

An underwater photograph showing a diverse marine ecosystem. In the foreground, there are several branching coral structures: one is bright white, another is reddish-brown, and a third is yellowish-tan. The background is filled with a dense, dark green and black structure, likely a large, complex coral or seaweed formation. The water is clear and blue, with some light filtering through from above.

**CARACTERIZAÇÃO DAS COMUNIDADES
DE MACROALGAS E INVERTEBRADOS
SÉSSEIS E VÁGEIS NO PARQUE
SUBAQUÁTICO DE ESCULTURAS EDP
ART REEF – SANTA EULÁLIA**

CARACTERIZAÇÃO DAS COMUNIDADES DE MACROALGAS E INVERTEBRADOS SÉSSEIS E VÁGEIS NO PARQUE SUBAQUÁTICO DE ESCULTURAS EDP ART REEF - SANTA EULÁLIA

2025

Coordenação Científica

Mafalda Rangel & Jorge M.S. Gonçalves

Equipa científica

Carlos M. L. Afonso, Miguel Mateus, Afonso França

Mergulho científico

Centro de Mergulho Científico (CMC) do CCMAR

Autores

Carlos M. L. Afonso

Miguel Mateus

Afonso França

Foto de Capa: Imagem: Diogo Paulo (CMC/CCMAR)

Citação recomendada

Afonso, C. M. L, Mateus, M, França, A, Gonçalves M.S.J & Rangel, M. (2025) Caracterização das comunidades de macroalgas e invertebrados sésseis e vágéis no parque subaquático de esculturas EDP Art Reef – Santa Eulália. Centro de Ciências do Mar do Algarve. Faro, Portugal. Pp 30 + Anexos.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	3
2.1. Área de estudo	3
2.2. Método de amostragem	4
2.2.1. Tratamento de dados	6
3. RESULTADOS.....	9
3.1. Evolução temporal das comunidades	9
3.1.1. Estrutura geral das comunidades	9
3.1.2. Composição de espécies	10
3.1.3. Diversidade da Comunidade	13
3.1.4. Análise multivariada	14
3.2. Evolução temporal das comunidades de acordo com o substrato	17
3.2.1. Estrutura geral das comunidades	17
3.2.1. Composição de espécies	18
3.2.1. Diversidade da Comunidade	19
3.2.1. Análise multivariada	21
4. DISCUSSÃO	24
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
6. ANEXOS.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef (37°4'39.13"N, 8°7'19.34"W) na costa sul de Portugal. Na imagem identifica-se a localização das estruturas submersas, onde foram realizados os foto quadrados planeados (Gravura: Luís Bentes & Miguel Mateus FCB/CCMAR).....	3
Figura 2. Uma das 13 estruturas que compõem o parque subaquático de esculturas EDP Art Reef: Olhar (Imagem: Diogo Paulo, CMC/CCMAR).....	4
Figura 3. Técnica no foto quadrado (Gravura: Carlos M. L. Afonso FCB/CCMAR).....	5
Figura 4. Exemplo da representação da distribuição dos 300 pontos aleatórios utilizado o programa CPCe - EDP ArtbReef (Imagem FCB/CCMAR).	6
Figura 5. Uma das 13 estruturas que compõem o recife artificial EDP Art Reef: Amália. (Imagem: Diogo Paulo, CMC/CCMAR).	8
Figura 6. Percentagem de cobertura dos organismos sésseis e vágéis que colonizaram as estruturas do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef entre os períodos T1 (primeira amostragem) e T6 (última amostragem). Resultados da análise Kruskal.Wallis e do teste post-hoc de Willcox.....	9
Figura 7. Percentagem da composição dos grandes grupos de organismos que compõem a comunidade de organismos sésseis e vágéis que colonizaram as estruturas do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef entre os períodos T1 e T6.	10
Figura 8. Algumas das espécies vágéis mais registadas no parque subaquático de esculturas EDP Art Reef: a) Pepino-do-mar-tubular (<i>Holothuria (Rowethuria) arguinensis</i>); b) Ouriço-do-mar-violeta (<i>Sphaerechinus granularis</i>), c) Estrela-do-mar-de-espinhos (<i>Marthasterias glacialis</i>); d) Pepino-do-mar-de-pontas-brancas (<i>Holothuria (Panningothuria) forskali</i>) (Imagens: Carlos M. Afonso, FCB/CCMAR).....	11
Figura 9. Os <i>taxa</i> mais importantes que colonizaram as estruturas do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef e a sua variação ao longo dos diferentes períodos temporais entre T1 e T6.	12
Figura 10. Algumas das principais espécies marinhas que utilizaram as estruturas do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef como local de refúgio: a) Polvo-comum (<i>Octopus vulgaris</i>); b) Rascaso (<i>Scorpaena notata</i>), c) Marachomba (<i>Parablennius pilicornis</i>); d) Moreia (<i>Muraena helena</i>). (Imagens: Carlos M. Afonso & Inês Sousa, FCB/CCMAR).	13
Figura 11. Variação da riqueza específica (<i>S</i>), Índice de Equitabilidade (<i>J'</i>), Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (<i>H'</i>) e Índice de Margalef dos organismos sésseis e vágéis que colonizaram parque subaquático de esculturas EDP Art Reef entre os períodos T1 e T6.	14
Figura 12. Diagramas nMDS da distribuição das amostras por período de amostragem, com base nos valores de similaridade de Bray-Curtis.	15
Figura 13. Análise SIMPER (%) utilizada para identificar quais os <i>taxa</i> que contribuem mais para a similaridade observada dentro dos diferentes períodos temporais (de T1 a T6).....	16

Figura 14. Percentagem de cobertura dos organismos que colonizaram as estruturas de cimento e metal do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef entre os períodos T1 e T6.....	17
Figura 15. O briozoário <i>Schizobrachiella sanguínea</i> , uma das principais espécies que colonizaram as estruturas do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef. (Imagem: Carlos M. Afonso, FCB/CCMAR).	18
Figura 16. Variação da riqueza específica (<i>S</i>), Índice de Equitabilidade (<i>J'</i>), Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (<i>H'</i>) e Índice de Margalef dos organismos sésseis e vágeis que colonizaram as estruturas de cimento e metal no parque subaquático de esculturas EDP Art Reef entre os períodos T1 e T6.....	20
Figura 17. Diagramas nMDS da distribuição das amostras por período de amostragem, com base nos valores de similaridade de Bray-Curtis para a abundância por espécie encontrados das estruturas de cimento e metal do parque subaquático de esculturas EDP Art Reefs.	21
Figura 18. Análise SIMPER (%) utilizada para identificar que <i>taxa</i> mais contribuem para a similaridade observada dentro dos diferentes períodos temporais (de T1 a T6) em cada um dos tipos de substrato colonizado (cimento e metal).	23

RESUMO

A imersão de estruturas no ambiente marinho favorece a colonização por organismos incrustantes. Com o intuito de avaliar este processo nas esculturas que compõem o parque subaquático de esculturas EDP Art Reef – Santa Eulália (Algarve, Portugal), foi realizado um estudo de um ano neste recife artificial. Neste sentido, foram analisados 472 foto-quadrados das esculturas permitindo acompanhar a evolução da sua colonização por macroalgas e invertebrados (sésseis e vágeis) ao longo deste período após implantação do parque subaquático. Paralelamente foi também analisada a influência do material que compõe as esculturas (cimento e metal) no processo de colonização. Os resultados evidenciaram uma rápida ocupação das superfícies, acompanhada por variações na composição das comunidades. Foi também possível verificar que o cimento apresenta valores de colonização significativamente mais elevados em percentagem de cobertura que o metal. A utilização de uma análise estatística multivariada permitiu averiguar ainda que as comunidades colonizadoras apresentam diferenças significativas entre substratos. No entanto, as espécies com maior preponderância nas comunidades são semelhantes nos dois tipos de substrato. Conclui-se, assim, que a colonização no recife artificial ocorre de maneira dinâmica e eficiente, sendo influenciada pelo material das estruturas. Salienta-se ainda a necessidade de dar continuidade a esta monitorização, para garantir em contínuo a integridade, equilíbrio e qualidade do parque, e verificar se a sucessão natural continuará a alterar a estrutura das comunidades colonizadoras. A extensão do programa de monitorização aos mergulhadores visitantes poderá contribuir ainda para o aumento da consciencialização ambiental e envolvimento da comunidade na preservação do património biológico. Na generalidade, os resultados obtidos no decorrer do primeiro ano de estudo no parque de esculturas EDP Art Reef revelam-se de extrema importância para a compreensão dos primeiros estágios de colonização, servido de base a outros estudos em estruturas artificiais submergidas no mar.

ABSTRACT

The submersion of structures in the sea favors the appearance and subsequent colonization by encrusting marine organisms. To examine the colonization of the structures that compose the underwater EDP Art Reef – Santa Eulália (Algarve, Portugal) underwater sculpture park, a one-year study was conducted on this artificial reef. The analysis of 472 photo quadrats, allowed to evaluate the evolution of the colonization process and the biodiversity of the (macroalgae and invertebrates) colonizing organisms over this period. In parallel, the influence of the structures (concrete and metal) on the colonization process was also analyzed. The study revealed a rapid colonization of the structures, with variations in the composition of the communities. When the importance of the type of substrate to be colonized was analyzed, it was found that, in terms of percentage of coverage, concrete showed significantly higher values than metal. The use of multivariate statistical analysis showed that, in relation to the colonizing communities, they were also significantly different between substrates. However, it is worth noting that the species with the highest prominence in the communities are similar in both substrate types. Overall, the colonization on the artificial reef occurs in a dynamic and efficient manner, being influenced by the type of material of the structures. It is also important to highlight the need to continue this monitoring, to permanently guarantee the integrity, equilibrium and quality of the underwater exhibition, and to verify whether natural succession will continue to alter the structure of the colonizing communities. Extending the monitoring program to visiting divers can also contribute to increasing environmental awareness and community involvement in the preservation of biological heritage. The results obtained during the first year of study at the EDP Arte Reef underwater sculpture park are extremely important for understanding the early stages of colonization, serving as a baseline for other studies on artificial structures submerged in the sea.

1. INTRODUÇÃO

Os recifes artificiais podem ser descritos como estruturas feitas pelo homem e estrategicamente instaladas no fundo do mar com o propósito de desempenhar uma função específica (Seaman, 2000; Claudet & Pelletier, 2004; Wilding, 2006). Em Portugal, a região com maior concentração de recifes artificiais é o Algarve, com diversos projetos concluídos ou em desenvolvimento, com o objetivo de promover a pesca e contribuir para a proteção de peixes juvenis e/ou áreas de maternidade piscícola.

Ainda nesta região, a procura de novas experiências associadas ao turismo subaquático, tem levado ao desenvolvimento de parques temáticos, criados através da instalação de estruturas artificiais com características históricas, estéticas e/ou culturais, em ambientes naturais. São exemplos disso o afundamento de um antigo arrastão ao largo de Faro em 1995, e o parque subaquático *Ocean Revival* composto por quatro navios de guerra afundados em 2013 ao largo de Portimão (Campos, 2023). Estas instalações seguem uma tendência nacional de que são exemplos o afundamento do cargueiro madeiras na Ilha de Porto Santo em 2000 (Direção Regional de Pescas (s.d.)) ou a submersão em 2018 da antiga corveta da Marinha Portuguesa, NRP Afonso Cerqueira (F488) na Ilha da Madeira (Marinha Portuguesa, 2018 & Teixeira, 2023).

De facto, têm surgido em todo o mundo recifes artificiais que aliam as componentes de conservação e de cultura artística, funcionando como uma mais-valia para uma oferta eco-turística subaquática diferenciada e de qualidade. Neste contexto, no verão de 2023 surge, ao largo da praia de Santa Eulália (Albufeira, costa sul de Portugal), o primeiro parque submerso deste género no país. Este recife artificial - EDP Art Reef - é composto por um total de 13 peças, ocupando uma área total de implantação de aproximadamente 750m², sendo a superfície das peças composta por 189,7m². Previamente ao processo de implementação, toda a área envolvente à implantação do parque sofreu um importante processo de caracterização das biocenoses existentes (Rangel, et. al., 2023).

No seguimento destes trabalhos de mapeamento e caracterização torna-se agora importante perceber a evolução do processo de colonização dos diferentes materiais (cimento e metal) utilizados na criação deste parque de esculturas ao longo do tempo. Assim, o presente estudo

consistiu na recolha periódica de imagens subaquáticas através do método de foto quadrados (0,5 x 0,5 m) para possibilitar a caracterização da colonização das estruturas deste recife artificial através registo dos organismos e suas abundâncias.

Deste modo, o presente trabalho tem como principal objetivo monitorizar a colonização de macroalgas e invertebrados (sésseis e vágeis) ao longo de um período de um ano após implantação do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef, de forma a compreender e caraterizar o processo de sucessão ecológica e a influência dos diferentes substratos (cimento e metal) nessa colonização.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O presente estudo foi realizado, numa área conhecida por Pedra do Gomes ou Recife de Santa Eulália, localizada no sul de Portugal, mais propriamente ao largo da praia de Santa Eulália, no município de Albufeira, no Algarve. Esta área apresenta um tipo de fundo composto por recifes rochosos conspícuos rodeados por uma vasta área de substratos móveis onde assentam as 13 estruturas que compõem este parque subaquático (Figura 1).

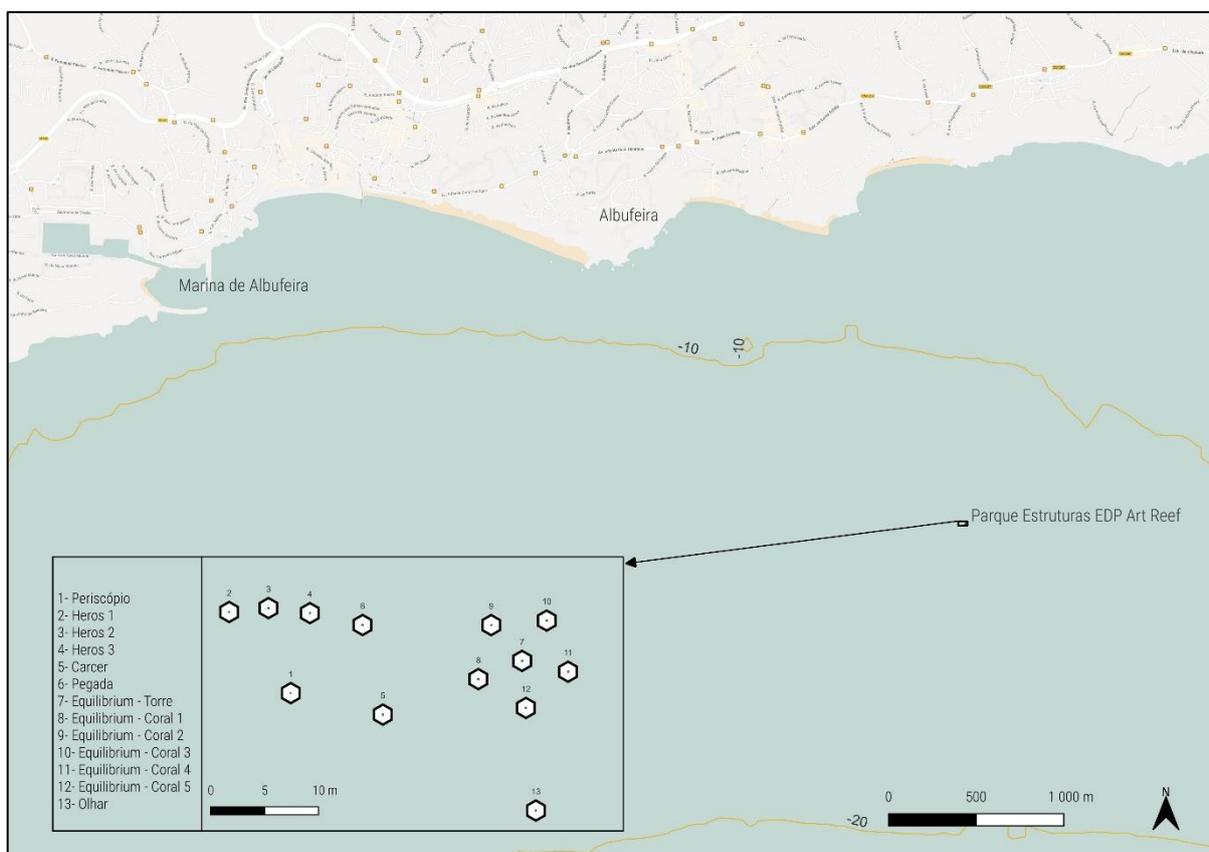


Figura 1. Localização do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef ($37^{\circ}4'39.13''N$, $8^{\circ}7'19.34''W$) na costa sul de Portugal. Na imagem identifica-se a localização das estruturas submersas, onde foram realizados os foto quadrados planejados (Gravura: Luís Bentes & Miguel Mateus FCB/CCMAR).

Localmente as correntes predominantes são SW e SE (de Oliveira Júnior et al., 2022) e as profundidades variam entre os 10 e 14 metros.



Figura 2. Uma das 13 estruturas que compõem o parque subaquático de esculturas EDP Art Reef: Olhar (Imagem: Diogo Paulo, CMC/CCMAR).

2.2. Método de amostragem

No meio marinho é muitas vezes difícil contabilizar quantos organismos de cada espécie colonizam um determinado habitat. Uma recolha representativa do habitat através de um conjunto de replicados com uma unidade padrão é, normalmente, a forma mais prática para obtenção de dados quantitativos sobre espécies e/ou habitats de uma determinada área de estudo.

A técnica do quadrado, um método não destrutivo, é uma ferramenta clássica que permite uma recolha rápida e sistemática de dados quantitativos sobre espécies ou habitats. Esta técnica consiste na utilização de uma série de quadrados de um tamanho definido colocados num habitat de interesse, sendo as espécies e/ou habitats encontradas dentro dos quadrantes identificadas e registadas por observações diretas do mergulhador *in situ* ou por fotografias/vídeo (**Figura 3**).

Para a caracterização da colonização biológica das estruturas do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef, e uma vez que a colocação de estruturas fixas de amostragem iria



Figura 3. Técnica no foto quadrado (Gravura: Carlos M. L. Afonso FCB/CCMAR).

interferir com o conceito da obra de arte, optou-se por amostragem aleatória por foto quadrados de 50cm x 50cm. As imagens fotográficas foram obtidas através de uma máquina Nikon D90 com lente sigma 10/20 (**Figura 3**). De modo a obter uma representatividade da área a estudar, foram realizados 30 replicados em estruturas de metal e 30 replicados em estruturas de cimento. A primeira

amostragem teve início em julho de 2023 (T1) dois meses após o afundamento das estruturas que compõem o parque subaquático de esculturas EDP Art Reef, sendo posteriormente realizadas campanhas com espaçamento temporal bimensal (T2 a T6), sempre com recurso a dois investigadores, perfazendo um total de 24 imersões, distribuídos por 6 dias de saídas de amostragem.

No âmbito do presente estudo pretendeu-se avaliar, qualitativa e quantitativamente, a presença da fauna sésil, i.e., organismos que se fixam ao substrato; e fauna vágil, i.e., organismos com mobilidade.

A identificação da fauna sésil e vágil presente nos foto quadrados, foi efetuada recorrendo ao programa *Coral Point Count with excel extensions* (CPCe v4.1, 2020) (Kohler & Gill, 2006). Nesta metodologia, é criada em cada foto uma grelha com 100 quadrados, sendo projetados aleatoriamente três pontos em cada quadrado (300 pontos no total) (**Figura 4**). Os organismos que se encontrem debaixo de cada um dos pontos gerados são depois identificados ao nível taxonómico mais baixo possível. Sempre que os pontos se sobrepuseram a superfícies vazias, biofilme ou sedimento foram considerados não colonizados (vazios). No caso de crescimento excessivo, em que mais do que um organismo estava presente num ponto sobreposto, foram atribuídas mais categorias taxonómicas ao ponto. As estimativas de cobertura resultantes da sobreposição de pontos foram utilizadas como aproximação para a abundância relativa dos *taxa*. Para o cálculo da percentagem de cobertura, considerou-se que cada ponto equivalia a 0,33% da área total. Esta abordagem de anotação de sobreposição de pontos foi comprovada como um

método de amostragem eficiente para obter estimativas de cobertura para organismos sésseis (Drummond & Connell, 2005; Moore et al., 2019). Segundo Gračner (2021), a utilização de 300 pontos em cada foto-análise é a mais adequada, pois prova ser precisa e estatisticamente robusta na reunião de informação da estrutura da comunidade, num curto espaço de tempo.

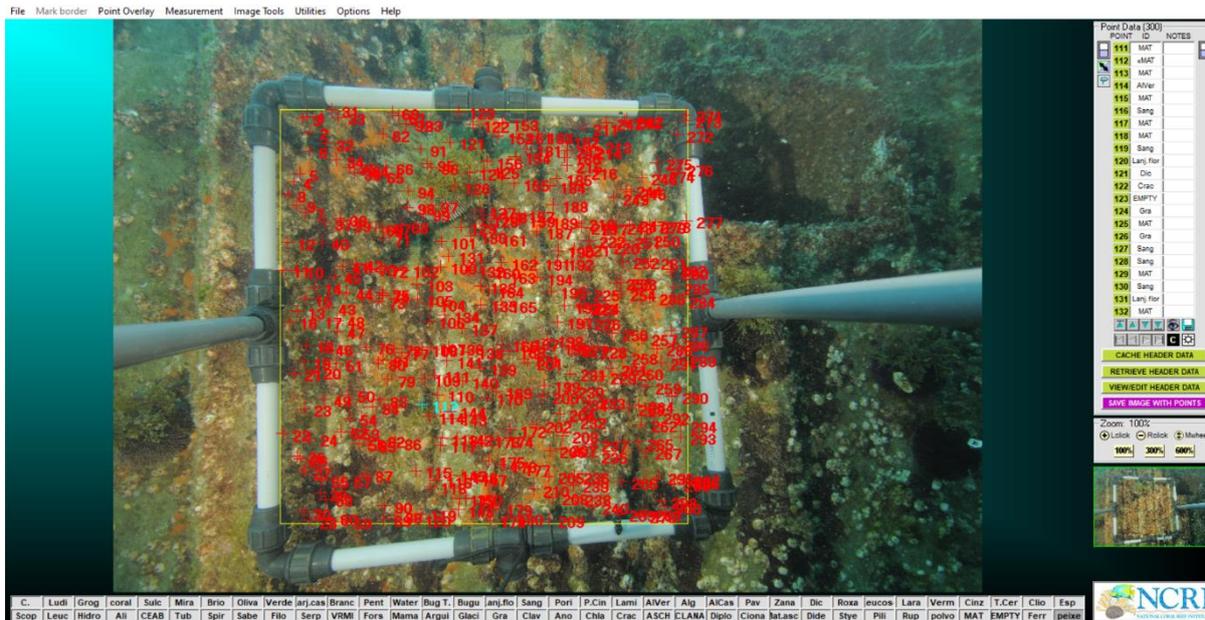


Figura 4. Exemplo da representação da distribuição dos 300 pontos aleatórios utilizado o programa CPCe -EDP Art Reef (Imagem FBC/CCMAR).

2.2.1. Tratamento de dados

As análises estatísticas elaboradas no âmbito do presente estudo foram realizadas utilizando o pacote estatístico PRIMER, v6 (Clarke e Gorley, 2006) e o complemento PERMANOVA+ do PRIMER v6 (Anderson et al., 2017). Para determinar diferenças nas comunidades de espécies foram calculadas as variáveis: taxa de cobertura e riqueza específica (número médio de taxa), sendo também realizado através da ferramenta DIVERSE o cálculo dos índices de diversidade de Shannon-Wiener (H'), Margalef e de Equabilidade de Pielou (J). A utilização destes índices é amplamente reconhecida e utilizada pela comunidade científica com o objetivo de caracterizar comunidades que integram um agrupamento de espécies através da definição de um valor, normalmente simples de calcular.

Índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') – O Índice de Diversidade de Shannon, é um índice amplamente utilizado em ecologia e estatística para quantificar a diversidade de espécies numa

comunidade. Este índice tem em consideração o número de espécies presentes bem como a distribuição dos indivíduos entre essas mesmas espécies.

Índice de Margalef - Este índice é um indicador da **riqueza específica** de uma comunidade biológica. Ele mede a diversidade com base no número de espécies presentes (S) em relação ao número total de indivíduos (N).

O **Índice de Pielou** (ou **Equitabilidade de Pielou**) (J) - Através deste índice pode avaliar-se a **uniformidade** na distribuição dos indivíduos entre as espécies de uma comunidade. Os valores obtidos variam entre 0 e 1:

- Próximo de 1 → os indivíduos estão distribuídos de forma homogênea entre as espécies.
- Próximo de 0 → há um forte domínio de poucas espécies sobre as restantes.

Com o objetivo de verificar a existência de variações temporais significativas entre os tempos de amostragem foi realizada uma análise de variâncias (ANOVA) para cada um dos descritores anteriores, sempre que os pressupostos para a ANOVA não se verificaram foi utilizado o teste não paramétrico Kruskal-Wallis, seguido de um teste Post-hoc de Dunn's. A análise das variações tendo em conta os fatores estudados (tempo x substrato) foi realizada através de uma análise ANOVA de dois fatores, para atender aos pressupostos da análise de variância em dados não paramétricos, aplicou-se uma transformação alinhada-rankeada (ART). Como complemento, um teste de Wilcoxon de pares foi realizado para avaliar diferenças entre combinações de tempo e substrato, com ajuste de Bonferroni para múltiplas comparações. A análise de estatística univariada foi realizada recorrendo ao programa RStudio version 4.1.2 (R Core Team, 2021) com os seguintes packages: "vegan" (Oksanen et al., 2017), "car" (Fox & Weisberg, 2019) e "ARTool" (Kay 2021).

Posteriormente, foi realizada uma análise estatística multivariada utilizando-se novamente o programa informático PRIMER 6.0 (Clarke & Gorley, 2006). Com o objetivo de avaliar diferenças nas comunidades entre tempos bem como entre tipos de substrato, foi calculada uma matriz de similaridades Bray Curtis (Clarke & Warwick, 2001) com os dados previamente transformados pela raiz quarta, de modo a atenuar a importância de espécies dominantes. As similaridades calculadas

foram representadas espacialmente através da ordenação espacial de dimensões múltiplas (nMDS). Foi utilizado o teste de permutação estatística multivariada não paramétrica PERMANOVA com o objetivo de verificar estatisticamente as possíveis variações na composição das comunidades. Este teste explora a hipótese nula em que os centroides e a dispersão dos grupos definidos pelo espaço de medida são equivalentes para todos os grupos. O procedimento SIMPER foi utilizado para avaliar quais as espécies que mais contribuem para as variações observadas.



Figura 5. Uma das 13 estruturas que compõem o recife artificial EDP Art Reef: Amália (Imagem: Diogo Paulo, CMC/CCMAR).

3. RESULTADOS

3.1. Evolução temporal das comunidades

3.1.1. Estrutura geral das comunidades

A análise de 472 fotografias recolhidas no parque subaquático de esculturas EDP Art Reef ao longo de um ano após a sua implementação (entre julho de 2023 e julho de 2024), permitiu perceber que a percentagem de cobertura dos organismos que colonizaram as estruturas deste recife artificial aumentou ao longo do tempo (Figura 6).

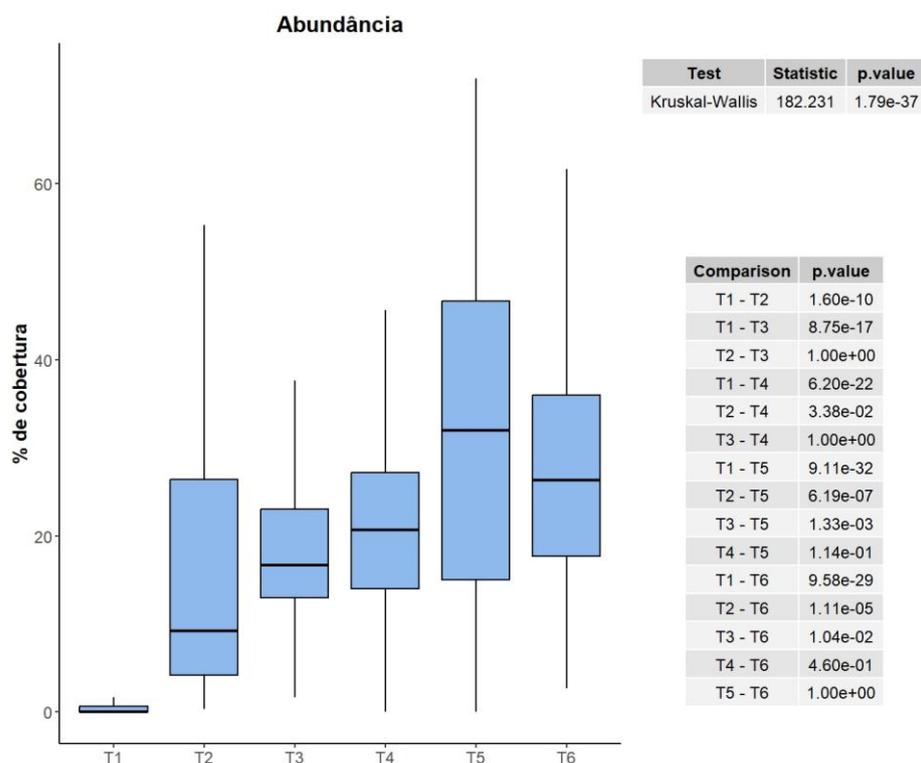


Figura 6. Percentagem de cobertura dos organismos sésseis e vágeis que colonizaram as estruturas do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef entre os períodos T1 (primeira amostragem) e T6 (última amostragem). Resultados da análise Kruskal-Wallis e do teste post-hoc de Willcox.

Apenas na comparação entre T1 e T2 é que se verificou uma diferença estatisticamente significativa ($p\text{-value} = 1,60 \times 10^{-10}$) entre tempos subsequentes (e.g. T3-T4; T4-T5), os restantes períodos seguidos apresentam um $p\text{-value} > 0,05$. Quando a comparação é realizada entre tempos

não seguidos (eg. T3-T5 ou T4-T6), é perceptível uma variação significativa da percentagem de cobertura (e.g., p-value T3-T6 =0,01).

A estrutura da comunidade de invertebrados que colonizaram as estruturas do parque de esculturas EDP Art Reef foi essencialmente composta por 9 grandes grupos de organismos, tendo sido verificadas variações na sua composição ao longo do tempo (**Figura 7**). No período T1 dominou grupo Annelida tendo a sua importância diminuído no tempo T2, sendo substituído pelo grupo taxonómico Bryozoa, que se manteve como o grupo dominante nos períodos seguintes (T3 e T4). No tempo T5 os briozoários (Bryozoa) foram substituído pelas algas (Algae) partilhando a dominância com Cirripedia em T6.

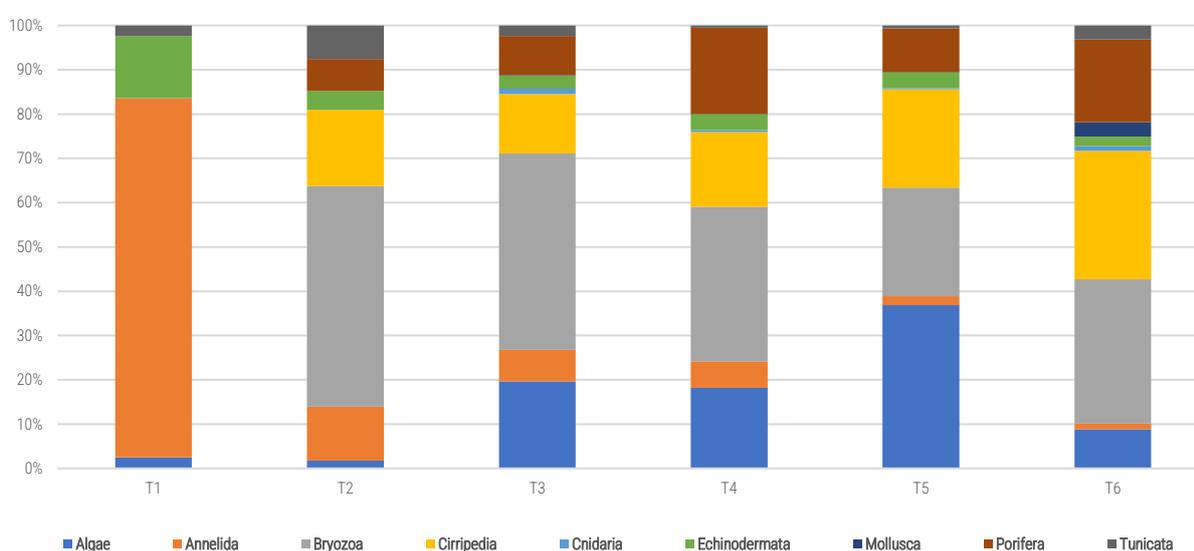


Figura 7. Percentagem da composição dos grandes grupos de organismos que compõem a comunidade de organismos sésseis e vágéis que colonizaram as estruturas do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef entre os períodos T1 e T6.

3.1.2. Composição de espécies

A análise dos fotogramas realizados no parque de esculturas EDP Art Reef permitiu a identificação de 51 *taxa*, sendo 46 (88%) correspondentes a invertebrados sésseis e 6 (12%) a invertebrados vágéis (**Figura 8**), sendo possível determinar com exatidão 22 espécies de organismos. Neste estudo, foram encontrados 7 *taxa* de algas, 6 *taxa* de anelídeos, cirrípedes, 4 *taxa* de cnidários, possuindo um deles estatuto de proteção, 5 espécies de equinodermes (3 com estatuto de proteção), 3 espécies de bivalves e um nudibrânquio pertencentes ao *taxon* Mollusca, 8 *taxa* de

espojas e 6 tunicados (uma delas classificada como espécie não indígena (NIS)) (Tabela 1 do Anexo).



Figura 8. Algumas das espécies vageis mais registadas no parque subaquático de esculturas EDP Art Reef: a) Pepino-do-mar-tubular (*Holothuria (Rowethuria) arguensis*); b) Ouriço-do-mar-violeta (*Sphaerechinus granularis*), c) Estrela-do-mar-de-espinhos (*Marthasterias glacialis*); d) Pepino-do-mar-de-pontas-brancas (*Holothuria (Panningothuria) forskali*) (Imagens: Carlos M. Afonso, FCB/CCMAR).

Em termos específicos (**Figura 9**), no período T1, o anelídeo Serpulidae n.id., foi o invertebrado mais observado nos foto-quadrados (75,4%), apresentando uma percentagem de cobertura média de 0,54%. No período T2 os organismos mais comuns foram os briozoários (Bryozoa n.id. (sp.2) e *Schizobrachiella sanguinea*), os cirrípedes Cirripedia n.id. (spp.) e, novamente o anelídeo Serpulidae n.id. (71,2%), estes 4 organismos apresentaram uma percentagem de cobertura media de 11,54%. No período T3, foram os briozoários (Bryozoa n.id. (sp.2) e *Schizobrachiella sanguinea*) em conjunto com a alga *Zanardinia* sp. e os cirrípedes Cirripedia n.id. (spp.) os organismos mais comuns, representando 73,4% do total de organismos colonizadores, perfazendo em conjunto uma percentagem de cobertura média de 12,72%. No T4 os briozoários (Bryozoa n.id. (sp.2) e *Schizobrachiella sanguinea*) perderam importância para a esponja Demospongiae n.id. (sp.1), no

entanto, continuam a estar entre os *taxa* mais importantes neste período. Em conjunto com os cirrípedes *Cirripedia* n.id. (spp.) e a alga *Zanardinia* sp., correspondem a 73,7% de organismos e totalizaram uma percentagem de cobertura de 13,52%. Já no período T5, dominam os cirrípedes *Cirripedia* n.id. (spp.), as algas (Alga vermelha (n.id.) e Alga verde (n.id.)), o briozoário *Schizobrachiella sanguinea* e a esponja *Demospongiae* n.id. (sp.1) (76,4%), totalizando uma percentagem de cobertura de 24,21%. No último período temporal estudado (T6) dominaram os cirrípedes *Cirripedia* n.id. (spp.), a esponja *Demospongiae* n.id. (sp.1), os briozoários *Bryozoa* n.id. (sp.2), *Schizobrachiella sanguinea* e *Schizobrachiella* sp. Em conjunto estes *taxa* compuseram 78,6% dos organismos registados nos foto-quadrados, ocupando uma percentagem de cobertura de 19,77%.

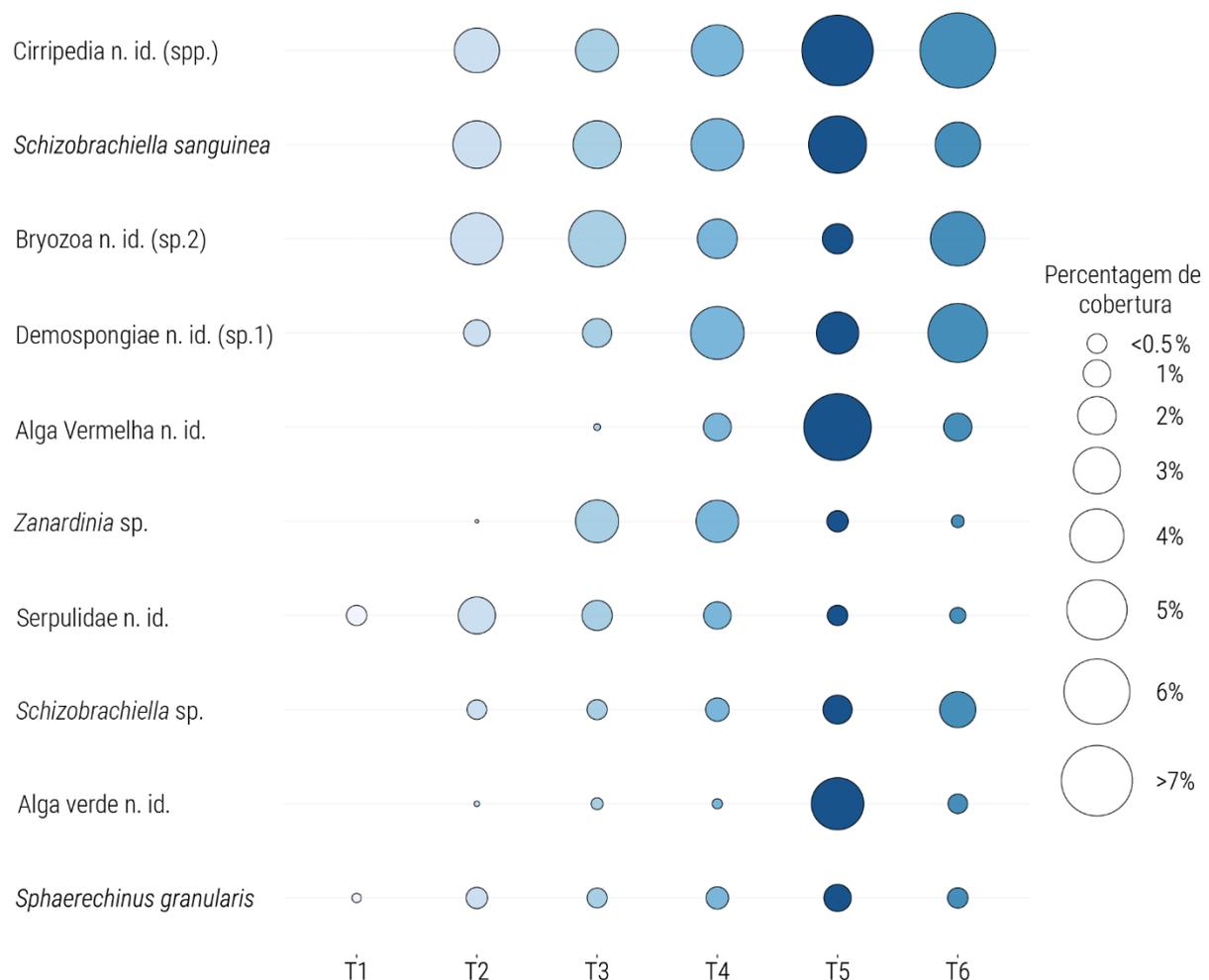


Figura 9. Os dez *taxa* considerados mais relevantes na colonização das estruturas do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef, e a sua variação ao longo dos diferentes períodos temporais entre T1 e T6.

Para além dos invertebrados que colonizaram o EDP Art Reef outros organismos utilizaram as estruturas como refúgio (**Figura 10**), em particular o Polvo-comum (*Octopus vulgaris*), A Moreia

(*Muraena helena*), os Peixes-escorpião (*Scorpaena notata* e *Scorpaena porcus*) e a Marachomba (*Parablennius pilicornis*).



Figura 10. Algumas das principais espécies marinhas que utilizaram as estruturas do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef como local de refúgio: a) Polvo-comum (*Octopus vulgaris*); b) Rascasso (*Scorpaena notata*), c) Marachomba (*Parablennius pilicornis*); d) Moreia (*Muraena helena*) (Imagens: Carlos M. Afonso & Inês Sousa, FCB/CCMAR).

3.1.3. Diversidade da Comunidade

A riqueza específica, e os Índices de Equitabilidade de Pielou, de Diversidade de Shannon-Wiener e de Margalef, calculados para cada um dos períodos temporais são apresentados na **Figura 11**. Relativamente à riqueza específica verifica-se um aumento desde o período T1 até o período T3. O valor mais baixo foi observado no período T1 (1,21) e o valor mais elevado no período T5 (7,73). No entanto, a análise estatística só identifica diferenças significativas entre os períodos T1 e T2. Já no Índice de Equitabilidade de Pielu (J'), em que se avalia a forma como a abundância se distribui pelas espécies da comunidade, só são verificadas variações significativas entre o período T1 e os restantes. Neste Índice o valor mais baixo é verificado no período T1 (0,68) e o valor mais

elevado observado no T6 (0,76). Relativamente aos Índices de Diversidade de Shannon-Wiener e de Margalef também se nota uma tendência semelhante à observada para a riqueza específica, onde se regista um aumento até ao período T3 mantendo-se posteriormente os valores estáveis.

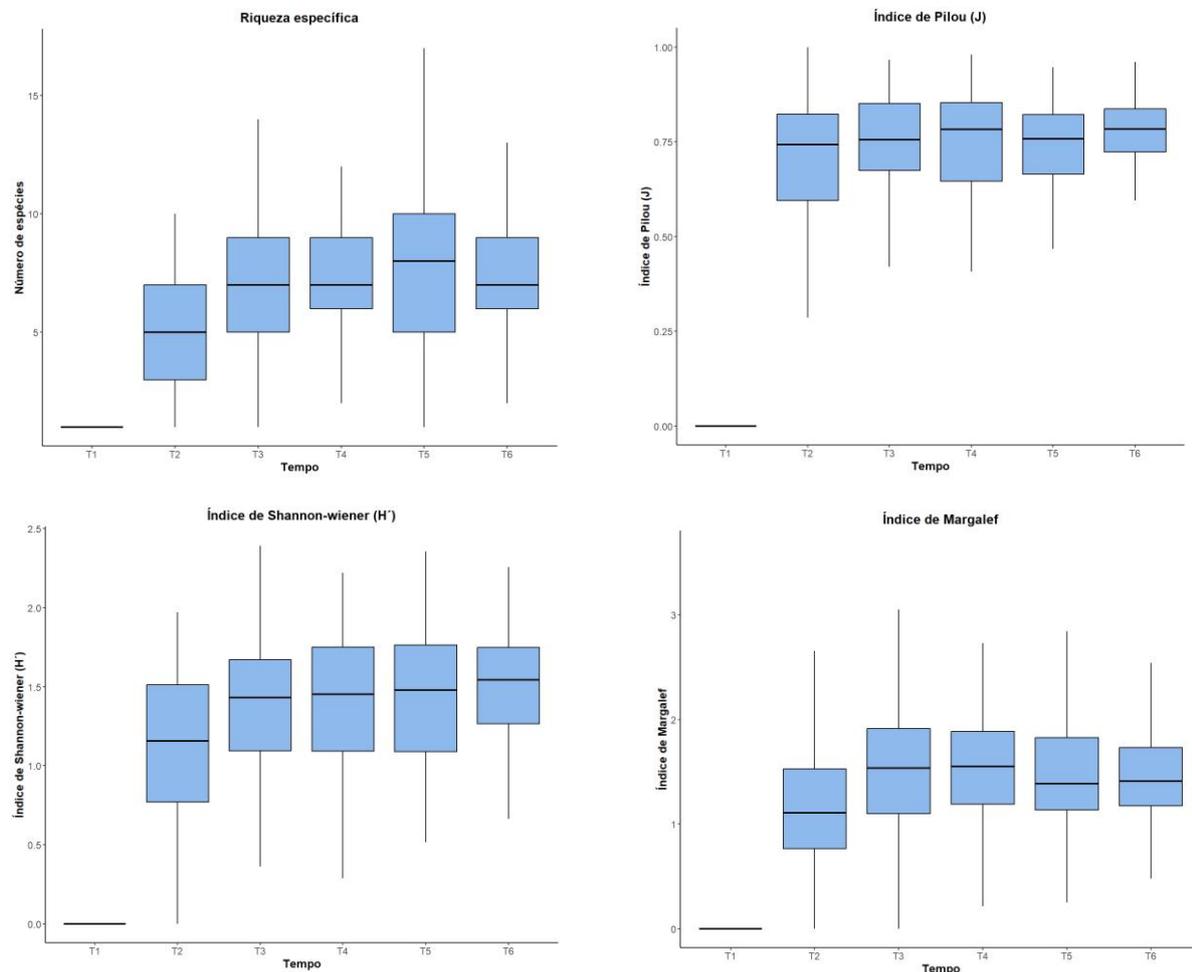


Figura 11. Variação da riqueza específica (S), Índice de Equitabilidade (J'), Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H') e Índice de Margalef dos organismos sésseis e vâgeis que colonizaram parque subaquático de esculturas EDP Art Reef entre os períodos T1 e T6.

3.1.4. Análise multivariada

A análise multivariada permitiu avaliar as eventuais diferenças na composição da comunidade de organismos nos distintos períodos temporais (entre T1 e T6), tendo em conta a distribuição e proporção das espécies presentes. A representação gráfica nMDS revela claramente a

diferenciação entre as comunidades, sendo possível observar um gradiente de evolução de T1 até T6 (Figura 12).



Figura 12. Diagramas nMDS da distribuição das amostras por período de amostragem, com base nos valores de similaridade de Bray-Curtis.

A análise estatística PERMANOVA veio confirmar as observações feitas na representação gráfica nMDS, uma vez que foram encontradas diferenças significativas na composição das comunidades colonizadoras (p -value < 0,01) entre todos os períodos de amostragem (**Tabela 5 do Anexo**).

Os valores médios de similaridade estimados foram maiores nos períodos T1 e T6, comparativamente aos períodos intermédios (**Figura 13**). O período T1 revelou um valor médio de similaridade de 52,0%, sendo que o *taxon* que mais contribuiu para a semelhança entre as amostras realizadas foi o Serpulidae n.id. (96,8%). No período T2 verificou-se uma evolução com o aparecimento dos briozoários (Bryozoa n.id. (sp.2), Bryozoa n.id. (sp.3), *Schizobrachiella sanguinea* e *Schizobrachiella* sp.), do anelídeo Serpulidae n.id., dos cirrípedes Cirripedia n.id. (spp.) e da esponja Demospongiae n.id. (sp.1), sendo a sua contribuição conjunta superior a 92,2%.

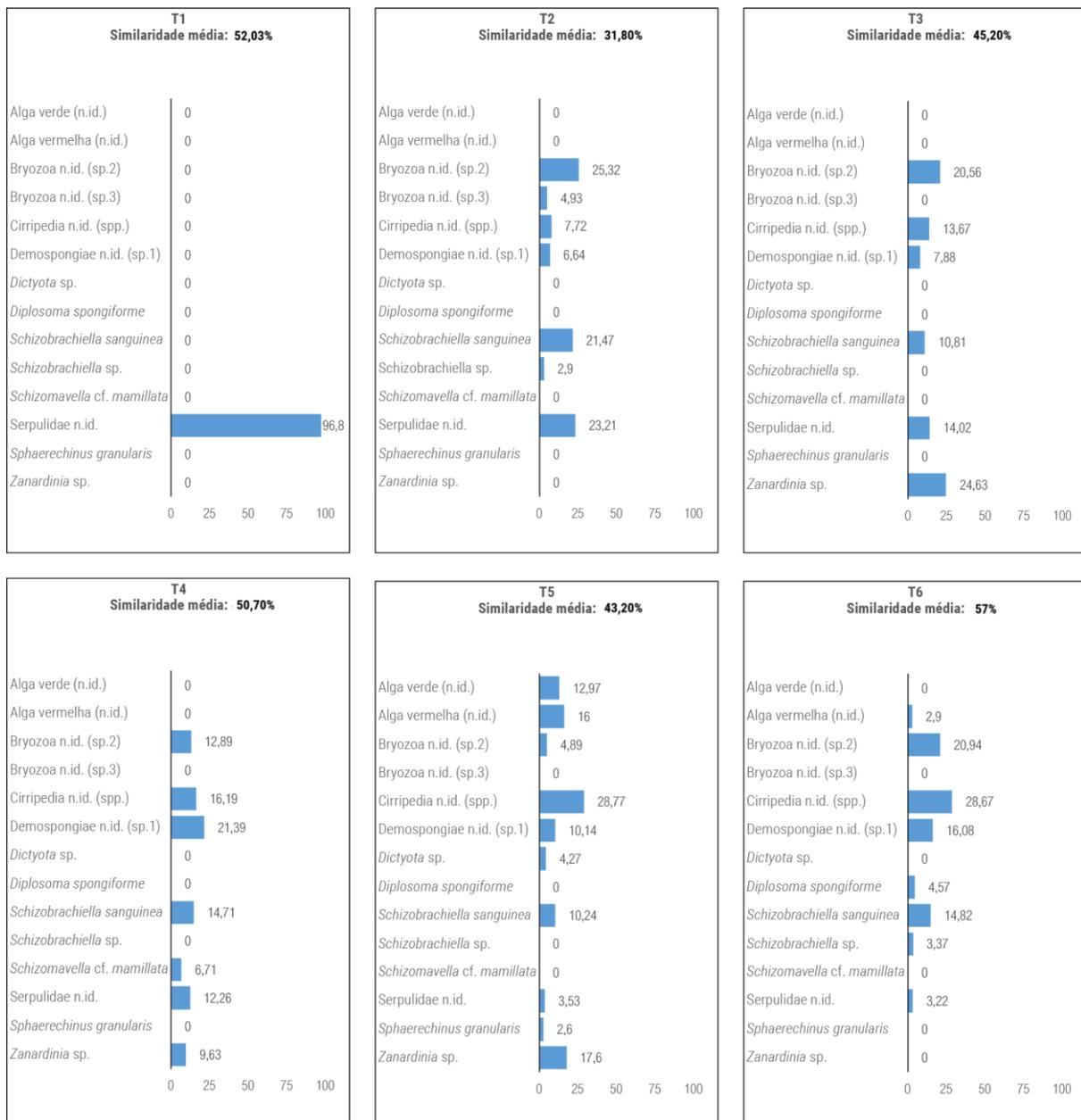


Figura 13. Análise SIMPER (%) utilizada para identificar quais os taxa que contribuem mais para a similaridade observada nos diferentes períodos temporais (de T1 a T6).

Nos períodos T3 e T4 observa-se uma nova alteração dos organismos que mais contribuem para a similaridade em cada período, sendo a esponja *Demospongiae n.id. (sp.1)*, a alga *Zanardinia sp.*, os cirrípedes *Cirripedia n.id. (spp.)*, o anelídeo *Serpulidae n.id.* e os briozoários (*Bryozoa n.id. (sp.2)* e *Schizobrachiella sanguinea*) os organismos que demonstraram maior influência, embora com alternância de dominâncias entre períodos. Este grupo de 6 organismos contribuiu com 91,6% (T3) e 93,8% (T4) para o valor médio de similaridade, sendo este de 45,2% e 50,7%, respectivamente. Com a passagem do tempo (T5), aumentou a importância de *Cirripedia n.id. (spp.)* e das algas (*Alga vermelha (n.id.)*, *Alga verde (n.id.)* e a alga castanha *Dictyota sp.*). Durante o período T6

registou-se o valor médio de similaridade mais elevado (57,0%) e, os cirrípedes (Cirripedia n.id. (spp.)) foram os que mais contribuíram para as semelhanças. Neste período, os briozoários (Bryozoa n.id. (sp.2) e *Schizobrachiella sanguinea*) e esponja Demospongiae n.id. (sp.1) substituíram a contribuição das algas observada em T5. Em conjunto com a Ascídia-tapete *Diplosoma spongiforme*, o briozoário *Schizobrachiella* sp. e o poliqueta Serpulidae n.id., contribuíram de forma importante para os valores médios de similaridade neste período temporal (91,7%).

3.2. Evolução temporal das comunidades de acordo com o substrato

3.2.1. Estrutura geral das comunidades

A percentagem de cobertura dos organismos observada nas estruturas de cimento e metal, analisadas de forma independente, seguiram o mesmo padrão de evolução ao longo do tempo, aumentando gradualmente entre T1 e T6 (Figura 14). Em ambos substratos colonizados verificou-se um aumento significativo do número de taxa entre os períodos T1 e T2 (p -value < 0,05), registando-se, igualmente, uma diferença significativa deste número entre os períodos T4 e T5 no

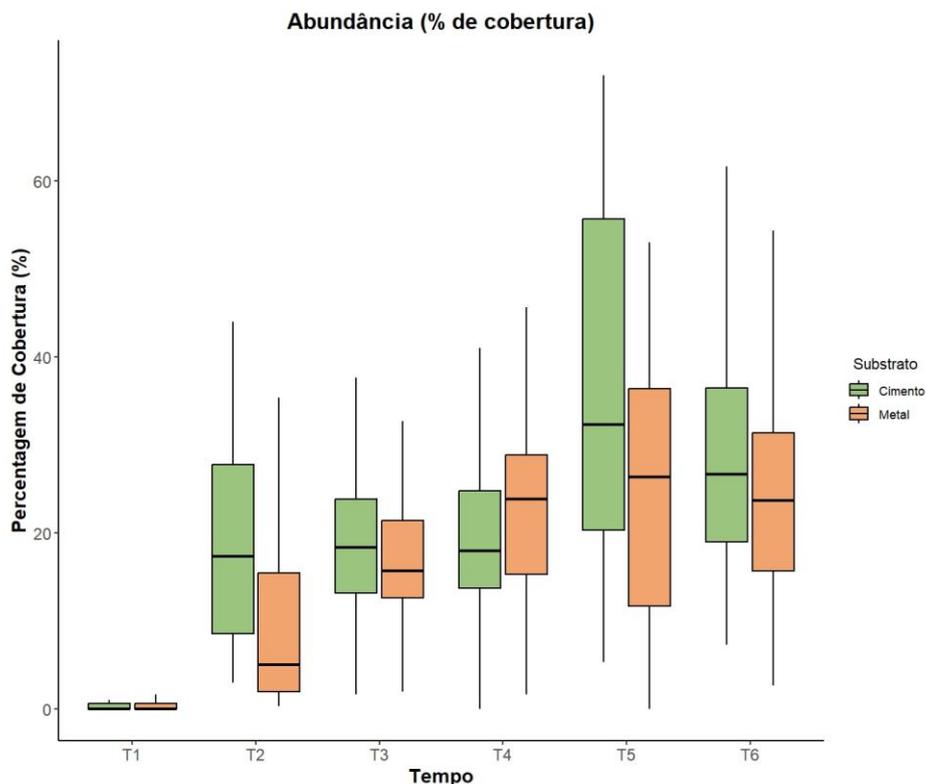


Figura 14. Percentagem de cobertura dos organismos que colonizaram as estruturas de cimento e metal do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef entre os períodos T1 e T6.

substrato cimento. Nos restantes períodos não se observaram diferenças significativas entre si (p-value > 0,05). Quando comparados entre si no mesmo período de amostragem, os dois tipos de substrato só apresentam diferenças no período de amostragem T2 (p-value < 0,05), sendo que, na restantes comparação, não se verificam diferenças significativas da percentagem de cobertura.

3.2.1. Composição de espécies

A análise dos fotogramas realizados no parque subaquático de esculturas EDP Art Reef permitiu a identificação de 49 taxa nas estruturas de cimento e 33 taxa nas de metal. Do total de 51 taxa observados, 31 foram comuns aos dois tipos de substrato, 18 foram exclusivos às estruturas de cimento e apenas dois taxa apenas apareceram nas estruturas de metal. Também o número de espécies vageis foi maior no cimento (6) em relação ao metal (2). O cimento albergou um maior número de espécies protegidas (*Holothuria (Holothuria) mammata*, *Holothuria (Roweothuria) arguinensis* e *Holothuria forskali*) em relação a apenas 1 no metal (*Holothuria forskali*). A única espécie de ascídia não indígena (*Styela plicata*) foi registada do cimento (Tabela 1 do Anexo).

Em termos específicos, no período/substrato T1/cimento, o anelídeo Serpulidae n.id. (0,52%) e o Ouriço-do-mar-violeta (*Sphaerechinus granularis*) (0,25%) foram os taxa que representaram a maior percentagem de cobertura. Serpulidae n.id. (0,55%) foi também o invertebrado sésil mais importante em T1/metal. No T2/cimento foram os briozoários (Bryozoa n.id. (sp.2) e *Schizobrachiella sanguinea*) (Figura 15) e o anelídeo Serpulidae n.id. os organismos mais



Figura 15. O briozoário *Schizobrachiella sanguinea*, uma das principais espécies que colonizaram as estruturas do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef (Imagem: Carlos M. Afonso, FCB/CCMAR).

representados, compondo em conjunto 12,57% do total da taxa de cobertura. Já o T2/metal foi dominado pelos cirrípedes Cirripedia n.id. (5,22%), o briozoário Bryozoa n.id. (sp.2) (3,62%) e o anelídeo Serpulidae n.id. (1,38%). Estes três organismos em conjunto representaram 10,21% do total de cobertura. Os briozoários (Bryozoa n.id. (sp.2) e *Schizobrachiella sanguinea* (Figura 15) continuam a dominar no período/substrato

T3/cimento, juntamente com a alga *Zanardinia* sp., compondo em conjunto 11,38% do total. Bryozoa n.id. (sp.2) e *Zanardinia* sp. também foram os mais influentes no T3/metal e, Cirripedia n.id. substitui em importância *Schizobrachiella sanguinea*. Estes 3 taxa representaram 12,45% do total de cobertura. No período/substrato T4/cimento o briozoário *Schizobrachiella sanguinea* (6,11%) a esponja *Demospongiae* n.id. (sp.1) (3,60%) foram os dois organismos que mais contribuíram para a colonização deste tipo de substrato, enquanto para o mesmo período, o metal é dominado por Cirripedia n.id. (7,14%) e pela alga *Zanardinia* sp. (4,40%). Nos períodos T5 e T6 a contribuição de cada um dos organismos para a percentagem de cobertura em ambos os substratos analisados, aparenta estar distribuída de forma mais homogênea, embora ainda se observem organismos a contribuir mais para a percentagem de colonização. No período/substrato T5/cimento a dominância é substituída pelos cirrípedes Cirripedia n.id. (7,25%) e pela Alga verde (n.id.) (6,13%) em relação a T4 enquanto no metal a alga *Zanardinia* sp. dominante em T4 é substituída pela Alga vermelha (n.id.) (9,48%). Em conjunto com Cirripedia n.id. (6,72%) são os dois organismos mais representados. No T6, a esponja *Demospongiae* n.id. (sp.1), o briozoário Bryozoa n.id. (sp.2) e Cirripedia n.id. são os organismos mais importantes em ambos os substratos estudados. Estes 3 taxa representaram 16,37% e 17,71% no cimento e metal, respetivamente.

3.2.1. Diversidade da Comunidade

A riqueza específica, e os Índices de Equitabilidade, de Diversidade de Shannon-Wiener e de Margalef em cada um dos períodos temporais nas estruturas de cimento e metal são apresentados na (**Figura 16**). Independentemente do tipo de substrato colonizado existe verificou-se um aumento significativo do número de taxa entre os períodos T1 e T2 (p-value < 0,05), já nos períodos posteriores existe um equilíbrio no número de espécies não se verificando diferenças significativas entre os mesmos (p-value > 0,05). Quando comparados, os dois tipos de substrato, o cimento e metal não apresentam diferenças significativas nos períodos T1 (p-value = 1) e T6 (p-value = 0,47), verificando-se diferenças significativas nos restantes tempos de amostragem (p-value < 0,05). Para o Índice de Equitabilidade de Pielu (J') só se verificam diferenças significativas entre substratos no período de amostragem T6 (p-value = 0,004). Nos restantes índices calculados verificam-se tendências semelhantes às observadas para a riqueza específica, com um aumento

significativo entre os períodos T1 e T2 (p -value < 0,05) não se verificando diferenças significativas entre os restantes períodos (p -value > 0,05).

Ao nível das variações relacionadas com o substrato, o Índice de Margalef apresenta diferenças significativas nos tempos de amostragem T2, T3 T4 e T5 (p -value < 0,05) não se verificando diferenças os períodos T1 e T6. Já para o Índice de Shannon as diferenças significativas entre metal e cimento são verificadas nos tempos T2, T3, T4, T5 e T6 (p -value < 0,05), não sendo detetadas diferenças no tempo T1.

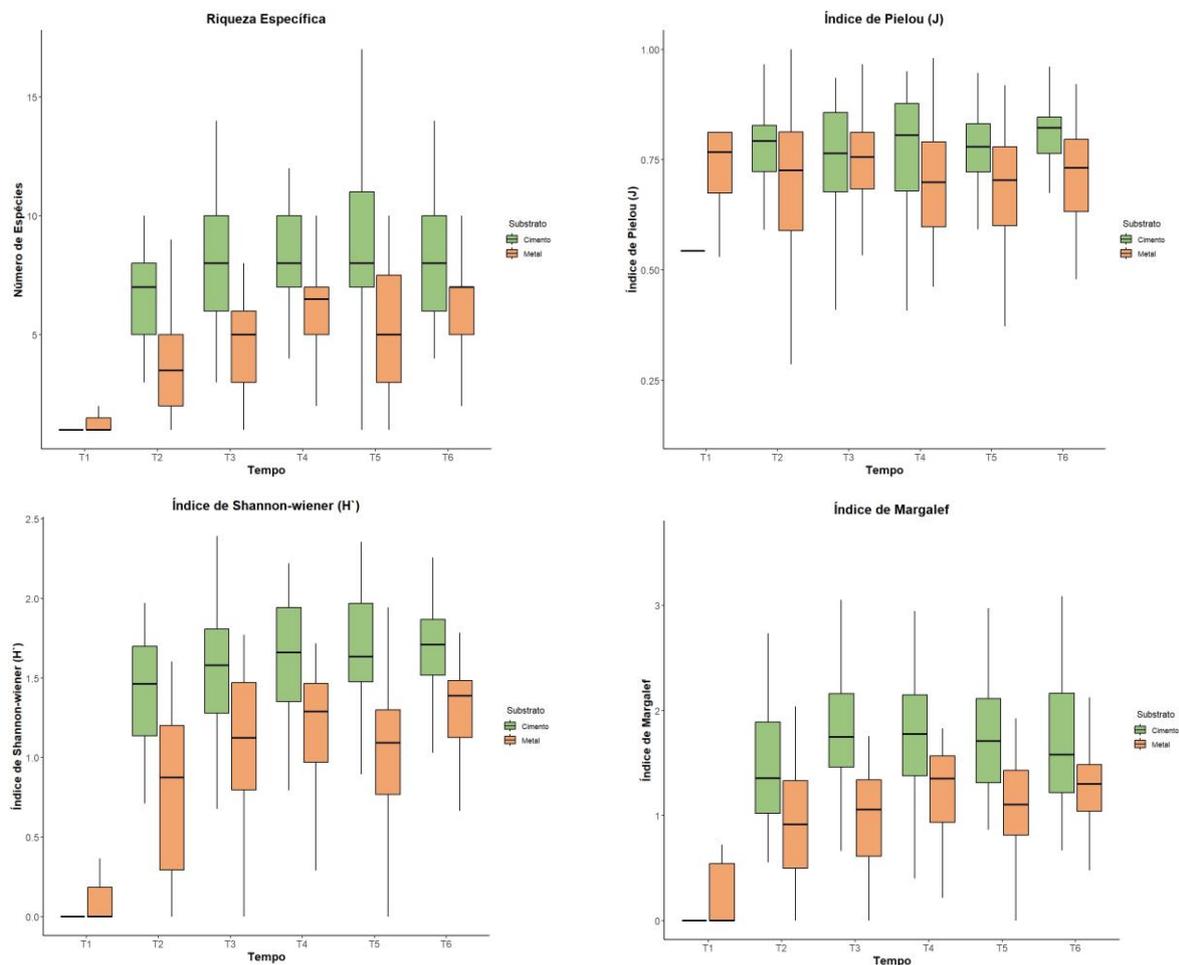


Figura 16. Variação da riqueza específica (S), Índice de Equitabilidade (J), Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H') e Índice de Margalef dos organismos sésseis e vágéis que colonizaram as estruturas de cimento e metal no parque subaquático de esculturas EDP Art Reef entre os períodos T1 e T6.

de similaridade observado no T1/cimento se deve à presença do Ouriço-do-mar-violeta (*Sphaerechinus granularis*) uma espécie vágil.

No período T2 verifica-se uma evolução em relação a T1 observando-se que os principais taxa a colonizar as estruturas de cimento e metal são semelhantes mas presentes em proporções diferentes. No cimento predominam principalmente os briozoários (*Schizobrachiella sanguinea* e Bryozoa n.id. (sp.2)) e o anelídeo Serpulidae n.id., enquanto no metal, apesar de os briozoários também estarem presente, são os cirrípedes Cirripedia n.id. (spp.) e anelídeo Serpulidae n.id. os taxa que mais contribuem para a similaridade.

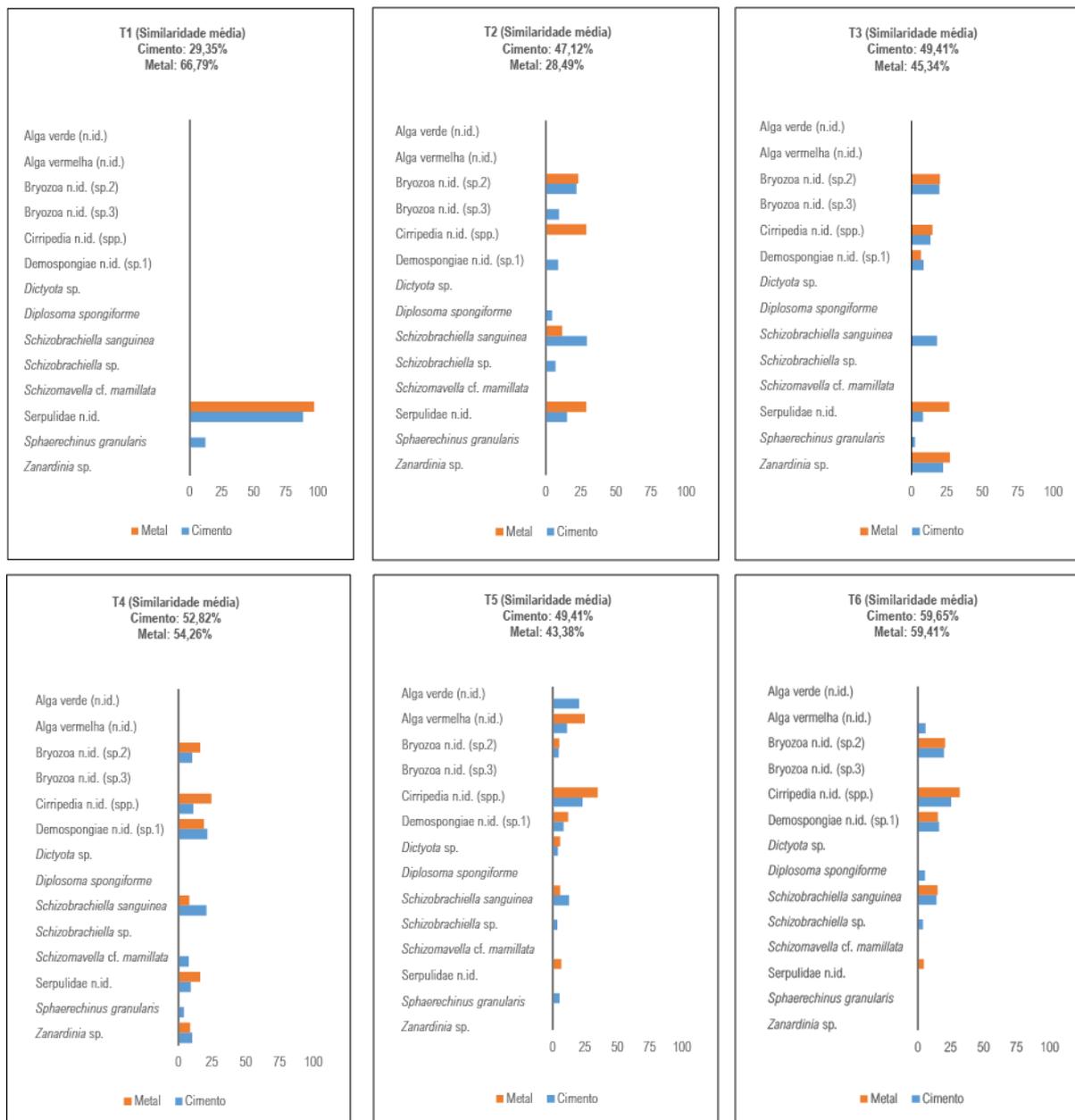


Figura 18. Análise SIMPER (%) utilizada para identificar que taxa mais contribuem para a similaridade observada dentro dos diferentes períodos temporais (de T1 a T6) em cada um dos tipos de substrato colonizado (cimento e metal).

No período T3 há o aparecimento e domínio da alga *Zanardinia sp.* em ambos os substratos e, um decréscimo dos briozoários e do anelídeo *Serpulidae n.id.*. É durante este período que os cirrípedes *Cirripedia n.id. (spp.)* ganham importância para a similaridade no cimento, mas perdem relevância no metal. No período T4, embora outros *taxa* também sejam relevantes para a similaridade, os cirrípedes *Cirripedia n.id. (spp.)* são novamente o *taxon* mais importante no metal, enquanto no cimento, a maior contribuição para a similaridade se deve ao briozoário *Schizobrachiella sanguinea* e à esponja *Demospongiae n.id. (sp.1)*. Os cirrípedes mantêm o seu grau de importância no

período T5, sendo o *taxon* que mais contribui para a similaridade em ambos os substratos. É também durante este período que as algas (Alga vermelha (n.id.) e a Alga verde (n.id.)) se destacam no cimento, e a Alga verde (n.id.) no metal. Já os principais *taxa* (Cirripedia n.id. (spp.), Bryozoa n.id. (sp.2), Demospongiae n.id. (sp.1) e *Schizobrachiella sanguinea*) encontrados durante o período T6 apresentam percentagens semelhantes entre si, independentemente do substrato colonizado (cimento ou metal).

4. DISCUSSÃO

Qualquer estrutura submersa no mar por um determinado período favorece o aparecimento de organismos marinhos incrustantes (Anderson, 1995), este processo denominado por *biofouling*, é o foco deste estudo, que resultou na primeira análise do tema efetuada no parque subaquático de esculturas EDP Art Reef.

Neste contexto, a amostragem, por fotoquadrados realizada nas estruturas do EDP Art Reef possibilitou avaliar a evolução da colonização e a biodiversidade dos organismos presentes neste parque subaquático entre julho de 2023 e julho de 2024. Analisou-se também se, durante o mesmo período, a distribuição dos organismos avistados ocorria de forma homogénea, levando em consideração a composição das estruturas que serviram de substrato às comunidades biológicas (cimento ou metal).

Uma análise geral indica uma evolução positiva na **percentagem de cobertura** dos organismos, sendo esta bastante acentuada entre os dois primeiros períodos de amostragem (entre T1; dois meses após implantação do parque e T2; quatro meses após implantação do parque), aumentando gradualmente até ao último período amostragem (T6; um ano após implantação do parque). São, no entanto, necessários mais do que dois períodos de amostragem (4 meses) para que as diferenças na percentagem de cobertura se revelem significativas (e.g. entre T2 e T4 ou entre T3 e T5). Estes resultados enquadram-se parcialmente nos obtidos em trabalhos similares (e.g., Brown, 2005). Na generalidade, em estudos de colonização são feitas observações sazonais (> 4 meses), contudo, uma vez que no presente estudo foi utilizado um intervalo temporal de dois meses entre amostragens, foi possível obter uma perspetiva mais detalhada sobre estes processos de colonização. A literatura consultada sugere que a variação na percentagem de cobertura depende sobretudo da variação sazonal dos fatores ambientais (e.g., Brown, 2005). De

facto, a maioria dos invertebrados marinhos bentónicos apresenta uma dispersão larval pelágica, sendo que este mecanismo facilita a colonização de novos ambientes e a fixação em substratos naturais ou artificiais (Connell e Glasby, 2001). Paralelamente, segundo Osman (1977), os estágios iniciais desta colonização são, geralmente, esporádicos, e dependem principalmente de fatores como a seletividade das larvas em relação ao tipo de substrato, as variações sazonais na abundância de larvas, as interações biológicas entre espécies, o tamanho do substrato a ser colonizado e as perturbações físicas às quais o substrato está exposto. É, contudo, espectável que, no decorrer do processo de colonização, a percentagem de cobertura continue a aumentar com o passar do tempo, e que atinga valores superiores a 100%, fruto de sobreposição de espécies (Becker et al. 2020).

No presente estudo, a análise à **composição específica** dos organismos que colonizaram as estruturas ao longo do tempo demonstra que, contrariamente ao verificado para a percentagem de cobertura, a composição específica da comunidade é significativamente diferente entre todos os períodos analisados. De facto, inicialmente as estruturas foram colonizadas por pequenos anélídeos calcários (T1) e, como evoluir do tempo, outros organismos como cirrípedes, briozoários e espécies vágeis (e.g., o Ouriço-do-mar-violeta - *Sphaerechinus granularis*) participam no processo de colonização (T2). Os padrões de colonização observados estão de acordo com os registados em diversos outros estudos de colonização (Moura et al., 2008; Hiscock et. al. 2010; Lozano-Cortés & Zapata, 2014). Nos períodos seguintes (T3 e T4) surgem as primeiras algas (a alga castanha *Zanardinia* sp. e outras algas vermelhas e verdes), começam a desenvolver-se os primeiros organismos tridimensionais (e.g. esponjas) e cresce a importância dos cirrípedes. A presença das algas intensifica-se no período T5, sendo também neste período que se observa um maior número de *taxa* a contribuir para a similaridades entre amostras, indicando que a comunidade se apresenta mais diversa em relação aos restantes períodos. Após um ano de afundamento das estruturas (T6), há a destacar uma redução da importância das algas na comunidade. Estas variações das comunidades verificadas entre períodos de exposição são comuns em processos de colonização, estando regulamente ligadas às variações naturais. No entanto, com o passar do tempo, as comunidades de invertebrados incrustantes tendem a convergir para uma condição relativamente estável (Svane & Petersen, 2001). Brown (2005) e Hiscock et. al. (2010) referem que o conceito de sucessão no ambiente marinho implica a mudança direcional na estrutura da comunidade ao longo do tempo, e que o desenvolvimento de

qualquer comunidade incrustante pode ou não evoluir para uma comunidade “clímax”. Neste sentido, é espectável que as comunidades que colonizam as estruturas do parque EDP Art Reef apresentem menos variações à medida que o tempo de exposição aumenta. Contudo, como este estudo teve duração de apenas 12 meses, não é possível afirmar que a comunidade tenha atingido um estado estável, sendo necessários mais períodos de observação para determinar esta tendência. Hiscock et al. (2010) revelam que após 4 anos de exposição continua a existir um aumento no número de espécies colonizadoras, já, Butler & Connolly (1999), referem que a variação da comunidade colonizadora pode ocorrer após períodos mais significativos de exposição, que podem ir até a 13,5 anos. Paralelamente, o estudo de Hiscock et al. (2010), que visou a análise do processo de colonização de um navio afundado, mostrou grandes flutuações na abundância de espécies nos primeiros dois anos, mas a maioria das espécies que dominaram ou caracterizaram o recife após cinco anos tinham-se estabelecido e suportam uma comunidade madura. Este autor refere ainda que este recife artificial desenvolveu uma comunidade que foi distintamente diferente dos recifes rochosos naturais próximos, e tais estruturas artificiais não devem ser consideradas como um substituto para habitats naturais danificados ou destruídos.

Outro fator que pode influenciar o funcionamento ecológico a longo prazo de um recife artificial é a escolha do material que o compõe (McGuinness, 1989; Becker et al. 2020). Segundo Richmond & Seed (1991), o processo de colonização é altamente específico, existindo um elevado número de características da superfície de assentamento a ter em conta. Estas variáveis incluem a energia da superfície, a química da superfície, a topografia da superfície, a presença/ausência de um biofilme e a cor da superfície. No presente estudo foi possível verificar que, apesar da percentagem de cobertura nas estruturas de cimento e de metal só apresentar diferenças significativas entre os períodos de exposição T1 e T2, em termos da sua composição (diversidade de *taxa*), as comunidades que colonizaram estes substratos são significativamente diferentes entre si em todos os períodos de exposição. De facto, é perceptível que nos estados iniciais de colonização (T1 e T2) as espécies colonizadoras não são as mesmas; por exemplo, no período T2 observa-se uma colonização dominada por cirrípedes no metal que contrasta com os briozoários que dominam no cimento. Estas observações estão de acordo com diversos estudos que realçam a importância que o tipo de substrato tem os processos de colonização (Fitzhardinge & Bailey-Brock, 1989; Brown, 2005; Sempere-Valverde et al. 2018). Contudo, é importante referir que, com o evoluir do tempo, e apesar do cimento apresentar sempre um maior número de espécies em

relação ao metal, verifica-se que os taxa que mais contribuem para a similaridade entre amostras são tendencialmente os mesmos, independentemente do substrato analisado (e.g. Briozoários, esponjas e cirrípedes). Um estudo de 12 meses realizado por Brown (2005) que comparou taxas de colonização em painéis compostos por 5 tipos substratos distintos, indica também de forma clara que durante os primeiros meses de exposição e, independentemente da época do ano, o tipo de substrato teve um efeito significativo na estrutura da comunidade que ali se desenvolveu. O mesmo autor refere ainda que as estruturas das comunidades destes substratos tornaram-se mais semelhantes com o aumento do tempo de exposição, embora a estrutura da comunidade ainda fosse estatisticamente diferente entre a maioria dos tipos de material após 12 meses de exposição, tal como verificado neste estudo. Resultados similares foram também apresentados por Roberts et al. (1991), Holm et al. (1997) e Svane & Petersen (2001).

Os resultados obtidos contribuirão para um melhor entendimento dos processos envolvidos na sucessão ecológica subaquática de estruturas artificiais submergidas no mar. Salienta-se, no entanto, a necessidade de dar continuidade à monitorização aqui iniciada, por forma a garantir o a integridade, equilíbrio e qualidade do parque, e a perceber se as comunidades estão estabilizadas, ou se a sucessão continuará a alterar a estrutura das comunidades colonizadoras do EDP Art Reef. Paralelamente, a extensão desta monitorização a um projeto de ciência cidadã abrangente, que permita que os mergulhadores visitantes contribuam para o estudo da evolução biológica deste conjunto de peças de arte com a assinatura do Vhils, poderá eficazmente potenciar a consciencialização ambiental e o envolvimento da comunidade na preservação do património biológico associado a este parque.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson M.J. 1995. Variations in biofilms colonizing artificial surfaces: Seasonal effects and effects on grazers. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 75: 705–714.

Anderson, M.J. (2017) Permutational Multivariate Analysis of Variance (PERMANOVA). In: Balakrishnan, N., Colton, T., Everitt, B., Piegorisch, W., Ruggeri, F. and Teugels, J.L., Eds., Wiley StatsRef: Statistics Reference Online, John Wiley & Sons, Ltd., Hoboken, NJ, 1-15.

<https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat07841>.

Anderson, J., van Rein, H., Benson, A., Sotheran, I., Mercer, T. & Ferguson, M. (2019). Optimization of Benthic Image Analysis Approaches, JNCC Report, No. 641, JNCC, Peterborough, ISSN 0963-8091.

Becker L.R., Ehrenberg A., Feldrappe V., Kröncke I. & Bischof K. 2020. The role of artificial material for benthic communities – Establishing different concrete materials as hard bottom environments. *Marine Environmental Research*, 161: 105081.

Brown C.J. 2005. Epifaunal colonization of the Loch Linnhe artificial reef: Influence of substratum on epifaunal assemblage structure. *Biofouling*, 21: 73-85.

Butler A.J., Connolly R.M. 1999. Assemblages of sessile marine invertebrates: Still changing after all these years? *Marine ecology Progress Series*, 182: 109-118.

Campos, A. L. (2023). Ocean Revival, no fundo do Algarve. National Geographic Portugal.

Clarke K.R. & Warwick R.M. 2001. *An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. PRIMER-E, Plymouth.

Clarke K.R. & Gorley R.N. 2006. *PRIMER v6: User Manual/Tutorial (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research)*. PRIMER-E, Plymouth.

Claudet, J & Pelletier, D. 2004. Marine protected areas and artificial reefs: A review of the interactions between management and scientific studies. *Aquatic Living Resources*, 17 (2): 129-139.

Connell, S.D. & Glasby, T.M. 2001. Urban structures as marine habitats: an experimental comparison of the composition and abundance of subtidal epibiota among pilings, pontoons and rock reefs. *Marine Environmental Research*, 52: 115-125.

Direção Regional de Pescas. (s.d.). Recifes Artificiais e Património Subaquático. Mar Madeira. <https://marmadeira.madeira.gov.pt>

Drummond, S. & Connell, S. 2005. Quantifying percentage cover of subtidal organisms on rocky coasts: A comparison of the costs and benefits of standard methods. *Marine and Freshwater Research*, 56 (6): 865-876.

Fitzhardinge R.C. & Bailey-Brock J.H. 1989. Colonization of Artificial Reef Materials by Corals and Other Sessile Organisms. *Bulletin of Marine Science*, 44 (2): 567-579.

Fox, J. & Weisberg, S. 2019. *An R Companion to Applied Regression* (3rd ed.). Sage Publications., Thousand Oaks CA. <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>.

Gračner, A 2021. Assessing fouling communities in the Northern Adriatic through photo-analysis of ARMS plates. UNIVERSIDADE DO ALGARVE - Faculdade de Ciências e Tecnologia. 106 pp

Hiscock K., Sharrock S., Highfield J. & Snelling D. 2010. Colonization of an artificial reef in south-west England—ex-HMS ‘Scylla.’ *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90: 69-94.

Holm E.R., Cannon G., Roberts D., Schmidt A.R., Sutherland J.P., Rittschof D. 1997. The influence of initial surface chemistry on development of the fouling community at Beaufort, North Carolina. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 215: 189-203.

Kay M., Elkin L., Higgins J. & Wobbrock J. (2021). *ARTool: Aligned Rank Transform for Nonparametric Factorial ANOVAs*. [doi:10.5281/zenodo.594511](https://doi.org/10.5281/zenodo.594511), R package version 0.11.1.

Lozano-Cortés D.F. & Zapata F.A. 2014. Invertebrate colonization on artificial substrates in a coral reef at Gorgona Island, Colombian Pacific Ocean. *Revista de Biología Tropical*, 62: 161-168.

Marinha Portuguesa. 2018. Mergulhadores da Marinha colaboram na criação de um recife artificial na Ilha da Madeira. <https://www.marinha.pt/pt>

McGuinness K. 1989. Effects of some natural and artificial substrata on sessile marine organisms at Galeta Reef, Panama. *Marine Ecology Progress Series*, 52: 201-208.

Moura A., da Fonseca L.C., Cúrdia J., Carvalho S., Boaventura D., Cerqueira M., Leitão F., Santos M.N. & Monteiro C.C. 2008. Is surface orientation a determinant for colonisation patterns of vagile and sessile macrobenthos on artificial reefs?. *Biofouling*, 24: 381-391.

Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., et al. 2023. *Vegan: Community Ecology Package* (R package version 2.4-3). Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=vegan>

Osman, R.W. 1977. The establishment and development of marine epifaunal community. *Ecological Monographs*, 47: 37-63.

Rangel M., Afonso C.M.L., Mourato C., Oliveira F., Sousa I., Pontes J., Bentes L., Mateus M., Monteiro P. & Gonçalves J.M.S. 2023. Caracterização de base da área de implantação da exposição subaquática EDP Art Reef na Pedra do Gomes – Santa Eulália. Relatório Final. Centro de Ciências do Mar do Algarve. Faro, 59pp.

Richmond M.D. & Seed R. 1991. A review of marine macrofouling communities with special reference to animal fouling. *Biofouling*, 3: 151-168.

Roberts D., Rittschof D., Holm E. & Schmidt A.R. 1991. Factors influencing initial larval settlement: temporal, spatial and surface molecular components. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 150: 203-211.

Russel, B. C. 1975. The development and dynamics of a small artificial reef community. *Helgolander Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 27: 298-312.

Seaman, W. 2000. *Artificial Reef Evaluation: With Application to Natural Marine Habitats*. CRC Press. (ED), 264 pp.

Sempere-Valverde J., Ostalé-Valriberas E., Farfán G.M. & Espinosa F. 2018. Substratum type affects recruitment and development of marine assemblages over artificial substrata: A case study in the Alboran Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 204: 56-65.

Svane, I. & Petersen, J.K. 2001. On the problems of epibioses, fouling and artificial reefs, a review. *Marine Ecology*, 22: 169-188.

Teixeira, J. (2023). Madeira: corveta Afonso Cerqueira, o refúgio submerso. Wilder. <https://wilder.pt>

Wilding, T. 2006. The benthic impacts of the Loch Linnhe artificial reef. *Hydrobiologia*, 5: 345-353. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1130-4>

6. ANEXOS

Tabela Anexo 1. Taxa (sésseis e vágeis) que colonizaram os substratos (cimento e metal) das esculturas do parque subaquático de esculturas EDP Art Reef entre os períodos T1 e T6.

Taxa	Cimento	Metal	Séssil	Vágil
Algae				
<i>Alga castanha</i> (n.id.)	x	x	x	
<i>Alga verde</i> (n.id.)	x	x	x	
<i>Alga vermelha</i> (n.id.)	x	x	x	
<i>Dictyota</i> sp.	x	x	x	
<i>Laminariaceae</i> n.id.	x		x	
<i>Padina pavonica</i>	x	x	x	
<i>Zanardinia</i> sp.	x	x	x	
Annelida				
<i>Filograna implexa</i>	x	x	x	
<i>Polychaeta</i> n.id.	x	x	x	
<i>Sabella spallanzanii</i>	x		x	
<i>Serpula vermicularis</i>	x		x	
<i>Serpulidae</i> n.id.	x	x	x	
<i>Spirorbinae</i> n.id.	x	x	x	
Arthropoda				
<i>Cirripedia</i> n.id. (spp.)	x	x	x	
Bryozoa				
<i>Bryozoa</i> n.id. (sp.1)	x		x	
<i>Bryozoa</i> n.id. (sp.2)	x	x	x	
<i>Bryozoa</i> n.id. (sp.3)	x	x	x	
<i>Bugula neritina</i>	x	x	x	
<i>Bugula turbinata</i>		x	x	
<i>Pentapora foliacea</i>	x		x	
<i>Schizobrachiella sanguinea</i>	x	x	x	
<i>Schizobrachiella</i> sp.	x	x	x	
<i>Schizomavella</i> cf. <i>mamillata</i>	x	x	x	
<i>Watersipora</i> sp.	x	x	x	
Echinodermata				
<i>Holothuria (Holothuria) mammata</i>	x			x
<i>Holothuria (Roweothuria) arguinensis</i>	x			x
<i>Holothuria forskali</i>	x	x		x
<i>Marthasterias glacialis</i>	x			x
<i>Sphaerechinus granularis</i>	x	x	x	x
Mollusca				
<i>Anomia ephippium</i>	x		x	
<i>Clavagella</i> sp.	x	x	x	
<i>Mimachlamys varia</i>	x	x	x	
<i>Nudibranchia</i> n.id.	x			x
Porifera				
cf. <i>Cliona celata</i>	x		x	
<i>Demospongiae</i> n.id. (sp.1)	x	x	x	
<i>Demospongiae</i> n.id. (sp.2)		x	x	
<i>Demospongiae</i> n.id. (sp.3)	x	x	x	

<i>Leuconia</i> sp.	x	x	x	
<i>Leucosolenia</i> sp.	x	x	x	
Porifera n.id.	x		x	
<i>Scopalina lophyropoda</i>	x	x	x	
Tunicata				
Asciidiidae n. id.	x	x	x	
<i>Ciona intestinalis</i>	x		x	
<i>Clavelina</i> sp.	x		x	
Didemnidae n.id.	x	x	x	
<i>Diplosoma spongiforme</i>	x	x	x	
<i>Styela plicata</i>	x		x	
Cnidaria				
<i>Alicia mirabilis</i>	x		x	
<i>Anemonia sulcata</i>	x		x	
Hydrozoa n.id.	x	x	x	
<i>Leptogorgia sarmentosa</i>	x		x	
Total	49	33	46	6

Tabela Anexo 2. Resultados do teste Kruskal-Wallis Pairwise seguido do teste Post-Hoc de Dune, para a Riqueza específica entre períodos de amostragem (T1 a T6) no parque subaquático de esculturas EDP Art Reef.

Riqueza específica	p value
Kruskal-Wallis	< 0,01
T1, T2	1,41E-05
T1, T3	1,13E-12
T1, T4	3,33E-15
T1, T5	3,11E-15
T1, T6	7,99E-15
T2, T3	1,29E-05
T2, T4	3,47E-08
T2, T5	3,38E-08
T2, T6	9,28E-08
T3, T4	0,2332
T3, T5	0,1781
T3, T6	0,2273
T4, T5	0,8406
T4, T6	0,9393
T5, T6	0,9061

Tabela Anexo 3. Resultados do teste Kruskal-Wallis Pair-wise seguido do teste Post-Hoc de Dune, para o Índice de Margalef entre períodos de amostragem (T1 a T6), no parque subaquático de esculturas EDP Art Reef.

Índice de Margalef	p value
Kruskal-Wallis	< 0,01
T1, T2	0,0012
T1, T3	0,0004
T1, T4	0,0002
T1, T5	0,0005
T1, T6	0,0004
T2, T3	0,5996
T2, T4	0,3341
T2, T5	0,6161
T2, T6	0,4986
T3, T4	0,6429
T3, T5	0,9926
T3, T6	0,8560
T4, T5	0,6470
T4, T6	0,7947
T5, T6	0,8533

Tabela Anexo 4. Resultados do teste Kruskal-Wallis Pair-wise seguido do teste Post-Hoc de Dune, para o Índice de Shannon Weiner entre períodos de amostragem (T1 a T6) , no parque subaquático de esculturas EDP Art Reef.

Índice de Shannon Weiner	p value
Kruskal-Wallis	< 0,01
T1, T2	2,004e-8
T1, T3	1,026e-13
T1, T4	2,753e-14
T1, T5	1,742e-13
T1, T6	3,197e-14
T2, T3	0,0009
T2, T4	0,0003
T2, T5	0,0014
T2, T6	0,0003
T3, T4	0,7465
T3, T5	0,9709
T3, T6	0,6435
T4, T5	0,7262
T4, T6	0,8739
T5, T6	0,6278

Tabela Anexo 5. Resultados do teste PERMANOVA para os diferentes tempos de observação, no parque subaquático de esculturas EDP Art Reef.

	Df	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	F	Pr (>F)
Tempo	5	2,65E+05	53020	28,35	0,001

Tabela Anexo 6. Resultado da PERMANOVA comparando os tempos entre si.

	p value
PERMANOVA	< 0,01
T1, T2	0,001
T1, T3	0,001
T1, T4	0,001
T1, T5	0,001
T1, T6	0,001
T2, T3	0,001
T2, T4	0,001
T2, T5	0,001
T2, T6	0,001
T3, T4	0,001
T3, T5	0,001
T3, T6	0,001
T4, T5	0,001
T4, T6	0,001
T5, T6	0,001

Tabela Anexo 7. Resultados do teste PERMANOVA com dois fatores Tempo vs. Substrato, no parque subaquático de esculturas EDP Art Reef.

	Df	Df. res	F	Pr (>F)
Tempo	1	460	26,36	4,1869e-07
Substrato	5	460	59,53	2,22e-16
Tempo vs. Substrato	5	460	4,43	0,00059044

Tabela Anexo 8. Resultados do teste ANOVA para os dois fatores tempo vs. substrato, para o índice de riqueza específica, no parque subaquático de esculturas EDP Art Reef.

	Df	Df. res	F	Pr (>F)
Tempo	1	424	169,5394	2,2200e-16
Substrato	5	424	029,4574	2,2200e-16
Tempo vs. Substrato	5	424	004,5592	0,00046264

Tabela Anexo 9. Resultados do teste de Wilcoxon de pares, para o índice Riqueza específica, no parque subaquático de esculturas EDP Art Reef.

	Df	Df. res	F	Pr (>F)
Tempo	1	414	106,6052	2,2200e-16
Substrato	5	414	015,0993	1,2429e-13
Tempo vs. Substrato	5	414	003,2031	0,0075313

Tabela Anexo 10. Resultados do teste ANOVA para os dois fatores tempo vs. substrato, para o Índice equitabilidade de Pielou.

	Df	Df. res	F	Pr (>F)
Tempo	1	393	6,45128	0,011471
Substrato	5	393	0,55803	0,732188
Tempo vs. Substrato	5	393	1,49706	0,189714

Tabela Anexo 11. Resultados do teste ANOVA para os dois fatores tempo vs. substrato, para o Índice de diversidade de Margalef.

	Cimento T1	Metal T1	Cimento T2	Metal T2	Cimento T3	Metal T3	Cimento T4	Metal T4	Cimento T5	Metal T5	Cimento T6
Metal T1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cimento T2	0,00069	1,20E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metal T2	0,0672	0,00554	3,40E-05	-	-	-	-	-	-	-	-
Cimento T3	0,00034	2,00E-07	0,09329	2,20E-10	-	-	-	-	-	-	-
Metal T3	0,00181	9,20E-06	0,17501	0,61034	2,70E-06	-	-	-	-	-	-
Cimento T4	0,00035	2,40E-07	0,0259	3,50E-11	1	2,90E-07	-	-	-	-	-
Metal T4	0,00051	7,70E-07	1	4,40E-05	0,00497	0,49781	0,00048	-	-	-	-
Cimento T5	0,00067	7,70E-07	0,00212	7,60E-11	1	1,20E-07	1	3,70E-05	-	-	-
Metal T5	0,00441	4,40E-05	1	0,33117	0,00159	1	0,00053	1	0,00011	-	-
Cimento T6	0,00054	6,30E-07	0,22178	2,90E-09	1	1,60E-05	1	0,01825	1	0,00387	-
Metal T6	0,00082	2,20E-06	1	2,50E-05	0,20331	0,11039	0,04743	1	0,00344	1	0,42737

Tabela Anexo 12. Resultados do teste de Wilcoxon de pares, para o Índice Margalef.

	Cimento T1	Metal T1	Cimento T2	Metal T2	Cimento T3	Metal T3	Cimento T4	Metal T4	Cimento T5	Metal T5	Cimento T6
Metal T1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cimento T2	0,00726	0,00028	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metal T2	0,18431	0,12619	0,01006	-	-	-	-	-	-	-	-
Cimento T3	0,00445	4,70E-05	0,21787	6,50E-09	-	-	-	-	-	-	-
Metal T3	0,02199	0,02329	0,24534	1	8,70E-07	-	-	-	-	-	-
Cimento T4	0,00503	5,40E-05	0,39222	2,60E-08	1	4,70E-06	-	-	-	-	-
Metal T4	0,00829	0,00035	1	0,10583	7,20E-05	1	0,00033	-	-	-	-
Cimento T5	0,00739	0,0001	0,91903	7,80E-07	1	2,90E-05	1	0,01212	-	-	-
Metal T5	0,02729	0,00637	1	1	6,80E-06	1	3,50E-05	1	0,00038	-	-
Cimento T6	0,00598	9,40E-05	1	2,80E-05	1	0,00153	1	0,32141	1	0,00963	-
Metal T6	0,00885	0,00022	1	0,06672	0,00021	1	0,00146	1	0,04159	1	0,60757

Tabela Anexo 13. Resultados do teste ANOVA para os dois fatores tempo vs. substrato, para o Índice de diversidade de Shannon Weiner.

	Df	Df, res	F	Pr (>F)
Tempo	1	424	171,9812	2,22e-16
Substrato	5	424	23,51930	2,22e-16
Tempo: Substrato	5	424	4,176800	0,0010251



Centro de Ciências do Mar do Algarve
Universidade do Algarve
Campus de Gambelas, Edifício 7
8005-139 Faro - Portugal
(+351) 289 800 051
<https://www.ccmар.ualg.pt/>

Imagem: O Polvo-comum *Octopus vulgaris* (Carlos M. L. Afonso, FCB/CCMAR).