



VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE *Donax gemmula* (MOLLUSCA:
DONACIDAE) EM PRAIAS ARENOSAS DE ARACAJU, SERGIPE,
NORDESTE DO BRASIL

Caio Correia Régis da Silva

Mestrado acadêmico

São Cristóvão – SE

Agosto de 2026

CAIO CORREIA RÉGIS DA SILVA

**VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE *Donax gemmula* (MOLLUSCA:
DONACIDAE) EM PRAIAS ARENOSAS DE ARACAJU, SERGIPE,
NORDESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Cruz da Rosa
Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ana Paula Siqueira Dornellas

São Cristóvão – SE

Agosto de 2026

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, por tolerarem condições desfavoráveis para que eu tivesse, e tenha, todos os recursos que preciso para ser e estar, onde eu quiser e puder.

Agradeço aos meus familiares maternos, especialmente a minha avó Maurina, por me criarem em Aracaju nesses oito anos.

Agradeço Jônatas Chaves Silveira por ser o mais próximo que já tive de um irmão.

Agradeço Bruna dos Santos por ser amiga, e em muitos momentos que pensei em desistir, ter me apoiado na escolha de ser cientista.

Agradeço aos meus amigos, e família por escolha, que conheci na Praia Grande, Caique, Maria Laura, Samuel, Andrey, Talia e Victoria.

Agradeço aos meus amigos, e família por escolha, que conheci na Engenharia, Sabrine, Larissa (Coelho), Ícaro (Xicarus), Fernando Viana, Melissa e Emilly.

Agradeço aos amigos que fiz na UFS, em especial Vinicius e Raiane, os quais considero família.

Agradeço ao Prof. Dr. Leonardo Cruz da Rosa por ser meu orientador desde 2020, e em muitos momentos ter sido uma figura familiar e um amigo.

Agradeço a Prof. Dr^a Adriana Bocchiglieri pelo apoio em questões diversas em vários momentos, na Ecologia e no PPEC.

Agradeço a Prof. Dr^a. Ana Paula Siqueira Dornellas por ter me aceitado como orientando.

Agradeço ao Prof. Dr. Leandro de Sousa Souto, do Laboratório Ecologia de Insetos do Departamento de Ecologia da UFS, pelo apoio na Ecologia e no PPEC, e por permitir o uso do espaço e do microscópio para fotografia dos espécimes deste estudo.

Agradeço a José Victor Cachoeira Venâncio pela ajuda na coleta, triagem e organização dos dados. Agradeço Raiane Medeiros Torres e João Pedro Vieira Araújo pela ajuda na coleta e triagem. Agradeço a Saul e a Luis, Bruna dos Santos, Daniel da Paixão Menezes, Juliano Guerra de Castro, Sara Rani de Jesus da Silva e Gabriella Valentin de Oliveira pela ajuda na coleta.

Agradeço a Roberta Carvalhal, minha professora de Ciências do Fundamental 2, pelo meu primeiro contato com a Ecologia, desde antes de saber o que era, com uma aula de ornitocoria.

Agradeço à Prof. Dr^a Gabriela Macêdo Aretakis e à Prof. Dr^a Andrea Novelli, por ministrarem a disciplina de Ecologia enquanto eu estava matriculado na Engenharia Ambiental e Sanitária, e por me apoiarem a trocar de curso para Ecologia.

Agradeço a comunidade LGBTQIAPN+ pelos esforços para possibilitar que uma pessoa Trans não binária ocupe espaços.

Agradeço aos envolvidos em criar e manter o SISU, o sistema de cotas e de permanência estudantil que me possibilitaram entrar e me manter na universidade.

Agradeço a UFS pelo espaço, insumos e pelo transporte para um dos eventos de coleta, e ao PPEC/UFS pelos ensinamentos e pela bolsa PROAP.

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código Financeiro 001.

Este estudo foi realizado utilizando informações do Serviço Marinho Copernicus da UE <<https://doi.org/10.48670/moi-00051>>.

“Não quero faca nem queijo. Quero a fome”

Adélia Luzia Prado de Freitas, 1978

“O importante não é ser o primeiro ou
primeira, o importante é abrir caminhos”

Maria da Conceição Evaristo de Brito, 2021

RESUMO

As praias arenosas são ambientes altamente dinâmicos que dominam as costas continentais. O gênero *Donax* (Bivalvia: Tellinoidea: Donacidae) é um dos grupos taxonômicos mais comuns de praias brasileiras, e distribui-se sobretudo no entremarés e infralitoral raso de praias tropicais. *Donax gemmula* é a menor espécie do gênero que ocorre no sudoeste do Atlântico e foi a espécie dominante nas praias de Aracaju por vários anos. Contudo, o conhecimento sobre a ecologia da espécie encontra-se, em estudos sobre a macrofauna bentônica de praias conduzidos em regiões de clima temperado e subtropical. O presente estudo caracterizou a variação espaço-temporal da abundância e o comprimento máximo da concha (MSL) de *D. gemmula* da zona de varrido de praias arenosas de Aracaju, Sergipe, Nordeste do Brasil, e verificou se a abundância da espécie segue a variação das variáveis ambientais oceânicas, meteorológicas e morfodinâmicas em um sistema tropical. Oito pontos foram amostrados bimestralmente durante um ano (set/24-jul/25) nos ~23km de praias de Aracaju. Os espécimes foram identificados, contabilizados e medidos por limiarização. Variáveis ambientais foram medidas *in situ* e obtidas de bases online. A variação espaço-temporal da abundância foi analisada por PERMANOVA, seguida de PERMDISP e análises *post-hoc*. A relação da abundância com as variáveis ambientais medidas *in situ* foi analisada por LMM, com a data como fator aleatório. As variáveis ambientais apresentaram padrões temporais. Foram contabilizados 3482 indivíduos de *D. gemmula*. A abundância média variou espaço-temporalmente. A abundância média foi maior em janeiro e março, e menor em maio e julho de 2025. Apenas nos meses de janeiro e maio de 2025 foram detectadas diferenças espaciais na abundância média. O MSL variou de 1,52 a 8,7 mm, sendo janeiro e março os meses com maior MSL. Os juvenis foram dominantes (96,5%). O LMM indicou relação negativa entre a abundância e tamanho médio do grão. A abundância e tamanho encontrados estão dentro do intervalo da literatura, contrariando o padrão macroecológico de redução em direção aos trópicos. A abundância da espécie foi maior nos meses de maior temperatura, moderada vazão do rio Sergipe, menor clorofila-a no oceano (chl_a) e menor altura da onda; e foi menor nos meses de maior pluviosidade acumulada. A associação negativa com chl_a é contrária ao padrão de aumento de abundância com maior disponibilidade de alimentos. O estudo indica que padrões estabelecidos em praias subtropicais e temperadas não são diretamente generalizáveis populações tropicais de *D. gemmula*, indicando a relevância do contexto ambiental sobre a variação espacial e temporal da espécie.

Palavras-chave: Bivalvia; abundância; tamanho; macrofauna bentônica; Atlântico Sul.

ABSTRACT

Sandy beaches are highly dynamic environments that dominate continental coastlines. The genus *Donax* (Bivalvia: Tellinoidea: Donacidae) is one of the most common taxonomic groups on Brazilian beaches, distributed primarily in the intertidal and shallow infralittoral zones of tropical sandy shores. *Donax gemmula* is the smallest species of the genus in the southwestern Atlantic and was the dominant species on the beaches of Aracaju for several years. However, most ecological knowledge on this species comes from benthic macrofauna studies conducted in temperate and subtropical climates. The present study characterized the spatio-temporal variation in the abundance and maximum shell length (MSL) of *D. gemmula* in the swash zone of sandy beaches in Aracaju, Sergipe, northeastern Brazil, and assessed whether species abundance tracks the variation of oceanic, meteorological, and morphodynamic environmental variables in a tropical system. Eight sites along ~23 km of Aracaju's beaches were sampled bimonthly over one year (Sep/2024–Jul/2025). Specimens were identified, quantified, and measured through image thresholding. Environmental variables were measured *in situ* and retrieved from online databases. Spatio-temporal variation in abundance was analyzed using PERMANOVA, followed by PERMDISP and post-hoc analyses. The relationship between abundance and environmental variables was analyzed via LMMs, with date as a random factor. Environmental variables exhibited distinct temporal patterns. A total of 3,482 *D. gemmula* individuals were recorded. Mean abundance varied spatio-temporally, peaking in January and March, with the lowest values in May and July 2025. Spatial differences in mean abundance were detected only in January and May 2025. MSL ranged from 1.52 to 8.7 mm, with January and March showing the highest MSL values. Juveniles strongly dominated the population (96.5%). The LMM indicated a negative relationship between abundance and mean grain size. The observed abundance and size ranges fell within the values reported in the literature, contrasting with the macroecological pattern of reduction towards the tropics. Species abundance was higher in months characterized by higher temperatures, moderate flow discharge of the Sergipe River, lower oceanic chlorophyll-a (chl_a), and lower wave height; and was lower in months with higher accumulated rainfall. The negative association with chl_a contradicts the expected pattern of increased abundance with greater food availability. Overall, our findings suggest that patterns established for subtropical and temperate sandy beaches are not directly generalizable to tropical *D. gemmula* populations, highlighting the critical role of environmental context in driving the spatial and temporal variation of the species.

Keywords: Bivalvia; abundance; size; benthic macrofauna; South Atlantic.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	MATERIAL E MÉTODOS	6
2.1	Área de estudo.....	6
2.2	Amostragem de <i>Donax gemmula</i>	7
2.3	Variáveis ambientais.....	8
2.4	Dados bióticos	9
2.4.1	Fotografia e medição de <i>Donax gemmula</i>	9
2.5	Análise de dados	11
2.5.1	Variação espaço-temporal da abundância.....	11
2.5.2	Relação entre abundância e variável ambiental	12
2.6	Uso de ferramentas de inteligência artificial generativa.....	13
3	RESULTADOS	14
3.1	Variáveis ambientais.....	14
3.2	Estrutura do tamanho	14
3.3	Abundância	17
3.4	Relação entre abundância e variável ambiental	19
4	DISCUSSÃO.....	20
4.1	Estrutura do tamanho	20
4.2	Padrões temporais da abundância	22
4.3	Padrões espaciais da abundância	24
4.4	Limitações e estudos futuros.....	25
4.5	Considerações finais	26
	REFERÊNCIAS	27
	MATERIAL SUPLEMENTAR 1	35
	MATERIAL SUPLEMENTAR 2	49

1 INTRODUÇÃO

As praias arenosas são ambientes altamente dinâmicos que dominam as costas continentais (Rocha-Barreira & Rosa-Filho, 2023). A interação complexa de fatores como a ação das ondas, das marés e o tamanho do sedimento atua como o seu principal agente estruturador, determinando o seu estado morfodinâmico (McLachlan & Dorvlo, 2005; Klein & Short, 2023). Adaptadas a esses ambientes, as comunidades bentônicas apresentam variações de riqueza, abundância e tamanho corporal dos indivíduos em função de fatores físicos e biológicos que operam em diversas escalas espaciais e temporais (Defeo & McLachlan, 2005; Corte & Amaral, 2023). Ressalta-se que as comunidades são estruturadas primariamente pela resposta independente de cada espécie às condições físicas, seguindo a hipótese autoecológica, sendo as interações biológicas consideradas mínimas em ambientes de alta energia (Defeo & McLachlan, 2005; Rocha-Barreira & Rosa-Filho, 2023). Além disso, alterações de dinâmica populacional e de história de vida podem variar inclusive dentro de um mesmo grupo taxonômico (Defeo & McLachlan, 2005).

Espacialmente, a macrofauna bentônica de praias arenosas apresenta padrões estruturados em diferentes escalas, incluindo a macroescala (i.e., gradientes latitudinais) e a mesoescala (i.e., variações dentro de uma mesma praia) (Defeo & McLachlan, 2005; Corte & Amaral, 2023). Em macroescala, a transição de praias temperadas para tropicais é caracterizada por uma diminuição na abundância e no tamanho médio dos indivíduos (Cardoso & Veloso, 2003; Defeo & McLachlan, 2005; McLachlan & Dorvlo, 2005). Em mesoescala, a abundância da macrofauna bentônica é principalmente explicada por gradientes de fatores físicos, como a morfodinâmica, a exposição às ondas e a granulometria do sedimento (Defeo & McLachlan, 2005; Lercari & Defeo, 2006). De modo geral, praias mais largas, com sedimentos mais finos e maior dissipação de energia, características típicas de ambientes dissipativos, tendem a sustentar maiores abundâncias e biomassa (Defeo & McLachlan, 2005; McLachlan & Dorvlo, 2005).

Entre os principais grupos taxonômicos da macrofauna bentônica de praias arenosas, os crustáceos, moluscos e poliquetas dominam em abundância, biomassa e riqueza (Amaral et al., 2016). O filo Mollusca geralmente ocupa a segunda posição em riqueza e abundância, mas frequentemente se destacam como o grupo de maior biomassa, especialmente em ambientes mais protegidos, como baías, ou em praias dissipativas (Corte & Amaral, 2023). As classes Gastropoda e Bivalvia se destacam como as mais diversas nesse ambiente, tanto no Brasil quanto globalmente (Corte & Amaral, 2023). Dentre os bivalves das praias brasileiras, representantes das famílias Donacidae, Tellinidae e Veneridae estão entre os mais comuns

(Amaral et al., 2016; Corte & Amaral, 2023). A família Donacidae é adaptada a ambientes com intenso hidrodinamismo, sendo migradores mareais (Ansell, 1983; Domaneschi & Lopes 1988-1989). Além disso, constituem espécies-chave de praias arenosas por serem um elo, de nutrientes e de energia, entre o compartimento bentônico e o pelágico (Risoli et al., 2023; Defeo & McLachlan, 2025; Gadelha et al., 2026). Ao filtrar partículas suspensas e consumir o fitoplâncton da zona de arrebentação, atuam como uma via para a transferência da produção primária a níveis tróficos superiores, incluindo peixes, aves e predadores invertebrados (Cardoso & Veloso, 2003; Risoli et al., 2023; Gadelha et al., 2026). Em paralelo, atuam na ciclagem de nutrientes, por meio da regeneração de nitrogênio dissolvido, estimulando o crescimento de diatomáceas da zona de arrebentação, organismos base para comunidades planctônicas e bentônicas diversas (Defeo & McLachlan, 2025).

O gênero *Donax* Linnaeus, 1758 (Bivalvia: Tellinoidea: Donacidae) compreende 100 espécies (MolluscaBase, 2026), e distribui-se sobretudo em zonas entremarés e infralitorais rasas de praias tropicais (Ansell, 1983; Domaneschi & Lopes, 1988-1989). As espécies desse gênero são predominantemente filtradoras e apresentam conchas em formato de cunha, característica que favorece a escavação e o enterramento no sedimento (Ansell, 1983; Cardoso & Veloso, 2003). Seis espécies do gênero *Donax* foram registradas no Brasil: *Donax denticulatus* Linnaeus, 1758, *D. striatus* Linnaeus, 1767, *D. hanleyanus* R. A. Philippi, 1847, *D. vellicatus* Reeve, 1855, *D. gemmula* J. P. E. Morrison, 1971 e *D. trapesialis* Castro, P. A. Martinez, F. D. Passos, R. C. Marques & Dornellas, 2025 (Morrison, 1971; Passos & Domaneschi, 2004; Barroso et al., 2013; Passos et al., 2024; Castro et al., 2025). *D. gemmula* foi descrita para a praia do Cassino, Rio Grande do Sul, em 1971, apesar de ter sido registrado pela primeira vez como *D. obesa* A. d'Orbigny, 1846 em São Paulo, em 1897 (Morrison, 1971). A espécie ocorre também no Uruguai (Lercari et al., 2018), e no Brasil há registro para os estados do Ceará (Barroso et al., 2013), Sergipe (Rosa, 2021), Bahia (Ourives et al., 2011), Espírito Santo (Lavander et al., 2025), Rio de Janeiro (Andrade et al., 2014), São Paulo (Morrison, 1971), Paraná (Souza & Gianuca, 1995), Santa Catarina (Alves & Pezzuto 2009a) e Rio Grande do Sul (Morrison, 1971).

Donax gemmula é a menor espécie do gênero que ocorre no sudoeste do oceano Atlântico (Morrison, 1971; Passos et al., 2024), atingindo até 10.7 mm de comprimento máximo da concha (Castro et al., 2025). Caracterizada como uma espécie eurialina (Paes, 1989), ocorre geralmente em praias arenosas dissipativas, com maior abundância na zona de varrido (*swash zone*) (Neves et al., 2007; Alves & Pezzuto, 2009b; Neves & Bemvenuti, 2009; Rosa, 2021; 2022), caracterizada por ciclos alternados de imersão e exposição, resultante da ação dinâmica

das ondas (Masselink & Puleo, 2006), e na zona infralitoral ou de surfe (Paes, 1989; Borzone et al., 1996). A espécie apresenta adaptações comportamentais, como rápida escavação e enterramento, e “saltos” para deslocamento (Ansell, 1983), e morfológicas, como a concha lisa e formato de cunha, que favorecem a exploração desses ambientes expostos à ação das ondas (Ansell, 1983; Domaneschi & Lopes, 1988-1989; Passos & Domaneschi, 2004). Os indivíduos dessa espécie demonstram elevada atividade escavadora, com marcada protração do pé e dos sifões, contudo, o pequeno tamanho corporal permite que se enterrem apenas nos primeiros milímetros do sedimento, geralmente posicionados verticalmente (Passos & Domaneschi, 2004). Salienta-se que, apesar de ser uma característica de Donacidae, populações de *D. gemmula* podem não apresentar migração intermareal (Passos & Domaneschi, 2004). A espécie apresenta-se como consumidor primário e filtrador suspensívoro seletivo, alimentando-se principalmente de fitoplâncton e microalgas (Passos & Domaneschi, 2004), e constitui um dos principais alimentos disponíveis para peixes, aves marinhas, crustáceos e outros moluscos (Pinotti et al., 2014; Morton, 2016). Para peixes no Brasil, *D. gemmula* foi registrada como principal item alimentar de *Menticirrhus gracilis* (Cuvier, 1830) e entre os principais de *Polydactylus virginicus* (Linnaeus, 1758) (Knoeller et al., 2022), *Trachinotus carolinus* (Linnaeus, 1766) e *T. goodei* Jordan & Evermann, 1896 (Vaske Junior et al., 2018).

O conhecimento disponível sobre a ecologia de *Donax gemmula* encontra-se, predominantemente, em estudos sobre a macrofauna bentônica de praias (i.e., a nível de comunidades), conduzidos em regiões de clima temperado e subtropical. Consequentemente, as relações descritas entre a espécie e o ambiente são, em geral, inferidas a partir de padrões observados para a macrofauna, fora do contexto tropical. Para a espécie, existe um padrão temporal de relação positiva com a temperatura, com aumentos de abundância registrados durante o verão (e.g., Paes, 1989; Lavander et al., 2025), e uma possível relação positiva com a concentração de clorofila-a, um indicativo da disponibilidade de alimento (e.g., Paes, 1989), apesar de ser mais atribuída a abundância da macrofauna bentônica no geral (e.g. Neves & Bemvenuti, 2009; Pinotti et al., 2014). Adicionalmente, é reportado para *Donax* sp. a influência positiva de rios sobre a abundância, visto o transporte de materiais orgânicos dos mesmos (Ansell, 1983; Donn, 1987). Em contrapartida, reduções na salinidade podem gerar estresse fisiológico, diminuindo a sobrevivência da espécie, especialmente nas proximidades de corpos d'água adjacentes, como sangradouros (Paes, 1989; Ourives et al., 2011; Gandara-Martins et al., 2015), portanto não há um consenso sobre a influência dos rios para a espécie. Complementarmente, períodos de intensa pluviosidade e a passagem de frentes meteorológicas, que reduzem a salinidade local, também agravam o declínio populacional devido à remoção

dos indivíduos de onde estavam ancorados durante tempestades e ressacas (Paes, 1989; Alves & Pezzuto, 2009a; Gandara-Martins et al., 2015). Quanto às características morfodinâmicas, a abundância da espécie costuma ser maior em praias mais largas (e.g. Andrade et al., 2016), com sedimentos mais finos (e.g., Barros et al., 2001; Andrade et al., 2016) e maior dissipação de energia (e.g. Alves & Pezzuto, 2009a; Andrade et al., 2016). Por fim, fatores antrópicos, como pisoteio, limpeza mecanizada da areia, obras de infraestrutura e poluição, geralmente exercem influência negativa sobre a abundância de comunidades em que *D. gemmula* estava inserida (e.g., Corbisier, 1991; Vieira et al., 2012; Santos & Maia, 2021).

Dentro de uma mesma praia, os organismos da macrofauna bentônica apresentam distribuições em manchas (*patchiness*) e em zonas específicas, determinadas pela tolerância de cada espécie as oscilações nos níveis de maré (zonação) (Defeo & McLachlan, 2005; Schoeman et al., 2003). As agregações podem persistir ao longo do tempo, contudo as posições relativas dos agrupamentos variam, no tempo e no espaço, de acordo com a susceptibilidade de cada espécie às variações nas condições e recursos das praias (Defeo & McLachlan, 2005). Em praias dissipativas que sustentam altas densidades populacionais, os fatores ecológicos, especialmente os processos densidade-dependentes como a competição intraespecífica, podem se tornar mais relevantes na estruturação das populações (Defeo & McLachlan, 2005; Petracco et al., 2019). Essa pressão competitiva frequentemente resulta em uma partição espacial de nicho, na qual indivíduos de diferentes idades ocupam zonas distintas da praia para otimizar o uso de recursos (Ansell & McLachlan, 1980; Celentano et al., 2022). Embora os adultos realizem migrações mareais localizadas, a dispersão em larga escala de *Donax* sp. e a conectividade entre populações estão primariamente vinculadas à sua fase larval e ao assentamento secundário de juvenis, sendo a mobilidade dos indivíduos adultos insuficiente para promover deslocamentos entre praias distintas (Ansell, 1983; Defeo & McLachlan, 2005; Celentano et al., 2022). Salienta-se ainda a possibilidade de um mecanismo adicional de dispersão, por excreção de finos fios de bisso que permitem a flutuação e logo transporte do indivíduo por ondas e correntes, descrito para *D. vittatus* (da Costa, 1778) (Sigurdsson et al., 1976).

A variabilidade no recrutamento, principalmente de espécies com fase larval, é um processo que influencia os padrões populacionais em praias arenosas a curto e a longo prazo (Defeo & McLachlan, 2005). Flutuações na abundância são frequentemente impulsionadas pela estocasticidade ambiental, que afeta a sobrevivência larval e o assentamento, resultando em populações com dinâmica interanual variável (Rufino et al., 2018; Celentano et al., 2022). Populações de *Donax gemmula* são caracterizadas por alta variabilidade temporal em abundância, com um único pico populacional anual, ocorrendo durante o verão (e.g. Paes, 1989;

Corbisier, 1991; Barros et al., 2001; Andrade et al., 2016; Rosa, 2022). Apesar do consenso, alguns trabalhos sugerem que o pico populacional pode se deslocar para o início do outono (Neves et al., 2007; 2008; 2012), ou mesmo para o inverno (Vieira et al., 2012). Em Paes (1989), o maior comprimento da concha foi registrado nos meses de maior abundância, e a população foi dominada por juvenis, apresentando um padrão de recrutamento contínuo e prolongado (Paes, 1989; Paes et al., 1992). Contudo, estes estudos concentram-se nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, criando uma construção enviesada do conhecimento da espécie, considerando apenas as características destas regiões.

O litoral de Sergipe é caracterizado como uma região tropical com verões secos (Castelhano & Pinto, 2022), com temperaturas em torno de 26.4 ± 1 °C, sendo pronunciada a sazonalidade relativa à pluviosidade, com período chuvoso de abril a agosto (INMET, s.d.; médias de 1991-2020). Característico de águas oligotróficas tropicais, a produção primária é baixa (i.e., clorofila a do oceano < 2 mg/m³), sendo ligeiramente maior apenas na região nerítica e perto da foz dos rios (Feitosa et al., 2018). A deriva litorânea na região tem direção predominante para o sul (Bittencourt et al., 2002). As praias arenosas de Aracaju abrigam uma macrofauna bentônica com abundância inferior a observada no Sul e Sudeste do Brasil (Rosa, 2021; 2022), refletindo o gradiente latitudinal de abundância estabelecido para macrofauna bentônica de praias arenosas (Defeo & McLachlan, 2005; Corte & Amaral, 2023). Nesse recorte tropical, *Donax gemmula* destaca-se como a espécie dominante (Rosa, 2021; 2022), com picos de abundância durante o período quente e seco (Rosa, 2022). Contudo, o conhecimento sobre a espécie permanece enviesado por estudos em latitudes temperadas e subtropicais, onde as flutuações populacionais são reguladas por invernos rigorosos e florações massivas de diatomáceas de zona de surfe (Paes, 1989; Pinotti et al., 2014). Em sistemas tropicais, entretanto, as populações podem responder a filtros ecológicos distintos. Apesar das praias de Aracaju serem predominantemente dissipativas (Klein & Short, 2023), é possível que a abundância de *D. gemmula* varie em função de alterações sutis na morfodinâmica local, da distribuição em manchas (*patchiness*) (Defeo & McLachlan, 2005), da possível migração sazonal ou transporte passivo por eventos meteorológicos (e.g. Paes, 1989; Alves & Pezzuto, 2009a), da influência das descargas fluviais e de diferentes graus de uso e ocupação das praias (Rosa, 2021; 2022). Diante desse contexto, torna-se necessário avaliar se os padrões ecológicos estabelecidos para a macrofauna bentônica, assim como aqueles descritos para *D. gemmula* em latitudes temperadas e subtropicais, são generalizáveis para ambientes tropicais.

Nesse sentido, o arco de praias arenosas dissipativas de Aracaju, Sergipe, Nordeste do Brasil, limitado por dois rios localizados em extremos opostos, configura um sistema modelo

relevante para investigar como esses padrões de diferentes escalas interagem sob condições tropicais, contribuindo para reduzir lacunas no entendimento tanto da ecologia da espécie quanto da ecologia de praias arenosas. O objetivo do presente estudo foi caracterizar a variação espaço-temporal da abundância e o comprimento máximo da concha de *Donax gemmula* da zona de varrido de praias arenosas de Aracaju, Sergipe, Nordeste do Brasil, e verificar se a abundância da espécie segue a variação das variáveis ambientais oceânicas, meteorológicas e morfodinâmicas em um sistema tropical. Foram testadas as seguintes hipóteses: (H1) maiores abundâncias de *D. gemmula* ocorrem nos meses de maior temperatura e menor pluviosidade, dadas as associações positiva e negativa, respectivamente, dessas variáveis com a abundância da espécie; (H2) a abundância da espécie é maior em praias próximas à desembocadura do Rio Sergipe em relação às mais distantes, em razão do aporte alimentar fluvial e da deriva para o sul; (H3) os indivíduos juvenis serão dominantes, devido ao recrutamento contínuo e prolongado da espécie.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O litoral de Sergipe é composto por 163 km de praias arenosas, em sua maioria dissipativas (Klein & Short, 2023), e em sua porção central abriga a capital do estado (município de Aracaju) e sua região metropolitana, correspondendo ao trecho litoral de maior urbanização (Dominguez et al., 2016; Santos et al., 2020). A costa é predominantemente atingida por ondas com altura entre 1 e 2 metros e período de 6 a 8 segundos, provenientes da direção leste-sudeste (Pianca et al., 2010). O regime de marés é semidiurno, com amplitude máxima atingindo 2,6 metros (Dominguez et al., 2016). A deriva litorânea na região tem direção predominante para o sul (Bittencourt et al., 2002). A costa de Sergipe enquadra-se no tipo climático "As" segundo a classificação de Köppen, típico de regiões tropicais com verões secos (Castelhano & Pinto, 2022), temperatura média de $26,4 \pm 1$ °C com a estação chuvosa ocorrendo entre os meses de abril e agosto (INMET, s.d.; médias de 1991-2020).

A área de estudo compreendeu um arco praial de aproximadamente 23 km de extensão, localizado entre os rios Sergipe (ao norte) e Vaza-Barris (ao sul), no qual se localiza o município de Aracaju. Ao longo desse arco foram estabelecidos oito pontos (P1-P8, Figura 1), espaçados entre 1,3 e 3,3 km. Toda a faixa de praia de Aracaju é contígua a uma via rodoviária, com estacionamentos, ciclovia e passarela. As praias P1-P4 representam a área menos urbanizada da capital, cercadas por alguns condomínios residenciais, menos frequentadas, sem presença de comércio itinerante, mas com quiosques pontuais nas passarelas. A praia P5 apresenta uma zona

intermediária de ocupação humana, sem residências imediatas, nem vendedores itinerantes ou quiosques fixos, mas com limpeza manual diária da faixa de areia. Os pontos P6-P8 estão dentro da zona mais urbanizada da capital, cercada por prédios e estabelecimentos comerciais, com passarela com diversas infraestruturas, maior frequência de ocupação da praia (cadeiras e mesas na faixa de areia), realização de diversos eventos, comércio itinerante e limpeza mecanizada diária (Rosa 2021, 2022, 2025). Salienta-se que as praias P6-P8 apresentam um desnível/slope maior do que as demais praias (observação pessoal, 2024-2025).

Figura 1 - Área de estudo com indicação dos pontos amostrais (círculo vermelho, P1-P8), Aracaju, Sergipe, Nordeste do Brasil.



2.2 Amostragem de *Donax gemmula*

Os oito pontos foram amostrados bimestralmente ao longo de um ano, iniciando em setembro de 2024 e finalizando em julho de 2025, nos períodos baixamar de sizígia. Em cada ponto amostral foi delimitada uma área de 10 metros de extensão englobando a zona de varrido, e a de ressurgência quando presente, onde foram coletadas 10 amostras de modo não probabilístico com o auxílio de um amostrador cilíndrico de PVC (200 mm de diâmetro por 200 mm de profundidade, ~0,031m² de área amostral). Cada amostra foi lavada *in situ* em um

saco de malha de 0,5 mm de abertura, sendo o material retido acondicionado em sacos plásticos devidamente identificados e fixado em álcool 70%, e em seguida enviado para triagem em laboratório. Durante cada amostragem também era medida a largura do entremarés e da zona de varrido. As coletas dos organismos foram autorizadas pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO Número 32380/1), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), Brasil.

2.3 Variáveis ambientais

Em cada coleta, a largura da praia foi medida da linha da maré alta (*drifline*) até o limite inferior de recuo máximo das ondas no horário previsto para a maré mais baixa de sizígia (DL_SZL), adaptado de Rosa-Filho et al. (2015), sendo este decomposto em largura da zona de varrido (somada a de ressurgência quando presente) (SZL_R), e a largura da *drifline* até a zona de varrido (DL), expressas em metros. Em cada praia, na região central da área padronizada para amostragem, foi coletada uma amostra de sedimento para análise granulométrica. O tamanho médio do grão foi obtido por peneiramento de amostra de sedimento seca, seguindo Suguio (1973) para metodologia, e Wentworth (1922) para escala de tamanho de grão. Os dados obtidos foram computados de acordo com as equações de Folk & Ward (1957) e os resultados foram expressos em micrômetros.

A altura da maré (TH), expressa em metros, no momento da amostragem de cada ponto foi obtida da estação de Aracaju. A altura e período da onda (WH e WP), expressa em metros e em segundos respectivamente, foram obtidas de Surf guru (2026), sendo utilizada a estação “praia dos Artistas (Havaizinho)” para P8, “praia Atalaia” para P7 e P6, “praia Aruana” para P5 e P4, “praia do Refúgio” para P3, “praia Orla Por do Sol” para P2 e “praia do Mosqueiro” para P1, escolhidas por serem as estações mais próximas de cada ponto. Os dados de vazão do rio Sergipe (SRf), expresso em metros cúbicos por segundos, foram obtidos da estação 50080000 do Sistema de Informações Hidrológicas (SIRH) da ANA (2025). Os dados de temperatura do ar (T), expresso em graus celsius, foram obtidos da estação meteorológica do Aeroporto de Aracaju, 83095 (10°58'59.9"S 37°04'00.1"W) através da base de dados Meteostat (Meteostat, 2025). A pluviosidade (Rain), expressa em milímetros, foi obtida da estação Aracaju A409 através de INMET (2025).

Para as variáveis oceânicas, a fim de garantir consistência na seleção dos pixels oceânicos, as coordenadas de cada ponto foram deslocadas 500 m em azimute de 125°. Os dados diários de salinidade superficial do oceano (SSS) foram obtidos do produto global de

salinidade superficial do oceano do Copernicus Marine Service, conjunto “cmems_obs-mob_glo_phy-sss_nrt_multi_P1D”, que fornece observações diárias em grade global com resolução espacial de $1/8^\circ$ (CMEMS, 2025). Para P1 e P8, as localizações originais permaneceram inseridas na mesma célula com valores ausentes, mesmo após o teste de buffers de até 10 km; assim, esses pontos foram representados pelos pontos vizinhos válidos mais próximos (P2 para P1 e P7 para P8). Os dados de concentração superficial de clorofila-a do oceano (chl), expressa em mg/m^3 , foram obtidos do produto global da NASA Ocean Color, Aqua MODIS Level-3 Mapped Chlorophyll (CHL), versão 2022.0, acessado por meio da plataforma Giovanni e referenciado no catálogo da NASA Earthdata sob o conceito C3380709133-OB_CLOUD (NASA, 2025). Esse conjunto fornece composições a cada 8 dias em grade global, com resolução espacial nominal de 4 km. Cada ponto amostral foi utilizado como referência para a extração da célula válida mais próxima. Para isso, foi aplicada uma janela espacial fixa ao redor das coordenadas deslocadas e, dentro dessa vizinhança, apenas pixels com valor válido foram considerados. A seleção final de cada observação foi limitada a uma distância máxima de 3 km em relação ao ponto amostral, de modo a evitar o uso de células espacialmente distantes ou pouco representativas. Entre os pixels válidos elegíveis, foi escolhido aquele com a menor distância geodésica até o ponto de interesse. A extração e o processamento dos dados de salinidade e clorofila-a foram realizados em Python, no Google Colab (2026).

2.4 Dados bióticos

Em laboratório, as amostras foram lavadas em água corrente em uma peneira de 0,5 mm, sendo o material restante retido para triagem com auxílio de microscópio estereoscópico e conservado em álcool 70%. Os espécimes de coletados foram identificados a nível de espécie, utilizando chaves taxonômicas de literatura especializada e consulta à especialistas, quantificados, fotografados e medidos por limiarização (*thresholding*) para obtenção do comprimento máximo da concha, expresso em milímetros (MSL). Todos os organismos coletados, de *Donax gemmula* e espécies associadas, estão depositados na coleção do Laboratório de Ecologia Bentônica (LEB) do Departamento de Engenharia de Pesca e Aquicultura (DEPAq) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

2.4.1 Fotografia e medição de *Donax gemmula*

Os espécimes de *Donax gemmula* foram fotografados utilizando um estereomicroscópio BelPhotonics equipado com uma câmera digital BelPhotonics de 3 MP. Os espécimes de cada

amostra foram colocados em uma placa de Petri preenchida com álcool 70% e iluminados exclusivamente por baixo. Uma folha de papel milimetrado foi posicionada no fundo da placa de Petri, por dentro da placa, para servir como referência de escala. Devido ao pequeno tamanho dos indivíduos coletados (i.e., < 9 mm) e à sua fragilidade, o manuseio dos espécimes representava um risco de quebra da concha. Consequentemente, não separamos as valvas individualmente para fotografia e medição. Um protocolo de posicionamento padronizado foi, portanto, criado, no qual todos os espécimes foram colocados com a valva direita voltada para baixo, servindo como base durante a aquisição de imagens e procedimentos subsequentes. Indivíduos com conchas quebradas ou abertas devido ao manuseio, bem como aqueles com epibiontes que impediam o posicionamento adequado, não foram fotografados. O foco e a iluminação do microscópio foram ajustados manualmente para cada fotografia a fim de garantir a maior nitidez da imagem. As imagens foram capturadas usando o BelView 7.1.1.2 (BEL Engineering, 2024) e exportadas em formato TIFF (2048×1536 pixels) para evitar artefatos de compressão. Durante a aquisição, a função de aprimoramento de cor (*color enhancement*) foi aplicada, com a saturação definida para o valor máximo (20), enquanto o contraste, o gama e a exposição foram ajustados manualmente para cada fotografia a fim de otimizar a visualização do contorno da concha.

O processamento das fotografias e medições dos espécimes foram realizados utilizando o Digimizer versão 6.5.0 (MedCalc Software, 2024). A unidade de medida foi estabelecida usando a ferramenta Unit, medindo-se a borda superior do quadrado do papel milimetrado posicionado mais próximo ao centro da imagem e definindo-o como 1 mm. A seguinte sequência de processamento foi aplicada: na aba Image, Contrast Auto Fix para ajuste automático de contraste e Despeckle para redução de ruído sal-e-pimenta; dentro das opções Filters da aba Image, um filtro Median (tamanho do filtro variando de 3 a 7), selecionado conforme a necessidade de redução de ruído enquanto preservava as fronteiras dos objetos; seguido pela conversão para tons de cinza (Convert to Grayscale) e uma segunda aplicação de Contrast Auto Fix. Após o aprimoramento da imagem, as imagens foram submetidas à segmentação manual (i.e., limiarização, aba Binary, Binarization), com o threshold ajustado visualmente para alcançar delimitação precisa dos contornos. Em casos em que não foi possível definir os contornos de todos os indivíduos dentro de uma única imagem durante a binarização, a imagem foi cortada (cropped) e o procedimento inteiro foi repetido para cada espécime individualmente. As medidas dos espécimes foram então obtidas na mesma aba usando a função Analyze Objects. O único parâmetro obtido foi o comprimento máximo da concha, correspondente à medida de comprimento (Length). O crescimento da concha de *Donax*

gemma não envolve apenas um aumento no comprimento máximo, mas também alargamento lateral, logo apenas a dimensão linear máxima (i.e., comprimento) foi considerada para fins analíticos no presente estudo. É importante notar, no entanto, que devido ao protocolo adotado (i.e., a inclinação da concha durante a fotografia) combinado com o crescimento lateral da espécie, o comprimento máximo amostrado subestima sistematicamente o comprimento máximo da concha. Este erro padronizado de medida aumenta proporcionalmente com o tamanho da concha, tal que conchas maiores tendem a exibir maior desvio do seu comprimento máximo real. Toda a aquisição, processamento e medidas das imagens foram realizadas pelo autor.

Os indivíduos medidos foram classificados em duas classes de tamanho, juvenis e adultos, com base em limiares de tamanho derivados proporcionalmente a partir dos parâmetros histológicos estimados por Paes (1989) para populações de *Donax gemmula* no Rio Grande do Sul na Praia do Cassino. Paes (1989) identificou o tamanho de primeira maturação sexual ($L_{50} = 3,72$ mm, IC 95%: 3,15-4,28 mm), estimado por regressão logit sobre a frequência acumulada de indivíduos em estágio reprodutivo II ou superior, em relação ao comprimento máximo assintótico ($L_{\infty} = 7,20$ mm) daquela população. Como o maior comprimento observado na presente amostragem foi de 8,7 mm, superior ao registrado por Paes (1989, 6,63 mm) e indicativo de um L_{∞} maior, os limiares foram recalculados proporcionalmente, preservando as razões L_{50}/L_{∞} (0,5160) originais. O L_{∞} local foi estimado como o maior comprimento observado dividido por 0,95 ($L_{\infty} = 9,16$ mm). O limiar resultante foi $L_{50} = 4,73$ mm, definindo as classes como juvenis ($<4,73$ mm) e adultos ($\geq 4,73$ mm). A densidade de cada amostra e o MSL dos espécimes foram agrupados por praia e por coleta (i.e., mês e ano).

2.5 Análise de dados

2.5.1 Variação espaço-temporal da abundância

Todas as análises foram realizadas com base em um delineamento composto por oito pontos de coleta, seis datas de amostragem e 10 réplicas por célula (ponto x data). Para analisar a variação espaço-temporal na abundância de *Donax gemmula*, inicialmente, as diferenças na abundância de *Donax gemmula* entre pontos (fator fixo) e datas (fator fixo) foram testadas por meio de uma Análise de Variância Permutacional (PERMANOVA; Anderson, 2001), incluindo a interação ponto x data. As matrizes de distância foram calculadas utilizando a dissimilaridade Euclidiana, equivalente a uma ANOVA univariada, porém com valores de p obtidos por 9.999 permutações. A homocedasticidade dos grupos foi avaliada pela Análise de Dispersão Multivariada Permutacional (PERMDISP) separadamente para cada fator (Anderson, 2006), e

os efeitos principais significativos ($p \leq 0,05$) foram investigados por meio de comparações pareadas post hoc. As comparações pareadas foram conduzidas em três etapas. Primeiro, a variação temporal da abundância entre meses foi avaliada com permutações estratificadas por ponto (bloco), controlando o efeito espacial. Em seguida, para identificar como a abundância de cada ponto variava no tempo, as datas foram comparadas dentro de cada ponto separadamente, utilizando apenas as observações daquele ponto com permutações livres no subconjunto. Por fim, para detectar diferenças espaciais em cada evento de amostragem, os pontos foram comparados dentro de cada data com permutações livres. Em todas as comparações, foram utilizadas a distância Euclidiana e 9.999 permutações, e os valores de significância foram ajustados pelo procedimento de Benjamini-Hochberg (Benjamini & Hochberg, 1995; Benjamini & Yekutieli, 2001).

A PERMANOVA global foi executada no PRIMER 6 versão 6.1.13, com o módulo PERMANOVA+ versão 1.0.3 (Anderson et al., 2008). O PERMDISP e as PERMANOVAs pareadas foram realizados com funções do pacote vegan, especialmente adonis2 e betadisper (Oksanen et al., 2024). As estruturas de permutação restrita empregadas nas comparações temporais independentes dos pontos foram definidas com o pacote permute (Simpson et al., 2022). A agregação de dados por ponto e data foi realizada com o pacote dplyr, utilizado para a manipulação e sumarização de tabelas de abundância (Wickham et al., 2023). Todas as análises foram realizadas no ambiente R, versão 4.5.1 (R Core Team, 2025).

2.5.2 Relação entre abundância e variável ambiental

Todas as análises foram realizadas com base em um delineamento composto por oito pontos de coleta, seis datas de amostragem e 10 réplicas por célula (ponto x data). Modelos lineares mistos (LMM) foram utilizados para testar hipóteses das relações entre a abundância média de *Donax gemmula* e variáveis ambientais medidas *in situ*, sendo elas largura da praia e suas decomposições (DL, SLZ_R e DL_SLZ) e tamanho médio do grão (GS), que apresentaram um valor único por amostra. Embora as outras variáveis tenham sido consideradas, não foi realizada modelagem para relacioná-las à abundância, devido ao número reduzido de valores únicos por tempo (i.e., dois a três valores únicos por mês, relativos ao dia da coleta), e ao baixo número de amostras independentes por unidade temporal, o que limitaria a robustez da inferência e aumentaria o risco de estimativas instáveis ou superajuste.

A estrutura do modelo incluiu data (mês) como efeito aleatório de intercepto, representado por (1|date), de modo a capturar a variação temporal não explicada pelas variáveis testadas e evitar pseudorreplcação temporal (Hurlbert, 1984; Stewart-Oaten et al., 1986). A

escolha da escala da variável resposta foi definida por comparação entre modelos nulos ajustados com abundância bruta e com abundância transformada por $\log(x+1)$. Para essa decisão, foram comparados o Critério de Informação de Akaike corrigido para pequenas amostras (AICc) (Hurvich & Tsai, 1989; Burnham & Anderson, 2002), além de diagnósticos baseados em resíduos simulados, incluindo inspeção visual da distribuição residual, teste de dispersão, teste de uniformidade e verificação de outliers (Nobre & Singer, 2007; Bolker et al., 2009). O modelo com $\log(N+1)$ apresentou AICc substancialmente menor do que o modelo com abundância bruta, além de melhor aproximação à normalidade dos resíduos, embora ainda com desvio estatisticamente detectável, sendo então adotada como resposta para os modelos subsequentes. Cada variável ambiental foi testada em um modelo misto univariado. Os efeitos fixos foram compostos por uma única variável ambiental por vez, permitindo avaliar sua associação com a abundância independentemente da sazonalidade e de outras fontes de variação entre campanhas (Zuur et al., 2009; Bolker et al., 2009). Adequação dos modelos foi avaliada como descrito anteriormente.

Os modelos lineares mistos foram ajustados com a função `lmer()` do pacote `lme4` (Bates et al., 2015), com suporte do pacote `lmerTest` para obtenção dos valores de p por aproximação de Satterthwaite (Kuznetsova et al., 2017). O AICc foi calculado com a função `AICc()` do pacote `MuMIn` (Bartoń, 2024). Os diagnósticos dos modelos foram realizados com o pacote `DHARMA` (Hartig, 2024), enquanto a inspeção visual adicional dos ajustes foi feita com funções do pacote `performance` (Lüdtke et al., 2021). A manipulação e organização dos dados foram realizadas com funções da base do R e, quando necessário, com ferramentas do `tidyverse` (Wickham et al., 2019). Todas as análises foram conduzidas no ambiente R, versão 4.5.1 (R Core Team, 2025).

2.6 Uso de ferramentas de inteligência artificial generativa

Ferramentas de inteligência artificial generativa foram utilizadas em etapas do desenvolvimento deste trabalho, em conformidade com a Portaria CNPq nº 2.664/2026. O assistente Perplexity Pro (Perplexity AI) foi empregado no auxílio à elaboração de scripts em Python para serem utilizados no Google Colab (2026) para obtenção de dados de bases de dados online (CMEMS, 2025; NASA, 2025) e em R para análise de dados. Todo o conteúdo gerado foi criticamente revisado, editado e validado pelo autor, que assume integral responsabilidade pela acurácia, originalidade e integridade do material final.

3 RESULTADOS

3.1 Variáveis ambientais

Todas as variáveis ambientais apresentaram variação temporal, exceto a salinidade, cuja amplitude entre as datas foi de apenas 0,3 ups (Tabela 1). De modo geral, os meses de setembro e novembro de 2024 caracterizaram-se por praias mais largas (DL_SZL), maior tamanho médio do grão (GS), menor vazão do Rio Sergipe (SRf) e menor pluviosidade acumulada (Rain). Em contraste, janeiro e março de 2025 apresentaram menores larguras da zona de varrido e ressurgência (SZL_R), ondas mais baixas (WH), menores concentrações de clorofila-a (chl) e maiores temperaturas do ar (T). A pluviosidade acumulada atingiu os maiores valores em maio e julho de 2025.

Tabela 1 - Médias $\pm$ desvio padrão das variáveis ambientais por data de amostragem, calculadas sobre os oito pontos amostrais das praias de Aracaju, Sergipe, Nordeste do Brasil. DL: distância da driftline até a zona de varrido (m); SZL_R: largura da zona de varrido e ressurgência (m); DL_SZL: largura total da praia (i.e., DL+SZL_R) (m); GS: tamanho médio do grão do sedimento (μm); WH: altura de onda (m); WP: período de onda (s); SRf_30: média da vazão do rio Sergipe nos 30 dias anteriores à amostragem (m^3/s); chl_30: média da concentração de clorofila-a nos 30 dias anteriores à amostragem (mg/m^3); SSS_avg30: média da salinidade superficial do oceano nos 30 dias anteriores à amostragem (ups); Rain_a30: pluviosidade acumulada nos 30 dias anteriores à amostragem (mm); Tavg_30: temperatura média do ar nos 30 dias anteriores à amostragem ($^{\circ}\text{C}$).

Variable	set/24	nov/24	jan/25	mar/25	may/25	jul/25
DL (m)	114,1 $\pm$ 43,6	97,2 $\pm$ 40,9	92,5 $\pm$ 28,5	82,6 $\pm$ 26,3	67,4 $\pm$ 36,2	62,2 $\pm$ 34,5
SZL_R (m)	59,6 $\pm$ 31,6	56,1 $\pm$ 41,8	26,8 $\pm$ 17,9	36,1 $\pm$ 15,7	55,2 $\pm$ 22,7	56,1 $\pm$ 22,0
DL_SZL (m)	173,6 $\pm$ 31,2	153,3 $\pm$ 19,8	119,2 $\pm$ 20,4	118,8 $\pm$ 13,9	122,6 $\pm$ 18,3	118,3 $\pm$ 28,4
GS (μm)	217,2 $\pm$ 56,0	224,3 $\pm$ 67,6	197,3 $\pm$ 32,7	190,8 $\pm$ 34,4	191,8 $\pm$ 42,2	191,3 $\pm$ 23,7
WH (m)	1,0 $\pm$ 0,0	0,9 $\pm$ 0,1	0,6 $\pm$ 0,1	0,6 $\pm$ 0,0	1,0 $\pm$ 0,1	1,1 $\pm$ 0,1
WP (s)	9,6 $\pm$ 0,5	7,5 $\pm$ 1,4	10,0 $\pm$ 3,2	7,5 $\pm$ 1,4	10,5 $\pm$ 0,9	7,5 $\pm$ 0,5
SRf_30 (m^3/s)	28,1 $\pm$ 1,4	7,2 $\pm$ 0,2	83,2 $\pm$ 31,1	40,1 $\pm$ 0,0	57,1 $\pm$ 0,4	146,6 $\pm$ 5,3
chl_30 (mg/m^3)	4,02 $\pm$ 0,51	3,4 $\pm$ 0,09	2,29 $\pm$ 0,94	2,7 $\pm$ 1,01	3,18 $\pm$ 0,84	5,12 $\pm$ 0,53
SSS_avg30 (ups)	37,2 $\pm$ 0,0	36,9 $\pm$ 0,0	37,0 $\pm$ 0,0	37,1 $\pm$ 0,0	36,9 $\pm$ 0,0	37,1 $\pm$ 0,0
Rain_a30 (mm)	5,8 $\pm$ 0,0	7,5 $\pm$ 1,6	78,7 $\pm$ 0,7	58,0 $\pm$ 4,9	377,2 $\pm$ 8,1	279,8 $\pm$ 5,1
Tavg_30 ($^{\circ}\text{C}$)	26,1 $\pm$ 0,0	27,1 $\pm$ 0,0	27,9 $\pm$ 0,0	28,1 $\pm$ 0,0	26,8 $\pm$ 0,1	24,9 $\pm$ 0,1

3.2 Estrutura do tamanho

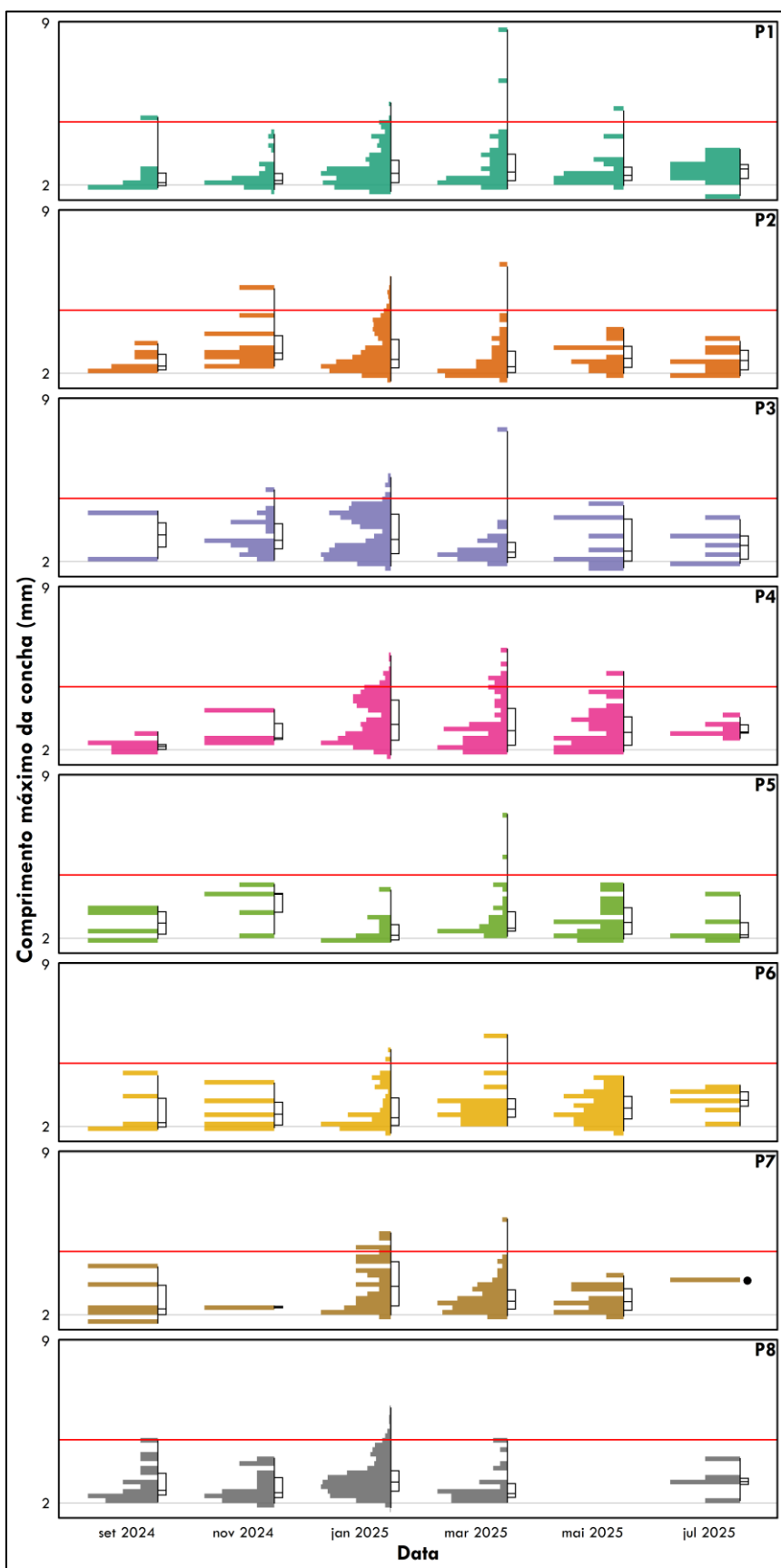
Dos 3.189 indivíduos avaliados ($\sim 91,5\%$ dos coletados), o comprimento máximo da concha variou de 1,52 a 8,7 mm, sendo janeiro e março os meses com maior comprimento máximo de concha (MSL = $3.02 \pm 0,87\text{mm}$; $2,85 \pm 0,97\text{mm}$, respectivamente). Os juvenis foram dominantes (96,5%), e os adultos escassos (115 ind., $\sim 3,5\%$), presentes sobretudo em janeiro e março de 2025. A proporção de juvenis superou 86% em todas as amostras, e os adultos foram ausentes em aprox. 45% das amostras (i.e., 21 amostras). Agrupando por mês, não houve adultos em julho (MSL = $2,76 \pm 0,57\text{mm}$), e a menor proporção de juvenis foi de 94,8% (MSL = $2,85 \pm 0,97\text{mm}$), em março de 2025 (Figura 2; Tabela 2). Agrupando por ponto, as maiores

proporções de adultos foram encontradas no P4 (7,8%, 32 ind.), P2 (3,5%, 21 ind.) e P8 (3,4%, 35 ind.).

Tabela 2 - Média e desvio padrão do comprimento máximo da concha e proporção etária de *Donax gemmula* J. P. E. Morrison, 1971, das praias de Aracaju, Sergipe, Nordeste do Brasil, por data de amostragem. n_total: número total de indivíduos medidos. prop_j: proporção de juvenis. prop_a: proporção de adultos. m_MSL_j: média do comprimento máximo da concha (MSL) de juvenis. dp_MSL_j: desvio padrão do MSL de juvenis. m_MSL_a: média do MSL de adultos. dp_MSL_a: desvio padrão do MSL de adultos.

Data	n_total	prop_j	prop_a	m_MSL_j	dp_MSL_j	m_MSL_a	dp_MSL_a
set/24	59	0,983	0,017	2,575	0,71	4,934	NA
nov/24	146	0,986	0,014	2,67	0,676	5,388	0,391
jan/25	2391	0,962	0,038	2,933	0,762	5,19	0,374
mar/25	362	0,948	0,052	2,684	0,647	5,83	1,128
mai/25	175	0,989	0,011	2,764	0,673	5,303	0,122
jul/25	56	1	0	2,761	0,578	NA	NA

1 Figura 2 - Comprimento máximo da concha (mm) de *Donax gemmula* J. P. E. Morrison, 1971, das praias de
 2 Aracaju, Sergipe, Nordeste do Brasil, por ponto de coleta (P1–P8) no tempo. As barras representam classes de
 3 tamanho de 0.2 mm. As distribuições representam a frequência relativa dos comprimentos máximos observados
 4 em cada amostra. A linha vermelha horizontal marca o limite de comprimento entre juvenis e adultos (4,73 mm).



3.3 Abundância

Ao todo, foram contabilizados 3482 indivíduos de *Donax gemmula*. A abundância média variou significativamente entre os pontos (PERMANOVA pseudo-F = 19.1, $p(\text{perm}) < 0.001$) e ao longo dos meses (pseudo-F = 115.1, $p(\text{perm}) < 0.001$), bem como apresentou uma interação significativa entre pontos e meses (pseudo-F = 20.3, $p(\text{perm}) < 0.001$). Os componentes de variação estimados indicaram que a interação representou a maior fonte de variação na abundância ($S(\text{Daxsi}) = 214,12$), correspondendo a aproximadamente 42% da partição total dos componentes de variação estimados, indicando a maior magnitude de efeito no modelo. Esse resultado sugere que a resposta temporal da abundância não foi consistente entre os pontos amostrados. O efeito temporal isolado ($S(\text{Da}) = 157,91$) foi a segunda maior fonte de variação (~31%), indicando que, independentemente do ponto amostral, a abundância variou de forma expressiva ao longo do tempo. O efeito espacial entre pontos ($S(\text{si}) = 33,51$), de forma isolada, foi relativamente baixo (~6%), sugerindo que as diferenças entre os pontos contribuem pouco para explicar a variação. A variação residual ($V(\text{Res}) = 110,67$) correspondeu a cerca de 21% da variabilidade, refletindo heterogeneidade local, erro amostral ou a influência de fatores ecológicos não contemplados no delineamento experimental. Diferenças significativas na heterogeneidade de dispersão (PERMDISP: entre pontos, $F = 5,35$, $p < 0,001$; entre meses, $F = 39,82$, $p < 0,001$) sugerem que parte da variabilidade detectada pela PERMANOVA pode refletir diferenças na dispersão intra-grupo.

Os meses de maior abundância foram janeiro ($\sim 1,045 \pm 1,160$ ind./m²) e março de 2025 ($\sim 160 \pm 75$ ind./m²), enquanto os menores valores foram em maio e julho ($\sim 25 \pm 10$ ind./m²) (Figura 3). Janeiro de 2025 apresentou abundância média significativamente maior que a dos demais meses (p ajustado < 0.04), exceto de março de 2025. Este, por sua vez, apresentou valores superiores aos de setembro de 2024 e junho de 25 (p ajustado = 0.023). Em relação a variação espacial, apenas nos meses de janeiro e maio de 2025 foram detectadas diferenças significativas na abundância média de *Donax gemmula* entre pontos (p ajustado < 0.04). Em janeiro de 2025, P8 ($\sim 3620 \pm 1636$ ind./m²) apresentou maior densidade média, seguido das praias P1-P4 ($\sim 1040 \pm 620$ ind./m²) e P5-P7 ($\sim 195 \pm 180$ ind./m²). Já em maio de 2025, foi observado um pico de abundância em P6 ($\sim 170 \pm 95$ ind./m²), e em P8 houve ausência da espécie (Figura 4). Os resultados completos das PERMANOVAs e PERMDISP estão no material suplementar 1.

Figura 3 - Densidade média e desvio padrão (ind./m²), por mês, de *Donax gemmula* J. P. E. Morrison, 1971 das praias de Aracaju, Sergipe, Nordeste do Brasil.

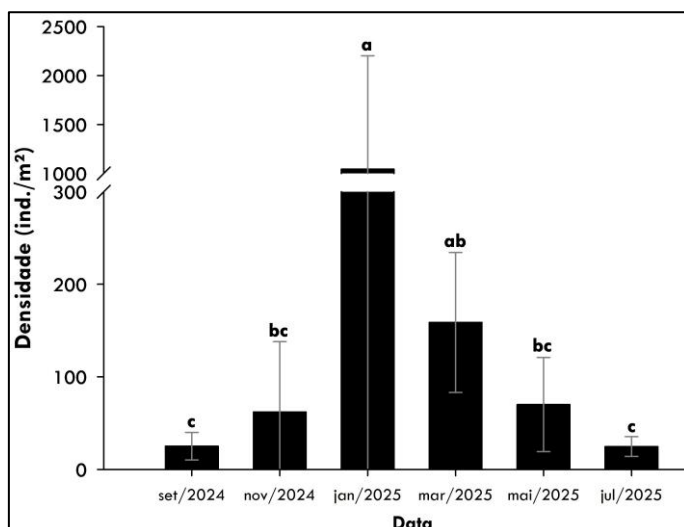
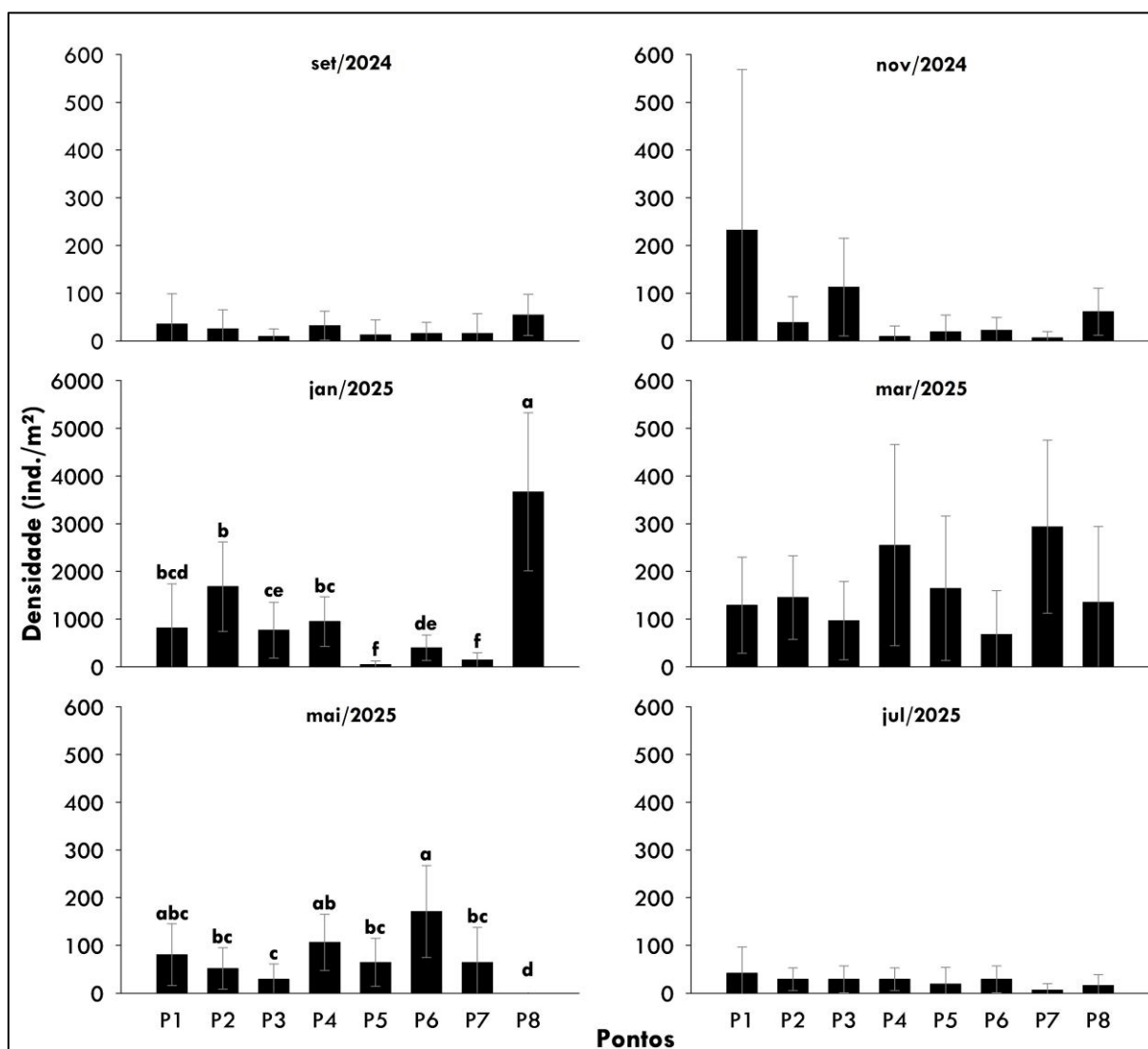


Figura 4 - Densidade média e desvio padrão (ind./m²) de *Donax gemmula* J. P. E. Morrison, 1971 das praias de Aracaju, Sergipe, Nordeste do Brasil. Note a escala 10 vezes maior para janeiro de 2025.

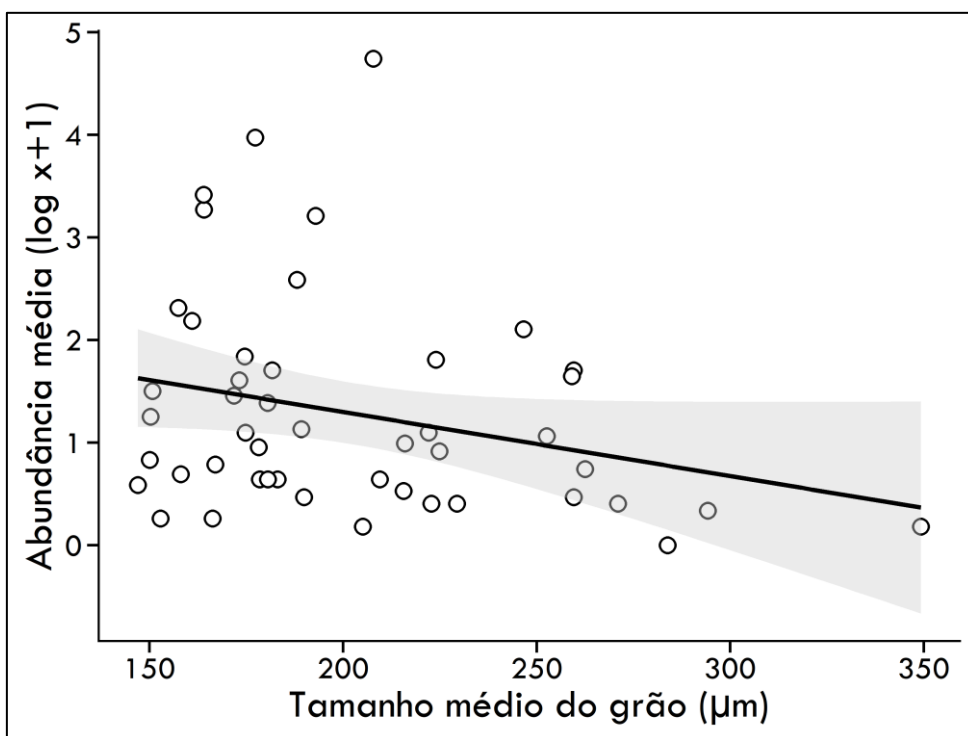


3.4 Relação entre abundância e variável ambiental

Considerando os valores médios dos dados brutos, não foram encontradas evidências de associação entre a abundância de *Donax gemmula* e o período de onda e a salinidade. Por outro lado, foram observadas relações entre a abundância da espécie e a temperatura, pluviosidade acumulada, vazão do rio Sergipe, concentração de clorofila-a, altura de onda. A abundância foi maior nos meses de maior temperatura e pluviosidade intermediária, janeiro e março de 2025, e menor nos meses de menor temperatura, setembro de 2024 e julho de 2025, sendo julho o mês do segundo maior valor de pluviosidade acumulada. A abundância foi maior nos meses de vazão intermediária do Rio Sergipe. A clorofila-a e a altura da onda apresentaram os menores valores nos meses de maior abundância de *D. gemmula*.

Considerando os modelos para relação entre abundância média, transformada por log (x+1), os de largura da praia e suas zonas não foram significativos, existindo ainda problemas diagnósticos nos modelos para larguras da zona de varrido e ressurgência (SZL_R) e largura total (DL_SZL). Em contrapartida, o modelo para tamanho médio do grão foi significativo ($p=0,02$), com uma associação negativa entre tamanho médio de grão e a abundância. Embora significativo, a fração de variância explicada foi baixa ($r^2 = 0,039$), enquanto R^2 condicional do modelo completo, considerando o efeito do tempo, foi de 0,688 (Figura 5). Os resultados completos estão disponíveis no material suplementar 2.

Figura 5 - Modelo linear misto entre a abundância média (log x+1) de *Donax gemmula* J. P. E. Morrison, 1971 e o tamanho médio do grão das praias de Aracaju, Sergipe, Nordeste do Brasil.



4 DISCUSSÃO

4.1 Estrutura do tamanho

O comprimento máximo da concha encontrado para *Donax gemmula* neste estudo está dentro dos intervalos registrados na literatura (Castro et al. 2025), contrariando o padrão de redução de tamanho médio dos indivíduos para latitudes menores (Cardoso & Veloso, 2003; Defeo & McLachlan, 2005; McLachlan & Dorvlo, 2005). Este padrão para os trópicos se sustenta em três bases: (i) menor produtividade primária efetiva, (ii) predominância de estados morfodinâmicos refletivos e (iii) metabolismo mais acelerado e reprodução contínua da macrofauna. Contudo, como será discutido neste e nos próximos itens, neste estudo não foi observada relação positiva do comprimento máximo da concha com os indicativos de produtividade (clorofila-a e vazão do Rio Sergipe); todas as praias do estudo são dissipativas; e o padrão temporal de reprodução, apesar de ter sido acessado indiretamente, não parece diferir dos estudos de regiões de latitudes mais altas. Em conjunto, esses resultados contrariam os mecanismos que fundamentam o padrão de macroescala e, portanto, explicam a ausência de sua manifestação neste estudo.

A dominância de juvenis é compatível com o descrito por Paes (1989), devido ao recrutamento contínuo e prolongado documentado para a espécie, favorecido ainda por maiores temperaturas (Paes, 1989; Paes et al., 1992), em comparação com zonas subtropicais e temperadas. Em Paes (1989), a estrutura etária relativa da população foi dominada por juvenis, onde 56,62% da população era composta por indivíduos de até seis meses de idade ($\leq 3,2$ mm), e 37,15% por indivíduos de seis a doze meses (3,2–5,0 mm). Cerca de 83% da população não ultrapassava o comprimento aproximado de 5 mm, correspondente a um ano de vida (Paes, 1989). O clima quente e relativamente estável do nordeste brasileiro pode favorecer ainda mais essa dinâmica, reduzindo os gargalos sazonais à gametogênese e à sobrevivência larval que limitam o recrutamento em latitudes mais altas (Ansell, 1983).

O padrão observado na zona de varrido, de dominância de juvenis, pode indicar ainda uma partição espacial do nicho, com indivíduos adultos ocupando zonas mais profundas, visto que a espécie ocupa desde o entremarés até a zona de surfe (Rosa, 2021; 2022; Paes, 1989). Espécies de *Donax* que ocupam o infralitoral costumam ter a concha mais globosa do que as habitantes do entremarés (Ansell 1983), e para os *D. gemmula* coletados neste estudo, os adultos foram maiores em largura (i.e. lateralmente) do que os juvenis (observação pessoal, ver 2.4.1), corroborando a possível zonation distinta entre adultos e juvenis. Aliado a isso, praias com maior largura, como as dissipativas de Aracaju, podem favorecer a segregação espacial por idade (Celentano et al., 2022; Corte & Amaral, 2023). Paes (1989) documentou diferenças no

comprimento médio entre populações amostradas em ambientes de diferente hidrodinamismo, com áreas de maior energia apresentando dominância de indivíduos de menor comprimento em comparação a ambientes mais abrigados, sugerindo que as condições hidrodinâmicas locais podem restringir a persistência de indivíduos maiores nas zonas rasas mais expostas. No entanto, as estimativas de crescimento e tamanho de primeira maturação sexual para a espécie, calculadas por Paes (1989), foram baseadas em uma população com comprimento máximo atipicamente reduzido, como o autor reconhece ao compará-lo com indivíduos de 9,3 mm coletados na mesma praia em 1975. Atualmente esse tamanho é ainda menor que o máximo conhecido para a espécie, de 10,7mm (Castro et al., 2025). Nesse contexto, é plausível que os parâmetros utilizados como referência não sejam diretamente aplicáveis às populações de Aracaju. Além disso, diferenças ambientais entre regiões subtropicais e tropicais, em relação as condições, disponibilidade de recursos e à dinâmica populacional, podem influenciar esses atributos (Cardoso & Veloso 2003; Defeo & McLachlan, 2005; Corte & Amaral, 2023; Risoli et al., 2023).

A maior frequência de indivíduos adultos de *Donax gemmula* ocorreu nos meses de maior abundância da espécie, janeiro e março de 2025, quando também se observou o maior comprimento máximo de concha (Figura 2). Esse padrão é compatível com o encontrado por Paes (1989), visto o elevado sincronismo reprodutivo da espécie, onde a maior abundância de adultos acompanha o pico populacional e reflete a coorte do ano anterior, que atinge seu tamanho máximo antes da mortalidade pós-reprodutiva, ocorrendo entre a primavera e o verão. Esse resultado pode ainda sugerir que as flutuações de abundância estão mais relacionadas ao sucesso do recrutamento e sobrevivência das coortes, do que ao ciclo reprodutivo. Adicionalmente, considerando a possível partição espacial de nicho entre adultos e juvenis, esse sincronismo pode refletir uma migração de adultos do infralitoral para o intermareal devido nesses meses, devido as condições mais favoráveis, recursos mais abundantes ou menor competição intraespecífica.

Ainda em janeiro de 2025, observaram-se os maiores valores de abundância total e de indivíduos adultos nos pontos P8 e P2–P4 (Figura 2). No caso de P8, esse padrão pode estar associado à proximidade com a desembocadura do Rio Sergipe, uma vez que a influência fluvial eleva a disponibilidade de alimento e favorece maiores abundâncias de *Donax* sp. (Ansell, 1983; Donn, 1987). Já em P2–P4, a predominância de adultos pode refletir menor impacto por atividades antrópicas (ver 2.1), uma vez que a intensificação dessas pressões tende a reduzir a sobrevivência da macrofauna bentônica (Corbisier, 1991; Vieira et al., 2012; Santos & Maia, 2021). Adicionalmente, os pontos P5–P7, de estado morfodinâmico intermediário (ver 2.1),

apresentaram menor abundância de adultos (Figura 2). Em comparação com características dissipativas, o estado intermediário dificulta a sobrevivência da espécie (Andrade et al., 2016). É possível ainda que ocorra migração de indivíduos destes pontos para pontos adjacentes, como P4 e P8, ou que *Donax gemmula* apresente uma distribuição em manchas (Ansell, 1983; Schoeman et al., 2003).

Ressalta-se ainda que a recente descrição de *Donax trapesialis* para o litoral de Sergipe, que também registrou a coexistência de *D. gemmula* e *D. trapesialis* (Castro et al., 2025), pode indicar uma possível partição espacial de nicho entre as espécies, levantando a hipótese de que a espécie nova não ocorre no entremarés. *D. trapesialis* apresenta maior comprimento (máximo de 12,7mm) e morfologia distinta em relação a *D. gemmula*, tendo sido registrada exclusivamente por meio de coletas com draga (Castro et al., 2025). Contudo, estudos anteriores conduzidos no entremarés ao longo de diferentes anos (Rosa, 2021; 2022), assim como o presente trabalho, não registraram a ocorrência de *D. trapesialis*.

4.2 Padrões temporais da abundância

Em conjunto, os resultados indicam uma forte dependência espaço-temporal na abundância de *D. gemmula*, na qual o tempo atua como principal estruturador da variação populacional, mas com efeitos que se manifestam de forma distinta em cada ponto amostral. Esse padrão sugere que a dinâmica temporal não é homogênea ao longo do espaço, reforçando a influência de processos locais que modulam a resposta da população. Além disso, a ocorrência de padrões semelhantes de variação temporal entre as variáveis ambientais, somada a possíveis interações entre elas, dificulta a dissociação dos efeitos individuais de cada fator sobre a abundância (Schlacher et al., 2008).

O pico de abundância na estação quente e seca para Aracaju, condições que favorecem o recrutamento e a sobrevivência de *Donax gemmula* (Paes, 1989; Paes et al., 1992), está de acordo com estudos para Sergipe (Rosa, 2022) e sul e sudeste do Brasil (e.g. Paes, 1989; Corbisier, 1991; Barros, 2001; Andrade et al., 2016; Lavander et al., 2025). Nesse contexto, as condições do período quente e seco parece ser o período de melhores condições e recursos de forma geral, atenuando ou sobrepondo os efeitos negativos de possíveis estressores, como o tamanho da onda, chuva, queda de salinidade entre outros. No sul do Brasil, a emissão de gametas se inicia entre outubro e novembro, com pico em dezembro (Paes, 1989; Paes et al., 1992). Entretanto, diferenças nas condições ambientais entre as regiões sul e nordeste, especialmente nos parâmetros da água, podem influenciar a duração do desenvolvimento larval e, consequentemente, deslocar o período reprodutivo efetivo de *Donax* sp. (Ansell, 1983;

Cardoso & Veloso, 2003). Ainda que o aumento da abundância com a temperatura seja descrito para regiões subtropicais (e.g., Paes, 1989; Lavander et al., 2025), esperava-se que, sob a menor amplitude térmica dos trópicos, essa relação fosse menos pronunciada (Cardoso & Veloso, 2003; Defeo & McLachlan, 2005).

Por outro lado, o aumento da pluviosidade pode reduzir a sobrevivência da espécie por múltiplos mecanismos. Entre eles, destacam-se (i) o aumento da perturbação física e da frequência de ressacas, (ii) a redução da salinidade, (iii) o incremento da carga particulada em suspensão e (iv) mudanças na estrutura da comunidade bentônica. A severidade do hidrodinamismo local tende a reduzir a abundância da macrofauna (Defeo & McLachlan, 2005; Lercari & Defeo, 2006), conforme será detalhado posteriormente quando a relação com a altura da onda for discutida. A redução de salinidade acarreta estresse fisiológico e logo dificulta a sobrevivência de *Donax gemmula*, espécie eurialina (Paes, 1989; Ourives et al., 2011; Gandara-Martins et al., 2015). Complementarmente, a variação de salinidade a nível local, não capturada pela salinidade em grade obtida das bases de dados, pode acarretar ainda no fechamento das valvas de *Donax* sp. (Ansell, 1983; Passos & Domaneschi, 2004), impedindo a movimentação e alimentação, e reduzindo a sobrevivência. Além disso, embora *D. gemmula* seja um filtrador suspensívoro seletivo com mecanismos eficientes de rejeição de partículas, o aumento da matéria em suspensão pode comprometer a eficiência alimentar e, conseqüentemente, sua sobrevivência (Passos & Domaneschi, 2004). Paralelamente, alterações sazonais na comunidade podem favorecer outros grupos taxonômicos mais bem adaptados a perturbação, e favorecidos pelo aumento da descarga fluvial e da concentração de material em suspensão, como poliquetas oportunistas e interfaciais, além de crustáceos como *Callichirus major* (Say, 1818) (Rosa et al., 2018, Rosa, 2022). Nas praias arenosas de Aracaju, *Scolecopsis* sp. Blainville, 1828 destacou-se entre os taxa mais abundantes, e sua maior densidade no período chuvoso foi associada ao aumento da disponibilidade de alimento e à reorganização da comunidade bentônica (Rosa, 2021; 2022). Poliquetas espiónideos e outros depositívoros/interfaciais são frequentemente favorecidos em ambientes com maior disponibilidade de partículas orgânicas e sedimento fino, condições associadas ao período chuvoso (Souza & Gianuca, 1995; Rocha et al., 2009; Jumars et al., 2015).

Em relação à vazão do rio Sergipe, o padrão não linear pode indicar que uma vazão intermediária permita a sobreposição dos efeitos negativos associados à redução da salinidade e ao aumento da carga particulada (e.g., Paes, 1989; Gandara-Martins et al., 2015), com o efeito positivo de aporte fluvial de alimentos sobre a abundância. Esse padrão sugere uma influência favorável de ambientes estuarinos sobre a macrofauna de praias, possivelmente mediada pelo

aumento na disponibilidade de alimento, o que pode promover maiores densidades populacionais (Ansell, 1983; Donn, 1987). A quantidade de clorofila-a no oceano foi utilizada como indicativo de produtividade primária, e apresentou um padrão temporal oposto ao esperado. O padrão de aumento da abundância com maior disponibilidade de alimentos foi observado para macrofauna (Odebrecht et al., 2023), para outras espécies de *Donax* (Ansell, 1983; Donn, 1987; Risoli et al., 2023) e para a espécie (Paes, 1989; Pinotti et al., 2014). Apesar deste resultado indicar que a associação da variável com *D. gemmula* nos trópicos não é a esperada para as regiões subtropicais e temperadas, é mais provável que a clorofila-a da superfície do oceano, com valores médios em quadrículas de dezenas de km² não represente adequadamente o alimento disponível para *D. gemmula*. A espécie tem em média menos de 1cm, com seus aparatos para alimentação ainda menores, e se enterra e acessa para a alimentação poucos milímetros acima da areia (Passos e Domaneschi, 2004). Portanto, mesmo com os valores acessados sendo indicativos da clorofila-a disponível na coluna d'água, é mais provável que essa métrica não represente a realidade acessada pela espécie.

Em relação a características morfodinâmicas, a associação negativa da abundância de *D. gemmula* com altura da onda e tamanho médio do grão é corroborada pela literatura. A maior altura da onda, em situações o varrido é mais intenso (i.e., *swash* mais rápido), turbulento e com pouco intervalo entre as ondas, dificulta a manutenção da posição e a sobrevivência dos organismos, conforme proposto pela Hipótese de Exclusão pelo *Swash* (McArdle & McLachlan, 1992). Como as praias de Aracaju são semelhantes em seu estado morfodinâmico, diferenças sutis de características em mesoescala podem explicar as variações de abundância observadas. O maior tamanho do grão reduz a eficiência de escavação e enterramento, aumentando a dificuldade de permanência no sedimento e, consequentemente, reduzindo a sobrevivência de organismos como *Donax* sp. (Paes, 1989; Barros et al., 2001; Celentano et al., 2022). Ambas as associações se enquadram ainda dentro da hipótese de severidade ambiental (HHH), onde em praias com características mais severas para sobrevivência, como maior altura de onda e maior tamanho do grão, os indivíduos precisam investir mais energia para manutenção, reduzindo o investimento para reprodução, e por consequência a abundância da população (Defeo & McLachlan, 2005, 2025).

4.3 Padrões espaciais da abundância

A abundância de *Donax gemmula* neste estudo está dentro do registrado para a espécie em Sergipe (Rosa, 2021, 2022) e no Sul e Sudeste do Brasil (e.g., Paes, 1989; Barros, 2001; Corbisier, 1991; Andrade et al., 2016). Contudo, visto o padrão macroecológico de redução de

abundância de indivíduos e biomassa para macrofauna de praias em latitudes mais baixas (Defeo & McLachlan, 2005; Corte & Amaral, 2023), era esperado que a abundância de *D. gemmula* fosse menor para o Nordeste, como reportado para a abundância da comunidade bentônica de praias em Aracaju (Rosa 2021; 2022). Esse contraste se justifica do mesmo modo que o encontrado para comprimento máximo da concha (ver 4.1).

Apenas em janeiro e maio de 2025 a abundância de *Donax gemmula* variou espacialmente (Figura 4). Em janeiro, o pico de abundância ocorreu no P8 e pode refletir maior disponibilidade de alimentos associada à desembocadura do Rio Sergipe, como descrito anteriormente. Houve uma queda em P5-P7, e apesar da proximidade do rio e do possível efeito positivo na abundância, essas praias apresentam um estado morfodinâmico intermediário (ver 2.1), o que dificulta a sobrevivência da espécie (Andrade et al., 2016), em comparação com as demais praias de Aracaju. O aumento em P1-P4 pode indicar menor perturbação antrópica, visto que esses locais estão em setores sem limpeza do entremarés, menos urbanizados e menos frequentados (Schlacher et al., 2008; Rosa 2021; Santos & Maia, 2021). Em maio, a densidade atingiu o pico em P6, enquanto *Donax gemmula* estava ausente em P8. Esse padrão pode estar associado à maior precipitação acumulada registrada nesse mês, que possivelmente impactou mais intensamente a praia mais próxima ao Rio Sergipe em comparação às demais. Alternativamente, essa variação pode refletir uma distribuição irregular da espécie ou ainda processos de migração (Ansell, 1983; Schoeman et al., 2003). No entanto, os efeitos da precipitação, discutidos no item 4.2, bem como de migração de *D. gemmula*, da presença humana, proximidade de rios e fatores correlatos na densidade da espécie permanecem pouco acessados em literatura (Corte & Amaral, 2023).

4.4 Limitações e estudos futuros

A ecologia populacional de *Donax gemmula* nas praias de Aracaju seria mais bem caracterizada com uma replicação temporal de maior resolução (idealmente mensal ou em intervalos ainda menores). A amostragem realizada não permitiu identificar coortes ou estimar parâmetros demográficos como crescimento, mortalidade e expectativa de vida, o que limita a compreensão das variações relacionadas ao recrutamento da espécie e de eventuais processos de migração entre praias. Uma série temporal com maior número de amostras também viabilizaria o ajuste de modelos lineares ou aditivos e, se possível, multivariados, capazes de relacionar a abundância às variáveis ambientais, bem como a eventuais interações entre elas. No presente estudo, essas variáveis apresentaram poucos valores únicos e baixa variabilidade e, por isso, não puderam ser exploradas por estes modelos. Também não foi possível estimar os

comprimentos e idades associados à diferenciação e à maturação sexual para a espécie, parâmetros que, se determinados para as populações de Aracaju, ampliariam a base de conhecimento sobre sua biologia populacional e facilitariam comparações com outras regiões. Além disso, as coletas foram restritas à zona de maior abundância conhecida de *D. gemmula* nas praias de Aracaju. A inclusão da zona infralitoral permitiria investigar a possível partição espacial de nicho, tanto intra quanto interespecífica, e avaliar se há deslocamentos ontogenéticos ou uso diferencial de habitats.

Todas essas limitações decorrem de restrições de tempo (delineamento de mestrado), recursos humanos e financeiros, que afetaram tanto o esforço de coleta quanto as etapas subsequentes de triagem, fotografia e medição dos indivíduos. Portanto, estudos futuros sobre a ecologia de *D. gemmula* devem priorizar: (i) séries temporais de maior resolução; (ii) amostragem no entremarés e infralitoral; e (iii) a incorporação de dados morfométricos e histológicos para estimar crescimento, maturação e outros parâmetros, preferencialmente em conjunto com modelagem estatística que integre variáveis ambientais e efeitos temporais.

4.5 Considerações finais

A abundância e tamanho de *Donax gemmula* encontrados neste estudo estão dentro do intervalo da literatura, contrariando o padrão macroecológico de redução em direção aos trópicos (Defeo & McLachlan, 2005; Corte & Amaral, 2023). A abundância total e de adultos da espécie foi maior em janeiro e março de 2025, meses de maior temperatura, moderada vazão do rio Sergipe, menor clorofila-a no oceano e menor altura da onda; e foi menor nos meses de maior pluviosidade acumulada, corroborando nossa (H1). A associação negativa com clorofila-a é contrária ao padrão de aumento de abundância da espécie com maior disponibilidade de alimentos (Paes, 1989; Pinotti et al., 2014), mas provavelmente reflete um problema de resolução espacial. Contudo, o padrão temporal observado para a maioria das variáveis ambientais consideradas neste estudo, dificulta separar o possível efeito individual de cada variável sobre a abundância da espécie. Não foi observada maior abundância em pontos próximos ao Rio Sergipe, não corroborando nossa (H2). Os indivíduos juvenis (<4,73mm) foram dominantes, corroborando nossa (H3), sugerindo uma partição espacial de nicho com os adultos, que possivelmente ocupam zonas mais profundas. O estudo indica que padrões estabelecidos em praias subtropicais e temperadas, para macrofauna bentônica, para *Donax* sp. ou para a espécie, não são diretamente generalizáveis para populações tropicais de *D. gemmula*, indicando a relevância do contexto ambiental sobre a variação espacial e temporal da espécie.

REFERÊNCIAS

- Alves, E. D. S., & Pezzuto, P. R. (2009a). Effect of cold fronts on the benthic macrofauna of exposed sandy beaches with contrasting morphodynamics. *Brazilian Journal of Oceanography*, 57(2), 73–94. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592009000200001>
- Alves, E. D. S., & Pezzuto, P. R. (2009b). Effect of morphodynamics on annual average zonation pattern of benthic macrofauna of exposed sandy beaches in Santa Catarina, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 57(3), 189–203. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592009000300003>
- Amaral, A. C. Z., Corte, G. N., Filho, J. S. R., Denadai, M. R., Colling, L. A., Borzone, C., Veloso, V., Omena, E. P., Zalmon, I. R., Rocha-Barreira, C. D. A., Souza, J. R. B. D., Rosa, L. C. D., & Almeida, T. C. M. D. (2016). Brazilian sandy beaches: Characteristics, ecosystem services, impacts, knowledge and priorities. *Brazilian Journal of Oceanography*, 64(spe2), 5–16. <https://doi.org/10.1590/S1679-875920160933064sp2>
- Anderson, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26(1), 32–46. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x>
- Anderson, M. J. (2006). Distance-Based Tests for Homogeneity of Multivariate Dispersions. *Biometrics*, 62(1), 245–253. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0420.2005.00440.x>
- Anderson, M. J., Gorley, R. N., & Clarke, K. R. (2008). *PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to software and statistical methods*. PRIMER-E.
- Andrade, F. C., Massud-Ribeiro, R. J., & Veloso, V. G. (2016). Macrofauna composition of two beaches with distinct morphodynamism degrees in the beach arc Barra de São João – Ponta Pai Vitorio promontory – RJ. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 20(1), 69–78. <https://doi.org/10.14210/bjast.v20n1.4473>
- Ansell, A. D. (1983). The Biology of the Genus *Donax*. In A. McLachlan & T. Erasmus (Eds.), *Sandy Beaches as Ecosystems* (pp. 607–635). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2938-3_46
- Ansell, A. D., & McLachlan, A. (1980). UPPER TEMPERATURE TOLERANCES OF THREE MOLLUSCS FROM SOUTH AFRICAN SANDY BEACHES. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 48, 243–251. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(80\)90079-9](https://doi.org/10.1016/0022-0981(80)90079-9)
- Barros, F., Borzone, C. A., & Rosso, S. (2001). Macroinfauna of Six Beaches near Guaratuba Bay, Southern Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 44(4), 351–364. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132001000400005>
- Barroso, C. X., Rabay, S. G., Passos, F. D., & Matthews-Cascon, H. (2013). An extended geographical distribution of *Donax gemmula* Morrison, 1971 (Bivalvia: Donacidae): new record from the Brazilian Northeastern coast. *Check List*, 9(5), 1087. <https://doi.org/10.15560/9.5.1087>
- Bartoń, K. (2025). *MuMIn: Multi-model inference* (R package version 1.48.11). <https://CRAN.R-project.org/package=MumIn>

- Bassanezi, R. C., & Gomes, D. F. (2020). Periodicidade em dinâmica populacional com incertezas. *Biomatemática*, 1–19. https://www.ime.unicamp.br/~biomat/Bio30_art0.pdf
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- BEL Engineering. (2024). BELView (Version 7.1.1.2) [Computer software]. BEL Photonics. <https://www.belengineering.com>
- Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 57(1), 289–300. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x>
- Benjamini, Y., & Yekutieli, D. (2001). The control of the false discovery rate in multiple testing under dependency. *The Annals of Statistics*, 29(4). <https://doi.org/10.1214/aos/1013699998>
- Bittencourt, A. C. da S. P., Dominguez, J. M. L., Martin, L., & Silva, I. R. da. (2002). A significant longshore transport divergence zone at the Northeastern Brazilian coast: Implications on coastal Quaternary evolution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 74(3), 523–532. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652002000300012>
- Bolker, B. M., Brooks, M. E., Clark, C. J., Geange, S. W., Poulsen, J. R., Stevens, M. H. H., & White, J.-S. S. (2009). Generalized linear mixed models: A practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(3), 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.10.008>
- Borzone, C. A., Souza, J. R. B., & Soares, A. G. (1996). Morphodynamic influence on the structure of inter and subtidal macrofaunal communities of subtropical sandy beaches. *Revista Chilena de História Natural*, 69, 565–577. https://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1996/4/Borzone_et_al_1996.pdf
- Cardoso, R., & Veloso, V. (2003). Population dynamics and secondary production of the wedge clam *Donax hanleyanus* (Bivalvia: Donacidae) on a high-energy, subtropical beach of Brazil. *Marine Biology*, 142(1), 153–162. <https://doi.org/10.1007/s00227-002-0926-2>
- Castelhano, F. J., & Pinto, J. E. S. D. S. (2022). Tendências e alterações climáticas no Estado de Sergipe, nordeste do Brasil. *Geography Department University of Sao Paulo*, 42, e185565. <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.185565>
- Castro, J. G. de, Martinez, P. A., Passos, F. D., Marques, R. C., & Dornellas, A. P. S. (2025). Geometric morphometrics of donacids from Brazil reveals a new species, *Donax trapesialis* n. Sp. From Northeastern coast. *Zoosystema*, 47(19). <https://doi.org/10.5252/zoosystema2025v47a19>
- Celentano, E., Gómez, J., Lercari, D., De Álava, A., & Defeo, O. (2022). Unravelling the role of local and large-scale factors in structuring sandy beach populations: The wedge clam *Donax hanleyanus*. *Marine Ecology Progress Series*, 696, 29–42. <https://doi.org/10.3354/meps14120>

Corbisier, T. N. (1991). Benthic macrofauna of sandy intertidal zone at Santos estuarine system, São Paulo, Brazil. *Boletim Do Instituto Oceanográfico*, 39(1), 01–13.

<https://doi.org/10.1590/S0373-55241991000100001>

Corte, G. N., Amaral, A.C.Z. (2023). Benthic Invertebrate Macrofauna. In: Amaral, A.C.Z., Checon, H.H., Corte, G.N. (eds) *Brazilian Sandy Beaches*. Brazilian Marine Biodiversity. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30746-1_4

Defeo, O., & McLachlan, A. (2005). Patterns, processes and regulatory mechanisms in sandy beach macrofauna: A multi-scale analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 295, 1–20.

<https://doi.org/10.3354/meps295001>

Defeo, O., & McLachlan, A. (2025). *Sandy beach ecology* (4th ed.). Academic Press.

<https://doi.org/10.1016/C2022-0-03303-1>

Defeo, O., Gomez, J., & Lercari, D. (2001). Testing the swash exclusion hypothesis in sandy beach populations: The mole crab *Emerita brasiliensis* in Uruguay. *Marine Ecology Progress Series*, 212, 159–170. <https://doi.org/10.3354/meps212159>

Domaneschi, O., & Lopes, S. G. B. C. (1988-1989). Família Donacidae Fleming, 1828. Informativo SBM, 87, 9–12; 88, 9–12; 92, 9–12; 93, 9–12.

Dominguez, J. M. L., Bittencourt, A. C. da S. P., Santos, A. N., & Nascimento, L. do. (2016). The Sandy Beaches of the States of Sergipe-Alagoas. In A. D. Short & A. H. D. F. Klein (Eds.), *Brazilian Beach Systems* (Vol. 17, pp. 281–305). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30394-9_11

Donn, T. (1987). Longshore distribution of *Donax serra* in two log-spiral bays in the eastern Cape, South Africa. *Marine Ecology Progress Series*, 35, 217–222.

<https://doi.org/10.3354/meps035217>

E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS). (2025a). Multi Observation Global Ocean Sea Surface Salinity and Sea Surface Density (NRT and MY). E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS). Marine Data Store (MDS). <https://doi.org/10.48670/moi-00051>

Feitosa, F. A. do N., Ostuka, A. Y., Silva, L. M. da, Saldanha-Corrêa, F. M. P., Jales, M. C., Guennes, M., Grego, C. K. da S., & Cordeiro, I. A. (2019). Biomassa e produtividade fitoplanctônica da baía de Sergipe-Alagoas. In D. L. Moreira, M. E. R. Carneiro, A. P. Silva, & R. Schwamborn (Eds.), *Ambiente pelágico da baía de Sergipe-Alagoas* (pp. 222–253). Editora UFS.

Folk, R. L., & Ward, W. C. (1957). Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1), 3–26.

<https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>

Gadelha, E. S., Aviz, D., Santos, T. M. T. dos, Ribeiro, F. C. P., & Petracco, M. (2026). Life-history traits and secondary production of *Donax striatus* in a tropical macrotidal sandy beach of the Amazon coast. *Regional Studies in Marine Science*, 101, 105257.

<https://doi.org/10.1016/j.rsma.2026.105257>

- Gandara-Martins, A. L., Borzone, C. A., Guilherme, P. D. B., & Vieira, J. V. (2015). Spatial Effects of a Washout on Sandy Beach Macrofauna Zonation and Abundance. *Journal of Coastal Research*, 316, 1459–1468. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00154.1>
- Google. (2026). Google Colab [Computer software]. <https://colab.research.google.com/>
- Hartig, F. (2024). *DHARMA: Residual diagnostics for hierarchical (multi-level/mixed) regression models* (R package version 0.4.7). <https://github.com/florianhartig/dharma>
- Hurlbert, S. H. (1984). Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*, 54(2), 187–211. <https://doi.org/10.2307/1942661>
- Hurvich, C. M., & Tsai, C.-L. (1989). Regression and time series model selection in small samples. *Biometrika*, 76(2), 297–307. <https://doi.org/10.1093/biomet/76.2.297>
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). (2025). Dados históricos anuais [Base de dados]. <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). (s.d.). Gráficos climatológicos, Sergipe, Aracaju 83096 [Página web]. <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/SE/83096>
- Jumars, P. A., Dorgan, K. M., & Lindsay, S. M. (2015). Diet of Worms Emended: An Update of Polychaete Feeding Guilds. *Annual Review of Marine Science*, 7(1), 497–520. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010814-020007>
- Junior, T. V., Viliod, M. C. L., & Knoeller, S. M. (2018). Diet and niche overlap of the pompano (*Trachinotus carolinus*) and palometa (*Trachinotus goodei*) (Perciformes, Carangidae) in a surf zone beach in southeastern Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 13-24, 13(1). [https://panamjas.org/pdf_artigos/PANAMJAS_13\(1\)_13-24.pdf](https://panamjas.org/pdf_artigos/PANAMJAS_13(1)_13-24.pdf)
- Klein, A.H.d.F., Short, A.D. (2023). Physical Characteristics of Brazilian Sandy Beaches. In: Amaral, A.C.Z., Checon, H.H., Corte, G.N. (eds) *Brazilian Sandy Beaches. Brazilian Marine Biodiversity*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30746-1_1
- Knoeller, J., Tomás, A. R. G., & Vaske Junior, T. (2022). Diet of three juvenile fish species of the coastal zone of a Southwest Atlantic beach, Brazil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 44, e53490. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v44i1.53490>
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest package: Tests in linear mixed effects models. *Journal of Statistical Software*, 82(13), 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>
- Lavander, H. D., Soldani, A. N. S. S. H., França, M. C., Mattos, D. C., Souza, A. B., Cardoso, L. D., Motta, J., Oliveira, A. T., Aride, P. H. R., & Guimarães, I. M. (2025). Population ecology of bivalve mollusks in beach sediments on the southern coast of Espírito Santo, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 85, e297185. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.297185>
- Lercari, D., & Defeo, O. (2006). Large-scale diversity and abundance trends in sandy beach macrofauna along full gradients of salinity and morphodynamics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 68(1–2), 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.12.017>

- Lüdecke, D., Ben-Shachar, M. S., Patil, I., Waggoner, P., & Makowski, D. (2021). performance: An R package for assessment, comparison and testing of statistical models. *Journal of Open Source Software*, 6(60), 3139. <https://doi.org/10.21105/joss.03139>
- Masselink, G., & Puleo, J. A. (2006). Swash-zone morphodynamics. *Continental Shelf Research*, 26(5), 661–680. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2006.01.015>
- McArdle, S. B., & McLachlan, A. (1992). Sand Beach Ecology: Swash Features Relevant to the Macrofauna. *Journal of Coastal Research*, 8(2). <https://journals.flvc.org/jcr/article/view/78720/76115>
- McLachlan, A., & Dorvlo, A. (2005). Global Patterns in Sandy Beach Macrobenthic Communities. *Journal of Coastal Research*, 214, 674–687. <https://doi.org/10.2112/03-0114.1>
- MedCalc Software. (2024). Digimizer (Version 6.5) [Computer software]. MedCalc Software Ltd. <https://www.digimizer.com>
- Meteostat. (2025). Meteostat: The Weather's Record Keeper. Retrieved from <https://meteostat.net/pt/station/83095?t=2024-08-15/2025-07-14>
- MolluscaBase. (2026). *Donax* Linnaeus, 1758. In World Register of Marine Species. Retrieved June 01, 2026, from <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=137906>
- Morrison, J. P. E. (1971). Western Atlantic *Donax*. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 83(48), 545–568. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/34573201>
- Morton, B. (2016). The biology and functional morphology of the high-energy beach dwelling *Paphies elongata* (Bivalvia: Mactroidea: Mesodesmatidae). Convergence with the surf clams (*Donax* : Tellinoidea: Donacidae). *Journal of Natural History*, 50(39–40), 2515–2545. <https://doi.org/10.1080/00222933.2016.1203038>
- National Aeronautics and Space Administration. (2025). *Aqua MODIS Level-3 Mapped Chlorophyll (CHL), version 2022.0*. NASA OceanColor. <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/data/10.5067/AQUA/MODIS/L3M/CHL/2022.0>
- Neves, F. M., & Bemvenuti, C. E. (2009). Variabilidade diária da zonação da macrofauna bentônica em praias arenosas do litoral norte do Rio Grande do Sul. *Iheringia. Série Zoologia*, 99(1), 71–81. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212009000100011>
- Neves, L. P. D., Silva, P. D. S. R. D., & Bemvenuti, C. E. (2007). Zonation of benthic macrofauna on Cassino Beach, southernmost Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 55(4), 293–307. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592007000400006>
- Neves, L. P. D., Silva, P. D. S. R. D., & Bemvenuti, C. E. (2008). Temporal variability of benthic macrofauna on Cassino beach, southernmost Brazil. *Iheringia. Série Zoologia*, 98(1), 36–44. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212008000100005>
- Neves, L. P. D., Silva, P. D. S. R. D., & Bemvenuti, C. E. (2012). Distribuição horizontal da macrofauna bentônica na praia do Cassino, extremo sul do Brasil. *Iheringia. Série Zoologia*, 102(3), 245–253. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212012000300001>

- Nobre, J. S., & Singer, J. M. (2007). Residual analysis for linear mixed models. *Biometrical Journal*, 49(6), 863–875. <https://doi.org/10.1002/bimj.200610341>
- Odebrecht, C., de Oliveira da Rocha Franco, A., Horta, P., Rörig, L.R. (2023). Primary Producers. In: Amaral, A.C.Z., Checon, H.H., Corte, G.N. (eds) *Brazilian Sandy Beaches. Brazilian Marine Biodiversity*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30746-1_2
- Oksanen, J., Simpson, G. L., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., Wagner, H., Barbour, M., Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Borman, T., Carvalho, G., Chirico, M., De Caceres, M., Durand, S., Evangelista, H. B. A., FitzJohn, R., Friendly, M., Furneaux, B., Hannigan, G., Hill, M. O., Lahti, L., Martino, C., McGlinn, D., Ouellette, M.-H., Ribeiro Cunha, E., Smith, T., Stier, A., Ter Braak, C. J. F., & Weedon, J. (2026). *vegan: Community Ecology Package*. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.vegancran.r-project+1>
- Ourives, T. M., Rizzo, A. E., & Boehs, G. (2011). Composition and spatial distribution of the benthic macrofauna in the Cachoeira River estuary, Ilhéus, Bahia, Brazil. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 46(1), 17–25. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572011000100003>
- Paes, E. T. (1989). *Biologia e ecologia de Donax gemmula Morrison, 1971 (Bivalvia, Donacidae) na zona de arrebentação da Praia do Cassino, Rio Grande, RS, e observações sobre a fauna acompanhante* [Master's thesis, Universidade do Rio Grande].
- Paes, E. T., Blinder, P. B., & Bassanezi, R. C. (1992). O Meio Ambiente como Fator de Predação Um Estudo Populacional de *Donax gemmula*. *Biomatemática*, 2, 135–142.
- Passos, F. D., & Domaneschi, O. (2004). Biologia e anatomia funcional de *Donax gemmula* Morrison (Bivalvia, Donacidae) do litoral de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 21(4), 1017–1032. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752004000400040>
- Passos, F. D., Batistão, A. R., & Lima, L. L. C. (2024). Checklist of marine Bivalvia (Mollusca) from Brazil, with descriptive analyses of their bathymetric and geographical distribution. *Zootaxa*, 5488(1), 1–94. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5488.1.1>
- Petracco, M., Aviz, D., Martinelli Filho, J. E., Cardoso, R. S., & Turra, A. (2019). Effects of physical features on production of three macrofaunal species in different sandy beach zones in South America. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 218, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.12.002>
- Pianca, C., Mazzini, P. L. F., & Siegle, E. (2010). Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58(1), 53–70. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592010000100006>
- Pinotti, R. M., Minasi, D. M., Colling, L. A., & Bemvenuti, C. E. (2014). A review on macrobenthic trophic relationships along subtropical sandy shores in southernmost Brazil. *Biota Neotropica*, 14(3). <https://doi.org/10.1590/1676-06032014006914>
- R Core Team. (2025). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/intro2r>
- Risoli, M., Piola, A., Defeo, O., Luzzatto, D., Celentano, E., & Lomovasky, B. (2023). Testing macroecological hypotheses in sandy beach populations: The wedge clam *Donax hanleyanus*

in South America. *Marine Ecology Progress Series*, 707, 43–56.
<https://doi.org/10.3354/meps14264>

Rocha, M. B., Radashevsky, V., & Paiva, P. C. (2009). Espécies de Scolelepis (Polychaeta, Spionidae) de praias do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Biota Neotropica*, 9(4), 101–108.
<https://doi.org/10.1590/S1676-06032009000400012>

Rocha-Barreira, C. de A., Rosa-Filho, J.S. (2023). Biological Interactions. In: Amaral, A.C.Z., Checon, H.H., Corte, G.N. (eds) *Brazilian Sandy Beaches*. Brazilian Marine Biodiversity. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30746-1_7

Rosa Filho, J. S., Corte, G. N., Maria, T. F., Colling, L. A., Denadai, M. R., Cruz da Rosa, L., Borzone, C. A., Marques de Almeida, T. C., Zalmon, I. R., Omena, E., Veloso, V., & Amaral, A. C. Z. (2015). Capítulo 14 MONITORAMENTO DE LONGO PRAZO DA MACROFAUNA BENTÔNICA ENTREMARÉS DE PRAIAS ARENOSAS. In *Protocolos para o monitoramento de habitats bentônicos costeiros—Rede de Monitoramento de Habitat Bentônicos Costeiros—ReBentos*. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.
<https://doi.org/10.7476/9788598729251>

Rosa, L. C. da, & Vasconcelos, K. D. S. (2025). Contrasting responses of two arthropods species to recreational impacts on the northeastern Brazilian sandy beaches. *Journal of Coastal Conservation*, 29(3), 29. <https://doi.org/10.1007/s11852-025-01114-0>

Rosa, L. C. da, Freire, K. M. F., & Souza, M. J. M. (2018). Spatial distribution and population dynamics of *Callichirus major* (Crustacea, Callinassidae) in a tropical sandy beach, northeastern Brazil. *Invertebrate Biology*, 137(4), 308–318. <https://doi.org/10.1111/ivb.12228>

Rosa, L. C. da. (2021). MACROINFAUNA INTERMAREAL DAS PRAIAS ARENOSAS DO LITORAL DE ARACAJU, SERGIPE, REGIÃO NORDESTE DO BRASIL = INTERTIDAL MACROINFAUNA OF THE ARACAJU SANDY BEACHES, SERGIPE, NORTHEASTERN BRAZIL. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, 31(1).
<https://doi.org/10.18764/1981-6421e2021.2>

Rosa, L. C. da. (2022). Sandy beach macroinfauna response to the worst oil spill in Brazilian coast: No evidence of an acute impact. *Marine Pollution Bulletin*, 180, 113753.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113753>

Rufino, M. M., Vasconcelos, P., Pereira, F., Moura, P., & Gaspar, M. B. (2018). Bivalve sanctuaries to enhance stocks along the Algarve coast of southern Portugal: A spatio-temporal approach. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 28(6), 1271–1282.
<https://doi.org/10.1002/aqc.2948>

Santos, A. A., Nobre, F. S. D. M., Ribeiro, F., & Nilin, J. (2020). Initial beach litter survey in a conservation unit (Santa Isabel Biological Reserve, Sergipe) from northeast Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 153, 111015. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111015>

Santos, M. R. dos, & Maia, R. C. (2021). Obras de urbanização e os impactos ambientais sobre a macrofauna bentônica: Estudo de caso em uma praia do litoral cearense. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 21(3), 135–145. <https://doi.org/10.5894/rgci-n348>

Schlacher, T. A., Schoeman, D. S., Dugan, J., Lastra, M., Jones, A., Scapini, F., & McLachlan, A. (2008). Sandy beach ecosystems: Key features, sampling issues, management

challenges and climate change impacts. *Marine Ecology*, 29(s1), 70–90.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2007.00204.x>

Schoeman, D. S., Wheeler, M., & Wait, M. (2003). The relative accuracy of standard estimators for macrofaunal abundance and species richness derived from selected intertidal transect designs used to sample exposed sandy beaches. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58, 5–16. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(03\)00038-6](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(03)00038-6)

Sigurdsson, J. B., Titman, C. W., & Davies, P. A. (1976). The dispersal of young post-larval bivalve molluscs by byssus threads. *Nature*, 262, 386–387. <https://doi.org/10.1038/262386a0>

Simpson, G. L., R Core Team, Bates, D. M., & Oksanen, J. (2026). permute: Functions for generating restricted permutations of data.
<https://doi.org/10.32614/CRAN.package.permutecran.r-project>

Souza, J. R. B., & Gianuca, N. M. (1995). Zonation and seasonal variation of the intertidal macrofauna on a sandy beach of Parana State, Brazil. *Scientia Marina*, 59(2), 103–111.

Stewart-Oaten, A., Murdoch, W. W., & Parker, K. R. (1986). Environmental impact assessment: “Pseudoreplication” in time? *Ecology*, 67(4), 929–940.
<https://doi.org/10.2307/1939815>

Suguio, K. (1973). *Introdução à sedimentologia*.
<https://docs.ufpr.br/~foliveira/GB101/Metodologias/An%C3%A1lise%20granulom%C3%A9trica%20K%20Suguio%201973.pdf> (Original work published Edgard Blücher)

Vieira, J. V., Borzone, C. A., Lorenzi, L., & Carvalho, F. G. D. (2012). Human impact on the benthic macrofauna of two beach environments with different morphodynamic characteristics in southern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 60(2), 135–148.
<https://doi.org/10.1590/S1679-87592012000200004>

Wentworth, C. K. (1922). A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology*, 30(5), 377–392. <https://doi.org/10.1086/622910>

Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L. D., François, R., Golemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T. L., Miller, E., Bache, S. M., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D. P., Spinu, V., ... Yutani, H. (2024). tidyverse: Easily install and load the tidyverse. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.tidyverse>

Wickham, H., François, R., Henry, L., Müller, K., & Vaughan, D. (2026). dplyr: A grammar of data manipulation. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.dplyrcran.r-project+1>

Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-87458-6>

MATERIAL SUPLEMENTAR 1

Os resultados da PERMANOVA, PERMDISP e *post-hoc* da abundância de *Donax gemmula* J. P. E. Morrison, 1971, das praias de Aracaju, Sergipe, Nordeste do Brasil estão ordenados como são apresentados no item 2.4.1.: PERMANOVA global e seus detalhamentos, seguido de PERMDISP. Em seguida *post-hoc* agrupando os meses, *post-hoc* entre meses por ponto, e *post-hoc* entre pontos em cada mês.

PERMANOVA GLOBAL

```
Permutation test for adonis under reduced model
Terms added sequentially (first to last)
Permutation: free
Number of permutations: 9999

adonis2(formula = matriz ~ ponto * data, data = dados, permutations =
NPERM, method = "euclidean", by = "terms")
      Df SumOfSqs R2      F      Pr(>F)
ponto    7   14848 0.07236  19.166 1e-04 ***
data     5   63719 0.31053 115.147 1e-04 ***
ponto:data 35   78815 0.38410  20.347 1e-04 ***
Residual 432   47811 0.23301
Total    479  205193 1.00000
---
```

Permutational MANOVA

```
Resemblance worksheet
Name: Resem1
Data type: Distance
Selection: All
Resemblance: D1 Euclidean distance

Sums of squares type: Type III (partial)
Fixed effects sum to zero for mixed terms
Permutation method: Permutation of residuals under a reduced model
Number of permutations: 9999
```

```
Factors
Name Abbrev.    Type Levels
Date  Da      Fixed     6
site  si      Fixed     8
```

PERMANOVA table of results

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	Unique perms	P(MC)
Da	5	63719	12744	115.15	0.0001	9944	0.0001
si	7	14848	2121.2	19.166	0.0001	9947	0.0001
Daxsi	35	78815	2251.9	20.347	0.0001	9857	0.0001
Res	432	47811	110.67				
Total	479	2.0519E5					

Details of the expected mean squares (EMS) for the model

Source	EMS
Da	$1 \cdot V(\text{Res}) + 80 \cdot S(\text{Da})$
si	$1 \cdot V(\text{Res}) + 60 \cdot S(\text{si})$
Daxsi	$1 \cdot V(\text{Res}) + 10 \cdot S(\text{Daxsi})$
Res	$1 \cdot V(\text{Res})$

Construction of Pseudo-F ratio(s) from mean squares

Source	Numerator	Denominator	Num.df	Den.df
Da	$1 \cdot \text{Da}$	$1 \cdot \text{Res}$	5	432
si	$1 \cdot \text{si}$	$1 \cdot \text{Res}$	7	432
Daxsi	$1 \cdot \text{Daxsi}$	$1 \cdot \text{Res}$	35	432

Estimates of components of variation

Source	Estimate	Sq.root
S(Da)	157.91	12.566
S(si)	33.508	5.7886
S(Daxsi)	214.12	14.633
V(Res)	110.67	10.52

PERMDISP

-- SITE PERMANOVA --

```
print(anova(betadisper(dist_mat, dados$ponto)))
```

Analysis of Variance Table

Response: Distances

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Groups	7	14650	2092.87	5.3525	6.519e-06 ***
Residuals	472	184556	391.01		

-- DATE PERMANOVA --

```
print(anova(betadisper(dist_mat, dados$data)))
```

Analysis of Variance Table

Response: Distances

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Groups	5	43210	8641.9	39.817	< 2.2e-16 ***
Residuals	474	102878	217.0		

DATE (MONTH) PAIRED PERMANOVA

	mes1	mes2	F_stat	R2	p_valor	p_ajustado
1	01_25	03_25	4.6630	0.2499	0.0312	0.0586
2	01_25	05_25	5.6567	0.2878	0.0156	0.0391
3	01_25	07_25	6.2069	0.3072	0.0078	0.0234
4	01_25	09_24	6.2015	0.3070	0.0078	0.0234
5	01_25	11_24	5.7360	0.2906	0.0078	0.0234
6	03_25	05_25	7.5795	0.3512	0.0469	0.0781
7	03_25	07_25	24.6560	0.6378	0.0078	0.0234
8	03_25	09_24	24.0599	0.6322	0.0078	0.0234
9	03_25	11_24	6.5214	0.3178	0.0781	0.1065
10	05_25	07_25	6.0957	0.3033	0.0312	0.0586
11	05_25	09_24	5.7566	0.2914	0.0625	0.0938
12	05_25	11_24	0.0608	0.0043	0.8203	0.8789
13	07_25	09_24	0.0038	0.0003	1.0000	1.0000
14	07_25	11_24	1.9102	0.1201	0.1875	0.2344
15	09_24	11_24	1.8356	0.1159	0.2578	0.2975

```
print(round(mat_p, 4))
```

	01_25	03_25	05_25	07_25	09_24	11_24
01_25		NA	0.0586	0.0391	0.0234	0.0234
03_25	0.0586		NA	0.0781	0.0234	0.0234
05_25	0.0391	0.0781		NA	0.0586	0.0938
07_25	0.0234	0.0234	0.0586		NA	1.0000
09_24	0.0234	0.0234	0.0938	1.0000		NA
11_24	0.0234	0.1065	0.8789	0.2344	0.2975	

```
-- SITE POSTHOC --
Permutation test for adonis under reduced model
Blocks:  dados$data
Permutation: free
Number of permutations: 9999

adonis2(formula = matriz ~ ponto, data = dados, permutations = how(nperm =
NPERM, blocks = dados$data), method = "euclidean")
      Df SumOfSqs R2      F      Pr(>F)
Model      7    14848 0.07236 5.2599 1e-04 ***
Residual 472    190345 0.92764
Total    479    205193 1.00000

=====
SITE POSTHOC
=====

--- SITE : P1 ---
      grupol grupo2 F_stat R2      p_valor nperm      p_ajustado
1      09_24  11_24 3.3010 0.1550  0.0746  9999      0.1478
2      09_24  01_25 7.1449 0.2841  0.0036  9999      0.0270
3      09_24  03_25 6.1587 0.2549  0.0326  9999      0.0978
4      09_24  05_25 2.4706 0.1207  0.1632  9999      0.2448
5      09_24  07_25 0.0590 0.0033  0.9028  9999      0.9028
6      11_24  01_25 3.5431 0.1645  0.0887  9999      0.1478
7      11_24  03_25 0.8632 0.0458  0.4246  9999      0.4549
8      11_24  05_25 1.9566 0.0980  0.2140  9999      0.2675
9      11_24  07_25 3.1151 0.1475  0.0812  9999      0.1478
10     01_25  03_25 5.4955 0.2339  0.0183  9999      0.0686
11     01_25  05_25 6.3407 0.2605  0.0060  9999      0.0300
12     01_25  07_25 7.0356 0.2810  0.0029  9999      0.0270
13     03_25  05_25 1.6265 0.0829  0.2454  9999      0.2832
14     03_25  07_25 5.7502 0.2421  0.0398  9999      0.0995
15     05_25  07_25 2.0703 0.1032  0.2022  9999      0.2675
Significativos (BH ≤ 0.05 ):
grupol grupo2 p_ajustado
09_24  01_25      0.027
01_25  05_25      0.030
01_25  07_25      0.027
```

--- SITE : P2 ---

	grupo1	grupo2	F_stat	R2	p_valor	nperm	p_ajustado
1	09_24	11_24	0.3673	0.0200	0.6603	9999	0.7675
2	09_24	01_25	30.9429	0.6322	0.0001	9999	0.0003
3	09_24	03_25	15.3820	0.4608	0.0009	9999	0.0019
4	09_24	05_25	1.9200	0.0964	0.2472	9999	0.3371
5	09_24	07_25	0.0486	0.0027	1.0000	9999	1.0000
6	11_24	01_25	30.4145	0.6282	0.0001	9999	0.0003
7	11_24	03_25	10.6417	0.3715	0.0030	9999	0.0056
8	11_24	05_25	0.3429	0.0187	0.6652	9999	0.7675
9	11_24	07_25	0.2656	0.0145	0.7312	9999	0.7834
10	01_25	03_25	26.4575	0.5951	0.0001	9999	0.0003
11	01_25	05_25	29.9743	0.6248	0.0001	9999	0.0003
12	01_25	07_25	30.8574	0.6316	0.0001	9999	0.0003
13	03_25	05_25	9.1303	0.3365	0.0072	9999	0.0120
14	03_25	07_25	16.3361	0.4758	0.0005	9999	0.0013
15	05_25	07_25	2.0704	0.1032	0.2431	9999	0.3371

Significativos (BH $\leq$ 0.05):

grupo1	grupo2	p_ajustado
09_24	01_25	0.0003
09_24	03_25	0.0019
11_24	01_25	0.0003
11_24	03_25	0.0056
01_25	03_25	0.0003
01_25	05_25	0.0003
01_25	07_25	0.0003
03_25	05_25	0.0120
03_25	07_25	0.0013

--- SITE : P3 ---

	grupo1	grupo2	F_stat	R2	p_valor	nperm	p_ajustado
1	09_24	11_24	9.9525	0.3561	0.0056	9999	0.0120
2	09_24	01_25	16.9188	0.4845	0.0001	9999	0.0005
3	09_24	03_25	10.9168	0.3775	0.0026	9999	0.0065
4	09_24	05_25	2.9455	0.1406	0.1791	9999	0.2067
5	09_24	07_25	3.6000	0.1667	0.1235	9999	0.1544
6	11_24	01_25	12.2561	0.4051	0.0007	9999	0.0021
7	11_24	03_25	0.1515	0.0083	0.7588	9999	0.8130
8	11_24	05_25	6.1207	0.2538	0.0264	9999	0.0428
9	11_24	07_25	6.2464	0.2576	0.0297	9999	0.0428
10	01_25	03_25	13.0069	0.4195	0.0003	9999	0.0011
11	01_25	05_25	16.0288	0.4710	0.0001	9999	0.0005
12	01_25	07_25	16.0397	0.4712	0.0001	9999	0.0005
13	03_25	05_25	5.9327	0.2479	0.0314	9999	0.0428
14	03_25	07_25	6.1156	0.2536	0.0284	9999	0.0428
15	05_25	07_25	0.0000	0.0000	1.0000	9999	1.0000

Significativos (BH $\leq$ 0.05):

grupo1	grupo2	p_ajustado
09_24	11_24	0.0120
09_24	01_25	0.0005
09_24	03_25	0.0065
11_24	01_25	0.0021
11_24	05_25	0.0428
11_24	07_25	0.0428
01_25	03_25	0.0011
01_25	05_25	0.0005
01_25	07_25	0.0005
03_25	05_25	0.0428
03_25	07_25	0.0428

--- SITE : P4 ---

	grupo1	grupo2	F_stat	R2	p_valor	nperm	p_ajustado
1	09_24	11_24	3.6446	0.1684	0.1311	9999	0.1405
2	09_24	01_25	31.0162	0.6328	0.0001	9999	0.0002
3	09_24	03_25	10.9058	0.3773	0.0001	9999	0.0002
4	09_24	05_25	12.4961	0.4098	0.0027	9999	0.0037
5	09_24	07_25	0.0698	0.0039	1.0000	9999	1.0000
6	11_24	01_25	32.6184	0.6444	0.0001	9999	0.0002
7	11_24	03_25	13.3635	0.4261	0.0001	9999	0.0002
8	11_24	05_25	23.6842	0.5682	0.0003	9999	0.0006
9	11_24	07_25	3.6000	0.1667	0.1306	9999	0.1405
10	01_25	03_25	15.3102	0.4596	0.0011	9999	0.0018
11	01_25	05_25	25.9509	0.5905	0.0001	9999	0.0002
12	01_25	07_25	31.2765	0.6347	0.0001	9999	0.0002
13	03_25	05_25	4.5889	0.2031	0.0346	9999	0.0432
14	03_25	07_25	11.3135	0.3859	0.0001	9999	0.0002
15	05_25	07_25	14.8114	0.4514	0.0012	9999	0.0018

Significativos (BH $\leq$ 0.05):

grupo1	grupo2	p_ajustado
09_24	01_25	0.0002
09_24	03_25	0.0002
09_24	05_25	0.0037
11_24	01_25	0.0002
11_24	03_25	0.0002
11_24	05_25	0.0006
01_25	03_25	0.0018
01_25	05_25	0.0002
01_25	07_25	0.0002
03_25	05_25	0.0432
03_25	07_25	0.0002
05_25	07_25	0.0018

--- SITE : P5 ---

	grupo1	grupo2	F_stat	R2	p_valor	nperm	p_ajustado
1	09_24	11_24	0.1915	0.0105	0.8618	9999	0.9234
2	09_24	01_25	1.9139	0.0961	0.2419	9999	0.4032
3	09_24	03_25	9.5904	0.3476	0.0076	9999	0.0650
4	09_24	05_25	7.5789	0.2963	0.0198	9999	0.0743
5	09_24	07_25	0.1915	0.0105	0.8606	9999	0.9234
6	11_24	01_25	1.2377	0.0643	0.3632	9999	0.5077
7	11_24	03_25	8.7076	0.3260	0.0130	9999	0.0650
8	11_24	05_25	5.4444	0.2322	0.0442	9999	0.1115
9	11_24	07_25	0.0000	0.0000	1.0000	9999	1.0000
10	01_25	03_25	4.7146	0.2076	0.0555	9999	0.1189
11	01_25	05_25	0.3191	0.0174	0.6740	9999	0.8425
12	01_25	07_25	1.2377	0.0643	0.3723	9999	0.5077
13	03_25	05_25	3.9153	0.1787	0.0759	9999	0.1423
14	03_25	07_25	8.7076	0.3260	0.0122	9999	0.0650
15	05_25	07_25	5.4444	0.2322	0.0446	9999	0.1115

Significativos (BH $\leq$ 0.05) : nenhum

--- SITE : P6 ---

	grupo1	grupo2	F_stat	R2	p_valor	nperm	p_ajustado
1	09_24	11_24	0.3396	0.0185	0.7669	9999	0.7913
2	09_24	01_25	20.3898	0.5311	0.0001	9999	0.0005
3	09_24	03_25	2.9767	0.1419	0.1083	9999	0.1624
4	09_24	05_25	24.5106	0.5766	0.0003	9999	0.0007
5	09_24	07_25	1.2632	0.0656	0.4047	9999	0.4670
6	11_24	01_25	19.6534	0.5220	0.0001	9999	0.0005
7	11_24	03_25	2.2329	0.1104	0.2077	9999	0.2832
8	11_24	05_25	22.0928	0.5510	0.0003	9999	0.0007
9	11_24	07_25	0.2769	0.0152	0.7913	9999	0.7913
10	01_25	03_25	13.7095	0.4323	0.0005	9999	0.0011
11	01_25	05_25	6.3895	0.2620	0.0174	9999	0.0326
12	01_25	07_25	18.9569	0.5129	0.0001	9999	0.0005
13	03_25	05_25	6.0235	0.2507	0.0330	9999	0.0550
14	03_25	07_25	1.6241	0.0828	0.3143	9999	0.3929
15	05_25	07_25	20.0276	0.5267	0.0002	9999	0.0007

Significativos (BH $\leq$ 0.05):

grupo1	grupo2	p_ajustado
09_24	01_25	0.0005
09_24	05_25	0.0007
11_24	01_25	0.0005
11_24	05_25	0.0007
01_25	03_25	0.0011
01_25	05_25	0.0326
01_25	07_25	0.0005
05_25	07_25	0.0007

--- SITE : P7 ---

	grupo1	grupo2	F_stat	R2	p_valor	nperm	p_ajustado
1	09_24	11_24	0.5031	0.0272	0.8700	9999	0.9405
2	09_24	01_25	7.0244	0.2807	0.0042	9999	0.0090
3	09_24	03_25	22.2325	0.5526	0.0001	9999	0.0005
4	09_24	05_25	3.3471	0.1568	0.1065	9999	0.1452
5	09_24	07_25	0.5031	0.0272	0.8778	9999	0.9405
6	11_24	01_25	8.6627	0.3249	0.0010	9999	0.0025
7	11_24	03_25	24.8827	0.5803	0.0001	9999	0.0005
8	11_24	05_25	6.1261	0.2539	0.0207	9999	0.0345
9	11_24	07_25	0.0000	0.0000	1.0000	9999	1.0000
10	01_25	03_25	4.0059	0.1820	0.0695	9999	0.1043
11	01_25	05_25	2.3784	0.1167	0.1477	9999	0.1846
12	01_25	07_25	8.6627	0.3249	0.0004	9999	0.0015
13	03_25	05_25	13.7108	0.4324	0.0009	9999	0.0025
14	03_25	07_25	24.8827	0.5803	0.0001	9999	0.0005
15	05_25	07_25	6.1261	0.2539	0.0183	9999	0.0343

Significativos (BH $\leq$ 0.05):

grupo1	grupo2	p_ajustado
09_24	01_25	0.0090
09_24	03_25	0.0005
11_24	01_25	0.0025
11_24	03_25	0.0005
11_24	05_25	0.0345
01_25	07_25	0.0015
03_25	05_25	0.0025
03_25	07_25	0.0005
05_25	07_25	0.0343

--- SITE : P8 ---

	grupo1	grupo2	F_stat	R2	p_valor	nperm	p_ajustado
1	09_24	11_24	0.0973	0.0054	0.8733	9999	0.8733
2	09_24	01_25	47.4190	0.7249	0.0001	9999	0.0003
3	09_24	03_25	2.4069	0.1179	0.1599	9999	0.1845
4	09_24	05_25	16.1553	0.4730	0.0006	9999	0.0013
5	09_24	07_25	6.2913	0.2590	0.0370	9999	0.0505
6	11_24	01_25	47.2402	0.7241	0.0001	9999	0.0003
7	11_24	03_25	1.9962	0.0998	0.2010	9999	0.2154
8	11_24	05_25	15.5455	0.4634	0.0005	9999	0.0013
9	11_24	07_25	6.9449	0.2784	0.0311	9999	0.0466
10	01_25	03_25	44.9453	0.7140	0.0001	9999	0.0003
11	01_25	05_25	48.9025	0.7310	0.0001	9999	0.0003
12	01_25	07_25	48.4641	0.7292	0.0001	9999	0.0003
13	03_25	05_25	7.2960	0.2884	0.0035	9999	0.0066
14	03_25	07_25	5.5475	0.2356	0.0213	9999	0.0355
15	05_25	07_25	5.0000	0.2174	0.0908	9999	0.1135

Significativos (BH $\leq$ 0.05):

grupo1	grupo2	p_ajustado
09_24	01_25	0.0003
09_24	05_25	0.0013
11_24	01_25	0.0003
11_24	05_25	0.0013
11_24	07_25	0.0466
01_25	03_25	0.0003
01_25	05_25	0.0003
01_25	07_25	0.0003
03_25	05_25	0.0066
03_25	07_25	0.0355

```
-- DATE POSTHOC --
Permutation test for adonis under reduced model
Blocks: dados$ponto
Permutation: free
Number of permutations: 9999

adonis2(formula = matriz ~ data, data = dados, permutations = how(nperm =
NPERM, blocks = dados$ponto), method = "euclidean")
Df SumOfSqs      R2      F Pr(>F)
Model      5    63719 0.31053 42.697 1e-04 ***
Residual 474   141474 0.68947
Total     479   205193 1.00000
```

```
=====
DATE POSTHOC
=====
```

```
--- DATE : 09_24 ---
  grupo1 grupo2 F_stat R2      p_valor nperm      p_ajustado
1      P1      P2 0.1670 0.0092 0.7980 9999      1.0000
2      P1      P3 1.5568 0.0796 0.3711 9999      0.9345
3      P1      P4 0.0210 0.0012 1.0000 9999      1.0000
4      P1      P5 1.0185 0.0536 0.4463 9999      0.9345
5      P1      P6 0.8223 0.0437 0.5428 9999      0.9345
6      P1      P7 0.6559 0.0352 0.5674 9999      0.9345
7      P1      P8 0.6353 0.0341 0.5327 9999      0.9345
8      P2      P3 1.4331 0.0737 0.4326 9999      0.9345
9      P2      P4 0.1667 0.0092 0.8397 9999      1.0000
10     P2      P5 0.6545 0.0351 0.5477 9999      0.9345
11     P2      P6 0.4475 0.0243 0.7263 9999      1.0000
12     P2      P7 0.2883 0.0158 0.6271 9999      0.9755
13     P2      P8 2.4545 0.1200 0.1828 9999      0.8531
14     P3      P4 4.3663 0.1952 0.0887 9999      0.4967
15     P3      P5 0.0857 0.0047 1.0000 9999      1.0000
16     P3      P6 0.5455 0.0294 0.7269 9999      1.0000
17     P3      P7 0.2169 0.0119 0.9425 9999      1.0000
18     P3      P8 9.6923 0.3500 0.0106 9999      0.2968
19     P4      P5 1.9756 0.0989 0.2579 9999      0.9121
20     P4      P6 1.8000 0.0909 0.2981 9999      0.9274
21     P4      P7 1.0000 0.0526 0.4485 9999      0.9345
22     P4      P8 1.8299 0.0923 0.2606 9999      0.9121
23     P5      P6 0.0698 0.0039 1.0000 9999      1.0000
24     P5      P7 0.0393 0.0022 1.0000 9999      1.0000
25     P5      P8 6.2082 0.2564 0.0383 9999      0.3575
26     P6      P7 0.0000 0.0000 1.0000 9999      1.0000
27     P6      P8 6.2913 0.2590 0.0355 9999      0.3575
28     P7      P8 4.2353 0.1905 0.0775 9999      0.4967
Significativos (BH ≤ 0.05 ): nenhum
```

--- DATE : 11_24 ---

	grupo1	grupo2	F_stat	R2	p_valor	nperm	p_ajustado
1	P1	P2	3.2232	0.1519	0.0848	9999	0.1696
2	P1	P3	1.1514	0.0601	0.3552	9999	0.4973
3	P1	P4	4.3559	0.1948	0.0225	9999	0.0788
4	P1	P5	3.9600	0.1803	0.0435	9999	0.1353
5	P1	P6	3.8577	0.1765	0.0558	9999	0.1471
6	P1	P7	4.4945	0.1998	0.0127	9999	0.0676
7	P1	P8	2.5268	0.1231	0.1469	9999	0.2571
8	P2	P3	4.1008	0.1855	0.0683	9999	0.1471
9	P2	P4	2.4545	0.1200	0.1988	9999	0.2958
10	P2	P5	0.9000	0.0476	0.4370	9999	0.5291
11	P2	P6	0.7098	0.0379	0.5049	9999	0.5655
12	P2	P7	3.3088	0.1553	0.1350	9999	0.2520
13	P2	P8	0.9484	0.0501	0.4061	9999	0.5169
14	P3	P4	9.7421	0.3512	0.0077	9999	0.0676
15	P3	P5	7.5015	0.2942	0.0169	9999	0.0676
16	P3	P6	7.3043	0.2887	0.0163	9999	0.0676
17	P3	P7	10.6417	0.3715	0.0028	9999	0.0676
18	P3	P8	2.0682	0.1031	0.2007	9999	0.2958
19	P4	P5	0.5586	0.0301	0.6552	9999	0.7056
20	P4	P6	1.4118	0.0727	0.3852	9999	0.5136
21	P4	P7	0.1579	0.0087	1.0000	9999	1.0000
22	P4	P8	9.2160	0.3386	0.0152	9999	0.0676
23	P5	P6	0.0545	0.0030	1.0000	9999	1.0000
24	P5	P7	1.2000	0.0625	0.4535	9999	0.5291
25	P5	P8	4.8594	0.2126	0.0581	9999	0.1471
26	P6	P7	2.9221	0.1397	0.1938	9999	0.2958
27	P6	P8	4.8000	0.2105	0.0649	9999	0.1471
28	P7	P8	11.5600	0.3911	0.0053	9999	0.0676

Significativos (BH $\leq$ 0.05): nenhum

--- DATE : 01_25 ---

	grupo1	grupo2	F_stat	R2	p_valor	nperm	p_ajustado
1	P1	P2	4.3143	0.1933	0.0506	9999	0.0644
2	P1	P3	0.0197	0.0011	0.8944	9999	0.8944
3	P1	P4	0.1564	0.0086	0.7039	9999	0.7300
4	P1	P5	6.8979	0.2770	0.0035	9999	0.0061
5	P1	P6	1.9127	0.0961	0.2017	9999	0.2259
6	P1	P7	5.1692	0.2231	0.0255	9999	0.0357
7	P1	P8	22.5896	0.5565	0.0001	9999	0.0003
8	P2	P3	6.8151	0.2746	0.0135	9999	0.0210
9	P2	P4	4.6500	0.2053	0.0394	9999	0.0525
10	P2	P5	29.9675	0.6247	0.0001	9999	0.0003
11	P2	P6	17.2783	0.4898	0.0003	9999	0.0007
12	P2	P7	26.0386	0.5913	0.0001	9999	0.0003
13	P2	P8	10.8647	0.3764	0.0024	9999	0.0045
14	P3	P4	0.5358	0.0289	0.4824	9999	0.5195
15	P3	P5	14.9982	0.4545	0.0003	9999	0.0007
16	P3	P6	3.3569	0.1572	0.0864	9999	0.1008
17	P3	P7	10.7239	0.3733	0.0018	9999	0.0036
18	P3	P8	27.2145	0.6019	0.0001	9999	0.0003
19	P4	P5	29.4245	0.6204	0.0001	9999	0.0003
20	P4	P6	8.9437	0.3319	0.0072	9999	0.0119
21	P4	P7	22.1178	0.5513	0.0003	9999	0.0007
22	P4	P8	24.4822	0.5763	0.0001	9999	0.0003
23	P5	P6	15.9393	0.4696	0.0004	9999	0.0009
24	P5	P7	3.3891	0.1585	0.0774	9999	0.0942
25	P5	P8	47.5238	0.7253	0.0001	9999	0.0003
26	P6	P7	6.8394	0.2753	0.0167	9999	0.0246
27	P6	P8	37.9218	0.6781	0.0001	9999	0.0003
28	P7	P8	44.7498	0.7131	0.0001	9999	0.0003

Significativos (BH $\leq$ 0.05):

grupo1	grupo2	p_ajustado
P1	P5	0.0061
P1	P7	0.0357
P1	P8	0.0003
P2	P3	0.0210
P2	P5	0.0003
P2	P6	0.0007
P2	P7	0.0003
P2	P8	0.0045
P3	P5	0.0007
P3	P7	0.0036
P3	P8	0.0003
P4	P5	0.0003
P4	P6	0.0119
P4	P7	0.0007
P4	P8	0.0003
P5	P6	0.0009
P5	P8	0.0003
P6	P7	0.0246
P6	P8	0.0003
P7	P8	0.0003

--- DATE : 03_25 ---

	grupo1	grupo2	F_stat	R2	p_valor	nperm	p_ajustado
1	P1	P2	0.1456	0.0080	0.7597	9999	0.8252
2	P1	P3	0.6164	0.0331	0.4799	9999	0.7072
3	P1	P4	2.8947	0.1385	0.1282	9999	0.3263
4	P1	P5	0.3796	0.0207	0.5705	9999	0.7261
5	P1	P6	2.0193	0.1009	0.1925	9999	0.3850
6	P1	P7	6.2776	0.2586	0.0213	9999	0.1491
7	P1	P8	0.0118	0.0007	0.9569	9999	0.9569
8	P2	P3	1.6265	0.0829	0.2596	9999	0.4543
9	P2	P4	2.3048	0.1135	0.1831	9999	0.3850
10	P2	P5	0.1221	0.0067	0.7663	9999	0.8252
11	P2	P6	3.7188	0.1712	0.0893	9999	0.3126
12	P2	P7	5.4195	0.2314	0.0355	9999	0.1657
13	P2	P8	0.0285	0.0016	0.9132	9999	0.9470
14	P3	P4	4.8790	0.2133	0.0327	9999	0.1657
15	P3	P5	1.5450	0.0790	0.2557	9999	0.4543
16	P3	P6	0.5569	0.0300	0.5255	9999	0.7261
17	P3	P7	9.7664	0.3517	0.0056	9999	0.0784
18	P3	P8	0.4702	0.0255	0.5644	9999	0.7261
19	P4	P5	1.2086	0.0629	0.3106	9999	0.4832
20	P4	P6	6.6134	0.2687	0.0120	9999	0.1120
21	P4	P7	0.1935	0.0106	0.6841	9999	0.8241
22	P4	P8	2.0450	0.1020	0.1844	9999	0.3850
23	P5	P6	2.9801	0.1420	0.1164	9999	0.3259
24	P5	P7	2.9764	0.1419	0.1102	9999	0.3259
25	P5	P8	0.1750	0.0096	0.7064	9999	0.8241
26	P6	P7	12.3253	0.4064	0.0026	9999	0.0728
27	P6	P8	1.3663	0.0705	0.2936	9999	0.4832
28	P7	P8	4.3003	0.1928	0.0582	9999	0.2328

Significativos (BH $\leq$ 0.05): nenhum

--- DATE : 05_25 ---

	grupo1	grupo2	F_stat	R2	p_valor	nperm	p_ajustado
1	P1	P2	1.3781	0.0711	0.3178	9999	0.4045
2	P1	P3	5.0749	0.2199	0.0481	9999	0.0898
3	P1	P4	0.8649	0.0458	0.4261	9999	0.5187
4	P1	P5	0.3846	0.0209	0.6243	9999	0.7284
5	P1	P6	6.0515	0.2516	0.0292	9999	0.0629
6	P1	P7	0.2727	0.0149	0.6830	9999	0.7355
7	P1	P8	15.4110	0.4613	0.0012	9999	0.0056
8	P2	P3	1.7431	0.0883	0.2700	9999	0.3600
9	P2	P4	5.5935	0.2371	0.0407	9999	0.0814
10	P2	P5	0.3750	0.0204	0.6574	9999	0.7355
11	P2	P6	12.7679	0.4150	0.0025	9999	0.0100
12	P2	P7	0.2308	0.0127	0.7355	9999	0.7627
13	P2	P8	14.0488	0.4384	0.0004	9999	0.0028
14	P3	P4	13.2923	0.4248	0.0032	9999	0.0100
15	P3	P5	3.5243	0.1637	0.1028	9999	0.1708
16	P3	P6	19.5775	0.5210	0.0004	9999	0.0028
17	P3	P7	1.9836	0.0993	0.2282	9999	0.3195
18	P3	P8	8.1910	0.3127	0.0090	9999	0.0229
19	P4	P5	2.9194	0.1396	0.1432	9999	0.2228
20	P4	P6	3.2668	0.1536	0.1037	9999	0.1708
21	P4	P7	1.9987	0.0999	0.2100	9999	0.3095
22	P4	P8	32.5615	0.6440	0.0002	9999	0.0028
23	P5	P6	9.5994	0.3478	0.0069	9999	0.0193
24	P5	P7	0.0000	0.0000	1.0000	9999	1.0000
25	P5	P8	16.3636	0.4762	0.0010	9999	0.0056
26	P6	P7	7.7724	0.3016	0.0163	9999	0.0380
27	P6	P8	31.5618	0.6368	0.0001	9999	0.0028
28	P7	P8	7.8261	0.3030	0.0030	9999	0.0100

Significativos (BH $\leq$ 0.05):

grupo1	grupo2	p_ajustado
P1	P8	0.0056
P2	P6	0.0100
P2	P8	0.0028
P3	P4	0.0100
P3	P6	0.0028
P3	P8	0.0229
P4	P8	0.0028
P5	P6	0.0193
P5	P8	0.0056
P6	P7	0.0380
P6	P8	0.0028
P7	P8	0.0100

--- DATE : 07_25 ---

	grupo1	grupo2	F_stat	R2	p_valor	nperm	p_ajustado
1	P1	P2	0.4645	0.0252	0.6428	9999	0.8880
2	P1	P3	0.4364	0.0237	0.6510	9999	0.8880
3	P1	P4	0.4645	0.0252	0.6328	9999	0.8880
4	P1	P5	1.2082	0.0629	0.3739	9999	0.8880
5	P1	P6	0.4364	0.0237	0.6403	9999	0.8880
6	P1	P7	3.9314	0.1793	0.0828	9999	0.4637
7	P1	P8	1.8824	0.0947	0.2597	9999	0.8880
8	P2	P3	0.0000	0.0000	1.0000	9999	1.0000
9	P2	P4	0.0000	0.0000	1.0000	9999	1.0000
10	P2	P5	0.5294	0.0286	0.6371	9999	0.8880
11	P2	P6	0.0000	0.0000	1.0000	9999	1.0000
12	P2	P7	6.7846	0.2737	0.0428	9999	0.4637
13	P2	P8	1.5319	0.0784	0.3511	9999	0.8880
14	P3	P4	0.0000	0.0000	1.0000	9999	1.0000
15	P3	P5	0.4682	0.0254	0.6660	9999	0.8880
16	P3	P6	0.0000	0.0000	1.0000	9999	1.0000
17	P3	P7	5.1882	0.2237	0.0712	9999	0.4637
18	P3	P8	1.2632	0.0656	0.4113	9999	0.8880
19	P4	P5	0.5294	0.0286	0.6399	9999	0.8880
20	P4	P6	0.0000	0.0000	1.0000	9999	1.0000
21	P4	P7	6.7846	0.2737	0.0422	9999	0.4637
22	P4	P8	1.5319	0.0784	0.3647	9999	0.8880
23	P5	P6	0.4682	0.0254	0.6540	9999	0.8880
24	P5	P7	1.2000	0.0625	0.4472	9999	0.8880
25	P5	P8	0.0604	0.0033	1.0000	9999	1.0000
26	P6	P7	5.1882	0.2237	0.0722	9999	0.4637
27	P6	P8	1.2632	0.0656	0.4041	9999	0.8880
28	P7	P8	1.3279	0.0687	0.4600	9999	0.8880

Significativos (BH $\leq$ 0.05): nenhum

MATERIAL SUPLEMENTAR 2

Os resultados dos LMM da relação entre abundância de *Donax gemmula* J. P. E. Morrison, 1971, e variáveis ambientais medidas *in situ*, das praias de Aracaju, Sergipe, Nordeste do Brasil estão ordenados como são apresentados no item 2.5.2: estrutura e diagnósticos do modelo, seguido da escolha da transformação, seguido dos resultados e diagnósticos dos modelos.

```

> AICc(mod_null_N, mod_null_Nlog)
      df      AICc
mod_null_N      3 411.6736
mod_null_Nlog    3 116.3334

> # 2.2: Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk)
> shapiro.test(residuals(mod_null_N))

      Shapiro-Wilk normality test

data:  residuals(mod_null_N)
W = 0.41597, p-value = 1.475e-12

> shapiro.test(residuals(mod_null_Nlog))

      Shapiro-Wilk normality test

data:  residuals(mod_null_Nlog)
W = 0.94504, p-value = 0.02547

> # 2.3: Teste de homogeneidade de variância dos resíduos
> bartlett.test(residuals(mod_null_N) ~ dados$date)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  residuals(mod_null_N) by dados$date
Bartlett's K-squared = 162.96, df = 5, p-value < 2.2e-16

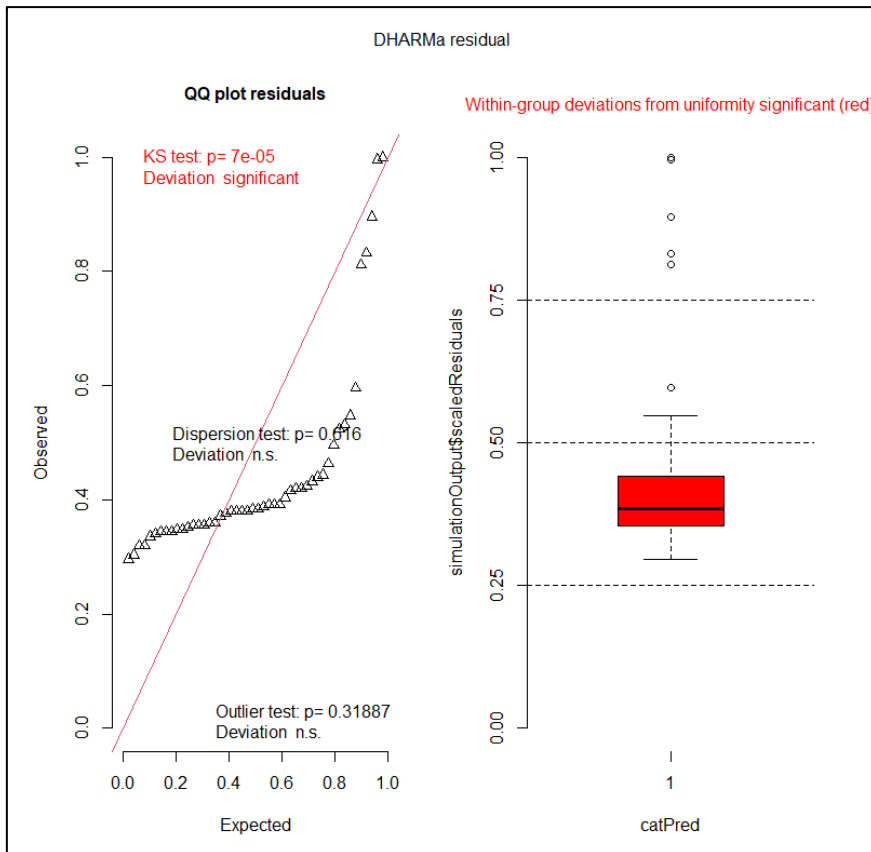
> bartlett.test(residuals(mod_null_Nlog) ~ dados$date)

      Bartlett test of homogeneity of variances

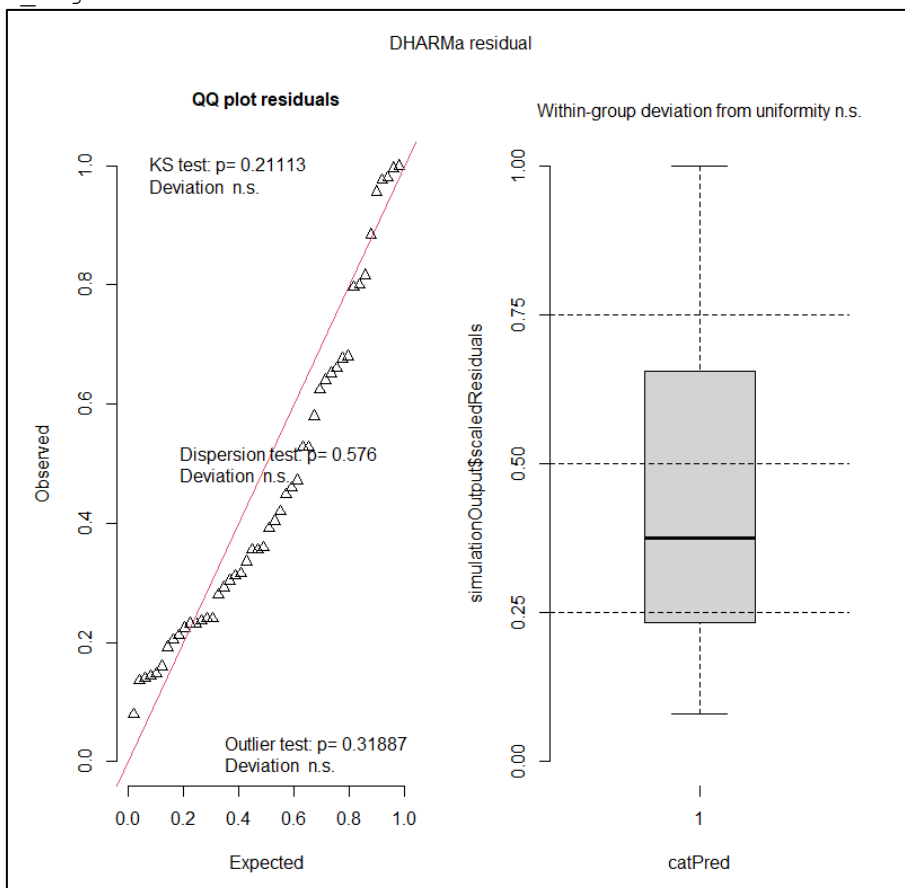
data:  residuals(mod_null_Nlog) by dados$date
Bartlett's K-squared = 28.257, df = 5, p-value = 3.241e-05

```

N



N_log



```

=====
Modelo: N_log ~ GS + (1 | date)
=====
Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method
['lmerModLmerTest']
Formula: formula_modelo
Data: dados

REML criterion at convergence: 115.3

Scaled residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.98342 -0.55319 -0.01508  0.46018  3.10784

Random effects:
Groups   Name              Variance Std.Dev.
date     (Intercept)  0.7857    0.8864
Residual                0.3777    0.6146
Number of obs: 48, groups: date, 6

Fixed effects:
              Estimate Std. Error    df t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2.260663    0.563167 21.487628   4.014 0.000605 ***
GS           -0.004821    0.002089 41.470612  -2.307 0.026107 *
---

Correlation of Fixed Effects:
(Intr)
GS -0.750

              2.5 %           97.5 %
.sig01              NA              NA
.sigma              NA              NA
(Intercept)  1.156875514  3.3644513512
GS           -0.008915579 -0.0007255368

DHARMA nonparametric dispersion test via sd of residuals fitted vs.
simulated

data: simulationOutput
dispersion = 0.99658, p-value = 0.776
alternative hypothesis: two.sided

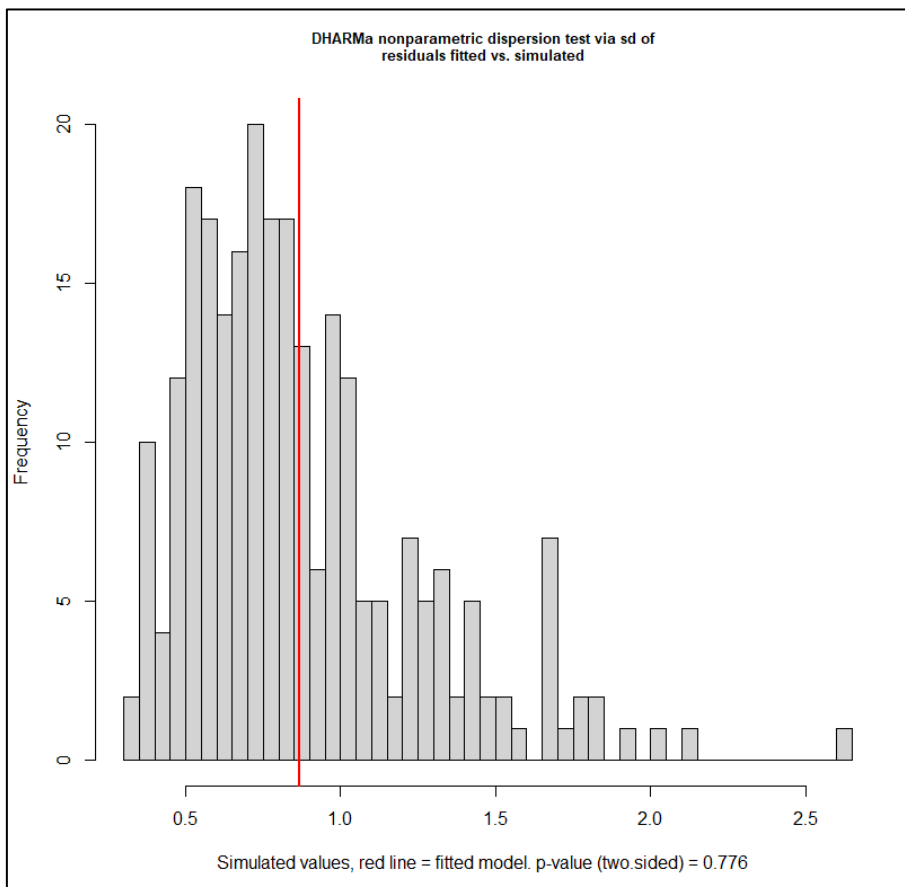
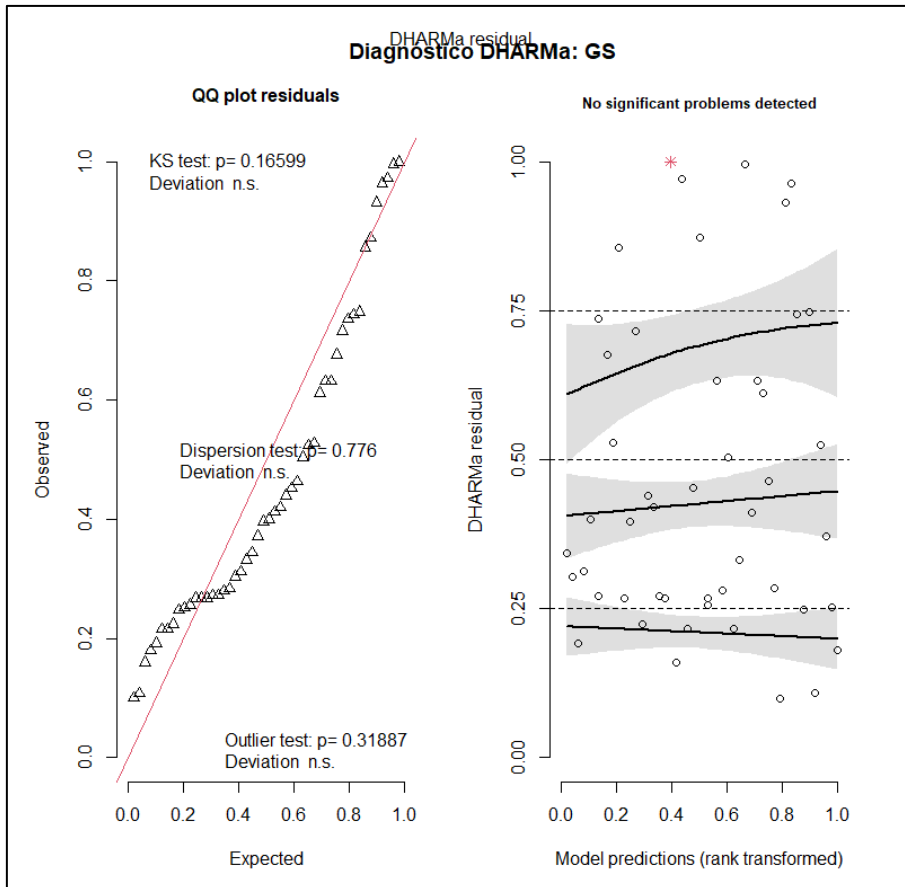
Asymptotic one-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: simulationOutput$scaledResiduals
D = 0.161, p-value = 0.166
alternative hypothesis: two-sided

# R2 for Mixed Models

Conditional R2: 0.688
Marginal R2: 0.039

```



```

=====
Modelo: N_log ~ DL + (1 | date)
=====
Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method
['lmerModLmerTest']
Formula: formula_modelo
Data: dados

REML criterion at convergence: 119.8

Scaled residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.98401 -0.45759  0.00373  0.39673  2.92824

Random effects:
 Groups   Name      Variance Std.Dev.
 date    (Intercept) 0.8199   0.9055
 Residual                0.4239   0.6511
Number of obs: 48, groups: date, 6

Fixed effects:
              Estimate Std. Error    df t value Pr(>|t|)
(Intercept) 1.226e+00  4.512e-01 9.478e+00  2.717  0.0227 *
DL           7.041e-04  2.803e-03 4.235e+01  0.251  0.8029
---

Correlation of Fixed Effects:
      (Intr)
DL -0.534

              2.5 %      97.5 %
.sig01          NA          NA
.sigma          NA          NA
(Intercept) 0.341476722 2.110054912
DL          -0.004789171 0.006197371

      DHARMA nonparametric dispersion test via sd of residuals fitted vs.
      simulated

data: simulationOutput
dispersion = 0.99486, p-value = 0.784
alternative hypothesis: two.sided

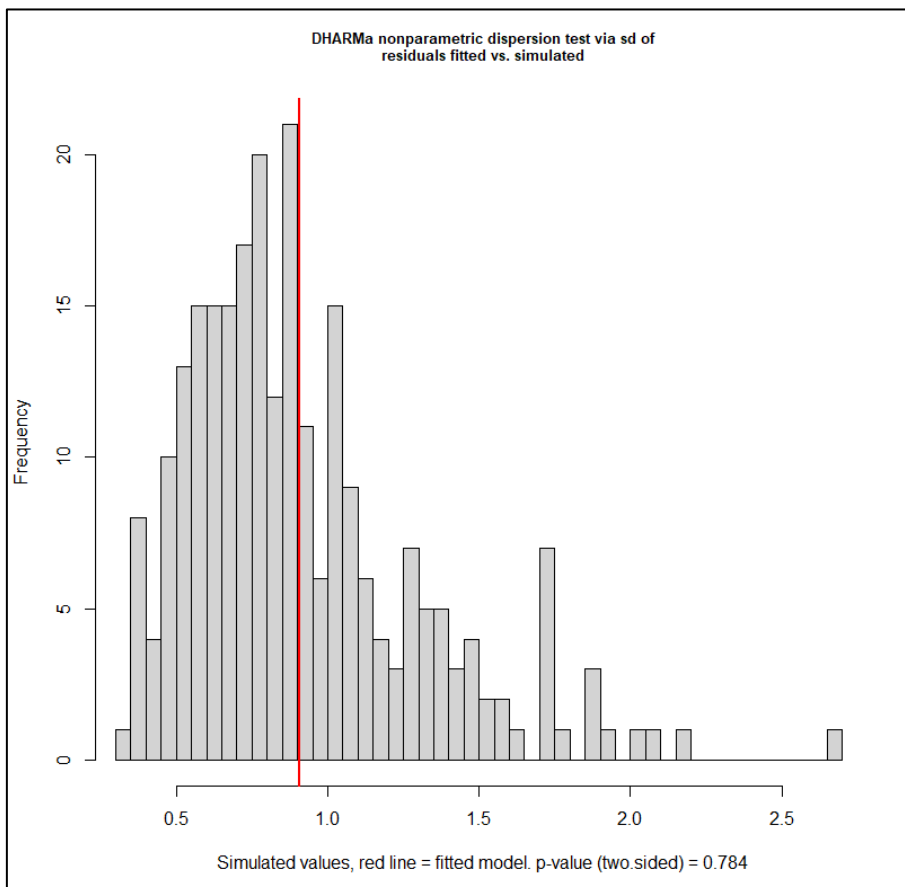
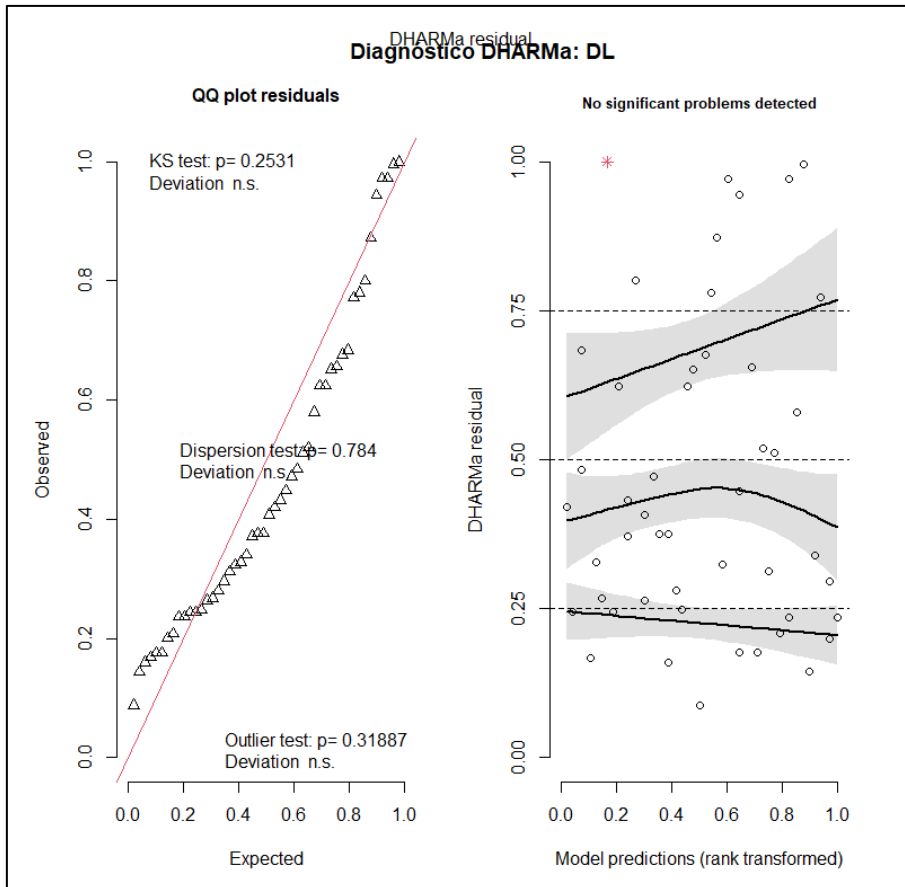
      Asymptotic one-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: simulationOutput$scaledResiduals
D = 0.14667, p-value = 0.2531
alternative hypothesis: two-sided

# R2 for Mixed Models

Conditional R2: 0.659
Marginal R2: 0.001

```



```

=====
Modelo: N_log ~ SZL_R + (1 | date)
=====
Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method
['lmerModLmerTest']
Formula: formula_modelo
Data: dados

REML criterion at convergence: 119.1

Scaled residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-3.01025 -0.43011  0.02598  0.35014  2.77755

Random effects:
Groups   Name              Variance Std.Dev.
date     (Intercept)  0.8653    0.9302
Residual                0.4197    0.6478
Number of obs: 48, groups: date, 6

Fixed effects:
              Estimate Std. Error      df t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.200274    0.430106   7.059225  2.791    0.0267 *
SZL_R        0.001780    0.003704  41.993531  0.481    0.6332
---

Correlation of Fixed Effects:
      (Intr)
SZL_R -0.416

              2.5 %      97.5 %
.sig01             NA             NA
.sigma             NA             NA
(Intercept)  0.357281961 2.043266657
SZL_R        -0.005478459 0.009039247

      DHARMA nonparametric dispersion test via sd of residuals fitted vs.
      simulated

data:  simulationOutput
dispersion = 0.99554, p-value = 0.784
alternative hypothesis: two.sided

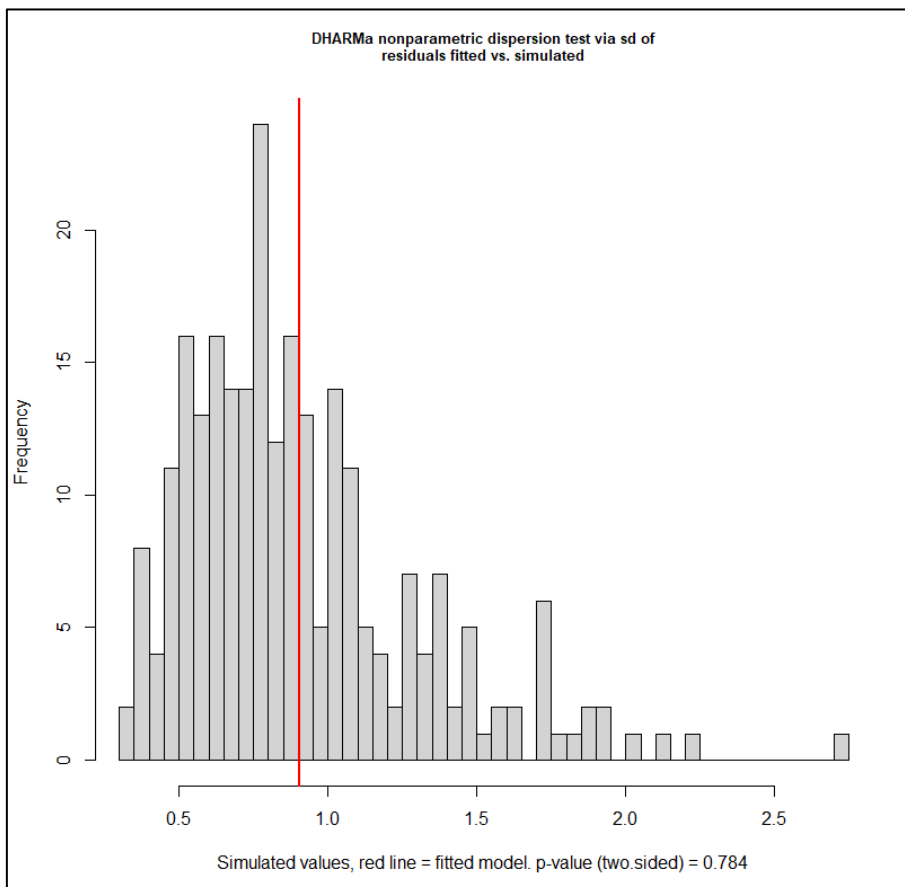
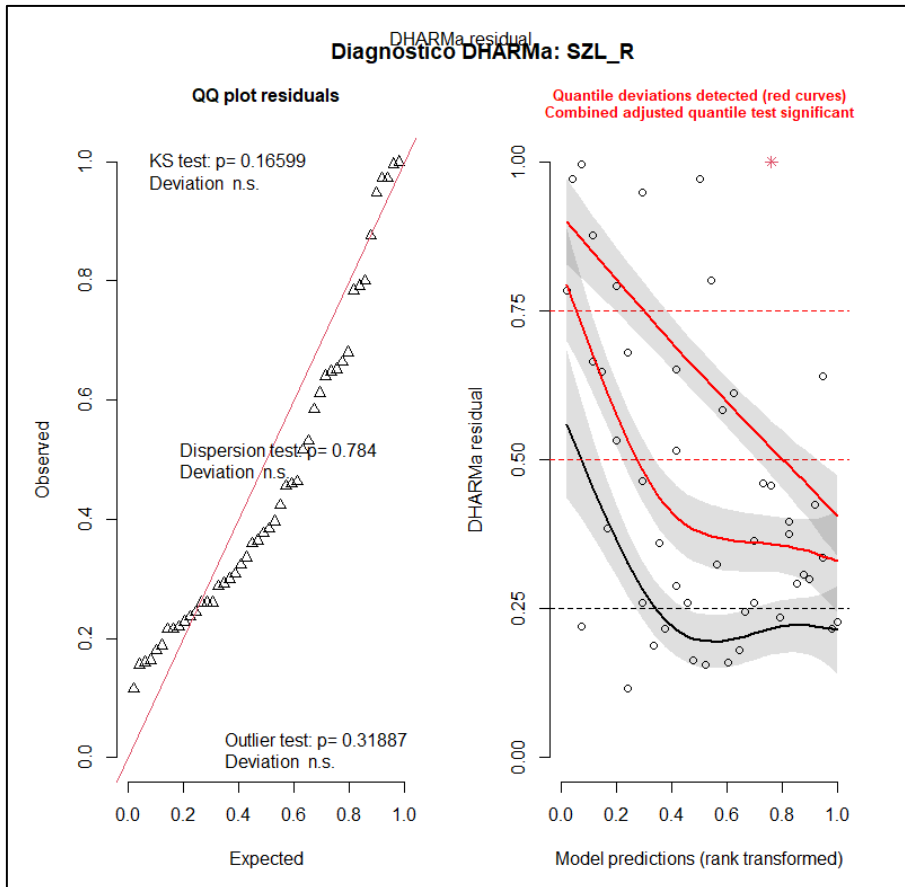
      Asymptotic one-sample Kolmogorov-Smirnov test

data:  simulationOutput$scaledResiduals
D = 0.161, p-value = 0.166
alternative hypothesis: two-sided

# R2 for Mixed Models

Conditional R2: 0.674
Marginal R2: 0.002

```

```

=====
Modelo: N_log ~ DL_SZL + (1 | date)
=====
Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method
['lmerModLmerTest']
Formula: formula_modelo
Data: dados

REML criterion at convergence: 118.2

Scaled residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.88962 -0.46698 -0.01856  0.45786  3.02435

Random effects:
Groups   Name              Variance Std.Dev.
date     (Intercept)  0.9293    0.964
Residual                0.4096    0.640
Number of obs: 48, groups: date, 6

Fixed effects:
              Estimate Std. Error    df t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.734421    0.696306 26.461739   1.055    0.301
DL_SZL       0.004109    0.004221 44.441072   0.973    0.336

Correlation of Fixed Effects:
      (Intr)
DL_SZL -0.814
              2.5 %      97.5 %
.sig01             NA         NA
.sigma             NA         NA
(Intercept) -0.630312620 2.09915512
DL_SZL      -0.004164262 0.01238247

DHARMA nonparametric dispersion test via sd of residuals fitted vs.
simulated

data: simulationOutput
dispersion = 0.99106, p-value = 0.784
alternative hypothesis: two.sided

Asymptotic one-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: simulationOutput$scaledResiduals
D = 0.1395, p-value = 0.3077
alternative hypothesis: two-sided

# R2 for Mixed Models

Conditional R2: 0.698
Marginal R2: 0.012
>

```

