



CAPTAR
ciência e ambiente para todos

volume 2 • número 3 • p 21-28

A vida depois da morte de uma baleia

Ana Hilário*

As baleias são os maiores mamíferos do planeta, do passado e do presente, e ninguém dúvida que são criaturas extraordinárias. Quando uma baleia morre, algo igualmente extraordinário começa. Uma carcaça de baleia que chegue ao fundo oceânico vai servir de base a um diverso e complexo ecossistema. Mais de 400 espécies já foram identificadas, 30 das quais endémicas. Visitas regulares com submersíveis permitiram identificar uma sucessão de três fases de colonização caracterizadas por comunidades biológicas diferentes. Enquanto a primeira fase é dominada por necrófagos e a segunda por oportunistas, na terceira fase os altos níveis de compostos de enxofre e gorduras resultantes da decomposição da matéria orgânica permitem o desenvolvimento de comunidades quimiossintéticas únicas, mas ao mesmo tempo relacionadas com as comunidades características das fontes hidrotermais e das fontes frias. A intensa actividade baleeira dos séculos XIX e XX que dizimou populações inteiras de baleias pode igualmente ter tido um forte impacto nestas comunidades que, segundo o registo fóssil, existem há pelo menos 30 milhões de anos.

Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) e Departamento de Biologia, Universidade de Aveiro.

Palavras-chave

mar profundo

baleia

quimiosíntese

alpondra

* ahilario@ua.pt

ISSN 1647-323X

INTRODUÇÃO

Foi por acaso que, em 1987, enquanto mapeavam o fundo da Bacia de Santa Catalina (ao largo de Los Angeles) cientistas a bordo do submersível *Alvin* encontraram a 1240 m de profundidade o esqueleto de uma baleia. O esqueleto tinha cerca de 20 m de comprimento e estava parcialmente enterrado no sedimento, indicando que a morte teria ocorrido há vários anos. No entanto, várias formas de vida abundavam nos ossos e no sedimento à sua volta - desde tapetes bacterianos, até poliquetas e vários tipos de moluscos e crustáceos. O esqueleto foi então considerado um oásis de vida no vasto e desértico fundo oceânico (Smith et al., 1989).

Um ano mais tarde a mesma equipa de cientistas voltou ao mesmo local para um estudo aprofundado. Foram descobertas várias espécies novas para a ciência e algumas outras espécies que até então apenas tinham sido encontradas em ecossistemas quimiossintéticos do mar profundo (Smith et al., 1989). Ecossistemas quimiossintéticos têm como base bactérias que produzem energia a partir de compostos inorgânicos e a presença de espécies de moluscos quimioautotróficos (espécies que mantêm uma relação simbiótica com bactérias quimiossintéticas) foi o primeiro indício de uma possível relação entre carcaças de baleia e ecossistemas quimiossintéticos, tais como fontes hidrotermais (Van Dover, 2000) ou fontes frias (locais onde metano ou outros hidrocarbonetos são libertados do fundo oceânico) (Sibuet e Olu, 1998). A presença das mesmas espécies nestes três habitats levou a comunidade científica a sugerir que as carcaças de baleia podem funcionar como alpondras¹ que os animais utilizam na sua fase de dispersão larvar para passarem de uma comunidade quimiossintética para outra (Smith et al., 1989). Estas alpondras são utilizadas não só numa escala temporal ecológica, ou seja de uma geração para a outra, mas também numa escala temporal muito mais longa, permitindo a evolução de algumas espécies de modo a poderem explorar outros habitats quimiossintéticos (Baco et al., 1999; Distel et al., 2000).

Desde o encontro fortuito da primeira carcaça de baleia já foram documentadas dezenas de comunidades sustentadas por carcaças destes mamíferos em todos os oceanos (Goffredi et al., 2004; Fujiwara et al., 2007; Lundsten et al., 2010; Figura 1) e mais de 400 espécies foram identificadas, das quais pelo menos 30 são endémicas destes ecossistemas (Baco e Smith, 2003; Smith e Baco, 2003). Para além das comunidades actuais, foram também encontrados registos fósseis de animais quimioautotróficos em ossos de baleia fossilizados há aproximadamente 30 milhões de anos (Kiel et al. 2010; Goedert et al., 1995). Estas descobertas mostram que as carcaças de baleia suportam comunidades quimioautotróficas há vários milhões de anos numa vasta área do fundo oceânico. Vários cientistas sugeriram que estas carcaças podem também contribuir para um aumento da biodiversidade no oceano profundo por proporcionarem um ambiente específico e por facilitarem a dispersão de algumas espécies de outros ecossistemas quimiossintéticos (Butman et al., 1995).

Em menos de 20 anos a ecologia, biogeografia e evolução das comunidades que colonizam baleias tornaram-se tópicos de interesse de oceanógrafos e biólogos marinhos, levando a um aumento significativo do conhecimento e ao desenvolvimento de programas de estudo que vão desde a exploração do fundo

¹ Alpondra: Tradução do termo inglês *stepping stone*, que se aplica, por exemplo, aos caminhos que surgem nos leitos dos rios formados por pedras parcialmente emersas.

oceânico ao afundamento artificial de carcaças de baleia e outros mamíferos para a realização de estudos *in situ*². Apesar de todos os avanços alcançados no estudo destes ambientes únicos, as carcaças de baleia continuam a surpreender a comunidade científica, e o público em geral, com a descoberta de novas espécies com características anatômicas, fisiológica e ecológicas completamente novas, como é o caso do poliqueta *Osedax Rouse*, 2004 (Rouse et al., 2004). Com este artigo pretende-se rever a ecologia, funcionamento, evolução e consequências de actividades humanas num dos mais fascinantes ecossistemas do mar profundo, as carcaças de baleia.

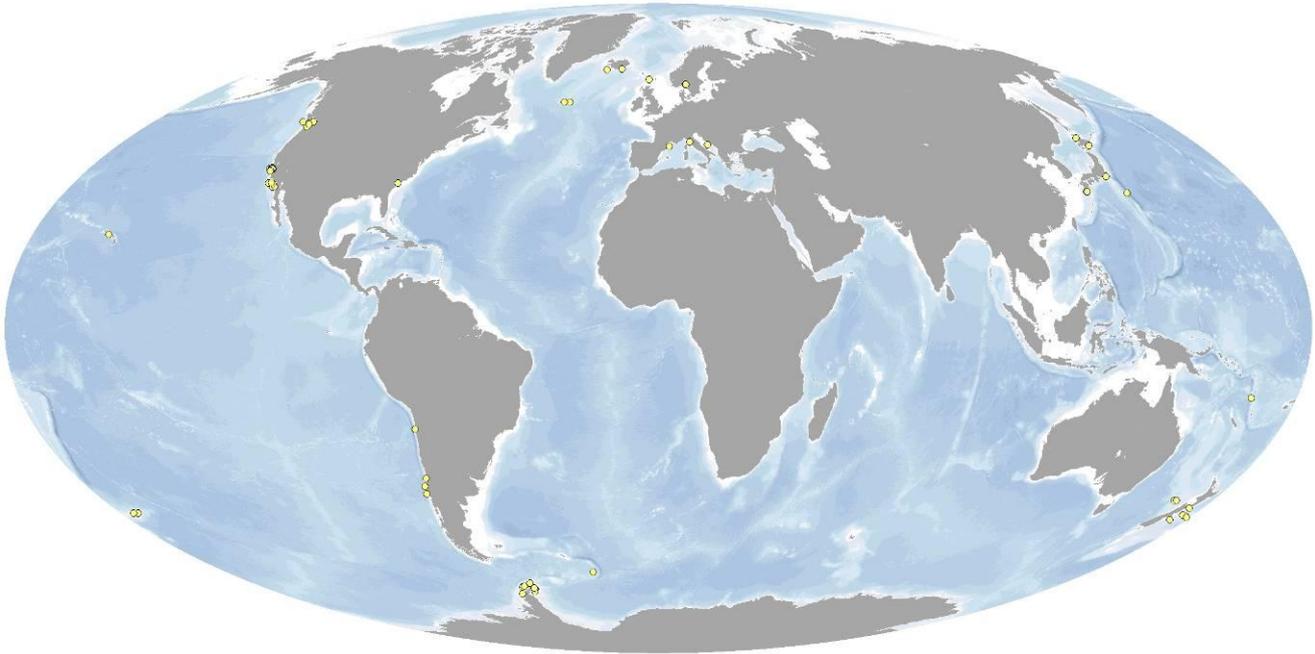


FIGURA 1: Localização das carcaças de baleia cuja fauna já foi estudada, incluindo carcaças naturais, carcaças afundadas artificialmente e ossos fossilizados. Mapa produzido pela Doutora Maria Baker do programa ChEss (www.noc.soton.ac.uk/chess).

ECOLOGIA E FUNCIONAMENTO – A CONSTRUÇÃO DE UM ECOSISTEMA

Apesar de se continuarem a encontrar e estudar carcaças “naturais”, os maiores avanços no estudo da ecologia e funcionamento deste ecossistema foram conseguidos através do estudo de carcaças afundadas artificialmente. A criação artificial de um ecossistema permite aos investigadores seguirem todo o seu desenvolvimento a partir do momento zero. No caso das carcaças de baleia, as carcaças destes mamíferos que dão à costa são rebocadas para o mar alto, afundadas em zonas profundas (com o auxílio de lastro para contrariar a flutuabilidade causada pelos gases resultantes da decomposição do animal) e visitadas regularmente com o auxílio de submersíveis ou veículos de operação remota.

O estudo de carcaças afundadas artificialmente permitiu a identificação de três fases sucessivas, mas parcialmente sobrepostas, de colonização (Smith e Baco, 2003; Figura 2). A primeira fase, que começa assim que a carcaça chega ao fundo marinho, é caracterizada pela presença de necrófagos errantes, como algumas espécies de tubarões de profundidade (por exemplo *Somniosus pacificus* Bigelow e Schroeder,

² *In situ* = no local.

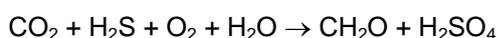
1944), peixes-bruxa (*Eptatretus deani* Evermann e Goldsborough, 1907 e *Myxine circifrons* Garman, 1899) e crustáceos anfípodes. Estes necrófagos consomem a grande parte dos tecidos moles da carcaça – gordura, músculos e órgãos internos. Apesar serem consumidos 40 a 60 Kg por dia de tecidos moles, esta fase pode apresentar uma duração de até dois anos (dependendo do tamanho da baleia).



FIGURA 2: Sucessão ecológica numa carcaça de baleia. Desenhos de Michael Rothman.

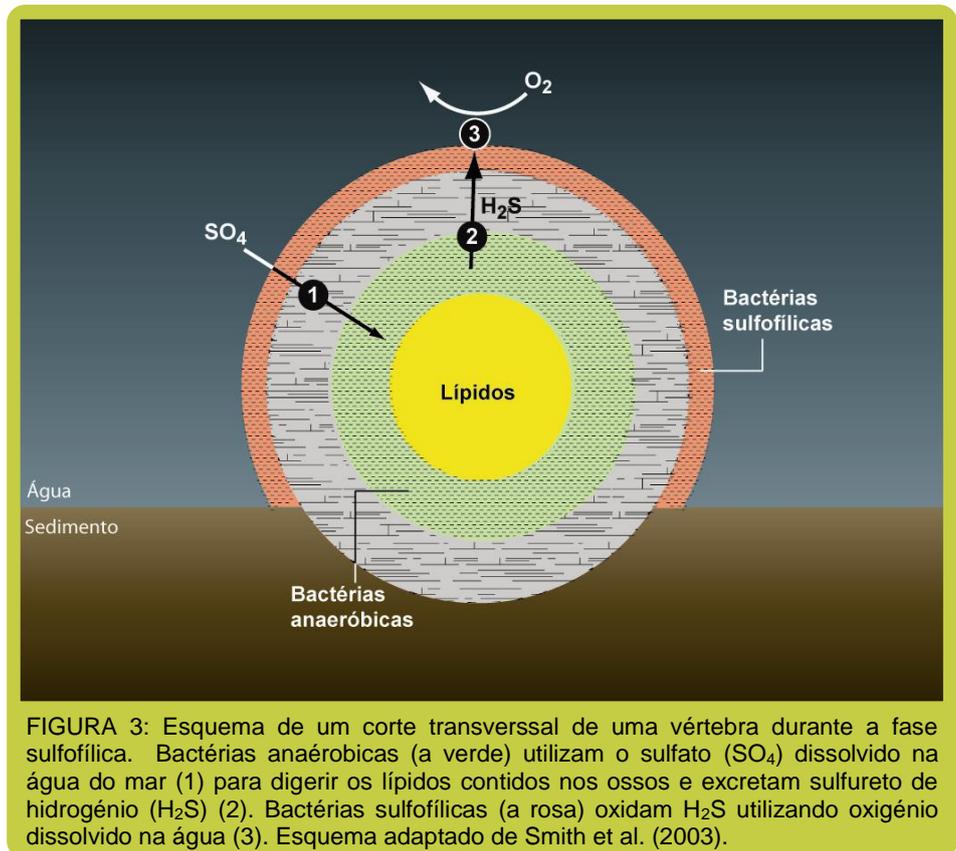
A segunda fase desta sucessão ecológica também pode durar até dois anos, apresentando altas densidades de indivíduos mas baixos níveis de diversidade específica das comunidades que colonizam o esqueleto e os sedimentos à volta da carcaça. Estes animais são na sua maioria poliquetas e crustáceos que se alimentam directamente dos restos de gordura e de outros tecidos moles deixados pelos necrófagos que caracterizam a primeira fase de colonização.

Finalmente, quando todos os tecidos moles são consumidos, começa a terceira e mais longa fase desta sucessão. Nesta fase, chamada fase sulfofílica, os lípidos contidos nos ossos são degradados anaerobicamente por bactérias especializadas (Smith, 1992; Deming et al., 1997). Ao contrário das bactérias aérobias, que utilizam as moléculas de oxigénio (O_2) dissolvido na água do mar para metabolizarem nutrientes, estes microrganismos utilizam sulfato (SO_4) como fonte de oxigénio e excretam sulfureto de hidrogénio (H_2S). Este gás, apesar de tóxico para a maioria dos seres vivos, é utilizado como fonte de energia por certas bactérias quimiossintéticas que utilizam o oxigénio dissolvido na água para oxidar o sulfureto de hidrogénio e juntamente com água e dióxido de carbono formarem os hidratos de carbono que necessitam para crescer (Figura 3):



Estas bactérias estão na base da cadeia alimentar da fase sulfofílica podendo ser consumidas por *grazers* como várias espécies de gastrópodes e poliquetas (geralmente presentes em grandes densidades), ou manter uma relação simbiótica com hospedeiros para os quais produzem hidratos de carbono, como por exemplo os bivalves *Idas washingtonia* Bernard, 1978 e *Vesicomya* Dall 1886 e o poliqueta tubiforme *Escarpia spicata* Jones, 1985 (Bennett et al., 1994; Feldman et al., 1998; Baco et al., 1999). Uma vez que os ossos de baleia são extremamente ricos em lípidos (Allison et al., 1991) - uma carcaça de 40 toneladas, por exemplo de uma baleia-azul (*Balaenoptera musculus* Linnaeus 1758), contem 3 a 4 toneladas de lípidos – e que o processo da sua degradação é lento, a fase sulfofílica de uma carcaça pode durar mais de 50 anos (Smith e Baco, 2003).

A duração das três fases de colonização descritas, assim como os animais que as caracterizam, pode variar consideravelmente. As discrepâncias encontradas podem estar relacionadas com diferenças ambientais. Em áreas do fundo oceânico com baixos níveis de oxigênio as taxas de decomposição da matéria orgânica são menores e portanto todas as fases da sucessão ecológica são mais longas (Braby et al., 2007). Uma outra explicação está relacionada com a presença do



poliqueta *Osedax* (do latim, *os* = osso e *edax* = devorador; Figura 4). Este pequeno animal, com menos de um centímetro de comprimento, foi inicialmente descoberto numa carcaça de baleia na Baía de Monterey (Rouse et al., 2004), sendo posteriormente encontrado em carcaças na Suécia e no Japão (Glover et al., 2005; Fujiwara et al., 2007) e mais recentemente numa das carcaças da Bacia de Santa Catalina, onde durante os estudos iniciais tinha passado despercebido.



FIGURA 4. Uma nova espécie de *Osedax* ainda não descrita colhida numa carcaça na Baía de Monterey. Fotografia de Greg Rouse.

Os organismos do género *Osedax* pertencem à mesma família que o poliqueta gigante *Riftia pachyptila* Jones, 1981 encontrado em fontes hidrotermais, mas são em termos anatómicos e fisiológicos altamente especializado para explorar ossos de baleia. Na sua região anterior têm pequenos tentáculos que se estendem na coluna de água e são responsáveis pelas trocas gasosas necessárias para a respiração. Quando o animal é perturbado os tentáculos retraem-se para o interior de um tubo mucoso que fica à superfície dos ossos. Estes organismos não têm sistema digestivo e dependem exclusivamente das suas volumosas “raízes” para penetrar no interior dos ossos da baleia e extrair lípidos e/ou proteínas que servem de alimento a bactérias endossimbióticas. Estas bactérias são depois digeridas internamente pelo animal (Goffredi et al., 2005). Em termos reprodutivos, estes animais também apresentam características muito peculiares: todos os adultos são fêmeas que têm no seu interior diminutos machos que não passam do estado larvar e cuja função parece ser exclusivamente produzir esperma (Rouse et al., 2004; Rouse et al., 2009). Ao penetrar com as suas “raízes” nos ossos da baleia, *Osedax* destrói e expõe os mesmos à actividade bacteriana, o que muito provavelmente acelera a fase sulfofílica (Braby et al., 2007) e conseqüentemente provoca uma redução da duração total do ecossistema. Esta redução pode ter implicações no papel das carcaças de baleia como alpondras entre comunidades quimiossintéticas, já que menos carcaças significam menos alpondras e distâncias mais longas a serem percorridas pelos animais característicos destas comunidades ou pelos seus estados larvares.



HISTÓRIA EVOLUTIVA – A ORIGEM

Enquanto as fontes hidrotermais e as fontes frias estão presentes desde o início da Terra – as fontes hidrotermais podem inclusivamente estar ligadas ao início da vida no nosso planeta (Van Dover, 2000) – as carcaças de baleia são, evidentemente, muito mais recentes. Mas quão mais recentes? Há quanto tempo apareceram, e como evoluíram, as comunidades dependentes de carcaças de baleias? Esta são perguntas óbvias na procura da possível ligação entre carcaças de baleias e outros ecossistemas quimiossintéticos e cujas respostas podem ser parcialmente encontradas no registo fóssil.

Conchas de bivalves característicos da fase sulfofílica das carcaças modernas foram encontradas associadas a fósseis de carcaças de baleia do Oligoceno (23 a 34 milhões de anos) (Squires et al., 1991; Goedert et al., 1995), o que mostra que as carcaças de baleia sustentam comunidades quimiossintéticas pelo menos desde este período. No entanto, desde a descoberta destes ecossistemas que se especula que comunidades quimiossintéticas semelhantes às que existem nas carcaças de baleia possam ter existido antes da existência de baleias, em carcaças de répteis marinhos como os plesiosauros e os ictiosauros, durante o Mesozóico (65 a 251 milhões de anos) (Martill et al., 1991). A confirmação científica para esta hipótese foi obtida em 2008 quando uma equipa de cientistas encontrou no Japão dois fósseis de plesiosauro do Cretáceo (uma dos períodos da era mesozóica) com conchas de um gastrópode típico de ecossistemas quimiossintéticos (Kaim et al., 2008). Como estes répteis se extinguíram há 65 milhões de anos (na mesma altura que os dinossauros) e os grandes cetáceos só apareceram há 40 milhões de anos (Briggs e Crowther, 1990) é provável que durante os 20 milhões de anos de intervalo tenham ocorrido vários episódios de evolução de fauna especializada na utilização de carcaças de grandes vertebrados.

Enquanto alguns grupos de animais que colonizam carcaças de baleia durante a sua fase sulfófila são originários de fontes frias ou fontes hidrotermais e que, com o aparecimento das baleias, tiraram avidamente partido deste novo tipo de habitat, outros, usaram o aparecimento das carcaças de baleia para invadirem outros ambientes quimiossintéticos do mar profundo. Por exemplo, estudos de genética molecular demonstraram que algumas espécies de bivalves presentes em carcaças de baleia são antepassados de espécies encontradas em fontes frias e fontes hidrotermais (Baco et al., 1999; Distel et al., 2000), mostrando a importância das carcaças de baleia como alpodras numa escala evolutiva.

CONSEQUÊNCIAS DA ACTIVIDADE HUMANA

Nos últimos 200 anos as populações de grandes cetáceos sofreram um acentuado declínio devido à actividade baleeira: não só a abundância de todas as espécies foi drasticamente reduzida, como populações inteiras foram dizimadas, por exemplo a baleia cinzenta (*Eschrichtius robustus* Lilljeborg, 1861) deixou de existir no Atlântico (Butman et al., 1995). É portanto indiscutível que a actividade baleeira teve um profundo impacto no número de carcaças que chegaram ao fundo oceânico e também na sua distribuição geográfica (Butman et al., 1995; Butman et al., 1996). Uma vez que existe fauna endémica e especializada em carcaças de baleia, e que estas podem servir de alpodras entre diferentes ecossistemas quimiossintéticos, a redução no número de carcaças pode ter causado a extinção de algumas espécies e a diminuição da biodiversidade em todos os ecossistemas quimiossintéticos do mar profundo (Butman et al., 1995; Butman et al., 1996). No entanto, as comunidades associadas a estes ecossistemas só foram descobertas muito recentemente (o estudo das fontes hidrotermais apenas foi iniciado em 1977 e o das fontes frias alguns anos mais tarde) não sendo por isso possível avaliar a perda de biodiversidade que possa ter sido causada pela caça à baleia.

Com a proibição da actividade baleeira pela maioria dos países, o número de carcaças destes mamíferos deverá voltar a aumentar e portanto, com o continuar do estudo da ecologia, biodiversidade e biogeografia destes ecossistemas deverá ser possível no futuro conhecer os efeitos das flutuações do número de carcaças que chega aos fundos oceânicos. Porém, estes estudos não poderão nunca revelar a identidade e as características de espécies que entretanto tenham sido extintas. Este caso apenas mostra que se quisermos conhecer (e preservar) a fascinante ecologia e história evolutiva do mar profundo teremos que explorar esta remota e quase desconhecida parte do oceano antes que mais alterações nos ecossistemas marinhos venham a acontecer, sejam elas devidas à poluição, pesca intensiva ou alterações climáticas.

agradecimentos • Este trabalho foi financiado por fundos FEDER através do Programa Operacional Factores de Competitividade – COMPETE e por fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projecto "CARCACE - Colonization of mammal carcasses in the deep Atlantic Ocean" (COMPETE: FCOMP-01-0124-FEDER-010569).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allison PA, Smith CR, Kukert H, Deming JW, Bennett BA (1991). Deep-water taphonomy of vertebrate carcasses – a whale skeleton in the bathyal Santa Catalina Basin. *Paleobiology* 17: 78-89.

- Baco AR, Smith CR, Peek AS, Roderick GK, Vrijenhoek RC (1999). The phylogenetic relationships of whale-fall vesicomid clams based on mitochondrial COI DNA sequences. *Marine Ecology-Progress Series* 182: 137-147.
- Baco AR, Smith CR (2003). High species richness in deep-sea chemoautotrophic whale skeleton communities. *Marine Ecology-Progress Series* 260: 109-114.
- Bennett BA, Smith CR, Glaser B, Maybaum HL (1994). Faunal community structure of a chemoautotrophic assemblage on whale bones in the deep Northeast Pacific. *Marine Ecology-Progress Series* 108: 205-223.
- Braby CE, Rouse GW, Johnson SB, Jones WJ, Vrijenhoek RC (2007). Bathymetric and temporal variation among *Osedax* boneworms and associated megafauna on whale-falls in Monterey Bay, California. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers* 54: 1773-1791.
- Briggs DEG, Crowther PR (1990). *Palaeobiology: a synthesis*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Butman CA, Carlton JT, Palumbi SR (1995). Whaling effects on deep-sea biodiversity. *Conservation Biology* 9: 462-464.
- Butman CA, Carlton JT, Palumbi SR (1996). Whales don't fall like snow: Reply to Jelmert. *Conservation Biology* 10: 655-656.
- Deming JW, Reysenbach AL, Macko SA, Smith CR (1997). Evidence for the microbial basis of a chemoautotrophic invertebrate community at a whale fall on the deep seafloor: Bone-colonizing bacteria and invertebrate endosymbionts. *Microscopy Research and Technique* 37: 162-170.
- Distel DL, Baco AR, Chuang E, Morrill W, Cavanaugh C, Smith CR (2000). Marine ecology - Do mussels take wooden steps to deep-sea vents? *Nature* 403: 725-726.
- Feldman RA, Shank TM, Black MB, Baco AR, Smith CR, Vrijenhoek RC (1998). Vestimentiferan on a whale fall. *Biological Bulletin* 194: 116-119.
- Fujiwara Y, Kawato M, Yamamoto T, Yamanaka T, Sato-Okoshi W, Noda C, Tsuchida S, Komai T, Cubelio SS, Sasaki T, Jacobsen K, Kubokawa K, Fujikura K, Maruyama T, Furushima Y, Okoshi K, Miyake H, Miyazaki M, Nogi Y, Yatabe A, Okutani T (2007). Three-year investigations into sperm whale-fall ecosystems in Japan. *Marine Ecology* 28: 219-232.
- Glover AG, Kallstrom B, Smith CR, Dahlgren TG (2005). World-wide whale worms? A new species of *Osedax* from the shallow north Atlantic. *Proceedings of the Royal Society B* 272: 2587-2592.
- Goedert JL, Squires RL, Barnes LG (1995). Paleoecology of whale-fall habitats from deep-water Oligocene rocks, Olympic Peninsula, Washington State. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 118: 151-158.
- Goffredi SK, Paull CK, Fulton-Bennett K, Hurtado LA, Vrijenhoek RC (2004). Unusual benthic fauna associated with a whale fall in Monterey Canyon, California. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers* 51: 1295-1306.
- Goffredi SK, Orphan VJ, Rouse GW, Jahnke L, Embaye T, Turk K, Lee R, Vrijenhoek RC (2005). Evolutionary innovation: a bone-eating marine symbiosis. *Environmental Microbiology* 7: 1369-1378.
- Kaim A, Kobayashi Y, Echizenya H, Jenkins RG, Tanabe K (2008). Chemo synthesis-based associations on Cretaceous plesiosaurid carcasses. *Acta Palaeontologica Polonica* 53: 97-104.
- Kiel S, Goedert JL, Kahl WA, Rouse GW (2010) Fossil traces of the bone-eating worm *Osedax* in early Oligocene whale bones. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107: 8656-8659.
- Martill DM, Cruickshank ARI, Taylor MA (1991). Dispersal via whale bones. *Nature* 351: 193-193.
- Lundsten L, Paull CK, Schlining KL, McGann M, Ussler W (2010) Biological characterization of a whale-fall near Vancouver Island, British Columbia, Canada. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers* 57: 918-922.
- Rouse GW, Goffredi SK, Vrijenhoek RC (2004). *Osedax*: bone-eating marine worms with dwarf males. *Science* 305: 668-671.
- Rouse GW, Wilson NG, Goffredi SK, Johnson SB, Smart T, Widmer C, Young CM, Vrijenhoek RC (2009). Spawning and development in *Osedax* boneworms (Siboglinidae, Annelida). *Marine Biology* 156: 395-405.
- Sibuet M, Olu K (1998). Biogeography, biodiversity and fluid dependence of deep-sea cold-seep communities at active and passive margins. *Deep-Sea Research Part II* 45: 517-567.
- Smith CR, Kukert H, Wheatcroft RA, Jumars PA, Deming JW (1989). Vent fauna on whale carcasses. *Nature* 341: 27-28.
- Smith CR (1992). Whale falls – chemosynthesis on the deep seafloor. *Oceanus* 35: 74-78.
- Smith CR, Baco AR (2003). The ecology of whale falls at the deep-sea floor. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 311-354.
- Squires RL, Goedert JL, Barnes LG (1991). Whale carcasses. *Nature* 349: 574-574.
- Van Dover CL (2000). *The Ecology of Deep-Sea Hydrothermal Vents*. Princeton University Press.