

Inventário de geossítios como instrumento de gestão e preservação da memória geológica: exemplo de geossítios vulneráveis da Bacia de Taubaté (São Paulo, Brasil)

Fernanda Coyado REVERTE^{1,2}, Maria da Glória Motta GARCIA¹, José BRILHA² & Thaís Trevisani MOURA³

¹ Núcleo de Apoio à Pesquisa em Patrimônio Geológico e Geoturismo (GeoHereditas), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Rua do Lago, 562, Térreo, Bloco D, Sala 01, CEP 05508-080, São Paulo, SP, Brasil (fernanda.reverte@usp.br, mgmgarcia@usp.br).

² Instituto de Ciências da Terra, Polo da Universidade do Minho. Campus de Gualtar, CEP 4710-057, Braga, Portugal (jbrilha@dct.uminho.pt).

³ Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Rua do Lago, 562, CEP 05508-080, São Paulo, SP, Brasil (thaistrevisani@usp.br).

Resumo. Localizada no segmento central do Rift Continental do Sudeste do Brasil, na porção leste do Estado de São Paulo, a Bacia de Taubaté ocupa uma área de aproximadamente 2400 km². A região representa um local-chave no entendimento da história geológica associada ao pós-Gondwana, apresentando elevada geodiversidade que tem sido afetada tanto por atividades antrópicas quanto pela ação de processos naturais. Por este motivo, como forma de promover a geoconservação de afloramentos representativos no contexto de evolução do rifte, foi realizado o inventário do patrimônio geológico na região. Para abranger todo este contexto geológico, três categorias foram definidas: (i) abertura da bacia; (ii) deformação e deposição neógena; e (iii) deformação quaternária e evolução do relevo. Inicialmente 38 potenciais geossítios foram identificados por meio de levantamento bibliográfico, consulta a pesquisadores e trabalhos de campo. Após a etapa de campo, verificou-se que muitos dos pontos descritos na literatura foram destruídos ou encontram-se extremamente alterados, de modo que apenas 18 geossítios compõem o inventário final. A avaliação qualitativa do inventário revela que as ações antrópicas, tais como obras de infraestrutura e atividades de mineração, correspondem ao principal fator de perda da geodiversidade local. Por isso, os resultados deste inventário devem ser considerados nas políticas públicas de gestão territorial, possibilitando o prosseguimento de estudos futuros nestes locais, de forma a conservar a memória geocientífica deste importante segmento do sudeste do Brasil.

Palavras-chave. Bacia de Taubaté, patrimônio geológico, categorias geológicas, vulnerabilidade.

Abstract. INVENTORY OF GEOSITES AS AN INSTRUMENT FOR THE MANAGEMENT AND PRESERVATION OF THE GEOLOGICAL MEMORY: EXAMPLE OF VULNERABLE GEOSITES OF THE TAUBATÉ BASIN (SÃO PAULO STATE, BRAZIL). The Taubaté Basin occupies an area of approximately 2400 km² in the eastern portion of the state of São Paulo, in the central part of the so-called "Continental Rift of Southeastern Brazil". The region represents a key location in the understanding of the geological history related to post-Gondwana and has high geodiversity that has been affected both by anthropic activities and the result of natural processes. For this reason, as a way to promote the geoconservation of the outcrops that are representative of the rift evolution, an inventory of the region's geological heritage was carried out. Three geological frameworks were defined to encompass the context of rift evolution: (i) basin opening; (ii) Neogenic deposition and deformation; and (iii) Quaternary deformation and landform evolution. The 38 potential geosites were initially selected through bibliographical survey, consultation with researchers and fieldwork. Subsequent field work revealed that many of the points described in the literature had either been destroyed or were extremely degraded. This way, the final list of the inventory was reduced to as few as 18 geosites. The qualitative evaluation of the inventory shows that anthropic actions, such as infrastructure work and mining activities, are the main cause of loss of local geodiversity. For this reason, the results of this inventory should be considered in public policies of territorial management, so as to allow the continuation of future studies in these places, in order to preserve the geoscientific memory of this important segment of southeastern Brazil.

Keywords. Taubaté Basin, geoheritage, geological frameworks, vulnerability.

1 Introdução

Desde os primórdios das civilizações o conhecimento acerca do território é um fator fundamental à sobrevivência dos seres humanos, condicionando a escolha dos melhores locais para a sua instalação e desenvolvimento, ou seja, aqueles favorecidos pela geodiversidade em virtude da demanda de recursos por ela disponibilizados. A geodiversidade resulta do conjunto de fenômenos e processos intrínsecos à dinâmica da Terra originando os mais variados elementos, tais como minerais, rochas, fósseis, solos e formas de relevo, que servem como suporte ao desenvolvimento de todas as espécies (Stanley, 2000; Brilha, 2005). As ocorrências que apresentam relevância do ponto de vista científico são definidas por Brilha (2016) como geossítios; para aquelas sem valor científico, mas ainda assim com interesses estético, educativo e/ou turístico, o autor sugere o uso do termo sítio de geodiversidade.

Os geossítios correspondem a uma pequena parcela da geodiversidade e são representativos por conterem registros importantes da evolução da Terra, o que nos permite, por exemplo, compreender eventos ocorridos no passado e antecipar possíveis acontecimentos futuros. No entanto, a falta de conhecimento quanto às limitações de uso dos geossítios, bem como ao risco de degradação a que estão submetidos, afetados tanto pela ação de processos naturais quanto por atividades antrópicas, contribuem para uma utilização inadequada destas áreas e, eventualmente, com a sua destruição.

Neste contexto, o aumento da exploração de recursos naturais e a ocupação desordenada do território vêm afetando cada vez mais a geodiversidade do planeta, colocando em risco recursos que não são renováveis em nossa escala de tempo. Assim, tendo em vista a necessidade de promover o uso sustentável dos elementos da geodiversidade, surge um novo ramo das Ciências da Terra, denominado Geoconservação, que tem por objetivos promover a gestão de geossítios, valorizando e conservando parte da geodiversidade (Henriques *et al.*, 2011).

Para atingir os objetivos propostos pela geoconservação, diversos métodos foram

desenvolvidos ao longo dos últimos quinze anos (Bruschi & Cendrero, 2005; Pereira, 2006; Zouros, 2007; García-Cortéz & Carcavilla Urquí, 2009, por exemplo). O método proposto por Brilha (2005, revisado em Brilha, 2016) se constitui em uma metodologia "clássica" e foi muito utilizado para a quantificação de geossítios em diversos países. No Brasil, esta nova proposta sugerida pelo autor em 2016, que quantifica de maneira distinta geossítios e sítios de geodiversidade, foi adotada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) para o desenvolvimento de uma plataforma *online*, denominada GEOSSIT, concebida como forma de promover o cadastro e avaliação de sítios geológicos inventariados em todo território nacional.

Além de Brilha (2016), a referida plataforma também adaptou o método proposto por García-Cortéz & Carcavilla Urquí (2009), por apresentar quesitos relativos aos interesses científico, educativo e turístico, bem como parâmetros adotados ao cálculo da vulnerabilidade inerente aos locais inventariados. Este último permite hierarquizar a necessidade de proteção destes locais, de modo que sejam adotadas medidas de geoconservação, quando cabíveis, sejam eles geossítios ou sítios de geodiversidade.

Ainda neste contexto, alguns autores têm enfatizado a importância da geoconservação por meio da sistematização de categorias que buscam valorar o patrimônio geológico (Gray, 2004, 2005; Brilha, 2005, 2016; Pereira, 2010; Mochiutti *et al.*, 2011; Gray *et al.*, 2013).

Gray (2013), por exemplo, definiu um novo sistema de valoração que inclui parâmetros voltados à geodiversidade, nomeado pelo autor como "Serviços Geossistêmicos" (*Geosystem Services*). Tais parâmetros incluem, além do valor intrínseco, quesitos que quantificam e qualificam os recursos oriundos da natureza, variando desde os processos e produtos, como ciclo hidrológico e os recursos naturais disponibilizados pelo planeta, até suporte e cultura, através do uso dos elementos da geodiversidade enquanto substrato e disseminação do conhecimento geocientífico.

Seguindo neste escopo, uma forma de contribuir com a geoconservação de uma determinada área é por meio da realização de um inventário sistemático. As informações

obtidas através da identificação e descrição dos geossítios inventariados podem servir como base para a avaliação quantitativa e qualitativa destes locais no âmbito da relevância, uso sustentável dos seus recursos e risco de degradação, de modo a reconhecer as principais ameaças e estabelecer critérios de prioridade para a conservação.

O inventário, neste contexto, segundo Reynard & Brilha (2018), possibilita avaliar as necessidades para a conservação dos geossítios ao considerar: (i) análise do uso potencial; (ii) características físicas do local; e (iii) potenciais ameaças, tanto naturais quanto antrópicas. A partir desta avaliação, os autores afirmam que é possível desenvolver um plano de gerenciamento de modo a minimizar possíveis danos.

Desta forma, muitos autores têm proposto métodos voltados à gestão e geoconservação de áreas consideradas relevantes a partir de inventários sistemáticos do patrimônio geológico (Fuertes-Gutiérrez & Fernández-Martínez, 2010; Fuertes-Gutiérrez *et al.*, 2016; Moura *et al.*, 2017). Poiraud *et al.* (2016), por exemplo, com base em experiência obtida no *Vercors Regional Natural Park*, na França, afirmam que o inventário representa uma importante ferramenta ao planejamento territorial, incidindo em intervenções voltadas à pesquisa científica, disseminação do conhecimento geocientífico e no geoturismo. Estas ações, por sua vez, podem refletir no contexto sociocultural e nos interesses econômicos do local.

Diante do exposto, como forma de criar as bases para priorizar medidas de conservação do patrimônio geológico da Bacia de Taubaté, foco deste trabalho, foi realizado o inventário da região. Dois motivos principais condicionaram a escolha da área para a realização do inventário de geossítios. Primeiro, porque a geodiversidade desta região representa parte importante na história geológica do sudeste brasileiro, apresentando diversos afloramentos didáticos utilizados em atividades de campo nos cursos de Geociências. O segundo decorre do risco de degradação dos afloramentos, resultante tanto da ação de intemperismo severo, característico

de regiões tropicais, quanto de intensas atividades antrópicas, o que constitui um excelente laboratório para aplicar ferramentas específicas de avaliação e gestão do patrimônio geológico. Alguns afloramentos, que apresentam litotipos, estruturas e/ou fósseis de inestimável valor científico, estão vulneráveis à degradação e destruição, tornando-se imprescindível tentar preservá-los de modo que a memória geológica seja mantida para estudantes e pesquisadores.

O inventário aqui apresentado corresponde a uma das etapas da pesquisa de doutorado da primeira autora e servirá como subsídio para avaliar o decréscimo da geodiversidade local e quanto isso pode comprometer a disponibilização dos serviços geossistêmicos na região.

2 Área, materiais e métodos

2.1 Área de estudo

Localizada entre as Serras do Mar e da Mantiqueira, a Bacia de Taubaté apresenta forma alongada com aproximadamente 170 km de comprimento, 25 km de largura e uma profundidade sedimentar com espessura máxima de 850 m (Vidal *et al.*, 2004). Trata-se de uma bacia sedimentar de idade cenozoica, cuja formação está associada à abertura do Oceano Atlântico. Situada na porção leste do Estado de São Paulo, abrange onze municípios: Jacareí, São José dos Campos, Caçapava, Taubaté, Tremembé, Pindamonhangaba, Roseira, Aparecida, Guaratinguetá, Lorena e Cruzeiro (Fig. 1).

A região é atravessada por importantes rodovias que se encontram em frequente mudança em virtude da alta concentração populacional. As principais vias de acesso são as rodovias Ayrton Senna, Governador Carvalho Pinto (SP-70) e a Presidente Dutra (BR-116). A área do município de Taubaté é servida ainda pela antiga Estrada de Ferro Central do Brasil (EFGB), a qual, juntamente com a rodovia Presidente Dutra, liga os estados do Rio de Janeiro e São Paulo, importantes polos comerciais e industriais do país.

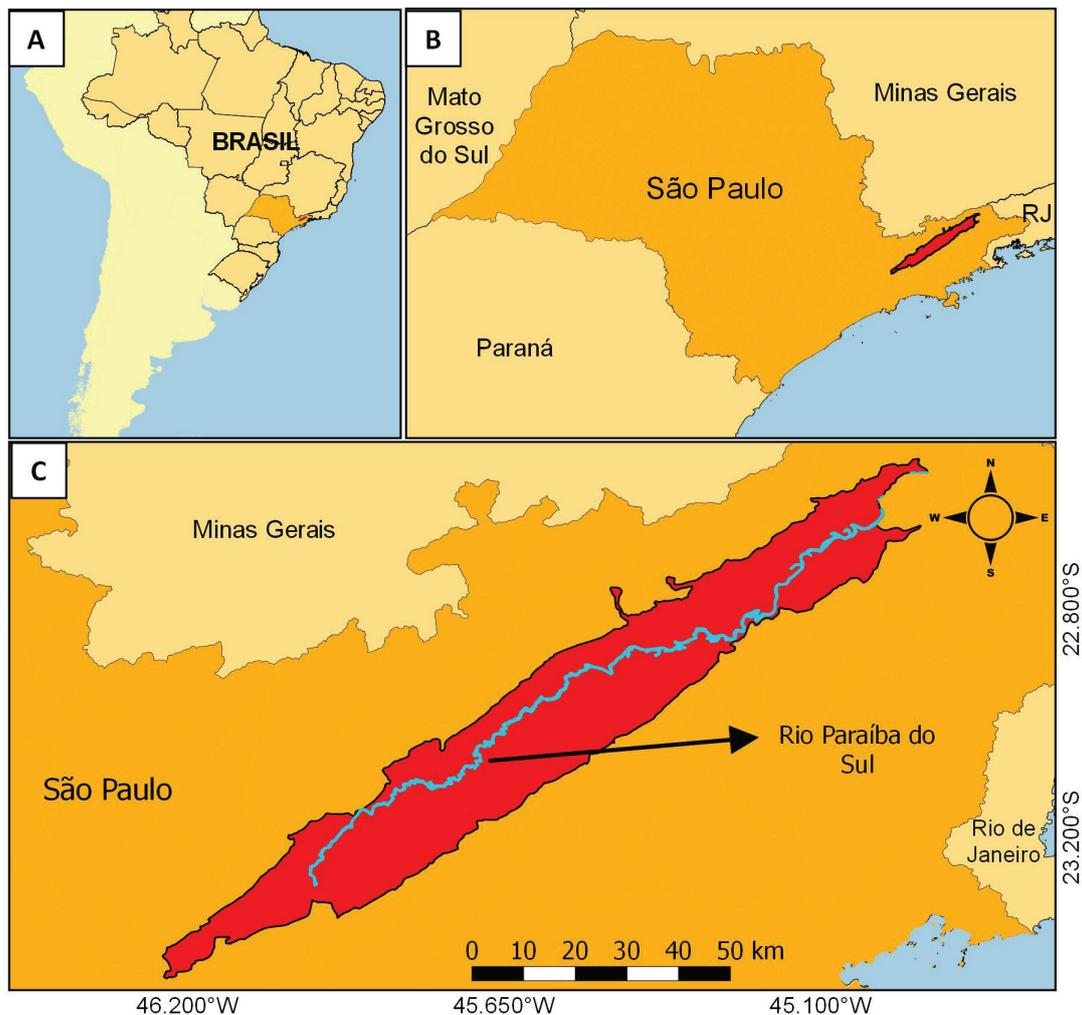


Figura 1. Mapa de localização da Bacia de Taubaté. A) Localização no Brasil; B) Localização no Estado de São Paulo; C) Delimitação da Bacia de Taubaté (em vermelho) com indicação do Rio Paraíba do Sul.
 Figure 1. Location map of the Taubaté Basin. A) Location in Brazil; B) Location in São Paulo State; C) Delimitation of Taubaté Basin (in red) indicating of the Paraíba do Sul River.

2.1.1 Aspectos geomorfológicos e o rio Paraíba do Sul

Integrada no Planalto Atlântico Paulista (Almeida, 1964), no denominado Vale do Paraíba, a Bacia de Taubaté está inserida entre as Serras do Mar e da Mantiqueira, abrangendo compartimentos geomorfológicos classificados por Florenzano & Csordas (1993) como colinas pequenas e tabuliformes, escarpas em anfiteatros, morros alongados paralelos e com espigões, morros arredondados, planícies aluviais, serras e terraços baixos.

Neste escopo, as Serras do Mar e da Mantiqueira apresentam relevo escarpado com elevações de pequeno porte que variam entre 600 e 750 m na região, além de serras alongadas na direção NE, com declives acentuados e altitudes variando entre 50 e 150 m. Caracterizam-se ainda

pela presença de densa floresta que recobre os morros costeiros e que está submetida a forte influência de processos erosivos, os quais também atuam de forma incisiva na região da referida bacia.

Segundo Ab'Saber (2003), a região pertence ao domínio dos Mares de Morros do Brasil Tropical Atlântico, esculpindo um cenário de rochas cristalinas e formas convexas. Neste contexto, na Bacia de Taubaté ocorrem, predominantemente, colinas de topos convexas com altitudes que variam de 600 a 700 m, além de constituir a planície fluvial do Rio Paraíba do Sul, cuja faixa de meandros e terraços fluviais se eleva entre 3 a 8 m acima do nível de inundação.

O Rio Paraíba do Sul tem sua nascente na Serra da Bocaina, em São Paulo, e sua foz no município de São João da Barra, no Rio de Janeiro, percorrendo cerca de 1.150 km. É o principal

corpo d'água da região do Vale do Paraíba e drena uma área de 55 mil km², distribuída pelos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2001), o Rio Paraíba do Sul possui uma bacia alongada, com comprimento cerca de três vezes a sua largura máxima. A planície de inundação é a mais larga e extensa das planícies aluviais de compartimento de planalto existentes no interior das terras altas do sudeste do Brasil, possuindo até 4 km de largura e extensão tão grande quanto à própria Bacia de Taubaté. Na região de Guararema, o rio se apresenta bastante sinuoso, percorrendo terrenos sedimentares de grandes várzeas.

Alguns autores (Almeida, 1964, 1976; Riccomini *et al.*, 1987; Riccomini, 1989) afirmam que o traçado do rio resulta da atuação de forças tectônicas que formaram o Gráben do Paraíba através do abatimento de blocos continentais entre dois altos topográficos, estabelecido no sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. Neste contexto, o aprofundamento do rio alterou bruscamente sua morfologia e seu percurso por meio de uma captura fluvial, conhecida como Cotovelo de Guararema.

2.1.2 Contexto geológico

A Bacia de Taubaté faz parte de um conjunto de bacias pertencentes ao Rifte Continental do Sudeste do Brasil – RCSB – (Riccomini, 1989), tendo sido relacionada à fase tardia do evento de ativação tectônica da Plataforma Sul Americana, associada fragmentação do supercontinente Gondwana e abertura do Atlântico Sul. O RCSB corresponde a uma feição tectônica de idade cenozoica que ocorre entre as cidades de Curitiba, no Paraná, e Barra de São João, no Rio de Janeiro. Apresenta-se como uma faixa estreita e deprimida, alongada na direção NE, possuindo extensão de pouco mais de 900 km. O rifte pode ser dividido em três segmentos: ocidental, central e oriental (Riccomini *et al.*, 1987, 2004; Riccomini, 1989). As rochas de seu substrato indicam a atuação de um regime transcorrente sinistral, com compressão de direção NE-SW e distensão NW-SE. Este evento, ocorrido entre o

Neocretáceo e o Paleoceno, foi reconhecido em corpos alcalinos de idade neocretáceas, no sul do Estado de São Paulo (Riccomini, 1993) e na região do Gráben da Guanabara (Ferrari, 2001). Dessa forma, o regime transcorrente sinistral precederia o distensivo de direção NNW-SSE, este responsável pela instalação das bacias (Riccomini *et al.*, 2004).

Posicionada no segmento central do RCSB, a Bacia de Taubaté corresponde a uma bacia assimétrica, formada internamente por regiões deprimidas e elevadas. Consiste na maior depressão tectônica do referido rifte, apresentando seção sedimentar mais espessa, com cerca de 800 m de espessura (Fernandes & Chang, 2003). Sua forma alongada é condicionada por descontinuidades antigas de direção principal ENE do embasamento, que favoreceram uma tectônica ressurgente (Fernandes, 1993; Fernandes & Chang, 2001).

A bacia encontra-se bordejada pelas Serras da Mantiqueira e do Mar, a norte e a sul, respectivamente, sendo limitada pelas falhas do Alto da Fatura e Buquira. Tem seu arcabouço formado por hemi-grábens separados por zonas de transferências com depocentros invertidos, em típica geometria de bacia do tipo rifte, com assimetria na direção longitudinal (Vidal *et al.*, 2004) e apresenta segmentação regida pelas referidas zonas de transferência, representadas pelos altos estruturais de Caçapava, de direção NNE-SSW, e de Pindamonhangaba, de direção NW-SE.

Fernandes & Chang (2001) definiram três compartimentos alongados na Bacia de Taubaté, nomeados de SW para NE: São José dos Campos, correspondente à porção menos profunda da bacia; Taubaté, que chega a alcançar 600 m de espessura de sedimentos; e Aparecida, com as maiores espessuras sedimentares, atingindo cerca de 800 m.

O embasamento da Bacia de Taubaté compreende rochas metamórficas de baixo e médio grau, além de suítes granitoides intrusivas de idades pré-cambrianas do Cinturão Ribeira (Almeida, 1976), apresentando uma série de zonas de cisalhamento de direção E-W a ENE-WSW ativas até o fim do Ciclo Brasileiro.

Segundo o modelo tectono-sedimentar proposto por Riccomini (1989) (Fig. 2), entre o Eoceno e o Oligoceno a região entrou em processo tectônico distensivo, com sentido NNW-SSE, em função do basculamento termomecânico ocorrido na Bacia de Santos, desenvolvendo um grande gráben orientado na direção ENE-WSW e mergulho para NNW. Nessa fase, seus processos de sedimentação foram estabelecidos e divididos pelo autor em duas etapas: a primeira, *sin-tectônica* ao rifte, é representada pela deposição do Grupo Taubaté, um expressivo pacote tectono-sedimentar, de idade paleogênica, composto pelas Formações Resende, Tremembé e São Paulo; e outra diastrófica, preenchida pelos sedimentos recentes da Formação Pindamonhangaba.

Durante o Mioceno a bacia sofreu movimentação transcorrente sinistral no sentido E-W, com componente distensiva NW-SE e compressiva NE-SW, que conduziram à segmentação do gráben nas bacias de São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda, acarretando no desenvolvimento das soleiras de Arujá e Floriano. Após essa movimentação, houve a sedimentação em sistemas fluviais entrelaçados da Formação Itaquaquetuba. No Pleistoceno houve uma inversão no sentido de movimentação do sistema de falhas transcorrentes, passando a ser dextral, invertendo também o sentido das zonas de compressão e distensão. Esta reativação conduziu ao desenvolvimento dos altos estruturais de Caçapava, Capela

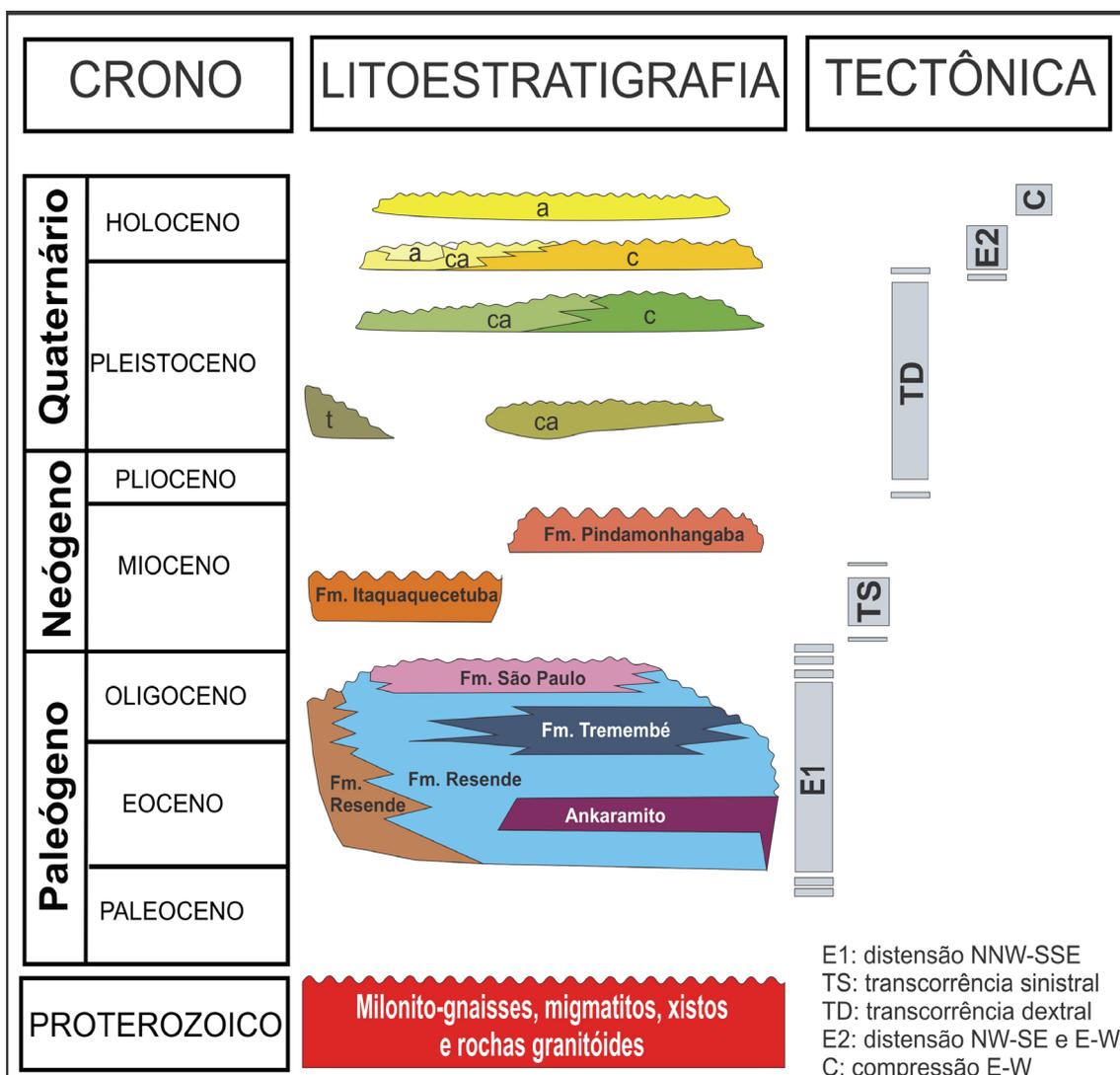


Figura 2. Litoestratigrafia e evolução tectono-sedimentar do segmento central do Rifte Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini, 1989).

Figure 2. Continental Rift of Southeastern Brazil: lithostratigraphy and tectono-sedimentary evolution of its central segment (Riccomini, 1989).

de Santa Luzia e Capela Nossa Senhora do Socorro, segmentando a Bacia de Taubaté. Neste período houve a deposição da Formação Pindamonhangaba, com características de um sistema fluvial meandrante.

Durante o Quaternário, a bacia entrou novamente em um processo tectônico distensivo com direção WNW-ESE, acarretando na formação da sub-bacia de Bonfim e na deposição de sedimentos colúvio-aluviais do Rio Paraíba do Sul. Atualmente, estudos mostram que a Bacia de Taubaté está sob um regime compressivo (Assumpção, 1998).

2.2 Métodos

2.2.1 Definição das categorias geológicas

As categorias temáticas geológicas, ou *geological frameworks*, emergem como um meio facilitador na elaboração de um inventário sistemático, pois permitem catalogar os locais de interesse geológico de uma região com base em conteúdos previamente definidos e não por áreas geográficas. Segundo Lima (2008), a definição destas categorias normalmente se baseia em divisões, que podem variar de acordo com o objetivo do inventário, tais como: áreas da geologia (paleontologia, estratigrafia, mineralogia, tectônica); tempo geológico (Arqueano, Proterozoico, Fanerozoico, Cenozoico); ou contexto geológico (Bacia de Taubaté, Ciclo Brasileiro, sistema orogênico da Mantiqueira, por exemplo).

O uso de categorias temáticas para a realização de inventários vem sendo adotado em diversos países europeus há décadas (Wimbledon, 1996; Gonggrijp, 2000). No Brasil, a primeira iniciativa de realização de um inventário do patrimônio geológico ocorreu com a instalação da Comissão Brasileira dos Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), em 1997, que definiu doze categorias, ou tipologias principais (Mansur *et al.*, 2013), para a descrição dos geossítios brasileiros: astroblema, estratigráfico, história da geologia (mineração, paleontologia), ambiente marinho, espeleológico e geomorfológico, são alguns exemplos.

Para o presente trabalho, o inventário realizado na região da Bacia de Taubaté levou em consideração, prioritariamente, o valor científico da área, representado em afloramentos considerados relevantes do ponto de vista geológico por conterem registros do contexto da instalação, evolução tectônica e sedimentar da referida bacia. Desse modo, com base em pesquisa bibliográfica sobre a área de estudo, foram definidas três categorias temáticas: (i) abertura da bacia; (ii) deformação e deposição neógena; e (iii) deformação quaternária e evolução do relevo.

2.2.2 Seleção de potenciais geossítios

Após a definição das categorias temáticas, iniciaram-se as pesquisas voltadas à seleção de potenciais geossítios. Nesta etapa, buscou-se priorizar locais que já haviam sido descritos na literatura da área de estudo. Foram realizadas consultas tanto à bibliografia publicada sobre a área, incluindo pontos descritos no inventário do Estado de São Paulo (Garcia *et al.*, 2017), quanto a pesquisadores que trabalharam ou estudaram no local, visto que estes profissionais possuem referências que podem qualificar e justificar a delimitação de um geossítio. O principal objetivo desse inventário foi descrever locais geologicamente representativos, selecionados por se constituírem em locais-chave para a compreensão da história geológica da bacia.

2.2.3 Atividades de campo

A partir da listagem obtida na etapa anterior, procedeu-se à investigação dos potenciais geossítios através de trabalho de campo para averiguar as informações obtidas previamente na síntese bibliográfica, além de visitar novos sítios indicados por pesquisadores.

Todos os sítios foram fotografados, descritos e analisados no âmbito do valor científico, incluindo informações sobre a relevância e integridade, fundamentais à avaliação do geossítio. Além destes fatores, levou-se em consideração o estágio de fragilidade atual destas áreas, visto que os afloramentos da região se encontram submetidos a elevado grau

de intemperismo. Ademais, toda a região do Vale do Paraíba está em crescente transformação, o que torna estes locais ainda mais vulneráveis em decorrência de atividades antrópicas.

2.2.4. Seleção final

Dos 38 potenciais geossítios analisados (Quadro 1), 47% estão incluídos no inventário final. Os 53% restantes foram desconsiderados devido às seguintes razões: (i) ocorrências descritas em trabalhos científicos que, ao serem georreferenciadas, se encontravam fora da

área de estudo e, por isso, não foram visitadas (13%); (ii) sítios cujas feições geológicas não estavam mais visíveis por conta da atuação do intemperismo severo (8%); (iii) sítios que não eram os exemplos mais representativos da feição/estrutura desejada (5%); e (iv) locais que foram danificados, de forma irreversível, em decorrência de obras de infraestrutura no Vale do Paraíba, como duplicação de rodovias e construção de empreendimentos imobiliários (27%). Estes percentuais indicam que atividades antrópicas correspondem às principais responsáveis pela perda do patrimônio geológico da área de estudo.

Quadro 1. Lista de potenciais geossítios, breve descrição da condição das feições/estruturas observadas em campo e inclusão do geossítio no inventário.

Chart 1. List of potential geosites, brief description of the condition of the site's features/structures seen in the field and inclusion of the geosite for the inventory.

Ponto	Condição de observação das feições/estruturas dos pontos visitados	Geossítio
BT 01	Excelente exposição, especialmente após período de mineração	Sim
BT 02	Exposto em rodovia com feições visíveis (submetido às intempéries naturais)	Sim
BT 03	Mirante – Excelente exposição	Sim
BT 04	Excelente exposição de feições/estruturas	Sim
BT 05	Intemperizado e algumas das feições descritas não são mais visíveis	Sim
BT 06	Feições não são mais visíveis (ponto muito intemperizado)	Não
BT 07	Muito intemperizado, mas feições ainda são visíveis	Sim
BT 08	Exposto em rodovia com feições visíveis (submetido às intempéries naturais)	Sim
BT 09	Exposto em obra do Aeroporto, com feições visíveis	Sim
BT 10	Exposto em obra do Aeroporto, com feições visíveis	Sim
BT 11	Exposto em estrada secundária, feições muito intemperizadas, mas visíveis	Sim
BT 12	Totalmente gramado em corte da rodovia	Sim
BT 13	Totalmente gramado em corte da rodovia	Sim
BT 14	Ponto não localizado, estrada pavimentada no local	Não
BT 15	Feições não são mais visíveis (ponto muito intemperizado)	Não
BT 16	Feições não são mais visíveis (ponto muito intemperizado)	Não
BT 17	Visível em um meandro do rio, sem feições representativas	Não
BT 18	Visível em um trecho do rio, sem feições representativas	Não
BT 19	Exposto em rodovia, feições pouco alteradas ao intemperismo natural	Sim
BT 20	Ponto não localizado, propriedade particular no local	Não
BT 21	Feições não são mais visíveis (ponto muito intemperizado)	Não
BT 22	Excelente exposição em pedreira de exploração (mas não é o mais representativo)	Não
BT 23	Excelente exposição de feições/estruturas (em rodovia)	Sim
BT 24	Ponto não localizado, propriedade particular no local	Não
BT 25	Excelente exposição de feições/estruturas	Sim
BT 26	Ponto em estrada secundária com boa exposição (feições pouco intemperizadas)	Sim
BT 27	Ponto não localizado, propriedade particular no local	Não
BT 28	Ponto em estrada secundária com boa exposição (feições pouco intemperizadas)	Sim
BT 29	Mirante – Excelente exposição (mas não é o mais representativo)	Não
BT 30	Ponto não localizado, propriedade particular no local	Não
BT 31	Totalmente gramado em corte da rodovia	Sim
BT 32	Feições não são mais visíveis (ponto muito intemperizado)	Não
BT 33	Ponto não localizado, propriedade particular no local	Não

A lista final resultou em 18 geossítios que se encontram distribuídos ao longo de toda região da bacia (Fig. 3). Estes locais foram quantificados, por meio do GEOSSIT, com o intuito de calcular o risco de degradação e o grau de vulnerabilidade inerente a cada um deles perante estas atividades potencialmente destruidoras.

3 Resultados

O patrimônio geológico da Bacia de Taubaté foi enquadrado dentro de três categorias geológicas (Quadro 2): (i) abertura da bacia; (ii) deposição e deformação neógena; e (iii) deformação quaternária e evolução do relevo. Estas categorias estão relacionadas com a história geológica evolutiva da bacia e têm como base o quadro tectônico e litoestratigráfico da região, descrito anteriormente no contexto geológico (Fig. 2). Na primeira categoria, em virtude da deposição do Grupo Taubaté, foram enquadrados também geossítios com interesse paleontológico. Na última categoria acrescentou-

se o conteúdo geomorfológico atual o qual, além de registrar eventos associados à fase final no contexto de evolução da bacia, reflete a evolução mais recente do relevo.

3.1 Abertura da bacia

Para esta categoria temática considerou-se o arcabouço da Bacia de Taubaté e os eventos relacionados à sua formação. Como arcabouço, foram selecionados os afloramentos do embasamento pré-cambriano, que compreendem os gnaisses e granitoides do Cinturão Ribeira, e as rochas alcalinas que precedem a instalação da bacia, do Neocretáceo.

Quanto à formação da bacia, foram selecionados afloramentos do próprio preenchimento sedimentar concomitante à fase de abertura, representados pelo Grupo Taubaté, que por sua vez compreende as Formações Resende, Tremembé e São Paulo, respectivamente, assim como estruturas *sin-deposicionais*, tais como diques clásticos e

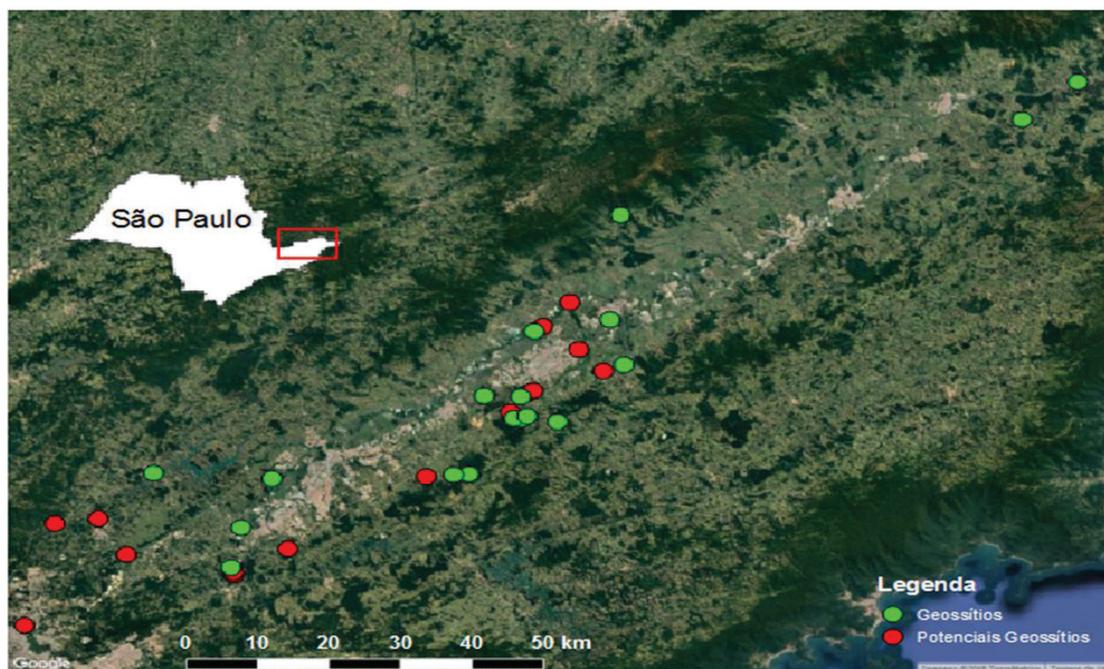


Figura 3. Mapa com a localização dos geossítios (verde) e potenciais geossítios (vermelho) da Bacia de Taubaté. Importante ressaltar que alguns dos locais escolhidos encontram-se muito próximos de locais que foram eliminados na seleção final por não existirem mais, enfatizando a fragilidade destas áreas de importante interesse científico.
 Figure 3. Map with the location of geosites (green) and potential geosites (red) of the Taubaté Basin. It is important to emphasize that some of the chosen sites are very close to places that were eliminated in the final selection because they no longer exist, highlighting the fragility of these areas of important scientific interest.

Quadro 2. Categorias geológicas da Bacia de Taubaté.
Chart 2. Geological Frameworks of the Taubaté Basin.

Categorias	Breve descrição	Geossítios
Abertura da bacia	Embasamento pré-cambriano; Formação da depressão (<i>gráben</i>); Deposição do Grupo Taubaté; Ocorrências fossilíferas.	08
Deposição e deformação neógena	Compressão de direção NW-SE e Compressão para NE-SE; Deposição da Formação Pindamonhangaba.	05
Deformação quaternária e evolução do relevo	Nova extensão para NW-SE; Deposição dos colúvios; Atual compressão E-W; Elementos geomorfológicos.	05

falhas, que permitem explanar sobre os esforços geradores da bacia.

Dentre os sítios paleontológicos destaca-se o conteúdo fossilífero da Formação Tremembé, que representa o intervalo de tempo entre o Eoceno e o Oligoceno. Ocorrem fósseis e icnofósseis de folhas e troncos de angiospermas, espículas de esponjas, tubos de vermes, gastrópodes, peixes, aves, répteis e mamíferos (Mezzalana, 1989). Estes dois geossítios, catalogados pelo SIGEP em 2002 e que também compõem o inventário do Estado de São Paulo (Garcia *et al.*, 2017), se configuram num patrimônio natural de uma riqueza singular e vem atraindo a atenção não só de pesquisadores, mas do público em geral, que busca conhecer e compreender mais a respeito da história da vida passada do planeta.

No geral, a categoria em questão possui um total de oito geossítios (Quadro 3). Apresenta características e feições distintas entre si, que contam a história inicial da bacia (Fig. 4A a G), incluindo o registro de atividade biológica (Fig. 5A a E).

3.2 Deposição e deformação neógena

Foram agrupados nesta categoria afloramentos relacionados à deformação da bacia e à sedimentação ocorrida após a sua abertura, totalizando cinco geossítios (Fig. 6A a H) (e Quadro 4).

Logo após a instalação da bacia, o campo de esforços sofreu uma mudança, passando

de uma distensão E-W para uma compressão NE-SW, caracterizando assim um regime transcorrente sinistral. Durante este novo campo de esforços, pequenas bacias do tipo *pull-apart* se formaram sobre o Alto de Arujá, que separa as Bacias de São Paulo e Taubaté. O preenchimento sedimentar destas pequenas bacias compreende os depósitos de rios entrelaçados da Formação Itaquaquetuba.

Este evento, caracterizado pela mudança dos referidos campos de esforços, também é bem marcado nas rochas do Grupo Taubaté, que foram falhadas e deformadas. Após este evento, foram depositadas as rochas da Formação Pindamonhangaba, que envolve depósitos de rios meandantes, demonstrando a instalação de um clima mais úmido.

Ao final do Neógeno, os campos de esforços mudaram novamente de direção, passando a uma compressão NW-SE, e assim foi estabelecido um regime transcorrente dextral. Este novo regime de esforços mudou a arquitetura da bacia com a reativação de falhas na região da borda, falhas transcorrentes e de altos estruturais importantes, como os de Guararema e Caçapava.

3.3 Deformação quaternária e evolução do relevo

Esta categoria envolve quatro geossítios que caracterizam a fase neotectônica da Bacia de Taubaté (Fig. 7A a D) e um do tipo mirante, que se associa à evolução geomorfológica do relevo

Quadro 3. Geossítios da categoria geológica "Abertura da bacia".
 Chart 3. Geosites of the "Basin opening" geological framework.

Nome	Coordenadas (UTM)	Características principais	(Perrotta <i>et al.</i> 2005)
Injetitos da Formação Resende (Fig. 4A)	397522 / 7431521	Injeções de diques clásticos de direção NE em argilito da Formação Resende	Formação Resende
Falhas sin-sedimentares da Formação Resende (Fig. 4B)	502991 / 7500581	Falhas relacionadas à instalação da bacia, contemporâneas à deposição da Formação Resende	Complexo Embu – Unidade Paragnáissica
Falhas da Formação São Paulo (Fig. 4C)	380863 / 7432457	Falha listrica deformando as rochas da Formação São Paulo	Granito Morro Azul
Exposição sedimentar da Formação Resende (Fig. 4D)	393263 / 7422119	Arenitos e conglomerados mal selecionados da Formação Resende	Formação Resende
Leques proximais da Formação Resende (Fig. 4E)	425216 / 7432551	Zona de contato entre as rochas do embasamento e da Formação Resende	Granito Serra do Jambeiro
Rochas graníticas do embasamento da bacia (Fig. 4F e G)	427296 / 7447530	Granitos do embasamento	Depósitos aluvionares
Fazenda Santa Fé (Fig. 5A, B e C)	444956 / 7462210	Ocorrência mais significativa de fósseis do sudeste do Brasil: microfósseis, icnofósseis, moluscos, artrópodes, peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos	Formação Tremembé
Jazigo Quiririm (Fig. 5D e E)	434280 / 7459956	Mais importante ocorrência de macrofitofósseis (diversidade taxonômicas de angiospermas dicotiledôneas)	Formação Tremembé

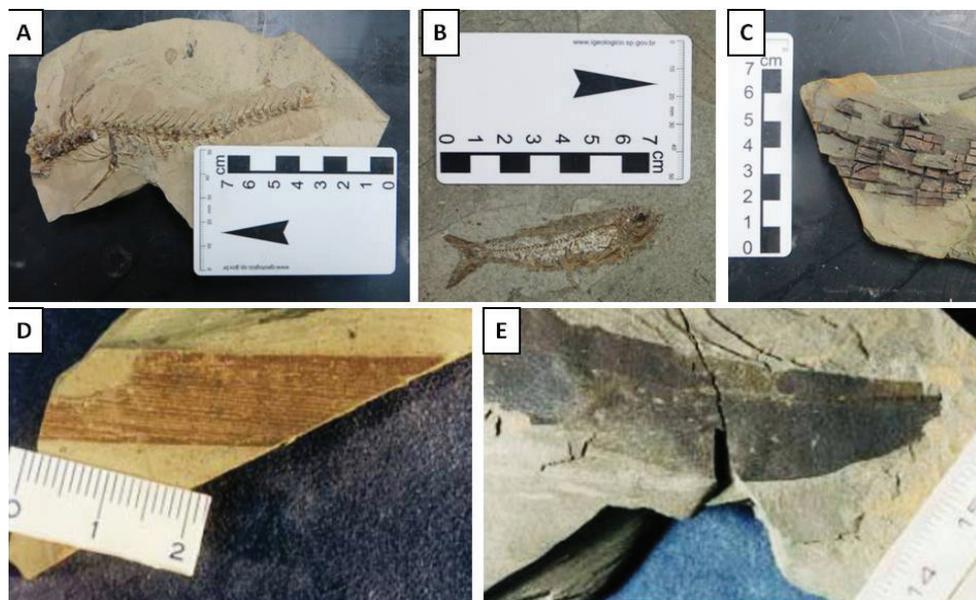


Figura 5. Geossítios paleontológicos da categoria geológica "Abertura da bacia". A) Fóssil de espinho de peixe; B) Fóssil de peixe completo; C) Fóssil de parte de tronco de árvore. Coletados pelo Prof. Luiz Eduardo Anelli durante trabalhos de campo na área do geossítio (Fonte: Coleção didática do IGC/USP); D) Tronco fóssil (Família Typhaceae-Typha tremembensis); E) Folha fóssil (Família Sapindaceae). Coletados no "Jazigo Quiririm".
 Figure 5. Paleontological geosites of the "Basin opening" geological framework. A) Fishbone fossil; B) Complete fish fossil; C) Tree trunk fossils. Collected by Prof. Luiz Eduardo Anelli, during fieldwork in the geosite area (Source: IGC / USP didactic collection); D) Trunk fossil (Family: Typhaceae-Typha tremembensis); E) Leaf fossil (Family: Sapindaceae). Collected in the "Jazigo Quiririm". Pictures: Maria Judite Garcia.

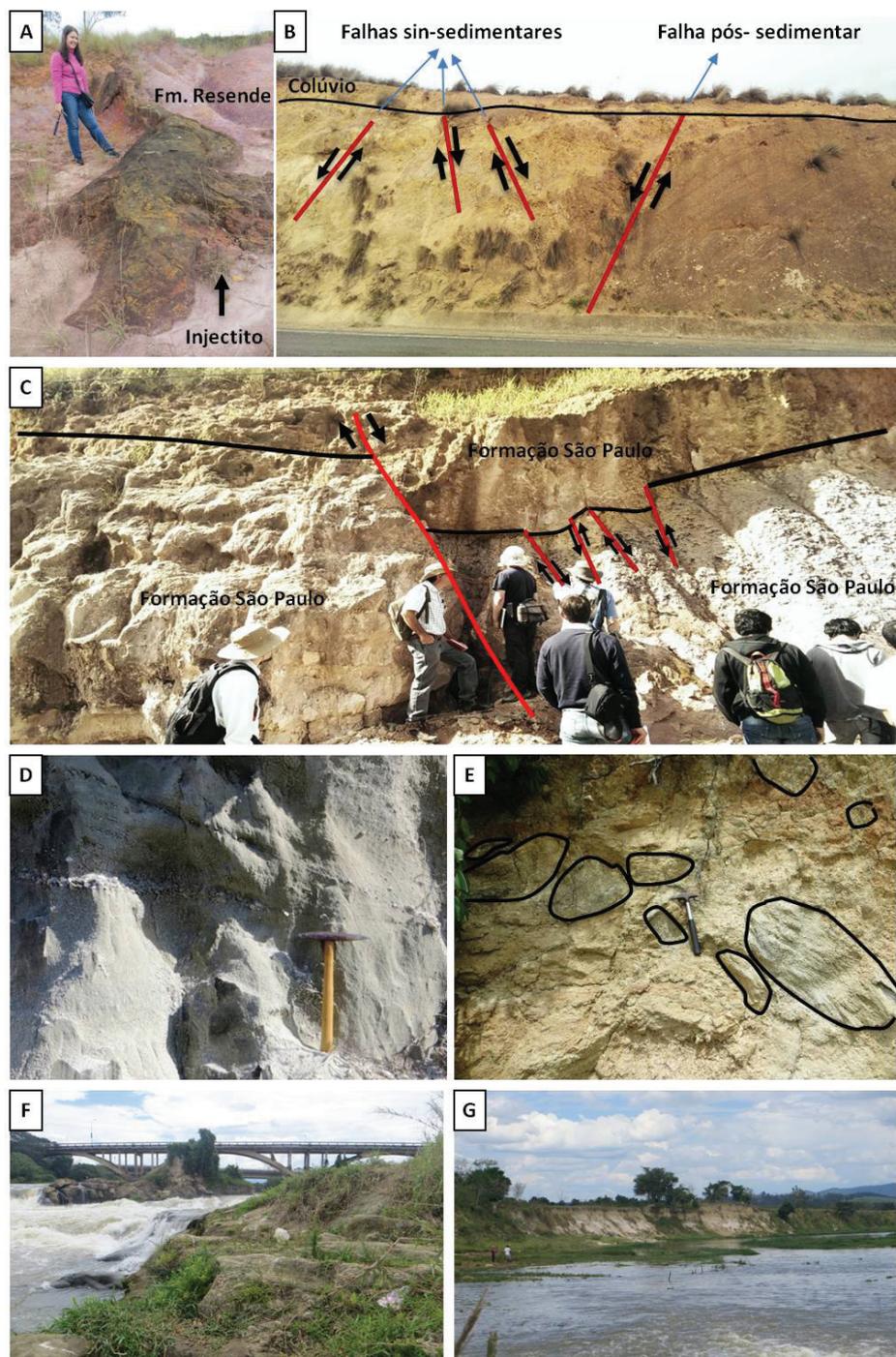


Figura 4. Geossítios da categoria geológica “Abertura da bacia”. A) Dique de material arenoso cortando argilitos da Formação Resende; B) Falhas *sin*-sedimentares que afetam os argilitos da Formação Resende. Observar, no lado direito da fotografia, a falha principal de direção NE-SW, que marca o contato entre embasamento pré-cambriano e a Formação Resende; C) Falha normal de direção NE-SW que deforma as rochas da Formação São Paulo e falhas inversas no lado direito da imagem; D) Lentes com conglomerado clasto suportado na base em contato com arenito mais fino na base, ilustrando a deposição intercalada de grãos mais grossos e finos; E) Depósito de leque aluvial com a presença de blocos decimétricos do embasamento; F) Embasamento granítico pré-cambriano, muito alterado, que aflora no leito do Rio Paraíba do Sul; G) Sedimentos quaternários depositados na borda do rio.

Figure 4. Geosites of the “Basin opening” geological framework. A) Dike of sandy material cutting across mudstones of the Resende Formation; B) Sin-sedimentary faults affecting the mudstones of the Resende Formation. Note, on the right side of the photograph, the main NE-SW fault, which marks the contact between the pre-Cambrian basement and the Resende Formation; C) Normal NE-SW fault that deforms the São Paulo Formation rocks, and inverse faults on the right side of the image; D) Clast-supported conglomerate lenses in contact with thinner sandstone in the base, showing alternating deposition of coarser and finer grains; E) Alluvial fan deposit with decimetric clasts from the crystalline basement; F) Very-altered Pre-Cambrian granitic basement, can be seen on the Paraíba do Sul River bed; G) Quaternary sediments deposited along the river margin.

Quadro 4. Geossítios da categoria geológica “Deposição e deformação neógena”.
 Chart 4. Geosites of the “Neogenic deposition and deformation” geological framework

Nome	Coordenadas (UTM)	Características principais	Unidade litoestratigráfica (Perrota <i>et al.</i> 2005)
Estrutura em Flor negativa de Tabuões (Fig. 6A)	446940 / 7453578	Falhas pós-sedimentares relacionadas com a extensão NW-SE	Formação Resende
Falha de empurrão da Zona de Cisalhamento de Pinheiros (Fig. 6B)	510882 / 7507780	Falha de empurrão associada a zonas de cisalhamento	Complexo Embu – Unidade Paragnáissica
Sistema de Falhas Normais da Formação Resende (Fig. 6C e D)	433334 / 7443665	Conjunto de falhas normais orientadas em NW-SE	Formação Resende
Captura fluvial de Guararema (Fig. 6E, Fe G)	391914 / 7414481	Mudança da direção do Rio Paraíba de Sul, que passa a fluir de NW para NE. Exposição do embasamento da Bacia de Taubaté.	Complexo Embu – Unidade Paragnáissica
Hemi-gráben de Taubaté (Fig. 6H)	423048 / 7432411	Extenso afloramento descrito como um hemi-graben (Santos, 2011)	Formação Resende

(Fig. 7E), bem marcada na região (Quadro 5).

Durante o Quaternário, os regimes de esforços compressivos NE-SW que se iniciaram no Plioceno perduraram por todo o Pleistoceno. A partir de então, com a instalação de um regime distensivo, de direção NW-SE, ocorreu uma nova mudança no campo de esforços. Esta fase é reconhecida pela colmatação fluvial, com a formação de depósitos coluviais e aluviais. Este evento é bem demonstrado por falhas normais nas rochas das formações Resende e Pindamonhangaba e nos depósitos coluviais *sintectônicos*.

Durante o Holoceno, instalou-se na bacia um regime compressivo de direção E-W, que continua ativo atualmente, como demonstrado em Assumpção (1998). Esta fase é bem caracterizada por falhas inversas, que deformam principalmente as rochas da Formação Pindamonhangaba.

Esta categoria engloba ainda um geossítio com interesse geomorfológico. O Pico de Itapeva corresponde a um mirante com 2025 m de altitude sustentado por rochas metassedimentares da Bacia de Taubaté, de onde se tem uma ampla visão da extensão de toda a bacia e da Serra do Mar, possibilitando também, em dias claros, a observação panorâmica de cidades do Vale do Paraíba. Ele também faz parte do inventário do Estado de São Paulo (Garcia *et al.*, 2017), sendo considerado um excelente ponto para observar e estudar a geomorfologia da região, bem

como ilustrar a expressão geomorfológica dos processos geológicos pós-rifteamento.

4 Discussão dos resultados

4.1 Importância do inventário aplicado à Bacia de Taubaté: reflexões e perspectivas

Para desenvolver ferramentas voltadas à manutenção do meio ambiente, tanto biótico quanto abiótico, pressupõe-se uma reflexão acerca das bases ambientais, compreendendo a paisagem como um sistema de relações entre os aspectos físico-ambientais e as condições sociais. Neste contexto, no que concerne às potencialidades e limitações de uso de uma determinada área, o inventário do patrimônio geológico pode otimizar a gestão dos recursos geológicos, do meio ambiente e das paisagens naturais. Além disso, ele também pode contribuir com a preservação da memória geológica de sítios relevantes, especialmente daqueles considerados frágeis e que se encontram vulneráveis a ameaças naturais ou antrópicas, tais como os inventariados na região da Bacia de Taubaté.

De acordo com Lima (2008), a realização de um inventário sistemático envolve quatro etapas fundamentais: definição do que se pretende inventariar (patrimônio geológico, geomorfológico, geoturístico); qual o valor atribuído ao objeto do inventário (científico, educativo, estético); delimitação de uma área

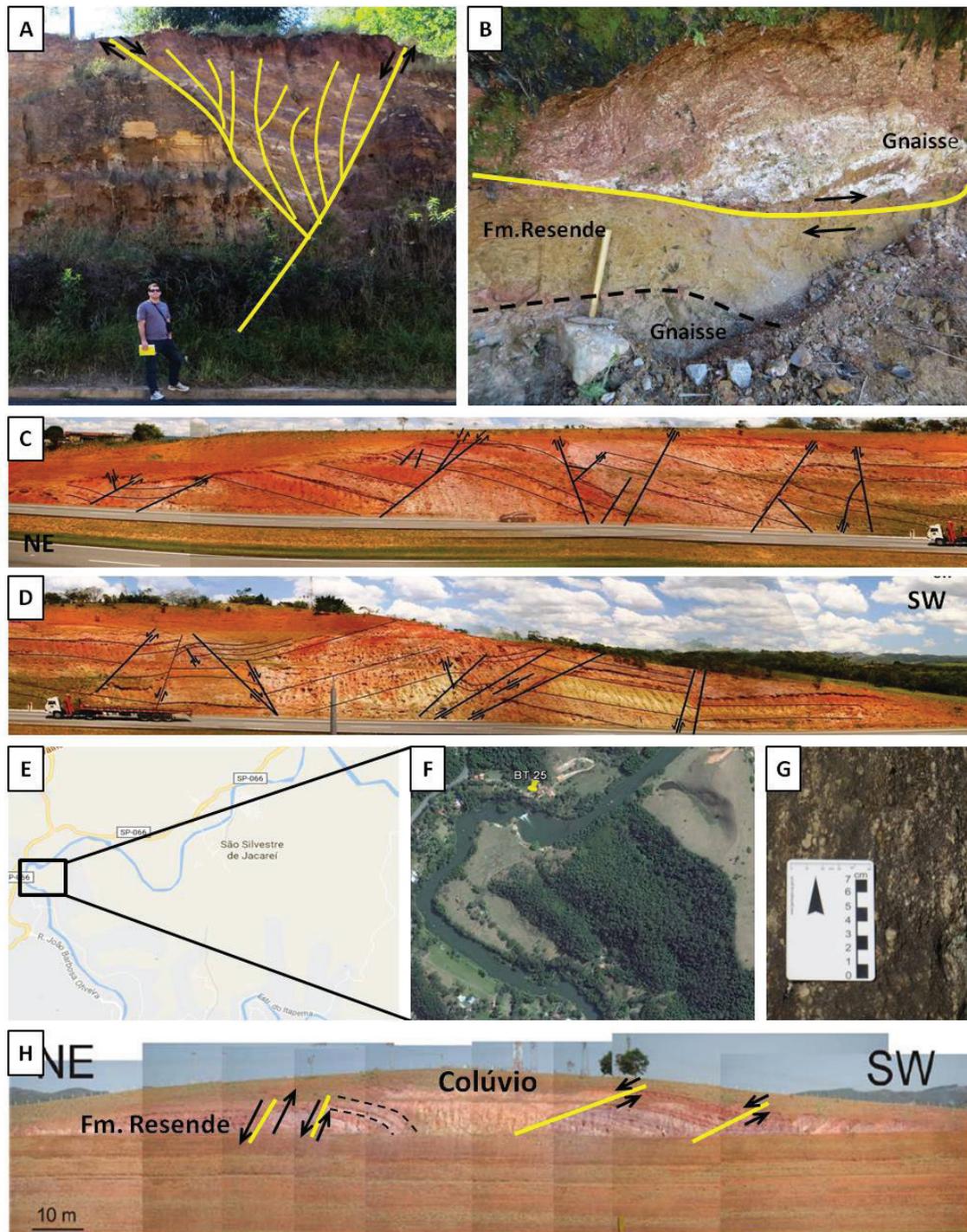


Figura 6. Geossítios da categoria geológica "Deposição e deformação neógena". A) Conjunto de falhas normais, pós-sedimentares, com mergulhos moderados a altos, direção NNE-SSW. Algumas das falhas provavelmente resultam da reativação de falhas transcorrentes mais antigas e apresentam estrutura em flor negativa; B) Contato tectônico entre o gnaissse do embasamento e os diamictitos da Formação Resende (em amarelo). Em preto pontilhado, contato erosivo; C) Lado esquerdo do afloramento, com indicação das falhas normais afetando as rochas da Formação Resende e colúvios quaternários; D) Lado direito do afloramento, com indicação das demais falhas (Moura, 2015); E) Localização do geossítio com indicação do cotovelo de captura. Fonte: Google Earth; F) Vista de cima do afloramento. Fonte: Google Earth; G) Detalhe do gnaissse pré-cambriano orientado para NE com cristais de feldspato bem desenvolvidos; H) Falhas rotacionais de baixo mergulho. Imagens: Daniel do Valle.

Figure 6. Geosites of the "Neogenic deposition and deformation" geological framework. A) A set of normal, post-sedimentary faults with moderate to high dips and NNE / SSW direction. Some of the faults probably result from the reactivation of older transcurrent faults and present a negative flower structure; B) Tectonic contact between the gneiss of the basement and the diamictites of Resende Formation (in yellow). In dotted black, the erosive contact; C) The left side of the outcrop, indicating normal faults that affect the Resende Formation rocks and the Quaternary colluvium; D) The right side of the outcrop, with indication of the other faults (Moura, 2015); E) Location of the geosite with indication of the elbow of capture. Source: Google Earth; F) Top view of the outcrop. Source: Google Earth; G) Detail of NE-oriented pre-Cambrian gneiss with well-developed feldspar crystals; H) Rotational failures of low dip. Pictures: Daniel do Valle.

Quadro 5. Geossítios da categoria geológica “Deformação quaternária e evolução do relevo”.
 Chart 5. Geosites of the “Quaternary deformation and landform evolution” geological framework

Nome	Coordenadas (UTM)	Características principais	Unidade litoestratigráfica (Perrota <i>et al.</i> 2005)
Falhas conjugadas da Formação Pindamhangaba (Fig. 7A)	432425 / 7447390	Falhas normais conjugadas, relacionadas ao alto estrutural de Caçapava	Formação Pindamonhangaba
Falhas inversas da Formação Resende (Fig. 7B)	437631 / 7442638	Único exemplo de falhas inversas encontrado na área de estudo	Formação Resende
Falhas transversais da Formação Resende (Fig. 7C)	432475 / 7443045	Conjunto de falhas transversais interceptando arenitos	Formação Resende
Falha <i>sin</i>-sedimentar em colúvio da Formação Resende (Fig. 7D)	431511 / 7443260	Conjunto de falhas normais que afetam colúvios quaternários	Formação Resende
Pico de Itapeva (Fig. 7E)	446345 / 7482221	Visão panorâmica das escarpas da Serra do Mar, de feições da bacia e dos municípios adjacentes. O mirante é sustentado por metassedimentos de uma bacia neoproterozoica do tipo “ <i>pull-apart</i> ” (Cavalcante <i>et al.</i> , 1979)	Formação Pico de Itapeva

(parque, município, país); e qual a finalidade (uso turístico, educativo, divulgação). Com base nesta premissa, muitos países europeus têm realizado inventários nas últimas décadas como estratégias tanto para a conservação da natureza como para planos de uso e gerenciamento dos terrenos (Wimbledon *et al.*, 1999; García-Cortéz & Carcavilla Urquí, 2009; Brilha *et al.*, 2010).

No Brasil, Mansur (2010) relata um estudo de caso da realização do inventário utilizado na criação do Parque Estadual da Costa do Sol, importante polo turístico do Estado do Rio de Janeiro. O referido inventário foi elaborado como suporte para a geoconservação de sítios locais, que utilizam economicamente o turismo de base científica. A autora afirma que os esforços para preservação destas áreas, cuja gestão será compartilhada entre o Estado e os sete municípios envolvidos no projeto, estão embasados na Lei federal 9.985/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), instrumento organizador das áreas naturais protegidas.

Para Fuertes-Gutiérrez *et al.* (2016), por exemplo, o inventário direciona a escolha de geossítios para promoção de sua geoconservação por meio de planos de gestão coerentes com a necessidade do local escolhido.

Assim, de posse dos dados obtidos no inventário do patrimônio geológico espanhol, as autoras realizaram estudos de caso para identificar pontos de vulnerabilidade e propor meios de conservação aplicados a dois dos geossítios inventariados, localizados na região de La Rioja, norte da Espanha.

No referido trabalho, Fuertes-Gutiérrez *et al.* (2016) realizaram um levantamento de possíveis ameaças que poderiam comprometer o valor científico dos geossítios, destacando atividades antrópicas decorrentes de obras de infraestrutura, mineração e uso público para fins turísticos, didáticos e educativos, por exemplo, além da própria ação do intemperismo. Por fim, foram propostos meios para a geoconservação de acordo com o risco de degradação dos geossítios, variando desde a criação de estruturas físicas para a proteção dos locais da ação do clima, como também registro fotográfico para monitoramento da perda do patrimônio. Cabe destacar que as ameaças descritas pelas autoras correspondem a fatores de impacto semelhantes àqueles observados na região da Bacia de Taubaté, foco deste trabalho.

Desta forma, a realização do presente inventário buscou identificar e seriar os locais considerados relevantes para a história

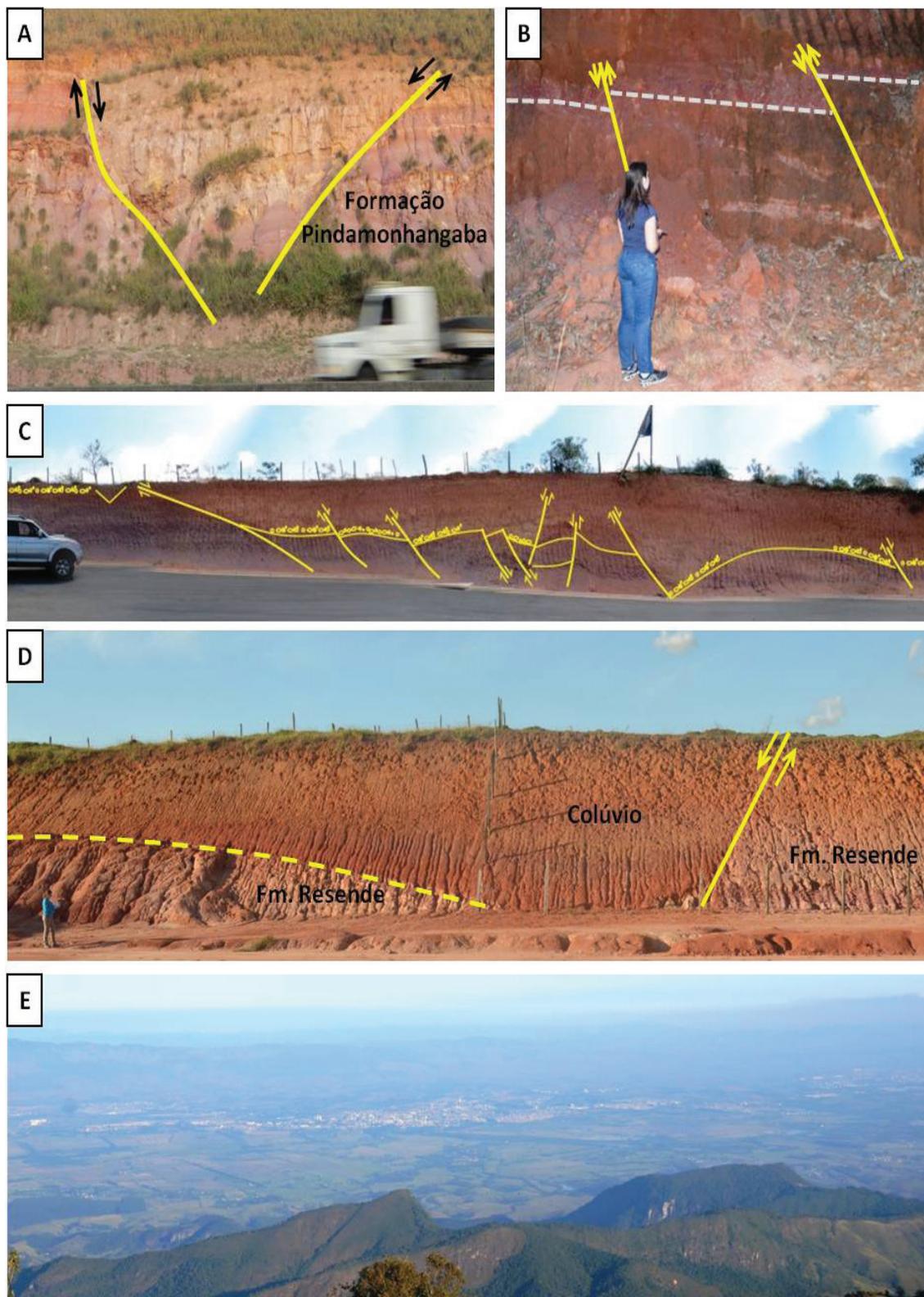


Figura 7. Geossítios da categoria geológica "Deformação quaternária e evolução do relevo". A) Falhas normais conjugadas, relacionadas ao 3º evento de distensão da bacia; B) Duas falhas inversas; C) Vista geral do afloramento, com indicação das falhas e linhas de seixos (Moura, 2015); D) Falha *sin*-sedimentar que intercepta um colúvio quaternário (Moura, 2015); E) Vista panorâmica do Pico de Itapeva para o Vale do Paraíba, ao centro, e para a Serra do Mar, ao fundo.

Figure 7. Geosites of the "Quaternary deformation and landform evolution" geological framework. A) Conjugated normal faults, related to the 3rd event of extension of the basin; B) Two reverse faults; C) Outcrop overview, with indication of faults and pebbles lines (Moura, 2015); D) *Sin*-sedimentary fault that intercepts a quaternary colluvium (Moura, 2015); E) Panoramic view from the Itapeva Peak overlooking the Paraíba Valley, in the middle, and Serra do Mar, in the background.

geológica da região da bacia, abrangendo sítios essencialmente científicos, que podem ser usufruídos de forma didática, e um sítio com interesse geomorfológico, o qual tem o valor turístico agregado. Muitos dos potenciais geossítios não foram localizados ou se encontram totalmente intemperizados. Os demais ainda preservam suas feições e estruturas, embora estas feições se mostrem muito frágeis e com tendência a desaparecerem num curto intervalo de tempo (Fig. 8A e B).

Dentre as ameaças antrópicas, as cavas de mineração representam fatores de risco tanto para o meio ambiente quanto para a

geodiversidade (Fig. 9A e B). Em virtude da proximidade de grandes centros consumidores, aliado ao baixo custo de exploração, areias e argilominerais esmectíticos (utilizados na construção civil e por indústrias de fertilizantes) vêm sendo extraídos ativamente nos últimos 50 anos ao longo do Rio Paraíba do Sul, tanto no leito como em suas planícies e, em menor proporção, nos sedimentos paleogenos. Além destas zonas de mineração, obras de infraestrutura são comuns na região e também afetam a geodiversidade local, demonstrando as mais variadas intervenções que ocorrem ao conjunto de paisagens que integram a área de estudo e

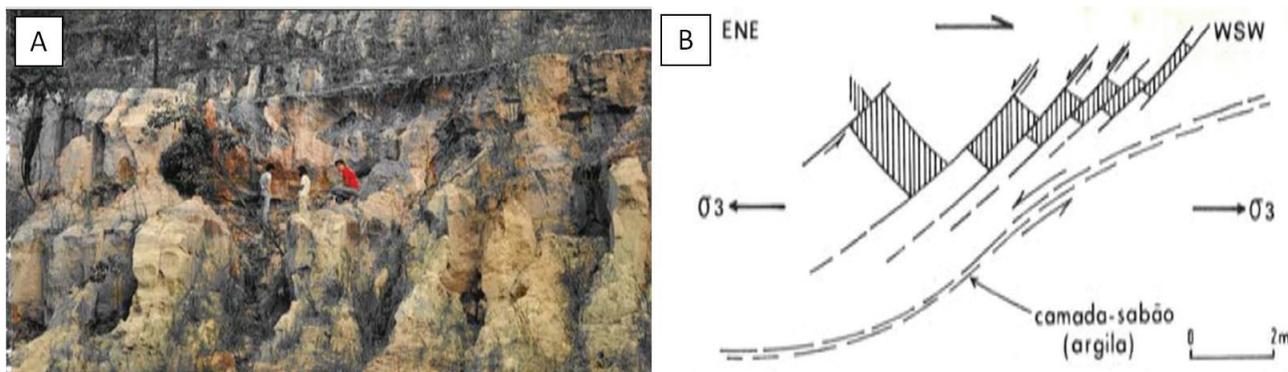


Figura 8. Geossítio Falhas conjugadas da Formação Pindamonhangaba. A) Vista geral do afloramento na década de 1980 (Fonte: Riccomini, 1989); B) Esquema do afloramento indicando falhas em arranjo dominó e camada-sabão em grande escala, não mais visíveis (Riccomini, 1989).

Figure 8. Geosite Conjugated faults of Pindamonhangaba Formation. A) Outcrop overview in the 1980s (Source: Riccomini, 1989); B) Outcrop sketch indicating domino faulting and the “soapy layer” (mudstone) on a large scale, no longer visible nowadays (Riccomini, 1989).

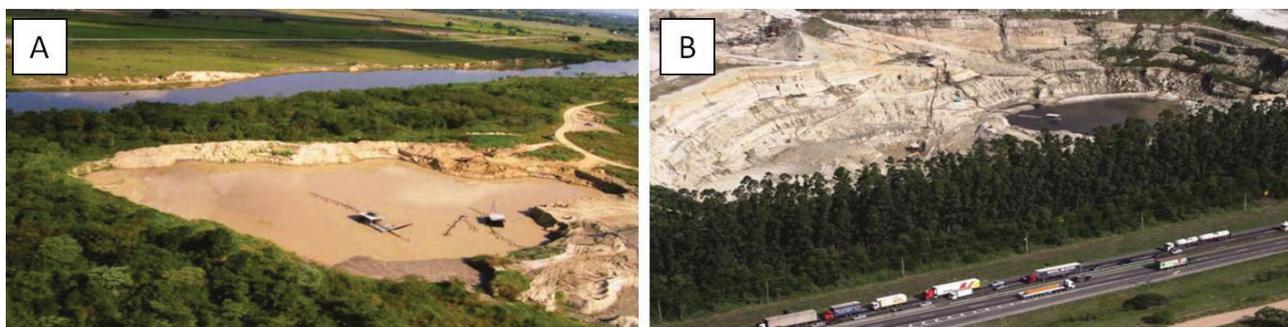


Figura 9. Áreas de mineração de areia na região da Bacia de Taubaté. A) Cava de extração de areia invadindo área de preservação e destruindo mata ciliar próximo ao Rio Paraíba do Sul; B) Desmonte hidráulico em Jacareí, às margens da Rod. Dutra. Notar a barreira de eucaliptos plantada ao longo da rodovia para ocultar as cavas. Fonte: <http://www.quimicosjc.org.br/pdfs/especiais/Cavas-de-areia-2012.pdf> (Acesso em: 02 set. 2017).

Figure 9. Sand mining areas in the Taubaté Basin region. A) Sand extraction pit invading a preservation area and destroying the ciliary forest near the Paraíba do Sul River; B) Hydroextraction in Jacareí, on the banks of Rod. Dutra. Notice the eucalyptus planted along the highway, making a visual barrier to hide the pit. Source: <http://www.quimicosjc.org.br/pdfs/especiais/Cavas-de-areia-2012.pdf> (Accessed on: 02 Sep. 2017).



Figura 10. Exemplos de geossítios e potenciais geossítios que estão na iminência de desaparecer ou que já não existem mais. A) Obras da construção do aeroporto de Caçapava – SP, o Aerovale, com indicação de dois geossítios (BT-09 e BT-10, em amarelo). Fonte: www.aerovale-cea.com.br/empreendimento (Acesso em: 11 ago. 2017); B) Afloramento com gretas de contração que foi destruído para construção de via de acesso para a cidade de Campos do Jordão – SP; C) Afloramento com arenitos estratificados que foi destruído para construção de estrada secundária na região de Tremembé – SP. Figuras B e C extraídas de Riccomini (1989).

Figure 10. Examples of geosites and potential geosites that are about to disappear or no longer exist. A) Construction site of the airport of Caçapava - SP, the Aerovale, with indication of two geosites (BT-09 and BT-10, in yellow). Source: www.aerovale-cea.com.br/empreendimento (Accessed on: Aug. 11, 2017); B) Contraction joints outcrop that was destroyed for construction of access road to the city of Campos do Jordão – SP; C) Stratified sandstones outcrop that was destroyed for construction of secondary road in the region of Tremembé - SP. Figures B and C: extracted from Riccomini (1989).

como estas têm modificado a potencialidade dos elementos naturais (Fig. 10A a C).

Ao mesmo tempo em que é importante pensar em estratégias para promover a geoconservação destas áreas, as atividades locais não podem ser interrompidas, visto que a sociedade necessita destes recursos que são disponibilizados pela geodiversidade, no caso da mineração, e de obras e melhorias de infraestrutura por conta do crescimento urbano e populacional. Isso pode acarretar na destruição de sítios significativos do ponto de vista geológico. No entanto, é possível pensar em estratégias para minimizar estes impactos, de modo a contribuir com a manutenção dos serviços ecossistêmicos prestados pela geodiversidade

os quais, aplicados aos geossítios da região, são classificados por Gray (2013) como "Serviços de Provisão", responsáveis por disponibilizar bens materiais para a sociedade com valor econômico agregado.

Neste contexto, para o caso da atividade mineradora, fundamentar a importância da extração dos recursos de forma que ela seja sustentável, estabelecendo critérios e regras para exploração, é um meio de colaborar com a conservação de parte da geodiversidade da área afetada. Outra medida seria propor a criação de locais que favoreçam a difusão do conhecimento geocientífico, como ocorre com a "Pedreira do Valério", no concelho de Arouca, em Portugal, e a Extrativa Santa Fé, no município de Tremembé,



Figura 11. Locais utilizados para divulgação do patrimônio geológico. A) Centro de Interpretação Geológica de Canelas, em Portugal. Notar os fósseis de trilobitas em placas expostas e que foram retiradas durante a atividade mineradora. Fonte: <http://www.cigc-arouca.com> (Acesso em: 11 jan. 2018); B) Parte do acervo da Extrativa Santa Fé, exibindo parte dos fósseis encontrados na mineração do folhelho da Formação Tremembé.

Figure 11. Sites used for the promotion of geological heritage. A) Center of Geological Interpretation of Canelas, Portugal. Note the trilobite fossils on the exposed slabs that were removed during mining. Source: <http://www.cigc-arouca.com> (Access: January 11, 2018); B) Part of the Extrativa Santa Fé collection, showing part of the fossils found during Tremembé Formation shales mining.

onde fica localizado o geossítio Fazenda Santa Fé (Fig. 11A e B).

As imagens anteriores ilustram locais que contribuem com a conservação de parte do patrimônio geológico. Ambas as instituições correspondem a mineradoras ativas que exploram áreas onde ocorrem fósseis de inestimável valor em ardósias e folhelhos, respectivamente. Atualmente, no Geoparque Mundial da UNESCO de Arouca (Portugal), funciona o referido Centro de Interpretação Geológica de Canelas, um museu criado pela empresa mineradora e que preserva o patrimônio geológico encontrado durante a exploração de ardósia. A Extrativa Santa Fé criou recentemente uma área onde também divulga parte dos fósseis encontrados, além de informações acerca da geologia do local. Ademais, as duas mineradoras permitem o acesso de pesquisadores às zonas de extração, possibilitando o estudo destas áreas de importante valor científico.

Para as atividades relacionadas às obras de infraestrutura, deve-se fomentar o ensino e a divulgação das geociências aliados à correta gestão destas áreas por parte das autoridades.

Desta forma, após estudos adequados, estas atividades poderão ser planejadas com foco no ordenamento do território e gestão de recursos, promovendo, assim, uma boa relação entre pesquisa e o uso da geodiversidade, além de garantir o bem-estar da população.

Com relação às ameaças decorrentes de processos naturais, como intemperismo, faz-se necessário desenvolver estratégias de geoconservação com o intuito de diminuir estes impactos, tais como o uso de estruturas físicas que possam minimizar os danos causados pela ação da chuva, por exemplo (Fig. 12A e B). Estas medidas, no entanto, devem partir de entidades públicas ou privadas capazes de promover o gerenciamento destes locais, seja por meio da criação de infraestrutura, já citada, ou pelo cultivo da memória geológica, através do registro e catalogação dos sítios. Imagens de satélite e fotografias antigas podem ser utilizadas na criação de uma base de dados do patrimônio geológico, cuja perda pode ser calculada e comparada com imagens atuais. Neste exemplo, o uso de vídeos e imagens obtidas por meio de veículos aéreos não tripulados, os *drones*, podem

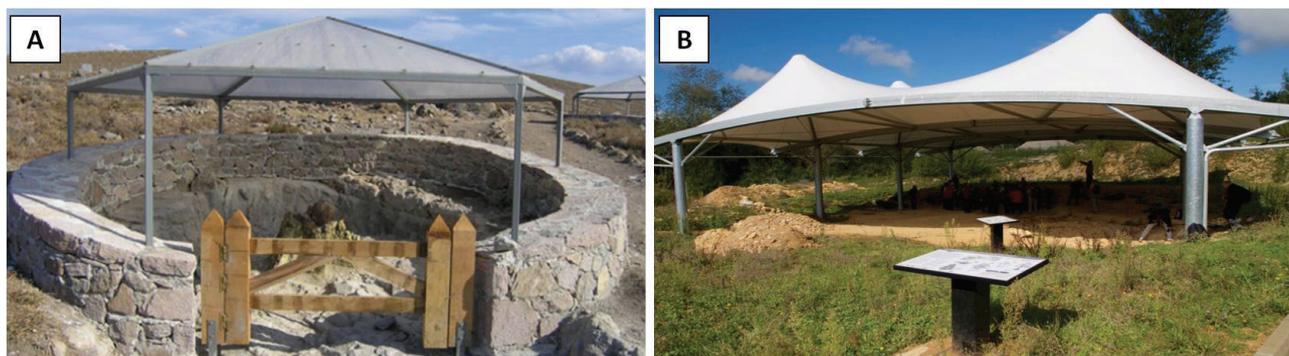


Figura 12. Coberturas contra os agentes de intemperismo em geossítios. A) Um dos geossítios da floresta petrificada do Geoparque Mundial da UNESCO da Ilha de Lesvos, Grécia. Fonte: <http://www.lesvosgeopark.gr> (Acesso em: 21 jan. 2018); B) Geossítio paleontológico Montréal-du-Gers, em Toulouse, França. Imagens: José Brilha.

Figure 12. Canopy against weathering in geosites. A) One of the geosites of the Petrified Forest of the Lesvos Island UNESCO Global Geopark, Greece. Source: <http://www.lesvosgeopark.gr> (Accessed on: January 21, 2018); B) Paleontological Geosite Montréal-du-Gers in Toulouse, France. Picture: José Brilha.

facilitar a comparação e obtenção de dados mais precisos.

5 Conclusões

O inventário da Bacia de Taubaté possui 18 geossítios selecionados a partir de uma lista preliminar de 38 potenciais locais de interesse. O método adotado visou à definição das categorias geológicas de modo a direcionar a identificação de geossítios durante a realização do inventário, classificando-os em um contexto pertinente à sua história geológica.

O conjunto de geossítios inventariados contemplando diversas afloramentos que apresentam elevado interesse científico e didático, os quais são frequentemente utilizados em trabalhos de campo, principalmente por estudantes de Ciências da Terra. O inventário, neste contexto, serviu como base na identificação do patrimônio geológico, colaborando com a obtenção de informações que serão fundamentais à avaliação da relevância e da fragilidade inerente aos geossítios da bacia.

De acordo com os resultados demonstrados, 53% dos potenciais geossítios selecionados previamente não compõem o inventário final. Deste percentual, 27% correspondem a locais que não existem mais por consequência de atividades antrópicas que tem ocorrido gradativamente na área da bacia, embora o intemperismo também contribua com a perda do patrimônio geológico local,

correspondendo 8% dos pontos eliminados.

Estes danos, no primeiro caso, resultam da alta demanda de obras de infraestrutura que ocorrem na região em virtude do crescimento urbano, normalmente feitas sem o planejamento adequado e que, por esse motivo, causam a destruição de muitos sítios geológicos. No segundo caso, concluiu-se que não existem maneiras de intervir na ação do clima, especialmente em afloramentos que se encontram expostos, o que implica que estes locais irão sofrer alterações significativas com o passar dos anos.

Torna-se fundamental, portanto, propor mecanismos para a geoconservação destes locais de interesse geológico, de modo a possibilitar estudos futuros destas áreas consideradas relevantes. Sugere-se que estas medidas sejam feitas por instituições capazes de promover o gerenciamento dos geossítios, seja por meio da criação de infraestrutura física capaz de minimizar os impactos da ação de agentes naturais, quando cabíveis, ou pelo registro e catalogação dos pontos que se encontram ameaçados, especialmente por atividades antrópicas. Estas ações poderão ser viabilizadas após a avaliação destas áreas, onde os valores de risco de degradação deverão ser utilizados para hierarquizar a necessidade ou não de proteção de determinados geossítios.

Deste modo, sabendo que o conhecimento adequado do patrimônio geológico de uma dada região fornece subsídios para a gestão

sustentável e uso correto dos recursos da natureza, espera-se que este inventário auxilie tanto na geoconservação de geossítios, quanto nas políticas públicas voltadas à gestão e ordenamento territorial da região da Bacia de Taubaté, de modo a preservar a memória científica de afloramentos importantes e que registram parte da história geológica associada à evolução do Rifte Continental do Sudeste do Brasil.

Agradecimentos. Os autores agradecem: à Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade de São Paulo, por meio do Programa de Incentivo à Pesquisa, que permitiu a criação do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Patrimônio Geológico e Geoturismo (GeoHereditas); à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de doutorado (Processo 88881.135227/2016-01); e às concessionárias CCR Nova Dutra e Ecopistas, ao DER-SP e Aerovale, por autorizarem a realização das atividades de campo. Nossa especial gratidão à pesquisadora Rachel Prochoroff, pela revisão e tradução do texto.

Referências bibliográficas

- Ab'Saber, A.N. 2003. *Os domínios da natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo, Ateliê Editorial, 160p.
- Almeida, F.F.M. 1964. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico*, 41: 169-263.
- Almeida, F.F.M. 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48(2): 15-26.
- ANA. Agência Nacional de Águas. 2001. *Bacia do Rio Paraíba do Sul: livro da bacia*. Rio de Janeiro, ANA, 68p.
- Assumpção, M. 1998. Seismicity and stresses in Brazilian Passive Margin. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(2): 160-169.
- Brilha, J. 2005. *Patrimônio geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica*. Braga, Palimage Editora, 190p.
- Brilha, J. 2016. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage*, 8(2): 119-134.
- Brilha, J., Alcalá, L., Almeida, A., Araújo, A., Azeredo, A., Azevedo, M.R., Barriga, F., Brum da Silveira, A., Cabral, J., Cachão, M., Caetano, P., Cobus, A., Coke, C., Couto, H., Crispim, J., Cunha, P.P., Dias, R., Duarte, L.V., Dória, A., Falé, P., Ferreira, N., Ferreira Soares, A., Fonseca, P., Galopim de Carvalho, A., Gonçalves, R., Granja, H., Henriques, M.H., Kullberg, J.C., Kullberg, M.C., Legoinha, P., Lima, A., Lima, E., Lopes, L., Madeira, J., Marques, J.F., Martins, A., Martins, R., Matos, J., Medina, J., Miranda, R., Monteiro, C., Moreira, M., Moura, D., Neto Carvalho, C., Noronha, F., Nunes, J.C., Oliveira, J.T., Pais, J., Pena dos Reis, R., Pereira, D., Pereira, P., Pereira, Z., Piçarra, J., Pimentel, N., Pinto de Jesus, A., Prada, S., Prego, A., Ramalho, L., Ramalho, M., Ramalho, R., Relvas, J., Ribeiro, A., Ribeiro, M.A., Rocha, R., Sá, A., Santos, V., Sant'Ovaia, H., Sequeira, A., Sousa, M., Terrinha, P., Valle Aguado, B. & Vaz, N. 2010. O inventário nacional do património geológico: abordagem metodológica e resultados. *E-Terra*, 18(1):1-4.
- Bruschi, V.M. & Cendrero, A. 2005. Geosite Evaluation: Can We Measure Intangible Values? *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 18(1): 293-306.
- Cavalcante, J., Cunha, H.C.S., Chieregatti, L.A., Kaefer, L.Q., Rocha, J.M., Daitx, E.C., Coutinho, M.G.N., Yamamoto, K., Drumond, J., Rosa, D.B. & Ramalho, R. 1979. *Projeto Sapucaí, estado de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais*. São Paulo, DNPN, 299p.
- Fernandes, F. L. & Chang, H.K. 2001. Modelagem gravimétrica da Bacia de Taubaté - Vale do Rio Paraíba do Sul, leste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geofísica*, 19(1): 131-144.
- Fernandes, F.L. & Chang, H.K. 2003. Arcabouço estrutural da Bacia de Taubaté – SP. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 9., 2003, Búzios, *Volume único*, p. 367-370.
- Fernandes, F.L. 1993. *Arcabouço estrutural e evolução da Bacia de Taubaté - SP*. Ouro Preto, 147p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

- Ferrari, A.L. 2001. *Evolução Tectônica do Graben da Guanabara*. São Paulo, 449p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Florenzano, T.G. & Csordas, S.M. 1993. *Mapa geomorfológico da Região do Médio Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, escala 1:250.000.
- Fuertes-Gutiérrez, I. & Fernández-Martínez, E. 2010. Geosites inventory in the Leon Province (Northwestern Spain): A tool to introduce geoheritage into regional environmental management. *Geoheritage*, 2: 57-75.
- Fuertes-Gutiérrez, I., García-Ortiz, E. & Fernández-Martínez, E. 2016. Anthropogenic threats to geological heritage: characterization and management: a case study in the dinosaur tracksites of La Rioja (Spain). *Geoheritage*, 8: 135-153.
- Garcia, M.G.M., Brilha, J., Lima, F.F., Vargas, J.C., Pérez-Aguillar, A., Alves, A., Campana, G.A.C., Duleba, W., Faleiros, F.M., Fernandes, L.A., Fierz, M.S.M., Garcia, M.J., Janasi, V.A., Martins, L., Raposo, M.I.B., Ricardi-Branco, F., Ross, J.L.S., Sallum Filho, W., Souza, C.R.G., Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., Neves, B.B.B, Campos Neto, M.C., Christofoletti, S.R., Henrique-Pinto, R., Lobo, H.A.S., Machado, R., Passarelli, C.R., Perinotto, J.A.J., Ribeiro, R.R. & Shimada, H. 2017. The Inventory of Geological Heritage of the State of São Paulo, Brazil: Methodological Basis, Results and Perspectives. *Geoheritage*, 1: 01-20.
- García-Cortéz, A. & Carcavilla Urquí, L. 2009. Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG). Disponível em: < <http://www.igme.es/patrimonio/novedades/METODOLOGIA%20IELIG%20web.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2017.
- Gonggrijp, G.P. 2000. Planificación y Gestión para la Geoconservación. In: Baretino D., Wimbledon W.A.P. & Gallego Y.E. (Ed.). *Patrimonio Geológico: Conservación y Gestión*. Madrid, Spain, p. 31-49.
- Gray, M. 2004. *Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature*. Londres, John Wiley & Sons, 434p.
- Gray, M. 2005. Geodiversity and Geoconservation: what, why and how? *The George Wright Forum*, 22(3): 4-12.
- Gray, M. 2013. *Valuing and conserving abiotic nature*. Londres, John Wiley & Sons, 508p.
- Gray, M., Gordon, J.E. & Brown, E.J. 2013. Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologist's Association*, 124(4): 659-73.
- Henriques, M.H., Reis, R.P., Mota, T. & Brilha, J. 2011. Geoconservation as an Emerging Geoscience. *Geoheritage*, 3(1): 117-128.
- Lima, F.F. 2008. *Proposta Metodológica para a Inventariação do Patrimônio Geológico Brasileiro*. Braga, 94p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Patrimônio Geológico e Geoconservação, Escola de Ciências, Universidade do Minho.
- Mansur, K.L. 2010. Ordenamento Territorial e Geoconservação: Análise das Normas Legais Aplicáveis no Brasil e um Caso de Estudo no Estado do Rio de Janeiro. *Geociências*, 29(1): 237-349.
- Mansur, K.L., Rocha, A.J.D., Pedreira, A.J., Schobbenhaus, C., Salamuni, E., Erthal, F.L.C., Piekarz, G.F., Winge, M., Nascimento, M.A.L. & Ribeiro, R.R. 2013. Iniciativas Institucionais de valorização do patrimônio geológico no Brasil. *Boletim Paranaense de Geociências*, 70(1): 2-27.
- Mezzalana, S. 1989. *Os fósseis do estado de São Paulo*. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Geológico, 141p.
- Mochiutti, N.F., Guimarães, G.B. & Melo, M.S. 2011. Os Valores da Geodiversidade na Região de Piraí da Serra, Paraná. *Geociências*, 30(4): 651-668.
- 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. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89: 2625-2645.
- Moura, T.T. 2015. *Estruturas transversais às bacias de Taubaté e Resende: natureza e possível continuidade na bacia de Santos*.

- São Paulo, 96p. Dissertação de Mestrado, Programa Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Pereira, P.J.S. 2006. *Patrimônio geomorfológico: conceptualização, avaliação e divulgação. Aplicação ao Parque Natural de Montesinho*. Braga, 370p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Patrimônio Geológico e Geoconservação, Escola de Ciências, Universidade do Minho.
- Pereira, R.G.F.A. 2010. *Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia - Brasil)*. Braga, 318p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Patrimônio Geológico e Geoconservação, Escola de Ciências da Universidade do Minho.
- Perrotta, M.M., Salvador, E.D., Lopes, R.C., D'Agostinho, L.Z., Peruffo, N., Gomes, S.D., Sachs, L.L.B., Meira, V.T., Garcia, M.G.M. & Lacerda Filho, J.V. 2005. *Mapa geológico do estado de São Paulo*. São Paulo, Serviço Geológico do Brasil, escala 1:750.000.
- Poiraud, A., Chevalier, M., Claeysen, B., Biron, P. & Joly, B. 2016. From geoheritage inventory to territorial planning tool in the Vercors massif (French Alps): Contribution of statistical and expert cross approaches. *Applied Geography*, 71: 69-82.
- Reynard, E. & Brilha, J. 2018. *Geoheritage: assessment, protection and management*. Amsterdam, Elsevier, 450p.
- Riccomini, C. 1989. *O rift continental do sudeste do Brasil*. São Paulo, 256p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Riccomini, C. 1993. Origem, evolução e inversão da Bacia do Pico de Itapeva, Neoproterozóico - Cambriano, São Paulo, Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DEI NEOPROTEROZÓICO-CAMBRICO DE LA CUENCA DEL PLATA, 1., 1993, La Paloma. *Resumenes Extensos*, v. 1(16), s/p.
- Riccomini, C., Appi, C.J., Freitas, E.L. & Arai, M. 1987. Tectônica e sedimentação no sistema de rifts continentais da Serra do Mar (Bacias de Volta Redonda, Resende, Taubaté e São Paulo). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA RJ-ES, 1., 1987, Rio de Janeiro. *Anais do 1º Simpósio de Geologia RJ-ES*, v. 1, p. 253-298.
- Riccomini, C., Sant'anna, L.G. & Ferrari, A.L. 2004. Evolução geológica do rifte continental do sudeste do Brasil. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R. & Brito-Neves, B.B. (Ed.). *Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca, p. 383-406.
- Santos, D.V.L. 2011. *Tectônica rúptil na porção central da Bacia de Taubaté: Deformação por falhas dos sedimentos cenozoicos e do embasamento adjacente*. Rio Claro, 62p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- Stanley, M. 2000. Geodiversity. *Earth Heritage*, 14: 15-18.
- Vidal, A.C., Fernandes, F.L. & Chang, H.K. 2004. Distribuição dos arenitos da Bacia de Taubaté - SP. *Geociências*, 2(23): 55-66.
- Wimbledon, W.A.P. 1996. Geosites - A new conservation initiative. *Episodes*, 19(3): 87-88.
- Wimbledon W.A.P., Andersen S., Cleal, C.J., Cowie, J.W., Erikstad, L., Gonggrijp, G.P., Johansson, C.E., Karis, L.O. & Suominen, V. 1999. Geological World Heritage: GEOSITES: a global comparative site inventory to enable prioritisation for conservation. *Memorie Descritive della Carta Geologica d'Italia*, 54: 45-60.
- Zouros, N.C. 2007. Geomorphosite assessment and management in protected areas of Greece. Case study of the Lesvos island- coastal geomorphosites. *Geographica Helvetica: Swiss Journal of Geography*, 62(3): 169-180.