

## O REGISTO DE DIATOMÁCEAS E FORAMINIFEROS DA RIA FORMOSA (SUL DA PENÍNSULA IBÉRICA): UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A COMPREENSÃO DA EVOLUÇÃO HOLOCÉNICA DO SISTEMA LAGUNAR



A. Gomes (1), L. Pereira (1), T. Boski (1), D. Moura (1), S. Connor (2), C. Sousa (1), S. Oliveira (1), P. Santana (1)

- (1) Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA), Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal. [aisgomes@ualg.pt](mailto:aisgomes@ualg.pt)
- (2) School of Geography and Environmental Science, Faculty of Arts, Monash University, Clayton VIC-3800, Australia.

**Abstract (A diatom and foraminifera record from the Ria Formosa Lagoon (SW Iberian Peninsula): its contribution to understanding the Lagoon's Holocene evolution):** As part of a multi-proxy study to reconstruct the Holocene evolution of the Ria Formosa Lagoon, diatom and foraminifera assemblages were analyzed in a ca. 24.6-m-deep borehole, which crossed the entire infill sequence of the local paleovalley. Except in a few samples, diatom assemblages were generally poorly preserved, whereas foraminiferal assemblages were mostly well preserved. In the core depths interval from 23.5 and 3.2 m, both proxies indicate a marine environment installed during the progressive flooding of the fluvial valley during the Holocene. Above 3.2-m, both proxies converge, indicating a mid-intertidal environment, increasingly confine during the enclosing of the lagoonal system.

**Palavras chave:** Ria Formosa, Diatomáceas, Índice de Foraminíferos de Influência Marinha, Portugal.

**Key words:** Ria Formosa Lagoon, Diatoms, Foraminifera Index of Marine Influence, Portugal.

### INTRODUÇÃO

Os sistemas lagunares costeiros são áreas de águas relativamente rasas, sujeitas às oscilações da maré, que estão total ou parcialmente separadas do mar por barreiras geralmente de areia ou cascalho (Bird, 2008). Estes sistemas morfológicos constituem entre 10 a 15% das zonas costeiras mundiais (Bettencourt, 1994; Dias et al., 2009). A Ria Formosa é um sistema lagunar de elevado valor económico e ecológico. Considera-se que a sua formação foi devida à migração das barreiras de areia na direção do continente durante a transgressão Holocénica e que estas atingiram a posição atual durante a estabilização no nível do mar a cota semelhante à presente, há cerca de 5000 anos calibrados B.P. (Boski et al., 2002; Moura et al., 2007). Desde então, o sistema sofreu alterações morfológicas em resposta a tempestades, tsunamis e variações no fornecimento de sedimentos pela deriva litoral. Andrade et al. (2004) consideram que apesar da arquitetura geral da cadeia de ilhas barreira poder refletir a morfologia herdada da plataforma, até hoje nenhum dos modelos (ex.: Pilkey et al., 1989; Bettencourt, 1994) explica completamente a morfologia atual e a dinâmica sedimentar do sistema lagunar.

Em sistemas lagunares como a Ria Formosa, abundam microrganismos tais como as diatomáceas e os foraminíferos. Ambos os grupos de organismos são sensíveis às alterações ambientais (Vos e de Wolf, 1988; Scott et al., 2004). Assim, a análise do registo fóssil deixado pelas frústulas e carapaças, respetivamente, de diatomáceas e foraminíferos, permitirá inferir as alterações ambientais ocorridas neste sistema. Desta forma, este estudo tem como objetivo contribuir para uma melhor compreensão da evolução Holocénica da Ria Formosa, utilizando as

associações de diatomáceas e de foraminíferos como indicadores de alterações ambientais.

### CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Ria Formosa é um sistema lagunar costeiro localizado no Sul da Península Ibérica. Tem cerca de 50 km de comprimento e em frente a Faro atinge a sua máxima largura (cerca de 6 km). É um Sistema mesomareal com um regime de marés semidiurno, que está separado do mar por duas penínsulas e cinco ilhas barreira. A paleotopografia sobre a qual assenta a laguna é caracterizada pela presença de vários paleovales de rios e ribeiras que dissecaram uma superfície Plistocénica relativamente plana.

### METODOLOGIA

Para este estudo efetuou-se uma sondagem (RF1) no interior do Sistema lagunar, junto ao trecho final de um vale fluvial (vale da Ribeira de São Lourenço), na posição 37°1'5.59"N, 7°59'48.15"W (Figura 1). A

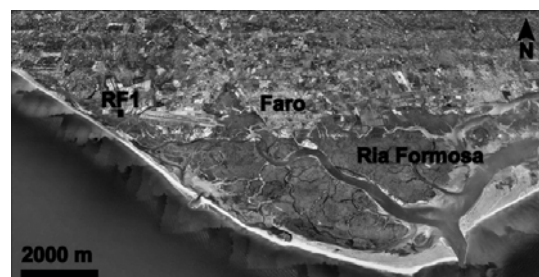


Fig. 1: Localização da sondagem RF1 na Ria Formosa (Imagem do Google Earth - adaptada).

referida sondagem atingiu uma profundidade de 24.6 m. Ao longo do testemunho da sondagem RF1, recolheram-se amostras para a análise de

diatomáceas e foraminíferos. A amostragem do testemunho foi efetuada de acordo com as principais alterações variações granulométricas identificáveis à vista desarmada e sempre na zona central, por forma a evitar contaminações. Das dezanove amostras inicialmente recolhidas, efetuaram-se subamostras para o estudo das diatomáceas e subamostras para o estudo dos foraminíferos.

### **Diatomáceas**

Cada subamostra utilizada no estudo das associações de diatomáceas tinha cerca de 1 g de sedimento. As subamostras foram tratadas com peróxido de hidrogénio (30%) e ácido clorídrico (10%), com o objetivo de remover, respetivamente a matéria orgânica e os carbonatos. Em seguida, um volume conhecido deste material limpo foi utilizado para montar lâminas permanentes, utilizado a resina Naphrax. As lâminas foram observadas num microscópio ótico Zeiss Axioskop a uma magnificação de 1000 x. A identificação das espécies de diatomáceas foi efetuada com base em Krammer e Lange-Bertalot (1991a, 1991b), Round et al. (1990), Witkowski et al. (2000), Ribeiro (2010) e Garcia (2011). O método de contagem das valvas seguiu Schrader e Gersonde (1978). Apenas foram consideradas estatisticamente válidas as amostras onde foi possível a contagem de, pelo menos, 300 valvas.

A interpretação paleoambiental para cada amostra estudada foi baseada nas preferências ambientais das espécies de diatomáceas que apresentam abundâncias relativas iguais ou superiores a 5% (espécies dominantes), em pelo menos uma das amostras. Calculou-se ainda, o número total de espécies de diatomáceas (S), tal como o índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') e a Equitabilidade (J') utilizando o programa PRIMER (Clarke e Gorley, 2006). O índice de dissolução das valvas de diatomáceas, definido em Ryves et al. (2001), foi também calculado. Este índice varia entre 0 (todas as valvas apresentação sinais de dissolução ou estão partidas) e 1 (todas as valvas estão pristinas).

### **Foraminíferos**

Das dezanove subamostras recolhidas para o estudo dos foraminíferos, até ao momento, apenas dezasseis foram analisadas. Em cerca de 10 cm<sup>3</sup> de sedimento das subamostras recolhidas, efetuou-se a decantação dos detritos orgânicos. Após a decantação, as subamostras foram crivadas com recurso aos peneiros de 500 e de 63 µm. Após este procedimento, as amostras foram submetidas a uma observação preliminar e foram divididas de acordo com a sua abundância em carapaças de foraminíferos e granulometria do sedimento. As amostras com menor abundância de carapaças e mais arenosas foram postas a secar numa estufa a 40° C. Sobre o resíduo seco, foi posteriormente utilizado tetracloreto de carbono, por forma a flutuar as carapaças de foraminíferos e separá-las do restante sedimento. As amostras com uma maior abundância de carapaças e sedimento mais siltoso foram divididas em oito partes iguais utilizando um divisor de plâncton modificado (Scott e Hermelin, 1993). As amostras foram observadas à lupa binocular, usando um tabuleiro de contagem circular

com quadrícula. Apenas foram consideradas estatisticamente válidas as amostras onde foi possível a contagem de, pelo menos, 300 carapaças de foraminíferos.

A interpretação ambiental foi efetuada com base no indicador de foraminíferos de influência marinha (IFIM – Boski et al., 2008). O IFIM, este foi definido, para cada amostra, com base nas espécies mais abundantes de foraminíferos. Varia entre 1 (ambiente mais confinado) e 4 (ambiente plataforma marinha).

### **Datações**

Efetuaram-se datações por <sup>14</sup>C em amostras de sedimento com matéria orgânica dispersa. As amostras recolhidas foram liofilizadas após a amostragem para evitar a sua contaminação por bactérias ou fungos. Posteriormente, as mesmas foram enviadas para análises de Espectrometria de massa com acelerador (EMA) na Beta Analytic Inc., nos Estados Unidos da América. As datações foram calibradas no programa CALIB v. 6.0 (Stuiver et al., 2009) e estão expressas em anos calibrados Antes do Presente (anos cal. A.P.).

## **RESULTADOS**

### **Diatomáceas**

A análise das dezanove amostras recolhidas revelou uma fraca preservação das diatomáceas ao longo do registro fóssil. Apenas duas amostras (23.30 m e 22.30 m de profundidade) são estatisticamente válidas. Para estas amostras os valores obtidos para o total de espécies são muito semelhantes: 26 e 25 espécies, respetivamente (Figura 2). No que diz respeito à diversidade as amostras apresentam, também, valores muito próximos (1.99 e 2.09). A equitabilidade é 0.61 aos 23.30 m e 0.65 aos 22.30 m de profundidade, sendo ambos os valores muito semelhantes.

Sete das dezanove amostras analisadas contêm diatomáceas, contudo o número de valvas contadas foi muito inferior a 300 (entre 1 e 11 valvas). As espécies encontradas nas amostras observadas apresentavam, na sua maioria, sinais de dissolução e são:

22.85 m de profundidade – *Auliscus* aff. *sculptus* (espécie marinha), *Diploneis didyma* (espécie marinha e de águas salobras), *Paralia sulcata* (espécie marinha), *Pseudopodosira westii* (espécie marinha) e *Tryblionella navicularis* (espécie marinha e de águas salobras);

21.8 m de profundidade - *Auliscus* aff. *sculptus*, *Lyrella praetexta* (espécie marinha), *Paralia sulcata* e *Pseudopodosira westii*;

21.55 m de profundidade – *Paralia sulcata*, *Tryblionella granulata* (espécie marinha e de águas salobras) e *Tryblionella navicularis*;

21.25 m de profundidade – *Cyclotella* cf. *comensis* (espécie de água doce), *Hyaloneis hyalinum* (espécie marinha), *Opephora* aff. *marina* (espécie marinha), *Tryblionella granulata* e *Tryblionella navicularis*;

13.5 m de profundidade - *Lithodesmium undulatum* (espécie marinha);

3.2 m de profundidade - *Brachysira vitrea* (espécie de água doce);

1.4 m de profundidade - *Achnanthis minutissimum* (espécie de águas doces e salobras), *Cyclotella* cf. *ocellata* (espécie de águas doces) e *Nanofrustulum* cf. *shiloi* (espécie marinha).

### Foraminíferos

As associações de foraminíferos estudadas apresentavam-se, na sua maioria, bem preservadas. Apenas nas amostras correspondentes aos 24.2 e 23.9 m de profundidade os foraminíferos estavam ausentes. Em cada amostra estatisticamente válida as espécies dominantes são as seguintes:

23.5 m de profundidade - *Ammonia tepida* (34,9%) e *Haynesina germanica* (44,6%), que são ambas espécies estuarinas;

23.3 m de profundidade - *Ammonia tepida* (32,7%) e *Haynesina germanica* (26,2%);

23.05 m de profundidade - *Ammonia tepida* (22,9%), *Haynesina germanica* (38,6%), *Asterigerinata mamilla* (12,1% - espécie de plataforma continental) e espécies exóticas (12,91%);

22.85 m de profundidade - *Ammonia tepida* (21,8%), *Haynesina germanica* (34,4%) e espécies exóticas (15,09%);

22.3 m de profundidade - *Ammonia tepida* (31,1%), *Haynesina germanica* (29,2%), *Jadammina macrescens* (11,4% - espécie de sapal);

21.8 m de profundidade - *Ammonia tepida* (45,7%), *Haynesina germanica* (21,4%) e espécies exóticas (10,46%);

21.55 m de profundidade - *Ammonia tepida* (48,4%) e *Haynesina germanica* (25,5%);

21.25 m de profundidade - *Ammonia tepida* (63,6%),

*Haynesina germanica* (21,51);

14.3 m de profundidade - Grupo dos Miliolídeos (27,34% - característicos de lagoas hipersalinas, canais de maré e ambientes de plataforma continental), *Asterigerinata mamilla* (17,05%) e espécies exóticas (37,03%);

14.1 m de profundidade - Grupo dos Miliolídeos (22,26%), *Asterigerinata mamilla* (11,8%), *Ammonia tepida* (11,6%) e espécies exóticas (41,74%);

13.5 m de profundidade - Grupo dos Miliolídeos (30,26%), *Asterigerinata mamilla* (19,9%), *Ammonia tepida* (18,1%) e espécies exóticas (19,9%);

11.2 m de profundidade - *Ammonia tepida* (39,4%), Grupo dos Miliolídeos (23,57%) e espécies exóticas (22,9%);

3.2 m de profundidade - *Asterigerinata mamilla* (51,6%) e espécies exóticas (33,42%);

1.4 m de profundidade - *Jadammina macrescens* (70,2%) e *Trochammina inflata* (10,8% - espécie de sapal).

### INTERPRETAÇÃO

Os resultados obtidos entre os 23.5 e os 3.2 m de profundidade apontam para um ambiente marinho (Figura 2), tanto pelas associações de diatomáceas como pelos IFIM definidos com base nas associações de foraminíferos (com valores predominantemente iguais a 4). Tendo em conta a localização da sondagem (Figura 1), estes resultados são indicativos do último pulso da subida pós-glacial do nível médio do mar, que levou à inundação do vale fluvial da ribeira de São Lourenço. No que diz respeito aos valores de total de espécies

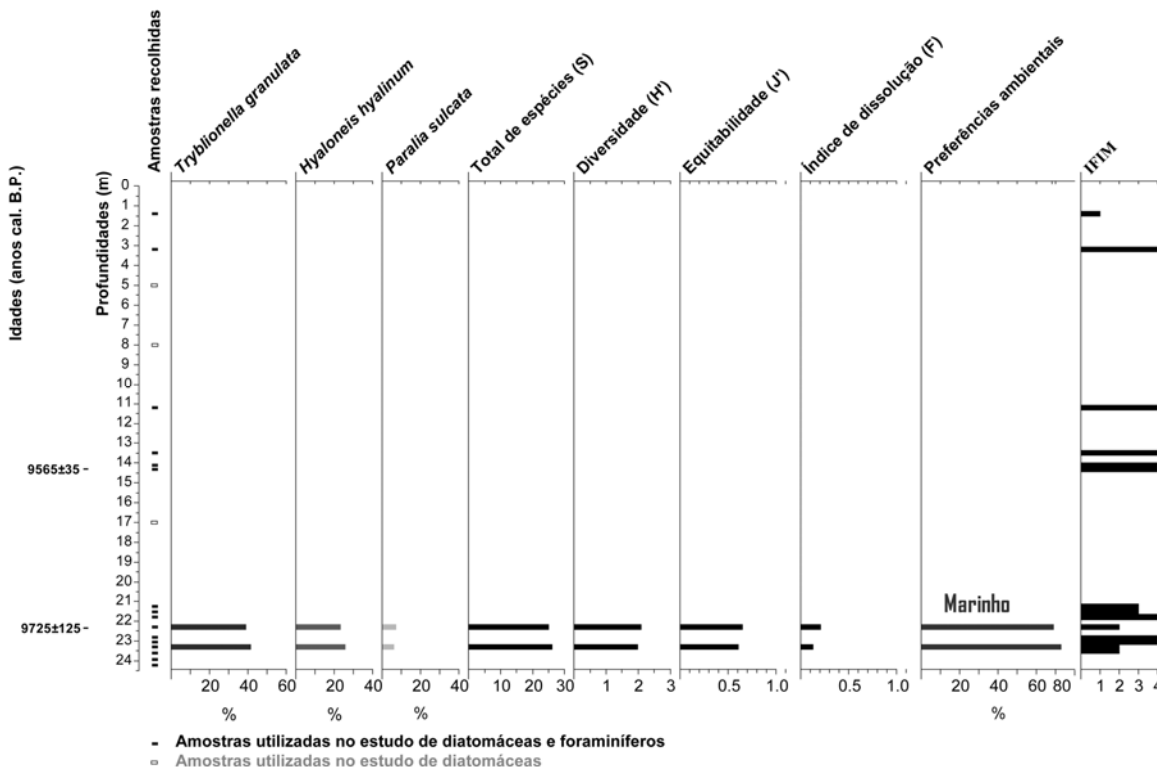


Fig. 2: Distribuição das espécies dominantes de diatomáceas ao longo da sondagem RF1. O total de espécies, diversidade, equitabilidade e índice morfológico de dissolução são referentes às espécies de diatomáceas presentes nas amostras estatisticamente válidas. O sumário das preferências ambientais é relativo às espécies dominantes (*Tryblionella granulata*, *Hyaloneis hyalinum* e *Paralia sulcata*). À direita está representada graficamente a variação do IFIM ao longo da mesma sondagem.



e diversidades obtidos para as associações de espécies de diatomáceas encontradas às profundidades de 23.30 e 22.30 m, verifica-se que estes são muito semelhantes, o que poderá ser indicativo de um ambiente deposicional semelhante. É ainda de realçar que os valores de equitabilidade apresentados na Figura 2 indicam, que os indivíduos não estão bem distribuídos pelas amostras, havendo espécies presentes em frequências relativas muito superior a outras (ex.: amostras aos 22.30 m de profundidade – *Tryblionella granulata*: 38.9% e *Paralia sulcata*: 6.9%). Por outro lado, os valores obtidos para o índice de dissolução (respetivamente 0.1 e 0.2) revelam um fraco estado de preservação das diatomáceas. Este facto deve-se provavelmente à corrosão e dissolução tafonómica das frústulas siliciosas pela água intersticial do sedimento. A partir dos 3.2 m de profundidade as poucas diatomáceas presentes nas amostras (pertencentes às espécies *Brachysira vitrea* e *Achnanthyidium minutissimum*) e um IFIM 1 (a 1.4 m de profundidade) começam a indicar a existência de um ambiente de intermareal médio, sugerindo um confinamento crescente da área onde se localiza a sondagem. Tal evidência resulta da formação do sistema lagunar. No entanto, para uma melhor compreensão da formação e evolução do sistema lagunar seria ainda necessário obter mais datações junto ao topo da sondagem.

## CONCLUSÕES

O presente estudo realçou a importância da elaboração de estudos conjuntos de dois indicadores micropaleontológicos para a elaboração de interpretações paleoambientais. Tanto os resultados obtidos através do estudo das diatomáceas como dos foraminíferos apontam para a seguinte evolução paleoambiental: (i) inundação da área onde foi elaborado a sondagem, devido à rápida transgressão Holocénica (indicada pela presença de associações de diatomáceas e foraminíferos de ambientes marinhos entre 23.3 e os 3.2 m de profundidade) e (ii) início do confinamento da área como resultado da formação do sistema lagunar (por algumas espécies de diatomáceas encontradas nas amostras aos 3.2 e 1.4 m de profundidade um IFIM 1 aos 1.4 m). Contudo, para uma melhor compreensão da formação e evolução do sistema lagunar seria ainda necessário: (i) obter mais datações junto ao topo da sondagem (para definir o momento em que se inicia a formação da laguna) e (ii) cruzar os dados de micropaleontologia com os dados sedimentológicos e de geoquímicos da mesma sondagem, bem como com o modelo de paleotopografia do sistema lagunar. É ainda importante cruzar os resultados obtidos neste estudo com os de outras sondagens elaboradas no âmbito do mesmo projeto multidisciplinar, para corroborar as conclusões obtidas.

**Agradecimentos:** Este trabalho foi suportado pelo projeto de investigação PTDC/CTE-GIX/112236/2009 (SIHER) e pela bolsa de doutoramento SFRH/BD/62405/2009, da Fundação para a Ciência e Tecnologia—FCT (Portugal).

## Referencias bibliográficas

Andrade, C., Freitas, M.C., Moreno, J. & Craveiro, S.C. (2004). Stratigraphical evidence of the late Holocene barrier breaching and extreme storms in lagoonal

- sediments in Ria Formosa, Algarve, Portugal. *Marine Geology*, 210, 339-362.
- Bettencourt, P. (1994). *Les environnements sédimentaires de la côte Sotavento (Algarve, Sud Portugal) et leur évolution Holocène et actuelle*. Thèse présentée à l'Université de Bordeaux pour obtenir le titre de Docteur en Géologie Marine.
- Bird, E. (2008). *Coastal geomorphology: an introduction*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, West Sussex, England, 405 pp
- Boski, T., Camacho, S., Moura, D., Fletcher, W., Wilamowski, A., Veiga-Pires, C., Correia, V., Loureiro, C. & Santana, P. (2008). Chronology of the sedimentary processes during the post-glacial sea level rise in two estuaries of the Algarve coast, Southern Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 77, 230-244.
- Boski, T., Moura, D., Veiga-Pires, C., Camacho, S., Duarte, D., Scott, D.B. and Fernandes, S. G., 2002. Postglacial sea-level rise and sedimentary response in the Guadiana Estuary, Portugal/Spain border. *Sedimentary Geology* 150, pp. 103–22.
- Clarke, K.R.; Gorley, R.N. (2001). *Primer v5: User Manual/Tutorial*. Primer-E, Plymouth, United Kingdom, 91 pp.
- Dias, J.M.; Sousa, M.C.; Bertin, X.; Fortunato, A.B.; Oliveira, A. (2009). Numerical modeling of the impact of the Ancão Inlet relocation (Ria Formosa, Portugal). *Environmental Modelling & Software*, 24, 711-725.
- Garcia, M. (2011). Morphology and distribution of the diatom *Hyaloneis hyalinum* and a description of *Pravifusus brasiliensis* sp. nov.. *Diatom Research*, 26 (1), 5-11.
- Krammer, K.; Lange-Bertalot, H. (1991a). *Bacillariophyceae 4. Teil: Achnantheaceae Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, Germany, 468 pp.
- Krammer, K.; Lange-Bertalot, H. (1991b). *Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, Germany, 598 pp.
- Moura, D.; Veiga-Pires, C.; Albardeiro, L.; Boski, T.; Rodrigues, A.L., Tareco, R.H. (2007). Holocene sea level fluctuations and coastal evolution in the central Algarve (southern Portugal). *Marine Geology*, 237, 127-142.
- Pilkey, O.; Neal, W.; Monteiro, J.; Dias, J. (1989). Algarve barrier islands: a noncoastal-plain system in Portugal. *Journal of Coastal Research*, 5 (2), 239-261.
- Ribeiro, L. (2010). *Intertidal benthic diatoms of the Tagus estuary: Taxonomic composition and spatial-temporal variation*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa, 289 pp.
- Round, F.E.; Crawford, R.M.; Mann, D.G. (1990). *The Diatoms, Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge University Press, Cambridge, 747 pp.
- Ryves, D.B.; Juggins, S.; Fritz, S.C.; Battarbee, R.W. (2001). Experimental diatom dissolution and the quantification of microfossil preservation in sediments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 172, 99-113.
- Schrader, H.; Gersonde, R. (1978). Diatoms and silicoflagellates in the eight meters section of the lower Pleistocene at Capo Rossello. *Utrecht Micropaleontological Bulletin*, 17, 129-176.
- Scott, D.B.; Schafer, C.T.; Medioli, F.S. (2004). *Monitoring in Coastal Environments using foraminifera and thecamoebian indicators*. Cambridge University Press, United Kingdom, 177 pp.
- Scott, D.B.; Hermelin, J.O.R. (1993). A divece for precision slitting of micropaleontological samples in liquid suspension. *Journal of Paleontology*, 67, 151-154.
- Vos, P.C.; de Wolf, H. (1988). Methodological aspects of paleo-ecological diatom research in coastal areas of the Netherlands. *Geologie en Mijnbouw*, 67, 31-40.
- Witkowski, A.; Lange-Bertalot, H.; Metzeltin, D. (2000). Iconographia Diatomologica: Annotated Diatom Micrographs. In: *Volume 07: Diversity – Taxonomy–Identification: Diatom flora of marine coasts I*



---

(Lange-Bertalot, H., eds.). Koenigstein: Koeltz scientific books, Germany, 925 pp.