



## Registro das Oscilações Climáticas do Holoceno Tardio no Estuário do Rio Piraquê-Açu (ES - Brasil)

Climate Oscillation during the Late Holocene in Piraquê-Açu River Estuary (Espírito Santo – Brazil)

Lazaro Laut<sup>1</sup>; Iara Clemente<sup>2</sup>; Egberto Pereira<sup>2</sup>; Kleverton Alencastre do Nascimento<sup>3</sup>; Sérgio Cadena de Vasconcelos<sup>4</sup>; Pierre Belart<sup>5</sup> & Alex Cardoso Bastos<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Laboratório de Micropaleontologia, Av. Pasteur 458, IBIO sala 500, Urca, 22290-240, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>2</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Rua São Francisco Xavier 524, Maracanã, 20550-013, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>3</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Oceanografia e Ecologia, Laboratório de Oceanografia Geológica, Av. Fernando Ferrari 514 Goiabeiras, 29090-000, Vitória, ES, Brasil

<sup>4</sup> Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia e Meio Ambiente, Rua Marquês de São Vicente, Ala Frings, Sala F411, Gávea, 22451-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>5</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Ecologia, Av. Athos da Silveira Ramos 274, Bloco F, Ilha do Fundão, Cidade Universitária, 21949-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mails: [lazaro.laut@gmail.com](mailto:lazaro.laut@gmail.com); [iarammc@gmail.com](mailto:iarammc@gmail.com); [egberto@uerj.br](mailto:egberto@uerj.br); [klevertonalencastre@gmail.com](mailto:klevertonalencastre@gmail.com); [sergio.cadena82@gmail.com](mailto:sergio.cadena82@gmail.com); [pbelart@gmail.com](mailto:pbelart@gmail.com); [alex.bastos@ufes.br](mailto:alex.bastos@ufes.br)

DOI: [http://doi.org/10.11137/2020\\_2\\_298\\_315](http://doi.org/10.11137/2020_2_298_315); Recebido: 14/01/2020 Aceito: 22/04/2020

### Resumo

Os foraminíferos têm sido usados como importante ferramenta para identificação de mudanças climáticas ao longo de todo o Cenozoico, pois apresentam alto grau de preservação e respondem rapidamente às oscilações ambientais. O presente trabalho teve como objetivo identificar mudanças climáticas e variações da influência do mar, durante o Holoceno tardio, no estuário do rio Piraquê-Açu (ES, Brasil). O estudo baseou-se na caracterização das associações de foraminíferos bentônicos e nos resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  nas testas de *Ammonia tepida* realizadas nos testemunhos PA05 (2411 AP) e PA20 (1632 AP). Nos testemunhos foram identificadas 16 espécies de foraminíferos bentônicos, sendo algumas típicas de ambientes de plataforma continental (e.g. *Lagena* spp., *Spiroloculina eximia*, *Oolina* spp., *Pyrulina gutta*, *Cibicoides variabilis*) e quatro espécies comuns aos ambientes estuarinos do Brasil (*Ammonia parkinsoniana*, *A. tepida*, *Criboelphidium excavatum* e *Bolivina striatula*). Os resultados obtidos permitem identificar ao longo da sequência sedimentar quatro períodos mais frios: final da Idade do Ferro ( $\approx 1000$  a.C.), *Greek Dark Ages* ( $\approx 450$  a.C. - 100 a.C.), *Dark Ages* ( $\approx 250$  d.C. - 550 d.C.) e a Pequena Idade do Gelo ( $\approx 1200$  d.C. e 1850 d.C.). Nestes períodos o estuário apresentou um aumento do confinamento que pode ser visto pela redução nos valores dos índices ecológicos e na presença somente de espécies de foraminíferos tipicamente estuarinos. Quatro períodos de aquecimento ficaram registrados na sequência sedimentar: Período de Aquecimento Grego ( $\approx 900$  a.C. - 450 a.C.), Período de Aquecimento Romano ( $\approx 50$  d.C. - 250 d.C.), Período de Aquecimento Medieval ( $\approx 550$  d.C. - 1200 d.C.), e o quarto evento representa o aquecimento que iniciou a partir do início do século XIX. Durante os eventos de aquecimento os índices ecológicos apresentam maiores valores e as espécies de hábito marinho foram mais constantes no registro sedimentar.

**Palavras-chave:** Foraminíferos; Isótopos estáveis; Paleoambientes costeiros

### Abstract

Foraminifera have demonstrated to be a good proxy of climatic changes during the Cenozoic for their high preservation in the sediment and quick responses to environmental changes. The aim of this study is to identify climate changes and the variation of marine influence during the Late Holocene, in Piraquê-Açu River Estuary (ES, Brazil). The study was based on the characterization of benthic foraminifera assemblages,  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  data in *Ammonia tepida* tests and the PA05 (2411 B.P.) and PA20 (1632 B.P.) cores. A total of 16 benthic foraminiferal species were identified in the cores. Some of them are characteristic from continental shelf environment (e.g. *Lagena* spp., *Spiroloculina eximia*, *Oolina* spp., *Pyrulina gutta*, *Cibicoides variabilis*) and four are typical estuarine species (*Ammonia parkinsoniana*, *A. tepida*, *Criboelphidium excavatum* and *Bolivina striatula*). The results allow us to identify four colder periods in the sedimentary record such as: the end of Iron Age ( $\approx 1000$  B.C.), Greek Dark Ages ( $\approx 450$  B.C. - 100 B.C.), Dark Ages ( $\approx 250$  A.D. - 550 A.D.) and the Little Ice Age ( $\approx 1200$  A.D. and 1850 AD.). In these periods the estuary showed an increase in confinement, which can be seen by the reduction in ecological indexes values and by the presence of only typically estuarine foraminifera species. Four warming periods were recorded in the sedimentary sequence: Greek Warming Period ( $\approx 900$  B.C. - 450 B.C.), Roman Warming Period ( $\approx 50$  A.D. - 250 A.D.), Medieval Warming Period ( $\approx 550$  A.D. - 1200 A.D.), and the fourth event represents the warming that started since the beginning of 19th Century. During warming events, the ecological indexes show higher values and species of marine habit were more constant in the sedimentary record.

**Keywords:** Foraminifera; Stable isotopes; Coastal paleoenvironments

## 1 Introdução

O oceano e a atmosfera formam um sistema integrado com papel determinante no clima da Terra, devido à atuação de ambos no transporte de calor. Portanto, é difícil estudar de forma dissociada eventos paleoceanográficos sem considerar o contexto paleoclimático, e vice-versa (Bergue & Coimbra, 2008). Considerando que o nosso planeta foi modelado ao longo do tempo pela interação entre seus componentes abióticos e bióticos, as mudanças climáticas em nível global estiveram sempre presentes na regulação deste sistema (Lovelock, 2006). É possível constatar isso por meio do registro geológico, o qual evidencia processos como o avanço e recuo de geleiras, variação da temperatura, regressões e transgressões marinhas e mudanças na composição e padrão de circulação de massas d'água (Bergue & Coimbra, 2008). Desde então, muitos estudos paleoceanográficos e estratigráficos do Quaternário estão sendo desenvolvidos em mar profundo, destacando-se em particular a contribuição de diversos indicadores biológicos na caracterização e no posicionamento cronoestratigráfico destes eventos (Laut *et al.*, 2013).

Por possuírem potencial de preservação e de deposição que acompanha a taxa de sedimentação principalmente nas áreas costeiras e na plataforma continental, os microrganismos que secretam parede calcária, tais como foraminíferos, ostracodes, coccolitoforídeos, são especialmente importantes nos estudos paleoceanográficos e paleoclimáticos em seções do Cretáceo ao Cenozoico. As respostas ambientais no registro sedimentológico podem ser obtidas através do registro faunístico, utilizando a morfologia, taxonomia e a ecologia das espécies, assim como pela análise quantitativa de determinados elementos presentes nas carapaças, especialmente isótopos de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ) (Bergue & Coimbra, 2008). Suas potencialidades, porém, tornam-se mais limitadas à medida que se recua no tempo, pois a diagênese influencia, em graus variáveis, o emprego de análises geoquímicas e a correta identificação dos táxons (Laut *et al.*, 2013).

As variações do  $\delta^{18}\text{O}$  no Quaternário tardio nas carapaças de foraminíferos bentônicos correspondem a flutuações no volume de gelo global, onde as temperaturas atmosféricas desempenham um papel determinante (Shackleton & Opdyke, 1973). Sua utilização está baseada nos estudos de

Urey (1947), que demonstrou que os carbonatos apresentam diferentes razões de  $^{18}\text{O}$  e  $^{16}\text{O}$ . Contudo, a sua aplicação nos estudos micropaleontológicos só iniciou com o estudo de Emiliani (1955), que aplicou mudanças isotópicas a modelos de ciclicidade climática, a qual se associaram também variações do nível do mar. Desde então, o valor de  $\delta^{18}\text{O}$  tem sido largamente utilizado para o estudo estratigráfico e reconstrução de flutuações do nível relativo do mar (Shackleton & Opdyke, 1973; Martinson *et al.*, 1987; Waelbroeck *et al.*, 2002; Pinto *et al.* 2016; Clemente *et al.*, 2018).

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  nas carapaças de foraminíferos bentônicos fornecem informações sobre o carbono inorgânico dissolvido do fundo e nas águas intersticiais no momento da precipitação do  $\text{CaCO}_3$ , e permite obter informações sobre o ciclo do carbono (Grossmann, 1984; McCorkle *et al.*, 1985; Zahn *et al.*, 1986; Curry *et al.*, 1988). Seus princípios baseiam-se nas peculiaridades metabólicas dos organismos fotossintetizantes que incorporam preferencialmente isótopos leves ( $^{12}\text{C}$ ). Num contexto de alta produtividade oceânica, a água superficial fica enriquecida em isótopos mais pesados ( $^{13}\text{C}$ ). Muitos estudos aplicam o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  na reconstrução de propriedades de fundo e fluxos de matéria orgânica (Shackleton, 1977; Curry *et al.*, 1988; Duplessy *et al.*, 1988; Mackensen *et al.*, 2001; Bickert & Mackensen, 2004; Curry & Oppo, 2005).

Embora, a aplicação de estudos micropaleontológicos e isotópicos desde a década de 50, poucos esforços têm sido empregados na aplicação destas metodologias em zonas costeiras para o Holoceno tardio. No Brasil, os únicos estudos que aplicaram a análise isotópica de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ) foram realizados na Baía de Guanabara (Clemente *et al.*, 2018) e na Baía de Sepetiba (Pinto *et al.*, 2019), ambas no estado do Rio de Janeiro. Nestes estudos, as oscilações climáticas e na influência da água fria proveniente da ressurgência costeira puderam ser identificadas ao longo do Holoceno das duas baías.

Com o objetivo de ampliar o conhecimento sobre o registro isotópico de  $\delta^{13}\text{C}$  e oxigênio  $\delta^{18}\text{O}$  nas conchas de foraminíferos na zona costeira e, a sua potencialidade para a identificação de mudanças ambientais, o presente estudo pretende aplicar estas metodologias no estuário do rio Piraquê-Açu, no estado do Espírito Santo. A identificação de mudan-

ças climáticas e de influência marinha na zona estuarina durante o Holoceno tardio foi analisada no registro sedimentar de dois testemunhos e os resultados dos dados de isótopos estáveis e foraminíferos foram comparados com os de outras regiões costeiras do sudeste do Brasil.

## 2 Área de Estudo

A foz do estuário do rio Piraquê-Açu localiza-se no distrito de Santa Cruz, no município capixaba de Aracruz (19°57'02" S; 40°08'28" W) e apresenta-se em formato de Y (Figura 1), pois é composto pelo encontro das águas dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim que passam a integrar um único canal de direção W-E com profundidades que variam de 1 a 12 m (Magris & Fernandes, 2005). Esta região do litoral do Espírito Santo apresenta franco desenvolvimento de depósitos quaternários estuarinos no sopé da Formação Barreiras (Martin *et al.*, 1996).

O regime de marés é caracterizado como semidiurno, com períodos de aproximadamente 12 horas, apresentando uma amplitude de maré que varia de 1,4 a 1,5 m, o que o classifica como um estuário sob o regime de micromaré (<2 m). A região estuarina é francamente estratificada apresentando um fluxo de água doce bem menor do que o volume de água do mar, mas sazonalmente sofre variações na zona de mistura (Barroso, 2004).

Embora Loureiro (2006) ressalte que o cultivo de *Eucalyptus* sp. tenha impactado vastas áreas no entorno da bacia de drenagem, o estuário do rio Piraquê-Açu é um ambiente natural, ainda

pouco modificado pelo homem. Por esta razão, a distribuição sedimentar é função da hidrodinâmica do corpo d'água e sua relação com a configuração das formas de fundo (Barroso, 2004). Na região de confluência dos canais fluviais o estuário apresenta-se areno-lamoso e, próximo à foz do rio Piraquê-Açu, dominam as frações de areias médias e grossas com biodetritos que evidenciam a dominância da hidrodinâmica marinha (Silva, 2014).

## 3 Material e Métodos

### 3.1 Amostragem

Precedente à testemunhagem foi realizado o levantamento sísmico de alta resolução no estuário, para o reconhecimento de camadas ou estruturas sedimentares bem preservadas em subsuperfície. As sondagens foram realizadas em 2011 por meio de testemunho a percussão e operado por mergulhador, pois os pontos selecionados encontravam-se em média a 1 m de profundidade (Figura 1). A percussão na parte posterior do tubo foi produzida por porrete acionado por batidas (tal qual um pilão) efetuadas pelo mergulhador. O tubo utilizado foi um tubo de PVC, resistente e de parede fina para redução do atrito com o sedimento.

Para a análise paleoambiental foram selecionados dois testemunhos coletados na zona estuarina do rio Piraquê-Açu: PA05 – 1,3 m (19°55'14" S – 40°12'14" W) e PA20 – 1,42 m (19°56'13" S – 40°10'29" W) que foram amostrados em intervalos regulares de 10 cm em fatias de 1 cm de espessura (Figura 1).

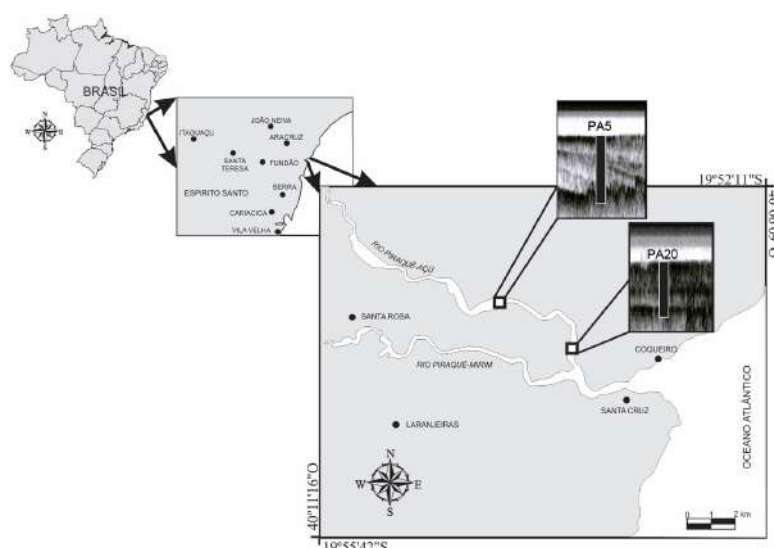


Figura 1 Mapa de localização dos testemunhos PA05 e PA20 no estuário do rio Piraquê-Açu, Espírito Santo, Brasil.

### 3.2 Datações em $^{14}\text{C}$

Sete datações por  $^{14}\text{C}$  foram realizadas no NSF – *Arizona AMS Laboratory* utilizando conchas de bivalves articulados coletadas em posição de vida nos intervalos 11-12 cm, 26-28 cm, 114-116 cm e 128-130 cm em PA05 e nos intervalos 39-40 cm, 58-59 cm e 86-87 cm em PA20 (Tabela 1). A fórmula utilizada para calcular a idade de cada amostra datada por  $^{14}\text{C}$  foi  $t = [\ln(N_f/N_o)/(-0,693)] \times t_{1/2}$ , em que  $\ln$  é o logaritmo neperiano,  $N_f/N_o$  é a porcentagem de carbono 14 na amostras comparada à quantidade contida em tecidos vivos e  $t_{1/2}$  é a meia vida de  $^{14}\text{C}$ . As datações em  $^{14}\text{C}$  foram calibradas utilizando  $1 \sigma$  no *software* Calib702 para que fosse possível correlacionar os dados obtidos com eventos climáticos registrados no período histórico (Stuiver & Reimer, 1993). Para calcular a taxa de acúmulo de sedimento foi utilizada a fórmula ( $\text{cm.y}^{-1}$ ) e a idade de cada camada foi calculada usando o método de taxa constante de suprimento de sedimento de acordo com Figueiredo Jr. *et al.* (2014).

### 3.3 Análise de Foraminíferos

A análise de foraminíferos foi efetuada em vinte e oito amostras. Para o efeito, foi coletada uma alíquota de 10 ml de sedimento em intervalos de 10 cm nos testemunhos estudados. Posteriormente, as amostras foram passadas a úmido pelas peneiras de 0,500 mm e 0,062 mm, descartando-se as granulações acima e abaixo destas frações. Entre uma lavagem e outra, as peneiras foram mergulhadas em uma solução de água com corante Azul de Metileno para que os organismos que porventura estivessem retidos nas peneiras fossem identificados na triagem como material contaminante. Todo o sedimento retido na peneira de 0,062 mm foi seco em estufa a  $50^\circ\text{C}$  e, posteriormente, os organismos foram separados do material siliciclástico por flotação em tricloroetileno ( $\text{C}_2\text{HCl}_3$ ), segundo Schröder *et al.* (1987).

As amostras foram analisadas em placas quadriculadas sob microscópio estereoscópico com

aumento de 80x, onde foram triados e identificados todos os espécimes de foraminíferos bentônicos. Para identificação sistemática em nível de gênero foi utilizado Loeblich & Tappan (1988) e para identificação das espécies foi utilizado Boltovskoy *et al.* (1980), Scott & Medioli (1980) e Debenay *et al.* (2002; 2004). Os nomes das espécies identificadas foram revisados, adotando a nomenclatura disponível na plataforma *online*, *Word Register of Marine Species – WoRMS* (Hayward *et al.*, 2018).

### 3.4 Análise Estatística

Objetivando a obtenção do maior número de relações entre as características da comunidade de foraminíferos de cada intervalo dos testemunhos, foram utilizadas como técnicas univariadas os índices ecológicos de abundância relativa e diversidade de Shannon-Wiener ( $H' = -\sum p_i \ln p_i$ ). Para avaliar a similaridade entre as comunidades identificadas na coluna sedimentar e identificar diferentes ambientes de sedimentação foi utilizada como técnica multivariada uma análise de agrupamento em modo Q (amostras), usando-se a distância Euclidiana e o método *Ward* de ligação, e a análise em modo R (espécies), usando-se uma matriz de correlação de *r-Pearson* e o método *Ward* de ligação. Nas análises de agrupamento, foram excluídas todas as espécies que apresentaram valores de abundância relativa inferior a 4% e que estavam presentes somente em um dos intervalos dos testemunhos, assim como todas as amostras que apresentaram menos de 100 espécimes (Fatela & Taborda, 2002), a fim de evitar um ruído estatístico e obter uma caracterização confiável da composição das associações de foraminíferos.

### 3.5 Análise Isotópica ( $\delta^{18}\text{O}$ , $\delta^{13}\text{C}$ )

Para as análises de isótopos foram separadas dez testas de foraminíferos bentônicos da espécie *Ammonia tepida* (a mais abundante e constante na sequência sedimentar) de cada intervalo analisado dos testemunhos. As testas foram lavadas com água deionizada e secas. Após este procedimento, foram esmagadas em cadinho de cerâmica até

ficarem reduzidas a pó fino e encaminhadas para o laboratório. Os resultados de isótopos estáveis foram apresentados mediante o parâmetro  $\delta$  definido por:  $\delta$  (‰) = [(R amostra - R padrão) / (R padrão)] × 1000. No qual, para o carbono e oxigênio, os valores de R correspondem respectivamente a  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  e  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ .

As análises de isótopos estáveis foram efetuadas no Laboratório de Estratigrafia Química e Geoquímica Orgânica (LGQM) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, utilizando os equipamentos “Kiel IV Carbonate Device” e “Delta V Plus - Isotope Ratio MS” analyser (Thermo Scientific), aplicando a metodologia descrita em Clemente *et al.* (2018).

#### 4 Resultados

As datações em AMS  $^{14}\text{C}$  indicam idades calendário (*Ano Domine*) do testemunho PA05 entre  $\approx 425$  a.C. (128 - 130 cm) e  $\approx 988$  d.C. (10 - 12 cm), e no testemunho PA20 entre  $\approx 72$  a.C. (86 - 87 cm) e  $\approx 1407$  d.C. (39 - 40 cm) (Tabela 1). Extrapolando estas idades para a base dos testemunhos temos que o PA05 registra os últimos  $\approx 2900$  AP, enquanto o PA20 representa os últimos  $\approx 1800$  AP (Tabela 1). As idades das demais amostras foram estimadas considerando taxas de sedimentação constantes entre os pontos datados. A curva da taxa de sedimentação entre os dois testemunhos foi semelhante (Figura 2). No testemunho PA05 os valores oscilaram de 0,03 cm/ano entre 138 - 114 cm, passando para 0,23 cm/ano entre 114- 26 cm e 0,03 cm/ano entre 26 - 10 cm (Figura 2). No testemunho PA20 a taxa de sedimentação oscilou de 0,15 cm/ano entre 106-87 cm, passando para 0,14 cm/ano 87-59 cm a 0,1cm/ano entre 39- 59 cm (Figura 2).

Foram identificados foraminíferos nos 28

intervalos analisados nos dois testemunhos. As amostras 0-2, 10-12, 70-72 e 80-82 cm de PA05 e 10-12, 20-22, 100-102 e 110-112 cm de PA20 não atingiram a densidade de 100 testas/10 cm<sup>3</sup> e por essa razão não foram incluídas no tratamento estatístico (Tabelas 2 e 3). A densidade de carapaças nas outras amostras estudadas foi superior a 100 espécimes/10 cm<sup>3</sup> (Tabelas 2 e 3).

No testemunho PA05 foram identificadas quatro espécies (Tabela 2) com dominância de *Ammonia parkinsoniana* (16 - 85%), seguida por *Ammonia tepida* (8,5 - 81,4%) e *Criboelphidium excavatum* (1,8-29,4%). A espécie *Bolivina striatula* ocorreu somente nos intervalos de 140-142 cm e 60-62 cm com valores de abundância relativa entre 0,9 e 4,2%.

No testemunho PA20 foram identificadas 16 espécies (Tabela 3) com dominância das espécies *A. parkinsoniana* (4,3 - 62,2%), *A. tepida* (22,2 - 55,8), *C. excavatum* (2,5 -20,6%), *Cibicides variabilis* (6,9 - 26,5%) e *Haynesina depressula* (5,2 - 26,7%). Espécies dos gêneros *Lagena*, *Oolina*, *Planorbulina*, *Procerolagena*, *Pseudononion*, *Pyulina*, *Quinqueloculina* e *Spiroloculina* são menos constantes ao longo do testemunho e apresentam valores de abundância relativa mais baixos (Tabela 3).

Em relação aos índices ecológicos, o testemunho PA05 apresenta os menores valores (0,5-0,6) de diversidade  $H'$  nos intervalos 120-122 cm, 50-52 cm e 10-12 cm e os maiores valores (1,0) ocorrem entre 20-42 cm e 60-62 cm e 90-112 cm (Tabela 2). No testemunho PA20, os valores de diversidade  $H'$  foram maiores (2,0) na base (120-122 cm) e menores (1,0) no topo do testemunho (Tabela 3).

Testemunho PA05	Idade em Radiocarbono (anos AP)	Calendário (Stuiver & Reimer 1993)
10-12 cm	1091± 36	988 d.C. ± 38
26-28 cm	1532± 37	606 d.C. ± 44
114-116 cm	1920± 35	126 d.C. ± 35
128-130 cm	2411± 38	425 a.C. ± 92

Testemunho PA20	Idade em Radiocarbono (anos AP)	Calendário
39-40 cm	1255 ± 37	1407 d.C. ± 41
58-59 cm	1436 ± 88	1252 d.C. ± 35
86-87 cm	1632 ± 75	72 a.C. ± 56

Tabela 1 Datação em AMS <sup>14</sup>C com as idades calibradas dos testemunhos PA05 e PA20 do estuário do Piraquê-Açu.

A análise de agrupamento em Modo Q com nível de similaridade de 70% permitiu identificar quatro grupos nos testemunhos (Figura 3). O Grupo I foi composto por todo o testemunho PA05 exceto entre 50-60 cm e pela seção 0-2 cm de PA20. O

Grupo II foi composto somente pelo intervalo de 50-52 cm do testemunho PA05. O Grupo III incluiu o intervalo de 30-52 cm do testemunho PA20. O Grupo IV foi composto pelos níveis entre 60 a 125 cm, de PA20 (Figura 3).

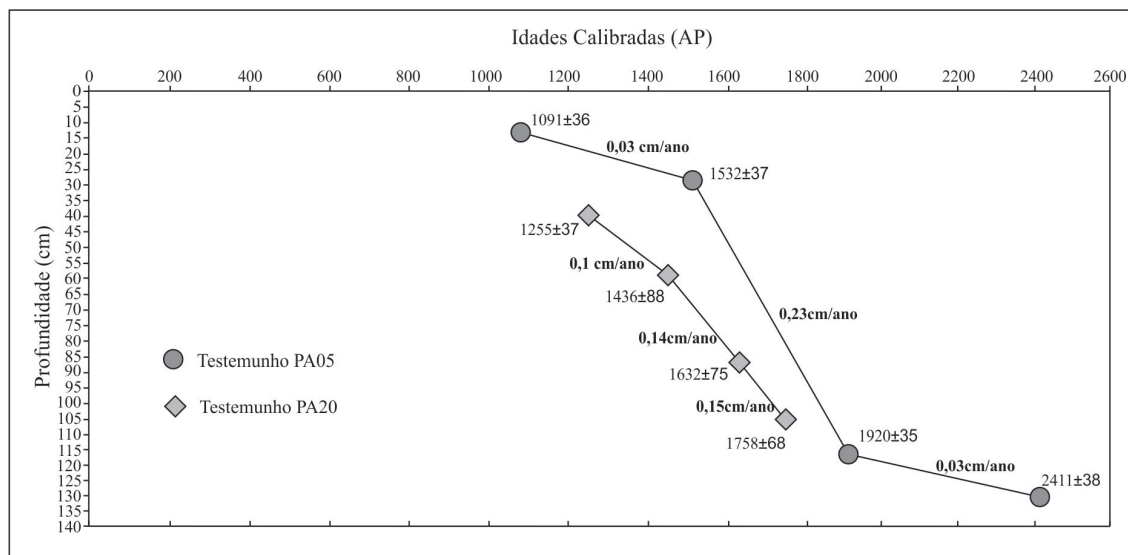


Figura 2 Taxa de sedimentação dos testemunhos coletados no Rio Piraquê-Açu (PA05 e PA20). O valor de datação de 1758±68 em 105 cm de PA20 foi retirada de Freitas *et al.* (2015) para melhorar a resolução do cálculo da taxa de sedimentação.

Na análise de agrupamento em Modo R puderam ser definidas quatro associações de foraminíferos utilizando o nível de similaridade de 67% (Figura 3): Associação A - *A. parkinsoniana*, *C. excavatum* e *A. tepida*; Associação B - *B. striatula*, *Pseudonion japonicum*, *Quinqueloculina polygona*, *Spiroculina eximia*; Associação C - *Procerolagena clavata*, *Pyrulina gutta*, *Quinqueloculina seminula*, *Lagena sulcata*, e *Oolina lineata*; e Associação D - *Cibicidoides variabilis*, *H. depressula*, *Nonium sp.*, *Lagena digitale* e *Oolina globosa*.

Analisando os dois dendrogramas em conjunto pode-se constatar que o Grupo I foi composto por foraminíferos das Associações A e B; o Grupo II incluiu somente a Associação A; o

Grupo III foi constituído pelas Associações A e D; e o Grupo IV foi composto por todas as associações de foraminíferos, sendo que os organismos desta Associação apresentam menores valores de abundância relativa (Figura 3).

Os valores de  $\delta^{18}O$  em PA05 variaram de -1,14‰ na base do testemunho até -4,99‰ no topo. O topo do testemunho PA05 (0-2 cm) também apresentou o menor valor de  $\delta^{13}C$  (-6,14‰), enquanto o maior valor (-1,83‰) foi registrado entre 110-112 cm. Em PA20, a base da sequência sedimentar (120-122 cm) apresentou o menor valor de  $\delta^{18}O$  (-3,53‰), enquanto no topo foi de -1,01‰. Os valores de  $\delta^{13}C$  pouco oscilaram ao longo do testemunho PA20, com valores entre -4,37 e -2,33‰ (Tabela 04).

TESTEMUNHO PA05	Profundidade (cm)	Nº de Testas	Nº de espécies	Diversidade ( $H'$ )	<i>Ammonia parkinsoniana</i> (d'Orbigny, 1839)	<i>Ammonia tepida</i> (Cushman, 1926)	<i>Bolivina striatula</i> Cushman, 1922	<i>Cibicides lobatulus</i> (Cushman, 1926)
	0-2	55	4	0,84	67,3	27,3	1,8	1,8
10-12	81	2	0,59	28,3	71,6	-	-	
20-22	346	3	1,0	48,8	38,4	-	12,7	
30-32	377	3	1,1	39,0	34,0	-	27,1	
40-42	230	3	1,0	59,1	20,9	-	20,0	
50-52	188	3	0,6	16,0	81,4	-	2,7	
60-62	119	4	1,0	63,9	24,4	4,2	7,6	
70-72	84	4	0,65	80,9	10,7	1,2	7,1	
80-82	62	3	0,67	77,4	16,1	-	6,4	
90-92	111	3	1,0	56,8	26,1	-	17,1	
100-102	154	3	0,9	63,0	13,6	-	23,4	
110-112	126	3	1,0	56,3	14,3	-	29,4	
120-122	153	3	0,5	85,0	8,5	-	6,5	
130-132	209	3	0,8	69,4	9,1	-	21,5	
140-142	214	4	0,8	75,7	13,6	0,9	9,8	

Tabela 2 Índices ecológicos e abundância relativa das espécies de foraminíferos do testemunho PA05.

## 5 Discussão

### 5.1 Registros das Variações Climáticas no Estuário do Piraquê-Açu

Nos testemunhos PA05 e PA20, os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  apresentaram covariantes diferenciando-se dos padrões encontrados em regiões oceânicas a qual as curvas mostram-se opostas (Nicolaidis, 2008; Barbosa, 2002). Em muitos intervalos as curvas se tornaram semelhantes (Figura 4), provavelmente estas alterações podem ter ocorrido devido ao local da testemunhagem ser próximo ao manguezal com grande aporte dos rios. O mesmo padrão foi identificado por Pinto *et al.* (2016) na Baía de Sepetiba e por Clemente *et al.* (2018) na Baía de Guanabara e, segundos estes autores, a proximidade com área fonte de nutriente, de origem continental pode potencializar a fixação de  $\delta^{13}\text{C}$  nas testas dos foraminíferos (Diz *et al.*, 2009). Fontanier *et al.* (2005) ressaltam ainda que a profundidade do local da coleta também pode

alterar os dados, uma vez que a oxigenação do fundo influencia na intensidade da degradação de matéria orgânica em sedimentos superficiais. Sendo assim, os resultados sugerem que na região, as mudanças na temperatura não foram determinantes para mudanças na produtividade. A exceção ocorreu apenas no testemunho PA20 entre 30-0 cm que corresponde ao período atual pós-colonização (Figura 4). Registros históricos a partir de 1818 d.C. indicam uma redução significativa da vegetação de floresta ombrófila densa e dos manguezais da região do Espírito Santo (Sant-Hilaire, 1974; Gibbis *et al.*, 2010). Freitas *et al.* (2015, 2016) identificaram uma retração significativa dos manguezais a partir 1234 A.P. que foi intensificada em 1891 d.C. com a chegada dos imigrantes italianos que estabeleceram as primeiras fazendas na bacia de drenagem do Piraquê-Açu (Nagar, 1985). Esse padrão não pode ser observado em PA05 (Figura 4) possivelmente por estar localizado na região mais interna do estuário onde há maior deposição de nutrientes.

Registro das Oscilações Climáticas do Holoceno Tardio no Estuário do Rio Piraquê-Açu (ES - Brasil)

Lazaro Laut; Iara Clemente; Egberto Pereira; Kleverton Alencastre do Nascimento;  
Sérgio Cadena de Vasconcelos; Pierre Belart & Alex Cardoso Bastos

TESTEMUNHO PA20	Profundidade (cm)	Nº de Testas	Nº de espécies	Diversidade (H')	<i>Ammonia parkinsoniana</i> (d'Orbigny, 1839)	<i>Ammonia tepida</i> (Cushman, 1926)	<i>Cibicides variabilis</i> (d'Orbigny, 1826)	<i>Cribrorhaphidium excavatum</i> (Terquem, 1875)	<i>Haynesina depressula</i> (Walker & Jacob, 1798)	<i>Lagena digitale</i> Heron-Allen & Earland, 1932	<i>Lagena sulcata</i> (Walker & Jacob, 1798)	<i>Nonion</i> sp. Montfort, 1808	<i>Procerolagena clavata</i> (d'Orbigny, 1846)	<i>Pseudonion japonicum</i> Asano, 1936	<i>Pyralina gutta</i> (d'Orbigny, 1826)	<i>Quinqueloculina seminula</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Oolina globosa</i> (Montagu, 1803)	<i>Oolina lineata</i> (Williamson, 1848)	<i>Quinqueloculina polygona</i> d'Orbigny, 1839	<i>Spiroloculina eximia</i> Cushman, 1922
	0-2	233	4	1,0	62,2	24,9	9,9	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-12	61	4	1,1	46	37,7	13	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20-22	63	7	1,7	19	36,5	8	20,6	9,5	1,6	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30-32	143	9	1,6	30,8	36,4	14,0	3,5	7,7	0,7	-	4,9	-	-	-	-	-	0,7	0,7	-	-
40-42	276	8	1,4	9,1	55,8	9,4	4,3	13,0	1,1	-	5,4	-	-	-	-	-	1,8	-	-	-
50-52	131	6	1,5	6,9	38,9	12,2	4,6	26,7	-	-	10,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60-62	198	11	1,7	14,1	44,4	12,6	2,5	11,6	-	1,0	-	-	1,0	7,1	7,1	-	0,5	5,1	-	-
70-72	174	10	1,7	8,0	46,6	6,9	7,5	5,7	-	2,9	-	1,7	-	19,0	19	1,1	-	-	-	-
80-82	116	10	1,7	5,2	47,4	17,2	9,5	5,2	0,9	-	-	4,3	-	6,0	6	4,3	-	-	-	-
90-92	234	11	1,5	8,1	56,4	15,0	4,3	-	-	1,3	-	3,4	-	4,3	4,3	-	2,1	3,8	0,4	-
100-102	87	6	1,8	11,5	34,5	21,8	4,6	12,6	-	-	-	1,2	-	-	10,3	2,3	-	10,3	1,2	-
110-112	95	6	1,6	5,2	33,7	25,3	5,3	15,8	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-
120-122	117	11	2,0	4,3	22,2	26,5	11,1	7,7	-	5,1	-	2,6	-	5,1	5,1	4,3	11,1	-	-	-

Tabela 3 Índices ecológicos e abundância relativa das espécies de foraminíferos do testemunho PA20.

Testemunho PA05			Testemunho PA20		
Profundidade	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{13}\text{C}$	Profundidade	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{13}\text{C}$
(cm)	(‰)	(‰)	(cm)	(‰)	(‰)
0-2	-4,997	-6,145	0-2	-1,015	-4,377
10-12	-2	-4,134	10-12	-1,325	-3,412
20-22	-3,625	-5,476	20-22	-2,102	-3,226
30-32	-3,082	-5,36	30-32	-2,825	-2,331
40-42	-2,257	-4,164	40-42	-2,899	-3,806
50-52	-1,512	-4,478	50-52	-1,967	-3,057
60-62	-1,873	-4,03	60-62	-2,779	-3,173
70-72	-2,229	-5,12	70-72	-2,86	-4,1
80-82	-2,315	-4,568	80-82	-2,3	-3,946
90-92	-2,031	-3,193	90-92	-2,75	-3,843
100-102	-3,22	-3,653	100-102	-1,691	-3,745
110-112	-2,468	-1,831	110-102	-2,613	-3,866
120-122	-1,896	-4,855	120-122	-3,536	-3,987
130-132	-2,98	-3,54			
140-142	-1,141	-2,277			

Tabela 4 Resultado das análises isotópicas nas testas de *Ammonia tepida* dos testemunhos PA05 e PA20 do estuário do Piraquê-Açu.



No Holoceno da América do Sul, as variações na precipitação apresentam um excelente acoplamento com as variações de temperatura do hemisfério norte durante eventos climáticos frios de escala milenar, a exemplo o *Younger Dryas* (Baker *et al.*, 2001; Strikis & Novello, 2014). Contudo, sabe-se que ao longo do Holoceno da América do Sul, as variações na precipitação estão acopladas a variações de temperatura do hemisfério norte durante eventos climáticos frios de escala milenar (Baker *et al.*, 2001; Strikis & Novello, 2014). As temperaturas baixas no hemisfério norte refletiram-se no deslocamento para sul da Zona de Convergência Intertropical na América do Sul, aumentando a intensidade das monções durante esses períodos (Strikis & Novello, 2014). Segundo Novello *et al.* (2012) a Pequena Idade do Gelo foi marcada por períodos de aumento da umidade no sudeste do Brasil e mais aridez no Nordeste. O aumento do valor de  $\delta^{13}\text{C}$  no período que compreende o início da Pequena Idade do Gelo e representaria um aumento da umidade na região do Espírito Santo pode ser visto no testemunho PA05 por volta do ano de 1080 d.C. (12 cm), o que teria ocorrido antes do período descrito na literatura (Novello *et al.*, 2012). Contudo, Boninsegna (1988) relata o aumento da precipitação na América do Sul entre 1220-1280 a.C., e entre 1450-1550 a.C. e os relacionou a um período de resfriamento de nível global.

Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  ao longo dos testemunhos indicam pequenas variações climáticas. Períodos mais frios ficaram marcados no testemunho PA05 nas idades de  $\approx 1000$  a.C.,  $\approx 129$  a.C.,  $\approx 478$  d.C.,  $\approx 1082$  d.C. e no testemunho PA20 em  $\approx 138$  a.C.,  $\approx 261$  d.C.,  $\approx 1325$  d.C. e  $\approx 1857$  d.C. (Figura 4). Uma queda brusca nos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  no topo do testemunho PA20 deve ser fruto de algum erro na análise (*outlier*) e por esta razão estes dados não foram utilizados na interpretação. Na Figura 5 os valores isotópicos de ambos os testemunhos foram correlacionados como os eventos climáticos e históricos em Schönwiese (1995) e Eitel (2007). Embora os limites cronológicos dos eventos não tenham se ajustado perfeitamente, o que deve ser

em decorrência da resolução dos dados analisados tanto de isótopos, quanto relacionados ao número de datações (Figura 5), ficaram registrados no Piraquê-Açu quatro períodos de resfriamento. O primeiro evento ficou registrado há  $\approx 1000$  a.C. que corresponderia ao final da Idade do Ferro. O segundo evento de resfriamento está registrado entre os anos de  $\approx 450$  a.C. e  $\approx 100$  d.C. que pode ser relacionado ao evento conhecido como *Greek Dark Ages*. O terceiro foi registrado entre  $\approx 250$  d.C. e 550 d.C., sendo um período mais curto, coincidente com o evento *Dark Ages*. E o mais recente resfriamento corresponderia a Pequena Idade do Gelo que ficou registrada nos testemunhos entre  $\approx 1200$  d.C. e 1850 d.C. Diversos indicadores paleoambientais e arqueológicos também estimam que a Pequena Idade do Gelo seja um período entre 1300 e 1850 d.C. (Grove, 2004; Matthews & Briffa, 2005). O testemunho PA20, mostra um pico negativo de  $\delta^{18}\text{O}$  por volta do ano de 1300 d.C. e PA05 apresenta uma curva com aumento dos valores isotópicos até  $\approx 1850$  d.C. (Figura 5).

Os pontos correlacionados à maiores temperaturas puderam ser identificados em PA05 nos anos de  $\approx 552$  a.C.,  $\approx 214$  d.C.,  $\approx 706$  d.C., e no topo onde foi registrado o menor valor de  $\delta^{18}\text{O}$  (-5). Em PA20 os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  indicam pontos mais quentes em  $\approx 900$  a.C.,  $\approx 194$  d.C.,  $\approx 859$  d.C. e  $\approx 1391$  d.C. (Figura 5). A correlação como os eventos climáticos de aquecimento descritos por Schönwiese (1995) e Eitel (2007) demonstraram a existência de quatro períodos de aquecimento registrados na sequência sedimentar do rio Piraquê-Açu. O primeiro período de aquecimento ocorreu entre  $\approx 900$  a.C. e  $\approx 450$  a.C. que possivelmente corresponde ao Período de Aquecimento Grego. O segundo período compreendido entre  $\approx 50$  d.C. e 250 d.C. localiza-se dentro do período conhecido com Aquecimento do Período Romano. O terceiro período foi de  $\approx 550$  d.C. até  $\approx 1200$  d.C. correspondendo ao Período Quente Medieval ou também conhecido como Anomalia de Temperatura Medieval. O quarto evento representa o aquecimento verificado por diversos autores que se iniciou a partir de 1850 d.C. (Desprat *et al.* 2003).

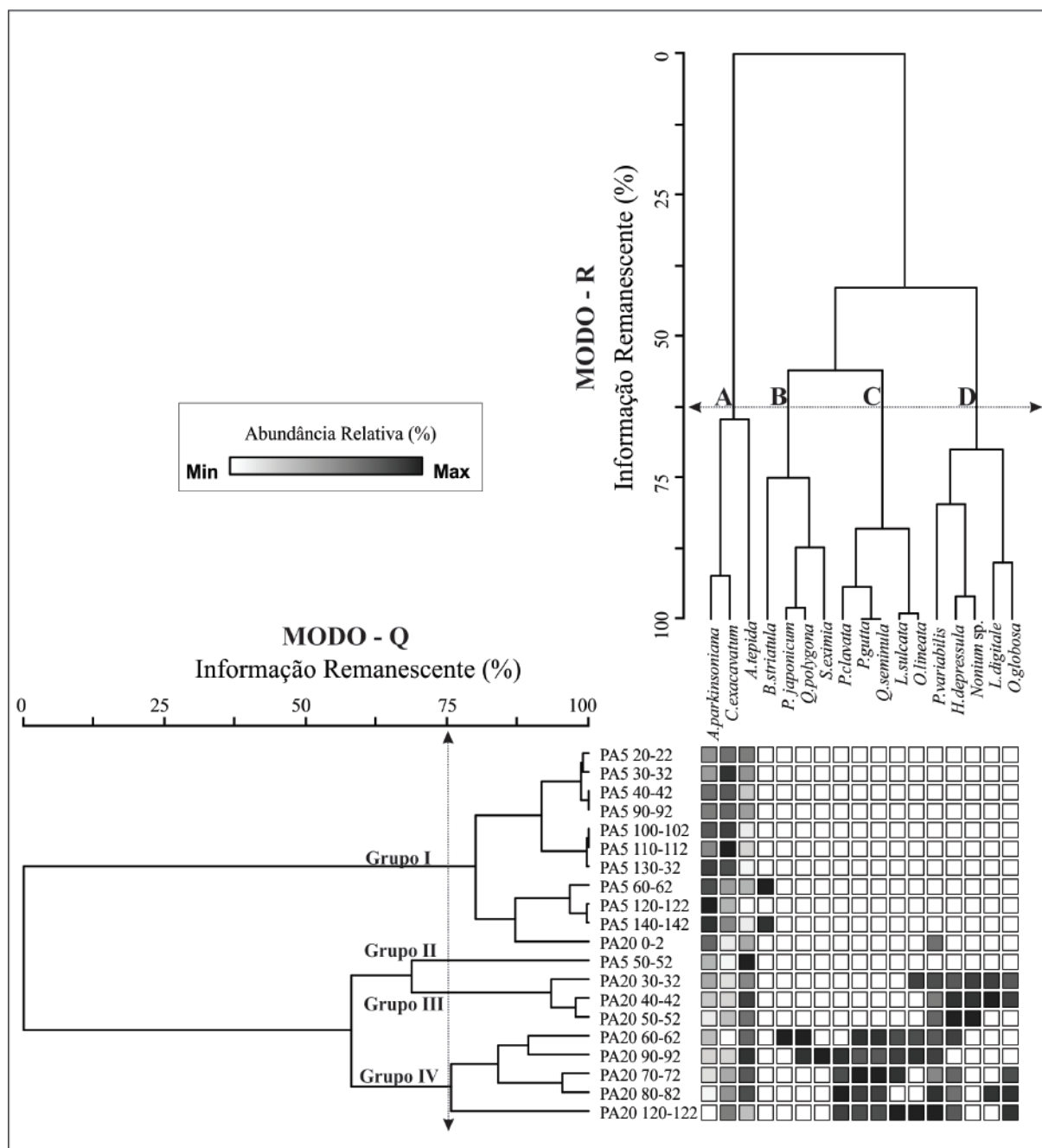


Figura 3 Análise de agrupamento em Modo Q e R com base nos valores de abundância relativa das espécies de foraminíferos bentônicos dos testemunhos PA05 e PA20 do estuário do rio Piraquê-Açu.

## 5.2 Resposta da Fauna de Foraminíferos as Mudanças Climáticas no Piraquê-Açu

Nos estuários recentes do Brasil, a região estuarina inferior geralmente é caracterizada pela presença de foraminíferos bentônicos calcários marinhos e mixohalinos que vão gradativamente sendo substituídos pelos mixoalinos no estuário intermediário e por espécies aglutinantes no estuário superior (Duleba *et al.*, 2005; Laut *et al.*, 2007). As espécies de foraminíferos dominantes (*A. tepida*,

*A. parkinsoniana* e *C. excavatum*) ao longo da sequência sedimentar dos testemunhos analisados são consideradas cosmopolitas e dominantes em regiões estuarinas (Muñoz *et al.*, 1995; Ruiz *et al.*, 2005; Laut *et al.*, 2007, 2010, 2012a, 2012b, 2015, 2016a, 2016b, 2016c). Espécies de testa aglutinante não foram encontradas nos testemunhos, o que pode indicar que nenhum intervalo analisado corresponde ao compartimento do estuário superior. Assim, é possível supor que os locais onde foram coletados

os testemunhos estiveram sempre sob a influência marinha.

Belart *et al.* (2017) definiram *A. parkinsoniana* e *A. tepida* como espécies de comportamento euritópico, ou seja, espécies muito resistentes a variação natural de parâmetros físico-químicos, característica comum aos estuários (Murray, 1991). Estas espécies são dominantes em diversos ecossistemas costeiros, com registros no Brasil (Belart *et al.*, 2017, 2018, 2019; Raposo *et al.*, 2018; Laut *et al.*, 2007, 2011, 2016a) e outras regiões do mundo (Buzas-Stephens *et al.*, 2014; Laut *et al.* 2015 e 2016b). No Estuário do Rio Piraquê-Açu, *A. tepida* atingiu 81% da comunidade do intervalo de 50-52 cm no testemunho PA05, podendo indicar um período de maior confinamento da região interna do estuário, ocorrido há aproximadamente  $\approx 450$  anos d.C. (Figura 4). Em baías e lagunas costeiras esta espécie é indicadora de enriquecimento orgânico e confinamento do ambiente (Martins *et al.*, 2010, 2013, 2014, 2015a, 2015b; Raposo *et al.*, 2016, 2018; Belart *et al.*, 2017). Esse período de confinamento e com enriquecimento é coincidente com o período de resfriamento coincidente com as *Dark Ages* (Figura 5).

O ambiente menos confinado com as características microfaunísticas semelhantes ao recente (0-2 cm) pode ser identificado pela ocorrência de *B. striatula* entre 140-142 cm 60-72 cm. Esta espécie também é comumente associada ao enriquecimento orgânico, mas em ambientes com salinidade próxima à do mar, como na Baía de Guanabara (Clemente *et al.*, 2015; Martins *et al.*, 2016) e em algumas lagunas costeiras brasileiras (Raposo *et al.*, 2016, 2018).

No testemunho PA20, localizado mais próximo à foz do rio Piraquê-Açu, espécies como *Lagena* spp., *Oolina* spp., *P. gutta* e *S. eximia* são frequentes entre 122 e 20 cm. Estas espécies ocorrem comumente em regiões costeiras com grande influência marinha como baías e estuários abertos (Clemente *et al.*, 2015; Martins *et al.*, 2016). A não ocorrência destes táxons no intervalo 20-0 cm indica menor influência marinha no estuário a

partir de  $\approx 1700$  d.C. (Figura 4). Por outro lado, a maior riqueza de espécies pode ser identificada em 125, 90, 60 e 30 cm indicando um ambiente com maior influência marinha. Pode-se estimar que a maior influência marinha ocorreu por volta de  $\approx 468$  a.C. e  $\approx 864$  a.C. (Figura 4). Freitas *et al.* (2015) identificaram, com base na análise polínica, uma maior influência da vegetação de manguezal na base do testemunho PA20 que seria decorrente de nível do mar mais alto que o atual. Segundo os dados de  $\delta^{18}\text{O}$ , esta época é marcada por um período de aquecimento (Aquecimento Grego) e o estuário estaria sob maior influência marinha.

Os menores valores de diversidade  $H'$ , identificados em PA05 nos intervalos de 10-12 cm (0,6), 50-52 cm (0,6), 70-82 cm (0,6) e 120-122 cm (0,5) cm, são compatíveis com outras regiões confinadas, como por exemplo, fundo de baías e lagunas (Clemente *et al.*, 2015) e manguezais (Laut & Barbosa, 1999; Semensatto Jr & Dias-Britto 2004, 2006; Souza *et al.*, 2010). Por outro lado, o testemunho PA20 apresenta valores de diversidade, entre 2,0 e 1,0 que comumente são encontrados em porções de estuário médio e inferior (Laut *et al.* 2007, 2010, 2011). O maior valor de diversidade na base do testemunho (120-122) também é um indicativo de maior influência marinha durante o Aquecimento Grego ( $\approx 900$  a.C. e  $\approx 450$  a.C.) que gradativamente reduz em direção ao topo, onde foi identificado o menor valor de  $H'$ .

As quatro associações de foraminíferos, definidas pela análise de agrupamento em Modo R, são compostas por organismos com afinidades ecológicas. A associação A foi composta somente pelas espécies dominantes que são comuns em regiões estuarinas; a Associação B agrupou espécies comumente encontradas em regiões de mistura de águas estuarinas com grande influência marinha (Muñoz *et al.*, 1995; Ruiz *et al.*, 2005; Laut *et al.*, 2007, 2010, 2012a, 2015, 2016a, 2016b, 2016c); e nas Associações C e D foram dominantes as espécies que ocorrem na plataforma continental, que geralmente são encontradas na região de estuário inferior e comumente são transportadas em

suspensão (Clemente *et al.*, 2015; Martins *et al.*, 2016).

Analisando conjuntamente os dendrogramas (Modo Q e R) podemos concluir que o Grupo I, que reuniu quase todo o pacote sedimentar do testemunho PA05 e o intervalo de 0-2 cm em PA20, caracteriza-se como o estuário atual, onde há a dominância das espécies das Associações A e B (Figura 3). A diminuição na diversidade e densidade coincide com os eventos de resfriamento, indicando que houve a diminuição da influência marinha dentro do estuário (Figura 4), sobretudo no evento correspondente com a *Greeck Dark Ages* ( $\approx 450$  a.C. e  $\approx 100$  a.C.) e no evento durante a Pequena Idade do Gelo ( $\approx 1200$  d.C. e 1850 d.C.). O Grupo II, restrito ao intervalo de 50-60 cm de PA05, indica o período de maior confinamento, pois foi composto somente pela Associação A, com *A. tepida* correspondendo a 81% da comunidade. Esta seria a resposta ambiental do estuário as *Dark Ages* ( $\approx 450$  d.C.). O Grupo III, composto pelas Associações A e D, indicando que o ambiente entre os intervalos 30-60 cm em PA20 representa um estuário com maior influência marinha, coincidindo ao Período de Quente Medieval ( $\approx 550$  d.C até  $\approx 1200$  d.C.). O Grupo IV foi composto por todas as associações (A, B, C e D), registrado da base do testemunho PA20 (125 cm até 60 cm), com pouca influência das oscilações climáticas. Vale ressaltar que, de uma maneira geral a sobreposição das associações de foraminíferos apresentada pelo testemunho PA20 mostra uma diminuição da influência marinha ao longo do Holoceno tardio no Rio Piraquê-Açu.

## 6 Conclusão

A sequência sedimentar recuperada no estuário do Rio Piraquê-Açu representa os últimos  $\approx 2900$  A.P. A taxa de sedimentação foi muito variada no testemunho PA05 localizado na região mais interna do estuário e mais constante no testemunho PA20 localizado na porção do estuário externo. Os resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  demonstraram que durante os eventos climáticos correspondentes a resfriamentos globais a umidade foi maior no estuário, com

maior acúmulo de matéria orgânica. A exceção ocorreu no início do século XIX que corresponde ao início da colonização na região e consequente redução na vegetação de floresta ombrófila e de manguezal. Os resultados de  $\delta^{18}\text{O}$  obtidos nos testemunhos PA05 e PA20 permitiram identificar quatro períodos de aquecimento (Aquecimento do Período Grego, Aquecimento do Período Romano, Período Quente Medieval e o Aquecimento atual) e quatro períodos mais frios (Idade do Ferro, *Greek Dark Ages*, *Dark Ages* e a Pequena Idade do Gelo) nos últimos  $\approx 2900$  anos AP no estuário do Rio Piraquê-Açu. O período de aquecimento registrado a partir do século XIX indicou maior aquecimento do que nos outros identificados na sequência sedimentar estudada. Com base nas associações de foraminíferos bentônicos foi possível identificar que os dois testemunhos analisados são dominados por espécies tipicamente costeiras e com características euritópicas, comuns em estuários. Por outro lado, no intervalo entre 50-60 cm do testemunho PA05 foram encontradas apenas as espécies *A. tepida*, *A. parkisoniana* e *C. exacavatum* que indicam o período de confinamento do estuário. A ausência de espécies aglutinantes na sequência sedimentar analisada nos permitiu afirmar que ambos os testemunhos registram condições ambientais de um estuário aberto com a influência marinha e que as mudanças na composição das associações de foraminíferos correspondem às oscilações climáticas do Holoceno. A sobreposição das associações de foraminíferos ao longo da sequência sedimentar da região mais externa do estuário indica o aumento progressivo das condições de confinamento no Holoceno tardio. O presente estudo demonstrou que a metodologia empregada foi eficiente na reconstrução climática da região, sendo pioneiro ao conciliar os isótopos estáveis de oxigênio e carbono com as associações de foraminíferos bentônicos dentro de um estuário no sudeste do Brasil. Portanto, servirá de base para futuros estudos que visem elucidar os *gaps* de conhecimento acerca das pequenas variações climáticas que ocorreram durante o Holoceno.

Registro das Oscilações Climáticas do Holoceno Tardio no Estuário do Rio Piraquê-Açu (ES - Brasil)

Lazaro Laut; Iara Clemente; Egberto Pereira; Kleverton Alencastre do Nascimento; Sérgio Cadena de Vasconcelos; Pierre Belart & Alex Cardoso Bastos

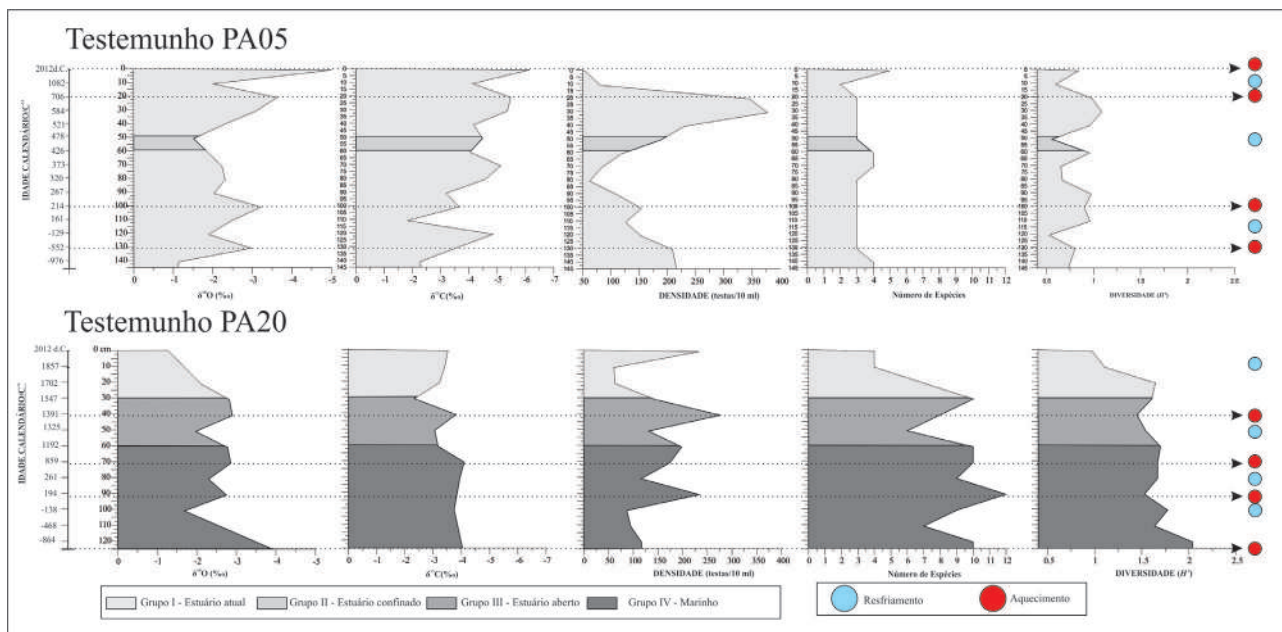


Figura 4 Diagrama representativo dos valores de  $^{14}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ , densidade de foraminíferos bentônicos, riqueza de espécies, diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e associações de foraminíferos encontradas ao longo da sequência sedimentar dos testemunhos PA05 e PA20. Os pontos de maior temperatura (círculos vermelhos) e de menor temperatura (círculos azuis) estão destacados na figura.

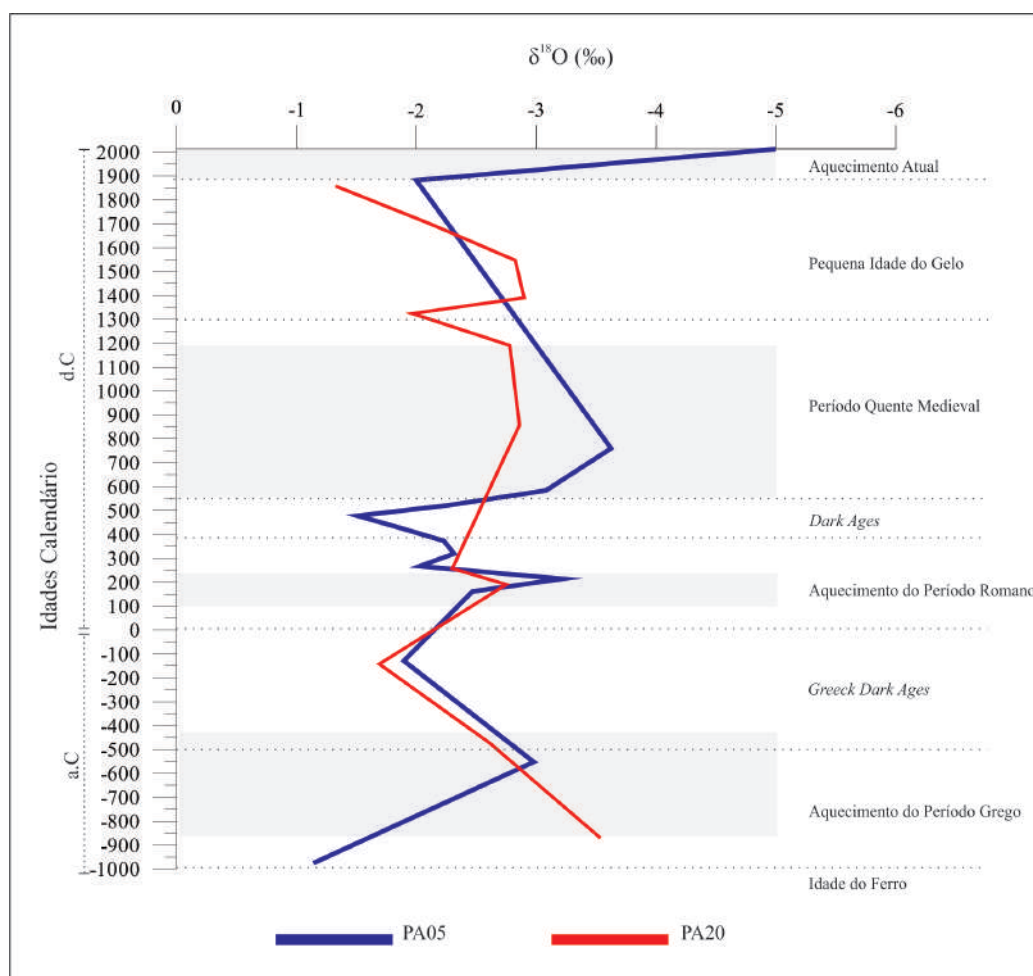


Figura 5 – Eventos climáticos identificados nos testemunhos PA05 e PA20 do estuário do Rio Piraquê-Açu. As linhas pontilhadas indicam o posicionamento temporal dos eventos climáticos apontados na literatura. Em cinza estão destacados os períodos de aquecimento registrados nos testemunhos estudados.

## 7 Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa do Prof. Dr. Lazaro Laut (301870/2016-0) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelas bolsas de pós-doutorado da Dr. Iara Clemente e de doutorado do discente Pierre Belart (código de financiamento 001).

## 8 Referências

- Baker, P.A.; Rigsby, C.A.; Seltzer, G.O.; Fritz, S.C.; Lowenstein, T.K.; Bacher, N.P. & Veliz, C. 2001 Tropical climate changes at millennial and orbital timescales on the Bolivian Altiplano. *Nature*, 409: 698–701.
- Barbosa, V.P. 2002. *Sistemática, bioestratigrafia e paleoecologia de foraminíferos do Quaternário do talude continental das bacias de Santos e Campos*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de doutorado, 427 p.
- Barroso, R.G. 2004. *Development of an evaluation framework for sustainable bivalve aquaculture: a strategic plan approach in Espírito Santo, Brazil*. Programa de Pós-Graduação em Geografia, University of Victoria, Canadá, Tese de Doutorado, 229 p.
- Belart, P.; Laut, V.M.; Clemente, I.M.M.M.; Raposo, D.S.; Martins, V.; Frontalini, F.; Lorini, M.L.; Fortes, R.R. & Laut, L.L.M. 2017. Living benthic foraminifera from the Saquarema Lagoonal System (Rio de Janeiro, southeastern Brazil). *Check List*, 13(2): 1-8. Doi: 10.15560/13.2.2062.
- Belart, P.; Clemente, I.; Raposo, D.; Habib, R.; Volino, E.K.; Villar, A.; Martins, M.V.A.; Fontana, L.F.; Lorini, M.L.; Panigai, G.; Frontalini, F.; Figueiredo, M.S.L.; Vasconcelos, S.C. & Laut, L. 2018. Living and dead foraminifera as bioindicators in Saquarema Lagoon System, Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46: 1055-1072.
- Belart, P.; Habib, R.; Raposo, D.; Clemente, I.; Martins, M.V.A.; Frontalini, F.; Figueiredo, M.S.L.; Lorini, M.L. & Laut, L. 2019. Seasonal Dynamics of Benthic Foraminiferal Biocoenosis in the Tropical Saquarema Lagoonal System (Brazil). *Estuaries and Coasts*, 42: 1-23.
- Bergue, C.T. & Coimbra, J.C. 2008. Abordagens faunísticas e geoquímicas em microfósseis calcários e suas aplicações à paleoceanografia e paleoclimatologia. *Boletim do Museu Emílio Goeldi, Ciências Naturais*, 3(2): 115-126.
- Bickert, T. & Mackensen, A. 2004. Last Glacial to Holocene changes in South Atlantic deep water circulation. In: WEFER, G.; MULITZA, S. & RATHMEYER, V. (eds.). *The South Atlantic in the Late Quaternary - Reconstruction of Material Budget and Current Systems*. Springer-Verlag, p. 671–693.
- Boltovskoy, E.; Giussani, G.; Watanabe, S. & Wright, R. 1980. *Atlas of Benthic Shelf Foraminifera of the Southwest Atlantic*. Houten, Springer Netherlands Publ, 154 p.
- Boninsegna, J.A. 1988. Santiago de Chile winter rainfall since 1,220 as being reconstruction by tree rings. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 6:67-87.
- Buzas-Stephens, P.; Livsey, D.N.; Simms, A.R. & Buzas, M.A. 2014. Estuarine foraminifera record Holocene stratigraphic changes and Holocene climate changes in ENSO and the North American monsoon: Baffin Bay, Texas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 404: 44-56.
- Clemente, I.M.M.M.; Silva, F.S.; Laut, L.L.M.; Frontalini, F.; Costa, V.L.; Rodrigues, M.A.C.; Pereira, E.; Bergamaschi, S.; Filho, J.G.M. & Martins, M.V.A. 2015. Biochemical Composition and Foraminiferal Content of Sediments for Determining Bottom Sector Environments in Guanabara Bay (Rio de Janeiro, Brazil). *Journal of Coastal Research*, 315: 1190-1204. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-14-00104.1
- Clemente, I.M.M.M.; Laut, L.L.M.; Martins, M.V.; Rodrigues, M.A.C.; Silva, F.S.; Pereira, E. & Figueiredo Jr., A.G. 2018. Análise paleoambiental da Baía de Guanabara (RJ-Brasil) com base em foraminíferos e isótopos estáveis. *Anuário do Instituto de Geociências (IGEO)*, 41(3): 413-423. DOI: 10.11137/2018\_3\_413\_426.
- Curry, W.B. & Oppo, D.W. 2005. Glacial water mass geometry and the distribution of  $\delta^{13}\text{C}$  of  $\Sigma\text{CO}_2$  in the western Atlantic Ocean. *Paleoceanography*, 20: PA1017. DOI: 10.1029/2004PA001021
- Curry, W.B.; Duplessy, J.C.; Labeyrie, L.D. & Shackleton, N.J. 1988. Changes in the distribution of  $\delta^{13}\text{C}$  of deep water  $\Sigma\text{CO}_2$  between the last glaciation and the Holocene. *Paleoceanography*, 3: 317–341.
- Debenay, J.P.; Guiral, D. & Parra, M. 2002. Ecological Factors Acting on the Microfauna in Mangrove Swamps. The Case of Foraminiferal Assemblages in French Guyana. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55: 509-533.
- Debenay, J.P.; Guiral, D. & Parra, M. 2004. Behaviour and taphonomic loss in foraminiferal assemblages of mangrove swamps of French Guiana. *Marine Geology*, 208(2-4): 295-314.
- Desprat, S.; Goñi M.F.S. & Loutre, M.F. 2003. Revealing climatic variability of the last three millennia in north-western Iberia using pollen influx data. *Earth and*

- Planetary Science Letters*, 213: 63-78. DOI:10.1016/S0012-821X(03)00292-9
- Diz, P.; Jorissen, F. J.; Reichart, G. J.; Poulain, C.; Dehairs, F.; Leorri, E. & Paulet, M. 2009. Interpretation of benthic foraminiferal stable isotopes in subtidal estuarine environments. *Biogeosciences*, 6: 2549-2560.
- Duleba, W.; Coimbra, J.C.S.; Petri, S. & Barbosa, C.F. 2005. Foraminíferos, tecamebas e ostracodes recentes utilizados com bioindicadores em estudos ambientais brasileiros. In: SOUZA, C.R.G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.S. & OLIVEIRA, P.E. (eds.). *Quaternário do Brasil*, Hollos, p. 176-201.
- Duplessy, J.C.; Labeyrie, L. & Blanc, P.L. 1988. Norwegian Sea deep water variations over the last climatic cycle: paleo-oceanographical implications. In: WANNER, H. & SIEGENTHALER, U. (eds.). *Long and Short Term Variability of Climate*. Springer, p. 83-116.
- Eitel, B. 2007. Kulturentwicklung am Wüstenrand – Aridisierung als Anstoß für frühgeschichtliche Innovation und Migration. In: WAGNER, G.A. (ed.): Einführung in die Archäometrie. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 301-319 p.
- Emiliani, C. 1955. Pleistocene temperatures. *Journal of Geology*, 63: 538-578.
- Fatela, F. & Taborda, R. 2002. Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. *Marine Micropaleontology*, 45(2): 169-174. DOI:10.1016/S03778398(02)00021-X
- Figueiredo Jr., A.G.; Toledo, M.B.; Cordeiro, R.C.; Godoy, J.M.O.; Silva, F.T.; Vasconcelos, S.C. & Santos, R.A. 2014. Linked variations in sediment accumulation rates and sea-level in Guanabara Bay, Brazil, over the last 6000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 415: 83-90. DOI:10.1016/j.palaeo.2014.08.027
- Fontanier, C.; Jorissen, F.J.; Chaillou, G.; Anschutz, P. & Griveaud, C. 2005. Live foraminiferal faunas from a 2800 m deep lower canyon station from the Bay of Biscay: faunal response to focusing of refractory organic matter. *Deep-Sea Research I* 52, 1189-1227.
- Freitas, A.S.; Barreto, C.F.; Barth, O.M.; Bastos, A.C. & Baptista-Neto, J.A. 2015. Registro palinológico do Holoceno tardio em sedimentos estuarinos do Piraquê-Açu, Espírito Santo, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências (IGEO)*, 38(1): 107-115.
- Freitas, A.S.; Barreto, C.F.; Barth, O.M.; Bastos, A.C. & Baptista-Neto, J.A. 2016. Late Holocene palynological Record and landscape change from the Piraquê-Açu and Piraquê-Mirim estuarine system, Espírito Santo, Brazil. *Journal of Sedimentary Environments*, 1(2): 171-183.
- Gibbs, H.K.; Ruesch, A.S.; Achard, F.; Clayton, M.K.; Holmgren, P.; Ramankutty, N. & Foley, J.A. 2010. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107: 16732-16737.
- Grossmann, E.L. 1984. Carbon isotopic fractionation in live benthic foraminifera — comparison with inorganic precipitate studies. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 1505-1512.
- Grove, J.M. 2004. *Little Ice Ages: Ancient and Modern*. Routledge, London (2 volumes).
- Hayward, B.W.; Cedhagen, T.; Kaminski, M. & Gross, O. 2018. World Foraminifera database. Disponível em: <http://www.marinespecies.org/foraminifera.
- Laut, L.L.M. & Barbosa, C.F. 1999. Recent mangrove zonation from the Jaboatão River Estuary, Recife, PE. In: CUSHMAN FOUNDATION RESEARCH SYMPOSIUM: QUATERNARY MICROPALaeONTOLOGY, ECOLOGICAL STUDIES AND PALEOENVIRONMENTAL APPLICATIONS ABEQUA, Porto Seguro, 1999. Resumos expandidos, Porto Seguro, CD ROM: viiabequa\_cc011.pdf.
- Laut, L.L.M.; Silva, F.S.; Bonetti, C.; Figueiredo Jr.; A.G. & Crapez, M.A.C. 2007. Foraminíferos e atividade bacteriana aplicados no diagnóstico ambiental do estuário do rio Itacorubí, Florianópolis, SC. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(3): 565-578.
- Laut, L.L.M.; Ferreira, D.E.S.; Santos, V.F.; Figueiredo Jr, A.G.; Carvalho, M.A. & Silveira, O.F.M. 2010. Foraminifera, thecamoebians and palynomorphs as hydrodynamic indicators in Araguari Estuary, Amazon Coast, Amapá State - Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências (IGEO)*, 33: 52-65.
- Laut, L.L.M.; Silva F.S.; Figueiredo Jr, A.G. & Laut, V.M. 2011. Assembleias de foraminíferos e tecamebas associadas a análise sedimentológica e microbiológica no delta do rio Paraíba do Sul, Rio de Janeiro, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 38(3): 251-267.
- Laut, L.L.M.; Silva, F.S.; Martins, V.; Rodrigues, M.A.C.; Mendonça, J.O.; Clemente, I.M.M.M.; Laut, V.M. & Mentzigen, L.G. 2012. Foraminíferos do Complexo Sepetiba/Guaratiba. In: RODRIGUES, M.A.C.; PEREIRA, S.D. & SANTOS, S.B. (eds). *Baía de Sepetiba: Estado da Arte*. Corbã, p. 115-150.
- Laut, L.L.M.; Rodrigues, M.A.C.; Silva, F.S.; Martins, V.; Carvalhal-Gomes, S.B.V.; Fontana, L.F.; Souza, R.C.C.L. & Juliace, A.C.A. 2013. Foraminíferos como indicadores paleoclimáticos do Quaternário nas bacias marginais brasileiras. In: CARVALHO, I.S.; GARCIA,

- M.J.; LANA, C.C. & STROHSCHOEN JR., O. (eds.). *Paleontologia: Cenários da Vida – Paleoclimas*. Interciência, p. 525-550.
- Laut, L.L.M.; Cabral, I.A.; Rodrigues, M.A.C.; Silva, F.S.; Martins, V.; Boski, T.; Gomes, A.I.; Dias, J.M.A.; Fontana, L.F.; Laut, V.M. & Mendonça-Filho, J.G. 2015. Compartimentos Ambientais do Estuário do Rio Arade, Sul de Portugal, com Base na Distribuição e Ecologia de Foraminíferos. *Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ)*, 37(2): 60-74. DOI: 10.11137/2014\_2\_60\_74.
- Laut, L.L.M.; Clemente, I.M.M.M.; Belart, P.; Martins, M.V.A.; Frontalini, F.; Laut, V.M.; Gomes, A.; Boski, T.; Lorini, M.L.; Fortes, R.R. & Rodrigues, M.A.C. 2016a. Multiproxies (benthic foraminifera, ostracods and biopolymers) approach applied to identify the environmental partitioning of the Guadiana River Estuary (Iberian Peninsula). *Journal of Sedimentary Environments*, 1(2): 184-201. doi: 10.12957/jse.2016.22534.
- Laut, L.L.M.; Martins, M.V.A.; Frontalini, F.; Belart, P.; Santos, V.F.; Lorini, M.L.; Fortes, R.R.; Silva, F.S.; Souza-Vieira, S. & Souza Filho, P.W. 2016b. Biotic (foraminifera and thecamoebians) and abiotic parameters as proxies for identification of the environmental heterogeneity in Caeté River Estuary, Amazon Coast, Brazil. *Journal of Sedimentary Environments*, 1: 1-16. DOI: 10.12957/jse.2016.21264.
- Laut, L.L.M.; Martins, V.; Silva F.S.; Crapez, M.A.C.; Fontana, L.F.; Carvalhal-Gomes, S.B.V. & Souza R.C.C.L. 2016c. Foraminifera, thecamoebians, and bacterial activity in polluted intertropical and subtropical Brazilian Estuarine Systems. *Journal of Coastal Research*, 32(1): 56-69. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-14-00042.1.
- Loeblich Jr., A.R. & Tappan, H. 1988. *Foraminiferal Genera and Their Classification*. New York, Van Nostrand Reinhold Company, 2031 p.
- Loureiro, K. 2006. A instalação da empresa Aracruz Celulose S/A e a moderna ocupação das terras indígenas Tupiniquim e Gurani Mbya. *Revista Ágora*, 3: 1-32.
- Lovelock, J. 2006. *Gaia: cura para um planeta doente*. São Paulo, Cultrix, 192 p.
- Mackensen, A.; Rudolph, M. & Kuhn, G. 2001. Late Pleistocene deep-water circulation in the subantarctic eastern Atlantic. *Global and Planetary Change*, 30: 197-229.
- Magris, R.A. & Fernandes, L.L. 2005. Levantamento preliminar das larvas de Porcellanidae (Decapoda, Anomura) do sistema estuarino dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim, Aracruz, Espírito Santo. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 9(1): 49-54.
- Martin, L.; Suguio, K.; Flexor, J.M. & Arcanjo, J.D. 1996. Coastal Quaternary formations of the Southern part of state of Espírito Santo (Brazil). *Academia Brasileira de Ciências*, 68: 389-404.
- Martins, V.; Ferreira da Silva, E.; Sequeira, C.; Rocha, F. & Duarte, A.C. 2010. Evaluation of the ecological effects of heavy metals on the assemblages of benthic foraminifera of the canals of Aveiro (Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87: 293-304. DOI: 10.1016/j.ecss.2010.01.011.
- Martins, M.V.A.; Frontalini, F.; Tramonte, K.M.; Figueira, R.C.L.; Miranda, P.; Sequeira, C.; Fernández-Fernández, S.; Dias, J.A.; Yamashita, C.; Laut, L.M.; Silva, F.S.; Rodrigues, M.A.C.; Bernardes, C.; Nagai, R.; Sousa, S.M.; Mahiques, M.; Rubio, B.; Bernabeu, A.; Rey, D. & Rocha, F. 2013. Assessment of the health quality of Ria de Aveiro (Portugal): heavy metals and benthic foraminifera. *Marine Pollution Bulletin*, 70: 18-33. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.02.003.
- Martins, M.V.A.; Frontalini, F.; Rodrigues, M.A.C.; Dias, J.A.; Laut, L.L.M.; Silva, F.S.; Clemente, I.M.M.M.; Reno, R.; Moreno, J.; Sousa, S.; Zaaboub, N.; El Bour, M. & Rocha, F. 2014. Foraminiferal Biotopes and their Distribution Control in Ria de Aveiro (Portugal): a multiproxy approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186: 8875-8897. DOI: 10.1007/s10661-014-4052-7.
- Martins, V.A.; Laut, L.L.M.; Silva, F.S.; Miranda, P.; Mendonça Filho, J.G.; Fernández-Fernández, S.; Sousa, S.S.; Rodrigues, M.A.C.; Rodrigues, A.R.; Yamashita, C.; Faria, E.O.; Oliveira, R.R. & Nagai, R.H. 2015b. Associações de foraminíferos em resposta a variações ambientais da Laguna de Aveiro – Portugal. *Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ)*, 38: 56-69. DOI:10.11137/2015\_2\_56\_69.
- Martins, V.A.; Silva, F.; Lazaro, L.M.L.; Frontalini, F.; Clemente, I.M.; Miranda, P.; Figueira, R.; Sousa, S.H.M. & Dias, J.M.A. 2015a. Response of benthic foraminifera to organic matter quantity and quality and bioavailable concentrations of metals in Aveiro Lagoon (Portugal). *PLoS ONE*, 10(2): e0118077. DOI:10.1371/journal.pone.0118077.
- Martins, M.V.A.; Laut, L.L.M.; Frontalini, F.; Sequeira, C.; Rodrigues, R.; Fonseca, M.C.M.; Bergamashi, S.; Pereira Egberto, Delavy F.P., Figueiredo Jr., A.G.; Miranda, P.; Terroso, D.; Pena, A.L.; Laut, V.M.; Figueira, R. & Rocha, F. 2016. Controlling factors on the abundance, diversity and size of living benthic foraminifera in the ne sector of Guanabara Bay (Brazil). *Journal of Sedimentary Environments*, 1(4): 401-418. DOI: 10.12957/jse.2016.26872.



- Martinson, D.G.; Pisias, N.G.; Hays, J.D.; Imbrie, J.; Moore Jr., T.C. & Shackleton, N.J. 1987. Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research*, 27: 1–29.
- Matthews, J.A. & Briffa, K.R. 2005. The ‘little ice age’: Re-evaluation of an evolving concept. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 87: 17–36. Doi:10.1111/j.0435-3676.2005.00242.x.
- McCorkle, D.C.; Emerson, S.R. & Quay, P.D. 1985. Stable carbon isotopes in marine porewaters. *Earth and Planetary Science Letters*, 74: 13–26.
- Muñoz, F.R.; Montero, M.L.G.R. & González, J.A.M. 1995. Distribución y ecología de los foraminíferos y ostracodos actuales del estuário mesomareal del Río Guadiana (SO España). *Geobios*, 29: 513–528.
- Murray, J.W. 1991. *Ecology and palaeoecology of benthic foraminifera*. London, Longman Scientific and Technical, 397 pp.
- Nagar, C. 1985. *O Estado do Espírito Santo e a imigração italiana*. Vitória, Arquivo Público do Estadual. 70 pp.
- Nicolaidis, D.D. 2008. *Ostracodes de águas profundas do Pleistoceno/Holoceno da Bacia de Campos: isótopos estáveis de oxigênio vs. mudanças faunísticas*. Programa de Pós-graduação de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 88 p.
- Novello, V.F.; Cruz, F.W.; Karmann, I.; Burns, S.J.; Striškis, N.M.; Vuille, M.; Cheng, H.; Edwards, R.L.; Santos, R.V.; Frigo, E. & Barreto, E.A.S. 2012. Multidecadal climate variability in Brazil’s Nordeste during the last 3000 years based on speleothem isotope records. *Geophysical Research Letters*, 39: L23706. DOI: 10.1029/2012GL053936.
- Pinto, A.F.S.; Martins, M.V.A.; Rodrigues, M.A.C.; Nogueira, L.; Laut, L.L.M. & Pereira, E. 2016. Late Holocene evolution of the Northeast intertidal region of Sepetiba Bay, Rio de Janeiro (Brazil). *Journal of Sedimentary Environments*, 1(1): 113–144. DOI: 10.12957/jse.2016.21924.
- Raposo, D.; Laut, V.; Clemente, I.; Martins, V.; Frontalini, F.; Silva, F., Lorini, M.L.; Fortes, R. & Laut, L. 2016. Recent benthic foraminifera from the Itaipu Lagoon, Rio de Janeiro (southeastern Brazil). *Check List*, 12(5): 1–14. DOI: 10.15560/12.5.1959.
- Raposo, D.; Clemente, I.; Figueiredo, M.; Vilar, A.; Lorini, M. L.; Frontalini, F.; Martins, V.; Belart, P.; Fontana, L.; Habib, R. & Laut, L. 2018. Benthic foraminiferal and organic matter compounds as proxies of environmental quality in a tropical coastal lagoon: The Itaipu lagoon (Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, 129: 114–125. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.02.018.
- Ruiz, F.; González-Regalado, M.L.; Pendón, J.G.; Abad, M.; Ollás, M. & Muñoz, J.M. 2005. Correlation between foraminifera and sedimentary environments in recent estuaries of Southwestern Spain: Applications to Holocene reconstructions. *Quaternary International*, 140–141: 21–36. DOI: 10.1016/j.quaint.2005.05.002.
- Saint-Hilaire, A. 1974. *Viagem ao Espírito Santo e Rio Doce*. São Paulo, Editora Itatiaia. 121 pp.
- Schönwiese, C. 1995. *Klimaänderungen. Daten, Analysen, Prognosen*. Springer, Berlin, Heidelberg, 244 p
- Schröder, C.J.; Scott, D.B. & Medioli, F.S. 1987. Can smaller benthic foraminifera be ignored in paleoenvironmental analyses?. *Journal of Foraminiferal Research*, 4: 101–110.
- Scott, D.B. & Medioli, F.S. 1980. Quantitative studies of marsh foraminiferal distributions in Nova Scotia: implications for sea level studies: *Cushman Foundation for Foraminiferal Research. Special Publication*, 17:17–58.
- Semensatto, Jr., D.L. & Dias-Britto, D. 2004. Análise ambiental de uma área parálica no delta do Rio São Francisco, Segipe-Brasil, com base na sinecologia de foraminíferos e tecamebas (Protista). *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7 (1):53–66.
- Semensatto Jr., D.L. & Dias-Britto, D. 2006. Foraminifera and thecamoebians from São Francisco River Delta, NE Brazil: Environmental applications. *Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ)*, 29(1): 438–439.
- Shackleton, N.J. & Opdyke, N.D. 1973. Oxygen isotope and paleomagnetism stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238: oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 105 and 106 year scale. *Quaternary Research*, 3: 39–55.
- Shackleton, N.J. 1977. <sup>13</sup>C in *Uvigerina*. Tropical rainforest history and the equatorial Pacific carbonate dissolution cycles. In: ANDERSON, N. & MAHLAHOFF, A. (eds.) *Fate of Fossil Fuel CO<sub>2</sub> in the Oceans*. Plenum, p. 401–427.
- Silva, A.E.D.; Menandro, P.S.; Quaresma, V.S. & Bastos, A.C. 2010. Distribuição sedimentar do estuário do Piraquê-Açu, Aracruz - ES. In: III SEMINÁRIO DE GEOQUÍMICA AMBIENTAL, Niterói, Rio de Janeiro, 1 p.
- Silva, F.N.P. 2014. *Dinâmica de um canal estuarino fracamente estratificado*. Vitória – ES. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Naturais, Dissertação de Mestrado, 82 p.
- Souza, V.M.; Laut, L.L.M.; Silva, F.S.; Figueiredo Jr., A.G.; Vi-

- tal, H. & Frazão, E. 2010. Benthic foraminifera and bacterial activity as a Proxy for environmental characterization on Potengi Estuary, Rio Grande do Norte, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ)*, 33 (1): 20-34.
- Stríkis, N.M. & Novello, V.F. 2014. Evolução Hidrológica do Brasil durante o Pleistoceno Superior e Holoceno. In: CARVALHO, I.S.; GARCIA, M.J.; LANA, C.C. & STROHSCHOEN JR. O. (eds.). *Paleontologia: Cenários de vida - Paleoclimas*. 1ed. Interciência, v. 5, p. 343-351.
- Stuiver, M. & Reimer, P.J. 1993. Extended 14C data base and revised CALIB 3.0 14C age calibration program. *Radiocarbon*, 35(1): 215-230.
- Urey, H.C. 1947. The thermodynamic properties of isotopic substances. *Journal of Chemical Society*, 69: 562-581.
- Waelbroeck, C.; Labeyrie, L.; Michel, E.; Duplessy, J.C.; McManus, J.F.; Lambeck, K.; Balbon, E. & Labracherie, M. 2002. Sea-level and deep-water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic record. *Quaternary Science Reviews*, 21: 295-305.
- Zahn, R.; Winn, K. & Sarnthein, M. 1986. Benthic foraminiferal  $\delta^{13}C$  and accumulation rates of organic carbon: *Uvigerina peregrina* group and *Cibicides wuellerstorfi*. *Paleoceanography*, 1: 27-42.