

Influência hidrogeoquímica da água subterrânea em manguezais

Anderson de Carvalho Borges^{1*}
Vanessa Messias da Silva²

¹Departamento de Geoquímica Ambiental da Universidade Federal Fluminense (UFF) – Niterói (RJ), Brasil.

²Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Magé – Magé (RJ), Brasil.

*Autor correspondente: borgesadc@yahoo.com.br

Resumo

Os manguezais são considerados ambientes de transição entre o mar e o continente. Desenvolvem-se em regiões que possuem zonas climáticas tropicais e subtropicais apresentando uma peculiar dinâmica hidrogeoquímica, tendo influências da oscilação do nível das marés e do fluxo de água superficial e subterrânea proveniente do continente. A água subterrânea assume um papel ecológico e socioeconômico relevante na distribuição de nutrientes, nas condições físico-químicas e no grau de salinidade, influenciando a distribuição de espécies vegetais e animais ao longo da zonation do ambiente. O monitoramento da qualidade e das características da água subterrânea é de grande relevância para melhor compreensão da dinâmica dos ecossistemas de manguezais, bem como localizar as fontes de contaminação e, a partir disso, sugerir meios de conservação e preservação. Este estudo teve o objetivo de realizar uma breve revisão sobre a relação hidrogeoquímica da água subterrânea no ambiente de manguezal, apontando algumas importantes influências no ambiente.

Palavras-chave: manejo costeiro, água subterrânea, manguezal, distribuição de espécies.

Abstract

Mangrove systems are considered transition areas situated between the sea and continent. This kind of ecosystem is found in tropical and sub-tropical zones presenting a special hydrogeochemical dynamic, which may influence sea level, groundwater flux and surface water that comes from the continent. The groundwater plays a special role in ecological and socioeconomic distribution of nutrients, physico-chemical conditions and salinity. In addition, it can influence vegetal and animal distribution in an ecosystem throughout environment zonation. The development of studies in groundwater is very important for a better understanding of the ecosystem dynamics in mangrove systems. It may offer additional informations, for example, identification of contamination sources. Then it is possible to suggest forms of conservation and preservation. The objective of the present study was build a brief revision about the relationship of hydrogeochemistry of groundwater in the mangrove systems, pointing out its important influences on the environment.

Keywords: coastal management, ground water, mangrove, species distribution.

1. INTRODUÇÃO

Os manguezais são ecossistemas costeiros que se desenvolvem em regiões tropicais e subtropicais do planeta. Esses ambientes geralmente estão associados a áreas protegidas da ação das ondas, como baías, estuários e lagoas. Por se desenvolverem em região de transição entre o continente e o mar, apresentam influências marinhas e terrestres formando um “alagado” de águas salobras (Cintron & Schaeffer-Novelli 1983, Schaeffer-Novelli 1995, Araújo & Maciel 1979).

Esses ecossistemas são altamente produtivos devido à ciclagem interna de nutrientes que podem ser transportados na circulação interna do próprio ambiente ou exportados para outros ecossistemas. Por essa razão, os manguezais são ambientes ecologicamente e socioeconomicamente relevantes.

2. APORTE DE ÁGUAS MARINHAS, DOCES SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS EM MANGUEZAIS

O principal mecanismo de penetração das águas salinas nos manguezais é por meio da variação da maré, que sobe e desce duas vezes ao dia de acordo com o ciclo lunar. A distância máxima de penetração da água salgada determina o limite da vegetação de manguezal em direção à terra, que pode atingir dezenas de quilômetros em direção a montante da desembocadura dos rios (Pritchard 1992, Moore 1999). A ação das marés varia ao longo do manguezal, isto é, algumas áreas são inundadas diariamente enquanto outras são atingidas apenas sazonalmente pelas marés de sizígia (Schaeffer-Novelli 1995).

Os rios também apresentam variações sazonais, contribuindo com um importante e diferente aporte de água de acordo com o período do ano, e participam com um papel fundamental na diluição da água marinha que chega ao manguezal, favorecendo assim a diminuição da salinidade, beneficiando a distribuição de espécies menos tolerantes e minimizando o estresse da vegetação à salinidade (Moore 1999, Schaeffer-Novelli 1995).

O aporte de águas doces de origem continental apresenta nutrientes provenientes dos processos naturais por meio do intemperismo de rochas e solo que são carreados por essas águas e, assim, contribuem para o desenvolvimento e nutrição dos organismos. Estes podem incrementar a produtividade primária local ou de ecossistemas vizinhos (Moore 1999, Santos *et al.* 2008). Essas águas também podem transportar contaminantes de origem urbana e rural que podem ser danosos aos ambientes (Kitheka *et al.* 1999, Jahnke *et al.* 2003, Moore 1999, Niencheski *et al.* 2007, Moore 2006, Marchand *et al.* 2004, Santos *et al.* 2008).

A água subterrânea nos manguezais sofre influência das águas salinas provenientes da maré que penetra na porosidade dos sedimentos, e da água doce vinda do continente, que percola, atingindo o lençol freático. Assim, estas águas se misturam gradativamente e formam um estuário subter-

râneo de águas salobras, que em contraste com os estuários de superfície são caracterizados por tempos mais longos de residência e menor teor de oxigênio dissolvido (Zeltser 1996, Burt *et al.* 1987, Barcelos 2006, Sanders *et al.* 2006, Moore 1999).

Assim como nos estuários de superfície, os estuários subterrâneos formam um gradiente de salinidade. Quanto mais próximo da influência da água salina, maior será o grau de salinidade da água salobra, e quanto mais próximo do continente, maiores são as influências da água doce, portanto, menor a salinidade (Figura 1).

Esses fatores ocorrem porque a salinidade da água proveniente do mar é relativamente elevada, em média 34‰*, enquanto a água doce proveniente do continente possui salinidade próxima ou igual a zero. A mistura dessa água doce com a salgada marinha dá origem a água salobra, que geralmente tem variações de salinidade em torno de 15 a 20‰. Essa água entra no ambiente estuarino e, em seguida, banha os manguezais formando um gradiente superficial e subterrâneo dentro da floresta.

O aporte de água salgada durante a maré enchente transporta nutrientes em direção ao mangue, como: enxofre (S), manganês (Mn) e magnésio (Mg), enquanto as águas doces e subterrâneas provenientes do continente são ricas em ferro (Fe) e cálcio (Ca) (Barcelos 2006).

Fatores físico-químicos também modificam as características da água subterrânea. Com as oscilações de maré no manguezal e com o gradiente do mar ao continente ocorrem modificações no pH (potencial hidrogênioônico). Essa grandeza indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade do ambiente. Por exemplo: o pH da água marinha apresenta valor em torno de 8 (alcalino ou básico), enquanto a água doce apresenta o pH em torno de 3 ou 4 (levemente ácido) e a água salobra geralmente apresenta valores de pH em torno de 6 ou 7 (quase neutro ou neutro).

*NOTA: Atualmente foi convencionado que salinidade é medida em unidades adimensionais, assim, o símbolo ‰ (parte por mil) não é mais usado.

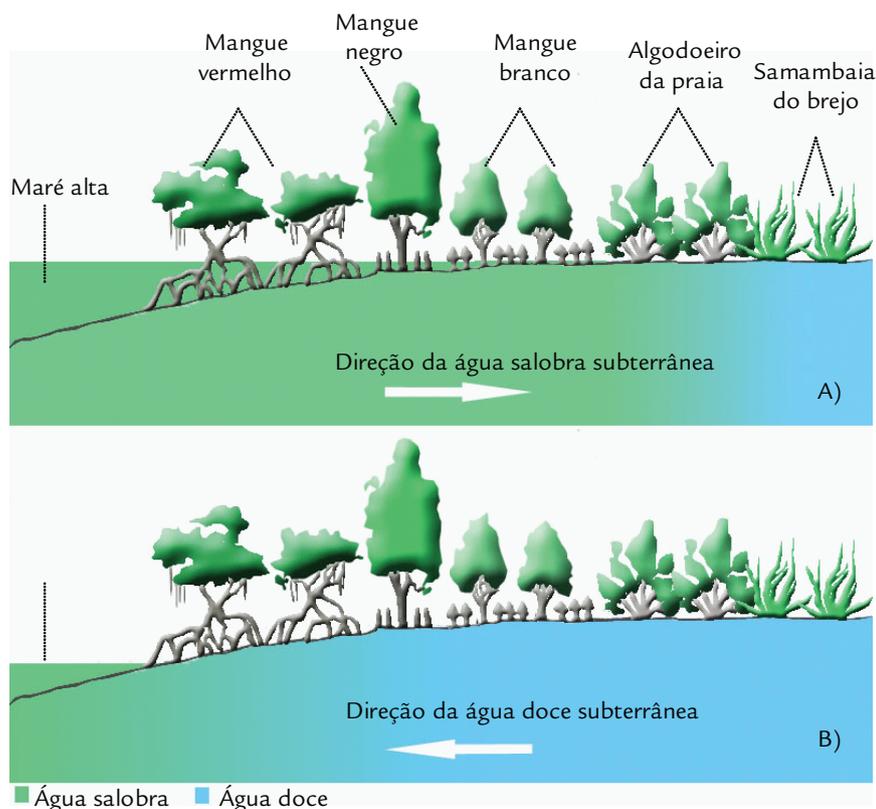


Figura 1

No momento (A), com a maré alta, a água salobra do estuário avança no manguezal influenciando a água subterrânea. Em (B), com maré baixa, a água doce proveniente do continente avança sobre o manguezal influenciando a água subterrânea (figura adaptada de Schaeffer-Novelli 1995).

Sazonalmente, em períodos secos, épocas menos chuvosas, a água subterrânea do manguezal encontra-se mais salina e com o pH mais básico devido a menor influência de águas doces provenientes do continente. Já em épocas mais chuvosas ocorre o contrário, a água subterrânea encontra-se com menor salinidade e com pH mais ácido.

Alguns processos relacionados à água subterrânea no manguezal despertam bastante interesse. Quando a maré desce e a água subterrânea predominantemente doce aflora,

é possível observar fluindo uma substância de coloração e brilhosa sobre a superfície dos sedimentos (Figura 2).

Esse fenômeno descrito acima é um processo natural, e não antrópico como muitos pensam. São elementos químicos como o Mn^{2+} e Fe^{2+} presentes na água subterrânea que estavam na forma reduzida, e quando afloraram para a superfície entraram em contato com o oxigênio atmosférico e foram oxidados (Mn^{4+} e Fe^{3+}) dando origem a coloração característica (Charette *et al.* 2005, Spiteri *et al.* 2008, Sanders *et al.* 2012).



Figura 2

Afloramento de água subterrânea no manguezal, favorecendo a oxidação de elementos químicos que fluem sobre a superfície do sedimento.

3. A INFLUÊNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES VEGETAIS EM MANGUEZAIS

A água subterrânea proveniente do continente apresenta papel fundamental na distribuição de espécies vegetais de manguezal e contribui para amenizar o estresse provocado pela água salina. Em alguns casos, determina até a estrutura da floresta ou a morte da mesma, quando a hidrologia do terreno é alterada por construções, como estradas, diques etc. Em contrapartida, o estresse provocado pela água salina elimina espécies terrestres que poderiam ser fortes competidoras com as espécies nativas de manguezal (Lewis 2005, Boto *et al.* 1984, Kitheka *et al.* 1999, Santos 1997, Barcelos 2006).

Nem sempre o aporte de água subterrânea é o fator predominante para a distribuição de espécies vegetais, outros fatores naturais também podem estar associados para que ocorra a distribuição de espécies vegetais como, por exemplo, a topografia, a geomorfologia do terreno, a estabilidade dos sedimentos, o aporte de água superficial de um rio, dentre outros (Semeniuk 1983, Santos *et al.* 1997, Silvestri *et al.* 2005).

Em ambientes de manguezal onde a água intersticial apresenta salinidade máxima de 50%, geralmente desenvolvem-se espécies vegetais menos tolerantes à salinidade da água intersticial como, por exemplo, o Mangue Vermelho (*Rhizophora mangle*.) que se adaptou bem a estas condições (Figura 3A). Essa espécie desenvolve-se em sedimentos mais instáveis, pois possui caules aéreos (raízes escoras) que lhe permitem colonizar esse tipo de terreno (Hogarth 2007, Schaeffer-Novelli 1995).

Em áreas onde a água intersticial apresenta salinidade elevada, no máximo 90%, geralmente desenvolvem-se espécies mais tolerantes à salinidade, como o Mangue Negro (*Avicennia schaeeriana*) (Figura 3B). Salinidade elevada em áreas do manguezal comumente é causada por interferências topográficas que favorecem um terreno mal drenado (Hogarth 2007, Schaeffer-Novelli 1995).

Já o Mangue Branco (*Laguncularia racemosa*) (Figura 3C) apresenta resistência a salinidade de valor intermediário entre as duas espécies supracitadas e desenvolve-se, geralmente, próximo ao continente onde os sedimentos são mais firmes.

Em áreas próximas ao continente, onde o terreno é normalmente mais elevado e existe pouca ou nenhuma influência da maré, pode ocorrer o desenvolvimento de espécies vegetais associadas ao manguezal que são sensíveis a salinidade. Em áreas assim, a água doce superficial e subterrânea é predominante, favorecendo o desenvolvimento de espécies como, por exemplo, a Samambaia do Brejo (*Acrostichum aureum*) (Figura 3D) e o Algodoeiro da Praia (*Hibiscus pernambucensis*) (Figura 3E) (Hogarth 2007, Schaeffer-Novelli 1995).

Essa distribuição de espécies vegetais formando um gradiente que se difunde do continente para o ambiente marinho, ou vice-versa, é denominado zonação. Esse tipo de distribuição geralmente segue o gradiente de salinidade, porém ocasiões em que ocorre o afloramento da água doce subterrânea ou modificações na topografia podem favorecer a mudança de salinidade e, por sua vez, a mudança no gradiente e distribuição de espécies vegetais (Boto *et al.* 1984, Santos 1997).

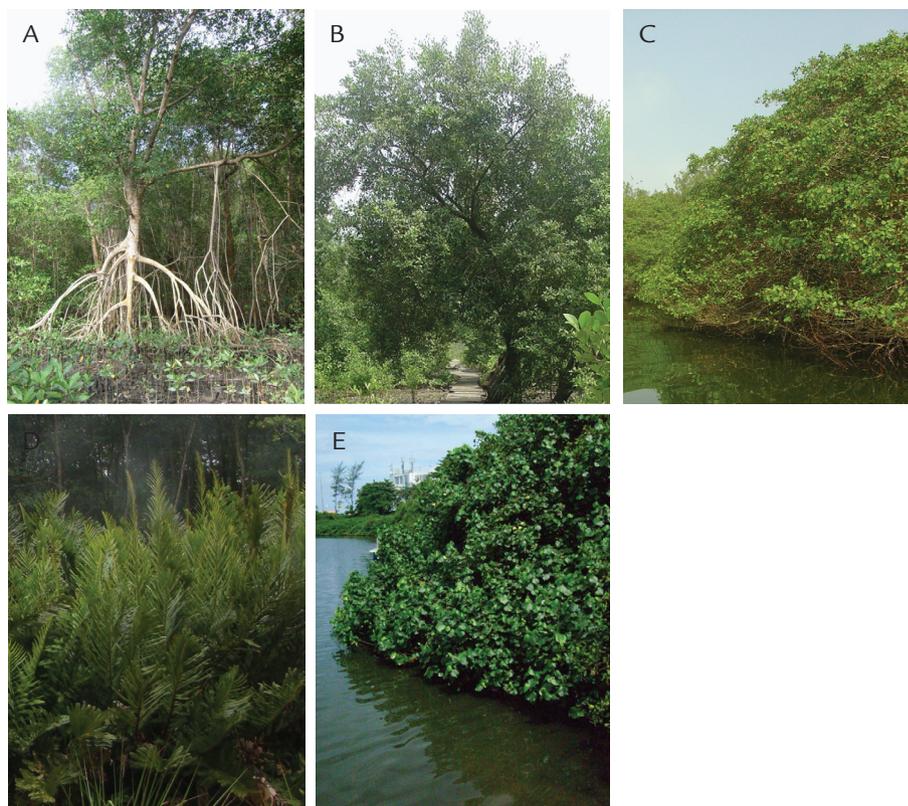


Figura 3
Espécies de vegetação mais frequentes nos manguezais brasileiros: em (A) o Mangue Vermelho (*Rhizophora mangle*), em (B) o Mangue Negro (*Avicennia schaeeriana*), em (C) o Mangue Branco (*Laguncularia racemosa*), em (D) a Samambaia do Brejo (*Acrostichum aureum*) e em (E) o Algodoeiro da Praia (*Hibiscus pernambucensis*).

4. MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O elevado aporte de contaminantes nas regiões entre marés, nas últimas décadas, tem sido considerado como uma das maiores ameaças para os ecossistemas costeiros em todo o mundo (Niencheski *et al.* 2007, Moore 2006, Marchand *et al.* 2004, Santos *et al.* 2008), levando a uma redução da biodiversidade aquática e alteração da cadeia alimentar. Quando esses são nutrientes de origem antrópica (Borges *et al.* 2009), favorecem também o crescimento desordenado de produtores primários (incluindo proliferação de algas nocivas) e o aumento das taxas respiratórias em resposta à rápida produção de matéria orgânica (Carmichael 1992, Carmouze 1994, Atlas 1993, Boto 1992).

Por essa razão, o monitoramento da água subterrânea em manguezais é um trabalho de relevância para uma melhor compreensão da ecologia destes ambientes (Wolanski *et al.*

1980), tendo em vista que esse compartimento é considerado um contribuinte fundamental no aporte de nutrientes para a zona costeira. Também o monitoramento é importante para avaliar uma possível contaminação nos ecossistemas (Moore 1999, Kitheka *et al.* 1999, Marchand *et al.* 2004, Moore 2006, Jahnke *et al.* 2003, Niencheski *et al.* 2007, Santos *et al.* 2008).

Ademais, o estudo da água subterrânea é uma excelente ferramenta para avaliar as transferências e interferências hidrogeoquímicas dos ecossistemas como a mata atlântica, restinga e urbanos nos manguezais (Moore 1999). O entendimento dessas transferências e interferências é de suma importância para melhor conhecer a dinâmica dos ambientes manguezais e ampliar os horizontes para um manejo adequado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A água subterrânea nos manguezais tem uma dinâmica hidrogeoquímica peculiar, devido à entrada da maré, com a mistura de água doce. Essa dinâmica é frágil e, quando alterada, pode ocasionar mudanças físico-químicas na água subterrânea, podendo até mesmo modificar a zonação de espécies vegetais, alterar a distribuição da fauna e provocar um desequilíbrio no ecossistema.

É importante que se desenvolvam mais estudos sobre as águas subterrâneas em manguezais, pois ainda há muito a conhecer sobre essa dinâmica e suas implicações nos ecossistemas. Assim, teremos um melhor entendimento sobre essas questões ambientais para realizar um manejo mais adequado destes ecossistemas.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos doutores Vinícius Kutter e Leonardo Villar pelas revisões e influência neste estudo.

7. REFERÊNCIAS

- Araújo D.S.D., Maciel N.C. 1979. *Os manguezais do recôncavo da Baía de Guanabara*. FEEMA, Rio de Janeiro, 195 p.
- Atlas R.M., Bartha R. 1993. *Microbial ecology, fundamentals and applications*, 3rd ed. The Benjamin/Cummings Publishing Company, New York, 563 p.
- Barcellos R.G.S. 2006. *Descarga de água subterrânea e fluxo de elementos em ambientes de manguezal*. Baía de Sepetiba, RJ. Tese de doutorado. Niterói: Departamento de Geoquímica Ambiental, Universidade Federal Fluminense, 144 p.
- Borges A.C., Sanders C.J., Santos H.L.R., Araripe D.R., Machado W., Patchineelam S.R. 2009. Eutrophication history of Guanabara Bay (SE Brazil) recorded by phosphorus flux to sediments from a degraded mangrove area. *Baseline / Marine Pollution Bulletin*, 58:1739-1765.
- Boto K.G. Nutrients and mangroves. 1992. *In*: Connell D.W., Hawker D.W. (eds.). *Pollution in tropical aquatic systems*. CRC Press, London, p. 129-145.
- Boto K.G., Bunt J.S., Wellington J.T. 1984. Variations in mangrove forest productivity in northern Australia and Papua New Guinea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 19:321-329.
- Burt R.A., Belval D.L., Crouch M., Hughes W.B. 1987. Geohydrologic data from Port Royal Sound, Beaufort County, South Carolina, U.S. *Geological Survey Open-File Report*, 86-497, 67 p.
- Carmichael W.W. 1992. Cyanobacteria secondary metabolites – The Cyanotoxins. *The Journal of applied bacteriology*, 72: 445-459.

- Carmouze J.P. 1994. O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. Ed. Edgar Bloucher: Fapesp, São Paulo, 254 p.
- Charette M.A., Sholkovitz E.R., Hansel C.M., 2005. Trace element cycling in a subterranean estuary: part 1. Geochemistry of the permeable sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69(8):2095-2109.
- Cintron G. Schaeffer-Novelli Y. 1983. *Introducción a la ecología del manglar*. UNESCO-ROSTLAC, Montevideo, 109 p.
- Hogarth P. 2007. *The biology of mangroves and seagrasses*. Department of Biology University of York (The biology of habitats series), 273 p.
- Jahnke R.A., Alexander C.R., Kostka J.E. 2003. Advective pore water input of nutrients to the Satilla River Estuary, Georgia, USA. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56:641-653.
- Kitheka J.U., Mwashote B.M., Ohowa B.O., Kamau J. 1999. Water circulation, groundwater outflow and nutrient dynamics in Mida Creek, Kenya. *Mangroves and Salt Marshes*, 3:135-146.
- Lewis RR. 2005. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological Engineering*, 24:403-418.
- Marchand C., Baltzer F, Lallier-Vergès E, Albéric P. 2004. Pore-water chemistry in mangrove sediments: relationship with species composition and developmental stages (French Guiana). *Marine Geology*, 208:361-381.
- Moore W.S. 2006. The role of submarine groundwater discharge in coastal biogeochemistry. *Journal of Geochemical Exploration*, 88:389-393.
- Moore W.S. 1999. The subterranean estuary: a reaction zone of ground water and sea water. *Marine Chemistry*, 65:111-125.
- Niencheski L.F.H., Windom H.L., Moore W.S., Jahnke R.A. 2007. Submarine groundwater discharge of nutrients to the ocean along a coastal lagoon barrier, Southern Brazil. *Marine Chemistry*, 106:546-561.
- Pritchard D.W. 1992. What is an estuary: physical viewpoint. In: Lauff G.H. (ed.). *Estuaries. American Association for the Advancement of Science*, 83:37-44.
- Sander C.J., Barcellos R.G.S., Silva-Filho E.V. 2012. Major element concentrations in mangrove pore water, Sepetiba Bay, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 60(1):33-39.
- Santos I.R., Burnett W.C., Chanton J., Mwashote B., Suryaputra I.G.N.A., Dittmar T. 2008. Nutrient biogeochemistry in a Gulf of Mexico subterranean estuary and groundwater derived fluxes to the coastal ocean. *Limnology and oceanography*, 53(2):705-718.
- Santos M.V., Zieman J.C., Cohen R.H. 1997. Interpreting the upper mid-littoral zonation patterns of mangroves in Maranhão (Brazil) in response to microtopography and hydrology. In: Kjerfve B., Lacerda L.D., Diop E.H. (eds.). *Mangrove ecosystem studies in Latin America and África*. Unesco, Paris, 149 p.
- Semeniuk V. 1983. Mangrove distribution in northwestern Australia in relationship to regional and local freshwater seepage. *Vegetatio*, 53:11-31.
- Silvestri S., Delfina A., Marani M. 2005. Tidal regime, salinity and salt marsh plant zonation. *Estuarine, Coastal and Science*, 62:119-130.
- Schaeffer-Novelli Y. 1995. *Manguezal: Ecosistema entre a terra e o mar*. São Paulo, Caribbean Ecological Research, 64 p.
- Spiteri C., Slomp C.P., Charette M.A., Tuncay K., Meile C. 2008. Flow and nutrient dynamics in a subterranean estuary (Waquoit Bay, MA, USA): field data and reactive transport modeling. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72:3398-3412.
- Wolanski E., Jones M., Bunt J.S. 1980. Hydrodynamics of a tidal creek-mangrove swamp systems. *Australia Journal of Marine and Freshwater Research*, 31:431-450.
- Zeltser I.S. 1996. Groundwater discharge into the seas and oceans: state of the art. In: International Symposium Groundwater, Moscow. Groundwater discharge in the coastal zone – Proceedings of an International Symposium. Russian Academy of Sciences, p. 122-125.