

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Caracterização de geossítios como subsídio à valorização do
patrimônio geológico: migmatitos do Complexo Costeiro na Serra do
Mar, São Sebastião - SP**

Karina de Souza Ibanez

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação do Instituto de Geociências
para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de concentração: Patrimônio Geológico

Orientadora: Profa. Dra. Maria da Glória Motta Garcia

Coorientador: Prof. Dr. Renato de Moraes

São Paulo
2024

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Caracterização de geossítios como subsídio à valorização do patrimônio
geológico: migmatitos do Complexo Costeiro na Serra do Mar, São
Sebastião - SP**

KARINA DE SOUZA IBANEZ

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria da Glória Motta Garcia

Coorientador: Prof. Dr. Renato de Moraes

Dissertação de Mestrado

Nº 934

COMISSÃO JULGADORA

Dr^a. Maria da Glória Motta Garcia

Dr^a. Kátia Leite Mansur

Dr^a. Mônica Heilbron

SÃO PAULO

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Serviço de Biblioteca e Documentação do IGc/USP

Ficha catalográfica gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a)
via programa desenvolvido pela Seção Técnica de Informática do ICMC/USP

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de catalogação da publicação:
Sonia Regina Yole Guerra - CRB-8/4208 | Anderson de Santana - CRB-8/6658

Ibanez, Karina

Caracterização de geossítios como subsídio à
valorização do patrimônio geológico: migmatitos do
Complexo Costeiro na Serra do Mar, São Sebastião -
SP / Karina Ibanez; orientadora Maria da Glória
Motta Garcia; coorientador Renato de Moraes. --
São Paulo, 2024.

209 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Mineralogia e Petrologia) -- Instituto de
Geociências, Universidade de São Paulo, 2024.

1. Patrimônio Geológico. 2. Complexo Costeiro. 3.
Geossítios. 4. Migmatitos. 5. Geoconservação. I.
Motta Garcia, Maria da Glória , orient. II. de
Moraes, Renato , coorient. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a muitas pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho, bem como para a minha jornada como pesquisadora neste fascinante campo das geociências, durante a qual muitos desafios foram enfrentados, especialmente durante o período da pandemia de Covid-19.

Agradeço primeiramente à minha família que sempre será a base para todas as minhas conquistas. Mãe, Pai, meus irmãos Ander, Paulinho, Willian e minhas irmãs Susana e Camila, minha eterna gratidão! Agradeço profundamente ao meu companheiro de vida, Daniel, que tornou possível essa caminhada, obrigada pelo essencial apoio e por todo o amor envolvido.

À minha orientadora, Profa. Maria da Glória, meus sinceros agradecimentos por me inspirar e me introduzir na área do patrimônio geológico, por toda a confiança em meu trabalho desde a iniciação científica, e pelo apoio e orientação essencial no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu coorientador, Prof. Renato de Moraes, por ter aceitado contribuir com meu trabalho, pela paciência nos ensinamentos e pelo suporte essencial ao entendimento dessas lindas e complexas rochas, muito obrigada!

Agradeço ao meu supervisor de estágio de pesquisa no Parque Nacional de Yosemite, Greg Stock, por ter prontamente aceitado meu projeto, por todo o conhecimento e apoio fornecidos durante uma das melhores experiências da minha vida.

Aos meus queridos amigos geólogos da Turma 59, vocês são e sempre serão imprescindíveis! Cots, Lilo, Kiwi, Pams, Nit, Sisu, Rico, Bris, Bibifa, Waze e Nita, minha gratidão a essa amizade essencial nesse período, onde muitas vezes compartilhando nossas angústias e alegrias tudo ficava mais fácil, amo vocês. Agradeço também aos amigos da salinha B-09, Eliana, Lucas, Nit e Laura, muito obrigada pela parceria no dia a dia, pelas valiosas sugestões e pelos essenciais cafezinhos compartilhados!

Agradeço a toda a turma do grupo Divulga Geologia pelos aprendizados, e aos companheiros de pesquisa do Núcleo GeoHereditas, especialmente ao Carlos Mazoca por toda ajuda fundamental no desenvolvimento dos produtos geoespaciais. Agradeço aos funcionários do IGc por todo o suporte acadêmico durante esses anos, especialmente Samuquinha e Vasco na preparação das amostras e aos funcionários do CPGeo.

Também gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos os meus professores de graduação nesse mesmo instituto, cujo conhecimento geológico transmitido ao longo dos cinco anos foi fundamental para a realização deste trabalho. Agradeço aos alunos da turma 62, pela oportunidade de ser monitora de Geologia Estrutural e Geotectônica e obter todo o aprendizado nessa experiência!

Agradeço à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de mestrado (Proc. 2020/16730-1) e pela bolsa de estágio em pesquisa no exterior (Proc. 2022/00814-7). Agradeço também ao Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP) — CAPES pelo suporte financeiro no EGU23 e no 17º GEOSUDESTE.

Por fim, meus agradecimentos à nossa majestosa Serra do Mar, cuja imponência registra a história do nosso planeta e oferece um vasto campo de conhecimento geológico ainda a ser desvendado e valorizado.

"A gente só existe porque a Terra deixa a gente viver. Ela dá vida pra gente. Não tem outra coisa que dá vida. É por isso que a gente chama ela de Mãe Terra"

Ailton Krenak

RESUMO

Ibanez, K., 2024, Caracterização de geossítios como subsídio à valorização do patrimônio geológico: migmatitos do Complexo Costeiro na Serra do Mar, São Sebastião - SP [Dissertação de Mestrado], São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 209 p.

Este trabalho traz novas contribuições para o entendimento dos migmatitos paraderivados do Complexo Costeiro por meio da caracterização de três geossítios localizados no município de São Sebastião, a qual teve como objetivo definir o valor científico e valorizar o patrimônio geológico da região. Esses geossítios são costões rochosos integrados ao contexto geológico e tectônico da Serra do Mar e aos ecossistemas costeiros das áreas protegidas do litoral norte do estado de São Paulo, e careciam de dados geológicos específicos. Houve a seleção de dois novos geossítios: Metatexito Estromático de Santiago e Diatexito Schollen da Barra do Sahy, além do geossítio Boudins do Ilhote de Camburizinho, já inventariado. A interpretação da evolução heterogênea e complexa do metamorfismo em fácies granulito foi obtida a partir de dados de campo, petrografia e geocronologia U-Pb em zircão por LA-ICP-MS. O neossoma apresenta variados graus de segregação e exibe a paragênese quartzo + ortoclásio + plagioclásio + biotita ± ilmenita ± magnetita ± granada, associada a um protólito psamítico imaturo. O resíduo é formado por minerais residuais, *schlieren* de biotita e *schollen* constituído de lentes deformadas de biotita anfíbolito e metatexito metapsamítico. As estruturas indicam taxa de deformação sin-anatética elevada, associada à Zona de Cisalhamento Camburu. As análises geocronológicas indicam geração de zircões metamórficos Neoproterozoicos ao longo de um intervalo temporal contínuo aproximado de 240 Ma, de ca. 770 Ma a ca. 530 Ma. A variação temporal de ca. 533 Ma a 627 Ma, obtida para as populações mais jovens, é indicativa da fase final de resfriamento de um único evento metamórfico em um modelo tectônico de *tectonic switching* em bacia de retroarco. Esse processo condicionou a formação do metamorfismo de alta temperatura por tempo prolongado ao longo do período colisional pós-extensional, com magmatismo basáltico intrusivo nas rochas sedimentares imaturas. Produtos geoespaciais derivados de imagens de VANT foram usados para desenvolver um passeio virtual interativo, visando ampliar o acesso e a compreensão do patrimônio geológico de São Sebastião, com aplicabilidade no geoturismo e educação ambiental. Os geossítios caracterizados são relevantes registros da evolução Neoproterozoica do Orógeno Ribeira Central e essenciais para o detalhamento do enquadramento geológico no contexto do inventário do patrimônio geológico do município. Os valores específicos da geodiversidade conferem uma importância crucial à gestão sustentável desses recursos. O valor científico dos geossítios serviu de base para a promoção dos seus valores ambientais, geoturísticos e educacionais e evidencia a relevância da caracterização geológica no contexto das estratégias de Geoconservação e na valorização do patrimônio geológico da Serra do Mar da região.

Palavras-chave: Patrimônio Geológico, Complexo Costeiro, Geossítios, Migmatitos, Geoconservação

ABSTRACT

Ibanez, K., 2024, Characterization of geosites as a contribution to the valorization of geoheritage: migmatites from the Costeiro Complex in the Serra do Mar, São Sebastião - SP [Master's thesis], São Paulo, Institute of Geosciences, University of São Paulo, 209 p.

This study brings new contributions to the understanding of paraderived migmatites of the Coastal Complex through the characterization of three geosites located in the city of São Sebastião, aiming to define their scientific value and valorize the geoheritage of the region. These geosites are rocky shores integrated into the geological and tectonic context of the Serra do Mar and the coastal ecosystems of the protected areas in the northern coast of the state of São Paulo, lacking specific geological data. Two new geosites were selected: the Stromatic Metatexite of Santiago and the Schollen Diatexite of Barra do Sahy, in addition to the already inventoried Boudins of the Camburizinho Islet geosite. The interpretation of the heterogeneous and complex evolution of granulite facies metamorphism was obtained from field data, petrography, and U-Pb zircon geochronology by LA-ICP-MS. The neosome presents various degrees of segregation and exhibits the paragenesis quartz + orthoclase + plagioclase + biotite ± ilmenite ± magnetite ± garnet, associated with an immature psammitic protolith. The residue is composed of residual minerals, biotite schlieren, and schollen consisting of deformed lenses of biotite amphibolite and metapsammitic metatexite. The structures indicate a high sin-anatectic deformation rate, associated with the Camburu Shear Zone. Geochronological analyses indicate the generation of Neoproterozoic metamorphic zircons over a continuous approximate temporal interval of 240 Ma, from ca. 770 Ma to ca. 530 Ma. The temporal variation from approximately 533 Ma to 627 Ma for the younger populations indicates the final cooling phase of a single metamorphic event within a tectonic switching model in a back-arc basin. This process led to high-temperature metamorphism over a protracted period during the post-extensional collisional phase, accompanied by intrusive basaltic magmatism in immature sedimentary rocks. UAV-derived geospatial products were used to develop an interactive virtual tour, aiming to enhance access to and understanding of the geoheritage and geodiversity of São Sebastião, with applications in geotourism and environmental education. The characterized geosites hold significance for understanding the Neoproterozoic evolution of the Central Ribeira Orogen and for elucidating the geological framework within the city's geoheritage inventory. Their unique geodiversity values are crucial for the sustainable management of these resources. The scientific value of the geosites provided a foundation for promoting their environmental, geotouristic, and educational significance, emphasizing the importance of geological characterization within the framework of Geoconservation strategies and for the valorization of the geoheritage in the Serra do Mar region.

Keywords: Geoheritage, Costeiro Complex, Geosites, Migmatites, Geoconservation

SUMÁRIO

Capítulo I - Introdução.....	1
1.1 Contextualização do tema e justificativa da pesquisa.....	1
1.2 Objetivos.....	6
1.3 Caracterização da área de estudo.....	6
1.3.1 Aspectos Geomorfológicos.....	7
1.3.2 Aspectos Ambientais.....	10
1.4 Materiais e Métodos.....	13
1.4.1 Seleção de geossítios estudados.....	14
1.4.2 Caracterização geológica.....	15
1.4.2.1 Geocronologia U-Pb em zircão por LA-ICP-MS.....	17
1.4.3 Promoção do patrimônio geológico e geração de produtos geoespaciais.....	21
1.5 Estrutura da Dissertação.....	25
Capítulo II - Geodiversidade, Patrimônio Geológico e Geoconservação.....	26
2.1 Contextualização histórica acerca do tema.....	26
2.1.1 Síntese do panorama brasileiro.....	31
2.2 Geodiversidade: o que é e qual sua importância?.....	33
2.3 Patrimônio geológico e geoconservação.....	40
Capítulo III - Orógeno Ribeira e Complexo Costeiro.....	48
3.1 Província Mantiqueira.....	48
3.2 Orógeno Ribeira.....	54
3.2.1 Terreno Oriental.....	62
3.2.2 Terreno Costeiro.....	66
3.2.2.1 Terreno Costeiro em São Sebastião.....	68
3.2.3 Evolução geotectônica e modelos orogênicos do Orógeno Ribeira.....	74
3.2.3.1 Modelo colisional do Orógeno Ribeira.....	75
3.2.3.2 Modelo intracontinental do Orógeno Ribeira.....	80
Capítulo IV - Caracterização geológica dos geossítios selecionados.....	86
4.1 Contextualização dos geossítios de São Sebastião.....	86
4.2 Geossítios caracterizados - feições de campo e petrografia.....	91
4.2.1 Geossítio Metatexito Estromático de Santiago.....	96
4.2.2 Geossítio Boudins do Ilhote de Camburizinho.....	102
4.2.3 Geossítio Diatexito Schollen da Barra do Sahy.....	109
4.3 Dados geocronológicos U-Pb em zircão por LA-ICP-MS.....	114
4.3.1 Cristais de zircão analisados.....	115

4.3.2 Idades obtidas e diagramas concórdia.....	124
Capítulo V - Promoção da geodiversidade com uso de produtos geoespaciais.....	136
Capítulo VI - Discussão e Considerações finais.....	146
6.1 Geossítios na evolução do Orógeno Ribeira.....	146
6.2 Valorização do patrimônio geológico tectônico da Serra do Mar em São Sebastião.	166
6.3 Conclusões e considerações finais.....	178
6.4 Referências Bibliográficas.....	183
ANEXOS.....	201

Capítulo I - Introdução

1.1 Contextualização do tema e justificativa da pesquisa

A valorização e a conservação da natureza assumem uma importância inegável diante dos desafios globais relacionados à atual crise ambiental, climática e social. Este cenário envolve a escassez e o uso indevido dos recursos naturais diante de uma crescente demanda de consumo. Nesse contexto, a geodiversidade desempenha um papel primordial não só como fonte de recursos minerais e energéticos imprescindíveis ao desenvolvimento econômico e social, mas também como base do meio físico, fornecendo o suporte à biodiversidade e sendo o registro da evolução geológica do nosso planeta.

A compreensão dos valores da geodiversidade possibilita o desenvolvimento de estratégias para sua gestão e uso mais sustentável, os quais envolvem uma série de serviços ecossistêmicos de regulação, suporte, provisão, culturais e de conhecimento (Gray, 2013). Em 1987, a Comissão das Nações Unidas estabeleceu a definição de sustentabilidade como "satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades". Desde então, a preocupação com a sustentabilidade do nosso planeta tem se intensificado cada vez mais, impulsionada pela contínua mudança climática causada pela atividade humana, evidenciada pelo aumento da temperatura média global em 1,1°C acima dos níveis pré-industriais em 1850 (IPCC, 2022). Além disso, reconhece-se cada vez mais a interdependência entre o clima, os ecossistemas e as sociedades humanas.

A preservação dos recursos naturais, a mitigação das mudanças climáticas e o desenvolvimento de práticas responsáveis em diversos setores da sociedade têm se tornado temas centrais em iniciativas globais, guiadas pelos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODSs) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) (Fig. 1.1). Os ODSs são compostos por 169 metas que abrangem aspectos ambientais, sociais e econômicos e fazem parte integrante da Agenda 2030 adotada em 2015 por todos os 192 países-membros da ONU, incluindo o Brasil. Alcançar os ODSs até 2030 requer um esforço conjunto e contínuo de diversas comunidades e setores em todo o mundo, em vistas que este ano, a meio caminho, parece provável que nenhum dos ODSs e apenas 12% das metas serão atingidas (Nature, 2023).

Neste processo, as Geociências desempenham um papel fundamental, onde o manejo adequado da geodiversidade é necessário para assegurar o desenvolvimento de diversos ODSs, envolvendo uma série de ações que podem ter relação direta com a Geoconservação e o Patrimônio Geológico, incluindo práticas de Geoturismo e Geocomunicação (Gill, 2017; Brilha et al., 2018; Gill & Smith, 2021). A gestão dos recursos naturais, a caracterização de riscos geológicos e a modelagem de condições climáticas exigem uma compreensão multi-escala (espacial e temporal) dos materiais e/ou processos terrestres (Gill & Bullough, 2017) e, portanto, geocientistas são necessários para o desenvolvimento do avanço tecnológico e científico que envolvem um futuro mais sustentável.



Figura 1.1: Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODSs) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), que devem ser alcançados até 2030. (<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>).

No entanto, os valores da geodiversidade ainda não são amplamente compreendidos neste contexto, seja pela sociedade em geral, pelas instituições e tomadores de decisões ou até mesmo no meio geocientífico (Stewart, 2016), sendo necessário um contínuo desenvolvimento de pesquisas que abordem essa temática. Nessa perspectiva, os conceitos de geoconservação e geodiversidade surgiram e se consolidaram a partir da década de 90, expandindo-se globalmente desde então (ver Capítulo II, Sharples, 2002; Henriques et al., 2011; Gray, 2013). Esses conceitos caracterizam um campo multidisciplinar relativamente novo e emergente dentro das geociências e são atualmente adotados por diversas instituições

e países que reconhecem a importância dos elementos geológicos para a compreensão e conservação da natureza e da história da Terra. Algumas dessas instituições incluem a União Internacional de Ciências Geológicas (USGS), a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), o Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) e a Sociedade Brasileira de Geologia (SBGEO).

Uma das abordagens que promovem o estudo e a valorização da geodiversidade é a caracterização do patrimônio geológico, sendo este o primeiro passo para qualquer medida de geoconservação (Reynard & Brilha, 2018; Gordon et al., 2021). O patrimônio geológico (ou geopatrimônio, de "*geoheritage*", em inglês) é parte do patrimônio natural de uma região, constituído pelos elementos não vivos (abióticos) da natureza, os quais devem ser caracterizados, promovidos e conservados. Esse patrimônio é definido e gerenciado por meio dos geossítios, locais naturais *in situ* que apresentam uma geodiversidade com valores excepcionais ao registrar a evolução geológica da região e permitir o seu conhecimento.

A geoconservação envolve uma série de medidas que vão desde a identificação e avaliação de geossítios até a sua promoção, monitoramento e aplicação de medidas legais de conservação (Brilha, 2005, 2016; Henriques et al., 2011). O valor científico dos geossítios pode ser atribuído como sua característica primordial e que justifica sua seleção (Brilha, 2016), mas outros aspectos desses locais, como os valores educacionais, ecossistêmicos, geoturísticos e culturais, também são essenciais na sua valorização. Essa combinação de valores contribui para uma apreciação mais abrangente da geodiversidade pela sociedade, estabelecendo uma conexão significativa entre a paisagem natural, as pessoas, suas culturas e a história da Terra.

A caracterização de geossítios implica na identificação e descrição dos elementos geológicos presentes, bem como na compreensão dos processos que os formaram em diferentes escalas geológicas. A determinação do valor científico só é possível por meio de estudos que gerem dados e interpretações que atestem o significado geológico. Durante pesquisas sobre o patrimônio geológico de uma região, geossítios selecionados podem já ter sido objeto de estudos e publicações anteriores, fornecendo descrições, dados, análises, ilustrações e interpretações que estabelecem sua importância geológica. De fato, a existência de publicações científicas é um critério essencial para confirmar o valor científico de um geossítio (Brilha, 2016). No entanto, especialmente em inventários locais, como em municípios e áreas protegidas, é possível identificar sítios com potencial significativo para a compreensão geológica da região, mas que ainda não foram objeto de estudos específicos ou

não possuem dados publicados. Nestes casos, torna-se crucial conduzir pesquisas geológicas de base para obter os dados necessários que definem seu valor científico. Somente então esses sítios podem ser designados como geossítios e promovidos como parte do patrimônio geológico, desenvolvendo medidas de geoconservação específicas.

A costa sudeste brasileira é conhecida por sua evolução tectônica e geomorfológica complexa, com eventos marcantes do Neoproterozoico até o Holoceno. Essa região está inserida na Província Mantiqueira, onde as rochas que compõem a Serra do Mar e os costões rochosos de suas praias arenosas, juntamente com as estruturas e zonas de cisalhamento NE-SW que controlam a geomorfologia, têm origem no processo de amalgamação do Gondwana Ocidental durante o Ciclo Brasileiro-Pan Africano, que ocorreu do Neoproterozoico ao Cambriano (Almeida et al., 1981; Brito Neves et al., 2021). Os eventos de ruptura que ocorreram durante a reativação da Plataforma Sul-Americana no Jurássico Superior/Cretáceo Inferior, levando à fragmentação continental e à abertura do Oceano Atlântico Sul, são registrados pelo Enxame de Diques da Serra do Mar, associados à Província Magmática do Paraná, e pelo extenso conjunto de fraturas visíveis nos costões rochosos (Riccomini et al., 2005; Mohriak et al., 2008; Raposo, 2017). A reativação tectônica no Cenozoico e os processos erosivos e climáticos resultaram na Proto-Serra do Mar, onde os processos sedimentares, especialmente no Quaternário, moldaram sua geomorfologia atual e as planícies costeiras (Almeida & Carneiro, 1998; Riccomini et al., 2004; Hiruma et al., 2010).

Do ponto de vista tectônico, o litoral norte do estado de São Paulo situa-se na porção central do Orógeno Ribeira, e desde 2012, a região tem sido objeto de inventários do patrimônio geológico com o objetivo de identificar geossítios que melhor registrem sua evolução geológica, visando compreender, promover e conservar esses locais (Garcia, 2012; Prochoroff, 2014; Santos, 2014; Reverte, 2014; Reverte et al., 2016; Mucivuna et al., 2016; Arruda, 2017; Garcia, 2018). Alguns desses geossítios foram incluídos no inventário sistemático do estado de São Paulo (Garcia et al., 2018) e selecionados como candidatos potenciais para o mapa do patrimônio geológico do Brasil (Ribeiro et al., 2021). Apesar da presença de afloramentos de alta qualidade e da relativa proximidade da capital paulista, muitos costões rochosos da Serra do Mar da região carecem de estudos geológicos detalhados e a maior parte dos mapas geológicos disponíveis apresenta caráter regional, o que limita a compreensão da correlação com as unidades geológicas do sul do estado do Rio de Janeiro. Na costa sul de São Sebastião, os costões rochosos abrigam migmatitos paraderivados do Complexo Costeiro, que são importantes registros da evolução do Orógeno Ribeira no fim do

Neoproterozoico e início do Cambriano. Essas complexas rochas metamórficas de alto grau apresentam estruturas associadas à fusão parcial heterogênea em ambiente colisional. Essa complexidade também se reflete na evolução e crescimento dos zircões, minerais acessórios fundamentais para uma melhor compreensão da história metamórfica.

O processo de seleção de geossítios envolve a análise da configuração geológica regional e a definição de enquadramentos geológicos específicos para a avaliação dos locais que melhor as representam dentro da escala determinada. O aprimoramento de inventários em escala local permite identificar novos geossítios, os quais, embora possam não se enquadrar em inventários nacionais ou estaduais, são fundamentais para a evolução do conhecimento geológico local, possibilitando o detalhamento de enquadramentos geológicas específicos e geração da base técnica necessária ao desenvolvimento de medidas de promoção e gestão do patrimônio geológico da região. Além disso, estes geossítios podem ser posteriormente inseridos em inventários de menor escala, a depender da representatividade para a compreensão da evolução geológica regional a partir desses locais.

Além da realização de inventários, do desenvolvimento de pesquisas científicas e da caracterização dos valores da geodiversidade, a gestão de geossítios abrange uma série de ações voltadas para a sua promoção e divulgação à sociedade. Nos últimos anos, diversas geotecnologias emergentes têm desempenhado um papel importante no desenvolvimento de novos métodos de processamento e visualização de informações espaciais. Essas ferramentas proporcionaram ganhos significativos para as pesquisas geológicas como um todo, mas sobretudo em sua divulgação, com grandes benefícios na promoção do patrimônio geológico, geoturismo, geocomunicação e educação ambiental. Passeios virtuais e modelos tridimensionais de afloramento gerados a partir do processamento de imagens de alta resolução de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) têm sido aplicados no conhecimento geológico e são de grande importância quando se trata da disseminação de informações para o público em geral, onde pessoas de diversos nichos podem acessar de forma interativa geossítios e seu significado.

Em áreas protegidas e com alta demanda turística, tais como o Parque Estadual da Serra do Mar e a Área de Proteção Ambiental Marinha do Litoral Norte, torna-se ainda mais crucial aprofundar o conhecimento sobre sua geodiversidade para uma gestão integrada de seus ecossistemas (Crofts et al., 2021). Este detalhamento pode indicar outras formas de manejo e uso em locais já utilizados para turismo e recreação, permitindo também um maior estímulo para a participação das comunidades locais. Isso requer o desenvolvimento de uma sólida base de dados que possa ser acessada pela população e aplicada pelos órgãos de gestão, como

a Fundação Florestal, promovendo o uso sustentável do patrimônio geológico e impulsionando práticas de geoconservação e geoturismo. Os geossítios caracterizados neste trabalho possuem um potencial significativo para contribuir com o entendimento geológico regional do Complexo Costeiro e apresentam elevados valores científicos, ecossistêmicos, geoturísticos e educativos, devendo ser incluídos nas medidas de gestão e promoção do patrimônio geológico de São Sebastião.

1.2 Objetivos

Com base nas premissas apresentadas, o objetivo central deste estudo é realizar a caracterização geológica de três geossítios do Complexo Costeiro localizados na costa sul do município de São Sebastião, com o propósito de valorizar o patrimônio geológico da região. Com base nesse objetivo central, discute-se a importância de uma caracterização geológica detalhada de geossítios no âmbito de um inventário local para fornecer subsídios para sua promoção e valorização, inclusive dentro do contexto do Parque Estadual da Serra do Mar, além de estabelecer bases para futuras medidas de geoconservação.

Os objetivos específicos são:

(1) Seleção e caracterização de geossítios pertencentes ao Complexo Costeiro no domínio Central do Orógeno Ribeira, os quais não possuíam dados geológicos específicos, por meio de (i) análise de campo e petrografia; (ii) geocronologia U-Pb em zircão com vistas a restringir a idade do metamorfismo dos migmatitos e a idade de cristalização dos protólitos anfibolíticos.

(2) Geração de um passeio virtual com uso de modelos tridimensionais de afloramento e imagens panorâmicas, com foco na divulgação da relevância dos geossítios de São Sebastião e da geologia da Serra do Mar da região.

(3) Discussão acerca da relevância da caracterização do valor científico em geossítios de escala local para a gestão e valorização do patrimônio geológico.

1.3 Caracterização da área de estudo

O município de São Sebastião, situado no litoral norte de São Paulo, integra a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte. O município abrange uma área territorial de aproximadamente 402,395 km², fazendo divisa com Caraguatatuba, Salesópolis e Bertioga e separado do arquipélago de Ilhabela pelo Canal de São Sebastião. Segundo dados do IBGE,

sua população estimada é de 91.637 habitantes, com base no último censo realizado em 2021. A área de estudo encontra-se na costa sul do município, entre as praias da Juréia e Santiago (Fig. 1.2).

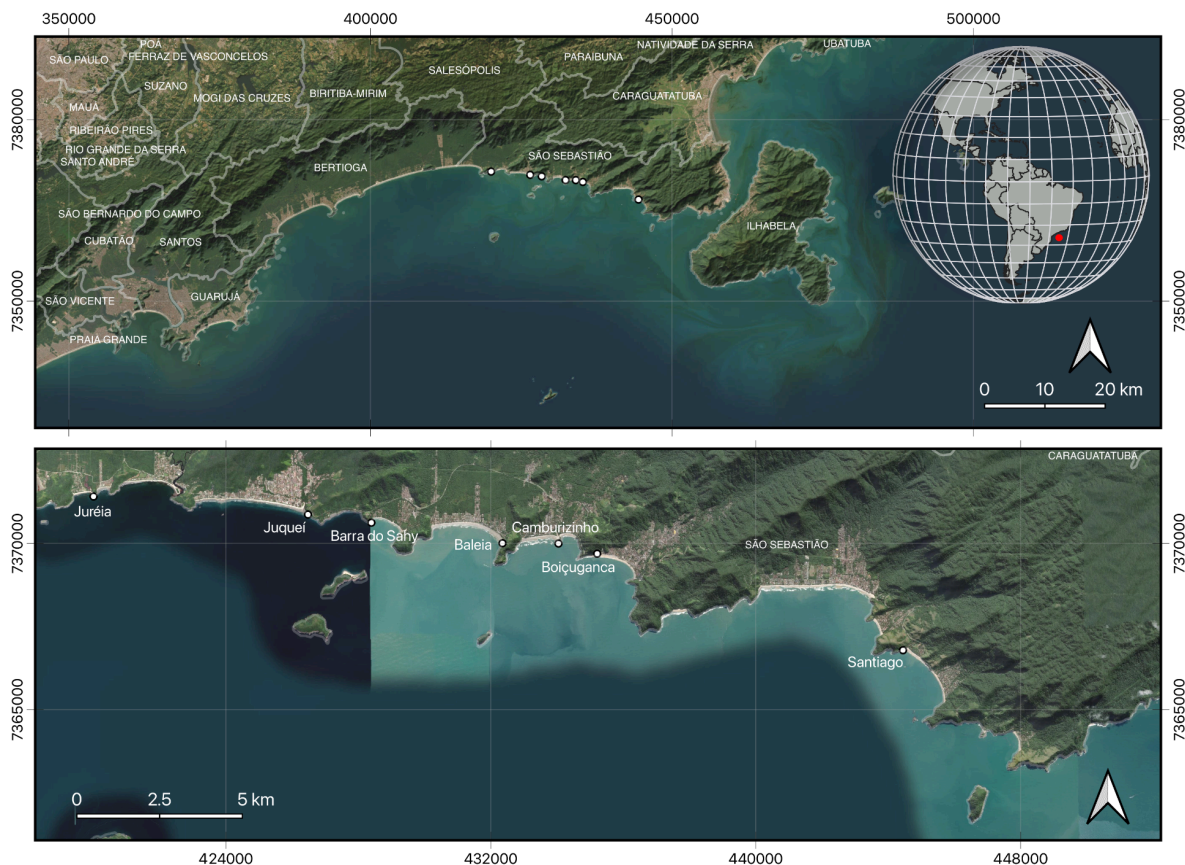


Figura 1.2: Localização dos costões rochosos visitados em campo, na costa sul do município de São Sebastião, indicados pelos respectivos nomes das praias os quais estão localizados. Os locais selecionados para estudo neste trabalho são os costões da Barra do Sahy, Camburizinho e Santiago, sendo que os demais pontos foram de controle no processo de seleção.

1.3.1 Aspectos Geomorfológicos

Em termos geomorfológicos regionais, a área de estudo está localizada na Província Costeira, que se divide em Serrania Costeira, representada pelos planaltos e escarpas da Serra do Mar, e Baixadas Litorâneas, formadas pelos depósitos Quaternários (Almeida, 1964; Ponçano et al., 1981). A Serra do Mar e a Planície Costeira no sudeste e sul do Brasil são dois relevos com características morfológicas e morfogenéticas distintas, as quais fazem parte de um complexo geológico-geomorfológico interdependente, fortemente influenciado por fatores neotectônicos, climáticos e marinhos (Ross & Fierz, 2018).

A região sudeste brasileira é um exemplo clássico de margem continental passiva com grandes escarpas (Hiruma et al., 2010). A evolução do relevo nessa área está intimamente relacionada à complexa evolução tectônica e magmática dos processos de rompimento do antigo continente Gondwana e abertura do Oceano Atlântico Sul no Cretáceo Inferior. Esses processos resultaram na reativação de zonas de cisalhamento e estruturas Neoproterozoicas, bem como em extensivos processos verticais (Almeida & Carneiro, 1998). O Rifte Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini et al., 2004), considerado a principal feição tectônica Cenozoica da região, estende-se ao longo da costa por cerca de 1000 km, desde Curitiba (Paraná) até Barra de São João (Rio de Janeiro), e engloba as bacias de Curitiba, São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda. No segmento central do rifte, ocorrem quatro compartimentos morfoestruturais separados por escarpas de centenas de metros de altura: a planície costeira de baixa altitude, a Serra do Mar, o Vale do rio Paraíba do Sul e a Serra da Mantiqueira (Hiruma et al., 2010). A "escarpa dupla" formada pela Serra do Mar e pela Serra da Mantiqueira é uma característica peculiar da margem continental e constitui o maior conjunto montanhoso da borda atlântica da América do Sul (Almeida & Carneiro, 1998; Hiruma et al., 2010).

A Serra do Mar representa a escarpa a leste do Planalto Atlântico e acompanha a orientação ENE das estruturas do Orógeno Ribeira. Ao longo de sua extensão, pode ser caracterizada como escarpas, morros isolados e ilhas. Em São Paulo, ela se destaca como uma típica borda de planalto, com topos frequentemente nivelados em altitudes de 800 a 1.200 metros, podendo alcançar altitudes superiores a 2000 metros no Planalto da Bocaina (Almeida & Carneiro, 1998). Os processos que geraram a configuração atual da Serra do Mar resultam de complexas interações entre reativações tectônicas e erosão (Fig. 1.3). Segundo Almeida & Carneiro (1998), a atual configuração e posição da escarpa da Serra do Mar evoluiu por erosão remontante a partir da Falha de Santos, hoje localizada na Plataforma Continental. No Cretáceo Superior, o relevo na região era muito mais elevado que o atual, o qual foi intensamente erodido durante o Cenozóico, sendo a principal fonte sedimentar para a Bacia de Santos. No Paleoceno, ocorreu a reativação da Falha de Santos, com o soerguimento do bloco ocidental e o rebaixamento do bloco oriental. Segundo os referidos autores, esse processo causou flexuras e falhamentos originando um sistema de grabens continentais e o início do desenvolvimento da plataforma continental, dando origem às bacias tafrogênicas do sudeste e as proto-Serras do Mar e da Mantiqueira.

O Arquipélago de Alcatrazes, localizado a cerca de 35 km de distância da linha de costa atual, é interpretado, segundo os autores, como registro da proto-Serra do Mar. O recuo da

escarpa ocorre por erosão diferencial gerando um relevo festonado devido à extrema diversidade de litotipos e estruturas geológicas, sendo causado inicialmente sobretudo pela ação marinha e mais recentemente pela ação dos rios e das chuvas, envolvendo intensa participação de movimentos de massa. A Serra do Mar em São Sebastião é composta pelo Planalto ou Serra do Juqueriquerê, delimitado a norte pela Zona de Cisalhamento Camburu (ZCC) (Fig. 1.3a). Os morros que compõem esse planalto apresentam altitudes inferiores a 700 a 750 metros, situando-se cerca de 200 metros abaixo do Planalto do Paraitinga e 500 metros abaixo do Planalto Paulistano. Essa diferença de níveis está relacionada a processos tectônicos associados à reativação rúptil da ZCC (Campanha et al., 1994).

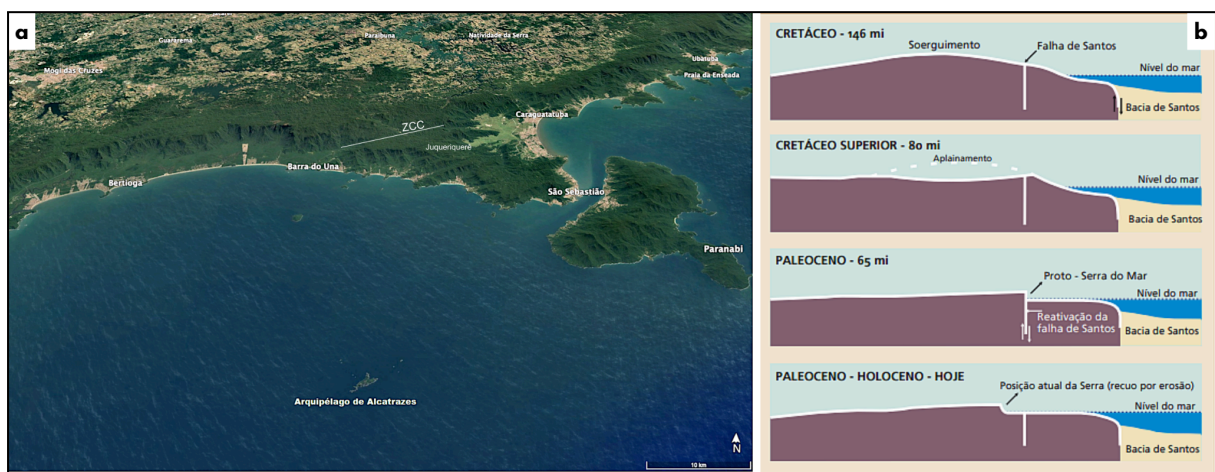


Figura 1.3: a) Imagem de satélite (Google Earth) de parte do litoral centro-norte do estado de São Paulo, mostrando o Planalto Atlântico, a escarpa da Serra do Mar e as planícies costeiras. Em São Sebastião, a Serra do Mar se aproxima da costa. O Arquipélago de Alcatrazes, a cerca de 35 km de distância da costa, é interpretado, segundo Almeida & Carneiro (1998), como registro da proto-Serra do Mar, que recuou a partir da Falha de Santos por processos erosivos. ZCC = Zona de Cisalhamento Camburu. b) Modelo esquemático da evolução tectônica e denudacional da Serra do Mar (Rodrigues dos Santos, 2004; adaptado de Almeida & Carneiro, 1998).

As planícies costeiras do litoral paulista se formaram durante o período Quaternário, na transição do Plioceno para o Pleistoceno, através de processos de deposição marinha (Ross & Fierz, 2018). De acordo com Suguio & Martin (1978), as flutuações do nível do mar e as mudanças paleoclimáticas foram as principais causas da formação dessas planícies. Foram identificadas várias fases de variações do nível do mar, incluindo regressões e transgressões. Predominam os depósitos arenosos nas planícies do litoral paulista, formados durante a última fase transgressiva Holocênica (há cerca de 5.100 anos A.P), com depósitos anteriores como a transgressão Pleistocênica de Cananéia (120 mil anos A.P.), que chegou a atingir o sopé da Serra do Mar. A erosão regressiva das cabeceiras dos rios serranos sobre o Planalto Atlântico,

juntamente com o rebaixamento do nível do mar, resultou na formação de terraços marinhos, planícies de maré, planícies fluviais, praias e morros isolados que outrora foram ilhas continentais (Ross & Fierz, 2018; Suguio & Martin, 1978). Alguns desses morros isolados foram conectados ao continente durante a última fase de regressão marinha, assim como a formação de cordões litorâneos.

A configuração da linha de costa do estado de São Paulo é fortemente influenciada pela presença da Serra do Mar, que segue um alinhamento NE-SW. Essa característica condiciona a fisiografia costeira, resultando em comportamentos distintos nos setores sul e norte. No Litoral Sul, a Serra do Mar está localizada a várias dezenas de quilômetros da costa, resultando em praias longas e abertas para o oceano, com pouca presença de ilhas. Além disso, as planícies costeiras são amplas e abrigam um extenso sistema estuarino-lagunar associado à maior bacia hidrográfica do litoral, o Rio Ribeira de Iguape (Souza, 2012). À medida que avançamos em direção à Baixada Santista e ao Litoral Norte, a Serra do Mar se aproxima gradualmente da linha de costa, resultando em relevos mais elevados. Isso leva a uma redução das planícies costeiras e das bacias de drenagem, resultando em uma linha de costa mais recortada, com enseadas e baías, e praias menores e mais protegidas, como as praias de enseada (*headland-bay beaches*) e as praias de bolso (*pocket beaches*) (Souza, 2012) (Fig.1.3a).

1.3.2 Aspectos Ambientais

São Sebastião possui um importante contexto ambiental e se insere em duas áreas protegidas de relevância estadual, geridas pela Fundação Florestal: o Parque Estadual da Serra do Mar (PESM) e a Área de Proteção Ambiental Marinha do Litoral Norte (APAMLN). O PESM é considerado a maior área de proteção integral do litoral brasileiro e abrange partes de 23 municípios, estendendo-se desde Ubatuba, na divisa com o estado do Rio de Janeiro, -até Pedro de Toledo, no litoral sul do estado (Fig. 1.4). Segundo a Lei 9.985 de 18 de julho de 2000, Art.11º, do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), "os parques constituem unidades de conservação, terrestres e/ou aquáticas, normalmente extensas, destinadas à proteção de áreas representativas de ecossistemas, podendo também ser áreas dotadas de atributos naturais ou paisagísticos notáveis, sítios geológicos de grande interesse científico, educacional, recreativo ou turístico, cuja finalidade é resguardar atributos excepcionais da natureza, conciliando a proteção integral da flora, da fauna e das belezas

naturais com a utilização para objetivos científicos, educacionais e recreativo. Assim, os parques são áreas destinadas para fins de conservação, pesquisa e turismo".

Segundo o decreto de criação do PESM, "o Parque Estadual da Serra do Mar foi criado com a finalidade de assegurar integral proteção à flora, à fauna, às belezas naturais, bem como para garantir sua utilização a objetivos educacionais, recreativos e científicos". De acordo com o mais recente Plano de Manejo do parque (SMA, 2006), a Mata Atlântica - um dos mais ricos conjuntos de ecossistemas do planeta - é considerada uma das grandes prioridades para a conservação da biodiversidade em todo o continente americano. A sua cobertura florestal encontra-se em estado crítico, com cerca de 7,6% da área original. Os remanescentes deste bioma exercem influência direta na vida de mais de 80% da população brasileira que vive sob seu domínio, regulando o fluxo dos mananciais, fertilidade do solo, controle climático e protegendo as escarpas e encostas das serras, além de preservar um imenso patrimônio histórico e cultural. Além disso, o conjunto natural da Serra do Mar e da Mata Atlântica caracteriza uma beleza cênica única, cuja proteção é essencial para o desenvolvimento econômico por meio do turismo e do ecoturismo (SMA, 2006).

Estabelecido em 1998, o Núcleo São Sebastião do Parque Estadual da Serra do Mar abrange uma área de 26.268 hectares, englobando aproximadamente 70% do município de São Sebastião e uma porção menor do município de Caraguatatuba. Com a expansão do PESM no final de 2010 (Decreto nº 56.572/2010), o Núcleo São Sebastião incorporou áreas significativas, como parte da praia de Boiçucanga, a praia Brava e o costão rochoso até Maresias, além das penínsulas localizadas entre as praias de Maresias, Paúba, Santiago (incluindo parte da Praia de Santiago), Toque-Toque Pequeno e Calhetas. Essa ampliação resultou na proteção de ecossistemas adicionais, incluindo os costões rochosos, que desempenham um papel vital na alimentação e abrigo de espécies marinhas, além de desempenharem uma função importante na conexão entre os ecossistemas marinhos e terrestres (Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2023).

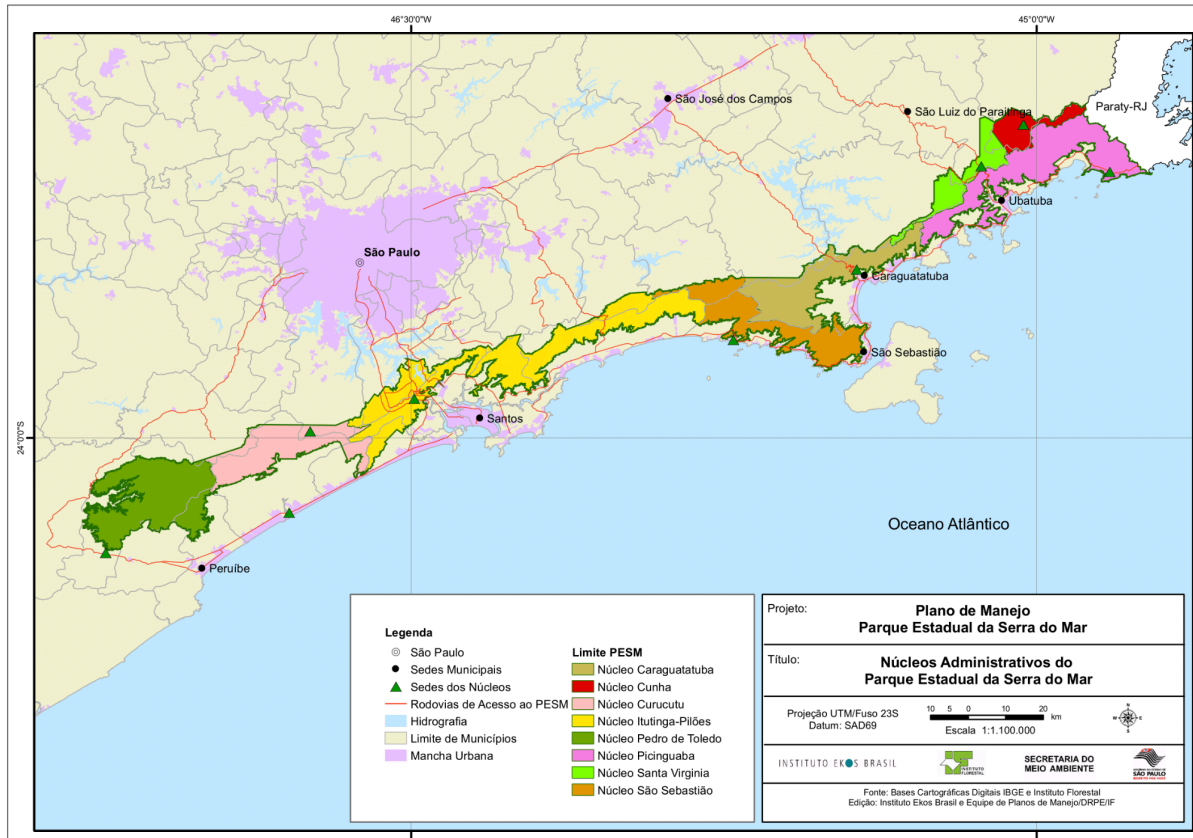


Figura 1.4: Mapa de zoneamento do Parque Estadual da Serra do Mar e seus Núcleos Administrativos (Plano de Manejo do Parque Estadual da Serra do Mar, SMA – Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, 2006).

A Área de Proteção Ambiental Marinha do Litoral Norte (APAMLN) foi estabelecida em 2008 pelo Decreto 53.525/08, ocupando uma área de cerca de 316 mil hectares. Ela é dividida em três setores distintos: Cunhambebe, localizado entre Ubatuba e Caraguatatuba; Maembipe, em Ilhabela, que abrange o Parque Estadual de Ilhabela; e Ypautiba, ao longo da costa de São Sebastião, próximo à área de exclusão de pesca que envolve o arquipélago de Alcatrazes (Fig. 1.5). A APAMLN tem como objetivo principal a proteção de um extenso ecossistema marinho da região, que engloba praias, costões rochosos, 61 ilhas e lajes, 27 manguezais, além de trechos significativos de Mata Atlântica e restinga.

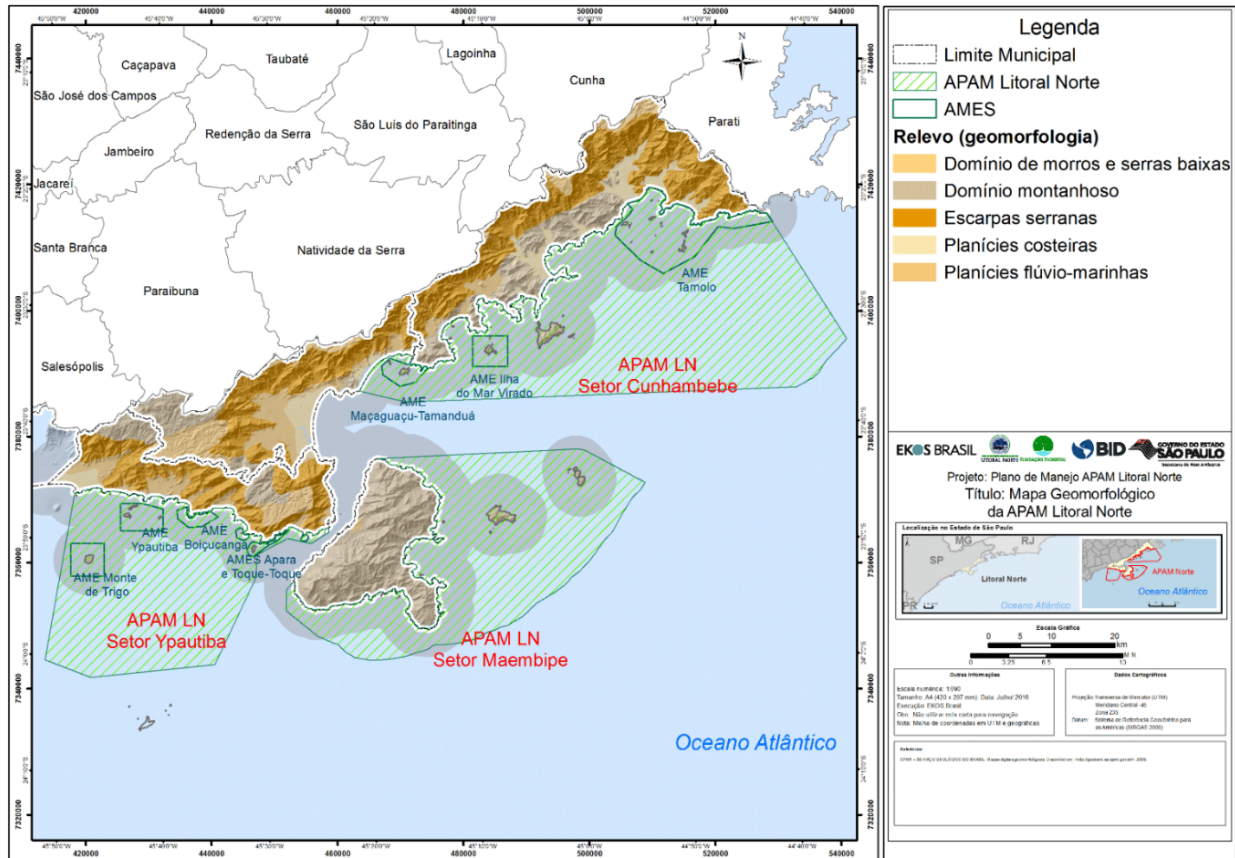


Figura 1.5: Mapa de zoneamento da Área de Proteção Ambiental Marinha do Litoral Norte, com a base dos domínios geomorfológicos (Plano de Manejo Área de Proteção Ambiental Marinha do Litoral Norte, SMA – Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, 2023).

1.4 Materiais e Métodos

Os materiais e métodos desta pesquisa podem ser sumarizados a partir das etapas de caracterização geológica, definição do valor científico dos geossítios e promoção e valorização do patrimônio geológico (Fig. 1.6).

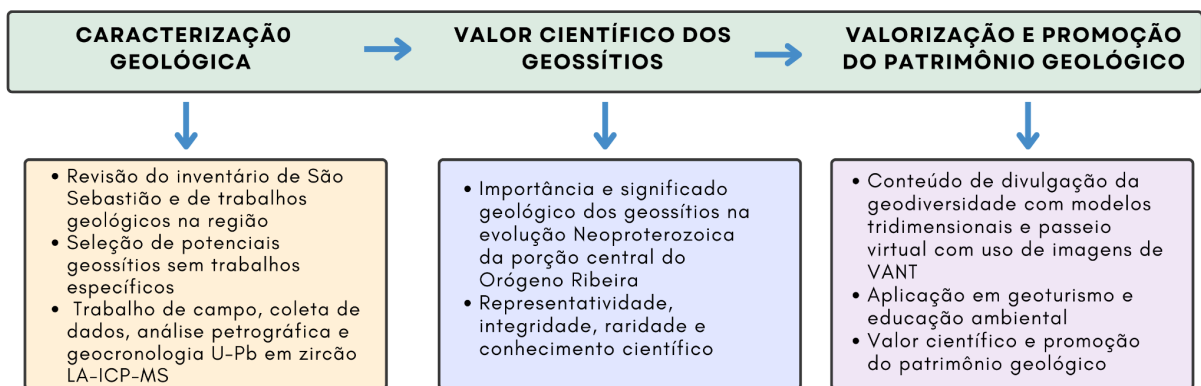


Figura 1.6: Sumarização das etapas metodológicas desta pesquisa.

Os métodos serão descritos em três itens: (1) critérios para a seleção dos geossítios; (2) metodologias da caracterização geológica; (3) metodologias para a promoção e divulgação do patrimônio geológico por meio de produtos digitais e geoespaciais (passeio virtual).

1.4.1 Seleção de geossítios estudados

A partir do estudo do Geossítio Boudins Ilhote de Camburizinho (Ibanez et al., 2021), foi identificada a presença de outros costões rochosos na costa sul do município de São Sebastião com estruturas migmatíticas e presença de lentes anfíbolíticas dobradas e boudinadas (*schollen*), sendo locais com alto potencial científico para o entendimento geológico tectônico da região mas que ainda não tinham sido alvo de estudos específicos. Adicionalmente, tais locais também apresentam valores turísticos, estéticos e ecossistêmicos.

Dessa forma, viu-se a necessidade de estudos geológicos mais aprofundados na região a fim de aprimorar o entendimento e a gestão do patrimônio geológico tectônico na Serra do Mar da região, dentro do contexto do inventário do patrimônio geológico já existente para o município de São Sebastião (Reverte, 2014; atualizado por Garcia et al., 2019a). Essa abordagem visou determinar o patrimônio geológico desses locais ao estabelecer o seu valor científico. As etapas incluíram a revisão da literatura, a pré-seleção de potenciais sítios, o trabalho de campo com coleta de dados, a caracterização geológica dos sítios selecionados (envolvendo geocronologia U-Pb em zircão) e sua interpretação no contexto geológico regional.

Em relação a todos os pontos visitados em campo (Fig. 1.2), foram selecionados três geossítios para estudo neste trabalho, localizados nos costões rochosos das praias de Camburizinho, Santiago e Barra do Sahy, na costa sul do município de São Sebastião. O geossítio da praia de Camburizinho foi inventariado por Reverte (2014) e recebeu caracterização geológica descritiva e promoção com uso de produtos geoespaciais por Ibanez et al. (2021). Os outros dois costões selecionados ainda não tinham sido definidos como geossítios e serão adicionados ao inventário do município a partir deste trabalho. O geossítio da praia de Santiago possuía dados de geoquímica dos anfíbolitos e geocronologia do metatexito por Meira (2014), enquanto o geossítio da praia de Barra do Sahy não possuía nenhum estudo geológico registrado na literatura. Esses locais foram selecionados devido ao seu maior potencial geológico no contexto do inventário do município.

O levantamento bibliográfico e a revisão da literatura necessária para a presente pesquisa foram realizados utilizando os sistemas de buscas de dados fornecidos pelo Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade de São Paulo (SIBI/USP), incluindo as bases de dados DEDALUS, SciELO, Web of Science, Google Scholar, Science Direct, Scopus e a Biblioteca Digital da Produção Intelectual da Universidade de São Paulo (BDPI). Analisou-se artigos, resumos, livros, dissertações e teses. Inicialmente, a consulta concentrou-se em publicações sobre a conceituação de patrimônio geológico e temas interligados, como a geodiversidade e metodologias de geoconservação. Em seguida, focou-se em publicações sobre o patrimônio geológico de São Sebastião, buscando avaliar quais geossítios já foram inventariados no município e quais são os seus valores científicos.

Realizou-se extensa pesquisa acerca do contexto tectônico do Orógeno Ribeira, com enfoque na geologia local do Complexo Costeiro em São Sebastião, avaliando os locais de amostragem e de análises empregados na região. Gerou-se uma tabela com as coordenadas dos costões da região e os tipos de análises empregadas nestas localidades. A partir desses dados e com o uso de imagens de satélite, foi possível contextualizar possíveis locais para a avaliação em atividade de campo e finalmente selecionar os geossítios finais. Os geossítios selecionados foram avaliados qualitativamente com base nos critérios estabelecidos por Brilha (2016), baseados na representatividade, integridade, raridade e conhecimento científico (ver Capítulo II).

1.4.2 Caracterização geológica

Os geossítios selecionados foram caracterizados por meio de métodos clássicos de mapeamento geológico, incluindo a descrição litológica, mineralogia essencial, texturas e estruturas utilizando martelo, marreta, lupa e bússola CLAR, além de GPS para localização e câmera fotográfica para registro das feições.

Amostras representativas de cada geossítio (total de 15 amostras, tabela 1.1), foram coletadas para análises petrográficas em microscópio óptico de luz transmitida, as quais foram confeccionados 16 lâminas delgadas na Seção de Laminação do IGc-USP. A análise petrográfica teve foco na identificação das associações de minerais, texturas e microestruturas para a caracterização dos principais litotipos. Os estudos petrográficos foram realizados no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP) no Laboratório Didático de Microscopia Petrográfica (LDMP) utilizando o microscópio petrográfico binocular Olympus BXP-40. Fotomicrografias foram obtidas no Laboratório de Petrografia Sedimentar

(LABPETRO), utilizando o microscópio petrográfico Carl Zeiss, modelo Axioplan 2 equipado com câmera Leica MC170HD.

Após a análise petrográfica, seis amostras (Fig. 1.7), foram selecionadas para a geocronologia U-Pb em zircão pelo método LA-ICP-MS, sendo estas: (i) amostras KI 2B, KI 3D e KI 5C representativas do resíduo anfibolítico (*schollen*); (ii) amostras KI 2D, KI 3C e KI 5A representativas da porção do neossoma com graus diferentes de segregação entre resíduo e leucossoma.

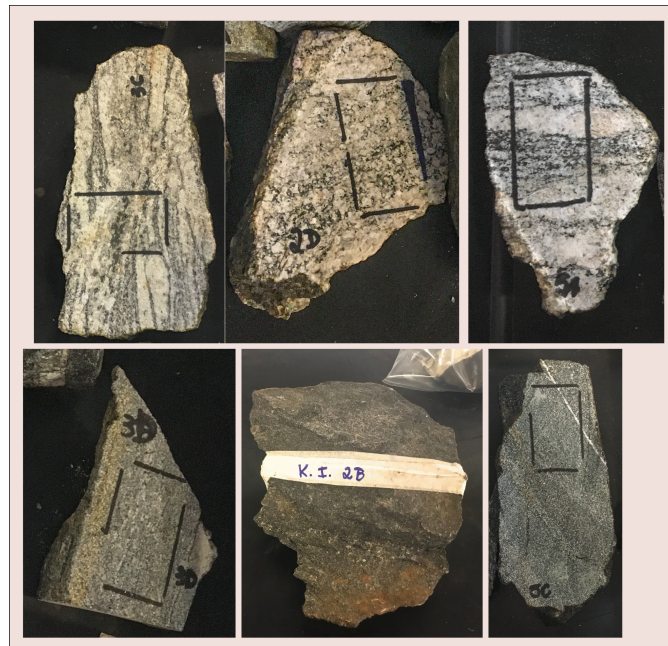


Figura 1.7: Pedaco das amostras representativas selecionadas para geocronologia e petrografia (i) amostras KI 3D, KI 2B e KI 5C representativas do resíduo anfibolítico (*schollen*); (ii) amostras KI 3C, KI 2D e KI 5A representativas dos metatexitos e diatexitos (neossoma rico em leucossoma).

Tabela 1.1: Localização UTM das amostras com petrografia dos geossítios estudados.

Localização	Amostras
Costão W da Praia da Barra do Sahy UTM 428391/7370623	KI 2C, KI 2D, KI 2E, KI 2F, KI 2B
Ilhote de Camburizinho UTM 434042/7369996	KI 3A, KI 3B, KI 3C, KI 3D, KI 3E, KI 3F
Costão NW da Praia de Santiago UTM 444447/7366785	KI 5A, KI 5B, KI 5C, KI 5D

1.4.2.1 Geocronologia U-Pb em zircão por LA-ICP-MS

O conhecimento preciso das idades das rochas é essencial para construir uma narrativa coerente do registro geológico, obtendo inferências fundamentais sobre os processos tectônicos da Terra. Desde o início do século passado, tornou-se consenso que os processos de decaimento radioativo de longa duração representam a única abordagem confiável para quantificar a passagem do tempo geológico (Davis et al., 2003). O sistema de decaimento U-Th-Pb desempenha um papel central nesse processo, onde as meias-vidas dos isótopos naturais de urânio ^{238}U e ^{235}U são suficientemente extensas para abranger toda a história da Terra. Simultaneamente, essas meias-vidas são suficientemente curtas para permitir a medição dos elementos pai e filho em minerais específicos (Davis et al., 2003).

Nesse método, os núcleos de ambos os isótopos sofrem uma cadeia de eventos de decaimento radioativo (α , β e γ) em diferentes isótopos de chumbo. O ^{238}U decai para ^{206}Pb com meia-vida de 4,468 bilhões de anos, enquanto o ^{235}U decai para ^{207}Pb com meia-vida de 703,8 milhões de anos (Jaffey et al., 1971). Portanto, dois cronômetros radioativos independentes operam para um mesmo par de elementos em um único material, o que fornece ao método U-Pb uma verificação de consistência interna que está ausente na maioria dos outros geocronômetros (Corfu et al., 2003). Esta consistência pode ser visualizada plotando as medições da proporção $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ em relação às medições $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ em um diagrama concórdia Wetherill (Wetherill, 1956).

Atualmente o zircão é um dos minerais mais empregados na obtenção de informações sobre a história e gênese de rochas magmáticas, metamórficas e sedimentares (Corfu et al., 2003). O zircão é um mineral acessório comum em rochas félsicas a intermediárias, composto por silicato de zircônio (ZrSiO_4) e caracterizado por uma estrutura cristalina tetragonal e hábito prismático com terminações piramidais evidentes. Apresenta uma dureza que varia entre 7 e 7,5 na escala de Mohs, ausência de propriedades magnéticas e uma densidade específica situada entre 4,6 e 4,8 g/cm^3 . O zircão geralmente contém concentrações excepcionalmente altas de U em comparação com a rocha hospedeira, mas durante o processo de cristalização, discrimina fortemente o Pb radiogênico. Uma característica crucial do zircão para a geocronologia é a sua capacidade de resistir a processos magmáticos, metamórficos e erosivos que normalmente destruiriam a maioria dos minerais comuns.

A constante de decaimento radioativo serve como a base para medições de radioatividade e datação radiométrica. A exatidão e precisão das idades estimadas dependem

diretamente da acurácia e precisão na medição dessa constante de decaimento. A equação matemática utilizada para calcular o tempo geológico com base em uma constante de decaimento radioativo é ilustrada na Figura 1.8a. Nesta equação, t representa a idade, D^* é o número de átomos do isótopo filho radiogênico, D_0 é o número de átomos do isótopo filho que estavam presentes inicialmente, $N(t)$ é o número de átomos do isótopo pai na amostra no tempo t (o presente), e λ é a constante de decaimento do isótopo pai. Para o cálculo preciso de uma idade, assume-se que o sistema está fechado, ou seja, nenhum isótopo pai ou filho foi perdido do sistema. Além disso, é crucial que D_0 seja insignificante ou possa ser estimado com alta precisão. A constante de decaimento (λ) deve ser conhecida com grande precisão, e medidas precisas de D^* e $N(t)$ são essenciais para garantir a confiabilidade do processo de datação.

A temperatura de fechamento ou bloqueio refere-se à temperatura abaixo da qual um sistema torna-se fechado para o isótopo específico em análise. Quando o material é aquecido acima dessa temperatura, ocorre a difusão, resultando na perda dos nuclídeos filhos acumulados, zerando essencialmente o "relógio" isotópico. À medida que a temperatura diminui, a taxa de difusão dos isótopos diminui. A uma temperatura específica, a perda de nuclídeos filhos devido à difusão cessa. Portanto, a idade determinada pela datação radiométrica indica o momento em que as rochas ou minerais atingiram a temperatura de fechamento (Oh, 2021). A temperatura de fechamento varia para cada mineral e sistema isotópico. Assim, um sistema pode ser considerado fechado para um determinado mineral em uma temperatura específica, mas permanecer aberto para outro. Essa variação na temperatura de fechamento contribui para a compreensão da história térmica de uma amostra, destacando a complexidade e a necessidade de considerar fatores específicos ao interpretar dados radiométricos (Oh, 2021) (Fig. 1.8b).

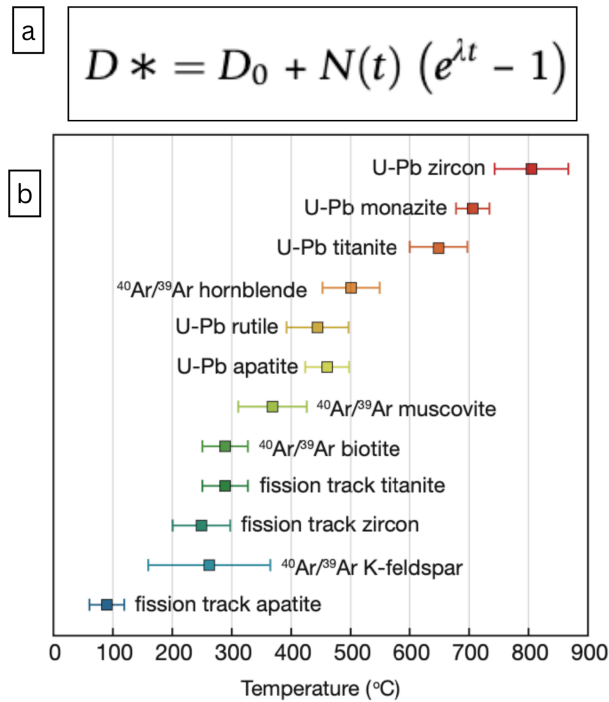


Figura 1.8: (a) Equação matemática utilizada para calcular o tempo geológico com base em uma constante de decaimento radioativo; (b) As temperaturas de fechamento de diferentes minerais com diferentes métodos de datação radiométrica de idade. Extraído de Oh (2021).

Os eventos de formação do zircão tendem a ser preservados como entidades estruturais distintas dentro de um grão de zircão preexistente (Corfu et al., 2003). Dessa forma, é comum que o zircão consista em segmentos distintos, cada um conservando um período específico de formação (ou consumo) do zircão. Por essa razão, técnicas analíticas pontuais que permitem desenvolver micro-análises *in situ* em cristais de zircões, tais como o método LA-ICP-MS (Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado por Ablação a Laser), são fundamentais para a interpretação das datações obtidas de acordo com o domínio do zircão analisado. Neste trabalho, foi realizada a análise geocronológica U-Pb em zircão pelo método LA-ICP-MS visando obter idades de metamorfismo dos metatexitos e diatexitos, e de cristalização e metamorfismo dos anfíbolitos. As seis amostras selecionadas foram preparadas no laboratório Separação e Preparação (LSP) do Centro de Pesquisas em Geocronologia e Geoquímica Isotópica (CPGeo) do IGC-USP, seguindo a rotina padrão do laboratório.

Os processos para separação e concentração dos minerais de zircão consistiram de quebra inicial da amostra com marreta, seguido da britagem, moagem e peneiramento, obtendo uma fração de granulometria entre 100 a 250 *mesh*. Esse material é levado para a separação dos minerais pesados em mesa vibratória tipo “Wiffley”, onde é obtido o concentrado de minerais pesados, tais como zircão, baddeleyita, titanita, monazita e apatita.

Com o material seco, é realizada a separação eletromagnética do concentrado, inicialmente por imã de mão para separar os minerais magnéticos magnetita e pirrotita, e posteriormente é utilizado o separador magnético tipo Frantz para a separação dos minerais com diferentes susceptibilidades magnéticas, variando a intensidade do campo eletromagnético. O concentrado não magnético é então separado pelo método dos líquidos densos, utilizando bromofórmio ($d = 2,85 \text{ g/cm}^3$) e iodeto de metileno ($d = 3,2 \text{ g/cm}^3$) com o intuito de separar zircão, baddeleyita e monazita (mais densos) de minerais menos densos, tais como apatita e quartzo.

A seguir, é realizada a catação manual dos concentrados, onde cerca de 120 grãos de zircão são separados e montados em fita adesiva dupla face, e emblocados em resina do tipo epóxi para a montagem do mount, o qual é lixado e polido para expor a superfície fresca dos grãos de zircão. Posteriormente, obtém-se imagens de catodoluminescência (CL) de cada amostra, obtidas através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A imagem de catodoluminescência (CL) tornou-se a ferramenta principal para identificar domínios minerais de zircão antes de análises posteriores. Essas imagens detalhadas fornecem a oportunidade não apenas de atingir zonas dentro dos grãos, mas também auxiliam na determinação da gênese dos grãos (Corfu et al., 2003; Hoskin & Schaltegger, 2003). Dessa forma, a CL de cada amostra foi analisada para a caracterização morfológica dos grãos e para a determinação da posição adequada do spot (furo) analítico. Nesta fase, constatou-se que a amostra KI - 5C não obteve zircões para as análises, sendo então analisadas 5 amostras.

As análises foram realizadas utilizando o equipamento MC-ICPMS (*Multicollector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer*) tipo Neptune da Thermo Scientific, acoplado a Laser Excimer Excite 193 nm da Teledyne Photon Machines Inc. Nas determinações isotópicas U-Pb o *spot* do laser tem cerca de 40 μm de diâmetro e ablação com frequência de 6 Hz e intensidade de 6mJ. Os procedimentos analíticos envolvidos podem ser descritos como segue:

(i) Cada análise consiste em 40 medições sequenciais, sendo as primeiras 10 realizadas sem ablação a laser para obter o branco instrumental, e as 30 restantes realizadas com o laser ativado. São medidas simultaneamente sete sinais isotópicos, sendo quatro deles em copos de Faraday (206, 208, 232, 238) e os outros três em Multiple Ion Counters (MICs) (202, 204, 207), com diferentes características de amplitude e sensibilidade.

(ii) Após cada sequência de medição, o valor médio do branco instrumental é subtraído imediatamente dos sete sinais isotópicos. O sinal isotópico de 235 não é medido diretamente, mas calculado dividindo-se o sinal de 238 pela abundância relativa a U 238/235. A

contribuição do mercúrio (do gás carreador) no sinal de 204 é descontada, subtraindo-se o quociente do sinal de 202 pela abundância relativa Hg 202/204.

(iii) Utilizando as razões U/Pb (206/238, 207/235, 208/232) como estimativas de idade e as equações de Stacey-Kramers, as abundâncias relativas (variáveis com a idade geológica) 206/204, 207/204 e 208/204 são calculadas. A fração "Pb comum" (não radiogênica) dos isótopos 206, 207 e 208 é então descontada, subtraindo-se de cada um deles o sinal de 204 multiplicado pelas respectivas abundâncias relativas calculadas anteriormente.

Para os zircões, foi utilizado como padrão primário o GJ-1 cujas referências são: idade 207Pb/206Pb = 608.6 ± 1.1 Ma, idade 206Pb/238U = 600.4 ± 1.8 Ma e idade 207Pb/235U = 602.1 ± 3 Ma (Jackson et al., 2004). O padrão GJ-1 é periodicamente remedido para compensar erros e variações instrumentais. A comparação entre os valores GJ-1 tabelados e medidos fornece os coeficientes multiplicativos utilizados para converter os três sinais totais de Pb (203+206+207+208), Th (232) e U (235+238) em unidades ppm, e também os fatores de correção do fracionamento das quatro razões 206/238, 207/235, 207/206 e 208/232, que devem ser aplicados antes de utilizá-las no cálculo das respectivas idades.

As concórdias e diagramas foram obtidas através do software IsoplotR (Vermeesch, 2018) (disponível em: <https://www.ucl.ac.uk/~ucfbpve/isoplotr/home/>).

^{238}U decay constant:	<input type="text" value="0.000155125"/>	±	<input type="text" value="8.3e-8"/>	Myr ⁻¹
^{235}U decay constant:	<input type="text" value="0.00098485"/>	±	<input type="text" value="6.7e-7"/>	Myr ⁻¹
$^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ ratio:	<input type="text" value="137.818"/>	±	<input type="text" value="0.0225"/>	

Figura 1.9: Constantes de decaimento e razão $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ do software IsoplotR.

1.4.3 Promoção do patrimônio geológico e geração de produtos geoespaciais

Com o objetivo de promover o valor do patrimônio geológico dos geossítios caracterizados no contexto do inventário do município e da Serra do Mar, foi desenvolvido como produto de divulgação geocientífica um passeio virtual interativo que faz uso de produtos geoespaciais gerados a partir de imagens de alta resolução obtidas por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), sendo estas imagens panorâmicas e modelos tridimensionais dos costões rochosos (modelos virtuais de afloramento).

1.4.3.1 Aquisição de imagens de VANT e processamento dos modelos digitais de afloramento

Foram capturadas imagens por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) nos geossítios examinados neste estudo, além dos costões nas praias de Boiçucanga, Juquehy e Juréia. As imagens obtidas passaram por processamento em softwares especializados para a criação de modelos tridimensionais e imagens panorâmicas. Os VANTs utilizados foram os modelos DJI Phantom Pro 4 e DJI Mavic 3, equipados com GPS e câmera fotográfica. A aquisição das imagens envolveu dois métodos distintos: i) levantamento circular, que consiste na captura de imagens ao redor do afloramento ou partes específicas em diferentes distâncias, seguindo uma sequência com pixels comuns em cada imagem para a produção de modelos 3D. Este procedimento foi realizado manualmente, sem a assistência de um aplicativo específico; ii) levantamento panorâmico, em que o VANT permanece fixo em diferentes altitudes, enquanto a câmera realiza uma rotação de 360 graus, capturando uma sequência de imagens na vertical em cada ponto. Essas imagens foram processadas para gerar as panorâmicas. O aplicativo Litchi foi empregado para a programação automática da captura do conjunto de imagens.

O uso crescente de VANTs na aquisição de imagens georreferenciadas de alta resolução tem se destacado nas geociências devido à obtenção eficiente e relativamente econômica de imagens aéreas em locais remotos ou de difícil acesso. As imagens capturadas por VANTs são frequentemente processadas por meio da técnica de *Structure-from-Motion* (SfM) em softwares específicos, permitindo a geração de produtos geoespaciais como modelos digitais de superfície e modelos tridimensionais ou digitais de afloramentos (DOMs - *Digital Outcrop Models*). A SfM, uma técnica de levantamento de dados da superfície terrestre, tem ganhado popularidade nas geociências, possibilitando a criação precisa de modelos tridimensionais a partir de imagens bidimensionais (Westoby et al., 2012; Carrivick et al., 2016). Este método utiliza algoritmos para identificar pontos correspondentes em imagens sobrepostas, resultando na extração de parâmetros de posição e calibração da câmera, possibilitando a recuperação simultânea da geometria da cena, posições da câmera e orientação, culminando na geração de um modelo de nuvem de pontos 3D.

O processamento das imagens para geração dos modelos virtuais de afloramento foi realizado no software Agisoft Metashape Professional, o qual utiliza a técnica de fotogrametria digital *Structure-from-Motion Multi View Stereo*. Este software permite a geração de modelos de nuvem densa georreferenciados, modelos poligonais texturizados, modelos digitais de elevação e ortomosaicos a partir de um conjunto de imagens sobrepostas com as informações de coordenadas geográficas correspondentes (Fig. 1.10). O fluxo de

trabalho pode ser resumido nas etapas: (i) alinhamento das imagens georreferenciadas; (ii) geração de nuvem esparsa e densa de pontos e (iii) geração do modelo poligonal texturizado (modelo 3D).

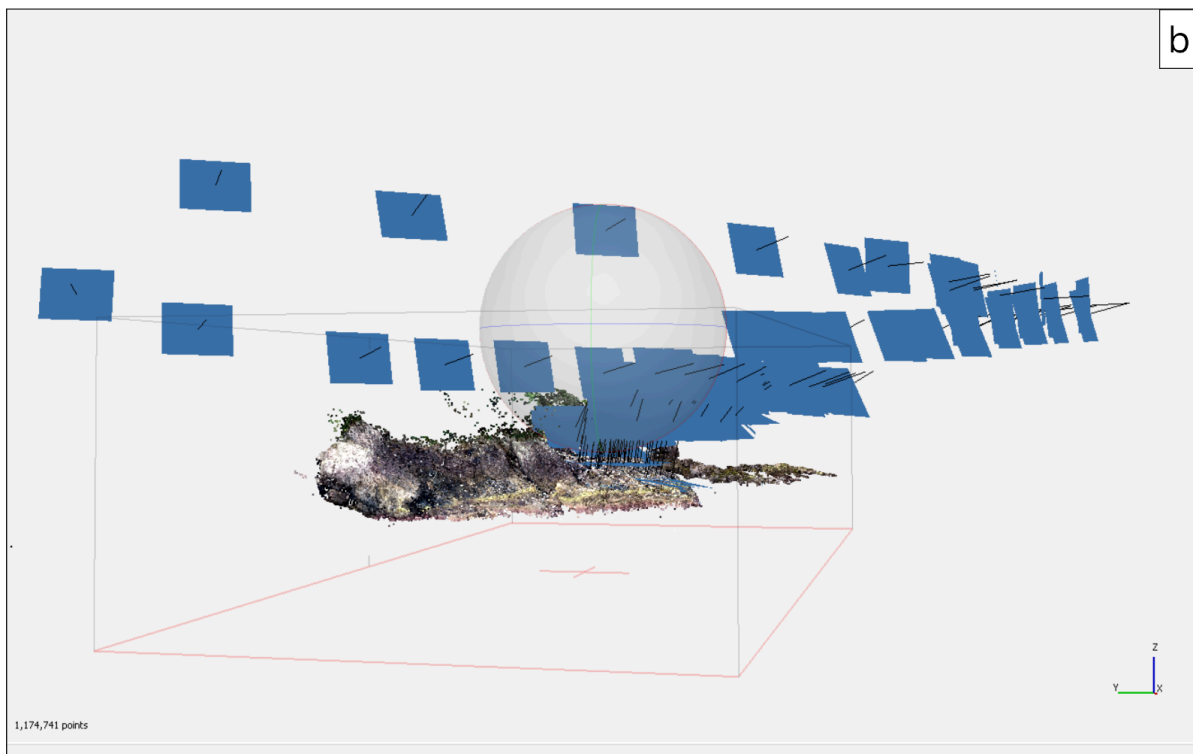
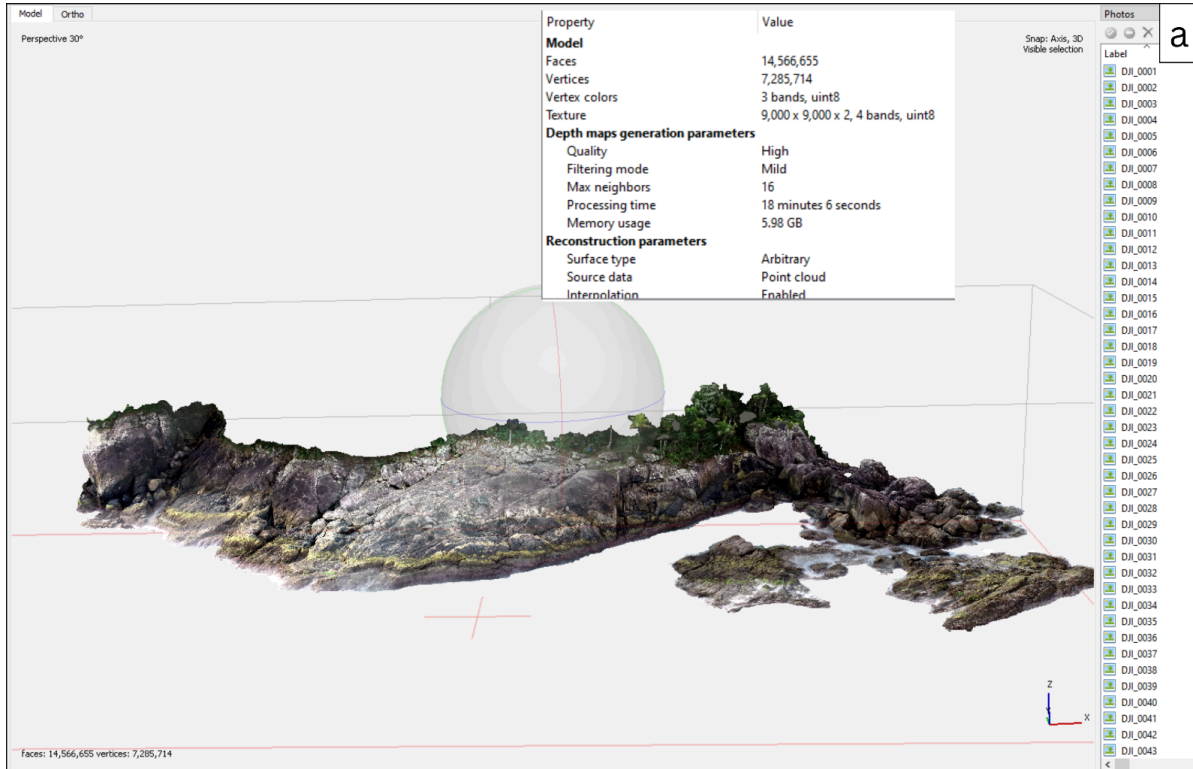


Figura 1.10: Processamento das imagens de VANT para geração dos modelos virtuais de afloramento no software Agisoft Metashape Professional. (a) modelo poligonal texturizado finalizado e informações técnicas; (b) nuvem densa de pontos com localização e posicionamento das imagens.

1.4.3.2 Geração do passeio virtual

O passeio virtual foi produzido integrando os elementos de divulgação e promoção referentes a todos os geossítios de São Sebastião, utilizando o *software* 3DVista como ferramenta central. A estrutura do passeio foi fundamentada em 15 imagens panorâmicas (Fig. 1.11), geradas com o software PTGui Pro, algumas delas produzidas e processadas durante esta pesquisa, enquanto outras foram derivadas de projetos anteriores do grupo GeoHereditas. Além das imagens panorâmicas, incorporaram-se elementos interativos e conteúdos de divulgação científica relacionados à geologia da Serra do Mar e aos geossítios de São Sebastião.

Os modelos tridimensionais desenvolvidos neste projeto, juntamente com aqueles criados em iniciativas anteriores do grupo GeoHereditas e disponibilizados na plataforma Sketchfab, foram empregados. Para complementar os modelos tridimensionais dos costões rochosos, foram gerados dois modelos adicionais a partir de Modelo Digital de Elevação ASTER, um com imagem de satélite e outro representando as unidades geológicas, utilizando o *plugin* Qgis2threejs do *software* QGIS. Visando fornecer informações de divulgação científica sobre os geossítios e a geologia da Serra do Mar, foram desenvolvidos conteúdos na plataforma Canva. Esses elementos foram integrados como botões interativos em pontos estratégicos ao longo do passeio virtual, enriquecendo a experiência do usuário.

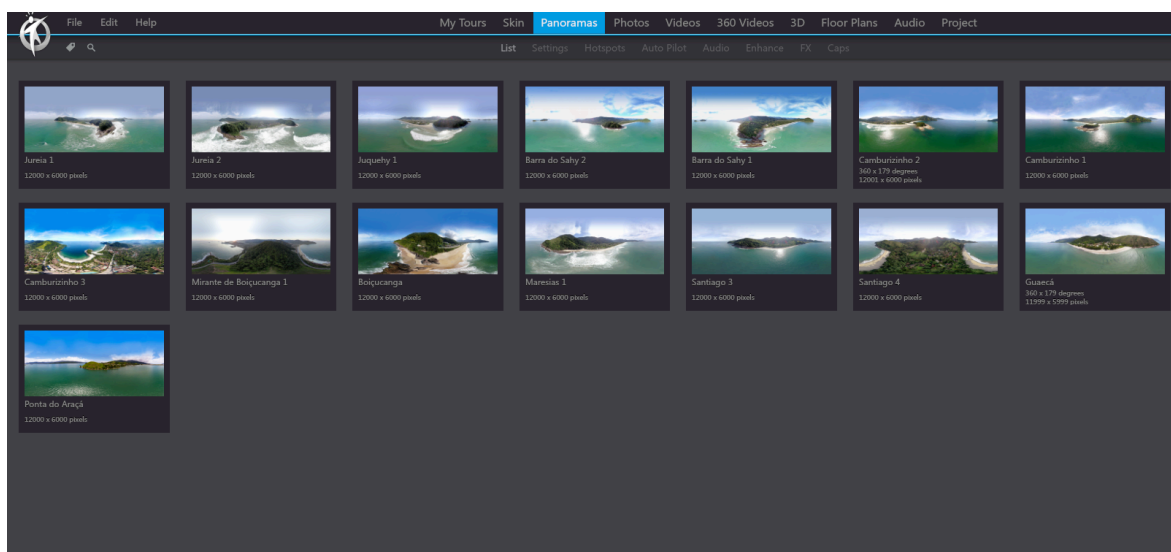


Fig. 1.11: Interface do software 3DVista com as 15 imagens panorâmicas utilizadas como base para o passeio virtual.

1.5 Estrutura da Dissertação

A dissertação é composta por seis capítulos. O Capítulo I fornece uma introdução ao trabalho, contextualizando as principais questões e objetivos da pesquisa na área de estudo. O Capítulo II oferece uma visão geral sobre o patrimônio geológico e a geoconservação, destacando suas bases conceituais e metodológicas. No Capítulo III, é abordado o contexto geológico-tectônico do Orógeno Ribeira, com foco na área de estudo, o município de São Sebastião. O Capítulo IV descreve a caracterização geológica e o valor científico dos geossítios selecionados, com base em observações de campo, análises petrográficas e geocronológicas. No Capítulo V, são apresentados o passeio virtual e o conteúdo de divulgação e promoção da geodiversidade desenvolvidos. Por fim, o Capítulo VI aborda a discussão e integração dos dados apresentados ao longo do trabalho, além de apresentar as conclusões e considerações finais e perspectivas futuras relacionadas aos temas abordados.

6.3 Conclusões e Considerações finais

Este estudo traz novas contribuições ao entendimento dos migmatitos paraderivados do Complexo Costeiro e de seu patrimônio geológico por meio da caracterização de três geossítios localizados na costa sul do município de São Sebastião. Esses locais desempenham um papel significativo na compreensão da evolução Neoproterozoica do Orógeno Ribeira Central. Além disso, o avanço do conhecimento científico do Complexo Costeiro aumenta o valor científico do enquadramento geológico dos geossítios que o compõem no contexto do inventário do patrimônio geológico do município, o qual deve ser atualizado à medida que novas pesquisas são realizadas.

O neossoma apresenta variados graus de segregação e é composto por leucossoma e resíduo. O resíduo é composto por minerais residuais, agregados alongados de biotita por fluxo magmático, definindo a estrutura *schlieren*, e por lentes centimétricas a decamétricas deformadas e com graus variáveis de anatexia, definindo a estrutura *schollen*, compostas principalmente por biotita anfíbolito e metatexito metapsamítico. Ambas as estruturas indicam taxa de deformação sin-anatética elevada, associada à Zona de Cisalhamento Camburu (ZZC). Os neossomas segregados apresentam a paragênese quartzo + ortoclásio + plagioclásio + biotita ± ilmenita ± magnetita ± granada, associada a um protólito psamítico imaturo, onde as condições de pressão e temperatura de pico metamórfico podem ser estimadas como aproximadamente 11-9 kbar e 800-850 °C, em fácies granulito superior.

O Geossítio Metatexito Estromático de Santiago preserva um bandamento composicional significativo e apresenta menor proporção de *schollen* e *schlieren* em relação aos demais geossítios. O Geossítio Boudins do Ilhote de Camburizinho, com uma maior proporção de *schollen* e *schlieren* de dimensões decamétricas e com ampla coerência estrutural, é caracterizado como migmatito transicional. Quanto ao Geossítio Diatexito Schollen da Barra do Sahy, com concentração significativa de *schollen* de dimensões menores e rotacionados, sem nenhuma coerência estrutural preservada e alta proporção de leucossoma não segregado, é classificado essencialmente como um diatexito heterogêneo. A transição gradual de metatexito para diatexito observada nos geossítios sugere um processo contínuo que pode ser relacionado ao fluxo de fluidos associados à ZCC.

As análises geocronológicas indicam a geração de zircões metamórficos Neoproterozoicos ao longo de um intervalo temporal contínuo aproximado de 240 milhões de anos, onde não é possível distinguir eventos metamórficos distintos. A interpretação das

idades e razões Th/U obtidas, juntamente com os dados da literatura para essa região do Orógeno Ribeira, permitiram concluir que:

- A maioria dos sobrecrecimentos, zonas de re-homogeneização e datações mais jovens dos zircões analisados apresentam razões Th/U < 0,1, sugerindo uma origem metamórfica, sobretudo para as amostras 5A, 2D e 3C (neossomas segregados), enquanto as amostras 3D e 2B (resíduos anfibolíticos) apresentaram majoritariamente razões Th/U > 0,1, o que pode ser explicado pela ausência de monazita nessas litologias.
- As idades concórdia das populações metamórficas mais jovens caracteriza a fase final de resfriamento, e apresentaram uma variação temporal de ca. 90 milhões de anos, de ca. 627 a 533 Ma. A datação metamórfica concordante mais antiga é de ca. 770 Ma.
- O modelo tectônico para o Sistema de Arco Externo do Orógeno Ribeira de Heilbron et al. (2020a,b), aliado ao modelo de *tectonic switching* seria o mais apropriado para a interpretação da gênese desses migmatitos.
- Na fase do arco intra-oceânico (ca. 770 Ma) uma bacia de retroarco já estava estabelecida e preenchida por sedimentos provenientes possivelmente do Cráton do Congo-Angola. Os *schollen* anfibolíticos registram o magmatismo basáltico intrusivo nas rochas sedimentares imaturas ali existentes. O fechamento subsequente da bacia de retroarco culminou na formação do orógeno colisional (ca. 627 a 533 Ma), onde o metamorfismo de alto grau e a fusão parcial já haviam se iniciado no retroarco na fase do orógeno acrescionário.
- A variação temporal nas idades obtidas para as populações mais jovens nos núcleos dos zircões dos anfibolitos, de 601 ± 1.3 Ma no diatexito e 711.82 ± 0.87 Ma no migmatito transicional, sugere a possibilidade de duas fases distintas de pulsos magmáticos, ou indicam zircões formados durante a anatexia e, portanto, não são indicativos da cristalização ígnea do protólito basáltico.
- A significativa queda na razão Th/U em idades Ediacaranas e Cambrianas para as amostras 3C, 2D e 5A indica que as idades Criogenianas representam fases pré monazita em domínios de zircões anatóxicos. A transição Criogeniano-Ediacarano, na qual essa mudança nas razões Th/U ocorre de forma mais proeminente, poderia estar associada ao pico metamórfico.
- Em relação às idades Tonianas dos neossomas segregados, estas estão relacionadas a domínios de zircões herdados, associados à fonte do protólito paraderivado, ou ainda a fases metamórficas prógradadas pré pico metamórfico.

Os migmatitos caracterizados nos geossítios, cujos protólitos são compostos por rochas psamíticas com intrusões de rochas basálticas, demonstram uma elevada heterogeneidade e uma gênese tectônica complexa, como evidenciado pelos dados obtidos neste estudo. Devido ao elevado grau de fusão parcial e retenção de fundido, associados à intensa dinâmica deformacional, as partes e estruturas migmatíticas apresentam uma correlação difusa. Isso é evidente mesmo em afloramentos relativamente próximos entre si (5-10 km), nos quais os dados geocronológicos são específicos para cada amostra analisada. Além disso, a presença de zircão metamórfico em um amplo intervalo temporal contínuo não permite uma interpretação geocronológica trivial.

O Orógeno Ribeira na região do litoral norte do estado de São Paulo e sul do estado do Rio de Janeiro ainda apresenta numerosas lacunas na correlação de suas unidades tectono-estratigráficas. Espera-se que este estudo contribua para o desenvolvimento do conhecimento geológico na região, bem como se espera que contínuas pesquisas com novos dados e métodos analíticos, tais como geoquímica mineral em zircão, proveniência sedimentar, geocronologia da monazita e termobarometria, sejam desenvolvidas para fornecer um embasamento mais robusto ao entendimento desse evento metamórfico e à gênese desses migmatitos.

Os geossítios caracterizados são costões rochosos que se integram ao contexto geológico e tectônico da Serra do Mar, assim como aos ecossistemas costeiros das áreas protegidas do litoral norte do estado de São Paulo. A caracterização geológica desses geossítios desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de estratégias de geoconservação e na valorização do patrimônio geológico da região. Os dados gerados neste estudo podem ser utilizados pelos órgãos de gestão para promover o uso sustentável da geodiversidade local. O passeio virtual interativo, desenvolvido com o uso de produtos geoespaciais e informações geocientíficas, contextualiza o patrimônio geológico na evolução da Serra do Mar da região, sendo aplicável tanto no geoturismo quanto na educação ambiental.

Este trabalho demonstra a interdisciplinaridade das pesquisas em Geoconservação, onde o conhecimento geocientífico gerado em um determinado contexto geológico é fundamentalmente aplicado na valorização e promoção do patrimônio geológico. Através da caracterização desses geossítios, adquiriu-se dados e interpretações que atestam seu valor científico acerca da evolução geológica regional, tornando-os locais chave para o entendimento dos processos geológicos associados ao Gondwana Ocidental e da história

Terra. Nas pesquisas geocientíficas em geral, não se faz necessário destacar ou reconhecer os afloramentos estudados para a aquisição do conhecimento geológico.

No entanto, compreender o patrimônio geológico de uma região requer um entendimento de sua história geológica a partir dos próprios sítios, pois é a partir desses locais que essa história se desenvolve, direcionando assim o foco para os locais onde o conhecimento científico é obtido. Essa abordagem é essencial no entendimento e promoção dos valores científicos, geoturísticos, educacionais e ambientais dos geossítios. Estes se tornam não apenas pontos de interesse para a comunidade científica, mas também para o público em geral e para os gestores das unidades de conservação. A divulgação e a promoção desses geossítios e de seus valores não apenas ampliam o conhecimento público sobre as geociências, mas também desempenham um papel na conservação desses locais, ao demonstrar sua importância e sensibilizar para sua proteção.

A geodiversidade desempenha um papel crucial na agenda mais ampla de conservação da natureza, com o reconhecimento do patrimônio geológico e da geoconservação pela IUCN e pela UNESCO. Essa inclusão é essencial para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, visto que a geodiversidade é parte essencial do capital natural, oferecendo serviços ecossistêmicos que beneficiam tanto a natureza quanto as sociedades (Gordon, 2019). Assim, o reconhecimento e a avaliação do patrimônio geológico, aliados às suas potencialidades geoturísticas, educativas e ecossistêmicas, são passos fundamentais para integrar a geoconservação nos planos de gestão dos recursos naturais. Para isso, é fundamental obter apoio público e político, estabelecendo uma relação de cooperação entre os produtores de conhecimento científico e a sociedade (Garcia, 2018). Este processo evolui gradualmente por meio de pequenos passos, e espera-se que este trabalho contribua para o desenvolvimento dessas iniciativas no município de São Sebastião, permitindo a implementação de estratégias eficazes para valorizar o patrimônio geológico da região e estimular novos avanços na área da Geoconservação.

6.4 Referências Bibliográficas

- Alkmim, F.F., Marshak, S., Pedrosa-Soares, A.C., Peres, G.G., Cruz, S.C.P., Whittington, A., 2006, Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian Res.* 149, 43–64. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2006.06.007>
- Alkmim, F.F., 2015, Geological Background: A Tectonic Panorama of Brazil. In *World Geomorphological Landscapes* (pp. 9–17). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8023-0_2
- Alkmim, F.F., Kuchenbecker, M., Reis, H.L., Pedrosa-Soares, A.C., 2017, The Araçuaí Belt. São Francisco craton, eastern Brazil: Tectonic genealogy of a miniature continent, 255-276.
- Allen, D., 2020, An Earth Day Message: Earthrise. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(15), 5815-5816.
- Almeida, F.F.M., 1964, Fundamentos geológicos do relevo paulista. São Paulo: Instituto Geográfico e Geológico, *Geologia do Estado de São Paulo*, p. 167-263 (Boletim, 41)
- Almeida, F.F.M., 1977, O cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349-364.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A., 1981, Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Sci. Rev.*, 17: 1--29.
- Almeida, F.F.M., 1983, Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma sul-americana. *Revista Brasileira de Geociências*, 13(3):39-158.
- Almeida, F.F.M., Carneiro, C.D.R., 1998, Origem e evolução da Serra do Mar. *Brazilian Journal of Geology*, 28(2), 135-150.
- Almeida, R.P., Janikian, L., Fragoso-Cesar, A.R.S., Fambrini, G.L., 2010, The Ediacaran to Cambrian rift system of southeastern South America: Tectonic implications. *The Journal of Geology*, 118(2), 145–161. <https://doi.org/10.1086/649817>
- Alves, A., Janasi, V.A., Campos Neto, M.C., Heaman, L., Simonetti, A., 2013, U–Pb geochronology of the granite magmatism in the Embu Terrane: Implications for the evolution of the Central Ribeira Belt, SE Brazil. *Precambrian Research*, 230, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2013.01.018>
- Alves, A., Janasi, V.A., Campos Neto, M.C., 2016, Sources of granite magmatism in the Embu Terrane (Ribeira Belt, Brazil): Neoproterozoic crust recycling constrained by elemental and isotope (Sr-Nd-Pb) geochemistry. *Journal of South American Earth Sciences*, 68, 205–223. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.10.014>
- Amaral L., Caxito F. de A., Pedrosa-Soares A.C., Queiroga G., Babinski M., Trindade R., Lana C., Chemale, F., 2020, The Ribeirão da Folha ophiolite-bearing accretionary wedge (Araçuaí orogen, SE Brazil): New data for Cryogenian plagiogranite and metasedimentary rocks. *Precambrian Research*, 336, 105522. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2019.105522>
- Arruda, K.E.C., 2017, A geoconservação como subsídio à gestão territorial sustentável: o mapa geoturístico do litoral norte do estado de São Paulo. Tese Doutorado: Instituto de Geociências / Universidade de São Paulo – São Paulo. 189p.
- Ashwal, L.D., Tucker, R.D., Zinner, E.K., 1999, Slow cooling of deep crustal granulites and Pb-loss in zircon. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63: 2839-2851
- Australian Heritage Commission., 1996, Australian Natural Heritage Charter. Australian Heritage Commission, Canberra

- Australian Heritage Commission., 2002, Australian Natural Heritage Charter, 2nd edn. Australian Heritage Commission. Canberra
- Azevedo, U.R., 2007, Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Potencial Para a criação de um geoparque da UNESCO [Geological heritage and geoconservation in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Potential for the creation of a UNESCO Geopark] (Doctoral dissertation). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil.
- Babinskim M., Tassinari, C.C.G., Nutman, A.P., Sato, K., Martins, P.R., Iyer, S.S., 2001, U/Pb shrimp zircon ages of migmatites from the basement of the Embu Complex, Ribeira Fold Belt, Brazil: indications for ~1.4-1.3 Ga Pb-Pb and Rb-Sr “isochron” ages of no geological meaning. In: *Simp. Sudamer. Geol. Isot.*, 3, Pucon, Abst., 9.
- Barth, N.C., Stock, G.M., Atit, K., 2021, From Virtual Field Trip to Geologically-Reasoned Decisions in Yosemite Valley. *Geoscience Communication Discussions*, 2021, 1-18.
- Basei, M.A.S., McReath, I., Siga Junior, O., 1998, The Santa Catarina granulite complex of Southern Brazil. *Gondwana Research* 1, 383–391.
- Basei, M.A.S., Frimmel, H.E., Nutman, A.P., Preciozzi, F., 2008, West Gondwana amalgamation based on detrital zircon ages from Neoproterozoic Ribeira and Dom Feliciano belts of South America and comparison with coeval sequences from SW Africa. *Geological Society, London, Special Publications*, 294(1), 239-256.
- Basei, M.A.S., Campos Neto, M.C., Castro, N.A., Nutman, A.P., Wemmer, M.T., Yamamoto M.T., Hueck M., Osako L., Siga Jr. O., Passarelli C.R., 2011, Tectonic evolution of the Brusque Group, Dom Feliciano belt, Santa Catarina, *Journal of South American Earth Sciences* , 32:324-350.
- Brilha, J., 2005, Patrimônio Geológico e Geoconservação: a Conservação da Natureza na sua Vertente Geológica. Palimage Editores, Viséu
- Brilha, J., 2016, Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage* Vol. 8, No 2, 119-134.
- Brilha, J., Gray, M., Pereira, D.I., Pereira, P., 2018, Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environmental Science & Policy*, 86, 19-28.
- Brilha, J., 2018, Geoheritage: inventories and evaluation. In *Geoheritage* (pp. 69-85). Elsevier.
- Brilha, J., 2022, Celebrating 50 years of global initiatives promoting geoconservation and geological heritage. In *Parks Stewardship Forum* (Vol. 38, No. 1).
- Brito Neves, B.B., Neto, M.D.C.C., Fuck, R.A., 1999, From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. *Episodes Journal of International Geoscience*, 22(3), 155-166.
- Brito Neves, B.B., Fuck, R.A., Pimentel, M.M, 2014, The Brasiliano collage in South America: a review. *Brazilian Journal of Geology*, 44(3), 493–518. <https://doi.org/10.5327/z2317-4889201400030010>
- Brito Neves, B.B., Fuck, R.A., Campanha, G.A., 2021, Basement inliers of the Brasiliano structural provinces of South America. *Journal of South American Earth Sciences*, 110, 103392.
- Brown, D., Ryan, P. D., Brown, D., Ryan, P. D., Afonso, J. C., Boutelier, D., Zagorevski, A., 2011, Arc–continent collision: the making of an orogen (pp. 477-493). Springer Berlin Heidelberg.
- Brown, M., 1973, The definition of metatexis, diatexis and migmatite. *Proceedings of the Geologists' Association*, 84, 371-IN2.
- Burek, C.V., Potter, J., 2006, Local geodiversity action plans—setting the context for geological conservation, *English Nature Res. Rep. 560*. English Nature, Peterborough

- Burek, C., 2012, The role of LGAPs (Local Geodiversity Action Plans) and Welsh RIGS as local drivers for geoconservation within geotourism in Wales. *Geoheritage*, 4(1), 45-63.
- Cabrita, D.I., Faleiros, F.M., Cawood, P.A., Campanha, G.A., Yogi, M. T., Wainwright, A.N., Almeida, V.V., 2021, Petrochronological constraints and tectonic implications of Tonian metamorphism in the Embu Complex, Ribeira Belt, Brazil. *Precambrian Research*, 363, 106315
- Cabrita, D.I., Faleiros, F.M., Ribeiro, B.V., Menegon, L., Cawood, P.A., Campanha, G.A., 2022, Deformation, thermochronology and tectonic significance of the crustal-scale Cubatão Shear Zone, Ribeira Belt, Brazil. *Tectonophysics*, 828, 229278.
- Campanha, G.A.C., Ens, H.H., 1993, Estrutura geológica na região de São Sebastião. In: *Simpósio de Geologia do Sudeste*, 3. Boletim de Resumos, Rio de Janeiro, SBG p. 51-52.
- Campanha, G.A.C., Ens, H.H., 1996, Estruturação geológica da Serra de Juqueriquerê, São Sebastião, SP. *Boletim Instituto de Geociências. Série Científica*, v. 27, p. 1-15.
- Campanha, G.A.C., Ens, H.H., Ponçano, W.L, 1994, Análise morfotectônica do Planalto do Juqueriquerê, São Sebastião. *Rev. Geoc.*, 24: 32-42.
- Campanha, G.A.C., 2002, O papel do sistema de zonas de cisalhamento transcorrentes na configuração da porção meridional da Faixa Ribeira (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Campanha, G.A.C., Basei, M.S.S., Tassinari, C.C.G.C.G., Nutman, A.P.P., Faleiros, F.M.M., 2008, Constraining the age of the Iporanga Formation with SHRIMP U-Pb zircon: implications for possible ediacaran glaciation in the ribeira belt, SE Brazil. *Gondwana Res.* 13 (1), 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2007.05.010>.
- Campanha, G.A.C., Faleiros, F.M.M., Basei, M.A.S., Tassinari, C.C.G., Nutman, A.P., Vasconcelos, P.M., 2015, Geochemistry and age of mafic rocks from the Votuverava Group, southern Ribeira Belt, Brazil: evidence for 1490 Ma oceanic back-arc magmatism. *Precambrian Res.* 266, 530–550. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.05.026>.
- Campanha, G.A.C., Basei, M.S., Faleiros, F.M., Nutman, A.P., 2016, The mesoproterozoic to early neoproterozoic passive margin Lajeado group and Apiaí gabbro, southeastern Brazil. *Geosci. Front.* 7 (4), 683–694. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.08.004>.
- Campanha, G.A.C., Faleiros, F.M., Cawood, P.A., Cabrita, D.I.G., Ribeiro, B.V., Basei, M.A.S., 2019, The tonian embu complex in the ribeira belt (Brazil): revision, depositional age and setting in Rodinia and West Gondwana. *Precambrian Res.* 320 (October 2018), 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2018.10.010>.
- Campanha, G.A.C, Faleiros, F.M., Cabrita, D.I., Ribeiro, B.V., Cawood, P.A., 2023, The southern Ribeira Belt in Western Gondwana: a record of a long-lived continental margin and terrane collage. *Journal of South American Earth Sciences*, 127, 104404.
- Campos Neto, M.C., Figueiredo, M.C.H.D., 1995,. The Rio Doce Orogeny, Southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 8(2), 143-162.
- Campos Neto, M.C., Caby, R., 1999, Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraint from nappe system south of the São Francisco craton, southeast Brazil. *Precambrian Research* 97:3–26
- Campos Neto, M.C., 2000, Orogenic systems from Southwestern Gondwana: An approach to Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage in Southeastern Brazil. In U. G. Cordani, E. J. Milani, A. Thomaz Filho, & D. A. Campos (Eds.), *Tectonic evolution of South America* (pp. 335–368). Rio de Janeiro, Brazil: 31st International Geological Congress.
- Carrivick, J.L., Smith, M.W., Quincey, D.J., 2016, *Structure from Motion in the Geosciences*. Wiley. 208 p.

- Carvalho, Cleide., 2023, Mais de 40 anos após ser criado, Parque Estadual da Serra do Mar ainda enfrenta invasões. O Globo, São Paulo, 11 de março de 2023. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/noticia/2023/03/mais-de-40-anos-apos-ser-criado-parque-estadual-da-serra-do-mar-ainda-enfrenta-invasoes.ghtml>
- Cavalcante, C., Fossen, H., de Almeida, R.P., Hollanda, M.H.B., Egydio-Silva, M., 2019, Reviewing the puzzling intracontinental termination of the Araçuaí-West Congo orogenic belt and its implications for orogenic development. *Precambrian Research*, 322, 85-98.
- Caxito, F.A., Heilbron, M., Valeriano, C.M., Bruno, H., Pedrosa-Soares, A., Alkmim, F.F., Chemale, F., Hartmann, L.A., Dantas, E., Basei, M.A.S., 2021, Integration of elemental and isotope data supports a Neoproterozoic Adamastor Ocean realm. *Geochemical Perspectives Letters*, 17, 6–10. <https://doi.org/10.7185/geochemlet.2106>
- Caxito, F.A., Hartmann, L.A., Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Bruno, H., Basei, M.A., Chemale, F., 2022, Multi-proxy evidence for subduction of the Neoproterozoic Adamastor Ocean and Wilson cycle tectonics in the South Atlantic Brasiliano Orogenic System of Western Gondwana. *Precambrian Research*, 376, 106678.
- Cayla, N., 2014, An overview of new technologies applied to the management of geoheritage. *Geoheritage*, 6(2), 91-102.
- Cayla, N., Martin, S., 2018, Digital geovisualisation technologies applied to geoheritage management. In *Geoheritage* (pp. 289-303). Elsevier.
- Chang, H., Hu, P., Zhou, G., Zhang, W., He, Y., Zhao, Y., Wu, Y., 2023, Development of a back-arc basin from initial rifting to seafloor spreading: Constraints from Paleozoic basic rocks in the North Qinling accretionary orogen, central China. *Geological Society of America Bulletin*.
- Charette, B., Godet, A., Guilmette, C., Davis, D. W., Vervoort, J., Kendall, B., Yakymchuk, C., 2021, Long-lived anatexis in the exhumed middle crust of the Torngat orogen: Constraints from phase equilibria modeling and garnet, zircon, and monazite geochronology. *Lithos*, 388, 106022.
- Clark, C., Fitzsimons, I.C.W., Healy, D., Harley, S.L., 2011, How does the continental crust get really hot? *Elements* 7, 235240.
- Collins, A.S., Clark, C., Plavsa, D., 2014, Peninsular India in Gondwana: the tectonothermal evolution of the Southern Granulite Terrain and its Gondwanan counterparts. *Gondwana Res* 25(1):190–203
- Collins, W.J., 2002, Hot orogens, tectonic switching, and creation of continental crust. *Geology*, 30(6), 535-538.
- Comin-Chiaromonti, P., Gomes, C.B., 2005, Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform. São Paulo, Edusp/ FAPESP, 752 p.
- Cordani, U.G., Delhal, J., Ledent, D., 1973, Orogeneses superposées dans le Précambrien du Brésil sud-oriental (États de Rio de Janeiro et de Minas Gerais). *Revista Brasileira de Geociências*, 3(1), 1-22.
- Cordani, U.G., Brito Neves, B.B., D'Agrella, M.S. Trindade, R.I.F., 2003, Tearing-up Rodinia: the Neoproterozoic paleogeography of South American cratonic fragments. *Terra Nova*, 15: 343-349.
- Corfu, F., Heaman, L.M., Rogers, G., 1994, Polymetamorphic evolution of the Lewisian complex, NW Scotland, as recorded by U- Pb isotopic compositions of zircon, titanite and rutile. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 117: 215-228
- Corfu, F., Hanchar, J. M., Hoskin, P. W., & Kinny, P., 2003, Atlas of zircon textures. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 53(1), 469-500.
- Coutinho, J.M.V., Ens, H.H., Rodrigues, E.P., Tassinari, C.C.G.. 1991, Mafic dike swarms in the northern coast of São Paulo, Brazil (a preliminary report). In *Extended Abstracts*.

- Crisp, J.R.A., Ellison, J.C., Fischer, A., 2020, Current trends and future directions in quantitative geodiversity assessment. *Progress in Physical Geography* 45, 514–540.
- Crofts, R., Gordon, J.E., Santucci, V.L., 2015, Geoconservation in protected areas. *Protected area governance and management*. ANU Press, Canberra, 531-568.
- Crofts, R., Tormey, D., Gordon, J.E., 2021, Introducing new guidelines on geoheritage conservation in protected and conserved areas. *Geoheritage*, 13(2), 33.
- Davis, D.W., Krogh, T.E., Williams, I.S., 2003, Historical development of zircon geochronology. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 53(1), 145-181.
- Declaration, D., 1991, Declaration of the Rights of the Memory of the Earth. In *Proceedings of the 1st International Symposium on the Conservation of our Geological Heritage (Digne-les-Bains, 11–16 June 1991)*–Mémoires de la Soc. Géol. de France, Nouvelle Série (No. 165).
- De Groot, R.S., Wilson, M.A., Boumans, R.M., 2002, A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408.
- Defra, 2010, Natural Environment White paper, HMSO. <http://www.official-documents.gov.uk/document/cm80/8082/8082.asp> Acesso: Março 2024.
- Dhuime, B., Hawkesworth, C.J., Delavault, H., Cawood, P.A., 2018, Rates of generation and destruction of the continental crust: implications for continental growth. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 376(2132), 20170403.
- Dias Neto, C.M., 2001, Evolução tectono-termal do Complexo Costeiro (Faixa de Dobramentos Ribeira) em São Paulo. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, São Paulo, 2001. <https://doi:10.11606/T.44.2001.tde-30092013-151641>
- Dias Neto, C.M., Fonseca, P.E., Munhá, J., Egydio Silva, M., Ribeiro, A., 2006, A estrutura em flor (flower structure) do Complexo Costeiro (Faixa Ribeira) em São Sebastião (São Paulo, Brasil). *Cadernos Laboratório Xeológico de Laxe, La Curuña*, v. 31, p. 105-125.
- Dias Neto, C.M., Correia, C.T., Munhá, J.M.U., Tassinari, C.C.G., 2008, Litoquímica dos granitóides da estrutura em flor de São Sebastião, São Paulo. *Geologia USP: Série Científica*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 101-114.
- Dolphin, G., Dutchak, A., Karchewski, B., & Cooper, J., 2019, Virtual field experiences in introductory geology: Addressing a capacity problem, but finding a pedagogical one. *Journal of Geoscience Education*, 67(2), 114-130.
- Dowling, R.K., 2011, Geotourism's global growth. *Geoheritage*, 3(1), 1-13.
- Egydio-Silva, M., Vauchez, A., Fossen, H., Gonçalves Cavalcante, G. C., & Xavier, B. C., 2018, Connecting the Araçuaí and Ribeira belts (SE – Brazil): Progressive transition from contractional to transpressive strain regime during the Brasiliano orogeny. *Journal of South American Earth Sciences*, 86, 127–139. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.06.005>
- Evans, D., Brown, E., Larwood, J., Prosser, C., Silva, B., Townley, H., Wetherell, A., 2023, *Geoconservation: principles and practice*. Natural England General Publication NE802. Natural England, Peterborough. <https://publications.naturalengland.org.uk/publication/6152405931261952>.
- Faleiros, F.M., Campanha, G.A.C., Martins, L., Vlach, S.R.F., Vasconcelos, P.M., 2011, Ediacaran high-pressure collision metamorphism and tectonics of the southern Ribeira Belt (SE Brazil): Evidence for terrane accretion and dispersion during Gondwana assembly. *Precambrian Research*, 189(3-4), 263–291. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2011.07.013>

- Faleiros, F.M., Ribeiro, B.V., Campanha, G.A.D.C., Cawood, P.A., Cabrita, D.I.G., Yogi, M. T.A.G., Forero-Ortega, A.J., 2022, Strain partitioning along terrane bounding and intraterrane shear zones: constraints from a long-lived transpressional system in West Gondwana (Ribeira Belt, Brazil). *Lithosphere*, 2021(Special 6), 2103213.
- Fossen, H., 2016, *Structural geology*. Cambridge university press.
- Fossen, H., Cavalcante, C., Konopásek, J., Meira, V. T., de Almeida, R. P., Hollanda, M. H. B., Trompette, R., 2020, A critical discussion of the subduction-collision model for the Neoproterozoic Araçuaí-West Congo orogen. *Precambrian Research*, 343, 105715.
- Fox, N., Graham, L.J., Eigenbrod, F., Bullock, J.M., Parks, K.E., 2020, Incorporating geodiversity in ecosystem service decisions. *Ecosystems and People*, 16(1), 151-159.
- Garcia, M.G.M., 2012, Gondwana geodiversity and Geological Heritage: examples from the North Coast of São Paulo State, Brazil. *Anuário da UFRJ* 35:101-111
- Garcia, M.G.M., 2018, Patrimônio geológico e geoconservação: subsídios à gestão do meio natural no litoral paulista. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/T.44.2018.tde-28092018-104316
- Garcia, M.G.M., et al., 2018, The Inventory of Geological Heritage of the State of São Paulo, Brazil: Methodological Basis, Results and Perspectives. *Geoheritage*.
- Garcia, M.G.M., Lama, E.A., Martins, L., Mazoca, C.E.M., Bourotte, C.L., 2019a, Inventory and assessment of geosites to stimulate regional sustainable management: the northern coast of the state of São Paulo, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91.
- Garcia, M.G.M. 2019b. Ecosystem services provided by geodiversity: Preliminary assessment and perspectives for the sustainable use of natural resources in the coastal region of the state of São Paulo, Southeastern Brazil. *Geoheritage*, 11(4), 1257-1266.
- Garcia, M.G.M., Reverte, F.C., Mucivuna, V.C., Arruda, K.E.C., Prochoroff, R., de Abreu Santos, P.L., Romão, R.M.M., 2019c. Geoconservação em áreas protegidas: contribuição de cursos para monitores ambientais no litoral norte do estado de São Paulo, Brasil. *Terræ Didática*, 15, e019028-e019028.
- Garcia, M.G.M., Queiroz, D.S., Mucivuna, V.C., 2022, Geological diversity fostering actions in geoconservation: An overview of Brazil. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 10(4), 507-522.
- Garda, G.M., 1995, The basic and ultrabasic dikes from the coast region between the São Sebastião and Ubatuba cities, São Paulo State, SP, Brazil; Os diques básicos e ultrabásicos da região costeira entre as cidades de São Sebastião e Ubatuba, estado de São Paulo, SP, Brasil.
- Ghosh, S.K., Sengupta, S., 1999, Boudinage and composite boudinage in superposed deformations and syntectonic migmatization. *Journal of Structural Geology*, 21(1), 97-110
- Gill, J.C., 2017, Geology and the sustainable development goals. *Episodes Journal of International Geoscience*, 40(1), 70-76.
- Gill, J.C., Bullough, F., 2017, Geoscience engagement in global development frameworks. *Annals of geophysics*, 60.
- Gill, J.C., Smith, M., 2021, Geosciences and the sustainable development goals. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-38815-7>
- Giraldo, S.J., Trouw, R.A.J., Duffles, P., Vinagre da Costa, R., Ibañez Mejia, M., Schwantes Marimon, R., 2019, Structural analysis combined with new geothermobarometric and geochronological results of the Al em Paraíba shear zone, between Três Rios and Bananal, Ribeira Orogen, SE Brazil. *J. S. Am. Earth Sci.* 90 (November 2018), 118–136. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.11.018>.
- Gomes, L.C., 2012, Análise da tectônica de colocação de diques cretácicos na região de São Sebastião, SP.

- Gonçalves, L., Farina, F., Lana, C., Pedrosa-Soares, A.C., Alkmim, F.F., Nalini, H.A., 2014, New U-Pb Ages and Lithochemical Attributes of the Ediacaran Rio Doce Magmatic Arc, Araçuaí Confined Orogen, Southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 52:1–20
- Gordon, J.E., Barron, H.F., Hansom, J.D., Thomas, M.F., 2012, Engaging with geodiversity—why it matters. *Proceedings of the Geologists' Association*, 123(1), 1-6.
- Gordon, J.E., Barron, H.F., 2013, The role of geodiversity in delivering ecosystem services and benefits in Scotland. *Scottish Journal of Geology*, 49(1), 41-58.
- Gordon, J.E., Crofts, R., Gray, M., Tormey, D., 2021, Including geoconservation in the management of protected and conserved areas matters for all of nature and people. In *International Journal of Geoheritage and Parks* (Vol. 9, Issue 3, pp. 323–334). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2021.05.003>
- Goscombe, B.D., Passchier, C.W., Hand, M., 2004, Boudinage classification: end-member boudin types and modified boudin structures. *Journal of structural Geology*, 26(4), 739-763.
- Gradim, C., Roncato, J., Pedrosa-Soares, A. C., Cordani, U. G., Alkmim, F. F., Dussin, I. A., Babinski, M., 2014, The hot back-arc zone of the Araçuaí orogen, Eastern Brazil: from sedimentation to granite generation. *Brazilian Journal of Geology*, 44(1), 155-180.
- Gray, M., 2004, *Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature*. Londres: John Wiley & Sons. 434p.
- Gray, M., 2008, *Geodiversity: developing the paradigm*. *Proceedings of the Geologists' Association*, 119(3-4), 287-298.
- Gray, M., 2013, *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. 2^a ed. Chichester: John Wiley & Sons. 495p.
- Gray, M., 2018a, The confused position of the geosciences within the “natural capital” and “ecosystem services” approaches. *Ecosystem services*, 34, 106-112.
- Gray, M., 2018b, *Geodiversity: the backbone of geoheritage and geoconservation*. In *Geoheritage* (pp. 13-25). Elsevier.
- Gray, M., 2019, *Geodiversity, geoheritage and geoconservation for society*. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 7(4), 226-236.
- Gray, M., 2021, *Geodiversity: A significant, multi-faceted and evolving, geoscientific paradigm rather than a redundant term*. *Proceedings of the Geologists' Association*, 132(5), 605-619.
- Gray, M., Fox, N., Gordon, J. E., Brilha, J., Charkraborty, A., Garcia, M.G.M, Urban, J., 2024, *Boundary of ecosystem services: A response to*. *Journal of Environmental Management*, 351, 119666.
- Gordon, J.E., 2019, *Geoconservation principles and protected area management*. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 7(4), 199-210.
- Hackspacher, P.C., Dantas, E.L., Spoladore, Â., Fetter, A.H., Oliveira, M.D., 2000, Evidence of Neoproterozoic backarc basin development in the central Ribeira Belt, Southeastern Brazil: new geochronological and geochemical constraints from the São Roque–Açungui Groups. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1), 110-114.
- Ham, S., 1992, *Environmental interpretation. A practical guide for people with big ideas*.
- Harley, S.L., Kelly, N.M., Möller, A., 2007, Zircon behaviour and the thermal histories of mountain chains. *Elements* 3: 25–30. <https://doi.org/10.2113/gselements.3.1.25>.
- Harley, S.L., Nandakumar, V., 2014, Accessory mineral behaviour in granulite migmatites: a case study from the Kerala Khondalite Belt, India. *Journal of Petrology*, 55(10), 1965-2002.
- Harley, S.L., 2016, A matter of time: the importance of the duration of UHT metamorphism. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 111(2), 50-72.

- Hasui, Y., Dantas, A.S.L., Carneiro, C.D.R., Bistrich, C.A., 1981, O embassamento Pré-Cambriano e Eopaleozóico em São Paulo. In: Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Pró Mineiro, IPT.v. 1,p. 12-45.
- Hartnady, C., Joubert, P., Stowe, C., 1985, Proterozoic crustal evolution in southwestern Africa. *Episodes Journal of International Geoscience*, 8(4), 236-244.
- Hiruma, S.T., Riccomini, C., Modenesi-Gauttieri, M.C., Hackspacher, P.C., Neto, J.C.H., Franco-Magalhães, A.O., 2010, Denudation history of the Bocaina Plateau, Serra do Mar, southeastern Brazil: Relationships to Gondwana breakup and passive margin development. *Gondwana Research*, 18(4), 674-687.
- Heilbron, M., Mohriak, W., Valeriano, C.M., Milani, E., Almeida, J.C.H., Tupinambá, M., 2000, From collision to extension: the roots of the South-eastern continental margin of Brazil. In: Talwani, Mohriak (Eds.), *Atlantic Rifts and Continental Margin*. AGU Geophysical Monograph Series, vol. 115, 354 pp
- Heilbron, M., Machado, N., Simonetti, T., Duarte, B., 2003, A Palaeoproterozoic orogen reworked within the Neoproterozoic Ribeira Belt, SE Brazil. In: IV South American Symposium on Isotope Geology, Salvador, Brazil, Short Papers, 1, 186–189.
- Heilbron, M., Machado, N., 2003, Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic–Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*, 125(1-2), 87-112.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos Neto, M.C., Silva, L.C., Trouw, R.A.J., Janasi, V.A., 2004, Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito Neves B.B. (eds.) *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, São Paulo, Beca, p. 203-234.
- Heilbron, M., Valeriano C.M., Tassinari C.C.G., Almeida J.C.H., Tupinambá M., Siga Jr. O., Trouw R.J.A., 2008, Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. In: Pankhurst R.J., Trouw R.A.J., Brito Neves B.B., De Wit M.J. (Eds.) *West Gondwana Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*, 294. The Geological Society of London, London, pp. 211–237. <http://dx.doi.org/10.1144/SP294.12>
- Heilbron, M., Tupinambá M, Valeriano CM, Armstrong R, Eirado Silva LG, Melo RS, Simonetti A, Machado N., 2013, The Serra da Bolívia complex: the record of a new neoproterozoic arc-related unit at ribeira belt. *Precambrian Research*, v. 50:1–35
- Heilbron, M., Cordani U., Alkmin F., 2017, The Ribeira Belt. In: (eds) *São Francisco Craton, Eastern Brazil. Regional Geology Reviews*. Springer, Cham.
- Heilbron, M., Valeriano, C.M., Peixoto C., Tupinambá, M., Neubauer, F., Dussin, I., Corrales F., Bruno H., Lobato, M., Almeida, J.C.H., Silva, L.G.E., 2020a, Neoproterozoic magmatic arc systems of the central Ribeira belt, SE-Brazil, in the context of the West-Gondwana pre-collisional history: A review. *Journal of South American Earth Sciences*, 102710.
- Heilbron, M., Silva, L.G.D.E., Almeida, J.C.H.D., Tupinambá, M., Peixoto, C., Valeriano, C. D.M., Girão, R., 2020b, Proterozoic to Ordovician geology and tectonic evolution of Rio de Janeiro State, SE-Brazil: insights on the central Ribeira Orogen from the new 1: 400,000 scale geologic map. *Brazilian Journal of Geology*, 50.
- Heilbron, M., Valeriano, C., 2020c, Comment on “Tectono Metamorphic Evolution of the Central Ribeira Belt, Brazil: a Case of Late Neoproterozoic Intracontinental Orogeny and Flow of Partially Molten Deep Crust During the Assembly of West by Meira et al. <https://doi.org/10.1029/2019TC005897>.
- Heilbron M., de Morisson Valeriano, C., Peixoto, C., Tupinambá, M., Neubauer, F., Dussin, I., Corrales, F., Bruno, H., Lobato, M., Horta de Almeida, J. C., Guilherme do Eirado

- Silva, L., 2021, A reply to Fossen et al. (2020) comment to “Neoproterozoic magmatic arc systems of the central Ribeira belt, SE-Brazil, in the context of the West-Gondwana pre-collisional history: A review.” *Journal of South American Earth Sciences*, 106, 103113. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103113>
- Henriques, M.H., dos Reis, R.P., Brilha, J., Mota, T., 2011, Geoconservation as an emerging geoscience. *Geoheritage*, 3, 117-128.
- Henrique-Pinto, R., Janasi, V. de A., Carvalho, B.B., Calado, B. de O., Grohmann, C.H., 2014, Integrated geological map of the São Roque domain, north of Sao Paulo city - Brazil. *J. Maps* 10 (3), 434–439. <https://doi.org/10.1080/17445647.2014.883338>.
- Hoffman, P.F., Kaufman, A.J., Halverson, G.P., Schrag, D.P., 1998, A neoproterozoic snow-ball earth. *Science* 281, 1342e1346.
- Hoskin, P.W.O., Black, L.P., 2000, Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *Journal of Metamorphic Geology* 18: 423–439. <https://doi.org/10.1046/j.1525-1314.2000.00266.x>.
- Hose, T.A., Marković, S.B., Komac, B., Zorn, M., 2011, Geotourism—a short introduction. *Acta geographica Slovenica*, 51(2), 339-342.
- Hoskin, P.W.O., Black, L.P., 2000, Metamorphic zircon formation by solid state recrystallization of protolith igneous zircon. *Journal of Metamorphic Geology* 18: 423-439
- Hoskin, P.W., Schaltegger, U., 2003, The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 53(1), 27-62.
- Huang, G., Guo, J., Jiao, S., Palin, R., 2019, What drives the continental crust to be extremely hot so quickly?. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124(11), 11218-11231.
- Hyndman, R.D., Currie, C.A., Mazzotti, S.P., 2005, Subduction zone backarcs, mobile belts, and orogenic heat. *GSA today*, 15(2), 4-10.
- Ibanez, K., Garcia, M.G.M., Mazoca, C.E.M., 2021, Tectonic geoheritage as records of Western Gondwana history: an study based on a geosite's potential in the central Ribeira Belt, Southeastern Brazil. *Geoheritage*. <https://doi.org/10.1007/s12371-021-00533-3>
- IPCC, 2022, *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926
- Jaffey, A.H., Flynn, K.F., Glendenin, L.E., Bentley, W.T., Essling, A.M., 1971, Precision measurement of half-lives and specific activities of U 235 and U 238. *Physical review C*, 4(5), 1889.
- Janasi, V.A., Vasconcellos, A.C.B.C., Siga Jr., O., Sato, K., Machado, F.B., Martins, L., Garcia, M.G.M., 2015, In situ U-Pb dating and Hf isotope geochemistry of zircons from granites of the Costeiro Domain, SE Brazil: timing and source contrasts with neighboring terranes of the Ribeira Belt. *The 8th Hutton Symposium of Granites and Related Rocks*. Florianópolis, p. 69.
- Johnson, T.E., White, R. W., Powell, R., 2008, Partial melting of metagreywacke: a calculated mineral equilibria study. *Journal of Metamorphic Geology*, 26(8), 837-853.
- Juliani, C., Hackspacher, P., Dantas, E.L., Fetter, A.H., 2000, The mesoproterozoic volcano-sedimentary Serra do Itaberaba Group of the Central Ribeira Belt, São Paulo State, Brazil: implications for the age of the overlying São Roque Group. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1), 082–086. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2000301082086>

- Kelly, N.M., Harley, S.L., 2005, An integrated microtextural and chemical approach to zircon geochronology: refining the Archaean history of the Napier Complex, east Antarctica. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 149: 57-84
- Kelsey, D.E., Clark, C., Hand, M., 2008, Thermobarometric modelling of zircon and monazite growth in melt-bearing systems: Examples using model metapelitic and metapsammitic granulites. *Journal of Metamorphic Geology*, 26(2), 199-212.
- Kelsey, D.E., Hand, M., 2015, On ultrahigh temperature crustal metamorphism: phase equilibria, trace element thermometry, bulk composition, heat sources, timescales and tectonic settings. *Geoscience Frontiers*, 6(3), 311-356.
- Kiernan, K., 1996, *The Conservation of Glacial Landforms*. Forest Practices Unit, Hobart, Tasmania.
- Kiernan, K., 1997, *The Conservation of Landforms of Coastal Origin*. Forest Practices Unit, Hobart, Tasmania.
- Kohn, M.J., Corrie, S.L., Markley, C., 2015, The fall and rise of metamorphic zircon. *American Mineralogist* 100: 897–908. <https://doi.org/10.2138/am-2015-5064>.
- Konopásek, J., Cavalcante, C., Fossen, H., Janoušek, V., 2020, Adamastor—an ocean that never existed?. *Earth-Science Reviews* 205, 103201.
- Korhonen, F. J., Clark, C., Brown, M., Bhattacharya, S., Taylor, R., 2013, How long-lived is ultrahigh temperature (UHT) metamorphism? Constraints from zircon and monazite geochronology in the Eastern Ghats orogenic belt, India. *Precambrian Research*, 234, 322-350.
- Li, Z., Zeng, Z., Liu, Y., 2023, Boudinage and the rheology of syntectonic migmatites in the high-strain Taili deformation zone, NE China. *Geosphere*, 19(1), 75-99.
- Lin, L., Sawyer, E.W., 2019, Microstructure and compositional changes across biotite-rich reaction selvages around mafic schollen in a semipelitic diatexite migmatite. *Journal of Metamorphic Geology*, 37(4), 539-566.
- Lobato, M., Heilbron, M., Torós, B., Ragatky, D., Dantas, E., 2015, Provenance of the Neoproterozoic high-grade metasedimentary rocks of the arc-related Oriental Terrane of the Ribeira belt: Implications for Gondwana amalgamation. *Journal of South American Earth Sciences*, 63, 260–278. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.07.019>
- Lopes, L.S.O., Araújo, J.L.L., Nascimento, M.A.L., 2013, Inventário e quantificação do patrimônio geológico do Parque Nacional Sete Cidades, Piauí. *Revista Equador (UFPI)*, 1(1), 58–76. <https://doi.org/10.26694/equador.v2i1.1010>.
- Macadam, J., 2018, *Geoheritage: getting the message across. What message and to whom?* In: E. Reynard, J. Brilha (Eds.) *Geoheritage: assessment, protection, and management*. Elsevier.
- Maffra, C.Q.T., 2000, *Geologia estrutural do embasamento cristalino na região de São Sebastião, SP: evidências de um domínio transpressivo*. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. <https://doi:10.11606/D.44.2000.tde-26082015-13554>
- Mansur, K.L., 2010, *Diretrizes Para geoconservação do Patrimônio geológico do Estado do Rio de Janeiro: O Caso do Domínio Tectônico Cabo Frio (Doctoral dissertation)*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazil.
- Marques, F.O., Fonseca, P.D., Lechmann, S., Burg, J.P., Marques, A.S., Andrade, A.J., Alves, C., 2012, Boudinage in nature and experiment. *Tectonophysics*, 526, 88-96.
- Martin, S., 2014, Interactive visual media for geomorphological heritage interpretation. Theoretical approach and examples. *Geoheritage*, 6(2), 149-157.
- Martins, L., Garcia, M.D.G.M., Reverte, F.C., 2014, *Geologia do Arquipélago de Alcatrazes, litoral norte do Estado de São Paulo*. Anais, 290.

- MEA, 2005, Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: wetlands and water synthesis.
- Meira, V.T., 2014, Evolução tectono-metamórfica neoproterozoica dos complexos Embu e Costeiro no contexto de formação do Gondwana Ocidental (leste do estado de São Paulo), 266 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Meira V.T., Juliani, C., Schorscher, J.H.D., Garcia-Casco, A., Hyppolito, T., 2014, Does the Pico do Papagaio Batholith indeed represent a Neoproterozoic Magmatic Arc? Paper presented at 9th South American Symposium on Isotope Geology, São Paulo, Brazil.
- Meira, V.T., Garcia-Casco, A., Juliani, C., Almeida, R. P., Schorscher, J.H.D., 2015, The role of intracontinental deformation in supercontinent assembly: Insights from the Ribeira Belt, Southeastern Brazil (Neoproterozoic Western Gondwana). *Terra Nova*, 27(3), 206–217. <https://doi.org/10.1111/ter.12149>
- Meira, V.T., Garcia-Casco A., Hyppolito T., Juliani C., Schorscher J.H.D., 2019a, Tectono-Metamorphic Evolution of the Central Ribeira Belt, Brazil: A Case of Late Neoproterozoic Intracontinental Orogeny and Flow of Partially Molten Deep Crust During the Assembly of West Gondwana. *Tectonics* 38, 3182–3209.
- Meira, V.T., Garcia-Casco, A., Juliani, C., Schorscher, J.H.D., 2019b, Late Tonian within-plate mafic magmatism and Ediacaran partial melting and magmatism in the Costeiro Domain, Central Ribeira Belt, Brazil. *Precambrian Research*, 334, 105440. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2019.105440>
- Meira, S.A., de Moraes, J.O., 2018, Inventário e Avaliação do Patrimônio Geológico do Parque Nacional de Jericoacoara, Ceará, Brasil [Inventory and geoheritage evaluation in Jericoacoara National Park, Ceará, Brazil]. *Ateliê Geográfico, Goiânia*, 11(3), 53–76. <https://doi.org/10.5216/ag.v11i3.42221>.
- Mehnert, K.R., 1968, *Migmatites and the Origin of Granitic Rocks*. Elsevier, Amsterdam.
- Minioli, B., 1971, Determinações potássio-argônio em rochas localizadas no litoral norte do Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 43(2):443-448.
- Moraes, S.M., 1999, Programa Levantamentos Geológicos do Brasil: Integração Geológica da Folha Santos SF.23-Y-D. São Paulo, Brazilian Geological Survey, scale 1:250.000.
- Moraes, R., Nicollet, C., Barbosa, J. S. F., Fuck, R. A., Sampaio, A. R., 2015, Applications and limitations of thermobarometry in migmatites and granulites using as an example rocks of the Araçuaí Orogen in southern Bahia, including a discussion on the tectonic meaning of the current results. *Brazilian Journal of Geology*, 45, 517-539
- Mohriak, W., Nemčok, M., Enciso, G., 2008, South Atlantic divergent margin evolution: rift-border uplift and salt tectonics in the basins of SE Brazil. *Geological Society, London, Special Publications*, 294(1), 365-398.
- Mondou, M., Egydio-Silva, M., Vauchez, A., Raposo, M.I.B., Bruguier, O., Oliveira, A.F., 2012, Complex, 3D strain patterns in a synkinematic tonalite batholith from the Araçuaí Neoproterozoic orogen (Eastern Brazil): Evidence from a combined magnetic and isotopic chronology studies. *Journal of Structural Geology*, 39: 158-179.
- Morbidelli, L., Gomes, C.B., Beccaluva, L., Brotzu, P., Conte, A. M., Ruberti, E., Traversa, G., 1995, Mineralogical, petrological and geochemical aspects of alkaline and alkaline-carbonatite associations from Brazil. *Earth-Science Reviews*, 39(3-4), 135-168.
- Moraes, R., Brown, M., Fuck, R.A., Camargo, M.A., Lima, T. M., 2002, Characterization and P-T evolution of melt-bearing ultrahigh-temperature granulites: an example from the Anápolis-Itaçu Complex of the Brasília Fold Belt, Brazil. *Journal of Petrology*, 43: 1673-1705.
- Moraes, R., Nicollet, C., Barbosa, J.S.F., Fuck, R.A., Sampaio, A.R., 2015, Applications and limitations of thermobarometry in migmatites and granulites using as an example rocks

- of the Araçuaí Orogen in southern Bahia, including a discussion on the tectonic meaning of the current results. *Brazilian Journal of Geology*, 45, 517-539.
- Moura, P., Garcia, M.G.M., Brilha, J., Amaral, W.S., 2017, Conservation of geosites as a tool to protect geoheritage: The inventory of Ceará central domain, Borborema Province - NE/Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 89(4), 2625–2645. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170600>.
- Mucivuna, V.C., Garcia, M.G.M., Del Lama, E.A., 2016, Inventário e avaliação quantitativa do patrimônio geológico do município de Bertioga-SP.
- Mucivuna, V.C., Garcia, M.G.M., Reynard, E., 2022, Criteria for assessing geological sites in national parks: A study in the Itatiaia National Park, Brazil. *Geoheritage*, 14(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s12371-021-00633-0>.
- Nance, R.D., Murphy, J.B., Santosh, M., 2014, The supercontinent cycle: a retrospective essay. *Gondwana Research* 25, 4e29.
- Nascimento, M.A.L., Costa, S.S.S., Borba, A.W., Sell, J.C., 2021, Aspirantes e Projetos de Geoparques no Brasil em 2020. Relatório Técnico, Natal: Comissão de Geoparques da Sociedade Brasileira de Geologia, 7 p.
- Nature, 2023, The Sustainable Development Goals are failing. Science can do more to save them. *Nature* 618 : 647–647. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/d41586-023-01989-9>
- Navarro, M.S., Andrade S., Ulbrich H.H., Gomes C.B., Girardi A.V.V., 2008, The Direct Determination of Rare Earth Elements in Basaltic and Related Rocks using ICP-MS: Testing the Efficiency of Microwave Oven Sample Decomposition Procedures. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 32 (2), 167–180.
- Newsome, D., Dowling, R., 2018, Geoheritage and geotourism. In *Geoheritage* (pp. 305-321). Elsevier.
- Oh, C. W., 2021, “P-T-t paths,” in *Encyclopedia of Geology*. Second Edition (Cambridge, MA, USA: Academic Press), 597–611. doi:10.1016/B978-0-08-102908-4.00163-6
- Oriolo, S., Oyhantçabal, P., Wemmer, K., & Siegesmund, S., 2017, Contemporaneous assembly of Western Gondwana and final Rodinia break-up: implications for the supercontinent cycle. *Geoscience Frontiers*, 8(6), 1431-1445.
- Panosso Netto, A., Ayres, L. H. L., 2012, O discurso dos residentes sobre o turismo em São Sebastião-SP: uma tentativa de análise fenomenológica. *Turismo e Patrimônio*.
- Papadopoulou, E. E., Vasilakos, C., Zouros, N., Soulakellis, N., 2021, DEM-Based UAV Flight Planning for 3D Mapping of Geosites: The Case of Olympus Tectonic Window, Lesvos, Greece. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(8), 535.
- Pascual, U., Balvanera, P., Anderson, C.B. et al., 2023, Diverse values of nature for sustainability. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06406-9>
- Pasquaré Mariotto, F., Bonali, F. L., 2021, Virtual geosites as innovative tools for geoheritage popularization: A case study from Eastern Iceland. *Geosciences*, 11(4), 149.
- Passarelli, C.R., Basei, M.A.S., Campos Neto, M.C., Siga, O., Prazeres Filho, H.J., 2004, Geocronologia e geologia isotópica dos terrenos Pré-Cambrianos da porção sul-oriental do Estado de São Paulo. *Geologia USP* 4, 55–74.
- Passarelli, C.R., Basei, M.A., Wemmer, K., Siga, O., Oyhantçabal, P., 2011, Major shear zones of southern Brazil and Uruguay: escape tectonics in the eastern border of Rio de La plata and Parapanema cratons during the Western Gondwana amalgamation. *International Journal of Earth Sciences*, 100, 391-414.
- Passarelli, C.R., Basei, M.A.S., Siga Jr., O., Harara, O.M.M., 2018, The Luis Alves and Curitiba Terranes: Continental Fragments in the Adamastor Ocean. *Geology of Southwest Gondwana, Regional Geology Reviews*, pp. 189–215 Chap. 8.

- Passarelli, C.R., Basei, M.A.S., Siga, O., Cavalcante da Silva, P., Shinoda, R., 2016, New U–Pb LA–ICP–MS ages from granitic and migmatitic rocks of the Costeiro Terrane, Mongaguá Domain, Southeastern Brazil: some petrogenetic implications. South American Symposium on Isotope Geology, 10, Puerto Vallarta, Mexico CD of Abstracts.
- Passarelli, C.R., Verma, S.K., McReath, I., Basei, M.A.S., Siga, O., Jr., 2019, Tracing the history from Rodinia break-up to the Gondwana amalgamation in the Embu Terrane, southern Ribeira Belt, Brazil. *Lithos*, 342–343, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.05.024>
- Passarelli, C.R., Verma, S. K., 2020, Evidence of mingling between contrasting magmas in the Ribeirão do Óleo Pluton, Coastal Terrane and the tectonic implications on the Ribeira Belt, Brazil. *International Journal of Earth Sciences*, 109(1), 317–344. <https://doi.org/10.1007/s00531-019-01804-9>
- Pasquaré Mariotto, F., Bonali, F.L., 2021, Virtual geosites as innovative tools for geoheritage popularization: A case study from Eastern Iceland. *Geosciences*, 11(4), 149.
- Papadopoulou, E.E., Vasilakos, C., Zouros, N., Soulakellis, N., 2021, DEM-based UAV flight planning for 3D mapping of geosites: The case of olympus tectonic window, Lesvos, Greece. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(8), 535.
- Patias, D., Cury, L.F., Siga Jr., O., 2019, Transpressional deformation during Ediacaran accretion of the Paranaçuá Terrane, southernmost Ribeira Belt, western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, 96, 102374.
- Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Wiedemann, C.M., Pinto, C.P., 2001, The Araçuai-West Congo orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanland assembly. *Precambrian Res.*, 110: 307-323
- Pedrosa-Soares, A.C., De Campos, C.P., Noce, C., Silva, L.C., Novo, T., Roncato, J., Alkmim, F., 2011, Late Neoproterozoic-Cambrian granitic magmatism in the Araçuai orogen (Brazil), the Eastern Brazilian Pegmatite Province and related mineral resources. Geological Society, London, Special Publications, 350(1), 25-51.
- Peixoto, C.A., Heilbron, M., 2010, Geologia da Klippe Italva na Região entre Cantagalo e Itaocara, Nordeste do Estado do Rio de Janeiro. *Geociências (UNESP. Impresso)*, 3:277–289
- Peixoto, C.A., Heilbron, M., Ragatky, D., Armstrong, R., Dantas, E., de Morisson Valeriano, C., & Simonetti, A., 2017, Tectonic evolution of the Juvenile Tonian Serra da Prata magmatic arc in the Ribeira belt, SE Brazil: Implications for early west Gondwana amalgamation. *Precambrian Research*, 302, 221–254. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2017.09.017>
- Pereira, D.I., Pereira, P., Brilha, J., Santos, L., 2013, Geodiversity assessment of Paraná State (Brazil): an innovative approach. *Environmental management*, 52, 541-552.
- Pereira, R.G.F.A., 2010, Geoconservação e Desenvolvimento Sustentável na Chapada Diamantina (Bahia-Brasil). 295f. Tese (Doutorado) - Escola de Ciências, Universidade do Minho, Braga.
- Philipp, R.P., Massone H.J., Campos R.S., 2013, Peraluminous leucogranites of Cordilheira Suite, record of Neoproterozoic collision and generation of Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 43:8-24.
- Philipp, R.P., Pimentel M. M., Chemale Jr F., 2016, Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. *Brazilian Journal of Geology*, 46(suppl 1), 83–104. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201620150016>
- Pimentel, M.M., Fuck, R.A., Jost, H., Ferreira Filho, C.F., Araújo, S.M., 2000, The basement of the Brasília Fold Belt and the Goiás Magmatic Arc. In: Cordani, U. G., Milani, E. J.,

- Thomaz Filho, A. & Campos, D. A. (eds) Tectonic Evolution of South America, 31st International Geological
- Ponçano, W. L., 1981, As coberturas cenozóicas. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala, 1(500.000), 82-96.
- Porada, H., 1989, Pan-African rifting and orogenesis in southern to equatorial Africa and Eastern Brazil. *Precambrian Res.*, 44:103-136.
- Prochoroff, R., 2014, O patrimônio geológico de Ilhabela-SP: estratégias de geoconservação (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Prochoroff, R., Brilha, J., 2017, Inventário de sítios geológicos no parque nacional Serra da Capivara (Piauí, Brasil) e entorno: Resultados parciais de uma estratégia de geoconservação visando o desenvolvimento sustentável. *Comunicações Geológicas*, 104(1), 75–81.
- Prosser, C.D., 2008, The history of geoconservation in England: legislative and policy milestones. *Geological Society, London, Special Publications*, 300(1), 113-122.
- Prosser, C.D., 2013, Our rich and varied geoconservation portfolio: the foundation for the future. *Proceedings of the Geologists' Association*, 124(4), 568-580.
- Prosser, C.D., Díaz-Martínez, E., Larwood, J.G., 2018, The conservation of geosites: principles and practice. In *Geoheritage* (pp. 193-212). Elsevier
- Pugsley, J.H., Howell, J.A., Hartley, A., Buckley, S.J., Brackenridge, R., Schofield, N., Vanbiervliet, J., 2022, Virtual field trips utilizing virtual outcrop: construction, delivery and implications for the future. *Geoscience Communication*.
- Raimondo, T., Hand, M., Collins, W. J., 2014, Compressional intracontinental orogens: Ancient and modern perspectives. *Earth-Science Reviews*, 130, 128-153.
- Raposo, M.I.B., 2017, Magnetic fabrics of the Cretaceous dike swarms from São Paulo coastline (SE Brazil): Its relationship with South Atlantic Ocean opening. *Tectonophysics*, 721, 395-414.
- Reverte, F.C., 2014, Avaliação da geodiversidade em São Sebastião-SP como patrimônio geológico. Dissertação (Mestrado): Instituto de Geociências / Universidade de São Paulo – São Paulo. 208p.
- Reverte, F.C., Garcia, M.G.M., 2016, O patrimônio geológico de São Sebastião-SP Inventário e uso potencial de geossítios com valor científico. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 35, n. 4, p.495-511.
- Reverte, F.C., Garcia, M.G.M., Brilha, J., Moura, T.T., 2019, Inventário Como instrumento de gestão e preservação da memória geológica: Exemplo dos geossítios vulneráveis da Bacia de Taubaté-SP. *Pesquisas em Geociências*, 46(1), e0779. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.93252>.
- Reynard, E., Brilha, J., Edts., 2018, *Geoheritage: assessment, protection and management*. Elsevier, Amsterdam, 450p. ISBN: 978-0-12-809531-7
- Ribeiro, L.M.A.L., Garcia, M.D.G.M., Higa, K. K., 2021, The geological heritage of the state of São Paulo: potential geosites as a contribution to the Brazilian national inventory. *Journal of the Geological Survey of Brazil*, 4, 45-54.
- Ricardo, B.S., Faleiros, F.M., de Moraes, R., Siga Júnior, O., Campanha, G.A.C., 2020, Tectonic implications of juxtaposed high- and low-pressure metamorphic field gradient rocks in the Turvo-Cajati Formation, Curitiba Terrane, Ribeira Belt, Brazil. *Precambrian Res.* 345 (August 2019), 105766. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105766>.
- Ricomini, C., Sant'Anna, L.G., Ferrari, A.L., 2004, Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, CDR, 383-405.

- Riccomini, C., Velázquez, V.F., Gomes, C.B., 2005, Tectonic controls of the Mesozoic and Cenozoic alkaline magmatism in Central- Southeastern Brazilian Platform In: Comin-Chiaramonti P., Gomes C.B. (eds.) Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform. São Paulo, Edusp/FAPESP, p. 31-55.
- Rocha, A.J.D., Lima, E., Schobbenhaus, C., 2016, Aplicativo GEOSSIT – Nova Versão. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 48., 2016. Anais... Porto Alegre: SBG.
- Rodrigues, J., Costa e Silva, E., Pereira, D.I., 2023, How Can Geoscience Communication Foster Public Engagement with Geoconservation?. *Geoheritage*, 15(1), 32.
- Rojas, G.E.E., Ruberti, E., Azzone, R. G., Gomes, C.D.B., 2016, Eudialyte-group minerals from the Monte de Trigo alkaline suite, Brazil: composition and petrological implications. *Brazilian Journal of Geology*, 46, 411-426
- Ross, J.L.S., Fierz, M.D.S.M., 2018, A Serra do Mar e a Planície Costeira em São Paulo: morfogênese, morfodinâmica e as suas fragilidades. *Boletim Paulista de Geografia*, (100), 17-38.
- Rubatto, D., Gebauer, D., 2000, Use of cathodoluminescence for U-Pb zircon dating by ion microprobe: some examples from the Western Alps. In *Cathodoluminescence in geosciences* (pp. 373-400). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Rubatto, D., Williams, I.S., Buick, I.S., 2001, Zircon and monazite response to prograde metamorphism in the Reynolds Range, central Australia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 140(4), 458-468.
- Rubatto, D., 2017, Zircon: the metamorphic mineral. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 83(1), 261-295.
- SGB - Serviço Geológico do Brasil, 2024, acesso: <https://geoportal.sgb.gov.br/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=9cc08fa17d5847efb10c36f255672f61&page=P%C3%A1gina-Inicial&views=Exibir-46%2Cnascente-sf>, (março 2024).
- Salazar Mora, C.A., Campanha, G.A.D.C., Wemmer, K., 2013, Microstructures and K-Ar illite fine-fraction ages of the cataclastic rocks associated to the Camburu Shear Zone, Ribeira Belt, Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 43(4), 607-622.
- Santos, P.L.A., 2014, Patrimônio geológico em áreas de proteção ambiental: Ubatuba – SP. São Paulo, 207p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Santos, P.L.A., Garcia, M.D.G.M., 2023, Identification of priority geosites for public use management: application to the geological heritage inventory of São Paulo state. *Geologia USP. Série Científica*, 23(2), 27-40.
- Santos, I., Henriques, R., Mariano, G., Pereira, D.I., 2018, Methodologies to represent and promote the geoheritage using unmanned aerial vehicles, multimedia technologies, and augmented reality. *Geoheritage*, 10, 143-155.
- Santos, I., Henriques, R., Mariano, G., Santos, E., 2021, UAV's multimedia technology and augmented reality (geointegration): New concept and new paradigm of geodiversity presentation. *Global Geographical Heritage, Geoparks and Geotourism: Geoconservation and Development*, 59-74.
- Sawyer, E.W., 2008, Atlas of migmatites (Vol. 9). NRC Research press.
- Schmitt, R.S., Trouw, R.A.J., Van Schmus, W.R., Pimentel, M.M., 2004, Late amalgamation in the central part of Western Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian collision orogeny in the Ribeira belt (SE Brazil). *Precambrian Research* 133: 29–61
- Schmitt, R.D.S., Fragoso, R. D.A., Collins, A.S., 2018, Suturing Gondwana in the Cambrian: the orogenic events of the final amalgamation. *Geology of southwest Gondwana*, 411-432.

- Schobbenhaus, C., Brito Neves, B.B.D., 2003, A geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. Brasília, CPRM, 5-25.
- Schobbenhaus, C., Silva, C.D., 2010, O papel indutor do Serviço Geológico do Brasil na criação de geoparques. Brasília: CPRM–Serviço Geológico do Brasil.
- Schobbenhaus, C., Rocha, A.J.D., 2021, Projeto Geoparques do Serviço Geológico do Brasil. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. Guia de Áreas Protegidas do Governo do Estado de São Paulo., 2023, Parque Estadual Serra do Mar - Núcleo São Sebastião. Disponível em: <https://guiadeareasprotegidas.sp.gov.br/ap/parque-estadual-serra-do-mar-nucleo-sao-sebastiao/>. Acesso em: 15 março de 2023.
- Sharples, C., 1993, A Methodology for the Identification of Significant Landforms and Geological Sites for Geoconservation Purposes. Forestry Commission Tasmania.
- Sharples, C., 2002, Concepts and principles of geoconservation. Tasmanian Parks & Wildlife Service, Hobart.
- Si, Y., Ge, R., Zhou, T., Wang, Y., 2022, Decoupling of metamorphic zircon U-Pb ages and PT paths in the Dunhuang metamorphic complex, northwestern China. *Precambrian Research*, 379, 106783.
- Siga Junior, O., 1995, Domínios tectônicos do sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: geocronologia e evolução crustal. Doctor of Science Thesis. Geosciences Institute, University of São Paulo, 212 pp.
- Siga, O. Jr., Basei, M.A.S., Nutman, A., Sato, K., McReath, I., Passarelli, C.R., Liu, D., 2011, Extensional and collisional magmatic records in the Apiaí Terrane, south-southeastern Brazil: Integration of geochronological U-Pb zircon ages. *Geologia USP*, 11, 149–175.
- Silva, L.C., Da Mcnaughton, N.J., Armstrong, R., Hartmann, L.A., Fletcher, I., 2005, The Neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon-based U–Pb geochronological subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens. *Precambrian Research*, 166, 203–240.
- Silva, C.R.D., 2008, Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro. CPRM.
- Silva, A.T.S.F. et al., 1977, O Complexo Bairro do Marisco (Caraguatatuba, SP). In: SIMP. GEOL, REG., 1. São Paulo, 1977. Atas... São Paulo, SBG. p. 74-90.
- SMA – Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo., 2006, Plano de Manejo do Parque Estadual da Serra do Mar. São Paulo: IF. 445p
- SMA – Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo., 2023, Plano de Manejo do Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Marinha do Litoral Norte (APAMLN). São Paulo: IF. 671p. Disponível em: <https://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Default.aspx?idPagina=15387>
- Souza, C.R.G., 2012, Praias arenosas oceânicas do estado de São Paulo (Brasil): síntese dos conhecimentos sobre morfodinâmica, sedimentologia, transporte costeiro e erosão costeira. *Revista do Departamento de Geografia USP, Vol. Esp. 30 anos: 307-371*.
- Stewart, I., 2016, Sustainable geoscience. *Nature Geoscience*, 9(4), 262-262.
- Suguió, K., Martin, L., 1978, Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense: Quaternary marine formations of the state of São Paulo and southern Rio de Janeiro. *Special Publication*, (1), 55.
- Tack, L., Wingate, M.P.D., Lie Gois, J.P., Fernandez-alonso, M., Deblond, A., 2001, Early Neoproterozoic magmatism (1000–910 Ma) of the Zadinian and Mayumbian Groups (Bas Congo): onset of the Rodinia rifting at the western edge of the Congo craton. *Precambrian Research*, 110, 277–306.

- Tassinari C.C.G., Campos Neto M.C., 1988, Precambrian continental crust evolution of southeastern São Paulo State- Brazil: based on isotopic evidences. *Geochimica Brasiliensis*, v. 2, n. 2, p. 175-183.
- Taylor, R. J., Kirkland, C. L., Clark, C., 2016, Accessories after the facts: Constraining the timing, duration and conditions of high-temperature metamorphic processes. *Lithos*, 264, 239-257.
- Tedeschi, M., Novo, T., Pedrosa-Soares, A., Dussin, I., Tassinari, C., Silva, L. C., Gonçalves, L., Alkmim, F., Lana, C., Figueiredo, C., Dantas, E., Medeiros, S., De Campos, C., Corrales, F., Heilbron, M., 2016, The Ediacaran Rio Doce magmatic arc revisited (Araçuaí-Ribeira orogenic system, SE Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 68, 167–186. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.11.011>
- Thomas, B.A., Cleal, C.J., 2004, Geological conservation in the United Kingdom. *Law Science and Policy*, 2(4), 269.
- Tilden, F., 1977, *Interpreting Our Heritage*. 3rd Edition. University of North Carolina Press, Chapel Hill.
- Tormey, D., 2019, New approaches to communication and education through geoheritage. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 7(4), 192-198.
- Torquato, J.R., Cordani, U.G., 1981, Brazil-Africa geological links. *Earth-Science Reviews*, 17(1-2), 155-176.
- Trompette, R., 1998, *Geology of Western Gondwana (2000–500 Ma)*. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Trouw, R.A.J., Heilbron, M., et al., 2000, The central segment of the Ribeira Belt. In: Cordani, U. G., Milani, E. J., Thomaz Filho, A. & Campos, D. A. (eds) *Tectonic Evolution of South America*, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, 287–310.
- Trouw, R.A.J., Peternel, R., Ribeiro, A., Heilbron, M., Vinagre, R., Duffles, P., Trouw, C.C., Fontainha, M, Kussama HH., 2013, A New Interpretation for the Interference Zone between the southern Brasília belt and the central Ribeira belt, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 48: 43–57
- Tupinambá, M., Heilbron, M., Valeriano, C.M., Porto Jr., R., Dios, F.R.B., Machado, N., Silva, L.G.E., Almeida, J.C.H., 2012, Juvenile contribution of the Neoproterozoic Rio Negro Magmatic Arc (Ribeira Belt, Brazil): Implications for Western Gondwana amalgamation. *Gondwana Research*, 21: 422–438
- Tupinambá, M., Teixeira, W., Heilbron, M., 2000, Neoproterozoic Western Gondwana assembly and subduction-related plutonism: the role of the Rio Negro Complex in the Ribeira Belt, South-eastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30, 7–11.
- Uceda, A.C., 2000, Patrimonio Geológico: diagnóstico, clasificación y valoración. In: Suárez-Valgrande JP (Coord) *Jornadas sobre Patrimonio Geológico y Desarrollo Sostenible*, Monografías, Ministerio de Medio Ambiente, Soria, pp 23–37
- Valeriano, C.M., Pimentel, M.M., Heilbron, M., Almeida, J.C.H., Trouw, R.A.J., 2008, Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana. *Geological Society Special Publication*, v. 294: 197–210
- Valladares, C.S., Duarte, B.P., Machado, H.T., Viana, S.M., Figueiredo, P.L.C., 2017, Genesis and evolution of a Paleoproterozoic basement inlier within West Gondwana addressed by Sm-Nd isotopic geochemistry and Zr saturation thermometry. *Journal of South American Earth Sciences*, 80, 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.09.005>
- Vermeesch, P., 2018, IsoplotR: a free and open toolbox for geochronology. *Geoscience Frontiers*, 9, 1479-1493.
- Viana, C.D., 2021, *Fotogrametria digital multi-escala para aquisição de dados estruturais* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

- Ward, P.D., Brownlee, D., 2000, *Rare Earth: Why Complex Life is Uncommon in the Universe*. Copernicus Books, New York.
- Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M.J., Reynolds, J.M., 2012, 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179: 300-314.
- Wetherill, G.W., 1956, Discordant uranium-lead ages, I. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 37(3), 320-326.
- White, R.W., Powell, R., 2010, Retrograde melt-residue interaction and the formation of near-anhydrous leucosomes in migmatites, *Journal of Metamorphic Geology*, 28: 579-597.
- Wiedenbein, F.W., 1993, Ein Geotopschutzkonzept für Deutschland. In: Quasten, H. (Ed.), *Geotopschutz, probleme der methodik und der praktischen umsetzung*. 1. Jahrestagung der AG Geotopschutz, Otzenhausen/Saarland, 17. University de Saarlandes, Saarbrücken.
- Wilson, R.W., Houseman, G.A., Buiter, S.J.H., McCaffrey, K.J., Doré, A.G., 2019, Fifty years of the Wilson Cycle concept in plate tectonics: an overview. *Geological Society, London, Special Publications*, 470(1), 1-17.
- Wimbledon, W.A.P., 1996, Geosites - a new conservation initiative. *Episodes* 19(3):87-88
- Wimbledon, W.A.P., 2011, Geosites—a mechanism for protection, integrating national and international valuation of heritage sites. *Geologia dell' Ambiente Supplemento* 2:13-25
- Wimbledon, W.A.P., Ishchenko, A.A., Gerasimenko, N.P., Karis, L.O., Suominen, V., Johansson, C.E., & Freden, C., 2000, Geosites-an IUGS initiative: science supported by conservation. *Geological heritage: its conservation and management*, 69-94.
- Woo, K.S., 2017, Role of IUCN WCPA Geoheritage Specialist Group for geoheritage conservation and recognition of World Heritage sites, *Global Geoparks and other protected areas. Geophysical Research Abstracts* 19, EGU2017-1137.
- Wood, C., 2009, *World Heritage volcanoes: A thematic study. A global review of volcanic World Heritage properties: present situation, future prospects and management requirements*.
- Yakymchuk, C., 2021, Migmatites. In *Encyclopedia of Geology* (pp. 492-501). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102908-4.00021-7>
- Yakymchuk, C., Brown, M., 2019, Divergent behaviour of Th and U during anatexis: Implications for the thermal evolution of orogenic crust. *Journal of Metamorphic Geology*, 37(7), 899-916.
- Yakymchuk, C., Kirkland, C. L., Clark, C., 2018, Th/U ratios in metamorphic zircon. *Journal of Metamorphic Geology*, 36(6), 715-737.
- Zalán, P.V., Oliveira, J.A.B., 2005, Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. In: *Petrobrás, Rio de Janeiro, Boletim*, 13, p. 269-300.
- Zulauf, J., Zulauf, G., Göttlich, J., Peinl, M., 2014, Formation of chocolate-tablet boudins: Results from scaled analogue models. *Journal of Structural Geology*, 68, 97-111.
- Zwoliński, Z., Najwer, A., Giardino, M., 2018, Methods for assessing geodiversity. In *Geoheritage* (pp. 27-52). Elsevier.

ANEXOS

Tabela de dados isotópicos e geocronológicos U-Pb em zircão por LA-ICP-MS