

## NOVOS DADOS LITOESTRATIGRÁFICOS DA FORMAÇÃO SÃO PEDRO E SÃO PAULO (ATLÂNTICO EQUATORIAL): IMPLICAÇÕES TECTÔNICAS E EUSTÁTICAS

Thomas Ferreira da Costa Campos<sup>1</sup>; Francisco Hilário Rego Bezerra<sup>2</sup>; Reinaldo Antônio Petta<sup>3</sup>; Joaquim das Virgens<sup>4</sup>; Narendra Kumar Srivastava<sup>5</sup>; Moacir Macambira<sup>6</sup>; Ricardo Amara<sup>7</sup>.

<sup>1</sup>D.Sc. em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFRN, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CAMPUS da UFRN, 59072-970 Natal/RN Phone: +55 84 215.3807. e-mail: [tcampos@geologia.ufrn.br](mailto:tcampos@geologia.ufrn.br)

<sup>2</sup>Ph.D em Neotectônica, PPGG-UFRN, e-mail: [bezerrafh@geologia.ufrn.br](mailto:bezerrafh@geologia.ufrn.br)

<sup>3</sup>D.Sc. em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFRN, e-mail: [petta@geologia.ufrn.br](mailto:petta@geologia.ufrn.br)

<sup>4</sup>Graduando em Geologia, Departamento de Geologia da UFRN, e-mail: [dasvirgens@yahoo.com.br](mailto:dasvirgens@yahoo.com.br)

<sup>5</sup>Ph.D. em Geologia e Mineralogia, PPGEU/ UFRN, e-mail: [narendra@geologia.ufrn.br](mailto:narendra@geologia.ufrn.br)

<sup>6</sup>Ph.D. em Geoquímica, PARÁ-ISO/UFPA, e-mail: [moama@ufpa.br](mailto:moama@ufpa.br)

<sup>7</sup>D.Sc em Geociências, PPGG-UFRN, e-mail: [ric@ufrnet.br](mailto:ric@ufrnet.br)

### RESUMO

Neste trabalho apresentamos novos dados litoestratigráficos da Formação São Pedro e São Paulo (Atlântico Equatorial) de idade Quaternária. Esta Formação é constituída por rochas polimíticas consolidadas e bastante retrabalhadas, proveniente do embasamento e mais raramente da atividade biogênica. Estas rochas encontram-se aglutinadas por cimentação química e/ou bioquímica de natureza carbonatada. A sua granulometria varia desde a mais grossa até a mais fina, distribuída numa seqüência de níveis de ortoconglomerado, paraconglomerados, brecha sedimentar e arenito, cujo conjunto apresenta-se com uma espessura média de 4 m. Alguns constituintes biogênicos do cimento carbonático (algas vermelhas calcíferas; microgastropodes, foraminíferos planctônicos), juntamente com fósseis de corais, barnacles, moluscos bivalves sugerem que o calcário depositou-se em águas superficiais até 30 m abaixo do nível do mar. Conseqüentemente, o bloco crustal (crosta inferior/manto superior) que serve de embasamento a Formação São Pedro e São Paulo ou soergueu-se através de movimentos sismotectônicos comuns em zonas de fraturas relacionadas com a expansão oceânica ou o nível do mar sofreu recuo através de movimentos eustáticos.

### ABSTRACT

This work presents new stratigraphic data from the Quaternary São Pedro e São Paulo Formation (Equatorial Atlantic Ocean). This Formation is composed of polymictic sedimentary rocks consolidated and well worked, originated from the basement and more rarely of biogenic activity. These rocks are agglutinated by chemical and/or biochemistry cement of carbonated nature. The granularity varies from coarse- to fine-grained, distributed in a sequence of ortoconglomerate, paraconglomerate, sedimentary breccia and sandstone levels, whose conjunct show a medium thickness of 4 m. Some biogenic constituents from the calcareous cement (red algae; microgastropodes, planctonic foraminifera), together with fossils of corals, barnacles, mollusks bivalves suggest that the limestone was deposited in water shallower than 30 m. Consequently, the basement of the São Pedro e São Paulo Formation must have undergone vertical movements, probably due to tectonic process characteristic of fracture zone, and related to tectonic uplift of upper mantle/lower crust blocks along fracture zones, or the sea level fell associated with eustatic movements.

Palavras-Chave: rochas sedimentares, fósseis, fm. São Pedro e São Paulo

### 1. INTRODUÇÃO

O arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) situa-se no Atlântico Equatorial (0°56'N, 29°22'W), distando cerca de 80 km a norte do equador (Fig.1). Estas ilhotas correspondem aos píncaros emersos de uma cadeia transversal meso-oceânica localizada a norte da Fratura de São Paulo. Estas ilhas possuem uma cobertura de rocha sedimentar fossilífera com pouca expressividade e sem continuidade significativa, visto que, no geral, os seus afloramentos sedimentares estão condicionados ao preenchimento de fraturas e micro-depressões (marmitas) existentes no substrato rochosos (cataclasitos peridotítico). Contudo, na ilhota Belmonte foi possível descobrir a existência de diferentes afloramentos com até 10 m de altura acima do nível do mar (NM), enquanto na ilhota Sudeste aflora a bancada sedimentar com mais expressividade. Estas rochas sedimentares são formadas essencialmente por materiais provenientes do substrato rochoso do arquipélago, e por materiais biogênicos, aglutinados por um cimento químico e/ou bioquímico de natureza carbonata-

da. A existência de diferentes paléoníveis e ainda intercalações de sedimentos angulosos nas rochas sedimentares do arquipélago de São Pedro e São Paulo indica ter havido uma variação do nível do mar, seja através de movimentos sismotectônicos comuns na região do arquipélago (e.g.: subsidência, soerguimento ou movimentação lateral do assoalho oceânico), movimentos isostáticos ou geoidais (e.g.: subsidência ou soerguimento do assoalho oceânico por ação conjunta da diferença de densidade da coluna crustal e da força da gravidade: Bonatti, 1976, 1978; Bonatti et al., 1973; Honnorez et al., 1975), assim como através dos movimentos eustáticos (e.g.: variação do volume de águas oceânicas: Mörner, 1976; Peltier & Tushingham, 1991).

Neste contexto, apresentamos o levantamento geológico da bancada sedimentar mais expressiva existente na ilhota Sudeste, sua macroscópia e litoestratigrafia.

## 2. GEOLOGIA DO ARQUIPÉLAGO

Geomorfológicamente, o ASPSP é constituído por um pequeno grupo de ilhas (10) e diversas pontas de rochas, que se situa nas proximidades da Dorsal Meso-Atlântica. A área total emersa é cerca de 17.000 m<sup>2</sup> e a distância entre os pontos extremos, que se situam entre as rochas Erebus e Pillar, é de 420 m (Fig.1). As ilhotas apresentam contornos sinuosos irregulares e reentrantes, suas encostas possuem forte declive (>80°). As quatro maiores ilhas (Belmonte, Sudeste, Nordeste e Cabral) estão separadas entre si por estreitos canais, que formam uma enseada com forma de ferradura, com dimensões médias de 100 m de comprimento por 50 m de largura, de 6 a 25 m de profundidade. O fundo desta enseada encontra-se constituído por sedimentos provenientes da atividade biológica e do desagregamento das rochas que constituem o arquipélago. O relevo emerso do ASPSP é acidentado, e seu ponto culminante (18 m de altitude) situa-se na ilha Nordeste; enquanto o ponto mais alto da ilha Belmonte tem cerca de 16 m de altitude, na ilha Sudeste a maior elevação atinge 14 m. O relevo submarino do arquipélago exibe elevações alongadas, com declive suave na direção E-W, e forte declividade na direção N-S, que se encaixa paralelamente a norte da zona de falha transformante de São Paulo, região limítrofe das placas Sul-americana e Africana (Hekini-an et al. 2000). Na cota batimétrica de 3.000 m a cadeia tem cerca de 70 km de comprimento segundo a direção E-W, e uma largura máxima de cerca de 30 km segundo a direção N-S. A zona de falha no entorno do arquipélago possui cerca de 120 km de largura, e suas profundidades podem atingir 3.600 m; além de seus limites norte e sul, são observadas profundidades abissais superiores a 4.000 m. A falha transformante de São Paulo apresenta-se com um rejeito horizontal de cerca de 600 km, que separa a dorsal equatorial Atlântica em dois segmentos. O ASPSP encontra-se localizado próximo ao limite setentrional da zona de falha transformante de São Paulo e de sua intersecção com o ramo norte da dorsal. A área desta cadeia submarina é tectonicamente ativa, o que sugere que sua formação foi controlada pela movimentação da falha e de seu conjunto de fraturas. Este fato torna a ASPSP “sui generes” no Atlântico, visto que ele é formado essencialmente por rochas plutônicas ultrabásicas milonitizadas durante o seu posicionamento, que ocorreu essencialmente no estado sólido, como resultado de uma protointrusão diapírica do manto superior hidratado no seio de zonas de falhas paralelas à dorsal Atlântica (Melson et al, 1972; Bonatti, 1976). Em outras palavras, não existem rochas vulcânicas no arquipélago.

Sobre as rochas catacladas do embasamento cristalino afloram várias coberturas de rocha sedimentar com pouca expressividade e sem continuidade significativa, visto que, no geral, os seus afloramentos estão condicionados em parte pelo paléofundo da enseada que aflora na ilhota Sudeste e que se encontra a um nível superior ao atual, e ao preenchimento de fraturas abertas e micro-depressões (marmitas) existentes no substrato rochosos (Fig.1; Foto 1). Contudo, na ilhota Belmonte foi possível descobrir a existência de diferentes níveis sedimentares, principal-

mente preenchendo as fraturas, estes desníveis chegam até 10 m de altura acima do nível do mar.

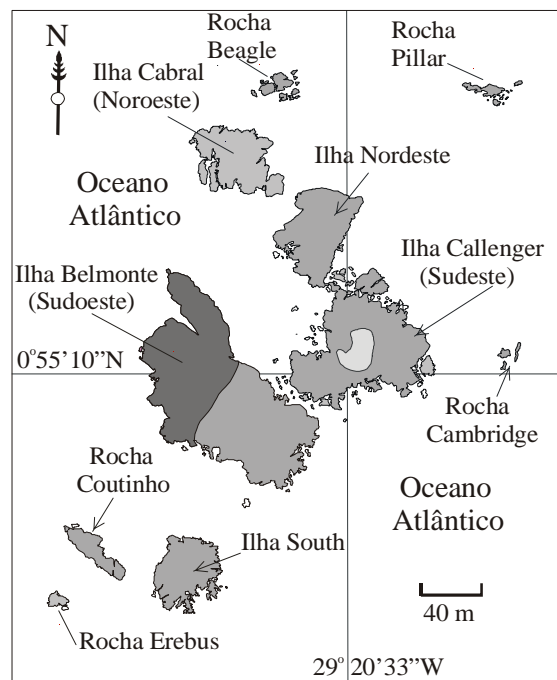
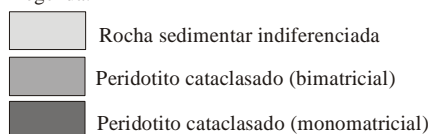


Fig.1: Mapa geológico simplificado da região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Atlântico Equatorial (Campos et al., 2002).  
Legenda:



### 2.1 Geologia das rochas sedimentares

As rochas sedimentares do ASPSP são formadas essencialmente por sedimentos polimíticos provenientes do substrato rochoso, e por materiais biogênicos, consolidados e bastante retrabalhados (Fig.2 e 3). A sua granulometria varia desde a mais grossa até a mais fina, distribuída numa seqüência de níveis de ortoconglomerado, paraconglomerados, brecha sedimentar e arenito, cujo conjunto apresenta-se com uma espessura média de 4 m (Fig.2; Foto 2). Estas rochas encontram-se aglutinados por cimentação química e/ou bioquímica de natureza carbonatada e mais raramente siliciosa. Alguns constituintes biogênicos do cimento carbonático (algas vermelhas calcíferas; microgastropodes, foraminíferos planctônicos), juntamente com fósseis de corais, barnacles, moluscos bivalves (Foto 3 e 4) sugerem que o calcário depositou-se em águas superficiais até 30 m abaixo do nível do mar (Angulo, 1993). A existência de diferentes paléoníveis, e ainda de intercalações de níveis de sedimentos angulosos nas rochas sedimentares do ASPSP indicam ter havido uma variação do nível do oceano, seja 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; Martín et al., 1975; Pirazolli, 1977, 1991; Suguio et al., 1985). A justificação da variação dos paléoníveis de mar sugerida para o ASPSP é semelhante à feita por Bezerra et al (2003) para o litoral do Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil.

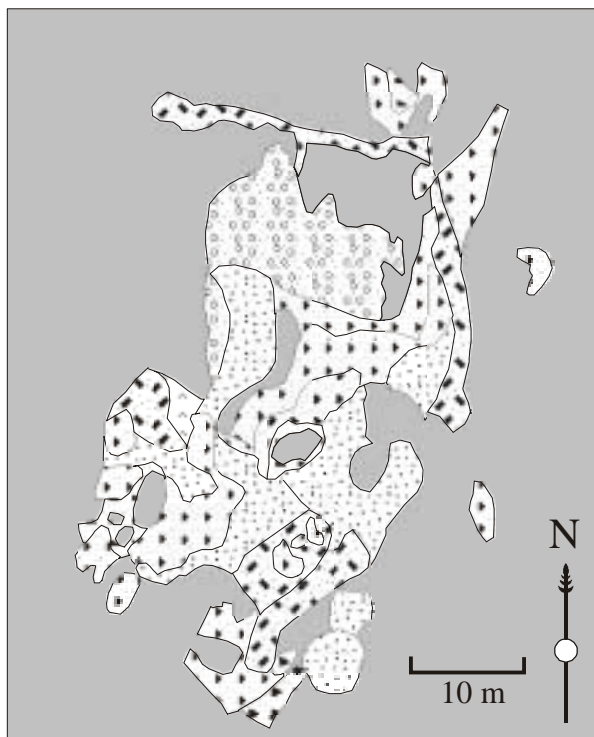


Fig.2: Mapa geológico das rochas sedimentares aflorantes na ilha Sudeste do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Atlântico Equatorial.

#### Legenda

	Arenito Vermelho fino (V2)
	Arenito Cinza conglomerático a brechoide (V1)
	Arenito Vermelho médio a grossa com seixos (A2')
	Arenito Vermelho médio a grossa com seixos (A2)
	Conglomerado Vermelho (A1)
	Embasamento indiferenciado

### 3. LITOESTRATIGRAFIA DA FORMAÇÃO SÃO PEDRO E SÃO PAULO

A Formação São Pedro e São Paulo é uma sequência sedimentar, bio-litoclástica que repousa sobre um embasamento peridotítico milonitizado. Esta Formação originou-se a partir da deposição de sedimentos marinhos em águas superficiais de uma paléobacia. Durante a deposição houve pelo menos dois episódios sismotectônico que afetaram a Formação São Pedro e São Paulo: um que gerou uma discordância entre dois períodos de deposição, e um outro que basculou toda a sequência. Em escala de

afloramento, vê-se que esta é formada por uma pilha de sedimentos com altitude máxima de 4m. A altitude da Formação São Pedro e São Paulo provavelmente não corresponde a sua espessura máxima, pois o seu topo apresenta-se com sinais de erosão marinha. Neste contexto a Formação São Pedro e São Paulo foi dividida em duas principais unidades: as Unidades Atobás (A) e Viuvinhas (V), ambas constituídas por duas subunidades (Fig.2 e 3):

- Unidade Atobás (A): Esta unidade repousa discordantemente sobre o embasamento cristalino e é formada por duas subunidades: A1 e a A2. A Subunidade A1 é constituída por seixos litoclásticos arredondados a subarredondados, apresenta-se granodescrescência normal, sua granulometria varia da base para o topo entre 5 e 1 cm, com cimentação carbonática química e/ou bioquímica de cor vermelha a marrom. Os seixos das camadas mais inferiores encontram-se mais arredondados que os das camadas superiores. A Subunidade A2 consiste em um arenito grosseiro com cimentação carbonática de coloração escura em tom avermelhado a marrom, contem ainda isoladamente seixos angulosos. A Unidade Atobás encontra-se basculada em 10° mergulhando para 160° de azimute.
- Unidade Viuvinhas (V): A Unidade Viuvinhas foi depositada discordantemente sobre a Unidade Atobás. A Unidade Viuvinhas também se apresenta com duas subunidades: a V1 e V2. A Subunidade V1 é constituída por matações angulosos, métricos a decimétricos, misturado em uma matriz arenítica fossilífera, com cimentação carbonática de coloração cinza. A Subunidade V2 é constituída por um arenito grosso, avermelhado, fossilífero, com seixos subarredondados a subangulosos, de dimensão centimétrica. A unidade Viuvinhas está basculada 8° na direção 210° de azimute. A presença de fósseis coralíferos é constante nesta unidade, o que sugere um predomínio da cimentação bioquímica sobre a química.

#### 3.1. Evolução Geohistórica

A evolução da Formação São Pedro e São Paulo se iniciou com a abertura de uma barreta, aproveitando da zona de fraqueza originada pelo diaclasamento do substrato de direção geral NW. Com a invasão da água do mar depositou-se a subunidade A1, essencialmente formada pelos seixos que caíram na bacia, devido tanto a ação tectônica, como pela ação erosiva das ondas. Estes seixos permaneceram sob a ação das ondas até se arredondarem. Com o passar do tempo, a granulometria dos sedimentos diminui até que passasse a se depositar apenas areias grossas, típicas da Subunidade A2, mas com raros seixos angulosos provenientes da desagregação das vertentes por ação das ondas e/ou dos abalos sísmicos. Um expressivo evento tectônico provocou tanto o basculamento das camadas da Unidade Atobás (A) para SE. Este evento tectônico provocou ainda a abertura do sistema de fraturamento das ilhas do ASPSP, cujos espaços foram preenchidos por um arenito cinza e seixos angulosos com dimensões variando entre 5 e 15 cm, iniciando-se assim a deposição da Unidade Viuvinhas (Subunidade V1). A deposição da Unidade Viuvinhas estendeu-se ainda além dos limites

das fraturas, em uma área mais abrangente. Provavelmente a atividade tectônica foi a responsável pela existência de blocos de dimensão decimétrica ( $\leq 1\text{m}$ ) nesta subunidade. Com o desenvolvimento da seqüência da Unidade Viuvinhas ocorreu à deposição dos arenitos avermelhados da Subunidade V2, em um ambiente mais calmo. Finalmente, um novo evento tectônico provocou o basculamento de todas a Formação São Pedro e São Paulo, e uma nova quebra da abertura deixou a ilha na configuração atual, estando preservadas apenas partes desta bacia. A presença de fósseis coralíferos na Seqüência Viuvinha indica que no local havia uma lâmina de água inferior a 30 m, em contato com o mar aberto e com uma forte atividade biogênica. Um outro evento tectônico mais forte reativou o fraturamento do embasamento cristalino, e por propagação fraturou a Formação São Pedro e São Paulo. Este fato sugere ainda que o embasamento cristalino fraturou em dois blocos que sofreram basculamento, pois a Formação São Pedro e São Paulo possui dois flancos com mergulhos de  $20^\circ$  para  $330^\circ$  de azimute e de  $35^\circ$  para  $300^\circ$  de azimute, respectivamente. O fraturamento da Formação São Pedro e São Paulo provocou um maior desgaste erosional, e configurou o relevo em sua forma atual.

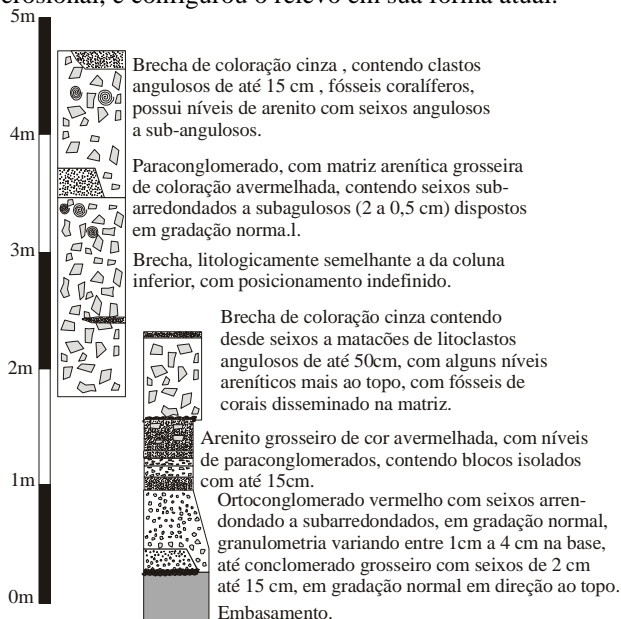


Fig.3: Coluna estratigráfica da Formação São Pedro e São Paulo.

#### 4. CONCLUSÕES

A granulometria média a grossa apresentada pela Formação Quaternária São Pedro e São Paulo, juntamente com grande variação no grau de arredondamento de seus sedimentos, sugerem um regime deposicional com forte energia, como os encontrados em ambiente de água superficial, perto do nível do mar, comum na zona de submaré. Enquanto algumas feições da cimentação podem ainda ser interpretada como de um beachrock depositado em ambiente de intermaré. Os constituintes biogênicos encontrados no cimento carbonático (fósseis de algas vermelhas calcíferas; microgastropodes, foraminíferos planctônicos, corais, barnacles, moluscos bi-valves, etc.) sugerem que este cimento depositou-se em águas superficiais até 30 m abaixo do nível do mar. A existência de foraminíferos

plactônicos sugere ainda um ambiente deposicional oceânico aberto, onde a produtividade plactônica é elevada. Conseqüentemente, o bloco crustal (crosta inferior/manto superior) que constitui o Arquipélago de São Pedro e São Paulo e serve de embasamento a Formação Quaternária São Pedro e São Paulo ou soergueu-se através de movimentos sismotectônicos comuns em zonas de fraturas relacionadas com a expansão oceânica ou o nível do mar sofreu recuo através de movimentos eustáticos.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angulo, R.J., 1993. Indicadores biológicos de paleoníveis marinhos quaternários na costa paranaense. Bol. Paraná. Geociencias. 41:1-34.
- 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. Bol. Paraná. Geociencias. 44.
- Bezerra, F.H.R., Barreto, A.M.F. & Suguio, K., 2003. Holoceno sea-level history on the Rio Grande do Norte State coast, Brazil. Marine Geology, 196: 73-89
- Bonatti, E., 1976. Serpentinite protointrusions in oceanic crust. Earth Planet. Sci. Lett. 32: 107-113.
- Bonatti, E., 1978. Vertical tectonism in oceanic fracture zones. Earth Planet. Sci. Lett. 37: 369-379.
- Bonatti, E., Sarnthein, M., Boersma, A., Gorini, M. & Honnorez, J., 1978. Neogene crustal emersion and subsidence at the Romanche fracture zone, Equatorial Atlantic. Earth Planet. Sci. Lett. 35: 369-383.
- 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 Cong. Bras. geologia, João Pessoa (PB) Setembro de 2002. Anais: 353.
- Hekinian, R., Gracia, E., Apprioual, R., Sichler, B., Juteau, T., Udintsev, G. & Sichel, S.E., 2000. Submersible dive on the Equatorial Atlantic Earth's Mantle: The St. Paul transform fault zone.
- Honnorez, J., Bonatti, E., Emiliani, C., Brönnimann, P., Furrer, M.A. & Meyerhoff, A.A. Earth Planet. Sci. Lett. 26: 8-12
- Isla, F.I., 1989. Holocene sea-level fluctuation in the Southern Hemisphere. Quat. Sci. Rev. 8, 359-368.
- 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 Int. Congr. Coral Reef, Tahiti. Proceeding, IGCP, Project 200, 3, pp. 85-90.
- Melson, W.G.; Hart, S.R. & Thompson, G., 1972. St. Paul's rocks, Equatorial Atlantic: petrogenesis, radiometric ages, and implications on sea-floor spreading. Mem. Geol. Soc. Am., Boulder, 132, pp 241-272
- Müner, N.-A. 1976. Eustasy and Geoid changes. J. Geol., 84, 123-151.
- Peltier, W.R. and Tushingham, M.A. 1991. The influence of glacial isostatic adjustment on the tide gauge measurements of secular sea level change. J. Geophys. Res., 96, 6779-6796.
- Pirazzoli, P.A., 1991. World Atlas of Holocene Sea-Level Changes. Oceanography Series, 58, Elsevier, Amsterdam, 300 pp.
- Suguio, K., Martin, L., Bittencourt, A.C.S.P., Dominguez, J.M.L., Flexor, I.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. Rev. Bras. Geocien. 15 (4), 273-286.



Foto 1: Vista parcial da Formação São Pedro e São Paulo, Atlântico Equatorial.



Foto 3: Fósseis de Ballanus e Gastrópodes



Foto 2: Ortoconglomerado da Sequência Atobás da Formação São Pedro e São Paulo.

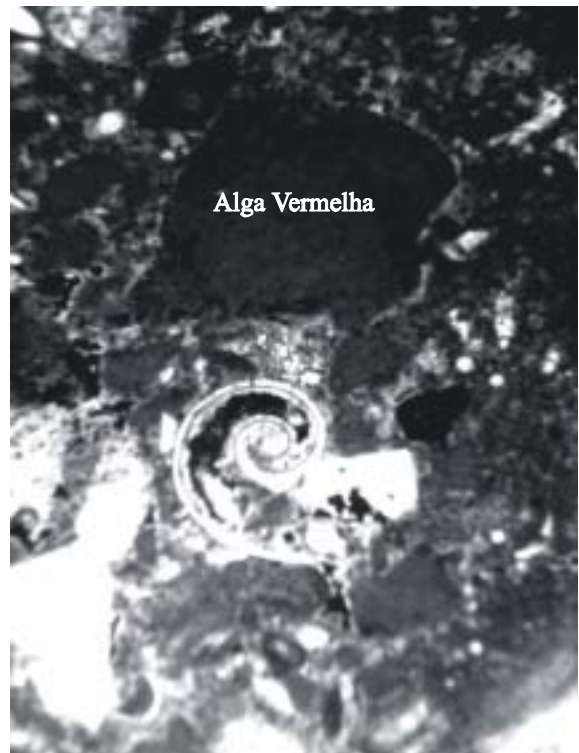


Foto 4: Fósseis de Microgastrópodes e algas vermelhas. 90X.