

DINÂMICA BIOGEOQUÍMICA DE SISTEMAS AQUÁTICOS DA ILHA DAS FLORES

PAULA AGUIAR^{1,2}, PAULO ANTUNES³, RUI MESTRE³,
PEDRO M. RAPOSEIRO^{1,4} & ANA C. COSTA^{1,4}

¹*Centro de Conservação e de Protecção do Ambiente (CCPA), Departamento de Biologia, Universidade dos Açores, Rua da Mãe de Deus, 13-A - Apartado 1422, 9501-801 Ponta Delgada*

²*Departamento de Oceanografia e Pescas, Universidade dos Açores, Cais de St.ª Cruz, 9901-862 Horta*

³*Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos (CVARG), Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, Rua da Mãe de Deus, 13-A - Apartado 1422, 9501-801 Ponta Delgada*

⁴*Departamento de Biologia, Universidade dos Açores, Rua da Mãe de Deus, 13-A Apartado 1422, 9501-801 Ponta Delgada*

RESUMO

O presente trabalho surge no âmbito da XIII Expedição Científica às Ilhas Flores e Corvo/2007, do Departamento de Biologia da Universidade dos Açores. Durante esta expedição foram amostrados diferentes habitats dulciaquícolas da ilha das Flores: três sistemas lacustres e três nascentes de água mineral. As amostragens consistiram em amostras de água, sedimentos e biofilmes nos locais em que estes foram detectados a olho nú. O trabalho efectuado visava estudar as comunidades microbianas existentes nestes habitats assim como efectuar a caracterização geoquímica dos mesmos.

INTRODUÇÃO

O Arquipélago dos Açores, constituído por nove ilhas de natureza vulcânica, situa-se no Atlântico Norte, entre as latitudes 37° 40' N e as longitude 25° 31' W. O conjunto das ilhas toma, de uma forma geral, uma direcção WNW-ESSE. A ilha das Flores, a mais ocidental, juntamente com a ilha do Corvo, constitui o grupo ocidental.

As ilhas representam a parte emersa da designada plataforma dos Açores, que é definida pela base batimétrica dos 2000 m (Needahmam & Francheteau, 1974). Esta área situa-se na proximidade do contacto de três placas litosféricas: a Americana, a Euroasiática e a Africana. A génese do edifício insular, onde se situam as ilhas das Flores e do Corvo, teve início no Miocénico superior (Blakel, 1974; Needahmam & Francheteau, 1974). Por seu turno, a fase subaérea, na ilha das Flores, está datada de 0.7 Ma BP (Azevedo *et al.*, 1986; 1991), e a actividade vulcânica nesta ilha cessou por volta de 3000 anos A.C. (Morrisseau, 1985; Morrisseau & Traineau, 1985).

A Lagoa Comprida, um dos dois lagos amostrados, localiza-se, juntamente com outras duas lagoas (Negra e Lagoa Branca), a NW do designado Maciço Central e está implantada num Maar. A sua forma alongada deve-se à sua génese, provavelmente relacionada com três crateras justapostas (Morrisseau, 1985). Esta lagoa situa-se a uma altitude de 515 m, tem um comprimento de 500 por 150 m de largura e uma profundidade

máxima de 16,5 m. A Lagoa Funda localiza-se na parte Sul da ilha, e também está localizada num Maar de formação posterior ao maciço central (Morrisseau, 1985). A lagoa, localizada a 371 m de altitude, tem um comprimento de 875 m, por 625 m de largura, e uma profundidade máxima de 33 m. Estas lagoas são na realidade lagos, massas de água aprisionadas em zonas deprimidas do relevo e a sua génese poderá ocorrer de variados modos, destacando-se três tipos principais (Wetzel, 1993): (1) lagos de origem tectónica, (2) de origem glaciária e (3) aqueles que serão objecto de estudo, os lagos vulcânicos.

A contribuição da hidrogeoquímica dos lagos permite aferir a qualidade destas águas, principalmente no que diz respeito a sais e outras substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas. Deste modo é possível aferir a pressão de origem antropogénica, como os processos naturais capazes de modificar a qualidade química destes sistemas. Com efeito, os lagos de origem vulcânica poderão apresentar alterações da qualidade da água, quando em contacto com fluidos de origem magmática. Estas alterações têm uma acção directa sobre o seu biota. Nestes reservatórios naturais ocorre, por vezes, a condensação de gases vulcânicos ou a mistura com águas termais o que poderá causar acumulação de fluidos extremamente acidificados. Por sua vez, estes sistemas lacustres ao serem sensíveis à possível contaminação natural de origem vulcânica, permitem através do seu estudo um melhor conhecimento destes ecossistemas vulcânicos, constituindo mais um meio que se coloca à disposição da vigilância vulcânica.

Existem sistemas de classificação para os lagos vulcânicos com base nas características físicas e geoquímicas (Pasternak & Varekamp, 1997; Delmelle & Bernard, 2000; Varekamp *et al.*, 2000; Marini *et al.*, 2003). Tendo em conta o contributo da água meteórica e os diferentes processos de contaminação de origem vulcânica, estas massas de água apresentam uma larga variação no que concerne às suas características geoquímicas (Delmelle & Bernard, 2000; Varekamp *et al.*, 2000): (1) lagos com pH à volta da neutralidade e com baixa concentração de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT <100 mg/kg), (2) lagos ácidos que apresentam um pH entre 2 e 6 e SDT abaixo de 2000 mg/kg e (3) lagos hiperácidos, com pH abaixo de 1, classificados como salmoura devido aos valores de SDT >100000 mg/kg. A contaminação vulcânica da água dos lagos poderá manifestar-se de diferentes formas, desde a entrada de voláteis a fontes hidrotermais no fundo destes, como é possível constatar na recente publicação de Ronde *et al.* (2002), referente a estes processos de contaminação.

Estudos dos ecossistemas microbianos açoreanos, em habitats dulciaquícola, têm incidido apenas sobre a comunidade fitoplanctónica (Gonçalves *et al.*, 2005; 2007) ou foram apenas efectuados até ao momento em ecossistemas hidrotermais (Aguiar, 1999; Aguiar *et al.*, 2004; Aguiar, 2005). Um dos objectivos deste trabalho foi estudar a composição da comunidade microbiana associada com os ambientes de coluna de água e sedimentos depositados no fundo dos mesmos lagos utilizando técnicas de ecologia microbiana não tradicionais (Aguiar, 2005). As amostragens foram estendidas a algumas nascentes minerais possivelmente enriquecidas em CO₂ e minerais com potencial energético para o metabolismo microbiano quimiolitotrófico, como por exemplo o ferro. Pretende-se assim avaliar não só o potencial de produção primária fotossintética como também a possível co-existente produção primária quimiossintética dos sistemas dulciaquícolas da ilha das Flores.

METODOLOGIA

Em virtude do tempo disponível para a realização do trabalho e da limitação em termos de meios logísticos foram seleccionados apenas três lagos e três nascentes da ilha das Flores para efectuar o estudo. Amostras para a análise de parâmetros abióticos, nomeadamente de nutrientes, foram colhidas em simultâneo a amostragem biológica de modo a caracterizar as massas de água do ecossistema. Os elementos físicos e químicos analisados foram: o pH, a temperatura, a condutividade eléctrica, o CO₂ livre e total, e o HCO₃⁻. Também foram enviadas para o Activation Laboratories Ltd. (Canadá) amostras de água dos diversos lagos para a determinação dos elementos maiores, menores e elementos traço. Estes resultados não estão ainda disponíveis. Os novos dados abióticos foram comparados com estudos efectuados anteriormente (e.g. Antunes, 2003).

Com o objectivo de estudar a composição biogeoquímica da água dos lagos, bem como avaliar a influência vulcânica sobre a mesma, foram executados perfis verticais dos vários parâmetros físico-químicos (e.g. temperatura, pH) e foram recolhidas amostras de água ao longo da coluna de água para cada lago incluído no presente estudo: Lagoa Rasa, Lagoa Funda, e Lagoa Comprida (Figura 1). Os perfis foram efectuados nos locais de maior profundidade (Figuras 2 e 3) em cada lago.

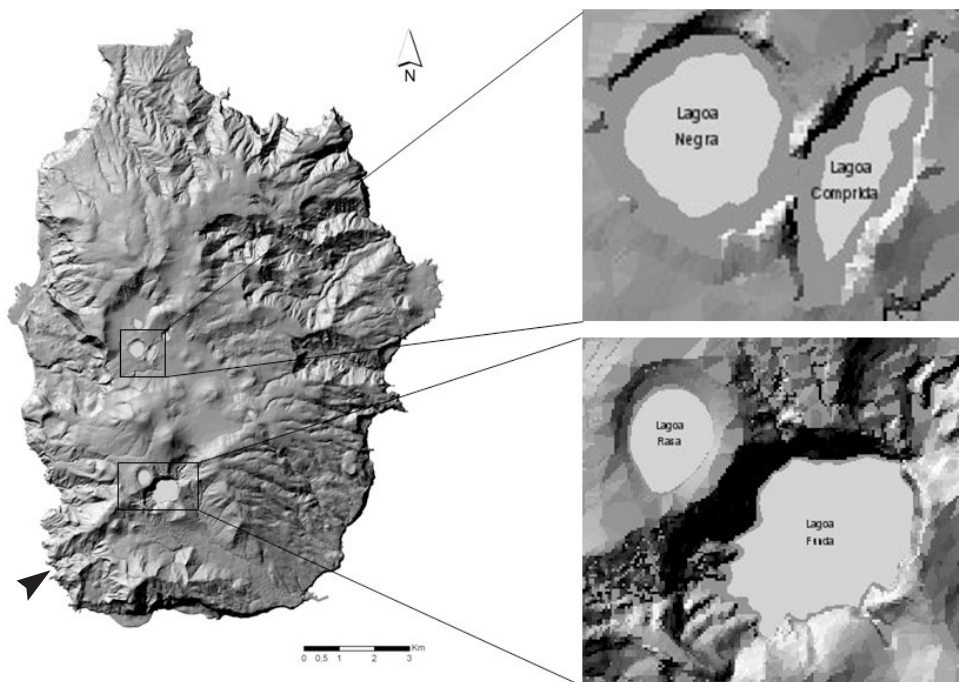


Figura 1- Modelo digital do terreno com a localização geográfica dos lagos incluídos neste estudo: Lagoa Comprida, Lagoa Funda e Lagoa Rasa. Duas das nascentes minerais amostradas situavam-se na vertente Leste da Lagoa Comprida e a nascente ao longo da linha de costa está assinalada pela seta (↙). *Fonte: CVARG.*



Figura 2 - Acesso ao local de amostragem nas margens da Lagoa Comprida para efectuar as colheitas.

Foram efectuados três patamares de amostragem, no perfil vertical, em cada um dos lagos; um à superfície da água, outro a meio da coluna de água e o terceiro patamar perto do fundo, dependendo da profundidade máxima do lago. Em cada um destes patamares foi colhida uma amostra de água (Figura 3).



Figura 3 - Amostragem da coluna de água nos lagos, ao longo de um perfil vertical, na zona de maior profundidade (amostragem da Lagoa Funda).

No campo, imediatamente após a recolha de água foram realizadas as determinações da temperatura, pH, condutividade eléctrica, CO_2 livre e alcalinidade. Os catiões e aniões foram analisados no laboratório de Hidrogeoquímica do Departamento de Geociências da Universidade dos Açores, sobre amostras previamente filtradas a $0,45 \mu\text{m}$ e acidificadas com ácido nítrico ultrapuro.

A restante amostra de água foi colocada em frascos de polietileno opacos e foi processada mais tarde no laboratório de apoio à expedição. As amostras de água foram mantidas no escuro, a 4°C até chegar ao laboratório onde foram de imediato processadas (Figura 4). Para a análise de fitopigmentos 1 L de água foi filtrado para um filtro de fibra de vidro de 47 mm de diâmetro, $0,45 \mu\text{m}$ de poro, e o filtro foi armazenado em criotubos, a -20°C .



Figura 4 - Laboratório temporário montado durante a expedição na Ecoteca das Flores. **a** Estação para análises geoquímicas. **b** Estação para filtrações de amostras de água.

As amostras de água foram filtradas utilizando filtros de nitrocelulose com 0,22 μm de poro. Por amostra de água processou-se três replicados com 1 L da amostra cada para a análise de DNA genómico da comunidade microbiana. Após as filtrações, os filtros com o material biológico foram colocados separadamente em criotubos e as amostras foram preservadas em 50 % etanol. As amostras foram armazenadas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ até a chegada ao Departamento de Biologia a onde foram colocadas para armazenamento a médio prazo a $-86\text{ }^{\circ}\text{C}$. O DNA destas amostras será extraído e separado utilizando a técnica de gel electroforético com um gradiente químico desnaturante (DGGE), como descrito em Aguiar (2005). Além das amostras para a análise de DNA da comunidade microbiana também se efectuaram filtrações de 500 ml de cada amostra para filtros de nitrocelulose com 0,22 μm de poro. Estas amostras serão posteriormente utilizadas em microscopia de epifluorescência com sondas filogenéticas (FISH) (Aguiar, 1999; 2005).

Nos lagos, para além das amostras de água, foram ainda colhidas amostras de cores de sedimentos na área subjacente à área de coluna de água amostrada (Figura 5a). Os cores foram mantidos fechados até ao laboratório de campo, numa posição vertical para não ocorrer alteração da estratificação dos perfis verticais dos sedimentos, e protegidos da luz. No laboratório, os cores foram descritos visualmente e cortados em camadas horizontais (Figura 5b). Uma porção central de cada sub-amostra foi colocada em tubos Falcon estéreis e foi armazenada a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ até chegada ao Departamento de Biologia onde foram transferidos para armazenamento a médio prazo ($-86\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Em adição a estes três lagos, foram amostradas três nascentes minerais: duas nascentes que desaguam para a Lagoa Comprida (Figura 6), e uma nascente na linha de costa a Sul da ilha das Flores, perto do Lajedo (Figura 7). Foram realizadas várias amostras de água destas nascentes para efectuar uma caracterização química e biológica do habitat. As amostras de água foram processadas em laboratório à semelhança do acima descrito para amostras de água dos lagos. No caso das nascentes da Lagoa Comprida foram colhidas não só amostras de água como também amostras de sedimento. Na nascente perto da linha de costa foram efectuadas amostragens de sedimentos e de biofilmes microbianos (Figura 7b-c). Tanto os sedimentos como os biofilmes foram armazenados em tubos estéreis, numa solução de 50 % etanol, a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ até chegar ao laboratório de campo onde foram transferidos para $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

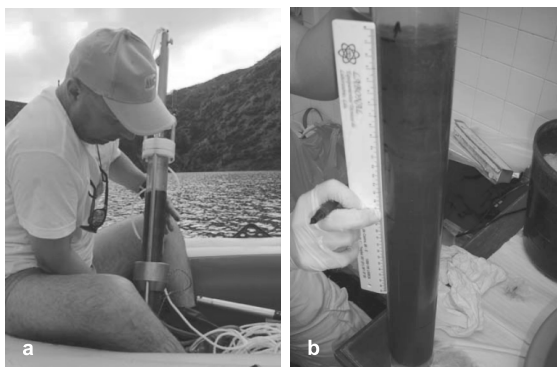


Figura 5 - Amostragem de cores de sedimento do fundo das lagoas em estudo. **a** Recolha de cores de sedimentos do fundo da Lagoa Funda. **b** Medição e observação do cores de sedimentos no laboratório, antes de efectuar a abertura e sub-amostragem das diferentes camadas de sedimentos.



Figura 6 - Nascentes minerais amostradas na encosta da Lagoa Comprida. Ambos os cursos de água apresentam depósitos férreos. **a** Nascente mineral #1 da Lagoa Comprida. **b** Nascente mineral #2 da Lagoa Comprida.

As amostras de fitopigmentos foram todas processadas no laboratório de Limnologia do Departamento de Biologia da Universidade dos Açores. O método utilizado na determinação da clorofila a e dos feopigmentos foi o método espectofotométrico, de acordo com a Norma Portuguesa (IPQ, 1997). A extracção dos fitopigmentos foi efectuada utilizando um solvente de acetona (90 % V/V) e o sobrenadante foi utilizado para efectuar as leituras num espectofotómetro DR LANGE, modelo CADAS 50S, com células espectofotométricas de vidro com um percurso óptico de 1 cm. As concentrações de clorofila a e de feopigmentos foram determinados pelo método descrito por Lorenzen (1967). A absorvância dos extractos foi lida a 665 nm, 775 nm, e a 430 nm, antes e 1 minuto após a sua acidificação com 0,1 ml de HCl (0,1 M). Espera-se processar durante os próximos meses as restantes amostras biológicas de modo a efectuar a análise da composição e estrutura das comunidades microbianas para cada um dos ecossistemas amostrados.

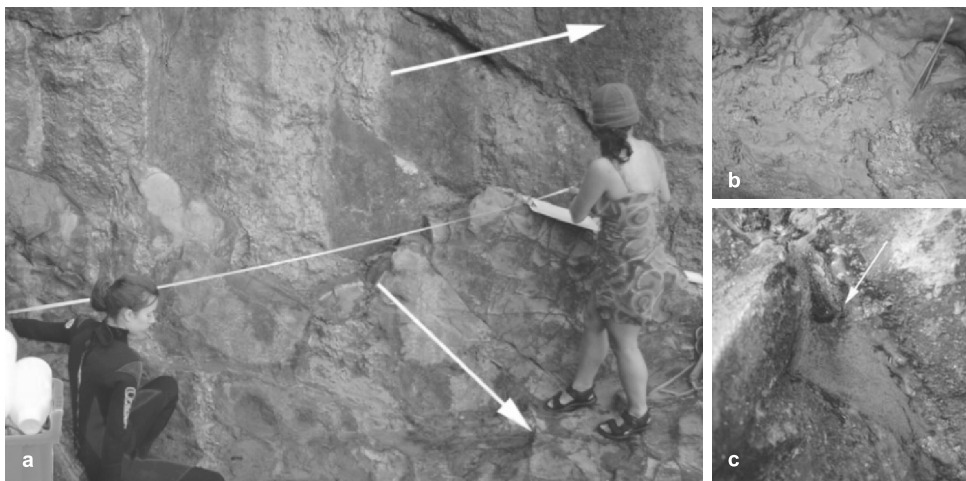


Figura 7 - Nascente mineral do Lajedo, junto à linha de costa. **a** desenvolvimento de biofilmes microbianos ao longo da ocorrência. **b** Detalhe dos biofilmes microbianos. **c** Detalhe de uma zona de retenção de água da nascente mineral a onde se acumulam sedimentos e detritos orgânicos. Este pequeno reservatório está localizada no ponto de origem da seta branca inferior.

RESULTADOS

Na Lagoa Comprida e na Lagoa Rasa encontrou-se uma profundidade máxima de 16,5 m, e a amostragem foi feita com um intervalo de 3 e 5 m, respectivamente por amostra. Na Lagoa Funda, a profundidade máxima registada foi de 33 m, e o intervalo de amostragem foi de 5 m. Os parâmetros analisados para os intervalos de amostragem referidos dizem respeito à temperatura, pH, condutividade, CO_2 livre e os anião, bicarbonato. Os catiões, restantes aniões e elementos menores serão analisados numa fase posterior. Os resultados relativos à temperatura, pH e condutividade, reportam-se ao estudo efectuado anteriormente (Antunes, 2006), nestes sistemas lacustres. Pois após a análise das medições obtidas com a sonda multi-paramétrica da TDA-DKK (modelo WQC-24) concluiu-se que a maioria dos parâmetros apresentavam um erro não sistemático quando comparado com a análise laboratorial das mesmas amostras e com a comparação de parâmetros da sonda de condutividade utilizada. Todos os dados obtidos pela sonda multiparamétrica da TDA-DKK foram por isso descartados.

A composição química das águas da Lagoa Comprida e da Lagoa Funda encontra-se representada na Figura 8, assim como, a sua comparação com a composição química da água do mar (Figura 9). As águas destes sistemas lacustres são frias, com temperaturas que variam entre os 15,7 °C e os 19,9 °C na Lagoa Comprida, entre os 13,8 °C e os 23,4 °C; na Lagoa Funda; e entre os 16,7 °C e os 21,6 °C na Lagoa Rasa. A água de ambos os lagos é do tipo cloretada sódica, com a Lagoa Funda a apresentar uma tendência bicarbonatada sódica, nomeadamente na amostra do fundo da lagoa (Figura 8). Nas Figuras 10 e 11 encontram-se representados os dados de temperatura, pH, CO_2 , HCO_3^- , e ferro (Fe^{2+}) para os perfis verticais efectuados nas lagoas em estudo. E na Tabela 1 as concentrações de pigmentos determinadas a cada uma das profundidades amostradas nas três lagoas.

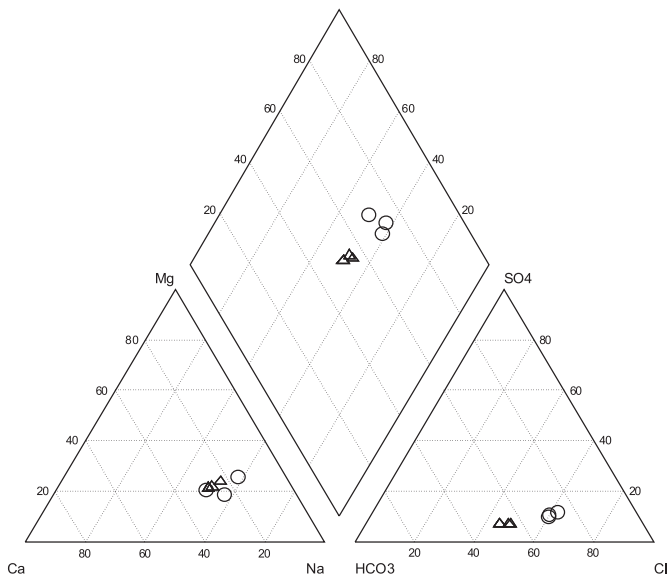


Figura 8 - Representação da composição química da água das Lagoas Comprida e Funda, ilha das Flores (○ - Comprida; △ - Funda).

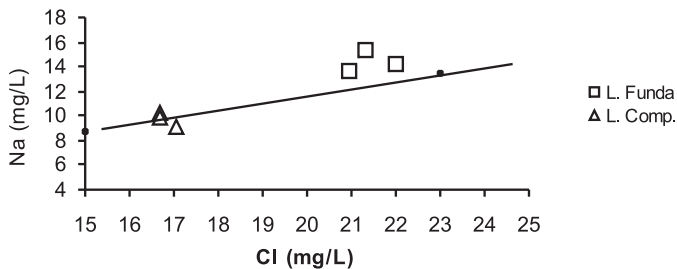


Figura 9 - Distribuição das amostras em relação à recta que caracteriza a água do mar.

Na altura da amostragem ocorria estratificação dos lagos com definição de duas camadas de água, separadas por uma termoclina situada sensivelmente entre os 3 e os 12 m de profundidade (metalimnion) na Lagoa Comprida e Rasa, e entre os 5 e os 30 m na Lagoa Funda. Assim, esta camada de água separa a água da superfície (epilimnion) da água do fundo (hipolimnion) da lagoa. É a partir do início do metalimnion que se verifica a descida do pH e o aumento da concentração do dióxido de carbono livre e total (Figuras 10 e 11).

A análise geoquímica da água das nascentes minerais amostradas encontra-se resumida na Tabela 2.

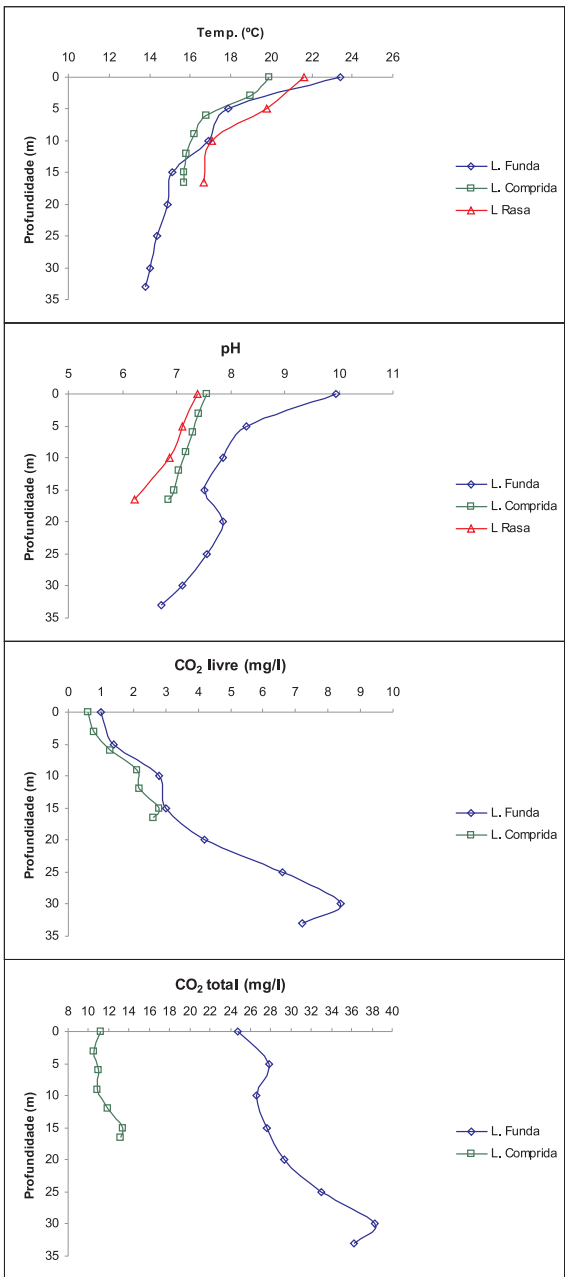


Figura 10 - Variação de vários parâmetros abióticos ao longo da coluna de água para os lagos em estudo (temperatura, pH, CO₂).

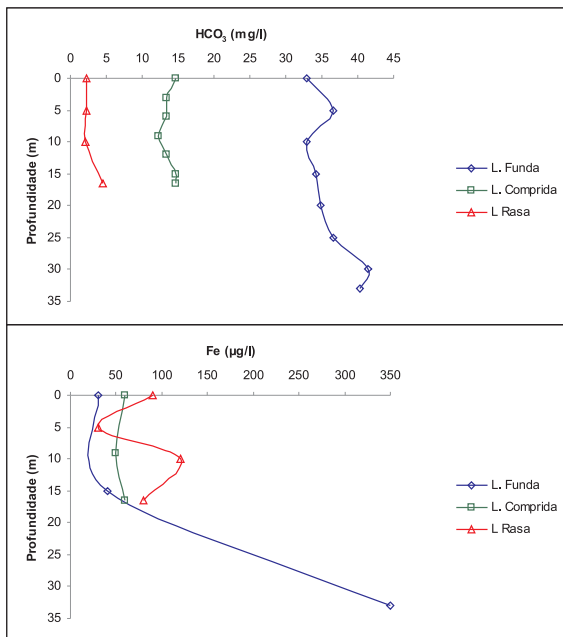


Figura 11 - Distribuição do íon bicarbonato assim como do ferro ao longo da coluna de água nos lagos estudados.

Tabela 1 - Valores de clorofila a e feopigmentos determinados para cada profundidade amostrada nos três lagos em estudo.

	Profundidade (m)	Clorofila a (ug/L)	Feopigmentos (ug/L)
Lagoa Funda	6	29,24	7,23
	11	6,80	2,72
	23	2,27	0,62
Lagoa Comprida	0	2,68	0,64
	7,5	3,09	1,09
	10	2,88	1,30
Lagoa Rasa	0	0,82	0,04
	7	1,03	0,41
	14	1,85	1,17

Tabela 2 - Parâmetros geoquímicos das nascentes minerais amostradas.

Nascentes	pH	Temperatura (°C)	Condutividade (uS/cm)	O ₂ (mg/L)	CO ₂ Livre (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	CO ₂ Total (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)
L. Comprida 1	6,68	12,6	365	0,27	20,60	157,50	159,20	192,15
L. Comprida 2	7,08	14,5	367	0,28	24,10	178,50	181,18	217,77
Lajedo	8,29	23,8	2,46 x 10 ³	6,94	-	90,00	-	109,80

DISCUSSÃO

A composição química destes sistemas lacustres é influenciada por sais de origem marinha a partir do transporte atmosférico, como sugere a Figura 9. No entanto, verifica-se que a água da Lagoa Funda tende a afastar-se ligeiramente da recta que caracteriza a água do mar, que numa ilha desta dimensão é influenciada pelo quimismo de precipitação.

As lagoas apresentam uma estratificação da água, causada por variação de densidade devido à temperatura, mais pronunciada na Lagoa Funda devido às suas características físicas (Porteiro, 2000 e Cruz *et al.*, 2006).

Deste modo os valores de pH à superfície são muito elevados e isto poderá ocorrer devido à actividade biológica. Com efeito, a actividade fotossintética do fitoplankton conduz ao consumo de CO₂ e, desta forma, potencia o incremento do pH (Wetzel, 1993 e Cruz *et al.*, 2006). Esta variação é mais pronunciada na Lagoa Funda, que também apresenta concentrações mais elevadas de CO₂ livre e total relativamente à Lagoa Comprida. De facto a abundância de fitoplankton à superfície na Lagoa Funda, indicada pela concentração de Clorofila a, excede largamente a quantidade existente nas outras lagoas (Tabela 1). Na Lagoa Funda, também se verifica que a concentração do ião bicarbonato aumenta ligeiramente com a profundidade (Figura 11). Os valores de pH da Lagoa Funda analisados em conjunto com os valores de clorofila a obtidos (Tabela 1) também suportam a hipótese da interligação entre valores de pH e actividade biológica fotossintética (Kent *et al.*, 2007). Estes dados evidenciam o efeito da neutralização da acidez da água, processo no qual o CO₂ livre é convertido em bicarbonato através da interacção água-rocha. O bicarbonato poderá resultar indirectamente da decomposição de matéria orgânica, assim como das reacções de dissolução dos minerais silicatados das rochas vulcânicas e da contribuição de voláteis de origem magmática. Também é nesta lagoa que se verifica um aumento significativo do ferro com a profundidade (Figura 11). O aumento de ferro em profundidade é muito mais acentuado que todas as variações de ferro registadas em outros lagos da região (Cruz *et al.*, 2006). Estudos mais pormenorizados da comunidade planctónica presente na coluna de água e nos cores podem servir para determinar a origem desta concentração elevada de ferro na Lagoa Funda. A presença de grandes quantidades de ferro no ecossistema dulciaquícola pode influenciar grandemente tanto a productividade primária como a degradação de matéria orgânica no fundo e coluna de água adjacente ao fundo do lago (Kent *et al.*, 2007). A concentração deste elemento no hipolimnion é muito semelhante à concentração do ião ferro determinada nas nascentes termais do Poio do Moreno e do Lajedo, na ilha das Flores. No entanto, a haver algum tipo de contaminação vulcânica da água da Lagoa Funda, esta poderá ocorrer através da descarga de fluidos termais no fundo do lago.

No caso da Lagoa Comprida, não se exclui a possibilidade da composição química da água da lagoa, também ser influenciada por algum tipo de contribuição vulcânica, nomeadamente das duas escorrências alvo do presente estudo.

Os perfis hidrogeoquímicos realizados na ilha das Flores permitiram constatar a existência de estratificação da coluna de água à semelhança do previamente descrito para os lagos da região (Porteiro, 2000; Cruz *et al.*, 2006 e Gonçalves *et al.*, 2007). O pH à superfície dos lagos é elevado provavelmente devido aos processos de natureza biológica

que se desenrolam actualmente. No entanto, o pH diminui em profundidade para valores perto da neutralidade. A composição química da água dos lagos é controlada por sais de origem marinha que terão sido mais provavelmente depositados por processos atmosféricos como proposto por Cruz *et al.* (2006).

O CO₂ apresenta pequenas concentrações ao longo da coluna de água na Lagoa Comprida, que poderá resultar unicamente da decomposição da matéria orgânica existente na lagoa. Na Lagoa Funda os dados sugerem que este parâmetro, associado à elevada concentração de ferro, também poderá ocorrer a partir de uma contribuição de origem vulcânica, nomeadamente, a partir da descarga de fluidos termais.

Apesar da nascente mineral amostrada perto da linha de costa ter aparentemente origem no cimo da Falésia e escorrer para a zona de intertidal há nitidamente uma forte contaminação marinha nesta nascente. Esta contaminação da água do mar, é evidenciada pelos elevados valores de condutividade obtidos para esta nascente (Tabela 2) quando comparados com os detectados no interior da ilha, nas nascentes minerais da Lagoa Comprida.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, P., 1999. Ecologia microbiana de fontes hidrotermais em S. Miguel, Dissertação de estágio de Licenciatura apresentada à Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Açores, Portugal, 55 pp.
- AGUIAR, P., T. J. BEVERIDGE & A. L. REYSENBACH, 2004. *Sulfurihydrogenibium azorense*, sp. nov., a thermophilic hydrogen-oxidizing microaerophile from terrestrial hot springs in the Azores. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 54: 33-39.
- AGUIAR, P., 2005. Microbial Ecology of Azorean Hot Springs Revealed by Culture and Molecular Techniques. Dissertação apresentada à Portland State University, OR, USA para obtenção do Grau de Doctor in Philosophy, 270 pp.
- ANTUNES, P.C., J.V. CRUZ & P. FREIRE, 2006. Caracterização Hidrogeoquímica de Lagos Vulcânicos da Ilha das Flores (Açores, Portugal). Comunicação ao VII Congresso Nacional de Geologia, Estremoz.
- AZEVEDO, J.M.M., M.R. PORTUGAL FERREIRA & J.A. MARTINS, 1986. O complexo de base da ilha das Flores, Açores. *Memórias e Notícias*, Publ. Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, Universidade de Coimbra, 101: 54-71.
- AZEVEDO, J.M.M., M.R. PORTUGAL FERREIRA & J.A. MARTINS, 1991. The emergent volcanism of Flores Island, Azores (Portugal). *Arquipélago*, Ciências da Natureza, Universidade dos Açores, 9: 37-46
- BLAKEL, R., 1974. Geomagnetic reversal and crustal spreading rate during the Miocene. *J. Geophys Res.*, 79: 2979-2985
- CRUZ, V.P.P. ANTUNES, C. AMARAL, Z. FRANÇA & J.C. NUNES, 2006. Volcanic lakes of the Azores archipelago (Portugal): Geological setting and geochemical characterization. *J. Volcanol. and Geotherm Res.*, 156: 135-157.
- DELMELLE, P. & A. BERNAR, 2000. Volcanic lakes. In: Sigurdsson, H., S.R. McNutt, H. Rymer, D. Six (Eds.) *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, San Diego, pp., 877-895.
- GONÇALVES, V., A.C. COSTA, P. RAPOSEIRO & H. MARQUES, 2005. Caracterização biológica das massas de água superficiais das ilhas de São Miguel e Santa Maria. Universidade dos Açores - Ponta Delgada, 240 pp.

- GONÇALVES, V., P. RAPOSEIRO, A.C. COSTA, H. MARQUES, V. MALHÃO, J. MICAEL & A. CUNHA, 2007. Caracterização Ecológica das Massas de Água Interiores das ilhas de Pico, Faial, Flores e Corvo. Definição de ecótipos de Lagoas e Ribeiras. CCPA, Departamento de Biologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, pp., 131.
- KENT, A.D., A.C. YANNARELL, J.A. RUSAK, E.W. TRIPLETT & K.D. MCMAHON, 2007. Synchrony in aquatic microbial community dynamics. *The ISME Journal*, 1: 38-47.
- KRAUSE, D. & N. WATKINS, 1970. North Atlantic crustal genesis in the vicinity of the Azores. *Geophys J. R. Astr. Soc.*, 19: 261-283.
- LAUGHTON, A. & R. WHITMARSH, 1974. The Azores-Gibraltar plate boundary. In: Kristjansson (Ed). Geodynamics of Iceland and North Atlantic Area. *Reidel Publ. Comp.*, 63-81.
- LORENZEN, L.J., 1967. Determination of Chlorophyll and pheo-pigments: Spectrophotometric. *Limnology and Oceanography*, 12: 343-346.
- MARINI, L., M.V. ZUCCOLINI & G. SALDI, 2003. The biomodal pH distribution of volcanic lake waters. *J. Volcanol. and Geotherm Res.*, 121: 83-98.
- MORRISSEAU, M., 1985. Étude des enclaves lithiques hydrothermalisées liées aux éruptions hydromagmâtiques. Exemples des Açores: Flores et Faial. BRGM-AFME. Institute Mixte de Recherche Géothermiques.
- MORRISSEAU, M. & H. TRAINEAU, 1985. Volcanologie. Mise en évidence d'une activité hydromagmatique holocène sur l'île de Flores (Açores). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 301, Série II, 18: 1309-1314.
- MORRISSEAU, M., 1987. *Les éruptions hydromagmâtiques et les xenolites associées: signification géothermique*. Dissertação apresentada à Universidade de Paris XI - Orsay, França para efeito de obtenção do Grau de Doutor, 493 pp.
- NEEDAHAM, H. & J. FRANCHETEAU, 1974. Some characteristics of the rift valley in the Atlantic Ocean near 36° 48' north. *Earth Planet Sci. Lett.*, 22: 29-43.
- PASTERNAK, G.B. & J.C. VAREKAMP, 1997. Volcanic lake systematics I. Physical constraints. *Bull. Volcanol.*, 58: 528-538.
- PORTEIRO, J., 2000. *Lagoas dos Açores. Elementos de suporte ao Planeamento Integrado*. Dissertação apresentada à Universidade dos Açores - Ponta Delgada, Açores, Portugal para obtenção do Grau de Doutor, 344 pp.
- SEARLE, R., 1980. Tectonic pattern of the Azores spreading centre and triple junction. *Earth Planet Sci. Lett.*, 51: 415-434.
- STEINMETZ, L., A. HIRN, M. SAPIN, R. WHITMARSH & V. MOREIRA, 1976. Zone of P wave attenuation beneath the crest of Mid-Atlantic Ridge. *Bull. Soc. Geol., Fr.*, 4.
- VAREKAMP, J. C. & R. KREULEN, 2000. The stable isotope geochemistry of volcanic lakes, with examples from Indonesia. *J. Volcanol and Geotherm Res.*, 97: 309-327.
- VAREKAMP, J.C., G.B. PASTERNAK & G.L. ROWE JR., 2000. Volcanic lake systematics II. Chemical constraints. *J. Volcanol. and Geotherm. Res.*, 97: 161-179.
- WETZEL, R.G., 1993. *Limnologia*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 407 pp.