

Structure of meiofaunal communities in an urban tropical sandy beach in Pernambuco, Brazil

Estructura de las comunidades meiofaunales en una playa arenosa tropical urbana en Pernambuco, Brasil

Mariana F Cavalcanti^{1*}, Paula AS Chaddad², Érika Santos³, Betânia C Guilherme²

¹ Laboratório de Bentos, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, S/N, Recife, Pernambuco, 50670-901, Brazil.

² Laboratório de estudos meiofaunísticos e socioambientais, Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. Manoel de Medeiros, S/N, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, 52171-900, Brazil.

³ Laboratório de Evolução de Organismos Meiofaunais, Departamento de Biologia Animal, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Rua Carlos Gomes, 241, Cidade Universitária, S/N Campinas, São Paulo, 13083-970, Brazil.

* Corresponding author: E-mail: mariana.cavalcanti@ufpe.br

ABSTRACT. Sandy beaches are among the most extensive coastal ecosystems in Brazil and constitute important buffer zones between terrestrial and marine environments. The present study aimed to analyze the distribution and spatiotemporal variation of the meiofaunal community of an urban tropical sandy beach in northeastern Brazil with a particular focus on nematofauna. We set up 4 transects during 2 sampling periods to evaluate different beach zones. The meiofauna comprised 8 taxa, and the nematofauna consisted of 5 orders, 16 families, and 45 genera. The meiofaunal communities followed the qualitative-quantitative standards of those of other tropical sandy beaches in northeastern Brazil. The nematofaunal community showed variation in its composition and trophic structure between dry and rainy months, which were not significantly correlated with granulometric characteristics. This suggests that other variables may influence the structure of nematofaunal communities in Gaibu Beach. Further research on the biodiversity of the meiofaunal communities on sandy beaches in northeastern Brazil is urgently needed given the lack of available information of these environments and the extreme stress they are currently under.

Keywords: nematoda, interstitial community, beach sediment, meiofauna, eutrophication.

RESUMEN. Las playas arenosas son uno de los ecosistemas costeros más extensos de Brasil y constituyen importantes zonas de amortiguamiento entre el ambiente terrestre y el marino. El presente estudio tuvo como objetivo analizar la distribución y la variación espaciotemporal de la comunidad meiofaunal de una playa arenosa tropical urbana con particular énfasis en la nematofauna. Establecimos 4 transectos durante 2 periodos de muestreo para evaluar diferentes zonas de playa. La meiofauna estuvo compuesta por 8 taxones, y la nematofauna consistió en 5 órdenes, 16 familias y 45 géneros. Las comunidades meiofaunales siguieron los estándares cualitativos-cuantitativos de las de otras playas arenosas tropicales en el noreste de Brasil. La comunidad nematofaunal presentó variación en su composición y estructura trófica entre los meses secos y los lluviosos, los cuales no presentaron correlación significativa con las características granulométricas. Esto sugiere que otras variables pueden influir en la estructura de las comunidades nematofaunales en la playa de Gaibu. Se requieren urgentemente más estudios de investigación sobre la biodiversidad de las comunidades meiofaunales en las playas arenosas del noreste de Brasil debido a la falta de información disponible sobre estos ambientes y el estrés extremo bajo al que están sujetas.

Palabras clave: nematoda, comunidad intersticial, sedimento de playa, meiofauna, eutrofización.



INTRODUCTION

Sandy beaches are among the most extensive coastal environments in Brazil. In addition to their ecological importance, sandy beaches provide essential ecosystem services (Short and Klein 2016). Approximately 40% of the Brazilian coast is found in the northeastern region of the country. Narrow beaches, particularly those located between sandstone reefs that form strands parallel to the coast, are prevalent in the eastern region of Brazil, which comprises the area to the east of Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, and Alagoas (Zacagnini-Amaral et al. 2016). These reefs protect the coast from highly dynamic coastal energy and increase landscape heterogeneity, which supports high biodiversity. However, sandy beaches are vulnerable due to the impacts of urban, industrial, and port development and tourism, which impose stress on Brazilian beaches while providing essential sources of income for many cities (Schlacher et al. 2007).

Given the crucial roles meiofaunal communities play in marine benthic food chains and their ecological characteristics, the meiofauna present in sandy beaches can provide information that reflects the early signs of environmental change (Moens et al. 2013, Schratzberger and Ingels 2018). Nematodes dominate the meiofauna of most benthic habitats and can reach densities of several million individuals in a square meter (Moens and Vincx 1997). The ecological and biological characteristics of nematodes support their use as bioindicators of environmental change, particularly their tendency to remain present under stressful conditions and their permeable cuticle, which allows these organisms to respond to a wide range of environmental changes that may result in increases or decreases in their abundance (Ferris and Bongers 2006). Despite the high ecological and economic importance of sandy beaches in northeastern Brazil, there is scarce information available on the meiofaunal biodiversity of this region (Fabrício-Maria et al. 2016).

Gaibu Beach, which is located in the state of Pernambuco in northeastern Brazil, was contaminated by a crude oil spill in August 2019. This environmental disaster affected 4,334 km of coastline spanning 11 states in the northeastern and southeastern regions of the country. Indeed, this spill is considered to be one of the worst oil spill disasters in Brazilian history and is among the largest on record in the world (de Araújo et al. 2020, de Santana-Campelo et al. 2021).

The present study aimed to characterize the meiofauna of Gaibu Beach by analyzing the spatial distribution and temporal variation of Nematoda communities and their relationships with granulometry.

MATERIALS AND METHODS

The study area was located on Gaibu Beach (8°19' S and 34°57' W), which is found in the state of Pernambuco in northeastern Brazil (Fig. 1). According to the Köppen climate

INTRODUCCIÓN

Las playas arenosas se encuentran entre los ambientes costeros más extensos de Brasil. Además de su importancia ecológica, las playas arenosas brindan servicios ecosistémicos esenciales (Short y Klein 2016). Aproximadamente el 40% de la costa de Brasil se encuentra en la región noreste del país. Las playas estrechas, particularmente aquellas ubicadas entre arrecifes de arenisca que forman franjas paralelas a la costa, predominan en la región oriental de Brasil, que comprende el área al este de Río Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco y Alagoas (Zacagnini-Amaral et al. 2016). Estos arrecifes protegen la costa de la energía costera altamente dinámica y aumentan la heterogeneidad del paisaje, la cual sustenta una gran biodiversidad. Sin embargo, las playas arenosas son vulnerables debido a los impactos del desarrollo urbano, industrial y portuario y del turismo, los cuales ejercen presión sobre las playas de Brasil mientras proporcionan fuentes esenciales de ingresos para muchas ciudades (Schlacher et al. 2007).

Debido a las funciones cruciales que desempeñan las comunidades meiofaunales en las cadenas tróficas bentónicas en el mar y a sus características ecológicas, la meiofauna presente en las playas arenosas puede proporcionar información que refleja los primeros signos de cambio ambiental (Moens et al. 2013, Schratzberger e Ingels 2018). Los nematodos dominan la meiofauna de la mayoría de los hábitats bentónicos y pueden alcanzar densidades de varios millones de individuos por metro cuadrado (Moens y Vincx 1997). Las características ecológicas y biológicas de los nematodos justifican su uso como bioindicadores del cambio ambiental, en particular su tendencia a permanecer presentes en condiciones estresantes y su cutícula permeable, que les permite responder a una amplia gama de cambios ambientales que pueden resultar en que su abundancia aumente o disminuya (Ferris y Bongers 2006). A pesar de la alta importancia ecológica y económica de las playas arenosas en el noreste de Brasil, hay poca información disponible sobre la biodiversidad de la meiofauna de esta región (Fabrício-Maria et al. 2016).

La playa de Gaibu, ubicada en el estado de Pernambuco, en el noreste de Brasil, fue contaminada por un derrame de petróleo crudo en agosto de 2019. Este desastre ambiental afectó 4,334 km de costa en 11 estados en las regiones del noreste y sureste del país. De hecho, este derrame se considera uno de los peores desastres por derrame de petróleo en la historia de Brasil y se encuentra entre los más grandes registrados en el mundo (de Araújo et al. 2020, de Santana-Campelo et al. 2021).

El objetivo del presente estudio fue caracterizar la meiofauna de la playa de Gaibu por medio de análisis de la distribución espacial y variación temporal de las comunidades de Nematoda y sus relaciones con la granulometría.

classification, the regional climate can be categorized as Am (humid and tropical with autumn/winter rains; Manso et al. 2006). Gaibu Beach is characterized by large extensions of fringed sandstone reefs and rocky shores (Pereira et al. 2002).

We collected biosedimentological samples in September and December 2014. Above-average rainfall occurred in September 2014 (APAC 2014), although the highest rainfall levels were recorded in May and June 2014 (278.8 and 322.7 mm, respectively) despite being similar to or below those recorded over the last 30 years. Therefore, September was deemed to be “the rainy month” (217.3 mm) in this study, while December was deemed to be “the dry month” (62.0 mm).

We set up 4 fixed and equidistant transects (T1, T2, T3, and T4) that were 100 m apart and perpendicular to the waterline, considering the relevant characteristics of the beach to ensure high homogeneity (Fig. 2). Transect 1 was located in front of beach rocks, and T4 was located where sewage was discharged to the open sea.

Three replicas of each sedimentological sample were collected with a PVC sediment corer (diameter: 2.5 cm², length: 10 cm; made in the laboratory) without cutting the sediment into layers. The upper mesolittoral, lower mesolittoral, and infralittoral zones were sampled in each transect with the sediment corer during low tide. All samples were fixed in 4% formalin. In total, we collected 48 biosedimentological samples per sampling period (rainy and dry). The same procedure was used to collect granulometry samples, although no replicas were collected nor were these samples fixed.

Sediment grain size was determined from dry sediment samples using sieves with different mesh sizes (2, 1, 500, 250, 125, and 0.063 mm; Suguio 1973). We classified

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubicó en la playa de Gaibu (8°19' S y 34°57' W), la cual se encuentra en el estado de Pernambuco, en el noreste de Brasil (Fig. 1). De acuerdo con la clasificación climática de Koppen, el clima regional se puede categorizar como Am (húmedo y tropical con lluvias de otoño/invierno; Manso et al. 2006). La playa de Gaibu se caracteriza por grandes extensiones de arrecifes de arenisca periféricos y costas rocosas (Pereira et al. 2002).

Recolectamos muestras biosedimentológicas en septiembre y diciembre de 2014. En septiembre de 2014 ocurrieron precipitaciones superiores al promedio (APAC 2014), aunque los niveles de precipitación más altos se registraron en mayo y junio de 2014 (278.8 y 322.7 mm, respectivamente) a pesar de ser similares o inferiores a los registrada en los últimos 30 años. Por lo tanto, septiembre se consideró como “el mes lluvioso” (217.3 mm) en este estudio, mientras que diciembre se consideró como “el mes seco” (62.0 mm).

Establecimos 4 transectos fijos y equidistantes (T1, T2, T3 y T4) separados por 100 m y perpendiculares a la línea de flotación, considerando las características relevantes de la playa para garantizar una alta homogeneidad (Fig. 2). El transecto 1 se ubicó frente a las rocas de la playa y el T4 se ubicó donde se descargaban las aguas residuales al mar abierto.

Se recolectaron 3 réplicas de cada muestra sedimentológica con un nucleador de sedimentos de PVC (diámetro: 2.5 cm², largo: 10 cm; hecho en el laboratorio) sin cortar el sedimento en capas. Las zonas del mesolittoral superior, mesolittoral inferior e infralittoral se muestrearon en cada transecto con el nucleador de sedimentos durante la marea baja.

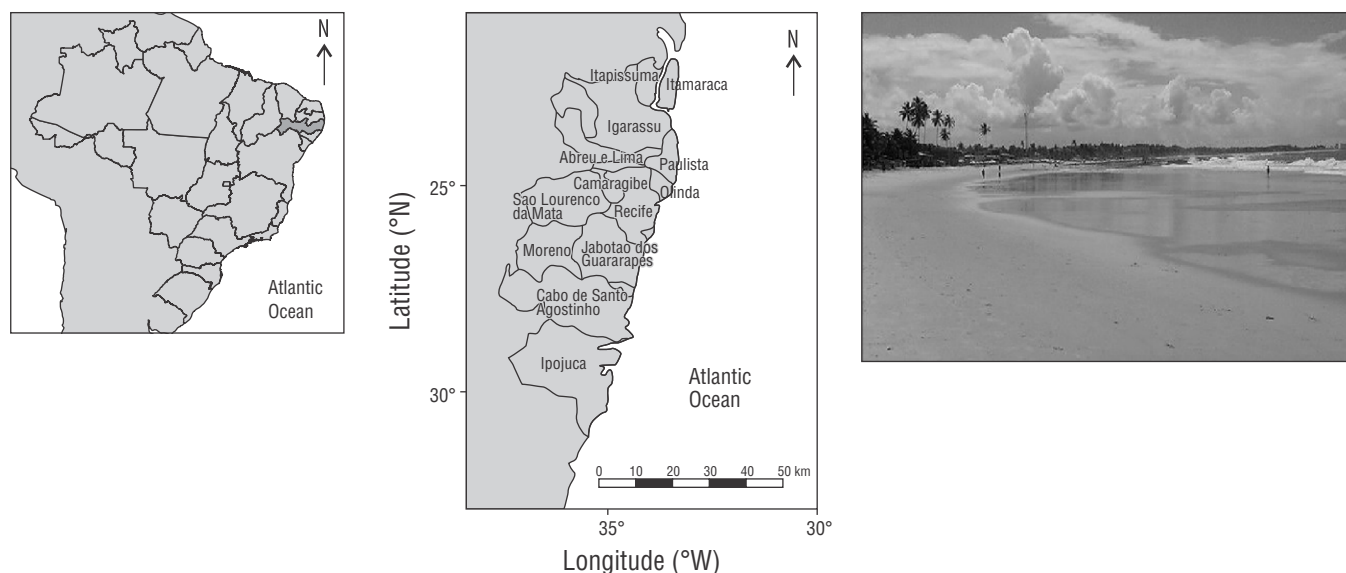


Figure 1. Study area: Gaibu Beach in the state of Pernambuco, Brazil (8°19' S, 34°57' W).

Figura 1. Área de estudio: playa de Gaibu en el estado de Pernambuco, Brasil (8°19' S, 34°57' W).

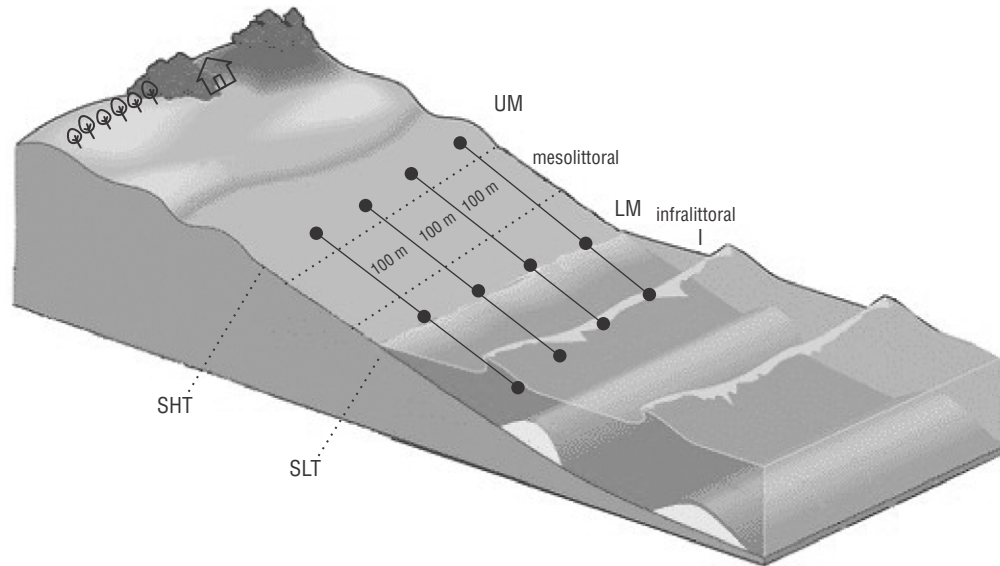


Figure 2. Sampling design: Transects 1–4. Beach zones: upper mesolittoral (UM), lower mesolittoral (LM), and infralittoral (I). SHT: spring high tide; SLT: spring low tide.

Figura 2. Diseño de muestreo: transectos 1-4. Zonas de playa: mesolittoral superior (UM), mesolittoral inferior (LM) e infralittoral (I). SHT: marea alta de primavera; SLT: marea baja de primavera. Figure 3. Multidimensional scaling (MDS) analysis of meiofaunal communities of Gaibu Beach per sampling period.

sediments according to the Wentworth scale (Buchanan et al. 1984). The textural parameters were calculated using the equations of Folk and Ward (1957). The data obtained were analyzed with the software SYSGRAN 3.0 (Camargo 2006).

In the laboratory, we extracted the meiofauna from the sediment samples by wet sieving and manual elutriation (Elmgren 1973). The supernatant was passed through 0.044 and 0.5-mm mesh sieves. The meiofauna was identified to the highest taxonomic level possible (order or class) and counted by group using a Dollfus plate and an Olympus stereomicroscope ($\times 10$ to $\times 400$). The first 50 nematodes were removed, placed on embryo dishes for diaphanization following the methods of De Grisse (1969), and mounted on permanent glass slides. We identified specimens to the genus level using the pictorial key of Warwick et al. (1998) and the Nemys digital database (Nemys 2022). The feeding type classification was based on those of Wieser (1953, 1960).

For each biosedimentological sample, we calculated faunal density (individuals per 10 cm^{-2}), richness (number of taxa present), and relative abundance (%). After the data were square-root transformed, we used a 2-factor permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA; sampling moment = month; beach zone = zone) to compare communities. We used the Bray–Curtis similarity coefficient of the meiofaunal communities to conduct a nonmetric multidimensional scaling (nMDS) analysis and used the same procedure for the nematode community (mean of the replicas). We used a similarity percentage (SIMPER) routine to evaluate the contribution of each taxon to community dissimilarity (>50%). We performed a BEST-BioEnv analysis using

Todas las muestras se fijaron en formalina al 4%. En total recolectamos 48 muestras biosedimentológicas por periodo de muestreo (lluvioso y seco). Se utilizó el mismo procedimiento para recolectar las muestras de granulometría, aunque no se recogieron réplicas de estas muestras y no se fijaron.

El tamaño de grano del sedimento se determinó a partir de las muestras de sedimento seco con tamices con diferentes tamaños de malla (2.000, 1.000, 500.000, 250.000, 125.000 y 0.063 mm; Suguio 1973). Clasificamos los sedimentos según la escala de Wentworth (Buchanan et al. 1984). Los parámetros texturales se calcularon utilizando las ecuaciones de Folk y Ward (1957). Los datos obtenidos fueron analizados con el software SYSGRAN 3.0 (Camargo 2006).

En el laboratorio, extrajimos la meiofauna de las muestras de sedimento mediante tamizado húmedo y elutriación manual (Elmgren 1973). El sobrenadante se pasó a través de tamices de malla de 0.044 y 0.500 mm. La meiofauna se identificó al nivel taxonómico más alto posible (orden o clase) y se contó por grupo utilizando una placa Dollfus y un estereomicroscopio Olympus ($\times 10$ a $\times 400$). Se extrajeron los primeros 50 nematodos, se colocaron en placas de embriones para su diafanización siguiendo los métodos de De Grisse (1969) y se montaron en portaobjetos de vidrio permanentes. Identificamos especímenes a nivel de género con la clave pictórica de Warwick et al. (1998) y la base de datos digital Nemys (Nemys 2022). El tipo de alimentación se clasificó de acuerdo con las clasificaciones de Wieser (1953, 1960).

Para cada muestra biosedimentológica, calculamos la densidad faunística (individuos por 10 cm^{-2}), la riqueza (número de taxones presentes) y la abundancia relativa (%).

the Spearman correlation coefficient to analyze the influence of granulometry on the meiofaunal distribution. All analyses were performed in Primer v.6.1. (Clarke and Gorley 2006).

RESULTS

In September and December 2014, the sediment varied from fine to medium sand in both the lower mesolittoral and infralittoral zones. The average grain size ranged from 0.18 to 0.83 mm, and there were no significant differences between months (PERMANOVA: $t = 1.44$; $P = 0.08$) or beach zones (PERMANOVA: $t = 1.03$; $P = 0.38$). The BEST-BioEnv analysis indicated no significant correlations between granulometric characteristics and the meiofaunal ($P = 0.55$) or nematofaunal ($P = 0.07$) communities. However, the BEST-BVSTEP analysis revealed significant correlations between the meiofaunal communities and granulometric parameters (Rho value = 0.958; $P = 0.01$), although the same was not observed for nematofaunal communities (Rho value = 0.455; $P = 0.94$).

No meiofauna was present in the samples collected during December (dry month) in the upper mesolittoral zone nor in half of the samples collected in September (rainy month). The PERMANOVA indicated that a significant difference (Global R = 0.31, $P = 0.007$) was present between the upper mesolittoral zone and the other 2 beach zones (lower mesolittoral and infralittoral), which formed a group. The lower mesolittoral and infralittoral zones were later reanalyzed excluding the upper mesolittoral zone.

After removing the upper mesolittoral samples, the PERMANOVA revealed a significant difference in meiofaunal communities between sampling periods (rainy and dry months; $t = 2.16$; $P = 0.002$). This result can be seen in the nMDS analysis (Fig. 3), although no significant difference between the communities of the lower mesolittoral and infralittoral zones was present ($t = 1.18$; $P = 0.178$). The PERMANOVA also indicated a significant difference in nematofaunal communities between the dry and rainy months ($t = 1.89$; $P = 0.001$; Fig. 4), although no significant difference between the communities of the lower mesolittoral and infralittoral beach zones was present ($t = 1.19$; $P = 0.204$).

The mean meiofaunal density ranged from 19.27 to 527.86 ind.·10 cm⁻² in the rainy month of September and 13.8 to 1,556.77 ind.·10 cm⁻² in the dry month of December. The meiofauna comprised 8 taxa and 6 phyla: Nematoda, Arthropoda (Copepoda and Ostracoda), Tardigrada, Annelida (Oligochaeta and Polychaeta), Platyhelminthes (Turbellaria), and Mollusca (Bivalvia). Community richness based on these taxa varied from 3 to 5 groups in September and 3 to 7 groups in December (Fig. 5). Nematoda was the dominant taxa in all samples (Fig. 6). The SIMPER analysis showed that Nematoda and Copepoda were responsible for over 60% of the dissimilarity between communities (Table 1).

The nematofaunal density of Gaibu Beach ranged between 1.04 to 443.49 ind.·10 cm⁻² in September and

Después de transformar los datos en raíces cuadradas, utilizamos un análisis de la varianza multivariado basado en permutaciones de 2 factores (PERMANDEVA; momento de muestreo = mes; zona de playa = zona) para comparar comunidades. Usamos el coeficiente de similitud de Bray-Curtis de las comunidades de meiofauna para realizar un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (EMDn) y usamos el mismo procedimiento para la comunidad de nematodos (media de las réplicas). Usamos una rutina de porcentaje de similitud (SIMPER) para evaluar la contribución de cada taxón a la disimilitud de la comunidad (>50%). Realizamos un análisis BEST-BioEnv utilizando el coeficiente de correlación de Spearman para analizar la influencia de la granulometría en la distribución de la meiofauna. Todos los análisis se realizaron en Primer v.6.1. (Clarke and Gorley 2006).

RESULTADOS

En septiembre y diciembre de 2014, el sedimento varió de arena fina a media tanto en el mesolitoral inferior como en el infralitoral. El tamaño de grano promedio varió de 0.18 a 0.83 mm, y no hubo diferencias significativas entre meses (PERMANDEVA: $t = 1.44$; $P = 0.08$) o zonas de playa (PERMANDEVA: $t = 1.03$; $P = 0.38$). El análisis BEST-BioEnv no indicó correlaciones significativas entre las características granulométricas y las comunidades de meiofauna ($P = 0.55$) o nematofauna ($P = 0.07$). Sin embargo, el análisis BEST-BVSTEP reveló correlaciones significativas entre las comunidades de meiofauna y los parámetros granulométricos (valor de Rho = 0.958; $P = 0.01$), aunque no se observó lo mismo para las comunidades de nematofauna (valor de Rho = 0.455; $P = 0.94$).

No se presentó meiofauna en las muestras recolectadas durante diciembre (mes seco) en la zona mesolitoral superior ni en la mitad de las muestras recolectadas en septiembre (mes lluvioso). El PERMANDEVA indicó que había una diferencia significativa (R = 0.31, $P = 0.007$, globales) entre la zona del mesolitoral superior y las otras 2 zonas de playa (mesolitoral inferior e infralitoral), que formaban un grupo. Las zonas mesolitoral inferior e infralitoral se volvieron a analizar posteriormente excluyendo la zona mesolitoral superior.

Después de eliminar las muestras del mesolitoral superior, el PERMANDEVA reveló una diferencia significativa en las comunidades de meiofauna entre los periodos de muestreo (mes lluvioso y seco; $t = 2.16$; $P = 0.002$). Este resultado se puede ver en el análisis EMDn (Fig. 3), aunque no hubo diferencia significativa entre las comunidades de las zonas mesolitoral inferior e infralitoral ($t = 1.18$; $P = 0.178$). El PERMANDEVA también indicó una diferencia significativa en las comunidades de nematofauna entre el mes seco y el lluvioso ($t = 1.89$; $P = 0.001$; Fig. 4), aunque no hubo diferencia significativa entre las comunidades del mesolitoral inferior y las zonas de playa infralitoral ($t = 1.19$; $P = 0.204$).

13.22 to 1,296.09 ind.·10 cm⁻² in December. The nematofauna was composed of 5 orders, 16 families, and 45 genera (Table 2). Within the 16 families identified, Xyalidae showed the highest number of genera (8), followed by Comesomatidae and Thoracostomopsidae (5 each).

In September, the most abundant nematofaunal genera in the lower mesolittoral zone were *Daptonema* Cobb, 1920 (27%) and *Theristus* Bastian, 1865 (20%). The most abundant genera in the infralittoral zone were *Bolbolaimus* (21%) and

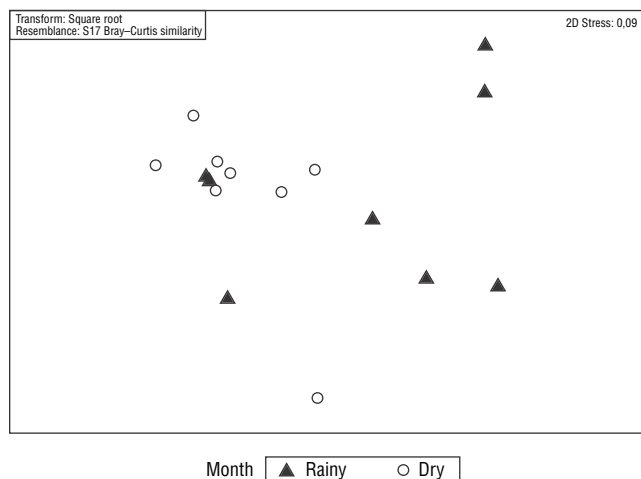


Figure 3. Multidimensional scaling (MDS) analysis of meiofaunal communities of Gaibu Beach per sampling period.

Figura 3. Análisis de escalamiento multidimensional (MDS) de las comunidades de meiofauna de la playa de Gaibu por periodo de muestreo.

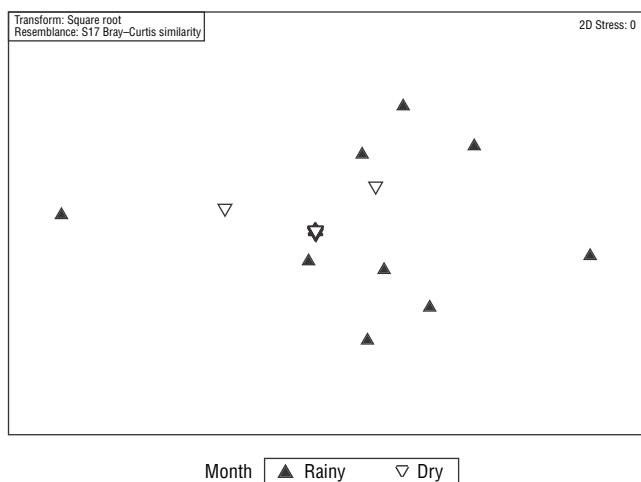


Figure 4. Multidimensional scaling (MDS) analysis of nematode communities of Gaibu Beach per sampling period.

Figura 4. Análisis de escalamiento multidimensional (MDS) de las comunidades de nematodos de la playa de Gaibu por periodo de muestreo.

La densidad media de la meiofauna varió de 19.27 a 527.86 ind.·10 cm⁻² en el mes lluvioso de septiembre y de 13.8 a 1,556.77 ind.·10 cm⁻² en el mes seco de diciembre. La meiofauna incluyó 8 taxones y 6 filos: Nematoda, Arthropoda (Copepoda y Ostracoda), Tardigrada, Annelida (Oligochaeta y Polychaeta), Platyhelminthes (Turbellaria) y Mollusca (Bivalvia). La riqueza de la comunidad basada en estos taxones varió de 3 a 5 grupos en septiembre y de 3 a 7 grupos en diciembre (Fig. 5). Nematoda fue el taxón dominante en todas las muestras (Fig. 6). El análisis SIMPER mostró que Nematoda y Copepoda fueron responsables por más del 60% de la disimilitud entre las comunidades (Tabla 1).

La densidad de nematofauna de la playa de Gaibu osciló entre 1.04 y 443.49 ind.·10 cm⁻² en septiembre y entre 13.22 y 1,296.09 ind.·10 cm⁻² en diciembre. La nematofauna estuvo compuesta por 5 órdenes, 16 familias y 45 géneros (Tabla 2). Dentro de las 16 familias identificadas, Xyalidae presentó el mayor número de géneros (8), seguido de Comesomatidae y Thoracostomopsidae (5 cada uno).

En septiembre, los géneros de nematofauna más abundantes en la zona mesolitoral inferior fueron *Daptonema* Cobb, 1920 (27%) y *Theristus* Bastian, 1865 (20%). Los géneros más abundantes en la zona infralitoral fueron *Bolbolaimus* (21%) y *Theristus* (19%). En diciembre, *Mesacanthion* dominó la zona mesolitoral inferior (30%) junto con la presencia notable de *Theristus* y *Neochromadora* Micoletzky, 1924. En la zona mesolitoral inferior, *Theristus* y *Neochromadora* conformaron el 17% de la comunidad, mientras que en la zona infralitoral, *Theristus* y *Neochromadora* comprendía el 23% y el 35% de la comunidad, respectivamente (Fig. 7). El análisis SIMPER indicó que *Theristus*; *Neochromadora*; *Metacromatadora* Filipjev, 1918; *Daptonema*; y *Eleutherolaimus* Filipjev, 1922 representaron más del 50% de las diferencias entre las comunidades (Tabla 3).

La estructura trófica de la comunidad de nematofauna incluyó 4 grupos de alimentación. Se observó codominancia (>50%) de alimentadores de depósito no selectivos (1B), en la zona infralitoral en diciembre y en la zona mesolitoral inferior en septiembre, junto con alimentadores de superficie (2A, >50%) en la zona infralitoral en septiembre. La mayor abundancia de depredadores/omnivoros (2B) se observó en la zona mesolitoral inferior en diciembre. Los alimentadores de depósitos selectivos (1A) estuvieron presentes en la zona infralitoral en septiembre, pero ausentes de esta zona en diciembre (Fig. 8).

DISCUSIÓN

A pesar de la heterogeneidad ambiental del área de estudio, la meiofauna estuvo ausente en la mayoría de las muestras del mesolitoral. El uso desordenado de la playa de Gaibu por visitantes, vendedores y construcciones observadas durante los viajes de muestreo sugiere que los factores antropogénicos pueden haber contribuido a la ausencia de una comunidad de meiofauna en la zona mesolitoral superior

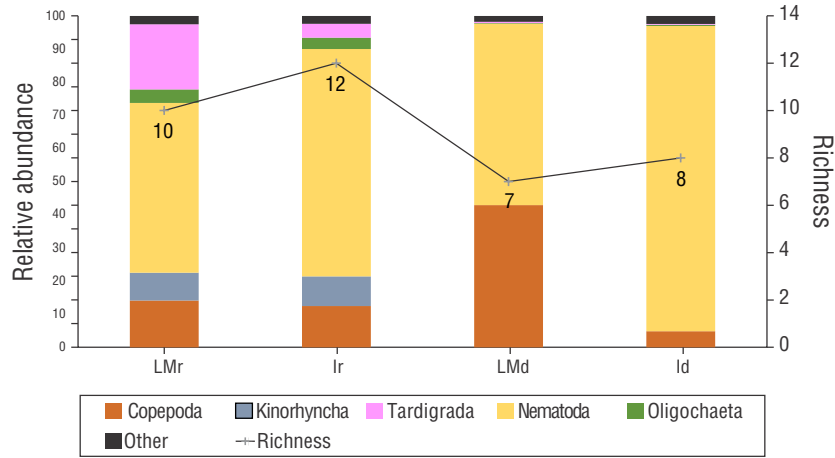


Figure 5. Richness and relative abundance of meiofaunal communities of Gaibu Beach in 2 sampling periods (September and December 2014). LMr = lower mesolittoral in the rainy month. Ir = infralittoral in the rainy month. LMd = lower mesolittoral in the dry month. Id = infralittoral in the rainy month.

Figura 5. Riqueza y abundancia relativa de las comunidades de meiofauna de la playa de Gaibu en 2 periodos de muestreo (septiembre y diciembre de 2014). LMr = mesolittoral inferior en el mes lluvioso. Ir = infralittoral en el mes lluvioso. LMd = mesolittoral inferior en el mes seco. Id = infralittoral en el mes lluvioso.

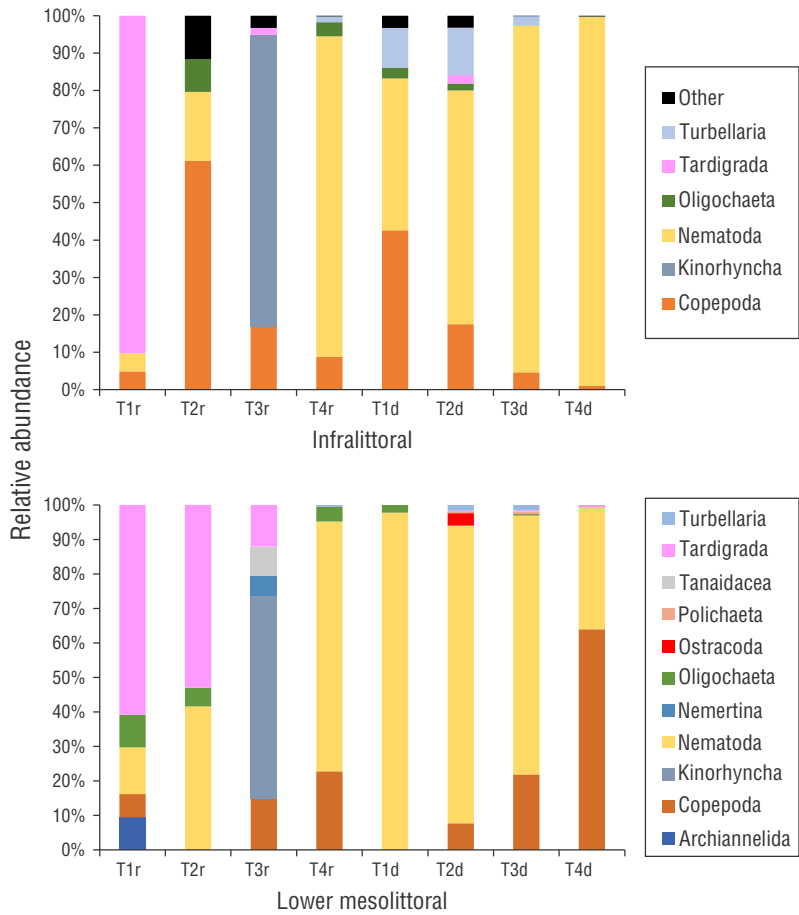


Figure 6. (a) Relative abundance of meiofauna taxa of the infralittoral zone; **(b)** relative abundance of the meiofauna taxa of the lower mesolittoral zone. T = transect; r = rainy month (September); d = dry month (December).

Figura 6. (a) Abundancia relativa de taxones de meiofauna de la zona infralittoral; **(b)** abundancia relativa de los taxones de meiofauna de la zona mesolittoral inferior. T = transecto; r = mes lluvioso (septiembre); d = mes seco (diciembre).

Table 1. Similarity percentage analysis of the meiofaunal community of Gaibu Beach. Av. Diss. = average dissimilarity; Av. Abund. = average abundance; Diss. = dissimilarity; SD = standard deviation; Contrib. = contribution; Cum. = cumulative.

Tabla 1. Análisis de similitud porcentual de la comunidad de meiofauna de la playa de Gaibu. Av. Diss. = disimilitud promedio; Av. Abund. = abundancia media; Diss. = disimilitud; SD = desviación estándar; Contrib. = contribución; Cum. = acumulativo.

Rainy and dry groups						
Av. Diss. = 68.63						
	Rainy group	Dry group				
Species	Av. Abund	Av. Abund	Av. Diss.	Diss./SD	Contrib.%	Cum. %
Nematoda	7.21	17.50	29.28	1.44	42.66	42.66
Copepoda	3.84	8.35	12.04	1.04	17.54	60.21
Tardigrada	3.14	0.68	7.29	0.63	10.62	70.83
Turbellaria	0.44	2.46	5.30	1.14	7.73	78.55
Kinorhyncha	2.08	0.00	4.79	0.51	6.98	85.53
Oligochaeta	1.96	1.01	4.15	1.03	6.04	91.57

Table 2. Nematoda genera recorded on Gaibu Beach (Pernambuco, Brazil).

Tabla 2. Géneros de nematodos registrados en la playa de Gaibu (Pernambuco, Brasil).

Order	Family	Genus
Chromadorida Chitwood, 1933	Chromadoridae Filipjev, 1917	<i>Neochromadora</i> Micoletzky, 1924
		<i>Actinonema</i> , Cobb, 1920
		<i>Endeolophos</i> Boucher, 1976
	Cyatholaimidae Filipjev, 1918	<i>Marylynnia</i> (Hopper, 1972) Hopper, 1977
		<i>Paracanthonchus</i> Micoletzky, 1924
		<i>Paracyatholaimus</i> Micoletzky, 1922
		<i>Pomponema</i> Cobb, 1917
	Selachinematidae Cobb, 1915	<i>Gammanema</i> Cobb, 1920
		<i>Latronema</i> Wieser, 1954
		<i>Synonchiella</i> Cobb, 1933
Araeolaimida Coninck & Schuurmans Stekhoven, 1933	Axonolaimidae Filipjev, 1918	<i>Axonolaimus</i> De Man, 1889
		<i>Odontophora</i> Bütschli, 1874
	Comesomatidae Filipjev, 1918	<i>Synodontium</i> Cobb, 1920
		<i>Comesoma</i> Bastian, 1865
		<i>Paracomesome</i> SchuurmansStekhoven, 1950
		<i>Hopperia</i> Vitiello, 1969
		<i>Paramesonchium</i> Hopper, 1967
		<i>Sabatieria</i> Rouville, 1903

Table 2 (Cont.)

Order	Family	Genus
Desmodorida De Coninck, 1965	Desmodoridae Filipjev, 1922	<i>Molgolaimus</i> Ditlevsen, 1921
		<i>Metachromadora</i> Filipjev, 1918
		<i>Polysigma</i> Cobb, 1920
	Epsilonematidae Steiner, 1927	<i>Epsilonema</i> Steiner, 1927
Monhysterida Filipjev, 1929	Microlaimidae Micoletzky, 1922	<i>Bolbolaimus</i> Cobb, 1920
		<i>Microlaimus</i> De Man, 1880
	Monoposthiidae Filipjev, 1934	<i>Monoposthia</i> De Man, 1889
	Xyalidae Chitwood, 111951	<i>Cobbia</i> De Man, 1907
		<i>Daptonema</i> Cobb, 1920
		<i>Paramonhystera</i> Steiner, 1916
		<i>Promonhystera</i> Wieser, 1956
		<i>Pseudosteineria</i> Wieser, 1956
		<i>Rhynchonema</i> Cobb, 1920
		<i>Theristus</i> Bastian, 1865
	<i>Xyala</i> Cobb, 1920	
	Linhomoeidae Filipjev, 1922	<i>Eleutherolaimus</i> Filipjev, 1922
		<i>Terschellingia</i> De Man, 1888
Enoplida Filipjev, 1929	Thoracostomopsidae Filipjev, 1927	<i>Enoploides</i> Ssaweljev, 1912
		<i>Enoplolaimus</i> De Man, 1893
		<i>Epacanthion</i> Wieser, 1953
		<i>Mesacanthion</i> Filipjev, 1927
		<i>Paramesacanthion</i> Wieser, 1953
	Ironidae de Man, 1876	<i>Thalassironus</i> de Man, 1889
	Oxystominidae Chitwood, 1935	<i>Halalimus</i> de Man, 1888
	Enchelidiidae Filipjev, 1918	<i>Eurystomina</i> Filipjev, 1921
	Oncholaimidae Filipjev, 1916	<i>Metoncholaimus</i> Filipjev, 1918
		<i>Oncholaimus</i> Dujardin, 1845

Theristus (19%). In December, *Mesacanthion* dominated the lower mesolittoral zone (30%) along with the notable presence of *Theristus* and *Neochromadora* Micoletzky, 1924. In the lower mesolittoral zone, *Theristus* and *Neochromadora* comprised 17% of the community, whereas in the infralittoral zone, *Theristus* and *Neochromadora* comprised 23% and 35% of the community, respectively (Fig. 7). The SIMPER analysis indicated that *Theristus*; *Neochromadora*; *Metachromadora* Filipjev, 1918; *Daptonema*; and *Eleutherolaimus* Filipjev, 1922 were responsible for over 50% of the dissimilarities between communities (Table 3).

The trophic structure of the nematofaunal community included 4 feeding groups. A co-dominance (>50%) of non-selective deposit feeders (1B) was observed in the infralittoral zone in December and in the lower mesolittoral zone in September along with epistrate feeders (2A, >50%) in the infralittoral zone in September. The predators/omnivores (2B) feeding group were most abundant in the lower mesolittoral zone in December. Selective deposit feeders (1A) were present in the infralittoral zone in September but absent from this zone in December (Fig. 8).

DISCUSSION

Despite the environmental heterogeneity of the study area, meiofauna were absent in most mesolittoral samples. The disordered utilization of Gaibu Beach by visitors, sellers, and

del área de estudio. Como se ha reportado en estudios anteriores, los movimientos de vehículos y el pisoteo intenso, especialmente en las zonas litoral superior y supralitoral, interfieren con los ciclos de vida de las especies e incluso pueden provocar la pérdida de especies de la comunidad (dos Santos-Reis y Rizzo 2019, Santos et al. 2021).

La meiofauna de la playa de Gaibu siguió los patrones cuantitativos que se han descrito en otras playas tropicales arenosas en la costa nororiental de Pernambuco (Castro et al. 1999, Souza-Santos et al. 2003, Pinto y Santos 2006, Guilherme et al. 2016). Las densidades de meiofauna en este estudio fueron similares a las encontradas en playa Tamandaré (Souza-Santos et al. 2003) y playa Guadalupe (Guilherme et al. 2016), también ubicadas en la costa sur de Pernambuco. Sin embargo, las densidades de meiofauna en este estudio fueron más bajas que las encontradas en otros sitios en las costas del sur (Castro et al. 1999) y norte de Pernambuco (Pinto y Santos 2006), las cuales están relativamente aisladas, moderadamente conservadas y asociadas a ambientes estuarinos, lo cual puede influir en sus características sedimentarias y, en consecuencia, en las densidades de sus comunidades de meiofauna.

La densidad de meiofauna de la playa de Gaibu reportada en este estudio concuerda con lo descrito por Kotwicki et al. (2005), quienes esperaban densidades de $538 \pm 137 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ para playas arenosas tropicales. La descarga de aguas residuales que fluye directamente al mar cerca de

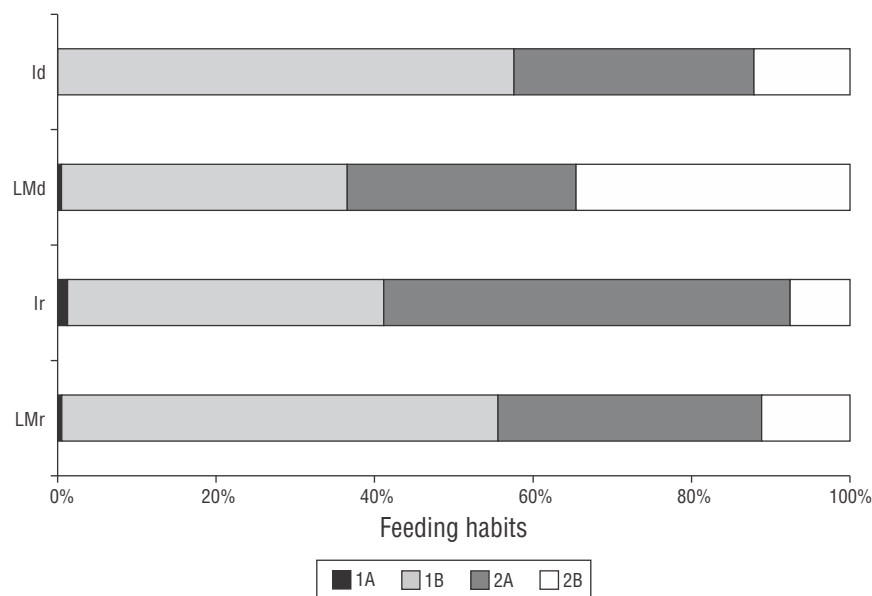


Figure 7. Trophic structure of the nematofaunal community of Gaibu Beach in 2 sampling periods (September and December 2014). LMr = lower mesolittoral in the rainy month. Ir = infralittoral in the rainy month. LMd = lower mesolittoral in the dry month. Id = infralittoral in the dry month. 1A: selective deposit feeders; 1B: nonselective deposit feeders; 2A: epistrate feeders; 2B: predators/omnivorous.

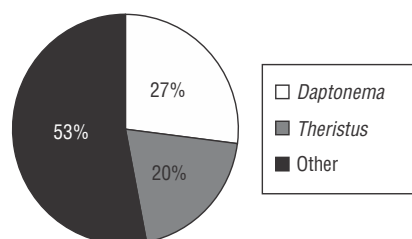
Figura 7. Estructura trófica de la comunidad de nematofauna de la playa de Gaibu en 2 periodos de muestreo (septiembre y diciembre de 2014). LMr = mesolitoral inferior en el mes lluvioso. Ir = infralittoral en el mes lluvioso. LMd = mesolitoral inferior en el mes seco. Id = infralittoral en el mes seco. 1A: alimentadores de depósitos selectivos; 1B: alimentadores de depósito no selectivos; 2A: alimentadores de superficie; 2B: depredadores/omnívoros.

Table 3. Similarity percentage analysis of the nematofaunal community of Gaibu Beach between the rainy (September) and dry (December) months. Av. Diss. = average dissimilarity; Av. Abund. = average abundance; Av. Sim. = average similarity; Diss. = dissimilarity; SD = standard deviation; Contrib. = Contribution; Cum. = cumulative.

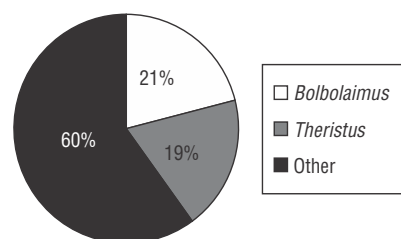
Tabla 3. Análisis de similitud porcentual de la comunidad de nematofauna de la playa de Gaibu entre el mes lluvioso (septiembre) y el seco (diciembre). Av. Diss. = disimilitud promedio; Av. Abund. = abundancia media; Av. Sim. = similitud promedio; Diss. = disimilitud; SD = desviación estándar; Contrib. = contribución; Cum. = acumulativo.

Rainy (September) and Dry (December) Groups						
Av. Diss. = 84.28						
	Rainy group		Dry group			
Species	Av. Abund	Av. Abund.	Av. Sim.	Diss./SD	Contrib. %	Cum.%
<i>Theristus</i>	1.10	2.83	13.35	1.15	15.85	15.85
<i>Neochromadora</i>	0.83	1.83	10.06	0.76	11.93	27.78
<i>Metachromadora</i>	0.04	1.93	7.97	0.98	9.46	37.24
<i>Daptonema</i>	1.11	1.08	6.76	1.00	8.03	45.26
<i>Eleutherolaimus</i>	0.44	1.04	4.68	1.23	5.55	50.81

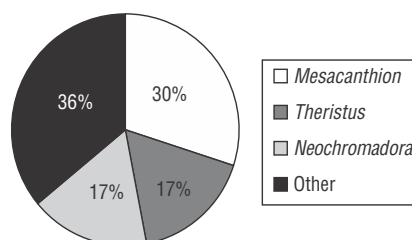
Lower mesolittoral: rainy (September)



Infralittoral: rainy (September)



Lower mesolittoral: dry (December)



Infralittoral: dry (December)

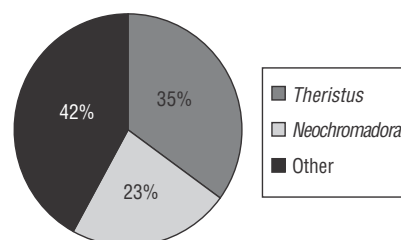


Figure 8. Genera dominance per sampling period in each beach zone.

Figura 8. Dominancia de géneros por periodo de muestreo en cada zona de playa.

constructions observed during sampling trips suggests that anthropogenic factors may have contributed to the absence of a meiofaunal community in the upper mesolittoral zone of the study area. As has been reported in previous studies, vehicle movements and intense trampling, especially in the upper littoral and supralittoral zones, interferes with species life cycles and may even result in species being lost from the community (dos Santos-Reis and Rizzo 2019, Santos et al. 2021).

The meiofauna of Gaibu Beach followed the quantitative patterns that have been described in other tropical sandy beaches on the northeastern coast of Pernambuco (Castro et al. 1999, Souza-Santos et al. 2003, Pinto and Santos 2006, Guilherme et al. 2016). The meiofaunal densities in this study were similar to those found in Tamandaré Beach (Souza-Santos et al. 2003) and Guadalupe Beach (Guilherme et al. 2016), which are also located on the southern coast of Pernambuco. However, the meiofaunal densities in this study were lower than those found in other sites on the southern (Castro et al. 1999) and northern coasts of Pernambuco (Pinto and Santos 2006), which are relatively isolated, moderately conserved, and associated with estuarine environments, which may influence their sedimentary characteristics and consequently the densities of their meiofaunal communities.

The meiofaunal density of Gaibu Beach reported in this study agrees with what was described by Kotwicki et al. (2005), who expected densities of $538 \pm 137 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ for tropical sandy beaches. Sewage discharge that flows directly into the sea near T4 may be causing eutrophication in the area (Bongers and Ferris 1999), which intensifies algae growth and biota proliferation and consequently may increase nematode density (Moreno et al. 2011).

The relationships between meiofauna and granulometric characteristics are well known, so much so that these topics are often studied together. However, these relationships are not the only things that determine the structure of the nematofaunal community, and other variables beyond granulometric characteristics can be strong drivers of community structure. In this study, the absence of significant correlations between the nematofaunal community and granulometric characteristics suggests that other factors affect the structure of these benthic communities. Indeed, Fonseca et al. (2014) did not find any significant correlations between nematofaunal richness and sedimentary characteristics and concluded that other factors interact with granulometric characteristics to determine community structure.

The time period considered in this study included a change from rainy to dry seasons, and significant differences in meiofaunal communities were found between seasons. In the rainy month of September, meiofaunal richness and density were lower than those in the dry month of December. These findings agree with what has been reported in other studies. For example, Alongi (1990) and Souza-Santos et al. (2003) indicated that during the rainy season, when salinity decreases, superficial sediment erosion can reduce meiofaunal density.

T4 puede estar causando eutrofización en el área (Bongers y Ferris 1999), lo que intensifica el crecimiento de algas y la proliferación de biota y, en consecuencia, puede aumentar la densidad de nematodos (Moreno et al. 2011).

Las relaciones entre la meiofauna y las características granulométricas son bien conocidas, por lo que estos temas a menudo se estudian juntos. Sin embargo, estas relaciones no son las únicas cosas que determinan la estructura de la comunidad de nematofauna, y otras variables más allá de las características granulométricas pueden ser fuertes impulsores de la estructura de la comunidad. En este estudio, la ausencia de correlaciones significativas entre la comunidad de nematofauna y las características granulométricas sugiere que otros factores afectan la estructura de estas comunidades bentónicas. De hecho, Fonseca et al. (2014) no encontraron correlaciones significativas entre la riqueza de nematofauna y las características sedimentarias y concluyeron que otros factores interactúan con las características granulométricas para determinar la estructura de la comunidad.

El periodo de tiempo considerado en este estudio incluyó un cambio de la estación lluviosa a la seca, y se encontraron diferencias significativas en las comunidades de meiofauna entre estaciones. En el mes lluvioso de septiembre, la riqueza y densidad de meiofauna fue menor que en el mes seco de diciembre. Estos resultados concuerdan con lo reportado en otros estudios. Por ejemplo, Alongi (1990) y Souza-Santos et al. (2003) indicaron que, durante la temporada de lluvias, cuando la salinidad disminuye, la erosión de los sedimentos superficiales puede reducir la densidad de la meiofauna.

Nematoda y Copepoda fueron los principales taxones responsables de las disimilitudes entre las comunidades de meiofauna. Según Coull (2009), Nematoda es el grupo más abundante en los sedimentos y constituye 60-90% de las comunidades de meiofauna, seguido por Copepoda, que constituye 10-40% de estas comunidades, por lo que se preveía la dominancia de estos taxones en este estudio. La alta abundancia de Tardigrada en nuestro estudio durante el mes lluvioso puede deberse a la presencia de rocas de playa en T1, que probablemente modulan las características hidrodinámicas del transecto. Los tardígrados constituyen un componente permanente de la comunidad meiofaunal y también se ha encontrado que abundan en sedimentos en otros estudios (Albuquerque et al. 2007, Verçosa et al. 2009).

Entre las 16 familias de nematodos identificadas en este estudio, Xyalidae fue la más abundante y diversa, lo que concuerda con lo informado para la costa noreste de Brasil (Venekey et al. 2010). *Theristus* fue dominante en el mes lluvioso y el seco y, en las zonas de playa, contribuyó más a la variación temporal observada en la estructura de la comunidad meiofaunal según el análisis SIMPER. Fonseca et al. (2014) afirmaron que *Theristus* mostró una distribución amplia que se correlacionó con el tamaño de grano promedio. La alta abundancia de *Daptonema* en este estudio concuerda con lo reportado previamente e indica que, comúnmente, este género es un taxón de nematofauna abundante presente en diversos

Nematoda and Copepoda were the main taxa responsible for the dissimilarities between meiofaunal communities. According to Coull (2009), Nematoda is the most abundant group in sediments and constitutes 60–90% of meiofaunal communities, followed by Copepoda, which constitutes 10–40% of these communities, and thus the dominance of these taxa in this study was expected. The high abundance of Tardigrada in our study during the rainy month may have resulted from the presence of beach rocks on T1, which likely modulated the hydrodynamic characteristics of the transect. Tardigrades constitute a permanent component of the meiofaunal community and have also been found to be abundant in sediments in other studies (Albuquerque et al. 2007, Verçosa et al. 2009).

Among the 16 nematode families identified in this study, Xyalidae was the most abundant and diverse, which agrees with what has been reported for the northeastern Brazilian coast (Venekey et al. 2010). *Theristus* was dominant in the rainy and dry months and contributed the most in the beach zones to the observed temporal variation in the structure of the meiofaunal community according to the SIMPER analysis. Fonseca et al. (2014) stated that *Theristus* showed a broad distribution that was correlated with average grain size. The high abundance of *Daptonema* in this study agrees with what has been previously reported indicating that this genus is commonly an abundant nematofaunal taxa present in various environments, especially in sandy beaches (Pereira-Gomes de Melo et al. 2013) with well-selected sands (Moreno et al. 2008) or fine sand (Corbisier et al. 2008).

Four trophic types were identified in both sampling periods, although selective deposit feeders constituted less than 2% of the meiofaunal community. In contrast, nonselective deposit feeders dominated the community followed by epistrate feeders, which agrees with what was reported by Pereira-Gomes de Melo et al. (2013). The high representativeness of nonselective deposit feeders on Gaibu Beach agrees with what was reported by Alongi (1990), who stated that this group is dominant during warm months due to the elevated number of bacteria, protozoa, and microphytobenthos present. In this study, the highest abundance of nonselective deposit feeders on Gaibu Beach occurred in the dry month of December. Although we did not measure organic matter content in the sediment, the dominance of nonselective deposit feeders suggests that the sediments in the study area have high organic loads (Danovaro and Gambi 2002).

The low representativeness of predatory animals may be related to the types of sediment found on Gaibu Beach. According to Gallucci et al. (2005), these predators increase in dominance in environments with relatively large grain sizes and consequently relatively high permeability. Furthermore, anthropogenic impacts on the beach can also play important roles in determining the structure of meiofaunal communities, as nematode predators are quite sensitive to environmental disturbance (Bongers and Ferris 1999).

ambientes, especialmente en playas arenosas (Pereira-Gomes de Melo et al. 2013) con arenas bien seleccionadas (Moreno et al. 2008) o arena fina (Corbisier et al. 2008).

Se identificaron 4 tipos tróficos en ambos periodos de muestreo, aunque los alimentadores de depósitos selectivos constituyeron menos del 2% de la comunidad de meiofauna. En contraste, los alimentadores de depósito no selectivos dominaron la comunidad seguidos por los alimentadores de superficie, lo que concuerda con lo reportado por Pereira-Gomes de Melo et al. (2013). La alta representatividad de los alimentadores de depósito no selectivos en la playa de Gaibu concuerda con lo reportado por Alongi (1990), quien afirmó que este grupo es dominante durante los meses cálidos debido la presencia elevada de bacterias, protozoos y microfitobentos. En este estudio, la mayor abundancia de los alimentadores de depósito no selectivos en la playa de Gaibu ocurrió en el mes seco de diciembre. Aunque no medimos el contenido de materia orgánica en el sedimento, el predominio de los alimentadores de depósito no selectivos sugiere que los sedimentos en el área de estudio tienen altas cargas orgánicas (Danovaro y Gambi 2002).

La baja representatividad de depredadores puede estar relacionada con los tipos de sedimentos que se encuentran en la playa de Gaibu. Según Gallucci et al. (2005), estos depredadores aumentan su dominio en ambientes con tamaños de grano relativamente grandes y, en consecuencia, una permeabilidad relativamente alta. Además, los impactos antropogénicos en la playa también pueden desempeñar un papel importante en la determinación de la estructura de las comunidades de meiofauna, ya que los depredadores de nematodos son muy sensibles a las perturbaciones ambientales (Bongers y Ferris 1999).

Los datos abióticos, como la salinidad, la materia orgánica y las mediciones de clorofila *A*, no se recolectaron en este estudio, ya que nuestro objetivo era caracterizar la comunidad de meiofauna de la playa de Gaibu y su relación con el sedimento presente. Por lo tanto, se necesitan estudios adicionales y evaluaciones de impacto ambiental para evaluar las interacciones entre los principales factores ambientales estresantes presentes en la playa de Gaibu y su influencia en la comunidad de meiofauna tanto a corto como a largo plazo. Braga et al. (2003) consideran la degradación de las playas por la minería, la contaminación por aguas residuales, las inundaciones de la planicie costera y el daño a las áreas protegidas como los principales problemas ambientales presentes en la zona. Estos problemas fueron observados durante nuestro estudio y deben ser evaluados con base en los indicadores de calidad ambiental de las playas recreativas de Barbosa de Araújo y Costa (2008), considerando específicamente los indicadores de efluentes domésticos, áreas de baño protegidas por arrecifes, expansión urbana y uso de mareas para actividades de ocio.

En conclusión, hubo variación estacional en la comunidad de meiofauna de la playa de Gaibu. Los nematodos fueron dominantes en el mes seco de diciembre, mientras que una

Abiotic data, such as salinity, organic matter, and chlorophyll *a* measurements, were not collected in this study, as we aimed to characterize the meiofaunal community of Gaibu Beach and its relationship to the sediment present. Thus, additional studies and environmental impact assessments are needed to evaluate the interactions among the main environmental stressors present on Gaibu Beach and their influence on the meiofaunal community in both the short- and long-term. Braga et al. (2003) consider beach degradation due to mining, sewage pollution, coastal plain flooding, and damage to protected areas to be the main environmental problems present in the area. These problems were observed during our study and should be evaluated based on the environmental quality indicators for recreational beaches of Barbosa de Araújo and Costa (2008), specifically considering the indicators of domestic effluents, bathing areas protected by reefs, urban expansion, and the use of tides for leisure activities.

In conclusion, seasonal variation was present in the meiofaunal community of Gaibu Beach. Nematoda were dominant in the dry month of December, while a more diverse meiofaunal community was present in the rainy month of September with a dominance of other taxa. Differences were also present between communities among transects (in the same beach zone and season), which suggests that various abiotic drivers affect community structure beyond granulometric characteristics. Further studies of the biodiversity of the meiofauna present on the sandy beaches in northeastern Brazil are urgently needed due to the insufficient data available for these environments and the extreme anthropogenic and natural stress these beaches are currently under.

ACKNOWLEDGMENTS

Paula AS Chadaad received an undergraduate research grant during the present study awarded by the Scientific Initiation Program of the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE)–National Council for Scientific and Technological Development (CNPq; Brazil). The authors are grateful to Camila Gomes Rito (UFRPE) and Priscila Silva (UFRPE) for their assistance in the field and laboratory.

Copyediting by MacTavish Scientific Editing

REFERENCES

- Albuquerque EF, Brandão-Pinto AP, Queiroz-Perez Ad'A, Gomes-Veloso V. 2007. Spatial and temporal changes in interstitial meiofauna on a sandy ocean beach of South America. *Braz J Oceanogr.* 55(2):121-131. <https://doi.org/10.1590/s1679-87592007000200005>
- Alongi DM. 1990. Community dynamics of free-living nematodes in some tropical mangrove and sandflats. *Bull Mar Sci.* 46:358-373.
- [APAC] Agência Pernambucana de Águas e Clima. 2014. Boletim do Clima, síntese climática. Recife (Brazil): APAC; accessed 2021 June. <http://www.apac.pe.gov.br>
- Barbosa de Araújo MC, Ferreira da Costa M. 2008. Environmental quality indicators for recreational beaches classification. *J Coast Res.* 246:1439-1449. <https://doi.org/10.2112/06-0901.1>
- Bongers T, Ferris H. 1999. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends Ecol Evol.* 14(6):224-228. [https://doi.org/10.1016/s0169-5347\(98\)01583-3](https://doi.org/10.1016/s0169-5347(98)01583-3)
- Braga RAP, Cabral JJSP, Gusmão PT, Paiva ALR. 2003. Microbacias Costeiras do Cabo de Santo Agostinho-PE: Parte 1 - Conflitos Ambientais [Coastal Microbasins of Cabo de Santo Agostinho-PE: Part 1 - Environmental Conflicts]. In: Anais do II Congresso sobre Planejamento e Gestão da Zona Costeira dos Países de Expressão Portuguesa [Abstract book of the II Congress on Planning and Management of the Coastal Zone of Portuguese-speaking Countries; 12-19 Oct 2003, Recife, Brazil. Porto Alegre (Brazil): Associação Portuguesa de Recursos Hídricos e Associação Brasileira de Recursos Hídricos 1. p. 1-5.
- Buchanan JB, Holme NA, McIntyre AD. 1984. Sediment analysis. In: Holme NA, McIntyre AD (eds.), *Methods for the Study of Marine Benthos*. Oxford (United Kingdom): Oxford Blackwell. p. 41-65.
- Camargo MG. 2006. Sysgran: Um Sistema de Código Aberto para Análises Granulométricas do Sedimento. *Revista Brasileira de Geociências.* 36:371-378.
- Castro FJV, Fonseca-Genevois V, Lira L, Cavalcanti-da Rocha, CM. 1999. Efeito da sedimentação sobre a distribuição de *Batillipes pennaki* Marcus, (1946) em zona tropical típica: Restinga do Paiva, Pernambuco, Brasil = The effects of morphodynamic processes on *Batillipes pennaki* Marcus (1946) abundance and distribution in tropical Regions: The Paiva sandbank, Pernambuco, Brazil. *Trop Oceanogr.* 27(2):89-102. <https://doi.org/10.5914/tropocean.v27i2.2820>
- Clarke KR, Gorley RN. 2006. PRIMER V6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth (UK): Plymouth Marine Laboratory. 192 p.

AGRADECIMIENTOS

Paula AS Chadaad recibió una beca de investigación de grado durante el presente estudio otorgada por el Programa de Iniciación Científica de la Universidad Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)–Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq; Brasil). Los autores agradecen a Camila Gomes Rito (UFRPE) y Priscila Silva (UFRPE) por su asistencia en campo y laboratorio.

Traducido al español por Claudia Michel-Villalobos

- Corbisier TN, Moellman AM, Curvelo RR. 2008. Meiofauna In: Pires-Vanin AM (ed.), Oceanografia de um Ecossistema Tropical: Plataforma Interna de São Sebastião Parte IV – Sistema Bentônico. São Paulo (Brazil): Universidade de São Paulo. Imprensa oficial do estado. p. 10.
- Coull BC. 2009. Role of meiofauna in estuarine soft-bottom habitats. *Australian J Ecol.* 24(4):327-343. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.1999.00979.x>
- Danovaro R, Gambi C. 2002. Biodiversity and trophic structure of nematode assemblages in seagrass systems: evidence for a coupling with changes in food availability. *Mar Biol.* 141(4):667-677. <https://doi.org/10.1007/s00227-002-0857-y>
- De Araújo ME, Ramalho CWN, de Melo PW. 2020. Artisanal fishers, consumers and the environment: immediate consequences of the oil spill in Pernambuco, Northeast Brazil. *Cad Saúde Pública.* 36(1):e00230319. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00230319>
- De Grisse AT. 1969. Redescription ou modification de quelques techniques utilisées dans l'étude des nematodes phytoparasitaires. *Mededelingen Rijks Fakulteit Landbouwwetenschappen Gent.* 34:251-369.
- De Santana-Campelo RP, Mello-de Lima CD, Severino-de Santana C, da Silva AJ, Neumann-Leitão S, Padovani-Ferreira B, de Oliveira-Soares M, de Melo-Júnior M, Mendes-de Castro Melo PA. 2021. Oil spills: The invisible impact on the base of tropical marine food webs. *Mar Poll Bull.* 167:112281. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112281>
- Dos santos-Reis R, Rizzo AE. 2019. Human trampling effect on benthic fauna of sandy beaches with different intensities of use in Rio de Janeiro, Brazil. *Oecol Austr.* 23(1):28-38. <https://doi.org/10.4257/oeco.2019.2301.03>
- Elmgren R. 1976. Baltic benthos communities and the role of meiofauna. *Contribution from the Askö Laboratory.* 14:1-31.
- Fabricio-Maria T, Pereira-Wandness A, Morgado-Esteves A. 2016. State of the art of the meiofauna of Brazilian Sandy beaches. *Braz J Oceanog.* 64(sp2):17-26. <https://doi.org/10.1590/S1679-875920160946064sp2>
- Ferris H, Bongers T. 2006. Nematode indicators of organic enrichment. *J nematol.* 38(1):3-12.
- Folk RL, Ward WC. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J Sediment Petrol.* 27(1):3-26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Fonseca G, Maria TF, Kandratavicius N, Venekey V, Gheller PF, Gallucci F. 2014. Testing for nematode – granulometry relationships. *Mar Biodivers.* 44:435-443.
- Gallucci F, Steyaert M, Moens T. 2005. Can field distributions of marine predacious nematodes be explained by sediment constraints on their foraging success? *Mar Ecol Prog Ser.* 304:167-178. <https://doi.org/10.3354/meps304167>
- Guilherme BC, Alves PS, Cavalcanti MF. 2016. Structural variation of the meiofauna community from Guadalupe beach (Pernambuco - Brazil). *Rev Nordestina Zool.* 10(1):1-14.
- Kotwicki L, Szymelfenig M, De Troch M, Urban-Malinga B, Węślawski JM. 2005. Latitudinal biodiversity patterns of meiofauna from sandy littoral beaches. *Biodiver Conserv.* 14(2):461-474. <https://doi.org/10.1007/10531-004-6272-6>
- Manso VAV, Coutinho PN, Guerra NC, Soares-Junior CFA. 2006. Pernambuco. In: Muehe D (coord.), Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro. 2nd ed. Brasília (Brazil): Ministério do Meio Ambiente. p. 180-196.
- Moens T, Braeckman U, Derycke S, Fonseca G, Gallucci F, Gingold R, Guilini K, Ingels J, Leduc D, Vanaverbeke J, et al. 2013. Ecology of free-living marine nematodes. In: Schmidt-Rhaesa A (ed.), *Nematoda*, Vol. 2: Nematoda. Berlin (Germany): De Gruyter. p. 109-152. <https://doi.org/10.1515/9783110274257.109>
- Moens T, Vincx M. 1997. Observations on the feeding ecology of estuarine nematodes. *J Mar Biol Assoc UK.* 77(1):211-227. <https://doi.org/10.1017/S0025315400033889>
- Moreno M, Ferrero TJ, Gallizia I, Vezzulli L, Albertelli G, Fabiano M. 2008. An assessment of the spatial heterogeneity of environmental disturbance within an enclosed harbour through the analysis of meiofauna and nematode assemblages. *Estuar Coast Shelf Sci.* 77:565-576.
- Moreno M, Semprucci F, Vezzulli L, Balsamo M, Fabiano M, Albertelli G. 2011. The use of nematodes in assessing ecological quality status in the Mediterranean coastal ecosystems. *Ecol Indic.* 11(2):328-336. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.05.011>
- Nemys. 2002. *Nemys: World Database of Nematodes*. Belgium: University of Gent; accessed 2021 June. <http://nemys.ugent.be>. <https://doi.org/10.14284/366>
- Pereira SMB, Oliveira-Carvalho MF, Angeiras JAP, Oliveira NMB, Torres J, Gestinari LMS, Bandeira-Pedrosa ME, Cocentino ALM, Santos MD, Nascimento PRF et al. 2002. Algas Marinhas Bentônicas do Estado de Pernambuco [Benthic Marine Algae of the State of Pernambuco]. In: Tabarelli M, Silva JMC (eds.), *Diagnóstico da Biodiversidade de Pernambuco [Diagnosis of the Biodiversity of Pernambuco]*. Recife (Brazil): Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. p. 97-124.
- Pereira-Gomes de Melo T, Rosa-Filho JS, Venekey V. 2013. Marine Nematoda from Ajuruteua Beach, Amazon Coast, Brazil. *Rev Atlântica.* 35(1):67-70. <https://doi.org/10.5088/2013.35.1.67>
- Pinto TKO, Santos PJP dos. 2006. Meiofauna community structure variability in a Brazilian tropical sandy beach. *Rev Atlântica*. [accessed 2021 February]; 28(2):117-127. <http://repositorio.furg.br/handle/1/695>.
- Santos TMT, Petracco M, Venekey V. 2021. Recreational activities trigger changes in meiofauna and free-living nematodes on Amazonian macrotidal sandy beaches. *Mar Environ Res.* 167(105289):1-14. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105289>
- Schlacher TA, Dugan J, Schoeman DS, Lastra M, Jones A, Scapini F, McLachlan A, Defeo O. 2007. Sandy beaches at the brink. *Divers Distrib.* 13(5):556-560. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00363.x>
- Schratzberger M, Ingels J. 2018. Meiofauna matters: the roles of meiofauna in benthic ecosystems. *J Exp Mar Biol Ecol.* 502:12-25. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2017.01.007>
- Short AD, Klein AH. da F. 2016. Brazilian Beach Systems: Review and Overview. In: Short A, Klein AH da F (eds.), *Brazilian Beach Systems*. Coastal Research Library, vol 17. [place unknown]: Springer, Cham. p. 573-608. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30394-9_20
- Souza-Santos LP, Ribeiro VSS, Santos PJP, Fonseca-Genevois V. 2003. Seasonality of intertidal meiofauna on a tropical sandy beach in Tamandare Bay (Northeast Brazil). *J Coast Res.* 35(SI):369-377. <https://www.jstor.org/stable/40928784>
- Suguio K. 1973. *Geologia Sedimentar*. São Paulo (Brazil): Edgard Blücher Ltda/EDUSP. 400 p.
- Venekey V, Fonseca-Genevois VG, Santos PJP. 2010. Biodiversity of free-living marine nematodes on the coast of Brazil: a review. *Zootaxa (Auckland).* 2568(1):39-66. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2568.1.2>
- Verçosa MM, Santos ECL, Souza JRB, Rocha CMCD. 2009. Distribuição de *Stygactus bradypus* Schulz, 1951 (Tardigrada, Heterotardigrada) na margem sul da ilha de Itamaracá (PE, Brasil) = Distribution of *Stygactus bradypus* Schulz, 1951

- (Tardigrada, Heterotardigrada) on the south bank of Itamaracá Island (PE, Brazil). *Rev Atlântica*. [accessed 2021 February]; 31(1):25-33. <http://repositorio.furg.br/handle/1/553>.
- Warwick RM, Platt HM, Somerfield PJ. 1998. Free-living marine nematodes. Part III. Monhysterids. Synopsis of the British fauna (new series) N 53. Shrewsbury (UK): Field Studies Council. 296 p.
- Wieser W. 1953. Die Beziehung zwischen Mundhöhlegestalt, Ernährungsweise und Vorkommen bei freilebenden marinen Nematoden. *Ark Zoo*. 4:439-484.
- Wieser W. 1960. Benthic studies in Buzzards Bay. 2. The meiofauna. *Limnol Oceanogr*. 5(2):121-137. <https://doi.org/10.4319/lo.1960.5.2.0121>
- Zacagnini-Amaral AC, Nascimento-Cortez G, Rosa-Filho JS, Denadai MR, Colling LA, Borzone C, Veloso V, Pessoa-Omena E, Rosental-Zalmon I, Rocha-Barreira CA, et al. 2016. Brazilian sandy beaches: characteristics, ecosystem services, impacts, knowledge and priorities. *Braz J Oceanogr*. 64(spe2):5-16. <https://doi.org/10.1590/S1679-875920160933064sp2>