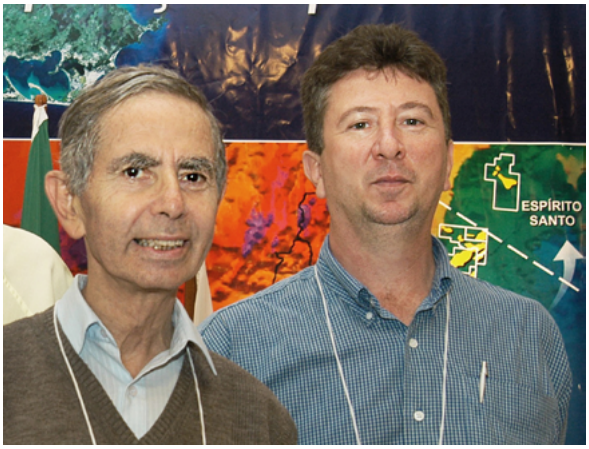


Figura 5:
A: Contato entre arenitos da Formação Botucatu e primeiros derrames da Formação Torres.
B: Contato entre Formação Torres e Formação Vale do Sol na região de Herveiras, camada pouco espessa de arenito entre as duas unidades.
C: Contato entre as Formações Vale do sol e Palmas na região de Herveiras.
D: Derrames *pahoehoe* compostos na região de Esmeralda, Formação Esmeralda. Extraído de Rossetti *et al.* (2018).

Influência do embasamento na evolução de bacias sedimentares: a contribuição de Umberto Giuseppe Cordani e do grupo de Geocronologia e Tectônica da USP para as atividades exploratórias da Petrobras

Edison José Milani
(*edis.mila@hotmail.com*).
Peter Szatmari
(*szatmari@petrobras.com.br*).



Peter Szatmari e
Edison José Milani.

1. Introdução

A exploração petrolífera é atividade eminentemente integradora de informações. A avaliação do potencial para hidrocarbonetos existente em uma bacia sedimentar requer o manuseio de dados de natureza variada, tanto geológicos quanto geofísicos. Sob o conceito de Sistema Petrolífero (Magoon e Dow, 1994), os grupos de interpretação exploratória buscam uma compreensão do "mecanismo" atuante em subsuperfície no passado geológico e que possa, porventura, ter dado origem a uma jazida de petróleo no âmbito de uma determinada província sedimentar.

Tal "mecanismo" inclui sempre complexa e multifacetada relação entre diversos elementos: rochas geradoras, rochas-reservatório, rochas selantes, caminhos de migração, estrutura, janela apropriada de temperaturas, dentre outros, são fatores indispensáveis e que se articulam naturalmente ao longo da história geológica da bacia. Uma vez atendidos determinados requisitos, que incluem relações espaciais e temporais adequadas, origina-se uma jazida de hidrocarbonetos.

De pronto transparece o significado e a importância do quesito "tempo" na Geologia do Petróleo. O correto estabelecimento dos parâmetros cronoestratigráficos de uma bacia sedimentar é ingrediente indispensável de suporte a qualquer campanha exploratória. As companhias que operam equipes de exploração servem-se da Bioestratigrafia para a determinação das idades das diferentes unidades litológicas que preenchem uma bacia sedimentar e, para tal, é sistematicamente estudado o conteúdo microfossilífero presente nas rochas sedimentares por meio da análise em laboratório de amostras coletadas durante a perfuração de poços.

As técnicas bioestratigráficas usuais resolvem a questão "idade" de rochas sedimentares pelo uso de correlações do conteúdo fossilífero local a seções internacionais de referência, as *Chronostratigra-*

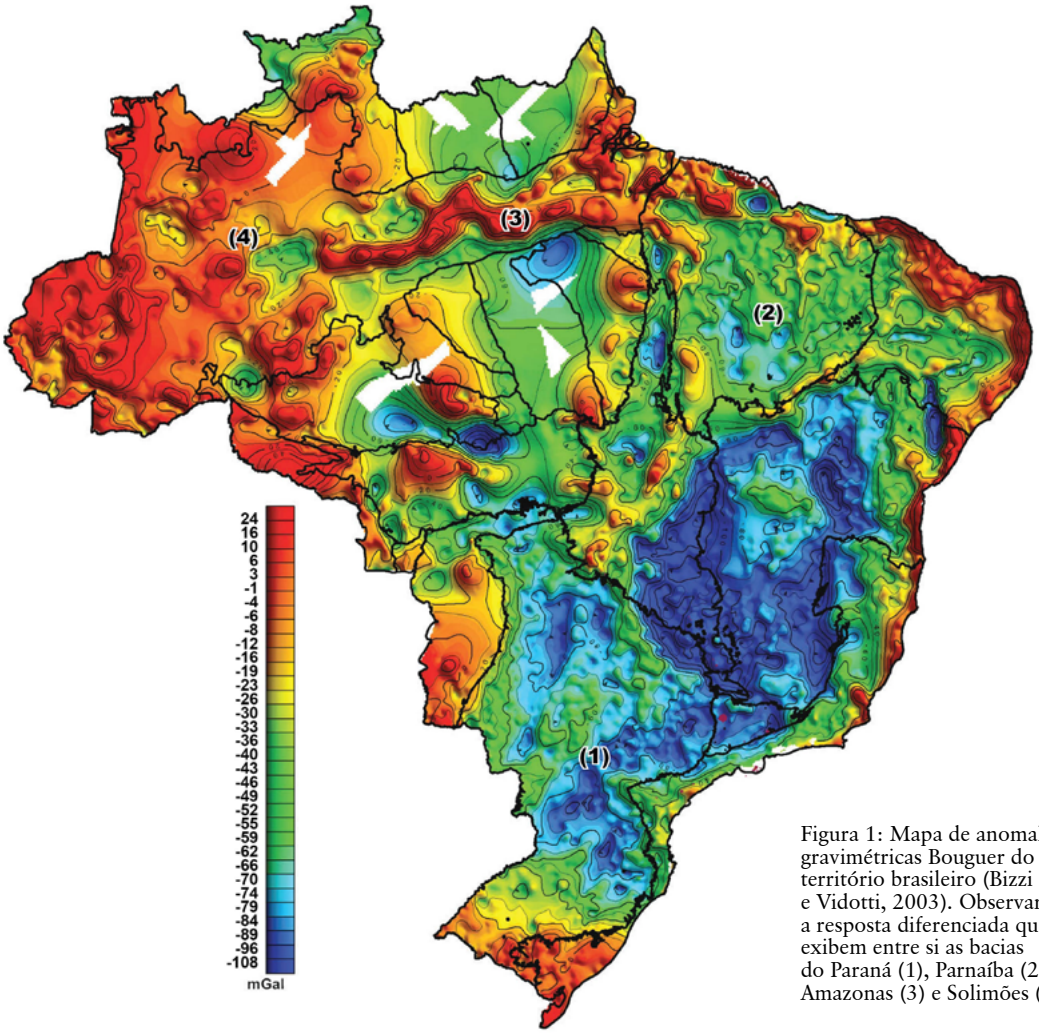


Figura 1: Mapa de anomalias gravimétricas Bouguer do território brasileiro (Bizzi e Vidotti, 2003). Observar a resposta diferenciada que exibem entre si as bacias do Paraná (1), Parnaíba (2), Amazonas (3) e Solimões (4).

sob a bacia. Na Bacia do Parnaíba, a assinatura gravimétrica é a mais coerente dentre as bacias cratônicas brasileiras para uma depressão preenchida por sedimentos, em que os mínimos gravimétricos correspondem aos depocentros sedimentares e onde há resposta de anomalias positivas nas áreas de embasamento raso no sentido das bordas da bacia, em todos os quadrantes de seu contorno.

Já na Bacia do Amazonas, a resposta gravimétrica exibe mais fortemente a provável interferência de fenômenos intracrustais: um pronunciado eixo de anomalias positivas marca a região do seu depocentro, cuja natureza é tema de discussão persistente desde Linser (1958). Nunn e Aires (1988) sugerem ser este alto gravimétrico a resposta de intrusões densas na crosta inferior. Por seu turno, a Bacia do Solimões, na extremidade ocidental da grande calha sedimentar amazônica, reflete-se na gravimetria regional de maneira também singular: como um bem definido baixo em sua porção leste, junto ao limite com a Bacia do Amazonas, ao passo que sua porção oeste se encontra difusa na grande área Bouguer positiva que domina todo o setor norocidental do país. Particularidades de cada uma destas bacias serão comentadas a seguir.

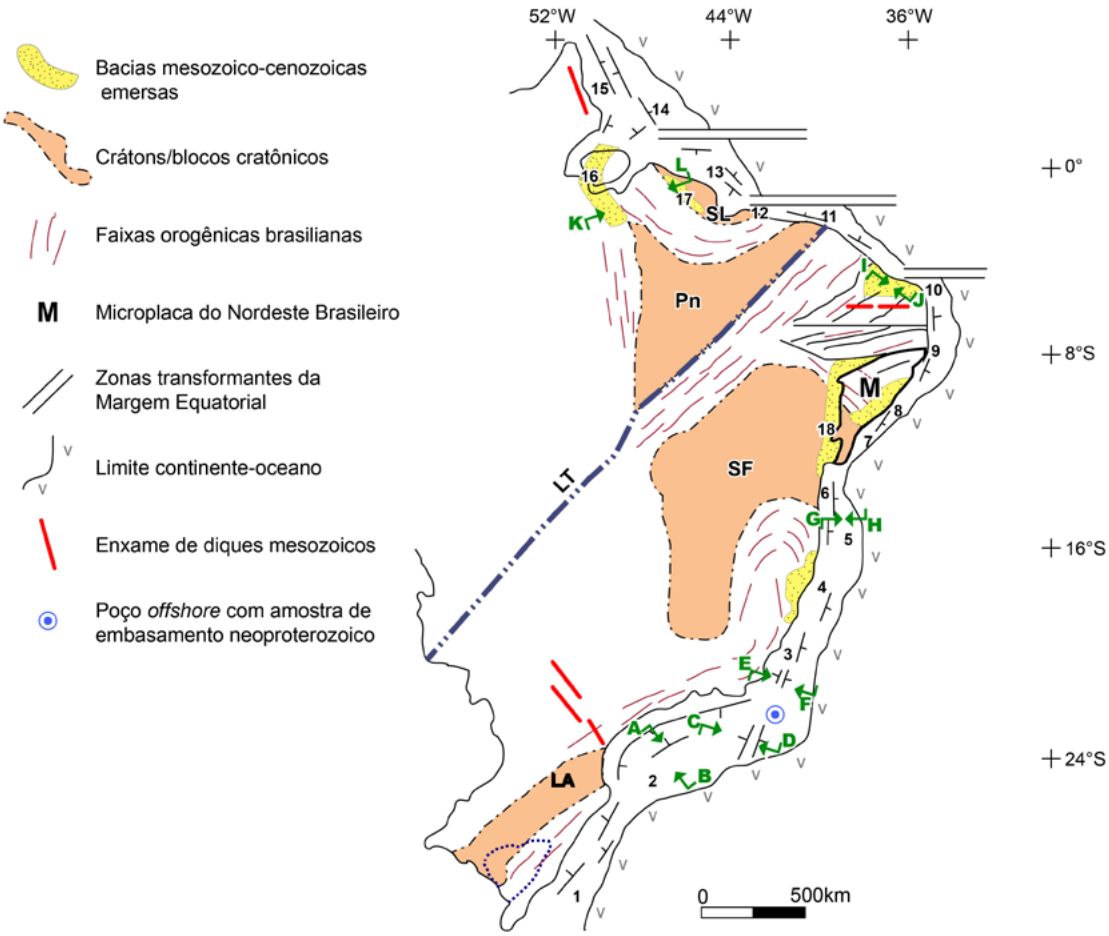


Figura 8: Arcabouço tectônico esquemático parcial do Brasil com as principais descontinuidades, blocos cratônicos e faixas brasilianas do embasamento com provável relacionamento à evolução das bacias marginais mesozoico-cenozoicas. Estruturação das áreas de embasamento a partir de Cordani *et al*. (1984, 2009) e dos diversos autores em Hasui *et al*. (2012). **LT**: Lineamento Transbrasiliano. Crátons/blocos cratônicos: **SL**: São Luís; **Pn**: Parnaíba; **SF**: São Francisco; **LA**: Luíz Alves. Bacias da margem: **1**: Pelotas; **2**: Santos; **3**: Campos; **4**: Espírito Santo/Mucuri; **5**: Cumuruxatiba/Jequitinhonha; **6**: Almada/Camamu; **7**: Jacuípe; **8**: Sergipe-Alagoas; **9**: Pernambuco-Paraíba; **10**: Potiguar; **11**: Ceará; **12**: Barreirinhas; **13**: Pará-Maranhão; **14**: Foz do Amazonas; **15**: Gráben de Cassiporé. Riftes abortados: **16**: Marajó; **17**: São Luis/Bragança-Viseu; **18**: Recôncavo-Tucano-Jatobá. Localização de outras ilustrações: A – B: figura 11-1; C – D: figura 11-2; E – F: figura 12; G – H: figura 13; I – J: figura 15; K – L: figura 16.

litosfera. A conclusão central desses autores é que a trama preexistente controla a geometria das estruturas do rifte principalmente numa escala local e nos estágios mais precoces da ruptura. O resultado em termos de geometria de bacia rifte será uma combinação variável de padrões em parte herdados do embasamento e em parte neoformados.

Alkmim (2004) discutiu o comportamento da litosfera continental quando submetida a esforços distensivos, como é o caso do Rifte Sul-Atlântico. Para esse autor, a arquitetura estrutural dos riftes é condicionada *a priori* pela natureza da região sob ruptura: crátons localizam a deformação em poucas falhas normais de grande rejeito, enquanto uma região de não-cráton tende a distribuir a deformação em área ampla, com muitas falhas normais de rejeito relativamente menor. Estas constatações são muito bem exemplificadas pela bacia do Recôncavo-Tucano-Jatobá – cráton, comentada a seguir, e pelo rifte da Bacia de Santos – não-cráton, discutido adiante.

Geochronological record of plutonic activity on a long-lived active continental margin, with emphasis on the pre-Andean rocks of Chile

Mauricio Calderón[1]
(*mauricio.calderon@unab.cl*).
Francisco Hervé[1,2]
(*fherve@ing.uchile.cl*).
Francisco Munizaga[2]
(*fmunizag@cec.uchile.cl*).
Robert John Pankhurst[3].
Christopher Mark Fanning[4]
(*mark.fanning@anu.edu.au*).
Carlos W. Rapela[5]
(*crapela@cig.museo.unip.edu.ar*).

[1]Universidad Andrés Bello, Carrera de Geología.
[2]Universidad de Chile, Departamento de Geología.
[3]British Geological Survey.
[4]Australian National University, Research School of Earth Sciences.
[5]Universidad Nacional de La Plata, Centro de Investigaciones Geológicas.

1. Introduction

In the early 1960's there were very few radiometric dates of for plutons in Chile, and a little local expertise in the use of the appropriate methodologies. A program for developing this branch of geology was started and supported by the Organization of American States (OAS), and in the early sixties laboratories were installed in São Paulo, Buenos Aires and later Santiago, and personnel trained in the United States for running them. In this way the Geochronology laboratory (Geochron) of the Instituto de Geociências (Universidade de São Paulo) in Brazil, became the leading institution for developing geochronology in the continent. Prof. Umberto Cordani was one of the driving forces behind the consolidation and expansion of the influence of this laboratory, which has a very healthy present day life under the direction of Cordani's successors.

Chile also benefited from this influence, and Cordani opened a new way for the development of geochronology in South America, conducting a pioneer geochronology course at the University of São Paulo in 1969. This course was open to foreign students, among whom Francisco Munizaga attended, backed by Universidad de Chile. Later, in 1972, Cordani himself came to Santiago to give a geochronology course in the recently created PhD program at the Geology Department at Universidad de Chile. Among others, Francisco Hervé

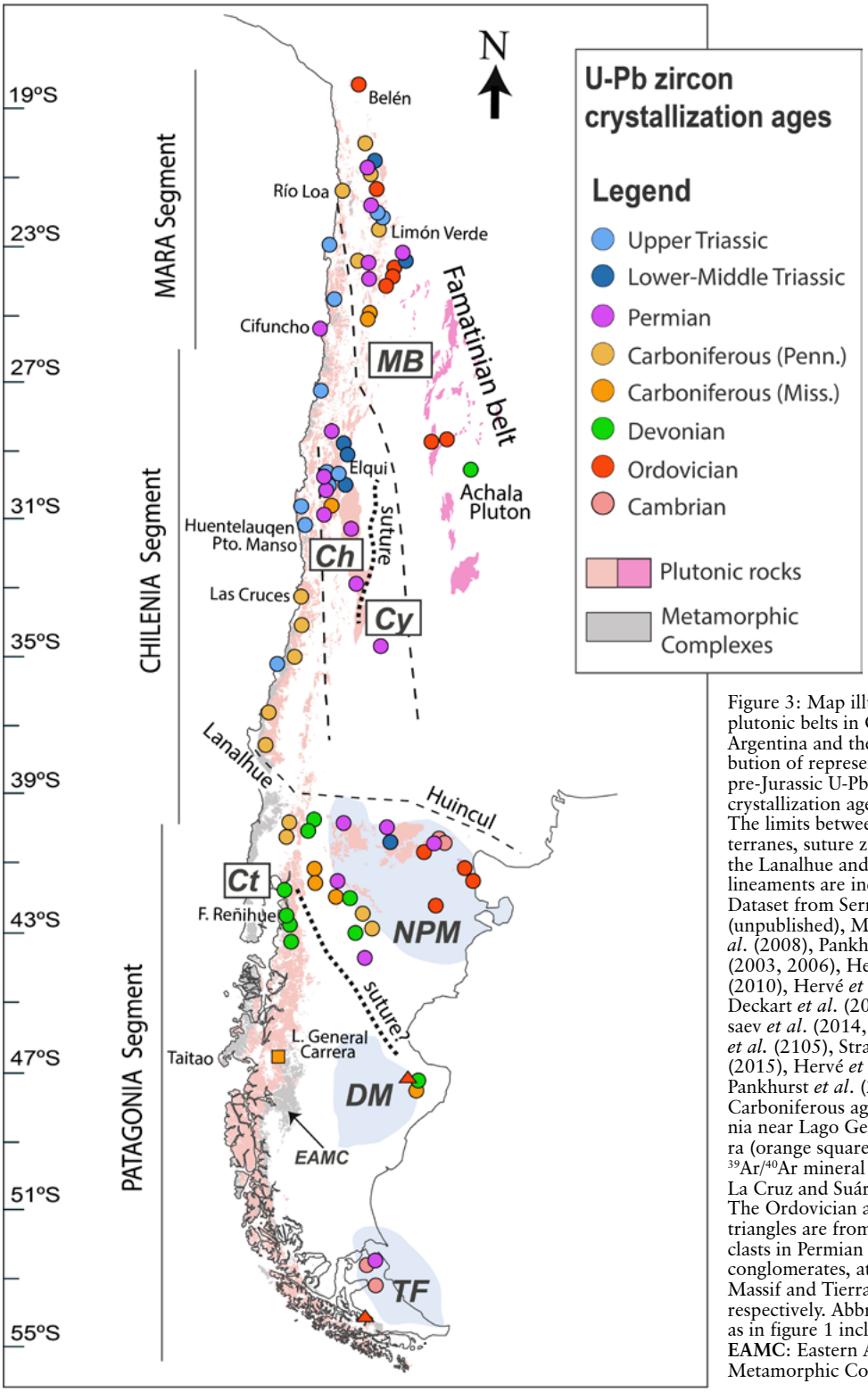


Figure 3: Map illustrating plutonic belts in Chile and Argentina and the distribution of representative pre-Jurassic U-Pb zircon crystallization ages (circles). The limits between main terranes, suture zones and the Lanalhue and Huincul lineaments are indicated. Dataset from Sernageomin (unpublished), Munizaga *et al*. (2008), Pankhurst *et al*. (2003, 2006), Hervé *et al*. (2010), Hervé *et al*. (2014), Deckart *et al*. (2014), Maksaev *et al*. (2014, 2015), Sato *et al*. (2105), Strazzere *et al*. (2015), Hervé *et al*. (2016), Pankhurst *et al*. (2016). The Carboniferous age in Patagonia near Lago General Carrera (orange square) is the only $^{39}Ar/^{40}Ar$ mineral age (De La Cruz and Suárez, 2006). The Ordovician ages in red triangles are from plutonic clasts in Permian and Jurassic conglomerates, at Deseado Massif and Tierra del Fuego, respectively. Abbreviations as in figure 1 including: **EAMC**: Eastern Andean Metamorphic Complex.

Mauricio Ibañez-Mejia.

Jorge J. Restrepo.

Antonio García-Casco.

Tectonic juxtaposition of Triassic and Cretaceous meta-(ultra)mafic complexes in the Central Cordillera of Colombia (Medellín area) revealed by zircon U-Pb geochronology and Lu-Hf isotopes

Mauricio Ibañez-Mejia[1]
(*ibanezm@rochester.edu*).
Jorge J. Restrepo[2]
(*jjrestrepo@unal.edu.co*).
Antonio García-Casco[3]
(*agcasco@ugr.es*).

[1]University of Rochester, Department of Earth and Environmental Sciences.
[2]Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, Grupo Gemma.
[3]Universidad de Granada, Departmento de Mineralogía y Petrología.

1. Introduction

The Phanerozoic geologic evolution of northwestern South America is characterized by a complex tectonic history involving multiple events of regional extension, compression and terrane accretion that ultimately shaped the basement of the northern Andes (*e.g.*, Restrepo & Toussaint, 1988; Toussaint & Restrepo, 1989; Maya & González, 1995; Spikings & Paul, 2019; among many others). This protracted history of Paleozoic to modern subduction-related orogenesis and orogenic collapse, terrane docking, and superposed strike-slip tectonics is particularly striking in the Central Cordillera of Colombia (figure 1a), where rocks of clear continental and oceanic affinity are commonly found side-by-side, juxtaposed along regional-scale fault systems. It is recognized that the relative angle of convergence between the overriding and down-going plates along an active continental margin plays a critical role in controlling along-strike displacement of continental and oceanic terranes (*e.g.*, Patchett & Chase, 2002), and ocean-floor magnetic anomalies indicate that strongly oblique convergence (>30°) has been prevalent in the north Andean orogen since at least the early Jurassic (Seton *et al.*, 2012). This has resulted in the development of prominent margin-parallel structural features of dominantly transcurrent nature such as the Romeral Shear Zone, which extends for more than 1000 km from northern Colombia to Ecuador and is thought to have been active since, at least, the early Mesozoic (see review in Vinasco, 2019). Due to these structural complexities, imposing robust geochronologic constraints is arguably essential towards reconstructing the crustal development and tectonic history of the northern Andean margin, especially when dealing with lithospheric blocks bound by regional transcurrent fault systems.

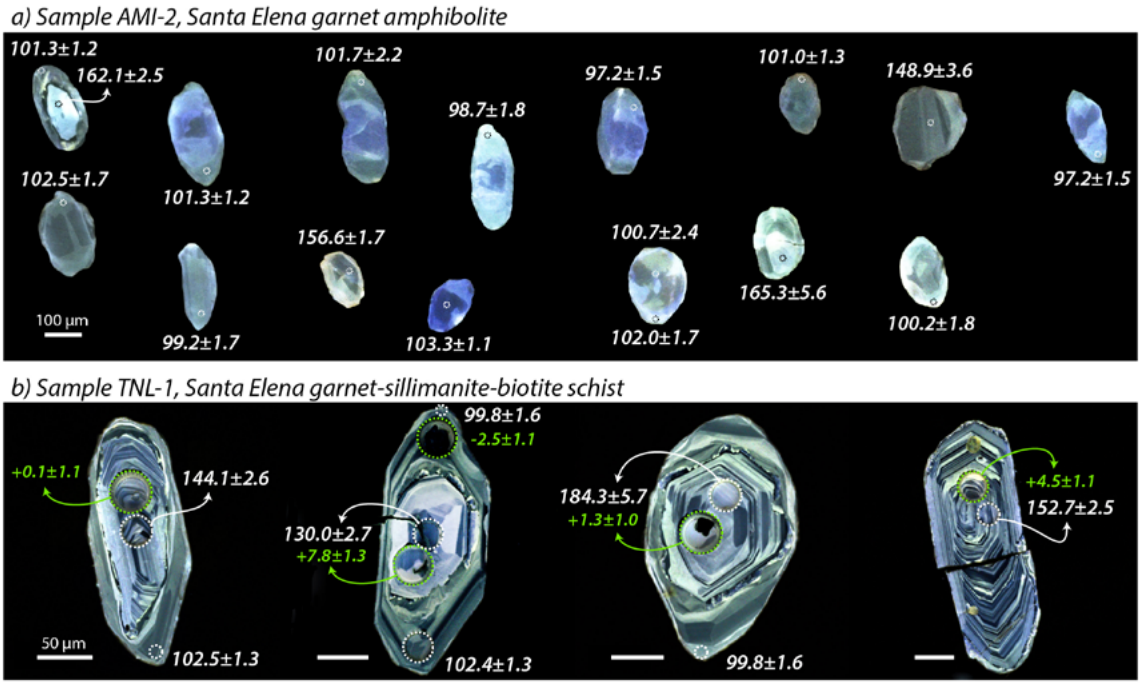


Figure 5: Representative high-resolution cathodoluminescence images of individual zircon crystals from studied samples of the Santa Elena amphibolites unit: **a)** Santa Elena garnet-amphibolite sample AMI-2; **b)** La Sierra tunnel garnet-sillimanite gneiss sample TNL-1. Other conventions are the same as in figure 2.

The deformed Qz-rich tonalitic layer sample LPP-1 from within the El Picacho metagabbros along the Medellín-San Pedro road (figure 1), also yielded large zircon crystals between 300 to 800 μm in diameter exhibiting combined oscillatory- and sector-zoning (figure 2b). All spots analyzed from these crystals have undistinguishable U-Pb dates within uncertainty, resulting in a weighted mean $^{206}Pb/^{238}U$ crystallization age of 221.7 ± 1.0/2.1 Ma (2σ, MSWD= 0.5, n= 40; figure 3b). Lu-Hf analyses also result in undistinguishable initial Hf isotopic compositions within uncertainties, consistent with a mean, age-corrected $^{176}Hf/^{177}Hf$ = 0.282873 ± 48 (2 SD, n= 31). This is equivalent to $\varepsilon Hf_{(t)}$= +8.1 ± 1.7 (2 SD).

5.2 Santa Elena unit

The two analyzed samples from the Santa Elena unit are a garnet amphibolite (AMI-2) and a graphite-bearing sillimanite-garnet-biotite gneiss (TNL-1), which appears interlayered within the thick package of the amphibolitic unit.

Sample AMI-2 yielded relatively small zircon crystals between ~100 and 250 μm in diameter along their major axes. Many of these crystals are equant to sub-equant, and display un-zoned to weakly sector-zoned textures (figure 5a). A few relict cores with partially to strongly blurred oscillatory-zoned textures were also observed. U-Pb analyses utilizing 15 μm ablation spots and ion-counter measurements in the Nu Plasma resulted in a weighted mean $^{206}Pb/^{238}U$ crystallization age of 101.0 ± 0.8/1.2 Ma (2σ, MSWD= 1.1, n= 18; figure 6) from the un-zoned and/or sector zoned crystals. The few cores with relict oscillatory-zoned textures have $^{206}Pb/^{238}U$ dates between 150 and 170 Ma.

Trajetória geocronológica do Prof. Cordani na África e a colaboração científica com Moçambique

Rômulo Machado,
Universidade de São Paulo,
Instituto de Geociências
(*rmachado@usp.br*).
Ruy Paulo Philipp,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Instituto de Geociências
(*ruy.philipp@ufrgs.br*).

Rômulo Machado.

Ruy Paulo Philipp.

1. Introdução

O interesse do professor Cordani pela geologia do continente africano evidencia-se desde os seus primeiros trabalhos há mais de meio século, quando foi implantado o Centro de Pesquisas Geocronológicas da então Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. As primeiras determinações geocronológicas realizadas pelo método K-Ar neste laboratório, em amostras do Nordeste do Brasil, mostraram a correlação de idades entre as unidades geológicas do Brasil e da África, produzindo evidências de que ambos os continentes estiveram unidos no passado e suportando assim a hipótese da Deriva Continental (Hurley *et al*., 1967; Cordani, 1975).

Os capítulos 21 (Tchouankoue *et al*.), 22 (Mamadou e Malik) e 24 (Jamal *et al*.) na segunda parte deste livro, servem de demonstração do papel indutor de Cordani nos estudos preliminares em países, respectivamente, da costa atlântica (Camarões, Senegal) e também da África Oriental (Moçambique), este último sendo o foco do presente texto. Em adição, também foram fundamentais seu esforço para determinar a idade das rochas vulcânicas de ilhas oceânicas do Atlântico Sul e das rochas basálticas e alcalinas da Bacia do Paraná (Amaral *et al*., 1966; Vandoros *et al*., 1966; Cordani, 1970; Cordani *et al*., 1977, 1980), correlativas com atividades no continente africano (ver capítulos 15 e 16 na Segunda Parte deste livro).

Em sua tese de livre-docência, defendida em 1973, desenvolvida numa extensa faixa de rochas de alto grau situada ao longo da costa leste brasileira, entre Vitória (ES) e Salvador (BA), Cordani delineou, com base na interpretação integrada de idades K-Ar e Rb-Sr, os principais ciclos orogênicos que afetaram a região, no Neoarqueano (~2,7 Ga), no Transamazônico (~2,0 Ga) e no Brasiliano (0,65 e 0,45 Ga), concepção esta que permanece válida até hoje em linhas gerais para a evolução da crosta continental da Plataforma Sul-Americana. O caráter policíclico

A equipe brasileira e moçambicana, a partir da esquerda: Matheus Philipe Bruckmann (Doutorando do Instituto de Geociências da UFRGS), Thales Sebben Petry (Doutorando do Instituto de Geociências da UFRGS), Ruy Paulo Philipp (Professor do Instituto de Geociências da UFRGS), Daud Jamal (Professor da Faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, Moçambique), Rômulo Machado (Professor do Instituto de Geociências da USP), Fátima Roberto Chaúque (geóloga do Instituto Nacional de Minas, Maputo, Moçambique), Rogério José Matola (geólogo da Direção Nacional de Geologia e Minas, Maputo, Moçambique), António Razo Alface (técnico de geologia da Direção Provincial de Recursos Minerais e Energia de Tete, Moçambique) e Casimiro Alexandre Johane (motorista do Instituto Nacional de Minas, Moçambique).

continental foi correlacionado por ele com o arcabouço tectônico da África Equatorial, face à evolução policíclica comparável da crosta continental em ambos os continentes (ver capítulo 11, na Segunda Parte deste livro). A presença de idades de cerca de 2,0 Ga para a infraestrutura dos cinturões brasilianos e pan-africanos, aliada à existência de núcleos estáveis muito antigos no interior desses cinturões de dobramento marginais, levou o autor a admitir que, ao final do Ciclo Transamazônico (ou Eburneano, no caso da África), uma massa continental de tamanho equivalente ao estimado para o supercontinente Gondwana teria sido consolidada.

Enio Soliani.

Koji Kawashita e Umberto G. Cordani.

Trajetória histórica do Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo

Enio Soliani Jr.
(*eniosoliani@hotmail.com*).
Koji Kawashita
(*in memoriam*).

1. Introdução

No ano de 1963 apenas dois espectrômetros de massa existiam em São Paulo: um de fonte gasosa, da Atlas-Vickers, fabricado na Alemanha, e outro para gases, líquidos e sólidos, da Metropolitan Vickers, modelo MS-2, construído na Inglaterra. O primeiro ficou sob a responsabilidade do Prof. Otto Gotrieb, do Departamento de Química da FFCL da USP (Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo), e o segundo foi acomodado no Instituto de Energia Atômica, atual IPEN/CNEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/ Comissão Nacional de Energia Nuclear), efetivamente utilizado pelo Dr. Eiichi Matsui nos primeiros anos da década de 1960.

Ambos os equipamentos podiam analisar gases nobres no modo dinâmico ou no estático (Atlas-Vickers), ou elementos sólidos e também gases nobres (MS-2), mas não eram destinados para finalidades geocronométricas. Originalmente, seriam empregados em análises isotópicas de urânio enriquecido em ^{235}U, parte de um projeto para a fabricação do combustível necessário ao funcionamento do reator de fissão induzida, instalado no IPEN. Na verdade, por alterações de metodologia, os dois espectrômetros nunca chegaram a ser utilizados para a finalidade inicialmente imaginada. Sob a responsabilidade do Dr. Eiichi Matsui, e com a colaboração de um dos subscritores deste texto (Koji Kawashita), o MS-2 ficou certo tempo no modo de operação para análises de elementos sólidos, como o chumbo, para fins geocronométricos.

Um fato de certa forma premonitório para um dos autores deste texto (KK) foi a tentativa de se datar galenas, por exemplo, por simples determinações de razões isotópicas de Pb por espectrometria de massa. Porém, as primeiras medidas das razões isotópicas do ^{204}Pb mostraram-se imprecisas. No ano de 1963 o destino levaria KK para um novo desafio profissional, o Laboratório de Geocronologia do Departamento de Geologia e Paleontologia da FFCL/USP, local que viria a trabalhar até a sua aposentadoria.

A origem e o histórico deste Laboratório de Geocronologia estão descritos no capítulo 1 (Quarta Parte deste livro) e na obra *Geologia USP – 50 Anos* (Gomes, 2007). Para

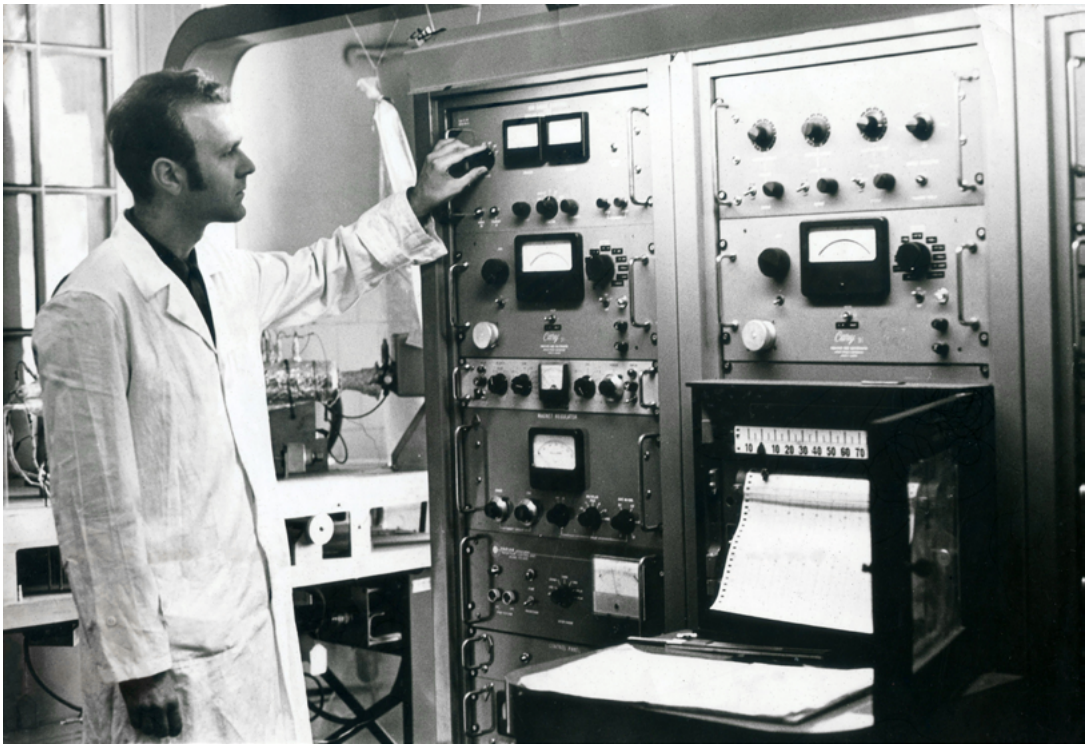


Foto 1: Umberto Cordani e o painel do espectrômetro Nuclide para análise de argônio. Laboratório de Geocronologia na Alameda Glette, Campos Elíseos, São Paulo, em 1965.

não sermos repetitivos, abordaremos com maior ênfase o desenvolvimento técnico-científico das metodologias radiométricas deste Laboratório a partir de 2007, ano em que, por coincidência, o mesmo ingressa em uma fase que aqui vamos denominar de a Nova Era da Geocronologia no Brasil. Antes, porém, faremos algumas breves considerações de caráter histórico para situar o leitor sobre a razão da existência do Centro de Pesquisas Geocronológicas, instalado do Instituto de Geociências da USP, que sucedeu o Laboratório inicial.

2. O Laboratório de Geocronologia e o método K/Ar

Em 1957, a partir dos departamentos de Geologia e Paleontologia e de Mineralogia e Petrologia, com o incentivo da Campanha de Formação de Geólogos (CAGE), proposta pelo MEC (Ministério da Educação e Cultura), criou-se nos domínios da FFCL o curso de Geologia. Entre os marcos de pesquisa da FFCL foi a instalação em 1963 do primeiro Laboratório de Geocronologia da América do Sul (Cordani, 2007), fruto de iniciativa do Prof. John Hamilton Reynolds (ver capítulo 1 da Quarta Parte) com substancial apoio financeiro da National Science Foundation (*ca*. US$ 110.000,00).

O acervo instrumental inicial deste laboratório incluía um espectrômetro de massa da marca Nuclide (MS-1), cujo tubo era inteiramente de vidro *Pyrex*, com raio de curvatura de 4,5 polegadas e deflexão magnética de 60 graus, equipado com um detector Faraday convencional e provido com resistência de entrada de $3{,}0 \times 10^{10}$ ohms. Ainda, em complemento, fazia parte do conjunto mais um tubo idêntico ao do MS-1, porém

Magmatic Evolution of the Andes: the contributions of the IGCP Project 120

Victor Alberto Ramos
(*andes@gl.fcen.uba.ar*),
Instituto de Estudios Andinos
Don Pablo Groeber (UBA-CONCET).

Victor Alberto Ramos.

The launch in the early 1970's of the project 120 "Magmatic evolution of the Andes" within the framework of the International Geological Correlation Program, a joint effort of the International Union of Geological Sciences and Unesco was timely created and driven from its origins by Umberto Cordani. The Andean-tectonic model had been recently proposed and many unknowns arose to explain the development in time and space of magmatic arcs. Project 120 in ten years of work, contributed with more than 2000 ages and studied throughout the Andes the variations of these arcs. The data provided established that the migration to the foreland of the volcanic arcs was due to crustal erosion by subduction of the forearc and to changes in the geometry of the subducted slab. Each of these processes has different geochemical and petrological characteristics and different time dynamics. In turn, trench arc migrations, especially when they were abrupt and associated with metamorphism and deformation, were indicating the collision of allochthonous terranes on the continental margin. Geochronological and petrological studies carried out in a series of transects allowed identifying the collision of island arcs in the Meso-Cenozoic of the Northern Andes and the accretion of continental terranes in the Paleozoic throughout all the margin. The variation of the geometry of the subducted slab could reach a flat-slab stage with an important gap in magmatism. The study of these and other processes was carried out through intense cooperation between scientists from different Andean countries. Although the scientific results of the project were important, the main legacy of IGCP 120, is to have established cooperation networks among the participants, which are still successfully maintained in different new programs.

1. Introduction

At the end of the 60's, a scientific revolution was being developed that was going to modify the Geological Sciences with the change of old "fixist" paradigms and tectonic ideas dominated by almost entirely vertical structures and displacements. It was the gradual decline of the geosynclinal theory, which had reached its climax in 1965 with the popular text on the Geosynclines produced by Jean Aubouin (Aubouin, 1965), a bestseller in the field of geology of that decade. These were the beginnings of Plate Tectonics and a total effervescence dominated geologists and geophysicists at that time. An important milestone was the American Geophysical

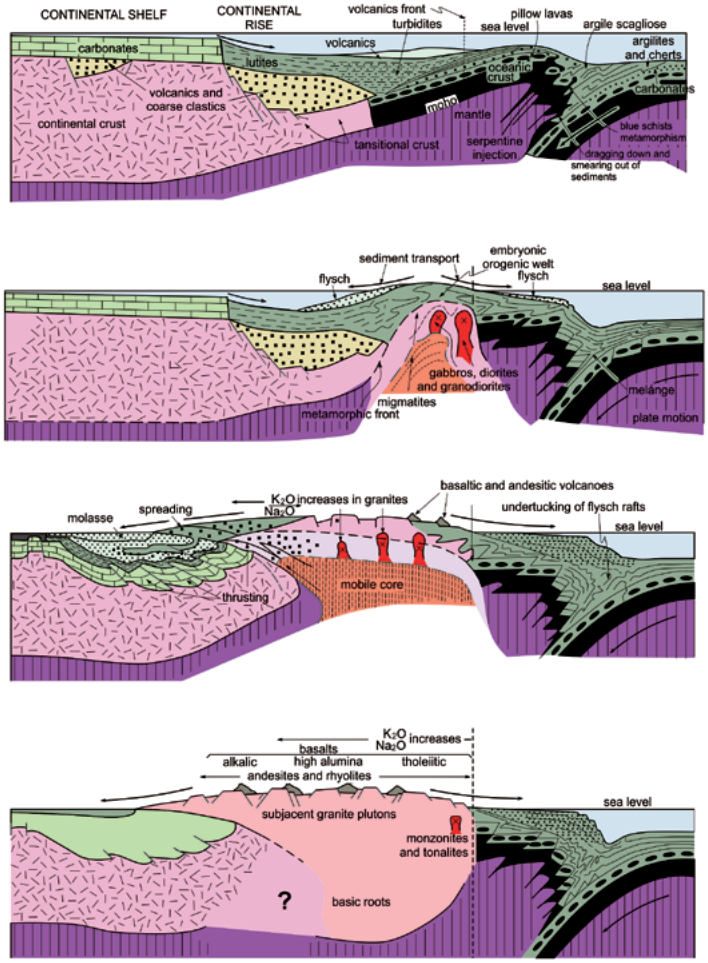


Figure 1: The Andean-type model envisaged by John Dewey in the early seventies (after Dewey, 1969; Dewey & Bird, 1970).

sea-floor spreading of 1967 held in Washington, which brought together Dan McKenzie, Jason Morgan, Xavier Le Pichon and Jack Oliver, among many others, to discuss John Tuzo Wilson's proposal (Wilson, 1965). This symposium was followed by many benchmark papers with new knowledge and ideas explaining the processes that led to the continental drift and the interaction between rigid plates (Morgan, 1968; Le Pichon, 1968; McKenzie, 1969).

However, we must wait a few more years to see how these new concepts and processes interacted to form the Andes. A seminal proposal was anticipated by John Dewey, who was the first to associate these processes in an Andean-type model (Dewey, 1969; Dewey & Bird, 1970). This first model related the subduction of the oceanic slab to arc magmatism, basin formation, and Andean structures (see figure 1). Although some of its premises proved erroneous, the merit of this model was that it conducted research on these processes for many years.

In those years a project was launched to study the magmatic evolution of the Andes through the collaboration between the International Union of Geological Sciences (IUGS) and the Unesco. This project led to the advancement of knowledge in the Andean processes in much of this decade and following decades.

2. International cooperation across the Andes

In the late 1960s, cooperation between researchers on both sides of the Andes was almost non-existent, especially in the southern sector of the Central Andes. One of the few exceptions was the teaching at the University of Chile of several professors from the University of Buenos Aires, which got away from the Military Government in 1966. Among these professors stood out Felix González Bonorino, who contributed with modern ideas on the study of metamorphism of the accretionary

Three decades of educational and research collaborations in Brazil, with special recognition of Prof. Umberto Cordani's role in initiating and facilitating the programs

William R. Van Schmus,
Emeritus Professor,
University of Kansas,
Department of Geology
(*rvschmus@ku.edu*).

William R. Van Schmus.

1. Introduction

It is an honor and a pleasure to write a few words acknowledging Professor Umberto Cordani's role in initiating and his continued encouragement of joint scholarly associations between faculty, students, and staff at various universities in Brazil on the one hand and faculty, students, and staff at the Isotope Geochemistry Laboratory (IGL) in the Department of Geology at the University of Kansas, in Lawrence, Kansas, USA, on the other hand. This association was the outgrowth of an attempt to establish a much broader US-Brazil geoscience exchange, and although that effort did not come to fruition in the short-term, in the long-term several research exchanges did develop and flourish in Brazil since then.

The association discussed here was especially successful in geochronology. It was a direct outgrowth of the pioneering work of Prof. Umberto Cordani, who received his doctorate in geochronology from UC Berkely and then returned to the Universidade de São Paulo (USP) to establish the first geochronology laboratory in South America. Over the next two decades the Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo) grew under Prof. Cordani's leadership and carried out extensive pioneering work throughout Brazil and South America. It should also be made clear that several other pioneering geochronology studies were being done in South America and that several other laboratories were getting started. However, by 1982 the CPGeo was the premier geochronology lab in Brazil and I was fortunate to become involved with them at that time.

2. Getting started: 1982-90

My own association with Brazilian geochronology and Prof. Cordani began with my first trip to Brazil, namely to Salvador, Bahia, to attend the *International Symposium on Archaean and Early Proterozoic Geologic Evolution and Metallogenesis* (ISAP), September 3

and in some cases resulted in three-way international collaborations. Our work in Cameroon provides a foundation for better understanding of the pre-drift association between the Borborema Province and the Precambrian basement in the Cameroon region of West Africa. See, for example the paper by Dr. Toteu, Dr. Oliveira, and myself (Van Schmus *et al.*, 2008).

One other collaboration that developed was my involvement in IGCP Project 462, Granite Systems and Proterozoic Lithospheric Processes with Dr. Jorge Bettencourt of USP and Dr. Tapani Ramo of Helsinki, Finland (*cf.* Ramo *et al.*, 2002). This was a five year project and included a field trip in 2002 through the rapakivi granite suites of Rondônia (*cf.* Paylla *et al.*, 2002) led by Dr. Bettencourt and his colleagues.

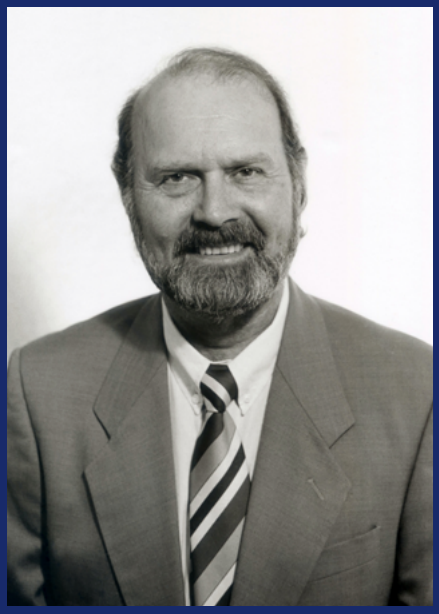
Thus, the door opened to me and other Brazilians by Dr. Cordani in 1983-84 developed into much more than an USP-Kansas program. Even though few of the studies involved close collaboration between Prof. Cordani and myself, we maintained close collegial contact over the years, for which I am thankful.

4. 2005-2018: Into the Future

As we entered the 21st Century my direct involvement with research in Brazil slowed down, in large part because of time commitments involved with taking on the Chairmanships of the Department of Geology at KU (1999-2004), in part because of diminishing funding resources in the U.S., and in part because of evolution in methodologies (*e.g.*, LAMS-ICP, high precision TIMS analyses using chemical abrasion) for which I was not equipped to continue active lab work, in part because of approaching retirement in 2007, and in large part because the new generation of geochronologists in Brazil (including those trained in Kansas) was rapidly becoming independent of outside expertise. This latter point is especially important, and in many ways is the realization of the goals envisioned by Prof. Cordani and others in the 1984 workshop in Brasilia.

From 2005 to 2015 my involvement was primarily directed toward making sure that all data generated during the many collaborations at KU, and much data generated later by Brazilian colleagues, utilizing ion microprobe facilities in Australia and China and by utilizing TIMS or LA-ICP-MS labs in Brazil, was pulled together and published in major scientific journals. I believe this has now been accomplished and can look forward to full retirement with a strong sense of fulfillment, not only in terms of projects and data completed, but, more importantly, in terms of the people that have become successful, productive geoscientists in Brazil in part because of the seeds planted in the 1980s.

I am proud that all of the Brazilian sandwich students are now successful faculty member at several universities in Brazil: USP (Babinski), Brasília (Dantas), Universidade Federal de Rio de Janeiro (Schmitt), U. Estadual de Rio de Janeiro (Geraldes), and Universidade Federal de Mato Grosso (Pinho), and that all continue to educate students. The student exchange program did not end here, though, for Dr. Allen Fetter spent several years as a post-doctoral research associate at UESP, helping Peter Hackspacher set up laboratory facilities and training other students. The lasting legacy from the programs initiated by Dr. Cordani and myself will not be in the research, which will be improved or superseded, but in the human resources created in the process.



O presente volume nas mãos do leitor confere ímpeto ao perfil produtivo da Universidade de São Paulo não só por trazer resultados de impacto ao alcance da comunidade geológica, mas também por ressaltar o protagonismo científico do Professor Umberto Giuseppe Cordani e sua notável personalidade.

A edição de um livro de caráter histórico sobre a importante contribuição do Professor Umberto Cordani para o conhecimento da evolução tectônica do continente Sul-Americano, e que também apresenta aspectos da sua trajetória acadêmica e pessoal, é muito oportuna neste ano em que ele chega aos 82 anos em plena atividade profissional.

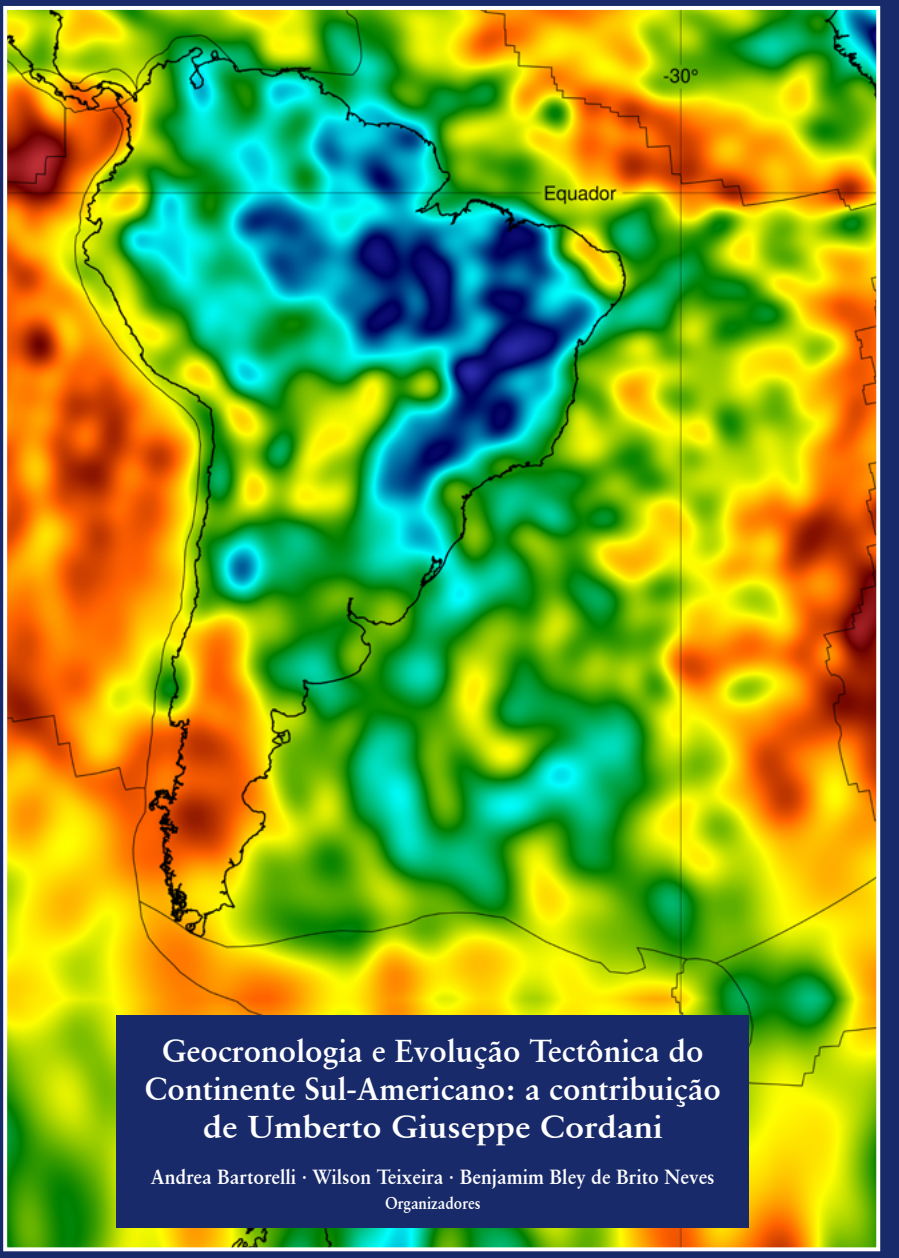
Após dois anos de maturação o projeto Geocronologia e Evolução Tectônica do Continente Sul-Americano: a contribuição de Umberto Giuseppe Cordani resulta num livro que integra informações precisas e atualizadas sobre o patrimônio geotectônico do Brasil e da América do Sul, com excelente qualidade gráfica e ilustrações.

Trata-se de uma obra magistral que contribui também para a formação de recursos humanos especializados por enfatizar o raciocínio geológico, alicerçado nos conceitos da Geocronologia e Geotectônica. Seu escopo multidisciplinar vem preencher ainda uma lacuna na literatura ao ressaltar o papel fundamental das Ciências da Terra em prol da sustentabilidade do desenvolvimento social – uma ilustração fiel da atuação destacada do Professor Cordani nesse e em outros temas.

GEOCIÊNCIAS

USP

ISBN: 978-65-991526-0-3
9 786599 152603



Geocronologia e Evolução Tectônica do Continente Sul-Americano: a contribuição de Umberto Giuseppe Cordani

Andrea Bartorelli · Wilson Teixeira · Benjamim Bley de Brito Neves
Organizadores

Agradecimentos

Os organizadores expressam seus agradecimentos a todas as pessoas, patrocinadores e instituições colaboradoras que tornaram possível a conclusão deste projeto. Em especial, agradecem profundamente ao Instituto de Geociências (IGc) da Universidade de São Paulo, na pessoa de seus diretores, Prof. Dr. Marcos Egydio da Silva (até dezembro de 2019) e Prof. Caetano Juliani, pela disponibilização da infraestrutura e quadro técnico; à presidente da Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), Profa. Dra. Simone Cruz, pelo gerenciamento financeiro; ao Centro de Pesquisas Geocronológicas, na pessoa de sua diretora Prof. Dra. Maria Helena Bezerra Maia de Hollanda, e ao diretor do GeoLab-SHRIMP, Prof. Dr. Colombo Celso Gaeta Tassinari. Agradecem, também, especificamente, aos seguintes colaboradores pela sua participação essencial e/ou apoio nas diversas etapas do trabalho.

Agradecimentos específicos:
Caetano Juliani (Diretor do IGc-USP à partir de janeiro de 2020).
Marcos Egydio da Silva (Diretor do IGc-USP até dezembro de 2019).
Nanci Iurico Assakura (assistência técnico-acadêmica).
Valéria Fajardo Montanholli (secretária da Diretoria IGc-USP).

Seção de Ilustração geológica
Elaboração, revisão e padronização de ilustrações:
Marco Antonio Chamadoira,
Thelma Collaço Samara.

Seção de Publicações
Organização de arquivos e estruturação
preliminar do boneco do livro:
Daniel Machado.

Comissão de relações institucionais
Hellen Cristina Damaso.

Setor de Eventos
Pesquisa de imagens no banco de imagens da USP:
Claudio Satoru Higa.

Serviço de Biblioteca
Revisão e padronização bibliográfica:
Anderson Santana (chefia técnica),
Celia Regina de Oliveira Rosa (atendimento ao usuário).

Acervo fotográfico institucional
Jaime de Souza Marcos.

Departamento de Mineralogia e Geotectônica
Sônia Gomes Costa Vieira (secretaria).

Diretoria Executiva da Sociedade Brasileira de Geologia
Simone Cerqueira Pereira Cruz (Presidente).
Gilmar Vital Bueno (ex-Presidente)
João Marinho de Morais Neto (Diretor Adjunto).
Fábio Braz Machado (Diretor Secretário).
Miguel Antônio Tupinambá A. Souza (Diretor de Comunicação e Publicações).

Secretaria da Sociedade Brasileira de Geologia
Ivete di Rocco Fontes Alves e França.
Clóvis di Rocco Fontes.

Entrevistas e transcrições
Gravação: Denise de La Corte Bacci
(Depto. de Geologia Sedimentar e Ambiental IGc-USP).
Transcrição: Daniel do Valle Lemos Santos
(Doutorando; IGc-USP).

Cessão de imagens e fotos
Andrea Bartorelli, Caio Ciardelli (cessão do modelo computacional para a capa), Carlos Cornejo (Solaris Edições Culturais), João Emilio Gerodetti, Luiz Ferreira Vaz (pela cessão de fotos dos Professores John Stark e Norman Herz), Marcelo Assumpção, Marcelo Lerner, Marlei Antônio Carrari Chamani.

Colegas que intermediaram contatos com potenciais patrocinadores, cederam materiais e/ou contribuíram com informações para o livro
Adriana Zapparoli (VALE).
Antônio Carlos Pedrosa Soares (UFMG).
Atlas Correa Neto (UFRJ).
Cesar Ferreira Filho (UnB).
Elson Paiva de Oliveira (UNICAMP).
Elton Luiz Dantas (UnB).
Fernando Flecha Alkmim (UFOP).
Francisco William da Cruz Junior (USP).
Jorge Silva Bettencourt (USP).
Kei Sato (USP).
Lydia Maria Lobato (UFMG).
Lúcia Travassos da Rosa Costa (CPRM).
Marcelo Sousa de Assumpção (USP).
Marlei Antônio Carrari Chamani (USP).
Miguel Angelo Stipp Basei (USP).
Roberto Xavier (ADIMB).
Rodrigo Martins (VALE).
Veridiana Teixeira de Souza Martins (USP).
Washington Barbosa Leite Junior (UNESP).

Somos gratos à Solaris Edições Culturais que se propôs a publicar uma obra desta magnitude que esperamos seja uma referência para os interessados na Geotectônica e na Geocronologia.

Agradecemos, finalmente, a todos os autores e coautores de capítulos, depoimentos e relatos pela participação com seus consistentes e excelentes textos.

O homenageado e os organizadores da obra no dia da recepção do livro no Instituto de Geociências, em 6 de outubro de 2020. A partir da esquerda: Andrea Bartorelli, Wilson Teixeira, Umberto Cordani e Benjamim Bley de Brito Neves. Fotografia de Carlos Cornejo.

SOLARIS
Edições Culturais