



**Influência de Variações Ambientais e da Dinâmica Sedimentar na Distribuição de Foraminíferos no Estuário do Rio Potengi (RN, Brasil)**  
Influence of Environmental Variations and Sedimentary Dynamics in the Distribution of Foraminifera in the Estuary of The Potengi River (RN, Brazil)

Cristiane Leão Cordeiro de Farias<sup>1</sup>;  
Patrícia Pinheiro Beck Eichler<sup>1, 2</sup>; Helenice Vital<sup>1</sup> & Moab Praxedes Gomes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG),  
Campus universitário, Lagoa Nova, 59072-970, Natal, RN, Brasil

<sup>2</sup> Universidade do Sul de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA),  
Cidade Universitária, Av. Pedra Branca, 25, Palhoça, SC, 88137-270, Brasil

E-mails: crislc83@yahoo.com.br; patriciaeichler@gmail.com; helenice@geologia.ufrn.br; gomesmp@geologia.ufrn.br

Recebido em: 16/04/2019 Aprovado em: 15/07/2019

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2019\\_3\\_112\\_128](http://dx.doi.org/10.11137/2019_3_112_128)

## Resumo

Este trabalho consiste na análise da distribuição espacial de foraminíferos como bioindicadores de *stress* ambiental e poluição em sedimentos superficiais do estuário Rio Potengi e plataforma adjacente. Foram coletadas 42 amostras nos anos de 2011 e 2012 e aplicadas análises estatísticas univariadas e multivariadas (diversidade, dominância, equitatividade, PCA, *CLUSTER* e *BIOENV*) sobre uma matriz de dados bióticos (foraminíferos bentônicos) e abióticos (profundidade, salinidade, temperatura, granulometria, matéria orgânica, CaCO<sub>3</sub>). O estuário é dominado por foraminíferos calcários hialinos (*Ammonia tepida*, *Hanzawaia boueana*) associados às frações arenosas finas, enquanto a plataforma interna é dominada por espécies porcelanáceas (*Quinqueloculina lamarckiana*, *Q. miletti*) e aglutinantes (*Caronia exilis*, *Textularia earlandi*), associadas à granulometria grossa. A presença de organismos mixohalinos (*Caronia exilis* e *Trochammina* spp.) na plataforma indicam contribuição estuarina na composição de sedimentos da plataforma e no transporte de efluentes de esgotos. A granulometria, CaCO<sub>3</sub>, matéria orgânica, aportes fluviais e marinhos são os principais fatores que influenciam na distribuição dos foraminíferos. Espécies oportunistas (*Ammonia tepida*, *Quinqueloculina patagonica*) associadas às granulometria fina e elevados teores de matéria orgânica revelaram locais com poluição crítica dos sedimentos no interior do estuário, onde mantiveram-se constantes nos anos de 2011 e 2012.

**Palavras chave:** estuário; plataforma interna; foraminíferos bentônicos; acidez; granulometria

## Abstract

This work consists of the analysis of the spatial distribution of foraminifera as bioindicators of environmental stress and pollution in the surface sediments of the Potengi River estuary and adjacent shelf. Forty-two samples were collected in the years 2011 and 2012, and univariate and multivariate statistical analyzes (diversity, dominance, evenness, PCA, *CLUSTER* and *BIOENV*) were applied to a matrix of biotic (benthic foraminifera) and abiotic data (depth, salinity, temperature, grain size, organic matter, CaCO<sub>3</sub>). The estuary is dominated by hyaline foraminifera (*Ammonia tepida*, *Hanzawaia boueana*) associated with fine sandy fractions, while the inner shelf is dominated by porcelanaceous (*Quinqueloculina lamarckiana*, *Q. miletti*) and agglutinant species (*Caronia exilis*, *Textularia earlandi*), associated with coarser grains. The presence of these agglutinated mixohaline organisms (*Caronia exilis* and *Trochammina* spp.) is indicative of estuarine contribution in sediment composition of the shelf and also of sewage effluents deposition. Grain size, CaCO<sub>3</sub>, organic matter, river and marine contributions are interpreted as controlling the distribution of foraminifera. Opportunistic species (*Ammonia tepida*, *Quinqueloculina patagonica*) associated with fine grains and high levels of organic matter revealed critical acidity-like sites inside the estuary, which were maintained from 2011 to 2012.

**Keywords:** estuary; inner shelf; benthic foraminifera; acidity; grain size



## 1 Introdução

Foraminíferos têm sido largamente utilizados como bioindicadores ecológicos em ambientes estuarinos, pois sua dinâmica populacional responde bem à contaminação e à poluição, variações de salinidade, matéria orgânica, pH, eutrofização da água e metais pesados (Gray *et al.*, 1990; Murray, 2006; Eichler *et al.*, 2012). A diminuição na diversidade de foraminíferos, associado à dominância de espécies oportunistas em locais ecologicamente estressados, com elevados teores de matéria orgânica e presença de foraminíferos com testas deformadas, é observado em diversos ambientes mixohalinos como nos estuários do Golfo de Izmir-Turquia (Bergin *et al.*, 2006), Baía de Venice-Itália (Coccioni *et al.*, 2009), Lagoa Rodrigo de Freitas-Brasil (Vilela *et al.*, 2014) e Baía de Bakar-Croácia (Popadić *et al.*, 2013). Como exemplo, o aumento da acidez dos sedimentos devido ao acidente de óleo na Baía de Guanabara no ano 2000 resultou na dissolução das carapaças de  $\text{CaCO}_3$  de várias espécies de foraminíferos (Laut *et al.*, 2009; Eichler *et al.* 2014). Além disso, nas regiões de mangue dessa baía, a dominância da espécie *Ammonia tepida* e a diminuição de *Ammotium salsum* nos sedimentos mais recentes evidenciaram aumento histórico da poluição (Vilela *et al.*, 2014).

Nas últimas décadas o estuário do Rio Potengi, nordeste do Brasil (Figura 1), tem sofrido forte impacto antropogênico, como dragagens (Cunha, 2004), enriquecimento de metais pesados e matéria orgânica nos sedimentos com níveis de bioacumulação preocupantes (Silva *et al.*, 2001), associados a efluentes de esgotos domésticos e indústrias (Souza *et al.*, 2010), atividade salineira e carcinicultura (Frazão, 2003; Ramos & Silva *et al.*, 2006), incluindo a presença de contaminantes hidrocarbonetos possivelmente oriundos de estação de tratamento nas proximidades, além de urbanização acelerada e desordenada nas margens do estuário (Carrascoza, 2011). Estudos sobre a toxicidade nos sedimentos do estuário revelaram um ambiente moderadamente a altamente poluído (Sindern *et al.*, 2007; Souza *et al.*, 2010), entretanto esses estudos são espacialmente limitados em representar a distribuição de zonas poluídas e os controles associados. Embora haja evidências de poluição no estuário do Rio Potengi, a abrangência de zonas impactadas não é conhecida em áreas próximas ao terminal de óleo, portos,

comunidades ribeirinhas e a desembocadura da Estação de Tratamento de Esgoto do Canal do Baldo (Figura 1).

O objetivo desse trabalho é analisar estatisticamente as espécies de foraminíferos bentônicos e as respostas destes aos fatores físicos da água e sedimentológicos, além de identificar as possíveis áreas afetadas por poluição e contaminação, fornecendo dados para avaliações de impactos ambientais.

### 1.1 Área de Estudo

A área de estudo situa-se na região metropolitana de Natal (RN) (Figura 1). O clima é tropical quente e úmido com precipitação anual irregular, caracterizada por estação seca no verão de setembro a janeiro, e chuvosa no inverno de março a agosto (Carrascoza, 2011). A média anual de temperatura é de 24° C, com extremos de variação de 21° e 30° C (Medeiros, 2009).

A vegetação predominante na área é a restinga, recobrando as dunas e a vegetação de mangue, ambas em avançado estado de degradação antrópica, devido a construção de tanques de carcinicultura, salinas e descartes de dragagens (Frazão, 2003; Carrascoza, 2011). As margens do estuário são colonizadas pelo manguezal, regulamente inundadas pelos ciclos das marés (Cunha, 2004). A região está sujeita ao regime de mesomaré semidiurno, apresentando máximo de marés de sizíguas de 2,8 m e marés de quadraturas de 0,85 m (Frazão, 2003).

O Rio Potengi tem cerca de 180 km de extensão e divide-se em três zonas: alto curso (entre a nascente, em Cerro Corá, e a cidade de Barcelona), médio curso (entre as cidades Barcelona e São Gonçalo do Amarante) e baixo curso, ao final do qual se une com o Rio Jundiá (entre São Gonçalo do Amarante até a foz), sendo esta última zona perene, estuarina e navegável (Pereira, 1999).

O Rio do Potengi recebe pequena contribuição hidrológica do Rio Doce, um riacho permanente proveniente da Lagoa de Extremoz, que deságua na Gamboa Manimbu, próximo à costa (Cunha, 2004). A região estuarina tem dois canais de maré principais chamados Gamboa Jaguaribe e Gamboa Manimbu (Figura 1). A vazão do estuário do Rio Potengi é claramente influenciada pela variação da pluviosidade, observando-se que a descarga média anual apresenta

## Influência de Variações Ambientais e da Dinâmica Sedimentar na Distribuição de Foraminíferos no Estuário do Rio Potengi (RN, Brasil)

Cristiane Leão Cordeiro de Farias; Patrícia Pinheiro Beck Eichler; Helenice Vital & Moab Praxedes Gomes

valores aproximados de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  nos períodos chuvosos e em torno de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  nos períodos de estiagem, em anos de precipitação normal (Frazão, 2003).

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Amostragem

As 42 amostras de sedimentos superficiais foram coletadas utilizando uma draga *Van Veen*, ao longo do canal estuarino em outubro de 2011 (amostras 1 a 18) e em janeiro de 2012 (amostras 19 a 42) (Figura 1).

De cada amostra coletada foi retirada uma fina camada superior e armazenada em frascos com o corante Rosa de Bengala ( $1 \text{ g}/1000 \text{ ml}$  de álcool), o qual evidencia os organismos que estavam vivos no momento da coleta, enquanto que o álcool tem

a função de impedir o ataque bacteriano (Schafer *et al.*, 1995; Eichler *et al.*, 2008; Souza *et al.*, 2010; Eichler *et al.*, 2014). Somente os organismos corados foram utilizados nas análises quantitativas apresentadas nesse estudo.

Para a medida de dados físicos da primeira amostragem foi utilizado o aparelho CTD da marca *Seabird* (Eichler *et al.*, 2008). Na segunda amostragem foram obtidos os dados de carbono orgânico ( $C_{\text{org}}$ ) medido em analisador elementar (EA) e  $C_{\text{org}}$  total, quando as amostras foram submetidas à análise elementar e isotópica no analisador elementar *Cos-tech Instruments Elemental Combustion System* acoplado ao detector de espectrometria de massas com razão isotópica *Thermo Scientific Delta V Advantage Isotope Ratio MS* (EAI-RMS) (Andrade *et al.*, 2012).

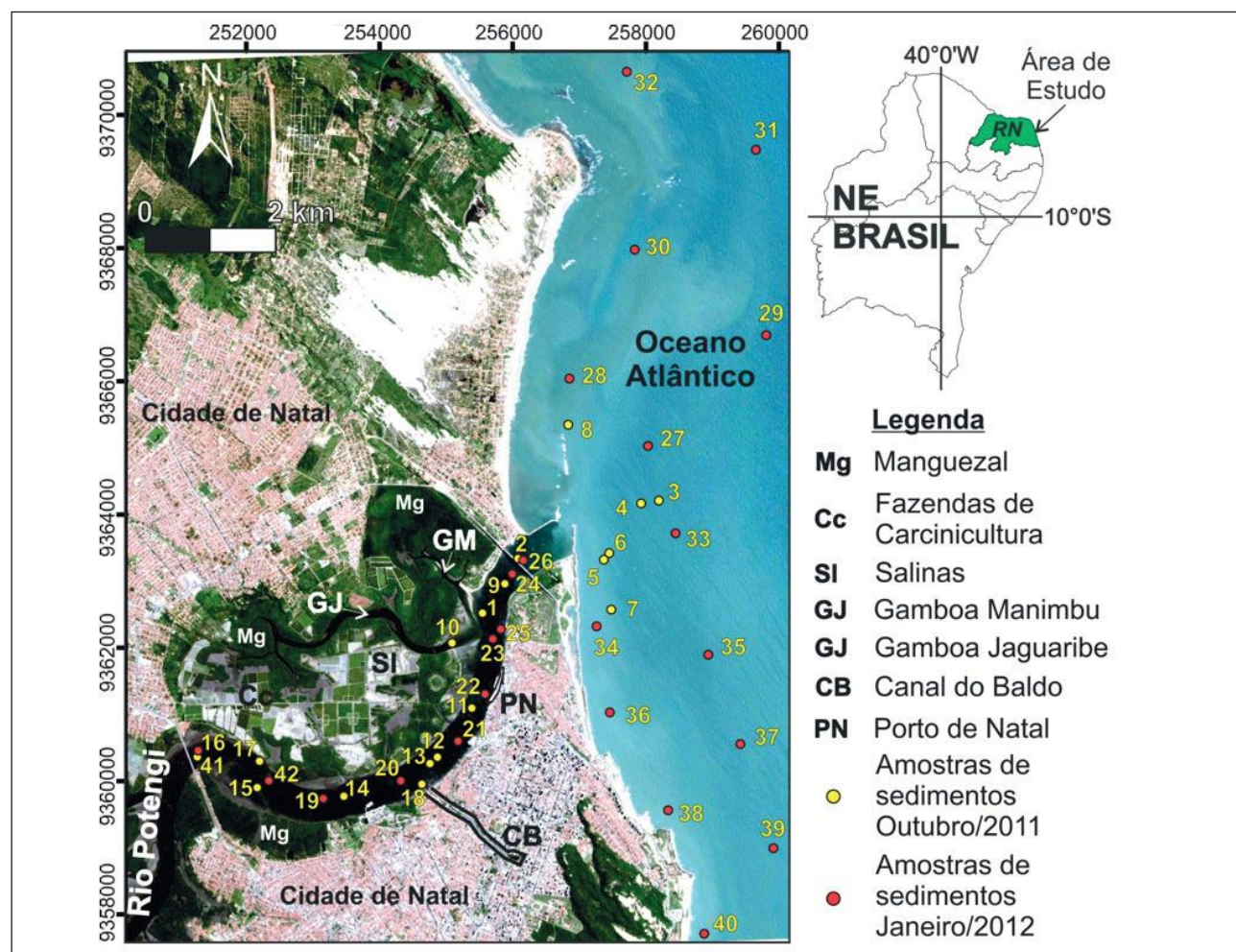


Figura 1 Mapa da área de estudo, com localização dos sítios amostrados em outubro de 2011 (círculos amarelos) e em janeiro de 2012 (círculos vermelhos).

### 3 Tratamento das Amostras

#### 3.1 Parâmetros Abióticos

Em laboratório, o material coletado foi lavado três vezes para a eliminação de sais e secas em placas aquecedoras sob a temperatura de 60° C. Posteriormente, o material foi quarteado para as análises de matéria orgânica (10g), granulometria (50g) e CaCO<sub>3</sub> (10g). O restante foi arquivado. Para a análise de CaCO<sub>3</sub>, as amostras foram tratadas com ácido clorídrico (HCl) diluído a 10% para eliminar o CaCO<sub>3</sub>; posteriormente foram lavadas e secas em placas aquecedoras a 60° C, sendo feita nova pesagem para mensurar a massa de carbonato perdida.

Para a análise granulométrica, eliminou-se a matéria orgânica das amostras utilizando peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 10%) diluído em água destilada (100 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para 900 ml de água destilada). Após o ataque, as amostras foram lavadas e posteriormente secas em placas aquecedoras a 60° C. Eliminada a matéria orgânica, fez-se a análise granulométrica através da sequência de sete peneiras e uma base colocadas no agitador de peneiras RO-TAP por 10 minutos na frequência de cinco vpm (voltas por minuto). Após o tempo estipulado, os sedimentos retidos nas peneiras foram retirados por escovas de cerdas grossas e agulhas de seringas e depositados separadamente em placas de metal enumeradas de acordo com a ordem das peneiras.

Para a análise de matéria orgânica, cada amostra foi depositada em cadinhos de porcelana e colocados na MUFLA modelo F2-DM Monofásico inicialmente a 300° C por 20 – 30 minutos e posteriormente a 600° C por 5 horas. Os cadinhos foram retirados com pinça e colocados na estufa em temperatura ambiente. Após este procedimento, fez-se nova pesagem das amostras para mensurar a massa de matéria orgânica perdida (Frazão, 2003; Eichler *et al.*, 2007; Souza *et al.*, 2010).

#### 3.2 Parâmetros Bióticos

Em laboratório, peneirou-se o sedimento em via úmida com peneiras sucessivas de 0,500 e 0,062 mm e posteriormente colocados em papel filtro, submetidos à secagem na estufa à 60° C. Os foraminíferos foram flotados em tricloroetileno (C<sub>2</sub>HCl<sub>3</sub>) e,

através do microscópio binocular, foram transferidos com pincel para lâminas especiais de fundo preto (triagem), identificando as espécies (Ruiz *et al.*, 2005; Eichler *et al.*, 2007; Laut *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2010; Eichler *et al.*, 2014).

Os mapas de contorno confeccionados no programa *Surfer 9* foram baseados nas tabelas de frequência relativa das espécies de foraminíferos presentes em ambas as amostragens com porcentagens significativas (*Ammonia* spp., *Quinqueloculina* spp., *Textularia* spp. e *Caronia exilis*).

#### 3.3 Análise Estatística

Foram realizadas análises univariadas (diversidade, dominância e equitatividade), que permitem analisar cada variável separadamente para uma ou mais amostras independentes, e multivariadas (Análise de componente principal ou “Principal Component Analysis” PCA; Análise de Agrupamento ou CLUSTER; “Bioenvironmental analysis” ou BIOENV), que abordam múltiplas variáveis dependentes e/ou independentes, estabelecendo ou não relações de causa/efeito entre os grupos (Reis, 1997), utilizando-se o programa *Primer 5* (outubro de 2011) e *Primer 6* (janeiro de 2012) da Universidade de Plymouth, descrito em Clarke (1993) e em Clarke e Warwick (1994). A tabela 1 apresenta os dados abióticos utilizados nas análises de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

Para as análises univariadas foram determinados os índices de diversidade (*H'*) e equitatividade

Análises Multivariadas	
Outubro de 2011	Janeiro de 2012
Granulometria	
Teor de CaCO <sub>3</sub>	Granulometria
Profundidade	Profundidade
Salinidade	Teor de CaCO <sub>3</sub>
Densidade	Matéria orgânica
Condutividade	

Tabela 1 Descrição dos dados abióticos utilizados nas análises multivariadas de outubro de 2011 e janeiro de 2012.

(*J'*) de *Shannon-Wiener* e dominância de *Simpson*, utilizados nos trabalhos de Eichler *et al.* (2007, 2008), Laut *et al.* (2009), Mahiques *et al.* (2009) e Souza *et al.* (2010).

Para as análises multivariadas de PCA foi utilizada a matriz de dados abióticos (Modo Q (Distância Euclidiana), e para o cluster e MDS, a matriz de similaridade foi construída usando-se o índice de Bray-Curtis com o número de espécies de foraminíferos logaritimizados. O dendrograma resultante da Análise de Agrupamento, foi obtido em Modo Q (entre estações) e os dados abióticos foram ordenados usando a correlação baseada na Análise de Componentes Principais e os dados biológicos foram ordenados usando-se o Escalonamento Multidimensional não-paramétrico (MDS) (Clarke, 1993). A análise de BIOENV (Spearman) identifica as variáveis ambientais mais importantes para a formação dos grupos faunísticos pela correlação de dados bióticos e abióticos e foram aplicados nos dados para observar a relação das espécies com os fatores ambientais (Léo, 2003).

## 4 Resultados

### 4.1 Análise Abiótica

Em outubro de 2011, a maior profundidade é 14,2m na estação 10, na foz da Gamboa Jaguaribe; e na estação 11, próxima ao mangue é 3,5 m (Figura 1; Tabela 2). Estas são profundidades absolutas, obtidas no momento da coleta, sem correção da variação das marés. A temperatura apresentou variação entre 27,8° e 28,3° C (Tabela 2). As salinidades mais altas são encontradas na estação 9, próxima à foz, e nas proximidades do Porto de Natal (estações 10 – 13) com valores de 36,1 e 36,3 PSU; e as mais baixas, nas estações 16 e 17, com 35 PSU, situadas mais à montante.

A densidade da água variou entre 23,6 g/cm<sup>3</sup> (estação 5) e 22,3 g/cm<sup>3</sup> (estação 16). A condutividade da água apresentou maior valor nas estações 5 e 12, ambos com 58 mS/cm e o menor valor foi na estação 1 com 57 mS/cm, próximo à foz da Gamboa Jaguaribe. O teor de CaCO<sub>3</sub> mostrou-se variável ao longo do estuário, com maior teor de 7,5% na estação 17, e menor nas estações 2 (desembocadura), 10

(Gamboa Jaguaribe) e 18 (próximo ao Canal do Baldo) com 0,8% e teores próximos de 0% nas estações 3 – 5, 9 e 13.

Poucas regiões no interior do estuário apresentam porcentagem de cascalho, com máximo de 17,5% na estação 17 (Figura 2A). Na mesma região, a concentração máxima de areia muito grossa foi de 37% também na estação 17, e porcentagens acima de 10% foram observadas apenas nas regiões do canal estuarino à montante das Gamboas (Figura 2C). Areia grossa predomina no estuário com porcentagem média de 35%, exceto as amostras 3 e 15, que não apresentaram esta fração (Figura 2E).

Areia média apresentou máximo de 68,2% na estação 8 localizada na plataforma interna, mantendo porcentagens acima de 10% em todo o estuário (Figura 2G). A maior porcentagem de areia fina ocorreu no interior do estuário próximo aos manguezais, com valores acima de 30% nas estações 1, 13, 15 e 16 (Figura 2I). As demais estações possuem porcentagens inferiores a 7%. A areia muito fina ocorreu em baixas concentrações em todo o estuário, exceto nas regiões próximas às margens com mangues, como a amostra 15 com 19,3% (Figura 2L). Os valores de silte e argila não foram significantes na maioria das amostras, exceto na amostra 15 com 29,1%, coletada em margem do canal próxima ao mangue, ambiente semelhante à das amostras 1, 13 e 16, as quais apresentaram valores entre 5% e 10% (Figura 2N).

Em janeiro de 2012, as profundidade dos sítios de coleta variaram de 13,9 m, na estação 22, à 4,7 m, na estação 19 (Figura 2; Tabela 3). O teor de CaCO<sub>3</sub> alcançou 93% na estação 32, situada na plataforma interna norte, e a estação 36, situada na plataforma interna adjacente sul, apresentou o menor teor (1,7%). No estuário e plataforma os teores de carbonato mantiveram-se abaixo de 0,5%. O carbono orgânico total apresentou valores percentuais abaixo de 0,3% (Tabela 3), sendo que a amostra 32 foi coletada na plataforma e amostra 20 foi coletada nas proximidades das descargas de efluentes do Canal do Baldo (Figuras 1 e 2). A matéria orgânica apresentou teores relativamente mais elevados em ambiente de plataforma (amostras 25, 29 – 31, 35, 38 e 40) com teores entre 12% e 26,6% (Tabela 3).

**Influência de Variações Ambientais e da Dinâmica Sedimentar na  
Distribuição de Foraminíferos no Estuário do Rio Potengi (RN, Brasil)**

Cristiane Leão Cordeiro de Farias; Patrícia Pinheiro Beck Eichler; Helenice Vital & Moab Praxedes Gomes

Na foz do estuário, apenas a amostra 25 apresentou porcentagem elevada (28,9%), enquanto as demais amostras apresentaram valores inferiores a 10%.

Observou-se uma diminuição significativa das frações cascalho, areia muito grossa e areia grossa no interior do estuário em janeiro de 2012. Porcentagens máximas encontradas na fração cascalho foram de 13,2% na desembocadura do estuário (amostra 24), tendo as demais amostras um teor próximo de 0% (Figura 2B; Tabela 3). Areia muito grossa ocorreu com porcentagens abaixo de 10%, sendo que 15 amostras mostraram porcentagens próximas de 0%; no estuário, e apenas a amostra 24 obteve valor alto, com 53%, e duas amostras na plataforma com teores de 25,4% (amostra 29) e 52,1% (amostra 37) (Figura 2D).

A areia grossa no estuário manteve-se abaixo de 15%, exceto a amostra 24 com 27,8%. Na plataforma essa fração variou percentualmente entre 15% e 75%, tendo apenas a amostra 38 com valor inferior a 1% (Figura 2F). A areia média apresentou distribuição com maior variação de porcentagens nas

amostras com predomínio de porcentagens superiores a 15%, podendo chegar a 71% (amostra 33). No interior do estuário apenas três amostras (estações 23 – 25) estiveram abaixo de 7%, enquanto, na plataforma, as amostras 29 e 38 estiveram abaixo de 8% (Figura 2H).

A areia fina expressou maior aumento das porcentagens (30% a 72%) no interior do estuário, exceto a amostra 24, que se aproximou de 0% desta fração. Na plataforma, predominaram porcentagens entre 15% e 68%, com exceção das amostras 35 – 38, que alcançaram porcentagens abaixo de 10% (Figura 2J). A areia muito fina predominou no estuário e plataforma em concentrações inferiores a 5%; e as amostras 21, 23 e 25, próximas à Gamboa do Jaguaribe, tem porcentagens de areia muito fina (20% a 50%). Na plataforma, apenas a amostra 38 sobressai com 74,6% de areia muito fina (Figura 2M). As frações silte e argila apresentaram valores próximos de 0% na maioria das amostras, exceto em regiões próximas da Gamboa (amostra 25) e da linha de costa (amostra 38) (Figura 2O).

Estações	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (PSU)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Condutividade (mS/cm)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Cascalho (%)	Areia muito Grossa (%)	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Areia muito Fina (%)	Silte+Argila (%)
1	8,3	28,0	35,6	22,9	57,0	5,0	0,0	0,0	14,1	39,8	31,4	7,7	7,0
2	12,6	27,8	36,0	23,3	57,5	0,8	7,6	3,8	67,8	15,8	3,3	1,0	0,8
3*	13,3	27,8	36,3	23,5	57,8	-	-	-	-	-	-	-	-
4	10,8	27,8	36,3	23,5	57,9	0,0	0,4	0,0	46,6	44,0	5,7	2,0	1,3
5	13,7	27,8	36,4	23,6	58,0	0,0	7,4	16,5	58,1	13,4	3,2	1,0	0,5
6	12,2	27,8	36,1	23,3	57,6	3,3	2,6	0,0	43,9	42,8	7,1	2,1	1,5
7	11,4	27,9	36,2	23,4	57,8	1,6	4,9	0,0	47,0	38,6	6,3	1,9	1,3
8	5,6	27,9	36,2	23,4	57,9	2,5	0,0	0,0	23,4	68,2	4,6	2,4	1,4
9	9,1	27,9	36,3	23,4	57,9	0,0	0,0	0,0	44,6	45,0	6,7	2,2	1,6
10	14,2	27,9	36,2	23,4	57,9	0,8	0,0	0,0	24,1	50,7	18,6	3,7	3,0
11	3,5	28,1	36,1	23,2	57,9	0,8	0,2	19,1	59,7	15,4	3,7	1,2	0,9
12	6,9	27,9	36,3	23,4	58,0	1,7	6,6	14,7	61,6	12,6	2,4	1,0	0,9
13	6,5	27,9	36,1	23,3	57,8	0,0	0,0	0,0	11,9	41,8	33,1	7,0	6,2
14	4,4	28,2	35,5	22,7	57,2	1,6	11,3	14,6	41,3	25,4	4,0	1,8	1,7
15	4,9	28,3	35,2	22,5	56,8	5,8	0,0	0,0	0,1	12,3	39,4	19,3	29,1
16	9,6	28,3	35,0	22,3	56,6	4,1	0,0	0,0	16,3	40,1	26,8	7,9	9,0
17	7,5	28,2	35,0	22,4	56,5	7,5	17,5	37,0	24,8	13,6	2,4	1,0	3,7
18	8,9	28,0	35,9	23,1	57,5	0,8	7,1	20,7	38,8	26,1	4,1	1,3	1,9

Tabela 2 Parâmetros abióticos de outubro de 2011. (\*) A estação 3 apresenta pouco material sedimentológico, portanto sem dados suficientes para análise.

**Influência de Variações Ambientais e da Dinâmica Sedimentar na  
Distribuição de Foraminíferos no Estuário do Rio Potengi (RN, Brasil)**

Cristiane Leão Cordeiro de Farias; Patrícia Pinheiro Beck Eichler; Helenice Vital & Moab Praxedes Gomes

Estações	Profundidade (m)	CaCO <sub>3</sub> (%)	C <sub>org</sub> Total (%)	Matéria Orgânica (%)	Cascalho (%)	Areia muito Grossa (%)	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Areia muito Fina (%)	Silte + Argila (%)
19	4,7	9,8		2,6	0	1	4,7	61	32,7	0,5	0,1
20	5,6	6,6	0,2566	0,9	0	0,4	1,9	54,3	42	1,2	0,1
21	5,9	7,4		3,6	0,1	4,7	5,7	13	53,1	20,2	3,3
22	13,9	5,5	0,1	4,7	0	3,3	10,1	43,3	34,2	4,5	4,6
23	13	3,1		3	0	0,1	0,6	1,7	45,1	47,9	4,6
24	13,7	2,3		0,4	13,2	53	27,8	2,7	0,2	2,7	0,2
25	10,7	2,6		28,9	0	0	1,1	6,1	34,6	36,9	21,2
26	13	2,2		1,9	0	3,7	6,6	34	49	6	0,7
27	11	15,6		0,4	0,1	4,9	25,8	50,3	14,5	4,3	0,1
28	5,1	1,8		8,6	0	0,4	14,4	13,9	67,8	3,5	0
29	13	22,1		21,4	0,3	25,4	35,3	7,8	22,3	8,7	0,2
30	5	84,4	0	14,8	0	9,9	41,6	16,2	30,3	1,9	0,1
31	8	78,2	0,1	22,9	0	6,9	51,7	15,1	25,5	0,6	0
32	9	93	0,3	7,3	0	0,1	16,2	16,1	59,8	7,6	0,1
33	8	61,4		2,2	0	1,4	10,3	71,3	14,9	1,9	0,2
34	9	16,3		13,1	0	0,4	19,2	10	67,7	2	0,7
35	12,5	15,6		1,2	0	1,3	42,2	48,5	6,7	1,2	0,1
36	10	1,7		0,2	0	1,8	75,6	22,6	0	0	0
37	11	46		3,7	0,2	52,1	30,5	13,6	3,3	0,3	0
38	12	22,4		26,6	0	0,2	0,3	1,5	9,3	74,6	14,2
39	13,8	70,1	0,1	12	0	2	11,2	53,8	30,8	2	0,1
40	11	21,7		2,7	0	1	13,8	53,1	26,8	3,6	1,8
41	9	5,8		1,1	0	3,5	12,9	10,3	71,8	1,2	0,3
42	5,7	2,5		0,5	0	1,1	15,4	52,2	30,7	0,6	0,1

Tabela 3 Parâmetros abióticos de janeiro de 2012.

#### 4.2 Análise Biótica

A primeira amostragem apresentou 31 espécies, e de acordo com a Tabela 4, a frequência relativa de *Ammonia tepida* apresentou dominância de 80 – 92,6% próximo a fazendas de carcinicultura, proximidades do Canal do Baldo, e do Porto de Natal. Sua menor dominância foi de 19,4% na estação 8. A espécie *Caronia exilis* apresentou maior representatividade (7,84%) nas proximidades da Base Naval (estação 14). *Quinqueloculina lamarckiana* dominou a estação 8 com (58,1%), seguida pelas estações 4, 5 e 7, com diversidade entre 28,4 – 34,4%, diminuindo a frequência relativa na estação 11 com

1,4%. A espécie *Quinqueloculina miletti* apresentou 13,6% na estação 16, seguida pela estação 2 com 12,7%. Essa espécie oportunista apresentou 1,3% na estação 6. *Quinqueloculina patagonica* dominou com 22,7% na estação 6, e menor representatividade (1,4%) na estação 11. *Textularia earlandi* apareceu em 14,3% na estação 7, e em menor dominância na estação 1 (1,4%).

Na segunda amostragem observou-se aumento da diversidade de foraminíferos (40 espécies), que pode ser explicada pela inclusão da plataforma interna adjacente na área de estudo (Tabela 5). A espécie *Ammonia tepida* dominou na estação 41 com 91,4%,

**Influência de Variações Ambientais e da Dinâmica Sedimentar na  
Distribuição de Foraminíferos no Estuário do Rio Potengi (RN, Brasil)**

Cristiane Leão Cordeiro de Farias; Patrícia Pinheiro Beck Eichler; Helenice Vital & Moab Praxedes Gomes

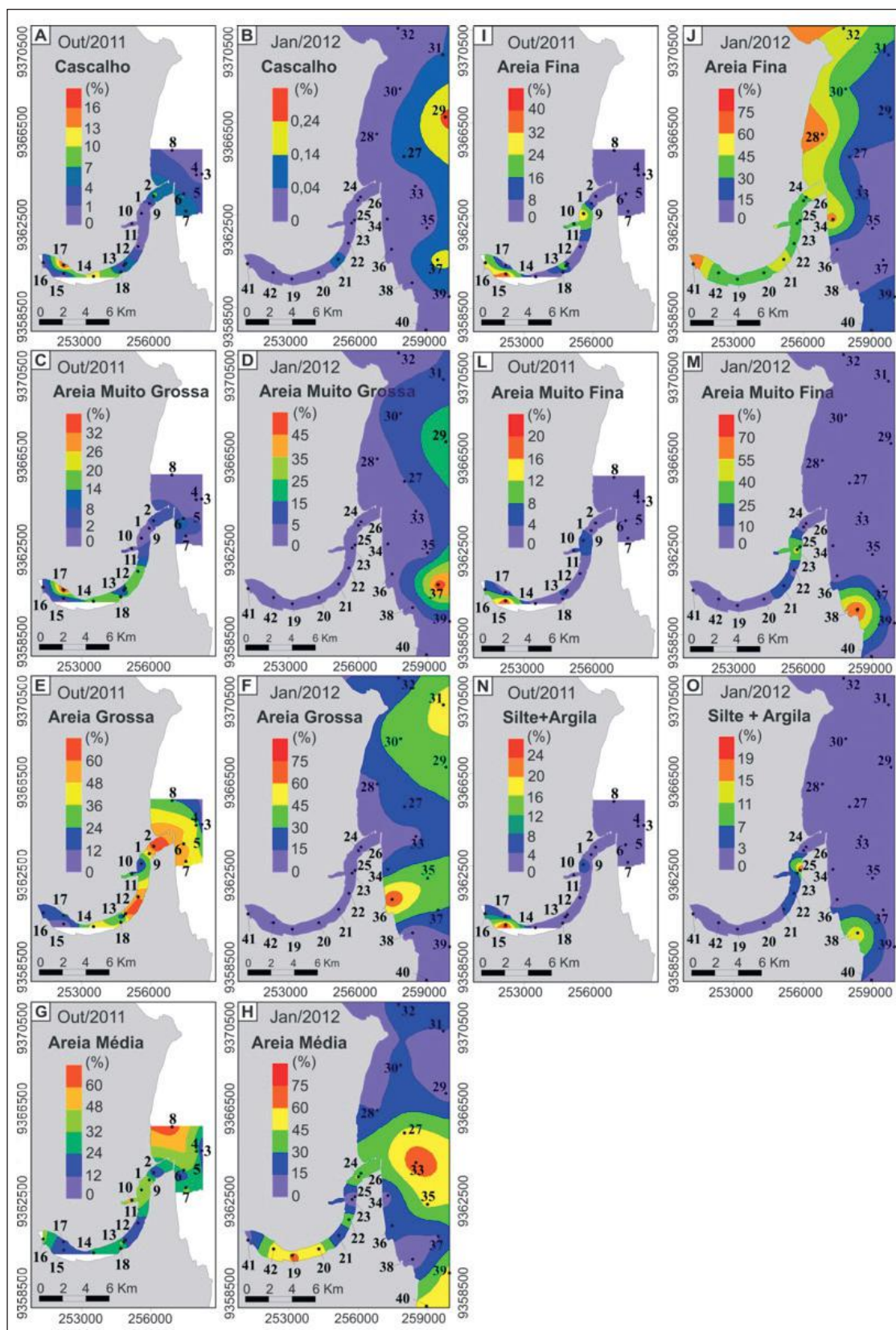


Figura 2  
Porcentagens de cascalho (A; B), areia muito grossa (C; D), areia grossa (E; F), areia média (G; H), areia fina (I; J), areia muito fina (L; M), silte e argila (N; O) na área de estudo em outubro de 2011 e janeiro de 2012.



**Influência de Variações Ambientais e da Dinâmica Sedimentar na  
Distribuição de Foraminíferos no Estuário do Rio Potengi (RN, Brasil)**

Cristiane Leão Cordeiro de Farias; Patrícia Pinheiro Beck Eichler; Helenice Vital & Moab Praxedes Gomes

seguida pelas estações 19 – 21 e 42 com valores entre 75,5 – 89,6%. *Caronia exilis* apresentou pequena representatividade (0,8% e 0,3% na estação 24 e 35). A espécie *Quinqueloculina lamarckiana* apresentou 40,8% e 33,3%, nas estações 37 e 32, e a estação 41 apresentou 1,1%.

*Quinqueloculina miletti* apresentou 6% na estação 28, seguida pela estação 1 com 5,4%. A *Q. patagonica* aparece em 22,5% nas estações 25 e 34, seguidas pela estação 33 com 21,9%. A estação 19 apresentou 0,9%. *Textularia gramen* ocorre em 23,2% na estação 35, e 0,3% na estação 23%.

*Textularia* spp. dominou na estação 7 (15%), diminuindo na foz ao longo do canal estuarino (1%), embora haja uma pequena associação na estação 10, situada na Gamboa Jaguaribe (3%), em outubro de 2011; enquanto que em janeiro de 2012 esse gênero apresentou 28% na plataforma interna (estações 35 e 37), diminuindo na plataforma adjacente (estações 33, 36, 38 e 40), desaparecendo no canal estuarino (Figura 3A; 3B).

Em ambas as amostragens, *Ammonia* spp. dominou na porção central do Rio Potengi (85% em outubro de 2011; 80% em janeiro de 2012), prin-

cipalmente nas áreas de carcinicultura (estação 15, outubro de 2011; estações 19 e 41, janeiro de 2012) e proximidades do Canal do Baldo (estações 12, 13 e 18, outubro de 2011; estações 20 e 21, janeiro de 2012), diminuindo a porcentagem na foz (estação 8, outubro de 2011 com 15%) e na plataforma interna sul (estações 35 e 37 com 10%) (Figura 3C; 3D).

A espécie *Caronia exilis* dominou na estação 14 (8%) em outubro de 2011, diminuindo sua diversidade em 1% nas estações 10 – 13, 15 e 18), desaparecendo nas estações 1 – 9 e 16; em janeiro de 2012 observou-se decréscimo significativo dessa espécie com 0,65% na estação 35, onde a menor frequência foi observada nas estações 24 e 26, ausentando-se nas estações 19 – 23, 25, 28 – 34 e 36 – 42 (Figura 3E; 3F).

*Quinqueloculina* spp. foi dominante em outubro de 2011 na estação 8 com 60%, diminuindo a diversidade em 10% nas estações 2, 10, 11, 14 e 16, desaparecendo nas estações 12, 13, 15, 17 e 18; em janeiro de 2012 esse gênero dominou entre 38 e 44% nas estações 34, 35, 37, 38 e 40, porém observou-se porcentagem significativa nas estações 23 e 25, diminuindo a diversidade em 8% na estação 20, desaparecendo nas estações 19, 41 e 42 (Figura 3G; 3H).

Espécies/Estações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>Ammonia tepida</i>	66,7	67,8	62,8	38,3	39,2	33,3	42,9	19,4	68,4	65,7	80,0	86,9	85,9	66,7	92,6	68,2	75,9	90,1
<i>Ammotium salsum</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	5,9	0,0	4,6	0,0	0,0
<i>Bulimina elongata</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Bolivina pulchella</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Bolivina striatula</i>	1,0	10,2	0,0	6,2	4,0	5,3	0,0	0,0	5,6	7,3	4,3	7,1	4,7	7,8	0,7	11,4	13,8	2,2
<i>Caronia exilis</i>	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	1,4	0,0	1,6	7,8	0,0	0,0	3,5	0,0
<i>Cornuspira involvens</i>	0,0	1,7	0,0	2,5	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1
<i>Cibicides</i> sp.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Cibicides variabilis</i>	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Discorbis bertheloti</i>	0,0	0,0	0,0	1,2	0,8	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Discorbis peruvianus</i>	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Discorbis</i> sp.	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Discorbis williamsoni</i>	0,0	0,0	9,8	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Elphidium discoideale</i>	1,4	3,4	0,0	1,2	3,2	1,3	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Elphidium galvestonense</i>	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Elphidium poeyanum</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0

**Influência de Variações Ambientais e da Dinâmica Sedimentar na  
Distribuição de Foraminíferos no Estuário do Rio Potengi (RN, Brasil)**

Cristiane Leão Cordeiro de Farias; Patrícia Pinheiro Beck Eichler; Helenice Vital & Moab Praxedes Gomes

<i>Fissurina laevigata</i>	0,5	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Hanzawaia boueana</i>	0,0	0,0	0,0	1,2	0,8	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Lagena striata</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Oolina globosa</i>	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Pyrgo peruviana</i>	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Pseudonion atlanticum</i>	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Quinqueloculina intricata</i>	0,5	0,0	2,0	0,0	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Quinqueloculina gregaria</i>	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Quinqueloculina lamarckiana</i>	9,5	1,7	13,7	28,4	34,4	13,3	28,6	58,1	13,2	7,3	1,4	2,4	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Quinqueloculina miletti</i>	0,0	12,7	9,8	0,0	3,2	1,3	0,0	3,2	0,0	4,4	10,0	0,0	4,7	3,9	6,8	13,6	0,0	0,0	0,0
<i>Quinqueloculina patagonica</i>	9,1	1,7	2,0	11,1	8,0	22,7	0,0	0,0	11,8	6,6	1,4	3,6	0,0	5,9	0,0	0,0	0,0	6,9	6,6
<i>Reophax sp.</i>	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Textularia agglutinans</i>	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Textularia earlandi</i>	1,4	0,0	6,2	5,6	0,0	14,3	9,7	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Textularia gramen</i>	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 4 Frequência relativa das espécies identificadas na amostragem de outubro de 2011.

Espécies\Estações	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
<i>Ammonia tepida</i>	89,6	75,5	81,4	50,4	65,2	64,6	47,1	65,9	41,1	42,2	37,4	51,4	32,5	34,5	45	46,8	17,1	46,6	13	45,7	39,3	48,2	91,4	81,6
<i>Amphicoryna scalaris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0,3	0	0
<i>Bolivina striatula</i>	1,4	12,2	2,9	7	1	5,6	6,3	6,7	4,4	6	1,8	1,4	1,2	0	3,6	5,4	3,4	2	2,7	3,8	0,7	2	4	10,5
<i>Buccella peruviana</i>	0,5	0	0	0	0	0	0	0	1,9	0	1,6	1,4	2,4	1,2	0,4	0,9	0	0,8	2,2	1	0,7	0	0	0
<i>Bulimina marginata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0,2	0,7	0	0	0,4	0	0,8	0	0	0,1	0	0,2	0	0
<i>Buliminella elegantissima</i>	0	0	0	0	0,8	0	0,8	0	1,9	0	0,2	0,7	0	0	0	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cassidulina subglobosa</i>	0	0	2	0,8	0,5	0	1,3	0	0,6	0,9	0,2	0,3	1,2	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0,2	0	2,6
<i>Cibicides fletcheri</i>	0	0	0	0	0	0	2,9	4,4	1,3	2,6	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	2	0	0	0
<i>Cibicides valvulanatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,6	0,7	2,4	0	0	0	1,5	0	0,5	0	0	0	0	0
<i>Cibicides variabilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0	0	0,6	0	0	1,2	0,4	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cornuspira involvens</i>	0	0	0	1,2	0	0,5	0	0	1,9	0	0,2	0,7	0	0	0	0,9	0	0	0	0,4	0	0	0	0
<i>Discorbis flordana</i>	0	0,7	0	0	0,5	0	0	0,7	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0,5	0,3	0,7	0,6	0	0
<i>Discorbis peruvianus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	1,2	0	1,6	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0
<i>Discorbis valvulatus</i>	0	0	0	1,2	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	1,2	0	0	3	0,4	2,7	0	0	0,9	0	0
<i>Discorbis williamsoni</i>	0	0,7	0	0	0	0,5	0	0,7	1,3	1,7	1,4	1	0	0	0	0	0,8	0,5	0,4	1,3	0	0	0	0
<i>Elphidium articulatum</i>	0	0	0	0	0	0	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	1,1	0,3	0,7	0	0	0
<i>Elphidium discoidale</i>	0,5	0,7	0	17,1	2,9	0,8	0	0	0	3,4	0,8	0,7	1,2	0	1,6	0,9	1,9	1,2	0	0,9	1,3	0,8	0,6	0
<i>Fissurina laevigata</i>	0	0	0	0	0,3	0	2,1	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fissurina lucida</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0,2	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Foraminífero bentônico jovem	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	1,1	0	0,7	0,6	0	0



**Influência de Variações Ambientais e da Dinâmica Sedimentar na  
Distribuição de Foraminíferos no Estuário do Rio Potengi (RN, Brasil)**

Cristiane Leão Cordeiro de Farias; Patrícia Pinheiro Beck Eichler; Helenice Vital & Moab Praxedes Gomes

## 5 Análises Estatísticas Abióticas e Bióticas

### 5.1 Análises de PCA

Foram utilizados os dois primeiros componentes principais “Principal Component” (PC), cuja soma de ambos eixos (PC1 e PC2) é responsável pela porcentagem de variabilidade entre as amostras, como nos trabalhos de Ruiz *et al.* (2005) e Eichler *et al.* (2007).

O resultado do PCA para outubro de 2011 mostra que a somatória dos eixos PC1 e PC2 é responsável por 74,6% da variabilidade dos parâmetros abióticos (PC1: 50,1; PC2: 24,6), (Tabela 6).

PC	Autovalor( $\lambda_i$ )	Variação (%)	Variação Cumulativa (%)
1	7,01	50,1	50,1
2	3,44	24,6	74,6
3	1,03	7,4	82,0
4	0,99	7,0	89,0
5	0,56	4,0	93,1

Tabela 6 Dados gerados pelo PCA para outubro de 2011, com destaque em negrito para a variação cumulativa encontrada na somatória de PC1 e PC2.

Os componentes principais (PC1 e PC2) determinaram a formação de quatro grupos distintos, cujos valores positivos e negativos dos eixos X (PC1) e Y (PC2) correspondem à Tabela 7.

Variáveis	PC1	PC2
Profundidade	0,177	- 0,104
Temperatura	- 0,320	0,171
Salinidade	0,337	- 0,198
Densidade	0,340	- 0,198
Condutividade	0,322	- 0,196
CaCO <sub>3</sub> (%)	- 0,301	0,165
Cascalho (%)	0,003	0,490
Areia muito grossa (%)	- 0,004	0,491
Areia grossa (%)	0,237	0,197
Areia média (%)	0,026	- 0,278
Areia fina (%)	- 0,280	- 0,296
Areia muito fina (%)	- 0,319	- 0,246
Silte (%)	- 0,329	- 0,158
Argila (%)	- 0,314	- 0,216

Tabela 7 Valores do PC1 e PC2 para os parâmetros abióticos usados no PCA (outubro de 2011).

Em janeiro de 2012 o resultado do PCA mostra que a somatória dos eixos PC1 e PC2 é responsável por 53,7% da variabilidade dos parâmetros abióticos (PC1: 29,7; PC2: 24,0), (Tabela 8).

PC	Autovalor ( $\lambda_i$ )	Variação (%)	Variação Cumulativa (%)
1	2,67	29,7	29,7
2	2,16	24,0	53,7
3	1,33	14,7	68,4
4	1	11,1	79,6
5	0,763	8,5	88,0

Tabela 8 Dados gerados pelo PCA para janeiro de 2012, com destaque em negrito para a variação cumulativa encontrada na somatória de PC1 e PC2.

Os componentes principais (PC1 e PC2) determinaram a formação de quatro grupos distintos, cujos valores positivos e negativos dos eixos x (PC1) e y (PC2) correspondem à Tabela 9.

Variáveis	PC1	PC2
Profundidade	- 0,020	- 0,358
CaCO <sub>3</sub> (%)	0,259	0,012
Cascalho (%)	0,360	- 0,04
Areia muito grossa (%)	0,401	- 0,388
Areia grossa (%)	0,431	- 0,055
Areia média (%)	0,130	0,415
Areia fina (%)	- 0,269	0,275
Areia muito fina (%)	- 0,425	- 0,415
Silte + Argila (%)	- 0,430	- 0,368

Tabela 9 Valores do PC1 e PC2 para os parâmetros abióticos usados no PCA (janeiro de 2012).

A diminuição da porcentagem de variação de 74,6% para 53,7% nas amostras da segunda coleta evidencia a falta de dados abióticos como temperatura, salinidade, densidade e condutividade, que foram considerados na análise de outubro de 2011.

A análise de PCA para os dados abióticos em função das estações para outubro de 2011 (Figura 4A) determinou a formação de quatro grupos, com base no mapa da Figura 1. O grupo P1 é influenciado pela temperatura, CaCO<sub>3</sub> e areia muito grossa, pois a estação 17 é fortemente influenciada pela distribuição de CaCO<sub>3</sub> e de areia muito grossa, e a estação 14

**Influência de Variações Ambientais e da Dinâmica Sedimentar na  
Distribuição de Foraminíferos no Estuário do Rio Potengi (RN, Brasil)**

Cristiane Leão Cordeiro de Farias; Patrícia Pinheiro Beck Eichler; Helenice Vital & Moab Praxedes Gomes

apresenta baixo  $\text{CaCO}_3$  e areia muito grossa; o grupo P2 é influenciado pelos parâmetros granulométricos de cascalho e areia grossa na foz (estações 2 e 5) e canal do rio (estações 11, 12 e 18); o grupo P3 é influenciado pela granulometria fina (areia fina, muito fina, silte e argila), representado pelas estações 1, 13, 15 e 16, localizados no canal principal do Rio Potengi, típicos de ambientes de baixa hidrodinâmica; e o grupo P4 é influenciado pelos parâmetros de profundidade, salinidade, condutividade, densidade e areia média, localizados na foz do Rio Potengi (estações 3, 4 e 6 – 9), que é tipicamente salina, possuindo granulometria média que é tipicamente hidrodinâmica, e em Gamboa Jaguaribe (estação 10).

A análise de PCA para os dados abióticos em função das estações para janeiro de 2012 (Figura 4B) determinou a formação de quatro grupos, com base no mapa da Figura 1. Os grupos P1 e P2 foram influenciados pela areia média, distribuída próximo à foz (estações 24 e 26), na plataforma interna (estações 28, 30, 33 – 35, 39 e 40) e canal do rio (estações 20 e 41); o grupo P3 é influenciado pela profundidade,  $\text{CaCO}_3$ , areia fina, areia muito fina, silte e argila, a estação 21, próxima ao Porto de Natal, é influenciada pela fração areia fina. As estações situadas próximo à Marina (estação 23) e na plataforma interna (estação 38) são influenciadas pela areia muito fina, silte e argila e profundidade. A estação

38 é influenciada pela areia fina, silte e argila, e a estação 22, situada próxima à refinaria, é influenciada pela areia média, areia fina, enquanto a estação 25, situada próximo à marina, é influenciada pela areia muito fina, silte e argila. O grupo P4 é influenciado pelos parâmetros  $\text{CaCO}_3$ , areia grossa, areia muito grossa e cascalho, e as estações 29 e 37, na plataforma interna, encontram-se mais afastadas no PCA. As estações 27, 31 e 36 na plataforma, são influenciadas pelas frações areia média, areia grossa, areia muito grossa e cascalho.

### 5.2 Análises de CLUSTER

A análise de CLUSTER para outubro de 2011 gerou dendograma com cinco grupos distintos (Figura 5A) e nível de similaridade de 45%. Analisando a disposição espacial das amostras (Figura 1), os dados abióticos e a tabela de frequência relativa das espécies desse agrupamento (Tabela 4), constatou-se a presença de dois ambientes distintos, em que um está relacionado à região da foz do Rio Potengi representado pelos grupos C1, C2 e C3; e outro ambiente corresponde à região mais interna do estuário, representado pelos grupos C4 e C5. A *Ammonia tepida* obteve mais altas frequências em todas as estações, exceto na estação 8.

O grupo C1, representado pelas estações 7 e 8 apresenta altas frequências de *Ammonia tepida*

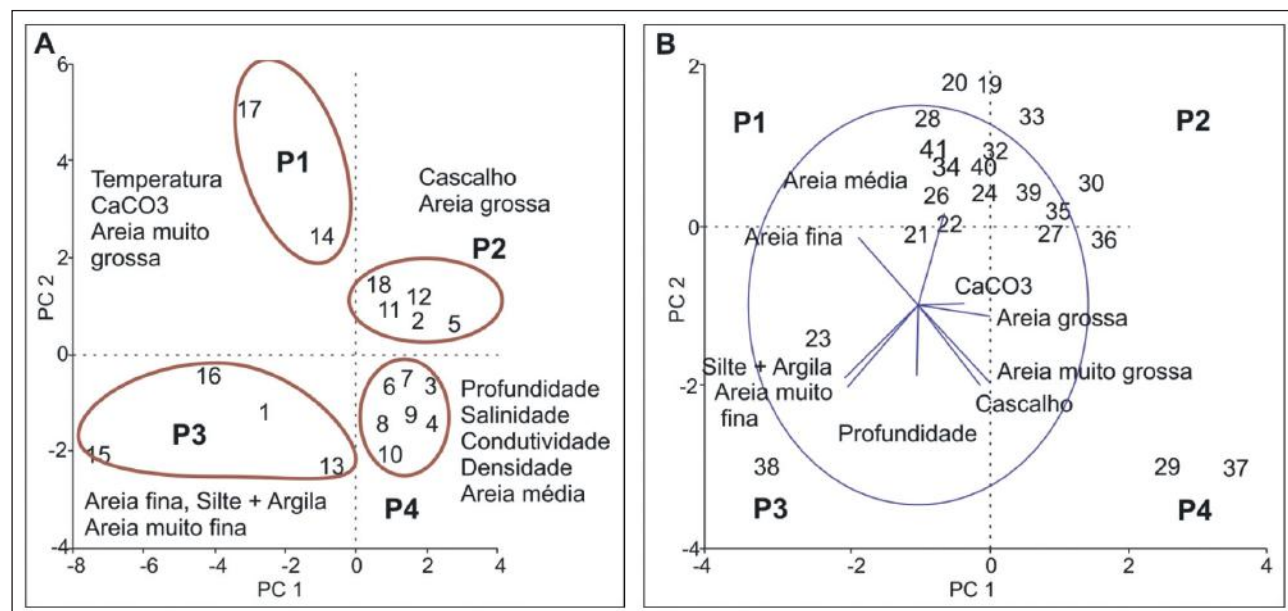


Figura 4 Análises de PCA de outubro de 2011 (A) e janeiro de 2012 (B) mostrando a disposição dos parâmetros abióticos.

**Influência de Variações Ambientais e da Dinâmica Sedimentar na  
Distribuição de Foraminíferos no Estuário do Rio Potengi (RN, Brasil)**

Cristiane Leão Cordeiro de Farias; Patrícia Pinheiro Beck Eichler; Helenice Vital & Moab Praxedes Gomes

e *Quinqueloculina lamarckiana* e baixas frequências de *Textularia earlandi*. O grupo C2 foi o grupo menos homogêneo com a presença de *Ammonia tepida* e *Quinqueloculina lamarckiana*. Os grupos C3 e C4 apresentaram baixa variedade de espécies, onde o grupo C3 teve presença de *Ammonia tepida*, *Quinqueloculina lamarckiana* e *Q. patagonica* e o grupo C4 apresentou altos números de *A. tepida*, *Bolivina striatula* e *Quinqueloculina patagonica*. O grupo C5 obteve altas frequências de *Ammonia tepida*, *Bolivina striatula*, *Quinqueloculina miletti* e *Caronia exilis*.

A análise de CLUSTER para janeiro de 2012 (Figura 5B) revelou a formação de três grupos distintos com similaridade em torno de 65%, sendo que as estações 29 – 40 pertencem ao grupo Plataforma Interna (C6); estações de 25 a 28 pertencem ao grupo Foz (C7) e as estações de 19 a 42 pertencem ao grupo Canal do Rio Potengi (C8).

Em C6 houve predomínio de espécies marinhas (*Hanzawaia boueana*, *Elphidium discoidale*, *Cibicides valvulatanus* e *Discorbis peruvianus*); em C7 houve elevada presença de *Cibicides fletcheri* e presença das espécies *Pseudononion atlanticum*, *Textularia earlandi* e *Trochammina inflata*; em C8 *Quinqueloculina patagonica* e *Cassidulina subglobosa* apresentam baixas frequências com presença de *Trochammina inflata*

e *T. squamata*. *Ammonia tepida* dominou todos os grupos, com maior frequência em C6; *Bolivina striatula* apresentou baixas frequências nas amostras, especialmente em C8; e *Quinqueloculina lamarckiana* dominou em todas as amostras, em maior frequência em C6 e menor frequência em C7.

### 5.3 Análises de BIOENV

*BIOENV* revelou que o parâmetro abiótico mais influente na distribuição dos foraminíferos para outubro de 2011 é a granulometria, sendo que em ordem de importância a areia muito grossa é a mais influente, seguida de areia fina, areia muito fina e silte; enquanto em janeiro de 2012, o  $\text{CaCO}_3$  é o fator mais importante na distribuição de foraminíferos, seguido pela porcentagem de carbono orgânico (Tabela 10).

Análise de <i>BIOENV</i>	
Outubro de 2011	Janeiro de 2012
8 Areia muito grossa (%)	2 $\text{CaCO}_3$ (%)
11 Areia fina (%)	3 $\text{C}_{\text{org}}$ (%)
12 Areia muito fina (%)	
13 Silte (%)	
Correlação: 0,156	Correlação: 0,223

Tabela 10 Dados obtidos pela análise de *BIOENV* para outubro de 2011 e janeiro de 2012, mostrando os principais fatores que se relacionam com a biota da região.

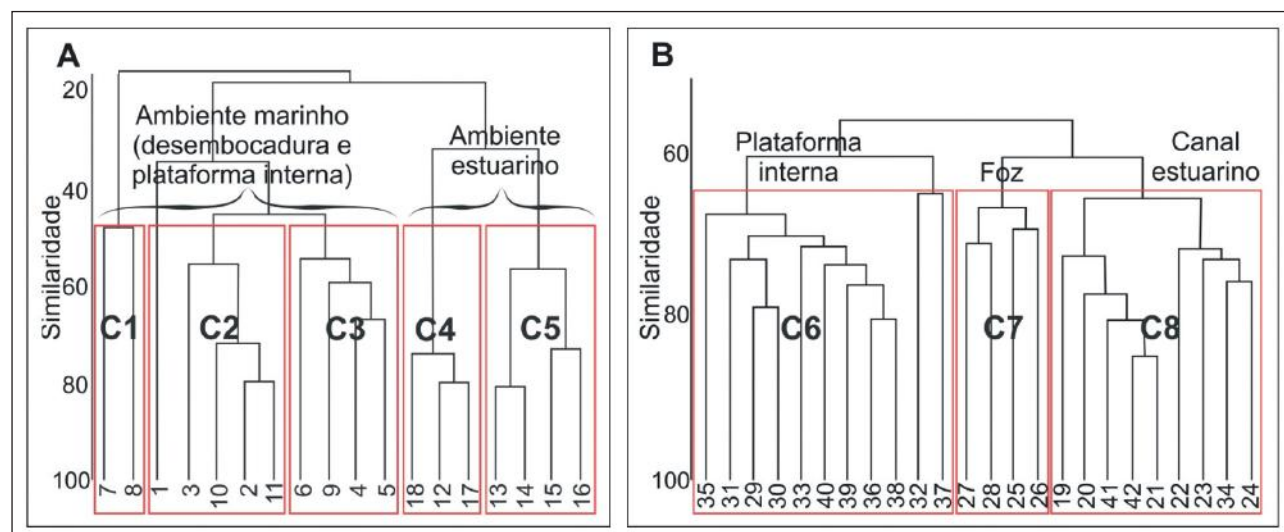


Figura 5 Dendrogramas formados pelo CLUSTER mostrando o agrupamento das estações conforme a similaridade das espécies de foraminíferos encontradas entre elas em outubro de 2011 (A) e janeiro de 2012 (B).

## 6 Discussão

Observou-se que o Rio Potengi é dominado por espécies calcárias hialinas, seguida por espécies porcelanáceas e a plataforma interna apresenta espécies porcelanáceas e aglutinantes. Essa transição também foi constatada nos trabalhos de Wang & Chappell (2001), Eichler *et al.* (2007), Eichler *et al.* (2008) e Laut *et al.* (2009), nos quais o surgimento e o desaparecimento de algumas espécies refletem características dos ambientes adjacentes, como observado na segunda amostragem, onde o gênero *Trochammina*, gênero tolerante à água doce, aparece somente em janeiro de 2012, indicando a exportação de material do rio para a plataforma interna.

Apesar da ausência dos dados de salinidade para janeiro de 2012, *Quinqueloculina lamarckiana* evidenciou forte influência marinha no canal do Rio Potengi até as proximidades do Porto de Natal (estação 22) e diminuiu drasticamente em direção à montante (estações 19, 41 e 42), enquanto o gênero *Trochammina* e a espécie *Caronia exilis* indicaram pluma estuarina na plataforma interna. Isso pode ser explicado devido às oscilações das correntes de marés, pois os valores da salinidade elevam-se na preamar e diminuem na fase da baixa-mar, como mostrado por Cunha (2004). O transporte que ocorre através da pluma estuarina foi evidenciado no trabalho de Eichler *et al.* (2008), pela espécie *Buccella peruviana*, proveniente de ambientes neríticos da província Argentina, que foi encontrada na costa sul brasileira; e ainda, Wang & Chappell (2001) encontraram espécies exóticas como *Quinqueloculina philippinensis* e *Q. ferrusaccii* ao sul do Rio Alligator, na Austrália, também transportadas por pluma estuarina.

Os foraminíferos estão diretamente associados à granulometria, onde espécies aglutinantes selecionam grãos finos e grossos para a construção de suas carapaças, e espécies porcelanáceas são geralmente relacionadas a granulometria mais grossa (Wang & Chappell, 2001; Ruiz *et al.*, 2005; Eichler *et al.*, 2007; Mahiques *et al.*, 2009). A fração areia média a muito grossa sugere constante retrabalhamento hidrodinâmico no canal estuarino e na plataforma interna, principalmente à montante (es-

tação 41), concordando com os fortes correntes de marés observadas por Frazão (2003), Cunha (2004) e Carrascoza (2011). A maioria das espécies calcárias podem tolerar ambientes mixohalinos, enquanto as espécies porcelanáceas e aglutinantes preferem ambientes hidrodinâmicos e marinhos, exceto os aglutinantes *Caronia exilis* e o gênero *Trochammina*, as quais são típicas de manguezais e ambientes de baixa hidrodinâmica (Ruiz *et al.*, 2005; Eichler *et al.*, 2007; Eichler *et al.*, 2008; Laut *et al.*, 2009).

Espécies oportunistas (*Ammonia tepida*, *Quinqueloculina patagonica* e *Q. miletti*) associadas à areia muito fina, silte e argila, carbono orgânico e matéria orgânica, possibilitaram identificar sedimentos poluídos, como nas adjacências do Canal do Baldo e nas fazendas de carcinicultura. Embora o estuário do Rio Potengi seja predominantemente arenoso, frações finas estão dispostas nas margens e em bancos isolados de sedimentos finos (areia muito fina, silte e argila), incluindo regiões próximas às faces de praia abrigadas por barreiras de *beachrocks* (estação 38), que podem reter matéria orgânica (Souza, 2010; Carrascoza, 2011), podendo assim, abrigar espécies oportunistas (Eichler *et al.*, 2007; Laut *et al.*, 2009), como observados na Figura 2 (estações 23 e 25, próximos à Marina).

A presença de  $\text{CaCO}_3$  associado ao carbono orgânico apontaram alta contribuição biológica nas amostragens de janeiro de 2012, e o mesmo foi observado nos trabalhos de Eichler *et al.* (2007), Eichler *et al.* (2008), e Souza *et al.* (2010), relacionado ao enriquecimento dos sedimentos por nutrientes. Estudos geoquímicos prévios também encontraram concentração elevada de metais pesados e maior acúmulo de matéria orgânica em sedimentos de granulometria fina (silte e argila) em diferentes estuários (Ramos & Silva *et al.*, 2006; Souza *et al.*, 2010; Carrascoza, 2011). O mesmo foi observado nos trabalhos de Laut *et al.* (2009) e Eichler *et al.* (2014), na Baía da Guanabara; e Eichler *et al.* (2007), no Canal Bertioga, que comprovaram a presença de espécies oportunistas em sedimentos finos com altos teores de matéria orgânica e carbono orgânico. Debenay *et al.* (2009) encontraram testas deformadas de foraminíferos e dominância de *Ammonia tepida* em ambientes com alta acumulação de matéria orgâ-

## Influência de Variações Ambientais e da Dinâmica Sedimentar na Distribuição de Foraminíferos no Estuário do Rio Potengi (RN, Brasil)

Cristiane Leão Cordeiro de Farias; Patrícia Pinheiro Beck Eichler; Helenice Vital & Moab Praxedes Gomes

nica e baixa oxigenação em fazendas de carcinicultura em Nova Caledônia.

### 7 Conclusões

Dados de salinidade de outubro de 2011 e a presença do gênero *Trochammina* e das espécies *Quinqueloculina lamarckiana* e *Caronia exilis* em janeiro de 2012 permitiram constatar dois ambientes distintos no Rio Potengi: um regido pela influência marinha, na região externa, e outro regido pela influência fluvial, na região interna. Porcentagens elevadas de granulometria fina (areia muito fina, silte e argila) e matéria orgânica, típicas de ambientes de baixa hidrodinâmica, associadas a espécies oportunistas (*Ammonia tepida*, *Quinqueloculina patagonica* e *Q. miletti*) revelaram locais de deposição de sedimentos poluídos ou contaminados, quais sejam, as fazendas de carcinicultura, o Canal do Baldo e nas praias. O gênero *Ammonia* dominou em áreas industriais e no Canal do Baldo, reforçando sua característica oportunista e indicadora de ambientes com baixa salinidade e altos teores de argila e carbono orgânico.

### 8 Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Rio Grande do Norte, aos departamentos de Geologia, Geografia, Química e ao Museu Câmara Cascudo por franquearem o uso do laboratório e materiais para a realização dos procedimentos laboratoriais. Esta pesquisa obteve apoio financeiro e/ou bolsas através dos projetos Apoio Técnico para Fortalecimento da Paleontologia Nacional (processo nº 552976/2011-3, MCTI/CNPq), AUX PQ (CNPq processo nº311413/2016-1), INCT AmbTropic (CAPES, CNPq, FAPESB), Ciências do Mar 207-10 (CAPES), PLAT N-NE (Rede 05 / FINEP / CTPE-TRO / Marinha do Brasil); PVE 151/2012 (CAPES), AUX PE 0242/2013 (Ciências sem Fronteiras).

### 9 Referências

Andrade, C.L.N.; Celino, J.J.; Garcia, K.S.; Barbosa, R.M. & Escobar, N.F.C. 2012. Biogeoquímica da matéria orgânica e metais em um manguezal na zona estuarina urba-

- na, Bahia, Brasil. *Geonomos*, 2(20): 34-43.
- Bergin, F.; Kucuksezgin, F.; Uluturhan, E.; Barut, I.F.; Meric, E.; Avsar, N. & Nazik, A. 2006. The response of benthic foraminifera and ostracoda to heavy metal pollution in Gulf of Izmir (Eastern Aegean Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66: 368-386.
- Carrascoza, L.S. 2011. *Hidrocarbonetos alifáticos em sedimentos de fundo do estuário do rio Potengi, Grande Natal (RN): Implicações ambientais*. Ciência e Engenharia do Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dissertação de mestrado, 107p.
- Clarke, K.R., 1993. Non parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Aust. J. Ecol.* 18: 117-143.
- Clarke, K.R. & Warwick, R.M. 1994. Changes in marine communities: an approach to statistical analyses and interpretation. Natural Environment Research Council, Plymouth.
- Coccioni, R.; Frontalini, F.; Marsili, A. & Mana. 2009. D. Benthic foraminifera and trace element distribution: a case-study from the heavily polluted lagoon of Venice (Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 59: 257-267.
- Cunha, E.M.S. 2004. *Evolución actual del litoral de Natal – RN (Brasil) y sus aplicaciones a la gestión integrada*. Ecologia, Universidade de Barcelona, Tese de doutorado, 384p.
- Debenay, J.P.; Marchand, C.; Molnar, N.; Aschenbroich, A. & Meziane, T. 2015. Foraminiferal assemblages as bioindicators to assess potential pollution in mangroves used as a natural biofilter for shrimp farm effluents (New Caledonia). *Marine Pollution Bulletin*, 93: 103-120.
- Eichler, P.P.B.; Eichler, B.B.; Miranda, L.B. & Rodrigues, A.R. 2007. Modern foraminiferal facies in a subtropical estuarine channel, Bertioga, São Paulo, Brazil. *Journal of Foraminiferal Research*, 37: 234-247.
- Eichler, P.P.B.; Sen Gupta, B.K.; Eichler, B.B.; Braga, E.S. & Campos, E.J. 2008. Benthic foraminiferal assemblages of the South Brazil: Relationship to water masses and nutrient distributions. *Continental Shelf Research*, 28: 1674 – 1686.
- Eichler, P.P.B.; Eichler, B.; Sen Gupta B. & Rodrigues, A.R. 2012. Foraminifera as indicators of marine pollutant contamination on the inner continental shelf of southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 64: 22-30.
- Eichler, P.P.B.; Eichler, B.B.; Pereira, E.R.M. & Vital, H. 2014. Evaluation of Environmental and ecological effects due to the accident in an oil pipe from Petrobrás in Guanabara Bay, RJ, Brazil. *Open Journal of Marine Science*, 4: 298 – 315.
- Frazão, E.P. 2003. *Caracterização hidrodinâmica e morfo – sedimentar do estuário Potengi e áreas adjacentes: subsídios para controle e recuperação ambiental no caso de derrames de hidrocarbonetos*. Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dissertação de mestrado, 145p.
- Gray, J.S.; Clarke, K.R. & Warwick, G.R.M. 1990. Detection of initial effects of pollution on marine benthos: an example from the Ekofisk and Eldfisk oilfields, North Sea. *Marine Ecology*, 66: 285-299.
- Jolliffe, I.T. 2002. *Principal Component Analysis*. 2ª Ed. Springer – Verlag. New York, Inc. 518 p.
- Laut, L.L.M.; Santos-Leal, F.O.; Silva, F.S. & Laut, V.M. 2009.



**Influência de Variações Ambientais e da Dinâmica Sedimentar na  
Distribuição de Foraminíferos no Estuário do Rio Potengi (RN, Brasil)**

Cristiane Leão Cordeiro de Farias; Patrícia Pinheiro Beck Eichler; Helenice Vital & Moab Praxedes Gomes

- Foraminíferos recentes da Baía de Guanabara, RJ. *In: IV CONGRESSO ARGENTINO DO CUATERNÁRIO Y GEOMORFOLOGIA, XII CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO & II REUNIÃO SOBRE EL CUATERNÁRIO DE AMÉRICA DEL SUR*, La Plata, 2009.
- Léo, F.B. 2003. *Estrutura e dinâmica da fauna bêntica em regiões da plataforma e talude superior do Atlântico Sudoeste*. Programa de Oceanografia Biológica, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 182p.
- Mahiques, M.M.; Burone, L.; Figueira, R.C.L.; Lavenère-Wanderley, A.A.O.; Capellari, B.; Rogacheski, C.E.; Barroso, C.P.; dos Santos, L.A.S., Cordero, L.M. & Cussioli, M.C. 2009. Anthropogenic influences in a lagoonal environment: a multiproxy approach at the Valo Grande mouth, Cananéia-Iguape system (SE Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography*, 57: 325-337.
- Medeiros, M.L. 2009. *Estudo multitemporal da dinâmica espacial do estuário Potengi/RN, utilizando como base os dados de sensoriamento remoto*. Programa de pós-graduação em geografia. Centro de ciências humanas, letras e artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dissertação de Mestrado, 107 p.
- Murray, J.W. 2006. *Ecology and applications of benthic foraminifera*. Cambridge University Press. Cambridge. 426 p.
- Pereira, L.B.F. 1999. *Mapeamento Geológico, Estratigrafia Cenozóica e Estruturação Neotectônica da Região Costeira entre Ponta Negra e Redinha e Estuário do Rio Potengi Natal-RN*. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Relatório de Graduação, 61 p.
- Popadić, A.; Vidović, J.; Čosović, V.; Medaković, D.; Dolenc, M.; & Felja, I. 2013. Impact evaluation of the industrial activities in the Bay of Bakar (Adriatic Sea, Croatia): Recent benthic foraminifera and heavy metals. *Marine Pollution Bulletin*, 76: 333-348.
- Ramos e Silva, C.A.; da Silva, A.P. & de Oliveira, S.R. 2006. Concentration, stock and transport rate of heavy metals in a tropical red mangrove, Natal, Brazil. *Marine Chemistry*, 99: 2-11.
- Reis, E. 1997. *Estatística multivariada aplicada*. Lisboa, 2ª Ed. Edições Sílabo.
- Ruiz, F.; González-Regalado, M.L.; Pendón, J.G.; Abad, M.; Ollas, M. & Muñoz, J.M. 2005. Correlation between foraminifera and sedimentary environments in recent estuaries of Southwestern Spain: Applications to Holocene reconstructions. *Quaternary International*, 140: 21-36.
- Schafer, C.T.; Winters, G.V.; Scott, D.B.; Pocklington, P.; Cole, F.E. & Honig, C. 1995. Survey of living foraminifera and polychaete populations at some Canadian aquaculture sites: potential for impact mapping and monitoring. *Journal of foraminiferal research*, 25 (3): 236-259.
- Silva, C.A.R.; Rainbow, P.S.; Smith, B.D. & Santo, Z.L. 2001. Biomonitoring of trace metal contamination in the Potengi Estuary, Natal (Brazil), using the oyster *Crassostrea rhizophorae*, a local food source. *Water Research*, 35: 4072-4078.
- Sindern, S.; Lima, R.F.S.; Schwarzbauer, J. & Petta, R.A. 2007. Anthropogenic heavy metal signatures for the fast growing urban area of Natal (NE-Brazil). *Environmental Geology*, 52: 731-737.
- Souza, V.M.; Laut, L.L.M.; da Silva, F.S.; Figueiredo JR, A.G.; Vital, H. & Frazão, E. 2010. Benthic foraminifera and bacterial activity as a proxy for environmental Characterization in Potengi Estuary, Rio Grande do Norte, *Anuário de Geociências*, 33 (1): 20-34.
- Vilela, C.G.; Figueira, B.O.; Macedo, M.C. & Neto, J.A.B. 2014. Late Holocene evolution and increasing pollution in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, SE Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 79: 175-187.
- Wang, P. & Chappell, J. 2001. Foraminifera as Holocene environmental indicators in the South Alligator River, Northern Australia. *Quaternary International*, 85: 47-62.