

Monitorização *in continuum* da Lagoa das Sete Cidades

Medeiros, M. C.^{1,4}, Gonçalves, V.², Pacheco, D. M.¹, Brito, A. G.³, Coutinho, R.¹, Santos, M. C. R.⁴ & Santana, F. J. P.⁴

¹Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos da Secretaria Regional do Ambiente da Região Autónoma dos Açores, maria.ma.medeiros@azores.gov.pt; dina.md.pacheco@azores.gov.pt; rui.ms.coutinho@azores.gov.pt

²Departamento de Biologia da Universidade dos Açores, vitorg@notes.uac.pt

³Departamento de Engenharia Biológica da Universidade do Minho, agbrito@deb.uminho.pt

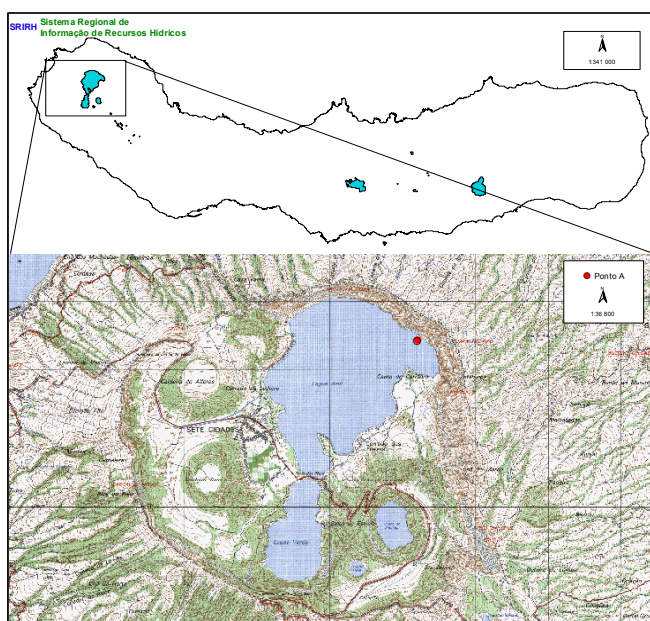
⁴Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, mcrs@mail.fct.unl.pt; fjs@mail.fct.unl.pt

Resumo

Nas últimas décadas, a Lagoa das Sete Cidades (Ilha de São Miguel, Açores) tem sido afectada por um lento processo de eutrofização que, recentemente, conduziu a um agravamento da sua qualidade química e ecológica. Para avaliar o estado actual da Lagoa e monitorizar a sua evolução foi implementado um sistema de monitorização *in continuum*, baseado numa estação remota multiparamétrica e em análises periódicas do fitoplâncton. A monitorização *in continuum* permitiu caracterizar a evolução sazonal dos parâmetros físico-químicos, verificando-se uma rápida transição entre os períodos de mistura e estratificação da massa de água. O desenvolvimento da estratificação térmica foi determinante na evolução da comunidade fitoplanctónica.

1. Introdução e Objectivos

A Lagoa das Sete Cidades, situada na Ilha de São Miguel na Região Autónoma dos Açores (figura 1), está inserida numa paisagem natural de elevado valor cénico e, sendo a maior massa de água superficial da Região, com um volume total de, aproximadamente, $48 \times 10^6 \text{ m}^3$ (PRA-RAA, 2001) é um dos mais importantes recursos hídricos do arquipélago.



O estado da qualidade ecológica e química das águas lagunares tem favorecido, desde 2000, o aparecimento dos *blooms* de Cianobactérias se bem que, anteriormente, existissem sinais do evoluir negativo da situação. Esse facto determinou que, nesse ano, se iniciasse a preparação do Plano de Ordenamento da Bacia Hidrográfica da Lagoa das Sete Cidades (POBHLSC). A implementação do POBHLSC, neste momento preste a ser publicado enquanto diploma legal, bem como todos os estudos sobre a eventual aplicação de outras medidas de requalificação ambiental da Lagoa,

Figura 1 – Localização da Lagoa das Sete Cidades na Ilha de São Miguel.

Ponto A – Local onde se efectuaram as colheitas.

exigem um acompanhamento por um sistema de monitorização que avalie a resposta da massa de água a essas intervenções. Nesse sentido, a Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos da Secretaria Regional do Ambiente da Região Autónoma dos Açores (DROTRH/SRA/RAA) em parceria com a Universidade dos Açores, a Universidade Nova de Lisboa e o INOVA entendeu reforçar o controlo e monitorização da qualidade da água da Lagoa das Sete Cidades. Nesse âmbito desenvolveu-se um “Plano para a monitorização e controlo *in continuum* da Lagoa das Sete Cidades”, em curso desde Novembro de 2003 (Medeiros, 2003). A monitorização desenvolvida no referido Plano, da qual parte dos resultados são apresentados neste *poster*, tem os seguintes objectivos: *i*) a detecção precoce do desenvolvimento de *blooms* de cianobactérias, os quais têm mostrado uma maior visibilidade desde o ano 2000, e *ii*) contribuir para o conhecimento dos factores relacionados com o desencadeamento desses *blooms*. Para além disso, esta monitorização visa responder às necessidades de avaliação das várias medidas já aplicadas no ecossistema (Medeiros, 2004), e às que venham a ser implementadas, no sentido da melhoria da qualidade ecológica e química da água.

2. Material e Métodos

A Lagoa das Sete Cidades localiza-se na zona Noroeste de São Miguel e é constituída por duas subunidades, a Lagoa Azul e a Lagoa Verde. A campanha de amostragem decorreu de Fevereiro a Setembro de 2004. O ponto de amostragem escolhido (Figura 1) localiza-se na zona de maior profundidade da Lagoa Azul das Sete Cidades, com aproximadamente 24 m, a uma latitude de 37°52,2980' N e longitude de 25°46,1460' W. Neste ponto está fixada uma estação remota multiparamétrica (Paralab S.A.) à qual estão associados dois analisadores multiparamétricos. Estes analisadores automáticos executam leituras *in situ* e contínuas de diversos parâmetros e remetem essa informação, via GSM, para uma estação central da DROTRH/SRA onde os dados são lidos através do software SMQAL (Figura 2).

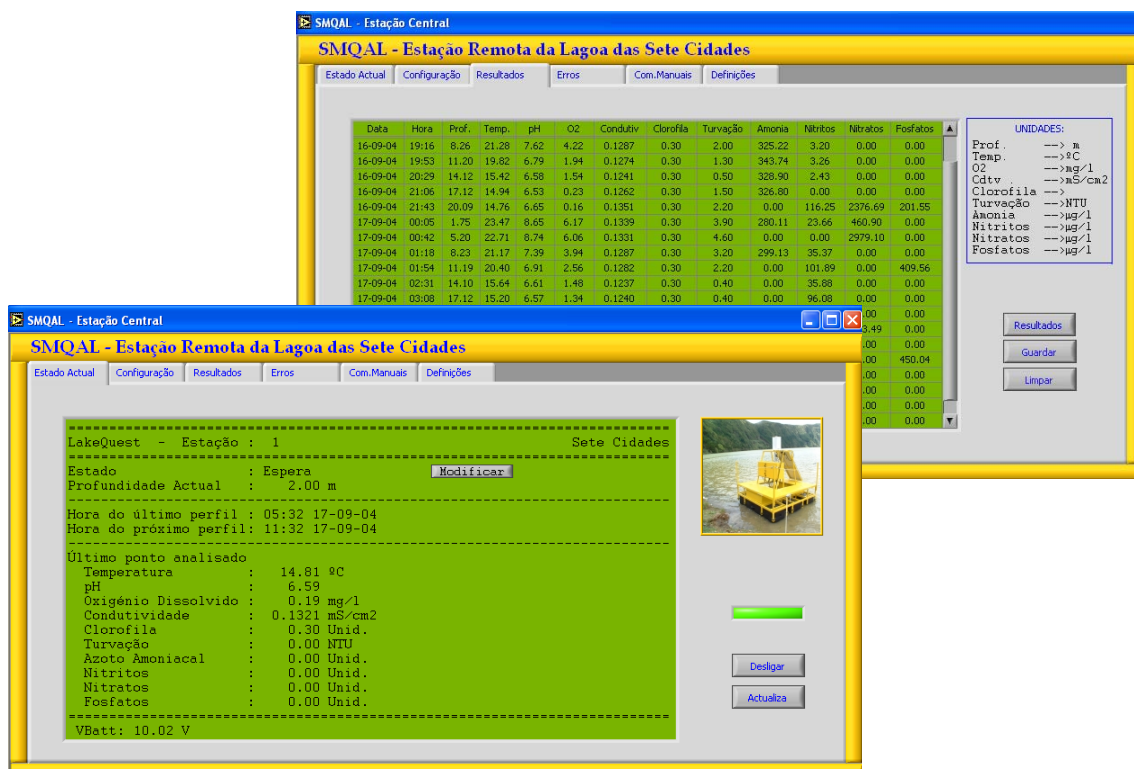


Figura 2 – Estação Central do SMQAL da DROTRH/SRA

Um dos analisadores, a minisonde 4a-Hidrolab mede profundidade, temperatura, pH, oxigénio dissolvido, condutividade, turvação, para além de clorofila *a* através de um medidor Scufa/Hidrolab acoplado. O analisador químico NPA da Systea mede NH₄, NO₂, NO₃ e PO₄.

A estação remota multiparamétrica foi programada para poder fazer leituras a várias profundidades, desde 2 m até aos 20 m, em intervalos de 3 m. Devido à configuração da estação remota e para minimizar eventuais problemas operacionais, optou-se por escolher como 1ª profundidade os 2 m. Igualmente para evitar a retenção da sonda junto aos sedimentos optou-se por escolher os 20 m como último ponto do perfil. Em paralelo e na mesma zona de amostragem, efectuaram-se colheitas mensais de água, a várias profundidades, para o estudo da composição, abundância e biomassa fitoplanctónicas. Obtiveram-se amostras compostas, de acordo com Blomqvist (2001), utilizando os dados de batimetria da Lagoa das Sete Cidades constantes no Plano Regional da Água da Região Autónoma dos Açores (PRA-RAA, 2001). Definiram-se cinco camadas ao longo da coluna de água e recolheram-se amostras nos pontos médios das primeiras quatro camadas (2m, 7m, 12m, 17m) que representam uma contribuição relativa superior a 90% do volume da Lagoa. Colheram-se, ainda, amostras a três níveis de profundidade, correspondentes à superfície, meio e fundo da coluna de água, para a determinação da concentração de clorofila *a*. A transparência da massa de água foi medida através da profundidade de penetração do disco de secchi.

Todas as amostras recolhidas foram armazenadas em frascos de polietileno e conservadas em caixa isotérmica refrigerada durante o respectivo transporte. As amostras para o estudo do fitoplâncton foram conservadas em Lugol a 1% (V/V). A contagem do fitoplâncton foi efectuada pelo método de Utermöhl (Utermöhl, citado por Lund *et al.*, 1958). Utilizaram-se câmaras de sedimentação de 10 ml e um tempo de sedimentação de pelo menos três horas (Margalef, 1974). Num microscópio OLYMPUS IMT-2, com uma ampliação de 40x, contaram-se os indivíduos das espécies menos abundantes e de maiores dimensões em toda a câmara. Os indivíduos das espécies mais abundantes e de menores dimensões foram contados num transecto médio com uma ampliação de 200x. A unidade de contagem foi a célula.

Na ordenação dos *taxa* fitoplanctónicos, adoptou-se a classificação proposta por Lee (1992). Os indivíduos da Divisão Cyanophyta foram identificados, sempre que possível, até à espécie, com o recurso a várias floras, nomeadamente Huber-Pestalozzi (1975) e Komarek & Anagnostidis (2001). A determinação da concentração de clorofila *a* das microalgas foi realizada através do método espectrofotométrico, de acordo com a norma portuguesa (IPQ, 1997). Após a extracção em acetona a 90% (V/V) durante dezoito horas e a leitura espectrofotométrica, a concentração de clorofila *a* foi calculada pelo método de Lorenzen (1967).

3. Resultados e Discussão

A estação remota multiparamétrica, instalada em Novembro de 2003, apresentou alguns problemas técnicos, especialmente relacionados com o analisador químico NPA e o medidor de clorofila *a*, que ainda não produziram resultados consistentes, estando em curso várias intervenções para a sua optimização. O processo de tratamento dos dados físico-químicos foi, portanto, restringido à análise evolutiva dos parâmetros lidos pela minisonde 4a-Hidrolab (temperatura, pH, oxigénio dissolvido, turvação e condutividade) ao longo da coluna de água e ao longo do tempo, a par com os valores de transparência obtidos mensalmente utilizando-se o Disco de Secchi (Figura 3).

A profundidade da massa de água e a transparência da massa de água que se traduz na profundidade de observação do disco de secchi manteve-se praticamente constante ao longo do período de estudo, exceptuando-se no mês de Julho onde se observou uma diminuição acentuada, coincidente com um *bloom* de *Microcystis flos-aquae*.

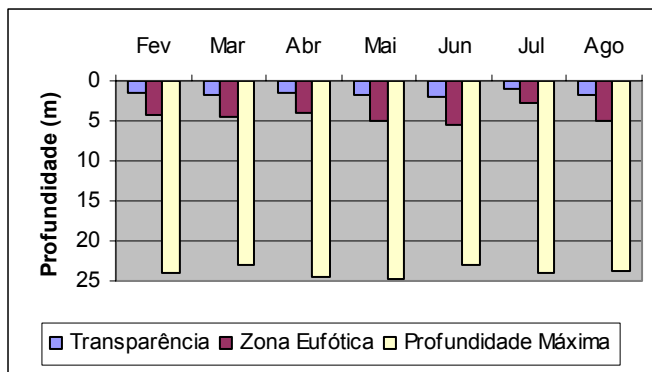


Figura 3 – Transparência da massa de água.

A escolha do intervalo de tempo para a análise dos dados físico-químicos coincidiu com o início da caracterização fitoplânctônica mensal da Lagoa das Sete Cidades. Os resultados obtidos permitem separar cinco fases principais da variação sazonal das características físico-químicas da massa de água (Figura 4). Apesar do período de estudo ter sido inferior a 12 meses (21/02/2004 a 11/09/2004), foi

possível registrar as duas principais fases da massa de água: o período de mistura (Figura 4, P1 e P2) e o período da estratificação térmica (Figura 4, P4 e P5). Foi igualmente possível, devido à monitorização *in continuum* detectar em tempo real o período de transição entre as duas principais fases (Figura 4, P3). O regime térmico observado foi característico de um lago monomítico quente (Wetzel, 1993).

O período P1 (21/02/2004 a 21/04/2004) e P2 (22/04/2004 a 07/05/2004) correspondem a um período de mistura em que, praticamente, não se registaram alterações dos parâmetros analisados ao longo da coluna de água. No entanto, o período P2, referente ao fim do mês de Abril e início de Maio, caracteriza-se por um pequeno aumento da temperatura junto à superfície, o que se traduz por uma variação superior a 1 °C entre a temperatura superficial e de fundo. Esta variação é acompanhada por uma ligeira diminuição do oxigénio dissolvido ao longo da coluna de água.

O período P3 (08/05/2004 a 30/06/2004) corresponde à rápida transição entre o período de mistura e o período de estratificação térmica que se começa a estabelecer, visível na variação superior a 2 °C entre a temperatura superficial e a de fundo. Neste período, começa-se a observar variação ao longo da coluna de água de todos os parâmetros analisados, à excepção da condutividade que se manteve constante ao longo da coluna de água e ao longo do tempo. No P4 (01/07/2004 a 27/07/2004) e no P5 (02/08/2004 a 11/09/2004) a estratificação térmica encontra-se perfeitamente estabelecida sendo possível encontrar uma correspondência entre a variação dos parâmetros analisados ao longo da coluna de água e as distintas camadas da massa de água. Com o desenvolvimento da estratificação térmica a concentração de oxigénio dissolvido no hipolímnio diminuiu progressivamente, aproximando-se de zero a partir do P5.

Tabela 1 – Concentração de clorofila *a* (*Fundo = a 1 m acima dos sedimentos)

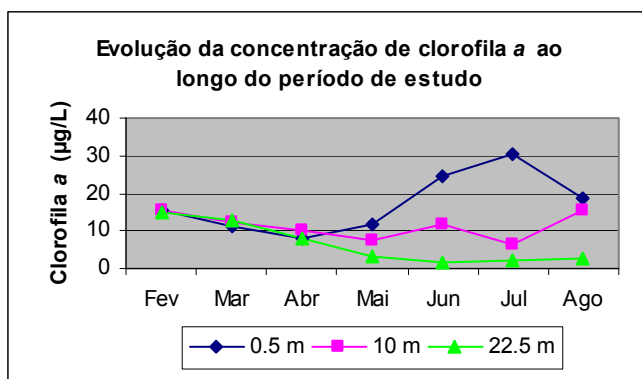
Ponto A	Clorofila <i>a</i> (µg/L)			Valor médio
	0.5 m	10 m	Fundo*	
25/02/04	15.23	15.24	15.03	15.17
17/03/04	11.04	12.36	12.56	11.99
28/04/04	8.24	9.89	7.83	8.65
24/05/04	11.47	7.41	3.30	7.39
15/06/04	24.78	11.94	1.85	12.86
20/07/04	30.40	6.38	2.06	12.95
31/08/04	18.74	15.24	2.85	12.28

No que diz respeito ao pH, durante o período de mistura, a água apresentou-se ligeiramente alcalina com valores que variaram entre 7.0 e 7.5. Durante a estratificação térmica, o epilímnio tornou-se mais alcalino chegando a atingir valores superiores a 9.0, próximo da superfície. O pH no hipolímnio variou, no sentido

inverso, registando-se valores próximos de 6.5 nas camadas mais profundas.

A turvação da água acompanha a distribuição vertical da concentração de clorofila *a*; mantém-se constante ao longo da coluna de água durante o período de mistura e apresenta máximos epilimnéticos durante o período de estratificação térmica. O pico observado junto ao fundo resulta da acumulação de detritos. A concentração de clorofila *a* durante o período analisado e ao longo da coluna de água está representada na Tabela 1 e nas Figuras 4 e 5.

A determinação da concentração de Clorofila *a* no fitoplâncton foi considerada OCDE (1982) como um parâmetro essencial nos programas de monitorização da eutrofização de águas interiores, sendo escolhida como parâmetro *standard* da biomassa do fitoplâncton, e como indicador do estado trófico (Gonçalves, 1997a).



No P1 e P2, a clorofila *a* manteve-se constante ao longo da coluna de água. Nos restantes períodos, existe uma diferenciação vertical acentuada com máximos epilimnéticos. Este parâmetro evidencia uma variação sazonal significativa (Figura 5). Em Abril e Maio verificaram-se mínimos sazonais. No entanto, em Maio já se verificou alguma diferenciação vertical que acompanha o início da estratificação térmica do período P3.

Figura 5 – Evolução da concentração de clorofila *a* ao longo do período de estudo

O máximo epilimnético de Julho correspondeu ao *bloom* de *Microcystis flos-aquae* registado nessa altura do ano. A partir do P3 o valor de biomassa junto aos sedimentos foi muito baixo, devido à influência das características físico-químicas registadas nessa altura do ano. Com efeito, a massa de água começa a estratificar e apresenta valores muito baixos de oxigénio dissolvido a essa profundidade, sendo conhecido que estas condições impedem o desenvolvimento da comunidade fitoplanctónica (Gonçalves, 1997b).

Durante o período analisado a comunidade fitoplanctónica foi dominada pelas cianobactérias, que apresentaram sempre uma abundância superior a 98%. (Figura 6). No entanto, na colheita de Fevereiro, correspondente ao período de mistura de Inverno, sobressaem as diatomáceas como segundo grupo mais abundante, das quais a *Asterionella formosa* representa 74% do grupo. A *Fragilaria* sp. é o segundo género mais representativo desse grupo, nesse mês, com 23% da abundância, mantendo valores dessa ordem durante os períodos P1 e P2 de mistura. As clorófitas mantiveram uma abundância relativamente constante ao longo de todo o período analisado. Os restantes grupos fitoplanctónicos mantiveram-se com pouca expressão, apresentando um ligeiro aumento no fim da Primavera e início de Verão. A seguir ao máximo de diatomáceas observado em Fevereiro, foi possível registar um mínimo sazonal do início da Primavera, correspondente a uma fase límpida (Lampert & Sommer, 1997) comprovado pelos valores de clorofila *a* obtidos (Tabela 1).

No fim da Primavera e início do Verão verificou-se o desenvolvimento das cianobactérias, com acumulações superficiais visíveis durante as campanhas de amostragem, constituídas maioritariamente por *Microcystis flos-aquae*. Este *bloom* de cianobactérias foi comprovado pelos valores de transparência da massa de água e pelos máximos epilimnéticos de turvação e clorofila *a* registados nessa altura do ano.

Com o desenvolvimento do *bloom* de *Microcystis flos-aquae* começaram-se a formar escumas superficiais que se acumularam essencialmente junto às margens da Lagoa, devido à orientação

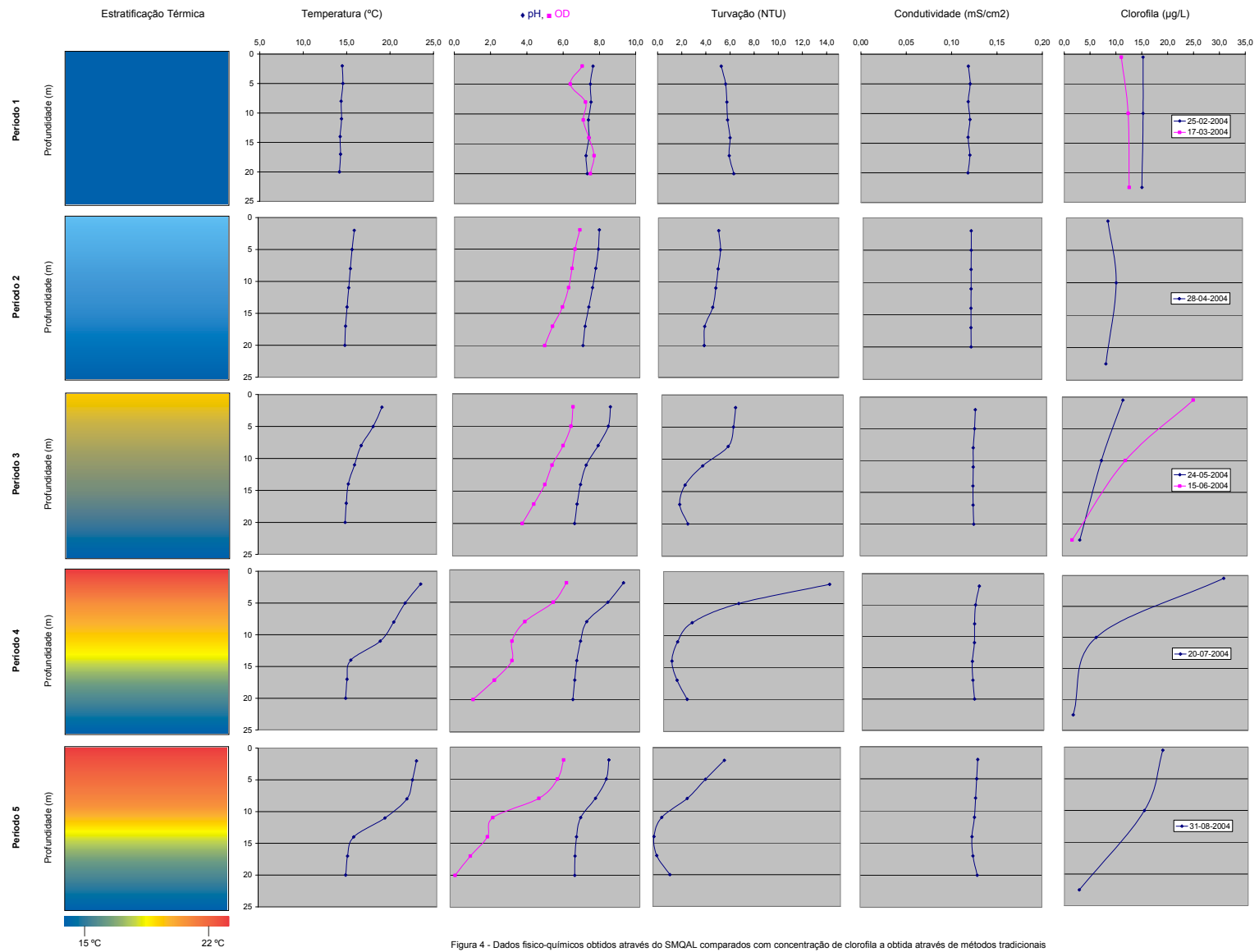


Figura 4 - Dados físico-químicos obtidos através do SMOAL comparados com concentração de clorofila a obtida através de métodos tradicionais

dos ventos (Santos & Santana, 2003). No entanto, as Figuras 6 e 7 demonstram uma diminuição tanto da densidade como da biomassa de cianobactérias e, em particular, de *Microcystis flos-aquae*. Este facto resulta da metodologia de amostragem utilizada: a amostra composta fornece uma abundância média na coluna de água, não detectando concentrações em estratos definidos como acontece com *Microcystis flos-aquae* junto à superfície. Durante a estratificação térmica, um pico superficial de clorofila *a* detectado, resultante do *bloom* de *Microcystis flos-aquae* concentrado à superfície da massa de água (colheita a 0.5 m) é diluído na amostra composta por essa corresponder a toda a coluna de água e ter a sua primeira recolha aos 2.0 m.

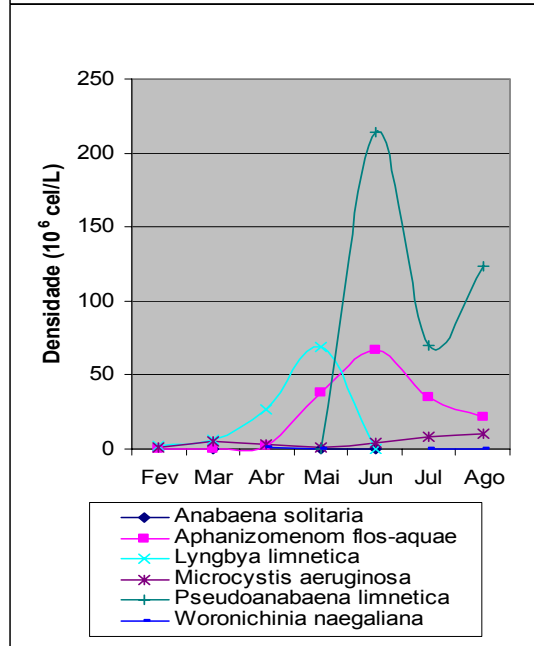
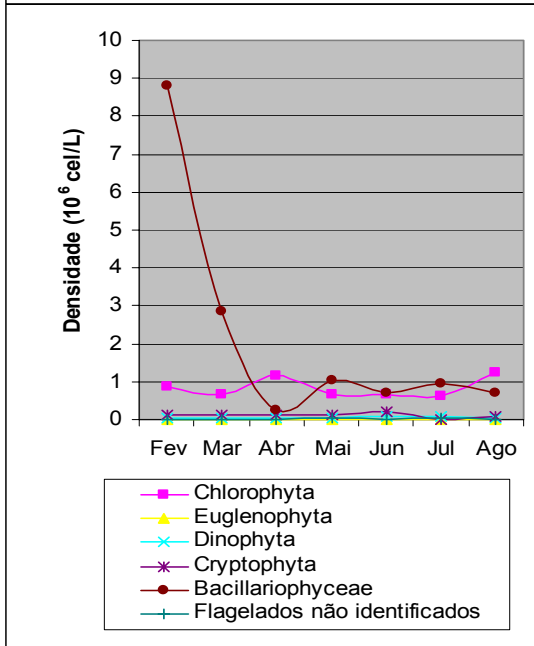
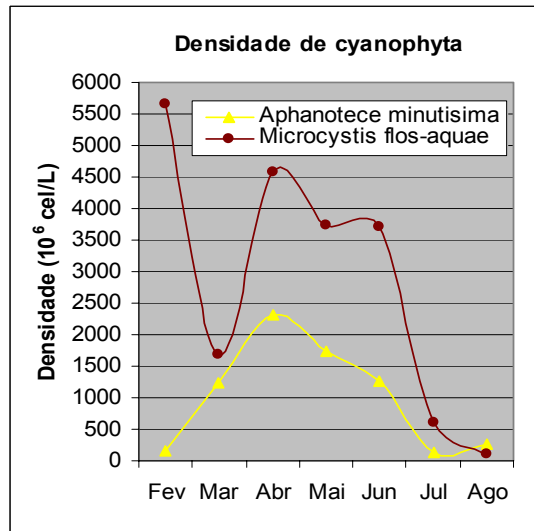
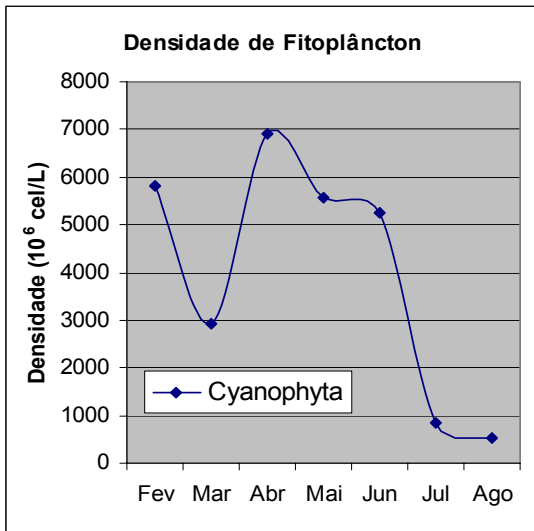


Figura 6 – Densidade de Fitoplâncton

Figura 7 – Densidade de cyanophyta

A abundância de cianobactérias é elevada durante todo o ano. As espécies com maior abundância, para além do *Microcystis flos-aquae*, foram *Aphanizomenom flos-aquae*, *Aphanotece minutissima*, *Lyngbya limnetica* e *Pseudoanabaena limnetica* (Figura 7). Verificou-se uma alternância sazonal das cianobactérias filamentosas, registando-se a presença de

Lyngbya limnetica de Fevereiro a Junho com densidade máxima em Maio e a presença de *Pseudoanabaena limnetica* de Maio a Agosto com densidade máxima em Junho.

5. Conclusões e Perspectivas Futuras

O presente trabalho evidencia que o recurso à monitorização *in continuum* permite detectar, em tempo real, a evolução das características físico-químicas da água da lagoa das Sete Cidades, contribuindo para uma melhor compreensão da dinâmica da comunidade fitoplanctónica e do ecossistema lagunar no seu conjunto. Esse conhecimento confere à DROTRH uma maior eficácia na decisão relativamente às intervenções que entende promover com vista à protecção da qualidade da água e à defesa da saúde pública.

Em termos de perspectivas futuras, julga-se que o aperfeiçoamento do SMQAL, possibilitando o reencaminhamento dos dados para um software de tratamento de dados que permita “data mining”, permitirá reforçar o esforço de controlo da qualidade da água, incluindo a possibilidade de prever alertas e a capacidade de receber dados biológicos (composição, abundância e biomassa fitoplanctónica e dados toxicológicos). Por outro lado os dados recolhidos pelo SMQAL, quando completados com os dados químicos do analisador NPA da Systea (em aperfeiçoamento), poderão fornecer elementos valiosos para os trabalhos em curso referentes à modelação do ecossistema lagunar. Finalmente, em resposta ao interesse da opinião pública sobre esta temática, toda a informação obtida pode ser preparada para ser introduzida no *website* da SRA.

6. Agradecimentos

M. Medeiros deseja exprimir o seu reconhecimento aos colegas e funcionários da SRA que participaram nas campanhas de amostragem.

7. Referências Bibliográficas

- Blomqvist, P. (2001): A proposed standard method for composite sampling of water chemistry and plankton in small lakes, *Environmental ecological and statistics*, **8**, 121-134.
- Gonçalves, V. (1997a): *Determinação da clorofila a e feopigmentos de microalgas em acetona e etanol*, Relatório de aula prática, Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica na área de Botânica, Universidade dos Açores, Ponta Delgada.
- Gonçalves, V. (1997b): *Estrutura da comunidade fitoplanctónica da Lagoa das Furnas*, Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica na área de Botânica, Universidade dos Açores, Ponta Delgada.
- Huber-Pestalozzi, G. (1975): Das Phytoplankton des Süßwassers, Die Binnengewässer, Band XVI, Teil 1, Blaualgen, Bakterien, Pilze (2ª Ed.). E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- IPQ (1997): *Qualidade da água. Doseamento da clorofila a e dos feopigmentos por espectrometria da absorção molecular. Método de extracção com acetona*. NP 4327, 1996, Instituto Português da Qualidade, Monte da Caparica.
- Komarek, J. & Anagnostidis, K. (2001): Cyanoprokaryota, Oscillatoriales, *Susswasserflora von Mitteleuropa*, Vol. 19, Part 2, 750 pp.
- Lampert, W. & Sommer, U. (1997): *Limnoecology: The ecology of lakes and streams*, Oxford University Press, Oxford.
- Lee, R. E. (1992): *Phycology*, 2nd Ed, Cambridge University Press, Cambridge.
- Lorenzen, L.J. (1967): Determination of chlorophyll and pheo-pigments: Spectrophotometric equations, *Limnology and Oceanography*, **12**: 343-346.

Lund, J., Kipling, C. & Le Cren, E. (1958): The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting, *Hydrobiologia*, **11**:143-170.

Margalef, R. (1974): Counting, *In*: Vollenweider, R. A. (Ed.), *A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments*, 2nd ed.: 7-16, Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Medeiros, M.C. (2003): *Plano para a Monitorização e Controlo in continuum da Lagoa das Sete Cidades*, Relatório Inicial, DSRH, DROTRH, Secretaria Regional do Ambiente, Ponta Delgada.

Medeiros, M.C. (2004): Ensaio Piloto de Precipitação de Fósforo por Sulfato de Alumínio na Lagoa Azul das Sete Cidades, *Plano para a Monitorização e Controlo in continuum da Lagoa das Sete Cidades*, DSRH, DROTRH, Secretaria Regional do Ambiente, Ponta Delgada.

DROTRH (2001): *Plano Regional da Água da Região Autónoma dos Açores*, Relatório Técnico, eds. Secretaria Regional do Ambiente e Instituto da Água, Ponta Delgada.

Santos, M.C.R. & Santana, F.J. (2003): *Toxicidade de Cianobactérias nas Lagoas das Sete-Cidades e Furnas (Ilha de São Miguel – Açores)*, Relatório 2001/2002, DCEA/FCT/Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Wetzel, R.G. (1993): *Limnologia*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.