Luana Agostini

**COMUNIDADE PROCARIÓTICA ASSOCIADA A POLÍMEROS
PLÁSTICOS EM MAR PROFUNDO**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Microbiologia do
Instituto de Ciências Biomédicas da
Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Mestre em Ciências.
Área de Concentração: Microbiologia
Orientadora: Vivian Helena Pellizari

São Paulo
2018

Resumo

AGOSTINI, L. **Comunidades Procarióticas Associadas a Polímeros Plásticos em Mar Profundo**, 2018. 85 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

O lixo marinho, composto em sua maioria por plásticos, é um problema global e crescente devido ao descarte inadequado no ambiente. Desde os primeiros estudos sobre o tema, nota-se a colonização destes resíduos por microrganismos, e pesquisas mais recentes, confirmaram que um dos destinos finais deste material é o fundo oceânico. No entanto, pouco se sabe se essa associação ocorre como simples adesão dos microrganismos ao substrato, ou se eles utilizam o plástico como fonte de carbono. O presente estudo pretende contribuir para o conhecimento das comunidades de microrganismos de mar profundo associadas a plásticos que podem futuramente auxiliar em processos de biodegradação. Para análise da diversidade e estrutura das comunidades de Bacteria e Archaea no Oceano Atlântico Sudoeste, foram selecionados três pontos de coleta nas regiões oceânicas (>3000 m) do Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo, e quatro tipos de substratos de polímeros plásticos (*pellets* de polietileno e polipropileno e sacolas não-biodegradável e biodegradável) e um substrato controle (cascalho). Os métodos utilizados foram o sequenciamento de nova geração (*Illumina Miseq*) do gene RNAr 16S, a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e técnicas tradicionais de cultivo. Os resultados de MEV mostraram que nos *pellets* de polipropileno, foram observadas células dispostas individualmente, enquanto que em sacola plástica não-biodegradável, foram observadas células em *patches*. Os 22 isolados foram identificados por meio de sequenciamento do gene RNAr 16S e classificados em: *Sulfitobacter*, *Rhodococcus*, *Marinobacter*, *Zunongwangia*, *Halomonas*, *Bacillus*, *Salinicola*, *Kocuria*, *Halobacillus*, *Pseudoalteromonas*. Através do sequenciamento por *Illumina Miseq* foram obtidas 3300 OTUs de Bacteria e Archaea, distribuídas nos 5 substratos e nas amostras de água adjacente, onde pode-se perceber que os grupos classificados estão diretamente relacionados à degradação de hidrocarbonetos sendo influenciados pelo tipo substrato plástico e não sendo influenciados pela localização geográfica. Os grupos mais abundantes pertencem às classes Gammaproteobacteria, Alphaproteobacteria, Bacteroidetes (Bacteria) e Nitrosopumilaceae (Archaea). Dessa maneira, o presente estudo é pioneiro na investigação da plastisfera de mar profundo e visa contribuir para o conhecimento deste novo microhabitat.

Palavras-Chave: Degradação de plástico; Mar profundo; Microrganismos; Lixo marinho; Plastisfera

Abstract

AGOSTINI, L. **Prokaryotic community associated with plastic polymers in the deep-sea**, 2018. 85 p. Master Thesis (Microbiology) – Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

Marine litter, mostly composed of plastics, is a global and growing problem due to inadequate disposal in the environment. From the earliest studies on the subject, we note the colonization of these residues by microorganisms, and more recent research has confirmed that one of the final destinations of this material is the ocean floor. However, little is known if this association occurs as simple adhesion of the microorganisms to the substrate, or if they use the plastic as carbon source. The present study aims to contribute to the knowledge of the communities of deep-sea microorganisms associated with plastics that may in the future assist in biodegradation processes in the future. In order to analyze the diversity and structure of the bacterial and archaeal communities in the Southwestern Atlantic Ocean, three sampling points were selected in the oceanic regions (> 3000 m) off Espírito Santo, Rio de Janeiro and São Paulo, as well as four types of plastic polymer substrates (polyethylene and polypropylene pellets and non-biodegradable and biodegradable bags) and a control (gravel) substrate. The methods used were the next generation sequencing (Illumina Miseq) of the 16S rRNA gene, Scanning Electron Microscopy (SEM) and traditional culture techniques. SEM results showed that individually disposed cells were observed in polypropylene pellets, whereas cells were observed in patches in non-biodegradable plastic bags. The 22 isolates were identified by sequencing the 16S rRNA gene and classified in: *Sulfitobacter*, *Rhodococcus*, *Marinobacter*, *Zunongwangia*, *Halomonas*, *Bacillus*, *Salinicola*, *Kocuria*, *Halobacillus*, *Pseudoalteromonas*. In total 3300 OTUs of Bacteria and Archaea were obtained by Illumina sequencing, distributed into five substrates and adjacent water samples. Some groups are directly related to the hydrocarbon degradation, and the microbial community was influenced by the plastic substrate type, and not by geographical location. The most abundant groups belong to the classes Gammaproteobacteria, Alphaproteobacteria, Bacteroidetes (Bacteria) and Nitrosopumilaceae (Archaea). Thus, the present study is pioneer in investigating the deep-sea marine plastisphere, and aims to contribute to the increasing knowledge of this new microhabitat.

Keywords: plastic degradation; deep sea; microorganisms; marine litter; plastisphere

INTRODUÇÃO

O mar profundo é o maior ecossistema do planeta, pois cobre uma área de 360 milhões de km², equivalente a 70% da superfície terrestre (JØRGENSEN; BOETIUS, 2007; RAMIREZ-LLODRA et al., 2011). Neste ambiente, os micro-organismos procariontes têm um papel fundamental no fluxo de matéria orgânica e energia e nos ciclos do carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre (PACE, 1997; LAURO; BARTLETT, 2008; GIOVANNONI; VERGIN, 2012; FUHRMAN; CRAM; NEEDHAM, 2015).

Contudo, esses micro-organismos dependem de fontes esporádicas de nutrientes, como exsudações de óleo ou de metano, fontes hidrotermais, carcaças de baleias e fragmentos de madeira para sustentar o metabolismo quimiossintético e, conseqüentemente, a base da cadeia trófica neste ambiente (SMITH, CRAIG R. & BACO, 2003; JØRGENSEN; BOETIUS, 2007; BIENHOLD, CHRISTINA; RISTOVA, PETRA POP; WENZHÖFER FRANK; DITTMAR; BOETIUS, 2013).

Nas últimas décadas, um volume mais expressivo de estudos e publicações sobre o mar profundo vem ganhando destaque na comunidade científica, incluindo estudos que mostram a deposição de macroplásticos e microplásticos neste habitat (VAN CAUWENBERGHE et al., 2013; WOODALL et al., 2014).

A colonização microbiana (bactérias e arqueias) pode ocorrer em qualquer substrato que esteja disponível no ambiente, seja em mar profundo ou em superfície, como vem sendo relatado em estudos sobre o lixo marinho (CARSON et al., 2013; ZETTLER; MINCER; AMARAL-ZETTLER, 2013; DE TENDER et al., 2015).

Com o desenvolvimento industrial e introdução de polímeros sintéticos plásticos como item de uso comum pela população, estes tipos de resíduos vêm crescendo significativamente no ambiente marinho (PETERS; FLAHERTY, 2011). Anualmente são produzidos diferentes tipos de plásticos para diferentes usos industriais. Dentre as seis classes mais produzidas de plásticos estão: polietileno (PE de alta e baixa densidade), polipropileno (PP), polivinil clorídrico (PVC), poliestireno (PS), poliuretano (PUR) e polietileno tereftalato (PET)

(KERSHAW, P. J. & LESLIE, 2012). Os mais comuns (PE e PP) são usados para embalagens, com vida útil curta, e acabam sendo descartados rapidamente e de forma inadequada. Embora sejam adequados para fabricação de vários produtos, por serem muito resistentes e versáteis, essas mesmas características os tornam potenciais poluentes para o meio ambiente (DERRAIK, 2002).

O uso de materiais biodegradáveis foi proposto como solução para diminuição do acúmulo de plásticos no ambiente, entretanto o termo biodegradável requer cautela ao se referir a materiais plásticos (RAMIREZ-LLODRA et al., 2011; KUBOWICZ; BOOTH, 2017). Polímeros biodegradáveis são materiais que se degradam pela ação de micro-organismos, como fungos e bactérias (KARLSSON; ALBERTSSON, 1998). Alguns destes polímeros plásticos são produzidos por uma combinação de processos biotecnológicos e químicos, como os poli-hidroxialcanoatos (PHA e PHB), os ácidos polilácticos (PLA), entre outros.

Já outros polímeros, vendidos como biodegradáveis, possuem a mesma estrutura química dos plásticos derivados de petróleo, porém possuem uma parcela de componente de origem biológica (PRIETO, 2016; KUBOWICZ; BOOTH, 2017). Contudo, este tipo de material é rapidamente fragmentado em pequenos pedaços quando expostos às condições ambientais, resultando em microplásticos (*pellets*, fragmentos menores que 5 mm), abundantes em toda superfície do mar, continuando a representar uma ameaça para o ambiente (RAMIREZ-LLODRA et al., 2011; REISSER et al., 2014).

Além disso, *pellets* de plástico podem acumular poluentes que podem ser transferidos para diferentes organismos marinhos (ANDRADY, 2011). Por exemplo, poluentes orgânicos persistentes como os bifenilos policlorados (PCBs), podem ser incorporados por algas marinhas, afetando uma gama ainda maior de organismos marinhos da teia alimentar, no processo chamado de bioacumulação (CARPENTER; SMITH, 1972).

Após a introdução do plástico no ambiente, os fatores físicos e químicos (umidade, ar, temperatura, luz, alta energia radioativa) agem na degradação deste material. Estes agentes fragmentam os pedaços, aumentando a superfície de contato da partícula de plástico, facilitando a colonização por micro-organismos e o transporte destes para outras localidades, podendo impactar a

estrutura da comunidade local (ARUTCHELVI et al., 2008; REISSER et al., 2014).

A capacidade de colonizar superfícies é um mecanismo que promove vantagens aos micro-organismos em situações de limitação nutricional e condições ambientais altamente dinâmicas (DANG; LOVELL, 2016). O plástico disperso no oceano fornece substrato para a vida marinha que dura muito mais do que a maioria dos substratos flutuantes naturais, permitindo ainda sua dispersão para outras regiões onde podem ser considerados organismos invasores (MINCER; ERICK R. ZETTLER; AMARAL-ZETTLER, 2016). Mesmo em pequenas quantidades (< 1%), Masó et al. (2007), identificaram espécies de dinoflagelados tóxicos associados a resíduos plásticos na superfície do Mar Mediterrâneo.

Zettler e colaboradores (2013) realizaram a primeira caracterização de comunidades microbianas presentes em plásticos na superfície do Oceano Atlântico Norte utilizando microscopia eletrônica de varredura e métodos moleculares. A descrição da existência de um biofilme associado a estes plásticos sugeriu que esta comunidade fosse denominada de “plastisfera”. Este estudo pioneiro revelou uma comunidade microbiana única, diversificada e complexa, composta por diatomáceas, ciliados e bactérias.

Estudo como esse, utilizando a microscopia eletrônica de varredura e métodos moleculares para detecção de genes responsáveis pela biodegradação de hidrocarbonetos em plásticos marinhos, sugeriram que bactérias marinhas podem degradar polímeros e que este processo de degradação ocorre na superfície marinha (REISSER et al., 2014). Outros trabalhos destacaram o acúmulo e a colonização por microrganismos provenientes da superfície do oceano, principalmente nas regiões dos grandes giros subtropicais no Hemisfério Norte (CARSON et al., 2013; ZETTLER; MINCER; AMARAL-ZETTLER, 2013; DE TENDER et al., 2015).

Sabe-se ainda que a composição, densidade e forma destes resíduos plásticos irão determinar se flutuam ou afundam com mais facilidade, podendo ser encontrados na coluna d’água até o sedimento (COLE et al., 2011), tendo como um dos destinos o fundo oceânico (VAN CAUWENBERGHE et al., 2013).

Apesar da capacidade de degradação de plásticos ter sido recentemente descrita em bactérias (YOSHIDA et al., 2016) ainda não há informações na literatura sobre o que ocorre com os plásticos quando chegam às regiões profundas marinhas. Mais especificamente, no Oceano Atlântico Sul, ainda há pouca informação sobre a colonização do lixo marinho por microrganismos em águas superficiais, bem como sobre a colonização de resíduos plásticos (plastisfera) que chegam ao mar profundo, em profundidades superiores a 1500m.

CONCLUSÕES

- O tipo de substrato determinou a composição microbiana e abundância taxonômica de Bacteria e Archaea, nos polímeros plásticos fundeados em mar profundo, apresentando diferenças entre as sacolas e cascalhos com os *pellets* e entre os substratos com as amostras de água adjacente, não apresentando diferenças entre si, o que pode ser observado claramente com as análises de beta-diversidade.
- As análises de alfa-diversidade mostraram que a maioria das amostras apresentou elevada diversidade e riqueza, contudo com diferenças entre os substratos plásticos (principalmente sacolas) e a coluna d'água.
- As comunidades do domínio Bacteria foram dominadas por organismos colonizadores primários, como representantes das classes Gammaproteobacteria, Alphaproteobacteria e Bacteroidetes, diferenciando as amostras segundo a abundância de cada grupo, sugerindo uma inclinação para determinado tipo de substrato, possivelmente devido a sua composição química, superfície e/ou nutrientes disponíveis.
- Este trabalho é um dos únicos que leva em consideração as sequências do domínio Archaea, presentes nas amostras de plásticos. O filo Thaumarchaeota foi predominante nas amostras estudadas,

principalmente a classe Nitrosopumilaceae. A OTU21 esteve presente em somente nas amostras de água adjacente, enquanto que se observou a presença da OTU10 nos substratos sólidos e não na coluna d'água. Já a OTU38, classificada como Nanoarchaeota foi predominante nas amostras de sacola comum.

- Através das imagens de microscopia eletrônica de varredura pode-se confirmar os baixos valores da quantificação de DNA total das amostras. As imagens mostram poucas células aderidas, sem a formação de um biofilme mais complexo, dificultando o trabalho de extração de DNA e consequentemente de sequenciamento do gene RNAr 16S.
- Foi possível observar apenas um indicio de uma provável degradação de um *pellet* de polipropileno. Na imagem há uma célula microbiana aderida a uma cavidade circular. Contudo, não se pode afirmar com certeza de que aquela célula teria degradado e assimilado em seu metabolismo a fonte de carbono proveniente deste substrato plástico.
- Os isolados associados aos plásticos apresentaram grupos de bactérias anteriormente relacionados a degradação de hidrocarbonetos. Foram realizados testes para confirmar algum indicio de degradação, contudo, não houve resultado significativo para o experimento realizado neste trabalho.
- Não foi observada a influência de fatores ambientais, provavelmente pelo fato de que a região de mar profundo possui condições ambientais constantes. Além disso, todos os *landers* utilizados neste estudo estavam sob a influência das mesmas massas d'água (ACI e APAN), consequentemente sob as mesmas condições físico químicas, as quais podem ter dispersados os microrganismos, contribuindo para o estabelecimento de comunidades semelhantes entre os substratos nos diferentes sítios de fundeio.

- Dessa maneira, o presente trabalho contribui para o conhecimento da plastisfera marinha no Oceano Atlântico Sudoeste, sendo pioneiro em fornecer informações sobre a comunidade procariótica associada a plásticos, reforçando o argumento de que embora possa ocorrer biodegradação dos plásticos nos oceanos, esses resíduos podem chegar a grandes profundidades, onde as condições ambientais constantes e extremas contribuem para a dificuldade da degradação física e biológica.

REFERENCIAS*

ALAIN, K.; ZBINDEN, M.; BRIS, N. Le. Early steps in microbial colonization processes at deep-sea hydrothermal vents. **Environmental Microbiology**, v. 6, p. 227–241, 2004.

ALEKSIC, S.; BOCKEMUHL, J. Microbiology and epidemiology of Halomonas species. **Future Microbiol.**, v. 18, n. 6, p. 178–185, 2013. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=2076900>.

ALMADA, G. V. de M. B.; BERNARDINO, A. F. Conservation of deep-sea ecosystems within offshore oil fields on the Brazilian margin, SW Atlantic. **Biological Conservation**, v. 206, p. 92–101, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2016.12.026>>.

ALVES JUNIOR, N.; MEIRELLES, P. M.; DE OLIVEIRA SANTOS, E.; DUTILH, B.; SILVA, G. G. Z.; PARANHOS, R.; CABRAL, A. S.; REZENDE, C.; IIDA, T.; DE MOURA, R. L.; KRUGER, R. H.; PEREIRA, R. C.; VALLE, R.; SAWABE, T.; THOMPSON, C.; THOMPSON, F. Microbial community diversity and physical–chemical features of the Southwestern Atlantic Ocean. **Archives of Microbiology**, v. 197, n. 2, p. 165–179, 2014.

AMARAL-ZETTLER, L. A.; ZETTLER, E. R.; SLIKAS, B.; BOYD, G. D.; MELVIN, D. W.; MORRALL, C. E.; PROSKUROWSKI, G.; MINCER, T. J. The biogeography of the Plastisphere: Implications for policy. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 13, n. 10, p. 541–546, 2015.

ANAN'INA, L. N.; PLOTNIKOVA, E. G.; GAVRISH, E. Y.; DEMAPOV, V. a; EVTUSHENKO, L. I. Salinicola socius gen. nov., sp. nov., a moderately halophilic bacterium from a naphthalene-utilizing microbial association. **Mikrobiologiy**, v. 76, n. 3, p. 324–330, 2007. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1134/S0026261707030095>>.

ANDRADY, A. L. Microplastics in the marine environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 8, p. 1596–1605, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>>.

ARKATKAR, A.; JUWARKAR, A. A.; BHADURI, S.; UPPARA, P. V.; DOBLE, M. Growth of Pseudomonas and Bacillus biofilms on pretreated polypropylene surface. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 64, n. 6, p.

530–536, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.06.002>>.

ARUTCHELVI, J.; SUDHAKAR, M.; ARKATKAR, A.; DOBLE, M.; BHADURI, S.; UPPARA, P. V. Biodegradation of polyethylene and polypropylene. **Indian Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 1, p. 9–22, 2008.

AUSTIN, H. P.; ALLEN, M. D.; DONOHOE, B. S.; RORRER, N. A.; KEARNS, F. L.; SILVEIRA, R. L.; POLLARD, B. C.; DOMINICK, G.; DUMAN, R.; EL OMARI, K.; MYKHAYLYK, V.; WAGNER, A.; MICHENER, W. E.; AMORE, A.; SKAF, M. S.; CROWLEY, M. F.; THORNE, A. W.; JOHNSON, C. W.; WOODCOCK, H. L.; MCGEEHAN, J. E.; BECKHAM, G. T. Characterization and engineering of a plastic-degrading aromatic polyestherase. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, p. 201718804, 2018. Disponível em: <<http://www.pnas.org/lookup/doi/10.1073/pnas.1718804115>>.

BARNES, D. K. A.; GALGANI, F.; THOMPSON, R. C.; BARLAZ, M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. p. 1985–1998, 2009.

BAYER, B.; VOJVODA, J.; OFFRE, P.; ALVES, R. J. E.; ELISABETH, N. H.; GARCIA, J. A. L.; VOLLAND, J. M.; SRIVASTAVA, A.; SCHLEPER, C.; HERNDL, G. J. Physiological and genomic characterization of two novel marine thaumarchaeal strains indicates niche differentiation. **ISME Journal**, v. 10, n. 5, p. 1051–1063, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/ismej.2015.200>>.

BENGTSSON, M. M.; ØVREÅS, L. Planctomycetes dominate biofilms on surfaces of the kelp *Laminaria hyperborea*. **BMC Microbiology**, v. 10, 2010.

BERGO, N. M.; SIGNORI, C. N.; AMADO, A. M.; BRANDINI, F. P.; PELLIZARI, V. H. The Partitioning of Carbon Biomass among the Pico- and Nano-plankton Community in the South Brazilian Bight during a Strong Summer Intrusion of South Atlantic Central Water. **Frontiers in Marine Science**, v. 4, n. July, p. 1–12, 2017. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2017.00238/full>>.

BERNARDINO, A. F.; BERENGUER, V.; RIBEIRO-FERREIRA, V. P. Deep-Sea Research I Bathymetric and regional changes in benthic macrofaunal assemblages on the deep Eastern Brazilian margin, SW Atlantic. **Deep-Sea Research Part I**, v. 111, p. 110–120, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2016.02.016>>.

BHARDWAJ, H.; GUPTA, R.; TIWARI, A. Communities of Microbial Enzymes Associated with Biodegradation of Plastics. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 21, n. 2, p. 575–579, 2013.

BIENHOLD, CHRISTINA; RISTOVA, PETRA POP; WENZHÖFER FRANK; DITTMAR, T.; BOETIUS, A. How Deep-Sea Wood Falls Sustain Chemosynthetic Life. **PLoS ONE**, v. 8, n. 1, p. 10–15, 2013.

BRYANT, J. A.; CLEMENTE, T. M.; VIVIANI, D. A.; FONG, A. A.; THOMAS, K. A.; KEMP, P.; KARL, D. M.; WHITE, A. E.; DELONG, E. F. Diversity and Activity of Communities Inhabiting Plastic Debris in the North Pacific Gyre. **mSystems**, v. 1, n. 3, p. e00024-16, 28 jun. 2016. Disponível em: <<http://msystems.asm.org/lookup/doi/10.1128/mSystems.00024-16>>.

CALVO, C.; MARTÍNEZ-CHECA, F.; TOLEDO, F.; PORCEL, J.; QUESADA, E. Characteristics of bioemulsifiers synthesised in crude oil media by *Halomonas eurihalina* and their effectiveness in the isolation of bacteria able to grow in the presence of hydrocarbons. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 60, n. 3, p. 347–351, 2003.

CAMERON, T. J.; TEMPERTON, B.; SWAN, B. K.; LANDRY, Z. C.; WOYKE, T.; DELONG, E. F.; STEPANAUSKAS, R.; GIOVANNONI, S. J. Single-cell enabled comparative genomics of a deep ocean SAR11 bathytype. **ISME Journal**, v. 8, n. 7, p. 1440–1451, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/ismej.2013.243>>.

CAO, Y.; CHASTAIN, R. A.; ELOE, E. A.; NOGI, Y.; KATO, C.; BARTLETTA, D. H. Novel psychropiezophilic oceanospirillales species *profundimonas piezophila* gen. nov., sp. nov., isolated from the deep-sea environment of the puerto rico trench. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 80, n. 1, p. 54–60, 2014.

CAPORASO, J. G.; KUCZYNSKI, J.; STOMBAUGH, J.; BITTINGER, K.; BUSHMAN, F. D.; COSTELLO, E. K.; FIERER, N.; PEÑA, A. G.; GOODRICH, J. K.; GORDON, J. I.; HUTTLEY, G. A.; KELLEY, S. T.; KNIGHTS, D.; KOENIG, J. E.; LEY, R. E.; LOZUPONE, C. A.; MCDONALD, D.; MUEGGE, B. D.; PIRRUNG, M.; REEDER, J.; SEVINSKY, J. R.; TURNBAUGH, P. J.; WALTERS, W. A.; WIDMANN, J.; YATSUNENKO, T.; ZANEVELD, J.; KNIGHT, R. correspondEnce QIIME allows analysis of high- throughput community sequencing data Intensity normalization improves color calling in SOLiD sequencing. **Nature Publishing Group**, v. 7, n. 5, p. 335–336, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nmeth0510-335>>.

CARPENTER, E. J.; SMITH, K. L. Plastics on the Sargasso Sea Surface. **Sciences**, v. 175, n. 4027, p. 1240–1241, 1972.

CARPENTER, E. J.; SUSAN, P. M.; PECK, B. B. Polystyrene Spherules in Coastal Waters. **Science**, v. 178, n. NOVEMBER, p. 0–1, 1972.

CARSON, H. S.; NERHEIM, M. S.; CARROLL, K. a; ERIKSEN, M. The plastic-associated microorganisms of the North Pacific Gyre. **Marine pollution bulletin**, v. 75, n. 1–2, p. 126–32, 15 out. 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23993070>>. Acesso em: 13 out. 2014.

CASTELLE, C. J.; BANFIELD, J. F. Major New Microbial Groups Expand Diversity and Alter our Understanding of the Tree of Life. **Cell**, v. 172, n. 6, p. 1181–1197, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.02.016>>.

CHIBA, S.; SAITO, H.; FLETCHER, R.; YOGI, T.; KAYO, M.; MIYAGI, S.; OGIDO, M.; FUJIKURA, K. Human footprint in the abyss: 30 year records of deep-sea plastic debris. **Marine Policy**, n. March, p. 0–1, 2018. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308597X17305195>>.

CHITSAZ, H.; YEE-GREENBAUM, J. L.; TESLER, G.; LOMBARDO, M. J.; DUPONT, C. L.; BADGER, J. H.; NOVOTNY, M.; RUSCH, D. B.; FRASER, L. J.; GORMLEY, N. A.; SCHULZ-TRIEGLAFF, O.; SMITH, G. P.; EVERS, D. J.; PEVZNER, P. A.; LASKEN, R. S. Efficient de novo assembly of single-cell bacterial genomes from short-read data sets. **Nature Biotechnology**, v. 29, n. 10, p. 915–922, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nbt.1966>>.

COLE, M.; LINDEQUE, P.; HALSBAND, C.; GALLOWAY, T. S. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 12, p. 2588–2597, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>>.

COSTERTON, J. W.; CALDWELL, D. E.; KORBER, D. R.; LAPPIN-SCOTT, H. M. Microbial Biofilms. **Annual Reviews Microbiology**, v. 49, p. 711–745, 1995.

CÓZAR, A.; ECHEVARRÍA, F.; GONZÁLEZ-GORDILLO, J. I.; IRIGOIEN, X.; UBEDA, B.; HERNÁNDEZ-LEÓN, S.; PALMA, A. T.; NAVARRO, S.; GARCÍA-DE-LOMAS, J.; RUIZ, A.; FERNÁNDEZ-DE-PUELLES, M. L.; DUARTE, C. M. Plastic debris in the open ocean. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, p. 10239–10244, 2014. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24982135>>.

DANG, H.; LI, T.; CHEN, M.; HUANG, G. Cross-Ocean Distribution of Rhodobacterales Bacteria as Primary Surface Colonizers in Temperate Coastal Marine Waters □ †. **Applied and environmental microbiology**, v. 74, n. 1, p. 52–60, 2008.

DANG, H.; LOVELL, C. R. Bacterial Primary Colonization and Early Succession on Surfaces in Marine Waters as Determined by Amplified RNAr Gene Restriction Analysis and Sequence Analysis of 16S RNAr Genes. **APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY**, v. 66, n. 2, p. 467–475, 2000a.

DANG, H.; LOVELL, C. R. Bacterial Primary Colonization and Early Succession on Surfaces in Marine Waters as Determined by Amplified RNAr Gene Restriction Analysis and Sequence Analysis of 16S RNAr Genes Bacterial Primary Colonization and Early Succession on Surfaces in Marine Wa. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 66, n. 2, p. 467–475, 2000b.

DANG, H.; LOVELL, C. R. Microbial Surface Colonization and Biofilm Development in Marine Environments. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 80, n. 1, p. 91–138, 2016.

DASH, H. R.; MANGWANI, N.; CHAKRABORTY, J.; KUMARI, S.; DAS, S. Marine bacteria: Potential candidates for enhanced bioremediation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 97, p. 561–571, 2013.

DE TENDER, C. A.; DEVRIESE, L. I.; HAEGEMAN, A.; MAES, S.; RUTTINK, T.; DAWYNDT, P. Bacterial Community Profiling of Plastic Litter in the Belgian Part of the North Sea. **Environmental Science & Technology**, v. 49, n. 16, p. 9629–9638, 18 ago. 2015. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.5b01093>>.

DEBELJAK, P.; PINTO, M.; PROIETTI, M.; REISSER, J.; FERRARI, F. F.; ABBAS, B.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M.; SLAT, B.; HERNDL, G. J. Extracting DNA from ocean microplastics: a method comparison study. **Anal. Methods**, v. 9, n. 9, p. 1521–1526, 2017. Disponível em: <<http://xlink.rsc.org/?DOI=C6AY03119F>>.

DEMPSEY, M. J. Marine Bacterial Fouling: A Scanning Electron Microscope Study. v. 315, 1981.

DERRAIK, J. G. B. The pollution of the marine environment by plastic debris. **Marine Pollution Bulletin**, v. 44, p. 842–852, 2002.

DIDIER, D.; ANNE, M.; ALEXANDRA, T. H. Plastics in the North Atlantic garbage patch: A boat-microbe for hitchhikers and plastic degraders. **Science of The Total Environment**, v. 599–600, p. 1222–1232, 2017. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969717311579>>.

DONLAN, R. M. Biofilms: Microbial life on surfaces. **Emerging Infectious Diseases**, v. 8, n. 9, p. 881–890, 2002.

DUHAIME, M. B.; WICHELS, A.; SULLIVAN, B. Six *Pseudoalteromonas* Strains Isolated from Surface Waters of Kanbeltonne, Offshore Helgoland, North Sea. v. 4, n. 1, p. 4–5, 2016.

EDGAR, R. C. MUSCLE: Multiple sequence alignment with high accuracy and high throughput. **Nucleic Acids Research**, v. 32, n. 5, p. 1792–1797, 2004.

EDGAR, R. C. Search and clustering orders of magnitude faster than BLAST. v. 26, n. 19, p. 2460–2461, 2010.

FATHEPURE, B. Z. Recent studies in microbial degradation of petroleum hydrocarbons in hypersaline environments. **Frontiers in Microbiology**, v. 5, n. APR, p. 1–16, 2014.

FRANZMANN, P. D.; WEHMEYER, U.; STACKEBRANDT, E. Halomonadaceae fam. nov., a New Family of the Class Proteobacteria to Accommodate the Genera Halomonas and Deleya. **Systematic and Applied Microbiology**, v. 11, n. 1, p. 16–19, 1988. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0723202088800432>>.

FUHRMAN, J. a.; CRAM, J. a.; NEEDHAM, D. M. Marine microbial community dynamics and their ecological interpretation. **Nature Reviews Microbiology**, v. 13, n. 3, p. 133–146, 2015. Disponível em: <<http://www.nature.com/doi/10.1038/nrmicro3417>>.

GANESH KUMAR, A.; VIJAYAKUMAR, L.; JOSHI, G.; MAGESH PETER, D.; DHARANI, G.; KIRUBAGARAN, R. Biodegradation of complex hydrocarbons in spent engine oil by novel bacterial consortium isolated from deep sea sediment. **Bioresource Technology**, v. 170, p. 556–564, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.08.008>>.

GAO, X.; GAO, W.; CUI, Z.; HAN, B.; YANG, P.; SUN, C.; ZHENG, L. Biodiversity and degradation potential of oil-degrading bacteria isolated from deep-sea sediments of South Mid-Atlantic Ridge. **Marine Pollution Bulletin**, v. 97, n. 1–2, p. 373–380, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.065>>.

GAUTHIER, G.; GAUTHIER, M.; CHRISTEN, R. Phylogenetic analysis of the genera *Alteromonas*, *Shewanella*, and *Moritella* using genes coding for small-subunit rRNA sequences and division of the genus *Alteromonas* into two genera, *Alteromonas* (emended) and *Pseudoalteromonas* gen. nov., and proposal of tw. **International journal of systematic bacteriology**, v. 45, n. 32, p. 755–761, 1995.

GIOVANNONI, S. J.; VERGIN, K. L. Seasonality in Ocean Microbial Communities. v. 335, n. February, p. 671–677, 2012.

GOFFREDI, S. K.; ORPHAN, V. J.; ROUSE, G. W.; JAHNKE, L.; EMBAYE, T.; TURK, K.; LEE, R.; VRIJENHOEK, R. C. Evolutionary innovation: A bone-eating marine symbiosis. **Environmental Microbiology**, v. 7, n. 9, p. 1369–1378, 2005.

GOLDSTEIN, M. C.; CARSON, H. S.; ERIKSEN, M. Relationship of diversity and habitat area in North Pacific plastic-associated rafting communities. **Marine Biology**, 2014.

GONZALEZ-SILVERA, A.; SANTAMARIA-DEL-ANGEL, E.; GARCIA, V. M. T.; GARCIA, C. A. E.; MILLÁN-NUÑEZ, R.; MULLER-KARGER, F. Biogeographical regions of the tropical and subtropical Atlantic Ocean off South America: Classification based on pigment (CZCS) and chlorophyll-a (SeaWiFS) variability. **Continental Shelf Research**, v. 24, n. 9, p. 983–1000, 2004.

GROSS, R. A.; KALRA, B. Biodegradable Polymers for the Enviroment. **Science**, v. 297, n. 5582, p. 803–807, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/content/297/5582/803.full>>.

GUEZENNEC, J. Y.; RAGUENES, G.; GEESEY, G. Bacterial colonization of artificial substrate in the vicinity of deep-sea hydrothermal vents. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 26, p. 89–99, 1998.

GULMANN, L. K.; BEAULIEU, S. E.; SHANK, T. M.; DING, K.; SEYFRIED, W. E.; SIEVERT, S. M. Bacterial diversity and successional patterns during biofilm formation on freshly exposed basalt surfaces at diffuse-flow deep-sea vents. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, n. SEP, p. 1–16, 2015.

HALL-STOODLEY, L.; COSTERTON, J. W.; STOODLEY, P. Bacterial biofilms: from the natural environment to infectious diseases. **Nature reviews Microbiology**, v. 2, n. February, p. 95–108, 2004. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15040259>>.

HALL, T.; BIOSCIENCES, I.; CARLSBAD, C. BioEdit: An important software for molecular biology. **GERF Bulletin of Biosciences**, v. 2, n. June, p. 60–61, 2011.

HARSHVARDHAN, K.; JHA, B. Biodegradation of low-density polyethylene by marine bacteria from pelagic waters, Arabian Sea, India. **Marine pollution bulletin**, v. 77, n. 1–2, p. 100–6, 15 dez. 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24210946>>. Acesso em: 18 set. 2014.

HAZEN, T. C.; DUBINSKY, E. A.; DESANTIS, T. Z.; ANDERSEN, G. L.; PICENO, Y. M.; SINGH, N.; JANSSON, J. K.; PROBST, A.; BORGLIN, S. E.; FORTNEY, J. L.; STRINGFELLOW, W. T.; BILL, M.; CONRAD, M. E.; TOM, L. M.; CHAVARRIA, K. L.; ALUSI, T. R.; LAMENDELLA, R.; JOYNER, D. C.; SPIER, C.; BAEUM, J.; AUER, M.; ZEMLA, M. L.; CHAKRABORTY, R.; SONNENTHAL, E. L.; D'HAESELEER, P.; HOLMAN, H.-Y. N.; OSMAN, S.; LU, Z.; VAN NOSTRAND, J. D.; DENG, Y.; ZHOU, J.; MASON, O. U. Deep-Sea Oil Plume Enriches Indigenous Oil-Degrading Bacteria. **Science**, v. 330, n. 2010, p. 204–208, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1195979>>.

HUBER, H.; HOHN, M. J.; STETTER, K. O.; RACHEL, R. The phylum Nanoarchaeota: Present knowledge and future perspectives of a unique form of life. **Research in Microbiology**, v. 154, n. 3, p. 165–171, 2003.

HUO, Y. Y.; MENG, F. X.; XU, L.; WANG, C. S.; XU, X. W. *Salinicola peritrichatus* sp. nov., isolated from deep-sea sediment. **Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology**, v. 104, n. 1, p. 55–62, 2013.

IVANOVA, E. P.; GORSHKOVA, N. M.; SAWABE, T.; ZHUKOVA, N. V.; HAYASHI, K.; KURINLENKO, V.; ALEXEEVA, Y.; BULJAN, V.; NICOLAU, D. V.; MIKHAILOV, V. V.; CHRISTEN, R. *Sulfitobacter delicatus* sp. nov. and *Sulfitobacter dubius* sp. nov., respectively from a starfish (*Stellaster equestris*) and sea grass (*Zostera marina*). **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 54, n. 2, p. 475–480, 2004.

IVANOVA, E. P.; ROMANENKO, L. A.; CHUN, J.; MATTE, M. H.; MATTE, G. R.; MIKHAILOV, V. V.; SVETASHEV, V. I.; HUQ, A.; MAUGEL, T.; COLWELL, R. R. *Idiomarina* gen. nov., comprising novel indigenous deep-sea bacteria from the Pacific Ocean, including descriptions of two species, *Idiomarina abyssalis* sp. nov. and *Idiomarina zobellii* sp. nov. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 50, n. 2, p. 901–907, 2000.

JAMBECK, J. R.; GEYER, R.; WILCOX, C.; SIEGLER, T. R.; PERRYMAN, M.; ANDRADY, A.; NARAYAN, R.; LAW, K. L. Plastic waste inputs from land into the ocean. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 768–771, 13 fev. 2015. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1260352>>.

JEFFERSON, K. K. What drives bacteria to produce a biofilm? **FEMS Microbiology Letters**, v. 236, n. April, p. 163–173, 2004.

JENKINS, C.; KEDAR, V.; FUERST, J. A. Gene discovery within the planctomycete division of the domain Bacteria using sequence tags from genomic DNA libraries. **Genome Biol**, v. 3, n. 6, p. RESEARCH0031, 2002. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=12093378>.

JONES, P. R.; COTTRELL, M. T.; KIRCHMAN, D. L.; DEXTER, S. C. Bacterial Community Structure of Biofilms on Artificial Surfaces in an Estuary. **Microbial Ecology**, v. 53, p. 153–162, 2007.

JØRGENSEN, B. B.; BOETIUS, A. Feast and famine — microbial life in the deep-sea bed. v. 5, 2007.

KARLSSON, S.; ALBERTSSON, A. C. Biodegradable polymers and environmental interaction. **Polymer Engineering and Science**, v. 38, n. 8, p. 1251–1253, 1998.

KAYE, J. Z.; BAROSS, J. A. High incidence of halotolerant bacteria in Pacific hydrothermal-vent and pelagic environments. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 32, n. 3, p. 249–260, 2000.

KERSHAW, P. J. & LESLIE, H. (Eds. . Sources, fate & effects of micro-plastics

in the marine environment - a global assessment. p. 1–45, 2012.

KERTESZ, M. A.; KAWASAKI, A.; STOLZ, A. Aerobic Hydrocarbon-Degrading Alphaproteobacteria : Sphingomonadales. p. 1–21, 2018.

KIMURA, M. A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. **Journal of molecular evolution**, v. 16, n. 2, p. 111-120, 1980.

KING, G. M.; KOSTKA, J. E.; HAZEN, T. C.; SOBECKY, P. A. Microbial Responses to the Deepwater Horizon Oil Spill : From Coastal Wetlands to the Deep Sea. 2015.

KOSTKA, J. E.; PRAKASH, O.; OVERHOLT, W. A.; GREEN, S. J.; FREYER, G.; CANION, A.; DELGARDIO, J.; NORTON, N.; HAZEN, T. C.; HUETTEL, M. Hydrocarbon-degrading bacteria and the bacterial community response in Gulf of Mexico beach sands impacted by the deepwater horizon oil spill. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 77, n. 22, p. 7962–7974, 2011.

KRUEGER, M. C.; HARMS, H.; SCHLOSSER, D. Prospects for microbiological solutions to environmental pollution with plastics. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 99, n. 21, p. 8857–8874, 30 nov. 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00253-015-6879-4>>.

KUBOWICZ, S.; BOOTH, A. M. Biodegradability of Plastics: Challenges and Misconceptions. **Environmental Science & Technology**, v. 51, n. 21, p. 12058–12060, 7 nov. 2017. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.7b04051>>.

LARA, E.; HOLMFELDT, K.; SOLONENKO, N.; SÀ, E. L.; IGNACIO-ESPINOZA, J. C.; CORNEJO-CASTILLO, F. M.; VERBERKMOES, N. C.; VAQUÉ, D.; SULLIVAN, M. B.; ACINAS, S. G. Life-style and genome structure of marine Pseudoalteromonas siphovirus B8b isolated from the northwestern Mediterranean Sea. **PLoS ONE**, v. 10, n. 1, p. 1–26, 2015.

LARKIN, M. J.; KULAKOV, L. A.; ALLEN, C. C. R. Biodegradation and Rhodococcus - Masters of catabolic versatility. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 16, n. 3 SPEC. ISS., p. 282–290, 2005.

LAURO, F. M.; BARTLETT, D. H. Prokaryotic lifestyles in deep sea habitats. **Extremophiles**, v. 12, n. 1, p. 15–25, 17 jan. 2008. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00792-006-0059-5>>.

LEARY, D. H.; LI, R. W.; HAMDAN, L. J.; HERVEY, W. J.; LEBEDEV, N.; WANG, Z.; DESCHAMPS, J. R.; KUSTERBECK, A. W.; VORA, G. J. Integrated metagenomic and metaproteomic analyses of marine biofilm communities. **Biofouling**, v. 30, n. 10, p. 1211–1223, 2014.

LEE, J. W.; NAM, J. H.; KIM, Y. H.; LEE, K. H.; LEE, D. H. Bacterial communities in the initial stage of marine biofilm formation on artificial surfaces. **Journal of Microbiology**, v. 46, n. 2, p. 174–182, 2008.

LI, H.; ZHANG, Q.; WANG, X. L.; MA, X. Y.; LIN, K. F.; LIU, Y. D.; GU, J. D.; LU, S. G.; SHI, L.; LU, Q.; SHEN, T. T. Biodegradation of benzene homologues in contaminated sediment of the East China Sea. **Bioresource Technology**, v. 124, p. 129–136, 2012.

LOBELLE, D.; CUNLIFFE, M. Early microbial biofilm formation on marine plastic debris. **Marine pollution bulletin**, v. 62, n. 1, p. 197–200, jan. 2011. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21093883>>. Acesso em: 28 jul. 2012.

LOZUPONE, C.; LLADSER, M. E.; KNIGHTS, D.; STOMBAUGH, J.; KNIGHT, R. UniFrac: an effective distance metric for microbial community comparison. **The ISME Journal**, v. 5, n. 2, p. 169–172, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/ismej.2010.133>>.

MAXIMENKO, N.; HAFNER, J.; NIILER, P. Pathways of marine debris derived from trajectories of Lagrangian drifters. **Marine pollution bulletin**, v. 65, n. 1–3, p. 51–62, jan. 2012. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21696778>>. Acesso em: 26 set. 2012.

MCCLAIN, C. R.; SIGNORINI, S. R.; CHRISTIAN, J. R. Subtropical gyre variability observed by ocean-color satellites. **Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 51, n. 1–3, p. 281–301, 2004.

MINCER, T. J.; ERICK R. ZETTLER; AMARAL-ZETTLER, L. A. Biofilms on Plastic Debris and Their Influence on Marine Nutrient Cycling, Productivity, and Hazardous Chemical Mobility. **Hdb Env Chem**, n. October, p. 41–53, 2016.

MUKHERJEE, S.; CHATTERJEE, S. Original Research Article A comparative study of commercially available plastic carry bag biodegradation by microorganisms isolated from hydrocarbon effluent enriched soil. v. 3, n. 5, p. 318–325, 2014.

NAUENDORF, A.; KRAUSE, S.; BIGALKE, N. K.; GORB, E. V.; GORB, S. N.; HAECKEL, M.; WAHL, M.; TREUDE, T. Microbial colonization and degradation of polyethylene and biodegradable plastic bags in temperate fine-grained organic-rich marine sediments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 103, n. 1–2, p. 168–178, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.024>>.

O'BRINE, T.; THOMPSON, R. C. Degradation of plastic carrier bags in the marine environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 60, n. 12, p. 2279–2283, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.08.005>>.

OBERBECKMANN, S.; KREIKEMEYER, B.; LABRENZ, M. Environmental factors support the formation of specific bacterial assemblages on microplastics. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, n. January, p. 2709, 2017. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2017.02709/abstract>>.

OBERBECKMANN, S.; LOEDER, M. G. J.; GERDTS, G.; MARK OSBORN, a. Spatial and seasonal variation in diversity and structure of microbial biofilms on marine plastics in Northern European waters. **FEMS microbiology ecology**, v. 49, n. 0, p. 478–492, 2014. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25109340>>.

OBERBECKMANN, S.; OSBORN, A. M.; DUHAIME, M. B. Microbes on a Bottle : Substrate , Season and Geography Influence Community Composition of Microbes Colonizing Marine Plastic Debris. **Plos One**, p. 1–24, 2016.

ORCUTT, B. N.; SYLVAN, J. B.; KNAB, N. J.; EDWARDS, K. J. Microbial Ecology of the Dark Ocean above , at , and below the Seafloor. v. 75, n. 2, p. 361–422,

2011.

ORR, I. G.; HADAR, Y.; SIVAN, A. Colonization, biofilm formation and biodegradation of polyethylene by a strain of *Rhodococcus ruber*. **Appl Microbiol Biotechnol**, v. 65, p. 97–104, 2004.

OSBORN, A. M.; STOJKOVIC, S. Marine microbes in the Plastic Age. **Microbiology Australia**, p. 7–10, 2014.

PACE, N. R. A Molecular View of Microbial Diversity and the Biosphere. v. 276, n. May, 1997.

PAÇO, A.; DUARTE, K.; DA COSTA, J. P.; SANTOS, P. S. M.; PEREIRA, R.; PEREIRA, M. E.; FREITAS, A. C.; DUARTE, A. C.; ROCHA-SANTOS, T. A. P. Biodegradation of polyethylene microplastics by the marine fungus *Zalerion maritimum*. **Science of the Total Environment**, v. 586, p. 10–15, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.017>>.

PAULSON, JOSEPH N. et al. Differential abundance analysis for microbial marker-gene surveys. **Nature methods**, v. 10, n. 12, p. 1200, 2013.

PETERS, K.; FLAHERTY, T. Marine Debris in Gulf Saint Vincent Bioregion. **Report for the Adelaide and Mount Lofty Natural Resources and Management Board**, n. October, 2011.

PRIETO, A. To be , or not to be biodegradable . . . that is the question for the bio-based plastics. n. 633962, 2016.

QIN, Q.-L.; ZHANG, X.-Y.; WANG, X.-M.; LIU, G.-M.; CHEN, X.-L.; XIE, B.-B.; DANG, H.-Y.; ZHOU, B.-C.; YU, J.; ZHANG, Y.-Z. The complete genome of *Zunongwangia profunda* SM-A87 reveals its adaptation to the deep-sea environment and ecological role in sedimentary organic nitrogen degradation. **BMC Genomics**, v. 11, n. 1, p. 247, 2010. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2864250&tool=pmc&rendertype=abstract%5Cnhttp://bmcbgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2164-11-247>>.

R Development Core Team R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/2011>.

RAMIREZ-LLODRA, E.; TYLER, P. A.; BAKER, M. C.; BERGSTAD, O. A.; CLARK, M. R.; LEVIN, L. A.; MENOT, L.; ROWDEN, A. A.; SMITH, C. R.; DOVER, C. L. Van. Man and the Last Great Wilderness : Human Impact on the Deep Sea. v. 6, n. 7, 2011.

REISSER, J.; SHAW, J.; HALLEGRAEFF, G.; PROIETTI, M.; BARNES, D. K. a; THUMS, M.; WILCOX, C.; HARDESTY, B. D.; PATTIARATCHI, C. Millimeter-sized marine plastics: a new pelagic habitat for microorganisms and invertebrates. **PloS one**, v. 9, n. 6, p. e100289, jan. 2014. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4062529&tool=pmc&rendertype=abstract>>. Acesso em: 2 out. 2014.

RIBEIRO, C. G.; MARIE, D.; DOS SANTOS, A. L.; BRANDINI, F. P.; VAULOT,

D. Estimating microbial populations by flow cytometry: Comparison between instruments. **Limnology and Oceanography: Methods**, v. 14, n. 11, p. 750–758, 2016.

RIOS, L. M.; MOORE, C.; JONES, P. R. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. **Marine pollution bulletin**, v. 54, n. 8, p. 1230–7, ago. 2007. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17532349>>. Acesso em: 7 ago. 2012.

SALAZAR, G.; CORNEJO-CASTILLO, F. M.; BENÍTEZ-BARRIOS, V.; FRAILE-NUEZ, E.; ÁLVAREZ-SALGADO, X. A.; DUARTE, C. M.; GASOL, J. M.; ACINAS, S. G. Global diversity and biogeography of deep-sea pelagic prokaryotes. **ISME Journal**, v. 10, n. 3, p. 596–608, 2016.

SANGALE, M. K.; SHAHNAWAZ, M.; ADE, A. B. A Review on Biodegradation of Polythene : The Microbial Approach. v. 3, n. 10, 2012.

SANLI, K.; BENGTSSON-PALME, J.; HENRIK NILSSON, R.; KRISTIANSSON, E.; ROSENBLAD, M. A.; BLANCK, H.; ERIKSSON, K. M. Metagenomic sequencing of marine periphyton: Taxonomic and functional insights into biofilm communities. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, n. OCT, p. 1–14, 2015.

SEKIGUCHI, T.; SATO, T.; ENOKI, M.; KANEHIRO, H.; KATO, C. Procedure for isolation of the plastic degrading piezophilic bacteria from deep-sea environments. **Journal of Japanese Society for Extremophiles**, v. 9, p. 25–30, 2010a.

SEKIGUCHI, T.; SATO, T.; ENOKI, M.; KANEHIRO, H.; UEMATSU, K.; KATO, C. Isolation and characterization of biodegradable plastic degrading bacteria from deep-sea environments. **JAMSTEC Rep. Res. Dev.**, v. 11, n. September, p. 33–41, 2010b.

SHAH, A. A.; HASAN, F.; HAMEED, A.; AHMED, S. Biological degradation of plastics: a comprehensive review. **Biotechnology advances**, v. 26, n. 3, p. 246–65, 2008. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18337047>>. Acesso em: 9 jul. 2014.

SHAO, R.; LAI, Q.; LIU, X.; SUN, F.; DU, Y.; LI, G.; SHAO, Z. *Zunongwangia atlantica* sp. nov., isolated from deep-sea water. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 64, n. PART 1, p. 16–20, 2014.

SILVEIRA, I. C. A. da; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S. de; IKEDA, Y. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 171–183, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-77392000000200008&lng=pt&tlng=pt>.

SIVAN, A.; SZANTO, M.; PAVLOV, V. Biofilm development of the polyethylene-degrading bacterium *Rhodococcus ruber*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 72, n. 2, p. 346–352, 2006.

SMITH, CRAIG R. & BACO, A. R. ECOLOGY OF WHALE FALLS AT THE DEEP-SEA FLOOR. **Oceanography and Marine Biology: an Annual Review**, v. 41, p. 311–354, 2003.

SMITH, S. D. a; RULE, M. J.; HARRISON, M.; DALTON, S. J. Monitoring the sea change: preliminary assessment of the conservation value of nearshore reefs, and existing impacts, in a high-growth, coastal region of subtropical eastern Australia. **Marine pollution bulletin**, v. 56, n. 3, p. 525–34, mar. 2008. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18191421>>. Acesso em: 30 jul. 2012.

SOLÉ, R.; FONTICH, E.; VIDIELLA, B.; DURAN-NEBRED, S.; MONTANEZ, R.; PINERO, J.; VALVERDE, S. The Paradox Of Constant Oceanic Plastic Debris: Evidence For Evolved Microbial Biodegradation? **Doi.Org**, n. Law 2010, p. 135582, 2017. Disponível em: <<https://www.biorxiv.org/content/early/2017/05/09/135582?%3Fcollection>>.

SPRING, S.; SCHEUNER, C.; GÖKER, M.; KLENK, H. P. A taxonomic framework for emerging groups of ecologically important marine gammaproteobacteria based on the reconstruction of evolutionary relationships using genome-scale data. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, n. APR, p. 1–17, 2015.

STROUS, M.; JHON, A. F.; EVELIEN, H. M. K.; SUSANNE, L.; GERARD, M.; KATINKA, T. van de P.-S.; RICHARD, W.; J. GIJS, K.; MIKE, S. M. J. Missing lithotroph identified as new planctomycete. **Nature**, v. 400, n. July, 1999.

SUDHAKAR, M.; DOBLE, M.; MURTHY, P. S.; VENKATESAN, R. Marine microbe-mediated biodegradation of low- and high-density polyethylenes. v. 61, p. 203–213, 2008.

SUDHAKAR, M.; PRIYADARSHINI, C.; DOBLE, M.; SRIYUTHA MURTHY, P.; VENKATESAN, R. Marine bacteria mediated degradation of nylon 66 and 6. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 60, n. 3, p. 144–151, 2007.

SUTHERLAND, I. W. The biofilm matrix - An immobilized but dynamic microbial environment. **Trends in Microbiology**, v. 9, n. 5, p. 222–227, 2001.

TAMURA, K.; STECHER, G.; PETERSON, D.; FILIPSKI, A.; KUMAR, S. MEGA6: Molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. **Molecular Biology and Evolution**, v. 30, n. 12, p. 2725–2729, 2013.

TORRALBA, M. G.; FRANKS, J. S.; GOMEZ, A.; YOOSEPH, S.; NELSON, K. E.; GRIMES, D. J. Effect of Macondo Prospect 252 Oil on Microbiota Associated with Pelagic Sargassum in the Northern Gulf of Mexico. **Microbial Ecology**, v. 73, n. 1, p. 91–100, 2017. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00248-016-0857-y>>.

TREVORS, J. T. Hypothesized origin of microbial life in a prebiotic gel and the transition to a living biofilm and microbial mats. **Comptes Rendus - Biologies**, v. 334, n. 4, p. 269–272, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.crv.2011.02.010>>.

VAN CAUWENBERGHE, L.; VANREUSEL, A.; MEES, J.; JANSSEN, C. R. Microplastic pollution in deep-sea sediments. **Environmental Pollution**, v. 182, p. 495–499, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.08.013>>.

WATNICK, P. MINIREVIEW Biofilm , City of Microbes. v. 182, n. 10, p. 2675–2679, 2000.

WOODALL, L. C.; SANCHEZ-VIDAL, A.; PATERSON, G. L. J.; COPPOCK, R.; SLEIGHT, V.; CALAFAT, A.; ROGERS, A. D.; NARAYANASWAMY, B. E.; THOMPSON, R. C. The deep sea is a major sink for microplastic debris. **Royal Society Open Science**, v. 1, n. 120317, 2014.

XU, L.; XU, X. W.; MENG, F. X.; HUO, Y. Y.; OREN, A.; YANG, J. Y.; WANG, C. S. *Halomonas zincidurans* sp. nov., a heavy-metaltolerant bacterium isolated from the deep-sea environment. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 63, n. PART 11, p. 4230–4236, 2013.

YAKIMOV, M. M.; TIMMIS, K. N.; GOLYSHIN, P. N. Obligate oil-degrading marine bacteria. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 18, n. 3, p. 257–266, 2007.

YANG, J.; YANG, Y.; WU, W.; ZHAO, J.; JIANG, L. Evidence of Polyethylene Biodegradation by Bacterial Strains from the Guts of Plastic-Eating Waxworms. 2014.

YE, S.; ANDRADY, A. L. Fouling of Floating Plastic Debris Under Biscayne Bay Exposure Conditions. **Marine pollution bulletin**, v. 22, n. 12, 1991.

YOSHIDA, S.; HIRAGA, K.; TAKEHANA, T.; TANIGUCHI, I.; YAMAJI, H.; MAEDA, Y.; TOYOHARA, K.; MIYAMOTO, K.; KIMURA, Y.; ODA, K. A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). **Science**, v. 351, n. 6278, p. 1196–1199, 11 mar. 2016. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.aad6359>>.

ZETTLER, E. R.; MINCER, T. J.; AMARAL-ZETTLER, L. A. Life in the “Plastisphere”: Microbial Communities on Plastic Marine Debris. 2013.

ZHAO, S.; DANLEY, M.; WARD, J. E.; LI, D.; MINCER, T. J. An approach for extraction, characterization and quantitation of microplastic in natural marine snow using Raman microscopy. **Anal. Methods**, v. 9, n. 9, p. 1470–1478, 2017. Disponível em: <<http://xlink.rsc.org/?DOI=C6AY02302A>>.

ZHOU, W.; WANG, J.; SHEN, B.; HOU, W.; ZHANG, Y. Biosorption of copper(II) and cadmium(II) by a novel exopolysaccharide secreted from deep-sea mesophilic bacterium. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 72, n. 2, p. 295–302, 2009.