

Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil

SIGEP 002

Arquipélago de São Pedro e São Paulo

Soerguimento tectônico de rochas infracrustais no Oceano Atlântico

Thomas Ferreira da Costa Campos^{1a}
Joaquim das Virgens Neto^{1b}
Narendra Kumar Srivastava^{1c}
Reinaldo Antônio Petta^{1d}
Léo Afrânio Hartmann^{2e}
João Francisco Silveira de Moraes^{3f}
Liana Mendes^{4g}
Susan Roberta Melo Silveira^{5h}

^a thomascampos@geologia.ufrn.br;

^b dasvirgens@yahoo.com.br;

^c narendra@geologia.ufrn.br;

^d petta@geologia.ufrn.br ;

^e leo-hartmann@ufrgs.br;

^f JOAOFMORAES@aol.com;

^g liana_oceanica@yahoo.com.br;

^h susan_melo@bol.com.br

¹Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte; Caixa Postal 1639, CAMPUS da UFRN, 59072-970 NATAL-RN;

²Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul;

³CPRM - Serviço Geológico do Brasil;

⁴Departamento de Biologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte;

⁵Departamento de Biologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco

© Campos, T.F.C.; Virgens Neto, J.; Srivastava, N.K.; Petta, R.A.; Hartmann, L.A.; Moraes, J.F.S.; Mendes, L.; Silveira, S.R.M.. 2005. Arquipélago de São Pedro e São Paulo - Soerguimento tectônico de rochas infracrustais no Oceano Atlântico. *In*: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E.T.; Campos, D.A.; Souza, C.R.G.; Fernandes, A.C.S. (Edit.) Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Publicado na Internet em 24/12/2005 no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio002/sitio002.pdf>

(A referência bibliográfica de autoria acima é requerida para qualquer uso deste artigo em qualquer mídia, sendo proibido o uso para qualquer finalidade comercial)

Arquipélago de São Pedro e São Paulo

Soerguimento tectônico de rochas infracrustais no Oceano Atlântico

SIGEP 002

Thomas Ferreira da Costa Campos^{1a}
Joaquim das Virgens Neto^{1b}
Narendra Kumar Srivastava^{1c}
Reinaldo Antônio Petta^{1d}
Léo Afrânio Hartmann^{2e}
João Francisco Silveira de Moraes^{3f}
Liana Mendes^{4g}
Susan Roberta Melo Silveira^{5h}

O Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), o menor arquipélago oceânico brasileiro, situa-se no meio do Atlântico-Norte Equatorial (00°55'02"N; 29°20'42"W), distando 1.010 km da costa brasileira e cerca de 1.824 km da costa africana. O ASPSP possui características *sui generis* em relação aos outros arquipélagos oceânicos, visto não ser formado por rochas vulcânicas, mas por rochas plutônicas. A origem e a idade do ASPSP são incertas, pois não é bem assente se o ASPSP corresponde a uma relíquia do manto-litosférico sub-continental, associada à parte não expansiva do embasamento da região Meso-Atlântica Equatorial ou se corresponde a uma protrusão de manto-oceânico soerguido pela ação da fratura transformante São Paulo, concomitantemente com o processo de milonitização-serpentinização. Estima-se que sua formação tenha ocorrido entre 100-35 Ma. A parte emersa é constituída por milonito peridotítico serpentinizado e por milonito kaersútítico, cuja origem é incerta. A milonitização obliterou as feições primárias destas rochas, o mesmo ocorrendo devido à serpentinização por ações de fluidos hidrotermais e/ou de água de mar durante movimentos tectônicos tardios que fraturaram mais ainda estas rochas. A Formação de São Pedro e São Paulo (FSPSP), de idade neogênica, aflora em parte do arquipélago e é constituída por sedimentos clásticos, derivados do embasamento e de atividade biogênica, cimentados por carbonato de cálcio. A existência de pequenos terraços-marinhos, marcando quatro paleoníveis acima do atual nível do mar, e a gama de litofácies, estratificações e fósseis que aparecem na FSPSP, sugerem que ela foi depositada em regime progradante, subaéreo, dominado por ondas. Conseqüentemente, o soerguimento tectônico não ocorreu à taxa constante, mas episodicamente; no início do Neogeno Superior o ASPSP esteve debaixo do atual nível do mar.

Palavras-chave: Peridotitos Abissais; Milonitos, Serpentinização; Expansão Oceânica; Arquipélago de São Pedro e São Paulo; Atlântico Equatorial.

São Pedro e São Paulo Archipelago–Infracrustal rocks uplifted in the Atlantic Ocean

The São Pedro and São Paulo Archipelago (SPSPA) (also known as St. Paul's rocks) is the smallest Brazilian oceanic archipelago, located at the mid equatorial North Atlantic Ocean (00°55'02"N; 29°20'42"W), about 1010 km from the Brazilian-coast and about 1824 km from the African-coast. The SPSPA is a very distinct archipelago because it is constituted by plutonic rocks from the upper mantle instead of volcanic rocks. The origin and the age of SPSPA are doubtful. Either it may correspond to a sub-continental lithospheric mantle relic associated, partly to non-spreading Equatorial Mid-Atlantic basement region, or to a protrusion of oceanic-mantle uplifting by the action of St. Paul Fracture, concomitantly with the mylonitization and serpentinization. It is estimated that their formation took place between 100-35 Ma. Its emerged part is composed of serpentinized peridotite and kaersutite mylonites. All primary textures

of these rocks were obliterated by mylonitization. Concomitantly the serpentinization, through pervasive hydrothermal fluids and/or seawater actions during late tectonic movements, rocks were even more fractured. The São Paulo and São Pedro Formation (SPSPF), outcropping in certain parts of the archipelago, is constituted by clastic sediments derived from the basement and biogenic activities, cemented by calcium carbonate. The presence of thick marine-terraces points to four paleolevels above the present sea-level. Considering the variety of lithofacies, stratifications and fossils, it is suggested that the SPSPF has been deposited under a progressive sub-aerial regime wavy dominated. Besides, it has been below sea level at the beginning of the Early Neogene and tectonic uplift has occurred episodically rather than at a constant rate.

Keywords: *Abyssal Peridotite; Mylonite, Serpentinization; Oceanic spreading; São Pedro and São Paulo Archipelago; Equatorial Atlantic.*

INTRODUÇÃO

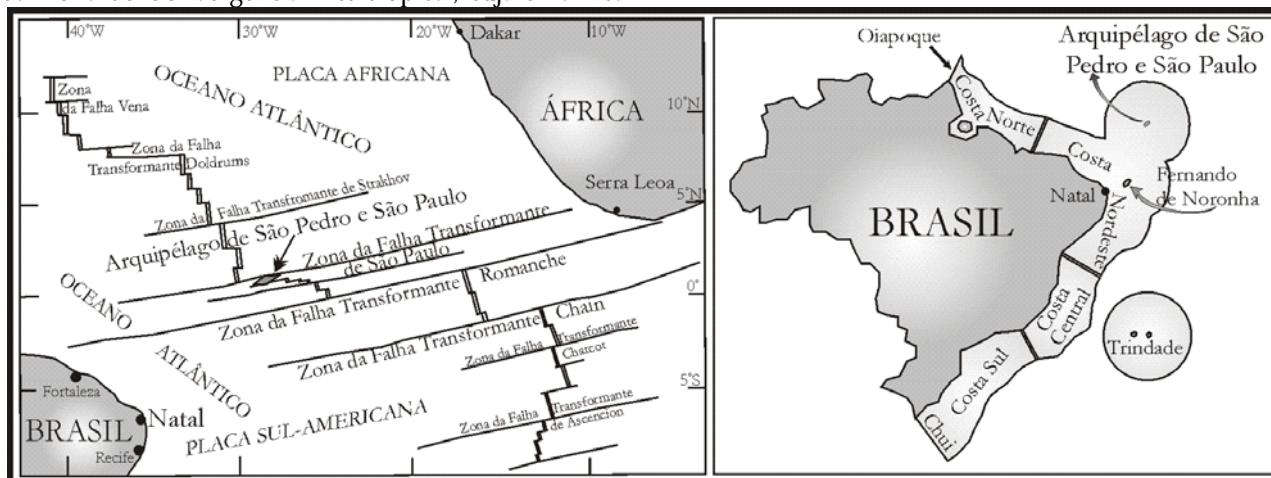
O Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) é o menor arquipélago oceânico em território brasileiro, e constitui um complexo ultramáfico de provável origem mantélica. Dada as suas características peculiares, tanto do ponto de vista geológico e mineralógico, como geoquímico, o ASPSP oferece especial interesse à comunidade científica pelas informações que lá se podem obter sobre a natureza do manto superior terrestre, e ainda sobre os processos de quebra e de deriva dos continentes (e.g.: Laurência, Gondwana, Pangea) e suas correlações com a abertura do oceano Atlântico, apesar da grande incerteza sobre a sua idade: 100-35 Ma (Melson *et al.*, 1972). Todas estas características do ASPSP ressaltam a sua importância do ponto de vista de conservação da diversidade mineral e da evolução geológica. Além disso, devido ao fato do ASPSP se encontrar inserido no Sistema Equatorial de Correntes Marinhas, o arquipélago exerce uma forte influência no ciclo de vida de várias espécies migratórias (peixes, crustáceos e aves), as quais utilizam a região como zona de alimentação e reprodução, constituindo-se, assim, em uma área ímpar para o estudo de processos de transferência de energia ao longo da cadeia trófica.

O ASPSP encontra-se ainda sob a influência direta da Zona de Convergência Intertropical, cuja dinâmica

influencia o regime de chuvas na costa nordestina brasileira, o que o leva a ser uma das áreas com maior índice pluviométrico em todo o Oceano Atlântico e, conseqüentemente, com menor salinidade superficial. Devido ainda a grande distância da costa continental, parte de sua vida selvagem apresenta-se com um elevado grau de endemismo o que ressalta ainda mais a sua importância do ponto de vista de conservação da biodiversidade.

LOCALIZAÇÃO

O ASPSP constitui o ponto mais avançado do território brasileiro no Oceano Atlântico Norte Equatorial e representa o único conjunto de ilhas oceânicas do país no hemisfério norte, pois se localiza a 62,14 milhas náuticas (100 km) a norte da linha do equador (Fig.1). As coordenadas do ponto central do ASPSP são 00°55'02"N e 29°20'42"W. O ponto mais próximo da costa brasileira, no Cabo do Calcanhar, estado do Rio Grande do Norte, dista cerca de 510 milhas náuticas (≈1.010 km) no rumo N 41° 15' E. Dista ainda cerca de 1.210 km da cidade do Recife, no rumo N 32° 30'E. O ASPSP está quase na metade do caminho para a costa da Guiné-Bissau (África), cerca de 985 milhas náuticas (≈1.824 km).



Figural: a- Localização do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Atlântico Equatorial; b- Demarcação das 200 milhas náuticas que definem a Zona Econômica Exclusiva (ZEE) brasileira.

Figure 1: a- Location of St. Peter and St. Paul Archipelago, Equatorial Atlantic; b- Demarcation of 200 nautical miles that define the Brazilian Economic Exclusive Zone (EEZ).

ASPECTOS HISTÓRICOS

A data do descobrimento do Arquipélago de São Pedro e São Paulo é incerta, pois na época as cartas náuticas eram consideradas segredo de estado. No entanto, registros históricos portugueses dizem que o ASPSP foi descoberto por acidente, em 1511, pelo navegador português Manuel de Castro Alcoforado, capitão da caravela *SÃO PEDRO*, que se desgarrou da esquadra comandada por D. Garcia de Noronha e se

chocou com os rochedos, sendo salva por outra caravela da mesma esquadra, chamada *SÃO PAULO*, daí o nome do arquipélago. Contudo, os registros históricos espanhóis indicam que em 1513, o navegador espanhol Juan da Nova de Castello fez o primeiro registro de avistamento (desconhece-se o nome do barco). A posição do ASPSP não consta na carta náutica mundial de 1513, feita pelos turcos. No entanto, os registros náuticos portugueses dizem que foi o navegador português Diego Ribeiro, em 1529,

quem fez o primeiro registro do ASPSP em carta náutica. É por isso que na carta náutica mundial de Mercator, feita em 1538, já aparece à posição do ASPSP. O primeiro desembarque no ASPSP foi realizado pelo navegador francês Beuvet du Losier em 1738 e o segundo em 1799 pelo navegador americano Amasa Delano, que estava a bordo do *S.Y. PERSEVERANCE*. Em 1813, o Capitão-tenente George Crichton, a bordo do *H.M.S. RHIN*, elaborou a primeira carta náutica do ASPSP.

Em 1831, Charles Darwin desembarcou do *R.V. BEAGLE* (Inglaterra) no ASPSP durante a sua viagem científica em volta da Terra. Darwin foi o primeiro pesquisador a defender que as rochas do arquipélago não eram de origem vulcânica, e ainda a bordo realizou as primeiras análises químicas das rochas do ASPSP (Renard, 1882). Contudo, em 1839, M'Cornick desembarcou do *H.M.S. EREBUS* e, discordantemente de Darwin, afirmou que o ASPSP era de origem vulcânica, o que não veio a se confirmar. Em 1873, Tizard *et al.* realizam o primeiro estudo geológico sistemático das rochas do embasamento cristalino do ASPSP, através da expedição exploratória do *H.M.S. CHALLENGER* (Inglaterra) chefiada por Sir Charles W. Thomson. Em 1902, o *S.Y. SCOTIA* em sua viagem para a Antártica fundeu no ASPSP e faz o primeiro registro fotográfico deste arquipélago. Em 1911, a equipe do navio alemão *DEUTSCHLAND* realizou amostragem biológica e geológica no ASPSP.

Em 1921, a expedição liderada por Shackleton-Rowett desembarcou do *H.M.S. QUEST* (Inglaterra) e realizou o segundo estudo geológico sistemático das rochas do embasamento cristalino do ASPSP. Em 1922, ocorreu a primeira e única amerrissagem de avião realizada na região do ASPSP, efetuada pelos navegadores portugueses Gago Coutinho e Sacadura Cabral a bordo do *HIDROAVIÃO LUZITANIA* (Portugal). Em 1930, o navio *BELMONTE* da Marinha do Brasil instalou o primeiro farol de auxílio à navegação. Durante a segunda grande guerra, os navios *U.S.S. ATKA* e *U.S.S. OMAHA* realizaram algumas pesquisas e modificaram os nomes de algumas ilhas que tinham sido batizadas pela expedição do *H.M.S. CHALLENGER*. Durante a década de 60 o ASPSP foi visitado por várias expedições científicas americanas [e.g: Wiseman em 1960, a bordo do *H.M.S. OWEN* (Wiseman, 1966); Melson e outros em 1964 e 1968, a bordo do *R.V. CHAIN* e *H.M.S. ATLANTIS II* (Melson *et al.*, 1972)]. Entre 1990 e 1994 pesquisadores russos e alemães, respectivamente a bordo do *R.V. STRAKHOV* e do *R.V. SONNE-84*, realizaram o levantamento gravimétrico e batimétrico da região em torno do ASPSP. Em 1996 o governo brasileiro, através da Comissão Interministerial de Recursos do Mar (CIRM), criou o Grupo de Trabalho Permanente para ocupação e pesquisa no ASPSP com o principal

propósito de instalação de uma estação científica na ilha Belmonte; este grupo chegou a bordo do navio *CANOPUS*. Com a inauguração da Estação Científica do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ECASPSP) em 1998, iniciam-se os trabalhos de pesquisa científica promovidos pelo Programa Arquipélago de São Pedro e São Paulo (PRO-ARQUIPÉLAGO). Este fato permitiu tanto a ocupação permanente do arquipélago, como permitiu ainda que o Brasil acrescentasse mais 200 milhas marítimas de zona econômica exclusiva à volta do arquipélago (Fig.2). Entre dezembro de 1997 e janeiro de 1998 pesquisadores franceses e brasileiros a bordo do submersível *NAUTILLE* e do navio *R.V. NADIR* realizaram um levantamento geológico submarino da área entre as fraturas Romanche e São Paulo. Foi ainda nessa expedição que o *NAUTILLE* fez os seus primeiros mergulhos, chegando a atingir profundidades superiores a 5.100 m. Em 2001, T.F.C. Campos e a expedição nº 83 do PRO-ARQUIPÉLAGO chegam ao ASPSP através do barco *TRANSMAR II* (Brasil) e dão início ao primeiro estudo geológico sistemático das rochas emersas do embasamento do ASPSP no século XXI. Em 2002: T.F.C. Campos e a expedição nº 105 do PROARQUIPÉLAGO desembarcam do *TRANSMAR I* (Brasil) no ASPSP e iniciam primeiro estudo geológico sistemático das rochas sedimentares emersas do ASPSP (Edward, 1985; Silveira *et al.*, 2003).

DESCRIÇÃO DO SÍTIO

Aspectos Hidrológicos e Climáticos

O ASPSP encontra-se inserido no Sistema Equatorial de Correntes Marinhas, sofrendo a influência direta da Corrente Sul-Equatorial que flui superficialmente no sentido EW e da Corrente Equatorial, submersa, que flui no sentido contrário (WE) a uma profundidade entre 60 a 100 m, numa faixa entre as latitudes 1,5° N e 1,5° S. Esta corrente submersa é a mais rápida de todas as correntes equatoriais, podendo alcançar velocidades superiores a 2 nós (cerca de 3,6 km/h). A ação conjunta destas duas correntes marinhas gera um padrão hidrológico de elevada complexidade e com grande influência no ecossistema insular, nomeadamente o fenômeno de enriquecimento de nutrientes, devido à ressurgência decorrente da interação entre as correntes oceânicas e o relevo submarino.

Em relação às condições meteorológicas, o ASPSP encontra-se sob a influência direta da Zona de Convergência Intertropical, cuja dinâmica influencia o regime de chuvas na costa nordestina brasileira. Por este motivo o ASPSP é uma das áreas de maior índice pluviométrico em todo o oceano Atlântico e, conseqüentemente, de menor salinidade superficial.



Figura 2: Vista geral do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Atlântico Equatorial: a- A partir do satélite QuickBird®; b- A partir de helicóptero.

Figure 2: Overview of St. Peter & St. Paul Archipelago, Equatorial Atlantic: a- From QuickBird® satellite; b- From an helicopter.

Aspectos Biológicos

Em função do posicionamento geográfico, estrategicamente entre os dois hemisférios e ainda entre os continentes sul-americano e africano, o ASPSP exerce uma forte influência no ciclo de vida de

várias espécies migratórias, tais como peixes, crustáceos e aves que utilizam a região do arquipélago e seu entorno como zona de alimentação, reprodução e abrigo.

A baixa riqueza de organismos encontrada em ASPSP pode ser associada à pequena área do

arquipélago e conseqüentemente à escassez de microhabitats do local. O substrato marinho é predominantemente rochoso, por vezes recoberto por algas (pouco diversa). Contudo, podem aparecer pequenas áreas arenosas no fundo marinho, onde ocorrem algumas espécies de moluscos, crustáceos e outros animais típicos destes tipos de substratos.

Sabe-se que a fauna de peixes encontrada no ASPSP apresenta componentes em comum com a ictiofauna do continente brasileiro, Caribe e África, e representa o resultado da dispersão e assentamento de larvas, uma vez que o arquipélago sofre influência de duas importantes correntes marinhas. Existe claramente uma zonação em relação à distribuição dos organismos; por exemplo: indivíduos de *Entomacrodus vomerinus* (peixe-macaco) ocorrem em áreas bastante rasas, como as poças-de-maré; já espécies como o peixe-borboleta (*Chaetodon obliquus*) e o serranideo endêmico *Anthias salmopunctatus*, ocorrem em grandes profundidades, junto aos paredões rochosos.

Cerca de 14 espécies de algas foram registradas no local; na zona de oscilação das marés há a ocorrência de algas vermelhas incrustadas e na região sublitorânea seguinte aparece o zoantídeo *Pallythoa caribeorum* (de 3 a 8 m de profundidade) e uma grande quantidade de algas verdes da espécie *Caullerpa* sp. (de 3 a 30 m).

Os corais *Madracis decactis* e *Scolymia wellsii* concentram-se entre 30 e 45 m de profundidade. Duas espécies de corais-negros (*Anthipates* sp.) foram registradas no ASPSP, ocorrendo acima de 45 m.

São registradas até o momento 58 espécies de peixes recifais (saberés, parus-amarelos, budiões, donzelas, moréias, xaréus, mariquitas, borboletas, marias-da-toca, etc) e 17 espécies de peixes pelágicos (tubarões, atuns, cavalas, rêmoras, dourados, agulhões, peixes-voadores, peixe-lua), que utilizam o arquipélago principalmente como banco de alimentação (e.g. albacora-lage - *Thunnus albacares*) e para reprodução (e.g. peixe voador - *Cypselurus cyanopterus*) em determinadas épocas. Dentre os 58 peixes recifais, destacam-se as famílias mais numerosas em termos de ocorrência de espécies: Muraenidae (sete espécies), Carangidae e Pomacentridae (5 espécies cada); e Serranidae e Scaridae (3 espécies cada). Cerca de 80% dos peixes recifais do ASPSP ocorrem na costa marítima brasileira devido, não apenas à proximidade com o continente mas, também, ao favorecimento da subcorrente que se desloca do Brasil para o arquipélago.

Devido a grande distância da costa (isolamento), o ASPSP apresenta um considerável grau de endemismo como por exemplo, as quatro espécies de donzela: *Stegastes sanctipauli*; *Enneanectes smithi*; *Chaetodon obliquus*; *Anthias salmopunctatus*. Outro exemplo do efeito do isolamento do ASPSP é o aparecimento do *Holacanthus ciliars* (paru-amarelo) de variadas cores, o que não ocorre em outras localidades, e isto pode ser o reflexo de uma alta taxa de cruzamentos. Os peixes aparecem

em outras cores, como indivíduos brancos e azuis. Existem, também, exemplares despigmentados do pomacentrídeo *Chromis multilineata*. Nas águas agitadas que circundam as ilhas deste arquipélago, algumas espécies marinhas bastante raras são encontradas com relativa freqüência (e.g.: o tubarão-baleia) juntamente com os golfinhos, raias-manta, barracudas, cavalas, atuns, garoupas, tubarões, xaréus e centenas de outros peixes que geram um espetáculo digno de se ver.

Este arquipélago serve ainda como pouso a uma população local de aves marinhas (cerca de dois mil espécimes), notadamente, os atobás (*Sula leucogaster*) e viuvinhas (*Anous stolidus*). Devido a grande escassez de área seca para a nidificação, a concorrência entre estas aves é bastante grande: - no caso dos atobás temos cerca de 0,4 aves/m² o que, provavelmente, impede o aparecimento de outras aves migratórias no ASPSP (Mendes, 2004).

Aspectos Geomorfológicos

O ASPSP é constituído por um pequeno grupo de ilhas (10) e diversas pontas de rochas que se situam nas proximidades da Dorsal Meso-Atlântica, distando cerca de 100 km a norte do equador, a 00°55'02"N e 29°20'42"W (Fig.1 e 2). A área total emersa é de cerca de 4,2 acres e a distância entre os pontos extremos, as rochas Erebus e Pillar, é de 420 m. As ilhotas apresentam contornos sinuosos, irregulares e reentrantes, e suas encostas são extremamente íngremes. As quatro ilhas maiores (Belmonte, Sudeste, Nordeste e Cabral) formam uma enseada com forma de ferradura, com cerca de 100 m de comprimento por 50 m de largura, 8 m de profundidade e abertura voltada para NW. Estas ilhas encontram-se separadas por estreitos canais. O fundo da enseada é constituído por sedimentos provenientes da atividade biológica e da desagregação das rochas que constituem o arquipélago.

O relevo emerso do ASPSP é acidentado e seu ponto culminante, com 18 m de altitude, situa-se na ilha Nordeste; o ponto mais alto da ilha Belmonte tem cerca de 16 m de altitude e na ilha Sudeste as maiores elevações atingem 17 m. O relevo submarino do arquipélago exhibe elevações alongadas como uma crista, com declive suave na direção EW e forte declividade na direção NS.

Este arquipélago constitui a parte emersa de uma cadeia de montanha transversal meso-oceânica com direção EW que se encaixa paralelamente ao bordo norte da zona de falha da Fratura Transformante de São Paulo, na zona limítrofe das placas tectônicas divergentes Sul-americana e Africana. A Fratura de São Paulo estende-se por 580 km entre as coordenadas 1°N-30°20'W e 0°30'N-24°W e corresponde a um dos maiores deslocamentos (levógiro) da *ridge* meso-oceânica atlântica. A crosta oceânica, dos lados opostos (norte e sul) da área ativa da Fratura

Transformante de São Paulo, apresenta uma diferença de idade de cerca de 40 Ma (Rusby, 1993). A zona de falha da Fratura Transformante de São Paulo, no entorno do arquipélago, possui cerca de 120 km de largura e seus vales podem atingir uma profundidade média de -3.600 m. Contudo, nas cercanias do arquipélago são observadas profundidades abissais superiores à -5.000 m, tanto nas zonas das falhas transformantes, como no seio da dorsal Atlântica (Hekinian *et al.*, 2000).

Considerando a isóbata dos -3800 m, esta cadeia de montanha apresenta uma forma sigmoidal, com cerca de 100 km de comprimento por 40 km largura, e uma orientação geral NE-SW. Segundo Hekinian *et al.*

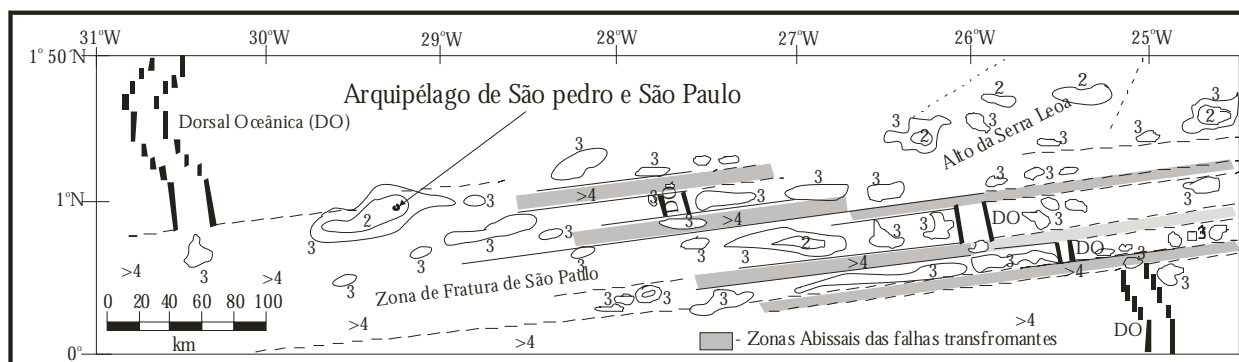


Figura 3. Esboço do sistema de cristas-vales transversais que forma a zona da fratura transformante de São Paulo, Atlântico Equatorial (Gorini, 1981; Hekinian *et al.*, 2000).

Figure 3. Sketch of transverse crest-valley system that constitutes the St. Paul transform fracture zone, Equatorial Atlantic (Gorini, 1981, Hekinian *et al.*, 2000).

O fato que torna o arquipélago de São Pedro e São Paulo *sui generis* no Atlântico é a ocorrência de rochas plutônicas ultramáficas, que foram milonitizadas durante o seu posicionamento por forças tectônicas, que podem estar relacionadas com a quebra do continente Pangea (Maia *et al.*, 1999), e com a conseqüente expansão do Oceano Atlântico. Não existem rochas vulcânicas na parte emersa do arquipélago, mas sim rochas plutônicas infracrustais (Bonatti, 1976; Melson *et al.*, 1972). O maciço rochoso que constitui a parte imersa da região do arquipélago apresenta dois flancos em torno da faixa de falha transformante ativa de direção EW (Hekinian *et al.*, 2000, Fig.4). Este conjunto de falha que separa os dois flancos forma uma estrutura tipo *graben* (<-2.500 m) onde são encontrados intrusões doleríticas e pequenos derrames basálticos. Os dois flancos apresentam características geológicas distintas: (i) o flanco norte, fortemente tectonizado, onde se encontra o ASPSP, apresenta um conjunto de escarpas de falhas e é formado, essencialmente, por milonito peridotítico serpentizado, milonito peridotítico bandado e serpentizado, raras intrusões gabróicas e derrames basálticos; (ii) o flanco sul, menos tectonizado, é constituído por peridotito não deformado e serpentizado, ocorrendo, ainda, alguns derrames basálticos e um capeamento de calcário endurecido.

(2000), esta forma sigmoidal pode ser explicada pela junção de dois maciços rochosos que formam a cadeia de montanha submarina.

Aspectos Geológicos e Petrográficos

ROCHAS DO EMBASAMENTO

A cadeia de montanha submarina, cujos topos constituem o Arquipélago de São Pedro e São Paulo, é tectonicamente ativa e, conseqüentemente, sujeita a terremotos. Esta cadeia montanhosa encontra-se no seio da falha transformante de São Paulo, o que indica que sua formação foi controlada pela movimentação desta falha e de seu conjunto de fraturas (Fig.3).

O mecanismo de colocação do maciço de SPSP dentro da falha transformante de São Paulo não foi ainda identificado. Wolfe *et al.* (1993) e Hekinian *et al.* (2000) propuseram dois processos tectônicos distintos para a origem da forma sigmoidal deste maciço: o flanco sul ter-se-ia formado a partir de movimento tectônico tipo extensional (*pull-apart*), diapírico e de denudação, enquanto o flanco norte ter-se-ia formado a partir de um extensivo falhamento transversal do tipo cisalhante e cavalgante (*strike-slip e thrust faults*), o que sugere uma litosfera mais rígida do que a do flanco Sul, durante a protusão dos peridotitos serpentizados (Fig.4). Devido ainda aos movimentos extensionais localizados no seio deste maciço, ocorreu vulcanismo intra-transformante. Assim, as rochas vulcânicas que afloram na estrutura tipo *graben* do flanco Sul podem ter extravasado durante um reajuste tectônico. Conseqüentemente, a colocação dos peridotitos que constituem o ASPSP está relacionada ao efeito combinado de diapirismo serpentínico (protusão) e cisalhamento diferencial dentro da falha transformante de São Paulo, resultando na elevação do maciço de SPSP acima do atual nível do mar. Os afloramentos da parte emersa apresentam-se ainda diaclasados devido a movimentos posteriores a milonitização. Durante o soergimento do flanco norte houve deposição de sedimentos que deram origem à Formação de São Pedro e São Paulo, de idade quaternária (Campos *et al.*, 2002, 2003 e 2004).

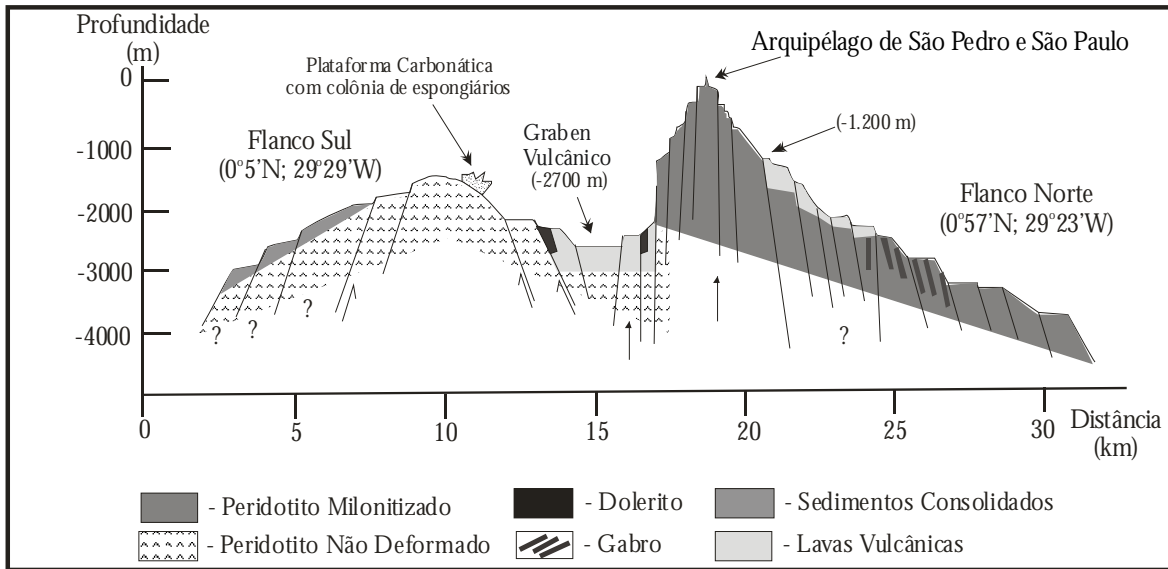


Figura 4: Croqui do perfil geológico interpretativo dos flancos Norte e Sul da cadeia transversal do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, separados por uma falha transformante ativa de direção EW (Hekinian *et al.*, 2000).

Figure 4: Sketched geological profile of North and South flanks of the St. Peter and St. Paul archipelago transversal ridge separated by an EW active transform fault of EW trending (Hekinian *et al.*, 2000).

A porção noroeste da ilha Belmonte (Fig.5a) é constituída por uma rocha afanítica, maciça, homogênea, de dureza elevada e coloração branca acinzentada a cinza verdeoengo (Fig.6a). Já a porção sudeste dessa ilha e as demais ilhas são constituídas, essencialmente, por uma rocha afanítica, heterogênea, de dureza baixa e coloração bastante variada, desde branca acinzentada e/ou cinza verdeoengo a marrom avermelhada ou, ainda, uma mistura entre estas colorações (Fig.6c). A rocha homogênea corresponde a um peridotito milonitizado, enquanto a rocha heterogênea corresponde a uma trama entre a fase milonítica e a fase serpentinizada, onde a fase serpentinizada desenvolve-se a partir do padrão do micro-diaclasamento e às custas da fase milonítica, até consumo total dessa fase. Na ilha Sudeste e, mais raramente, na porção sul da ilha Belmonte ocorre, ainda, como filões e enclaves, uma rocha alcalina milonitizada, rica em kaersutita, afanítica, maciça, homogênea, de dureza elevada, de cor cinza similar a antracita (Fig.6b). Em pequena área da porção este da ilha Sudeste ocorre uma alternância de níveis com dimensões milimétricas a centimétrica, entremeados paralelamente (Fig.6d) e por vezes com microdobramento, de milonitos peridotíticos, com serpentinação incipiente, e de milonito alcalino kaersutítico.

Os processos tectônicos obliteraram quase toda a paragenese mineralógica original das rochas do ASPSP, inviabilizando, até o momento, a determinação de sua composição modal (Melson *et al.*, 1972). A natureza plutônica original destas rochas é evidenciada pela existência de porfiroclastos elipsoidais de olivina (0,1 – 2,0 mm, mas raramente podem chegar a 4 mm), piroxênios (0,5 – 1,5 mm), anfibólios (0,5 – 6 mm) e espinélios (0,1 – 4 mm), fortemente fragmentados e fraturados até se confundir com a

matriz (< 0,01 mm) de mesma composição. Os porfiroclastos de olivina correspondem a 60% dos porfiroclastos e a matriz milonítica, criptoserpentinizada, corresponde a mais de 60% da rocha. Os fenocristais cominuídos e recristalizados são envolvidos, sinuosamente, por fina matriz milonítica (Fig. 7a, b, c, d), que pode aparecer como bandamento claro/escuro, de diferente granulação (média de 0,01 a 0,02 mm, mas pode atingir 0,06 mm) (Fig. 7a, b). A cor escura deve-se a concentrações de minúsculos grãos de magnetita proveniente do processo de serpentinação da matriz.

Foliação milonítica na matriz, paralelamente ao eixo maior dos porfiroclastos mais elipsoidais, é identificada localizadamente. Porfiroclastos de olivina se apresentam com orientação ótica variada, mas, geralmente, o seu eixo cristalográfico b encontra-se perpendicular à foliação milonítica (Tilley, 1947; Denisova, 1991). Esta orientação encontra-se refletida em planos preferenciais de microdiaclasamento apresentados por algumas amostras. Petrograficamente, os milonitos ultramáficos do ASPSP possuem, ainda, vestígios tanto de uma deformação inicial à alta temperatura ocorrida no manto superior, como de uma forte deformação plástica ocorrida na crosta inferior durante o processo tectônico que originou a fratura transformante de São Paulo, por meio da qual os peridotitos iniciais se tornaram milonitizados. A combinação da recristalização sintectônica com a deformação plástica deu origem a uma textura milonítica típica, que obliterou a orientação ótica inicial dos minerais sem produzir uma textura nova nos porfiroclastos. A orientação milonítica dos peridotitos do ASPSP é discordante à direção da falha transformante de São Paulo, o que indica que este bloco foi trazido à superfície em umas séries de movimentos tectônicos complicados (Melson *et al.*, 1972).

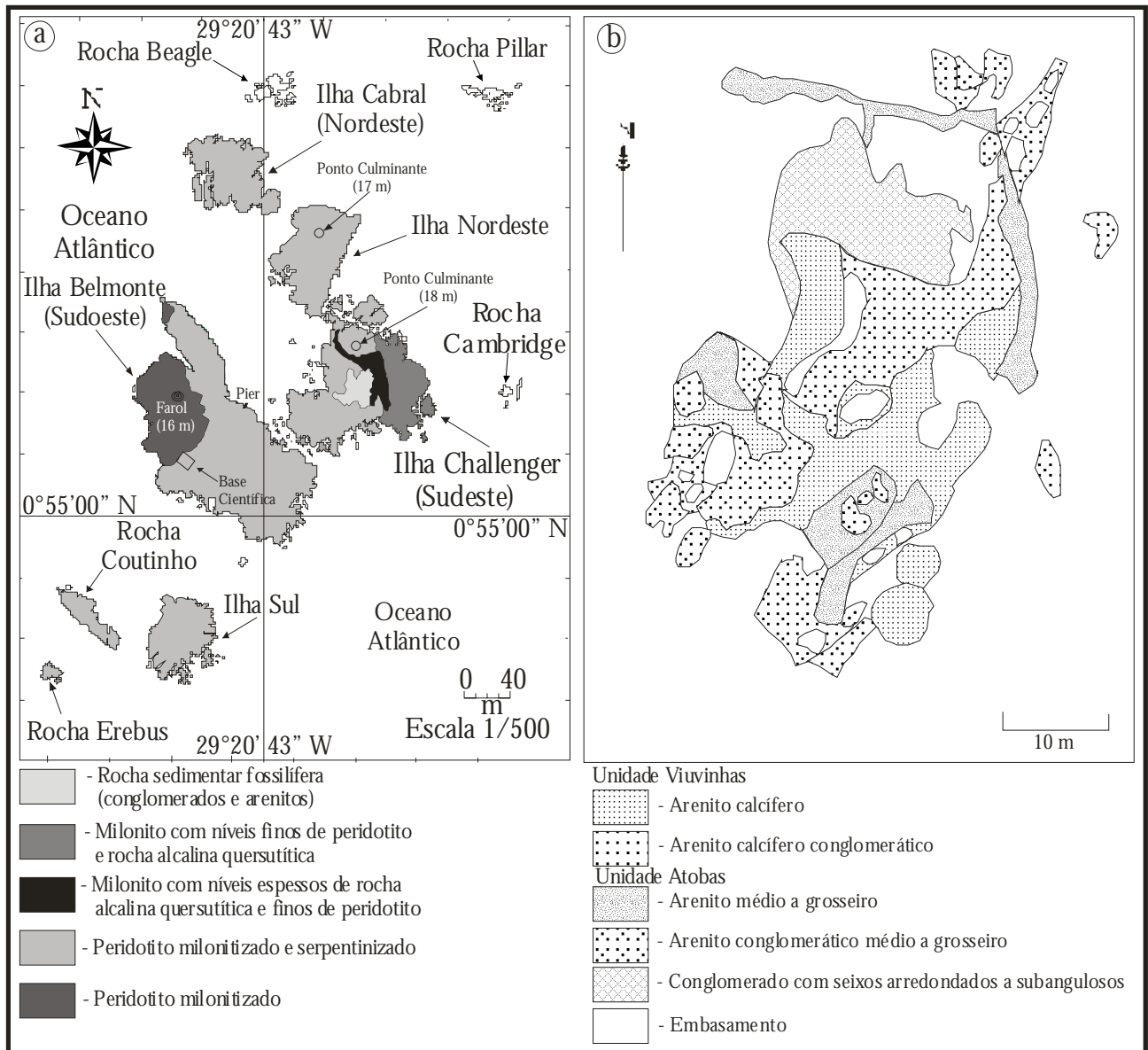


Figura 5: a- Esboço do mapa geológico da área emergida do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Atlântico Equatorial; b- Mapa geológico da Formação São Pedro e São Paulo.

Figure 5: Geological sketch map of emerged area of St. Peter and St. Paul archipelago, Equatorial Atlantic; b- Geological sketch map of St. Peter and St. Paul Formation

Movimentos tectônicos posteriores a milonitização fraturaram mais ainda estas rochas, o que facilitou mais ainda a infiltração de fluidos responsáveis pela serpentinização (Fig.7a, b, c, d). Este processo de serpentinização não foi uniforme, gerando rochas com diferentes graus de serpentinização, desde incipiente até elevado (Fig.6c)

Nos estudos difratométricos de raios X sobre o material mais serpentizado só foi possível se identificar a lizardita e o crisotilo como os minerais do grupo da serpentina que predominam como produto da alteração dos milonitos peridotíticos, além de magnetita e óxidos de ferro hidratados. As serpentinas estão presentes tanto sob forma pseudomórfica da olivina, como sob a forma de grão matricial muito fino.

As rochas do complexo ultramáfico do ASPSP apresentam-se com cinco seqüências paragenéticas, sendo a 1ª seqüência composta por minerais plutônicos reliquias, (olivina, piroxênios e kaersutita) a 2ª, por matriz milonítica com porfiroclastos recristalizados de olivina, piroxênio, pargasita, espinélio e kaersutita, a 3ª, por serpentina que se forma a partir da alteração dos minerais anidros; a 4ª, também composta por serpentina que se forma a partir das diáclases, e 5ª, por uma massa branca carbonática que corta a serpentina. A serpentinização afetou mais fortemente a olivina e os piroxênios, principalmente a enstatita. Os anfibólios não se apresentam serpentizados.

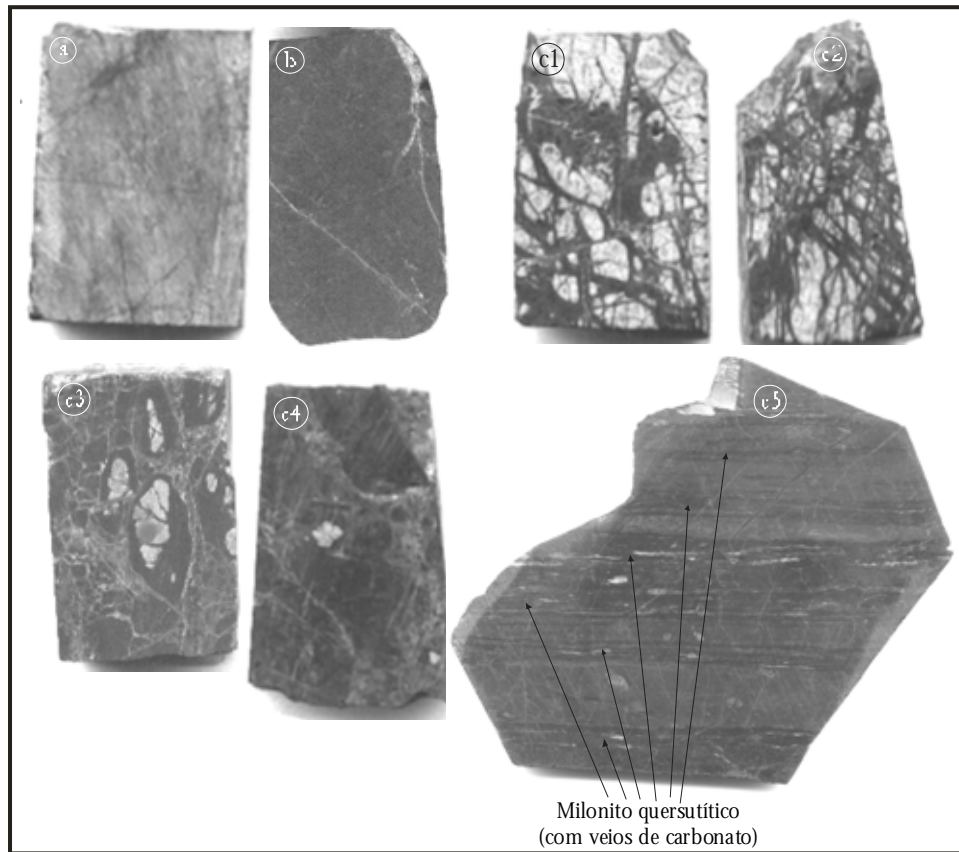


Figura 6: Amostras de mão representativas das rochas emersas do ASPSP: a- milonito peridotítico; b- Milonito kaersutítico; c- Milonito peridotítico serpentinizado; d- Milonito bandado kaersutita-peridotítico.

Figure 6: Representative hand-samples of emerged rocks from ASPSP: a- Peridotite mylonite; b- Kaersutite mylonite; c- Serpentinized peridotite mylonite; d- Kaersutite-peridotite banded mylonite.

ROCHAS DE COBERTURA SEDIMENTAR

As rochas sedimentares da Formação de São Pedro e São Paulo aflorantes no ASPSP (Campos *et al.*, 2002, 2003 e 2004) são formadas, essencialmente, por sedimentos clásticos polimiticos provenientes do substrato rochoso e por materiais biogênicos, consolidados e bastante trabalhados (Fig.5b). Esta seqüência sedimentar, bio-litoclástica, repousa, discordantemente, sobre o embasamento peridotítico milonitizado e é constituída por duas unidades: (i) Unidade Atobás, conglomerática (ii) Unidade Viuvinhas, arenítica.

Essa formação originou-se da deposição de sedimentos marinhos em águas rasas de uma paleobacia. Durante a deposição houve, pelo menos, dois episódios sismotectônicos que a afetaram: um que gerou um hiato entre dois períodos de deposição, e outro que basculou toda a seqüência.

A evolução da Formação São Pedro e São Paulo se iniciou com a abertura de uma barreta em zona de fraqueza originada pelo diaclasamento, de direção geral NW, do embasamento. Com a invasão da água do mar depositou-se a Unidade Atobás formada, essencialmente, por seixos, transportados e depositados tanto por deslizamentos de rochas ligados à ação sísmica, como pela ação erosiva das ondas.

Estes seixos permaneceram sob a ação das ondas até se arredondarem. Para o topo, a granulação dos sedimentos diminui até que passando para areia grosseira, mas com raros seixos angulosos provenientes da desagregação das vertentes por ação das ondas e/ou dos abalos sísmicos. Um expressivo evento tectônico provocou o basculamento das camadas da Unidade Atobás para SE. Esse evento tectônico provocou ainda a abertura do sistema de fraturamento das ilhas do ASPSP, cujos espaços foram preenchidos por um arenito cinza contendo seixos angulosos com dimensões variando entre 5 e 15 cm, iniciando-se assim a deposição da Unidade Viuvinhas

A deposição da Unidade Viuvinhas estendeu-se além dos limites das fraturas, em uma área mais abrangente do que a bacia inicial. Provavelmente a atividade sísmica foi a responsável pela existência de blocos de dimensão decimétrica (≤ 1 m) nesta unidade. Com o desenvolvimento da seqüência da Unidade Viuvinhas ocorreu à deposição de arenitos avermelhados, em um ambiente mais calmo.

Um segundo evento sísmico provocou o basculamento de toda a Formação São Pedro e São Paulo, e uma nova quebra da abertura da enseada deixou a ilha na configuração atual, ficando preservadas apenas partes dessa bacia. A presença de

fósseis coralígenos na Unidade Viuvinhas indica que no local havia uma lâmina de água inferior a 30 m, em contato com o mar aberto e com forte atividade biogênica.

Um terceiro evento sísmico mais forte reativou o fraturamento do embasamento cristalino, e, por propagação, fraturou a Formação São Pedro e São

Paulo; esta possui dois flancos com mergulhos de 20° para 330 de azimute e de 35° para 300° de azimute, indicando que o embasamento cristalino fraturou-se em dois blocos que sofreram basculamento.

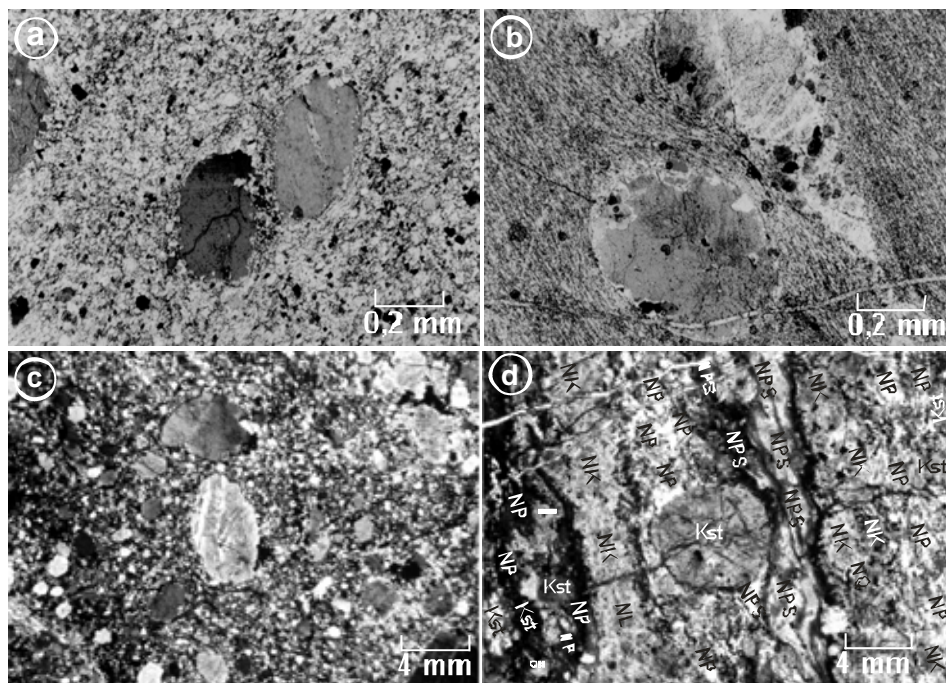


Figura 7: Fotomicrografia das rochas do ASPSP: a- Milonito peridotítico com porfiroclastos de olivina envolvidos pela matriz milonítica. Salienta-se a existência de pequenos clastos de olivina derivados e a volta do porfiroclasto. Os grãos opacos são de espinélio (nicóis x); b- Milonito peridotítico com porfiroclastos de enstatita (superior) e de olivina (inferior). Os grãos negros são de espinélios. Salienta-se a textura milonítica da matriz (nicóis x); c- Milonito kaersutítico com porfiroclastos de kaersutita (Kst) de diferentes tamanhos. Os grãos opacos são de magnetita (nicóis X); d- Milonito bandado, cuja matriz é formada pela alternância de níveis de kaersutita + magnetita e de peridotito. Salienta-se a existência de porfiroclastos de kaersutita no seio das bandas peridotítica (nicóis //). NK: níveis kaersutíticos; NP: níveis peridotíticos; NPS: níveis peridotíticos serpentinizados.

Figure 7: Photomicrography of the rocks from ASPSP: a – Peridotitic mylonite with olivine porphyroclasts involved by mylonitic groundmass. It is pointed out the existence of small clasts derived from olivine and involving the porphyroclasts (mortar texture). The opaque grains are spinel (crossed nicols); b – Peridotitic mylonite with enstatite (above) and of olivine (beneath) porphyroclasts. The opaque grains are spinel. It is pointed out the mylonitic texture of the groundmass (crossed nicols); c – Kaersutitic mylonite with kaersutite porphyroclasts (Kst) of different sizes. The opaque grains are magnetite crossed nicols); d – Layered mylonite with groundmass showing alternation of kaersutite + magnetite and peridotite levels. It is pointed out the existence of kaersutite porphyroclasts in the peridotite layers (//nicols). NK: kaersutite layer; NP: peridotite layers; NPS: serpentinized peridotite layer.

O fraturamento da Formação São Pedro e São Paulo provocou um maior desgaste erosional, e configurou o relevo em sua forma atual. Os indicadores de níveis-de-mar mais importantes encontrados são os “barnacles” e fragmentos de corais, que indicam zonas de variação de maré. A gama de litotipos, tipo de estratificação e da assembléia de fósseis encontrada na Formação São Pedro e São Paulo sugerem que tais sucessões foram depositadas durante um regime marinho subaéreo dominado por ondas; e que o arquipélago se encontrava abaixo do atual nível do mar durante o início do Neogeno

Superior. Pequenos terraços apresentando conglomerados polimíticos (seixos de milonitos, fragmentos de rocha sedimentar, fósseis marinhos) marcam diferentes paleoníveis a 3, 6, 10 e 15 m acima do atual nível do mar, similares aos encontrados no arquipélago de Fernando de Noronha, no Atol de Rocas, e no litoral do estado do Rio Grande do Norte, o que sugere que o soerguimento do arquipélago pode ter ocorrido episodicamente. Contudo, não se sabe ao certo se ocorreu através de movimentos sismotectônicos (e.g.: subsidência, soerguimento ou movimentação lateral do assoalho oceânico) ou ainda

através de movimentos isostáticos ou geoidais (e.g.: subsidência ou soerguimento do assoalho oceânico por ação conjunta da diferença de densidade da coluna rochosa: crosta inferior/manto superior, e da força da gravidade; Bonatti, 1978), comuns na região do arquipélago, ou através dos movimentos eustáticos (e.g.: variação do volume de águas oceânicas; Angulo & Giannini, 1997; Isla, 1989; Martin *et al.*, 1985; Pirazzoli, 1991; Suguio *et al.*, 1985).

MEDIDAS DE PROTEÇÃO DO SÍTIO

O Arquipélago de São Pedro e São Paulo foi transformado em Área de Proteção Ambiental (APA) pelo DECRETO Nº 92.755, de 5 DE JUNHO DE 1986. A área quadrilátera da APA do ASPSP está delimitada pelos paralelos 0°56' e 0°54'N e meridianos 29°20' e 29°21'W.

A APA do ASPSP encontra-se em excelente estado de conservação e não é permitida a visitação turística. Contudo, com a aprovação do Programa Arquipélago São Pedro e São Paulo (PRO-ARQUIPÉLAGO) pela Comissão Interministerial de Recursos do Mar (CIRM) em Junho de 1996, e da inauguração da Estação Científica do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ECASPSP), em Junho de 1998, garantiu-se a sua habitabilidade exclusivamente aos pesquisadores ligados ao PROGRAMA ARQUIPÉLAGO E ILHAS OCEÂNICAS (SECIRM-CNPQ). Desde esta última data, a comunidade científica, através do PROGRAMA ARQUIPÉLAGO, vem desenvolvendo programas contínuos e sistemáticos de pesquisa científica na região, nas mais diferentes áreas de estudo (geologia, geofísica, biologia, oceanografia, meteorologia e recursos pesqueiros). Este fato permitiu ao Brasil requerer, em Maio de 2004, à Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos do Mar (CNUDM) a delimitação de seu mar territorial em torno da APA do ASPSP, para uma área com 200 milhas náuticas de raio, área esta denominada de "Zona Econômica Exclusiva" (Fig.1b).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angulo, R.J.; Giannini, P.C.F. 1997. Variação do nível relativo do mar nos últimos dois mil anos na região sul do Brasil: Uma discussão. *Boletim. Paranaense de Geociências*, 44, 1-32.
- Bonatti, E. 1976. Serpentinite protrusions in oceanic crust. *Earth and Planetary Sciences. Letters*, 32: 107-113.
- Bonatti, E. 1978. Vertical tectonism in oceanic fractures zones. *Earth and Planetary Sciences. Letters*, 37: 369-379.
- Denisova, Ye.A. 1991. Ultramafic mylonites from São Paulo island (Equatorial Atlantic Ocean). Translated from *Ultraosnovnyye milonity o San-Paulu (ekvatorial naya Atlantika)*. *Doklady Akademií Nauk SSSR*, 1991, 319 (5), 1167-1472
- Campos, T.F.C.; Srivastava, N.K.; Macambira, M.J.B.; Petta, R.A.; Amaral, R.; das Virgens Neto, J. 2002. A Formação São Pedro e São Paulo: Uma Nova Unidade Litoestratigráfica Quaternária do Atlântico Equatorial Brasileiro. *XLI Congresso Brasileiro de Geologia*, João Pessoa (PB) Setembro de 2002. Anais: 353.
- Campos, T.F.C.; Bezerra, F.H.R.; Petta, R.A.; das Virgens Neto, J.; Srivastava, N.K.; Macambira, M.; Amaral, R. 2003. Novos dados litoestratigráficos da Formação São Pedro e São Paulo (Atlântico Equatorial): Implicações tectônicas e eustáticas. *II Congresso do Quaternário de Países de Línguas Ibéricas e IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*. Livro de Resumo, 284-285 (cd-room). Recife-PE,
- Campos, T.F.C.; Srivastava, N.K.; das Virgens Neto, J.; Petta, R.A.; Bezerra, F.H.R.; Amaral, R.; Macambira, M. 2004. Tectonic and Eustatic significance of The Quaternary St. Peter and St. Paul Formation, Equatorial Atlantic. *23rd Meeting of International Association of Sedimentologists (IAS)*. Coimbra, Portugal, Anais.
- Edward, A.J. 1985. Saint Paul's Rocks: a bibliographical review of natural history of Mid-Atlantic Island. *Archives of Natural History*, 12: 31-49.
- Gorini, M.A. 1981. The tectonic fabric of Equatorial Atlantic and adjoining continental margins: Gulf of Guinea to Northeastern Brazil. *Serie Projeto REMAC*, 9, 116pp, Rio de Janeiro.
- Hekinian, R.; Juteau, T.; Gracia, E.; Sichel, B.; Sichel, S. E.; Udintsev, G.; Apprioual, R.; Ligi, M. 2000. Submersible Observations of Equatorial Atlantic Mantle: The St. Paul Fracture Zone Region. *Marine Geophysical Researches*, 21 (6), 529-560, 2000.
- Isla, F.I. 1989. Holocene sea-level fluctuation in the Southern Hemisphere. *Quaternary Sciences Review*, 8, 359-368.
- Maia, M.; Sichel, S.E.; Esperança, S. and Thiroit, J. 2001. The Equatorial Atlantic "cold spot": Constraints from osmium isotope composition, plate kinematics and tomography. *EUG XI – Marine Geology and Geophysics*, 516.
- Martin, L.; Flexor, J.M.; Blitzkow, D.; Suguio, K. 1985. Geoid change indications along the Brazilian coast during the Last 7,000 years. In: *V International Congress of Coral Reef, Tahiti. Proceeding, IGCP, Project 200*, 3, 85-90.
- Mendes, L. 2004. Comunicação pessoal.
- Melson, W. G.; Hart, S. R.; Thompson, G. 1972. St. Paul's Rocks, Equatorial Atlantic: Petrogenesis, Radiometric Ages, and Implications on Sea-floor Spreading. *Geological Society of America Memoir*, Boulder, 132, 241-272, 1972.

- Pirazzoli, P.A. 1991. *World Atlas of Holocene Sea-Level Changes. Oceanography Series*, 58, Elsevier, Amsterdam, 300 pp.
- Renard, A. 1882. On the petrology of St.Paul's rocks: Apendix B, *Narrative of the Challenger Report*, 2.
- Rusby, R.I., 1993. Segmentation and Reorganization of the Equatorial Mid-Atlantic (5°-0°N). *Bridge News*, 16-19.
- Silveira, S.R.; Farias, S.G.S.; Silva, M.V.; Silva, L.C.; Almeida, A.V. ; Amaral, F.D. 2003. Aspectos históricos da Biologia Marinha do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. *Monografia de Conclusão* do Curso de Biologia da do Departamento de Biologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- Suguio, K.; Martin, L.; Bittencourt, A.C.S.P.; Dominguez, J.M.L.; Flexor, L.M.; Azevedo, A.E.G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, 15 (4), 273-286.
- Tilley, C.E. 1947. Dunite mylonite of St. Paul's rocks (Atlantic). *America Jour. Sci.* 245, 483-491.
- Wiseman, J. D. H. 1966. St Paul's Rocks and the Problem of the Upper Mantle. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 11, 519-525.
- Wolfe, C.J.; Bergman, E.A.; Solomon, S.C. 1993. Oceanic transform earthquakes with unusual mechanism or locations: Relation to fault geometry and state of stress in the adjacent lithosphere. *Journal of Geophysical Research*, 98, 16187-16211.

^a thomascampos@geologia.ufrn.br;

^b dasvirgens@yahoo.com.br;

^c narendra@geologia.ufrn.br;

^d petta@geologia.ufrn.br ;

^e leo-hartmann@ufrgs.br;

^f JOAOFSMORAES@aol.com;

^g liana_oceanica@yahoo.com.br; ^h

susan_melo@bol.com.br

¹Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte; Caixa Postal 1639, CAMPUS da UFRN, 59072-970 NATAL-RN;

²Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul;

³CPRM - Serviço Geológico do Brasil;

⁴Departamento de Biologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte;

⁵Departamento de Biologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco