



Toxicidade a Cianobactérias: Impacte Potencial na Saúde Pública em populações de Portugal e Brasil

Fernando Bellém*, Susana Nunes**, Manuela Morais**

*Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa

**Laboratório da Água da Universidade de Évora

RESUMO

Como recurso natural fundamental à vida, a água e os ecossistemas aquáticos devem ser alvo de avaliação contínua, no que se reporta à sua qualidade física, química e biológica. Segundo a Organização Mundial de Saúde cerca de 1,1 biliões de pessoas estão impossibilitadas em aceder a qualquer tipo de água potável e, as populações residentes nas proximidades de rios, lagoas, e reservatórios utilizam estas águas para as suas necessidades de consumo, aumentando o risco de transmissão de doenças. Enquanto constituintes da comunidade fitoplanctónica, as cianobactérias são microrganismos procaríotas, fotossintéticos, que obtêm os nutrientes diretamente da coluna de água e, um aumento da concentração de nutrientes (principalmente azoto e fósforo), associado a condições ambientais favoráveis, pode desencadear um crescimento rápido originando fluorescências. Sob determinadas condições as cianobactérias podem produzir toxinas existindo registos que evidenciam que fluorescências tóxicas são responsáveis pelo envenenamento agudo e morte de animais e humanos pelo que, a água utilizada para consumo humano deverá ser regularmente monitorizada para este elemento biológico. O objetivo deste estudo é relacionar a ocorrência de fluorescências de cianobactérias (> 2000 cel/ml) e toxicidade associada, com o impacte potencial na Saúde Pública avaliado através do consumo direto ou indireto da água. Em Portugal foram selecionados oito reservatórios situados na região Sul, pertencentes às bacias hidrográficas do Sado e Guadiana e estudados entre 2000 e 2008. No Brasil foram selecionados os reservatórios de Três Marias (Estado de Minas Gerais) e de Tucuruí (Estado do Pará) e estudados em 2005 e 2006 respetivamente. Os reservatórios foram caracterizados em termos físicos e químicos, tendo-se igualmente procedido à caracterização da comunidade fitoplanctónica através da identificação e quantificação dos principais grupos presentes em diferentes épocas do ano. Em termos fitoplanctónicos os reservatórios portugueses apresentaram maior diversidade, verificando-se contudo dominância das cianobactérias na comunidade. Associados a fluorescências, foram registados nestes reservatórios géneros produtores de hepato e neurotoxinas como *Aphanizomenon sp*, *Microcystis aeruginosa* e *Oscillatoria sp*. No Brasil, em situação de fluorescências, os géneros produtores de neuro e hepatotoxinas foram *Microcystis* (> 350.000 cels/ml), e *Cylindrospermopsis*. A presença destes géneros, poderá constituir um risco potencial para a saúde pública, pelo que é importante a implementação de medidas de mitigação em todos os reservatórios objeto de estudo, devendo essa atuação passar pelo controle do estado trófico no sentido de evitar o desenvolvimento de fluorescências. Assim sugere-se a implementação de um tratamento adequado para a produção de água de consumo e a organização de ações de sensibilização e aviso e informação às populações que utilizam os reservatórios em Portugal e no Brasil para diversos usos.

Palavras-chave: cianobactérias; fluorescências; toxinas; saúde pública

Abstract

As a life fundamental natural resource, water and aquatic ecosystems must be continuously evaluated in their physical, chemical and biological quality. According World Health Organization, 1.1 billion people has no chance to access any kind of potable water. Populations living near rivers, lagoons or reservoirs use those waters to content their needs, increasing



risks disease transmission. As members of phytoplankton community, cyanobacteria are prokaryotic, photosynthetic microorganisms and get its nutrients directly from water column. The increase of this nutrients (especially nitrogen and phosphorus) associated with favorable environment conditions, can support a sudden grow and instigate blooms. Under specific conditions cyanobacteria can produce toxins and several records have shown that toxic blooms are responsible by acute poisoning and death in animals and humans so, water for human consumption must be regularly surveyed for this biologic element. The aim of this study is to correlate Cyanobacteria blooms (>2.000 cels/ml) and connected toxicity with public health impact, evaluated through water consumption. In Portugal, eight reservoirs located in the South region were selected and study between 2000 and 2008. In Brazil, Três Marias reservoir (Minas Gerais Province) and Tucuruí (Pará Province) were selected and study in 2005 and 2006. Reservoirs were characterized in physical and chemical aspects, as well as phytoplankton community, through identification and counting of main present groups along study period. In bloom circumstances, liver toxins and neurotoxins producers like *Aphanizomenon sp*, *Microcystis aeruginosa* and *Oscillatoria sp*. were founded in Portuguese reservoirs. In Brazil, cyanobacteria genera involved in toxic bloom were *Microcystis* (> 350.000 cels/ml) and *Cylindrospermopsis*. This genera presence represents a potential risk for public health, and show the requirement to implement mitigation measures in all study reservoirs. These measures can be represented by water eutrophication control to avoid blooms, by appropriate treatments of water to human consumption, and public warnings or information to dose people in Portugal and Brazil that use these reservoirs to several activities.

Key-words: cyanobacteria; bloom; toxins; public health

1. Introdução

Como recurso natural indispensável à vida, a água utilizada pelo Homem para consumo direto ou contacto (eg. recreativo), deve ser alvo de avaliação contínua, no que se reporta à sua qualidade física, química e microbiológica. Segundo a WHO (2005), cerca de 1,1 biliões de pessoas não conseguem aceder a qualquer tipo de água potável e, as populações residentes nas proximidades de rios, lagoas, e represas, utilizam estas águas para a satisfação das suas necessidades básicas de consumo, aumentando o risco de transmissão de doenças. A comunidade fitoplanctónica desenvolve-se na coluna de água, destacando-se grupos como: Cyanobacteria (cianobactérias), Chlorophyceae (algas verdes), Chrysophyceae (crisofíceas), Bacillariophyceae (diatomáceas), Cryptophyceae (criptofíceas), Dinophyceae (dinoflagelados), Euglenophyceae (euglenófitas) e Conjugatophyceae (e.g. desmidiáceas), (INAG, 2009). As cianobactérias são procariontes fotossintéticos que além das substâncias lipossolúveis (clorofila e carotenoides), possuem ficocianina (hidrossolúvel), responsável pela coloração azul-esverdeada característica (CRAYTON, 2004).

O aumento da concentração de nutrientes como azoto e fósforo na água, associado a condições ambientais favoráveis, suscita um crescimento rápido da comunidade fitoplanctónica, originando fluorescências (densidades superiores a 2000 células/ml). Estas devem ser monitorizadas com o objetivo de identificar as espécies presentes, quantificar a sua abundância (células/ml) e calcular a respetiva biomassa através da determinação do bio volume celular (mm^3/l). A clorofila *a* é igualmente utilizada na avaliação da biomassa fitoplactónica, constituindo um indicador muito utilizado para a classificação do estado trófico (WHO, 1999). A dinâmica das fluorescências de cianobactérias em ecossistemas aquáticos é fortemente influenciada pelas condições hidrológicas e carga de nutrientes, tendo o desenvolvimento urbanístico, da agricultura e da indústria, conduzido ao aumento de descargas de água não controladas com ocorrência de fluorescências (PAERL, 2008).



O tempo e a duração das fluorescências dependem largamente das condições climáticas podendo, em regiões de clima mediterrânico como Portugal estender-se da primavera ao princípio do outono. Nos anos secos das regiões tropicais e sub tropicais como o Brasil, as fluorescências podem ocorrer durante todo o ano (VAN APELDOORN et al., 2007). Uma das preocupações relacionadas com as fluorescências de cianobactérias é segundo Van Apeldoorn et al. (2007), o facto de alguns géneros como *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*, *Lyngbya*, *Microcystis*, *Nostoc* e *Oscillatoria* poderem produzir e libertar toxinas (cianotoxinas) para o ecossistema aquático.

Dos três grupos químicos identificados: péptidos cíclicos (microcistinas e nodularinas); alcaloides (neurotoxinas e cylindrospermopsina); e lipopolissacáridos, os péptidos cíclicos são os que se concentram no tecido hepático e, como apresentam elevada estabilidade estrutural em meio aquoso, o seu consumo pode constituir um risco elevado (WHO, 1999). De entre os mais de 60 tipos de microcistinas com capacidades tóxicas diferentes, a mais comum é a Microcistina L-R, podendo na mesma estirpe serem encontradas microcistinas diferentes (MSAGATI, 2006). A WHO (2004) apresentou valores guia para o limite de células de cianobactérias em águas de consumo humano e riscos associados, fazendo corresponder uma densidade de 20.000 a 100.000 céls/ml a um risco baixo, acima de 100.000 céls/ml um risco moderado e, uma camada visível à superfície "scum", a um risco elevado. No que se reporta a águas doces superficiais, os valores guia e riscos associados emanados pela WHO são de 20.000 céls/ml e 10 µg/L de Clorofila *a* para um risco baixo, 100.000 céls/ml e 50 µg/L de Clorofila *a* para um risco moderado e, situação de fluorescência intensa para um risco elevado (WHO, 2003).

Segundo White (2007), a ingestão de células numa concentração superior a 2.000/ml, poderá potenciar o aparecimento de sintomatologia tóxica em humanos, enquanto uma concentração superior a 15.000 células/ml potencia problemas de toxicidade, relacionados com o contacto direto com a água. Os banhos em águas contaminadas com fluorescências tóxicas podem resultar em dermatites, vermelhão ocular e labial, feridas na garganta, asma e tonturas. A ingestão de água contaminada poderá por seu lado originar queixas hepáticas em humanos, paralisia de músculos esqueléticos e respiratórios (espécies de *Anabaena*), respiração e contração muscular irregular (espécies de *Aphanizomenon*), fraqueza, vômitos, extremidades frias, diarreia, respiração pesada e morte devido a choque circulatório (espécies de *Microcystis*).

De acordo com a WHO (2003), vários estudos permitem concluir que a toxicidade é expectável em cerca de 60% de todas as amostras contendo cianobactérias. As alterações no estado de saúde associadas a cianobactérias em águas de recreio, devem ser diferenciadas entre simples sintomas de irritação cutânea e outros mais graves.

O principal objetivo do presente trabalho é relacionar a ocorrência de fluorescências de cianobactérias (> 2000 cel/ml) e toxicidade potencialmente produzida, com o impacto na Saúde Pública, avaliado através do consumo direto ou indireto da água. Propõe-se um estudo comparativo entre Portugal e Brasil.

Como objetivos específicos, poderão enunciar-se:

- (i) Efetuar a caracterização física, química e fitoplanctónica da água dos reservatórios objeto de estudo em Portugal e Brasil, identificando níveis de toxicidade



- potencialmente produzidos por cianobactérias, e identificar os períodos do ano com níveis críticos de contaminação ($> 1,0\mu\text{g/l}$).
- (ii) Relacionar as fluorescências de cianobactérias e toxicidades potencialmente produzidas, com o conseqüente impacte nas populações expostas, efetuando um despiste de precaução que nos facilite o estudo comparativo entre Portugal e Brasil.
 - (iii) Apresentar medidas corretivas que visem a melhoria do nível de vida das populações que contactam diretamente com água contaminada.

2. Metodologia

2.1 Caracterização das regiões estudadas

Em Portugal os oito reservatórios selecionados para o estudo situam-se no Sul do País, nomeadamente Alvito (14,8Km²), Monte da Rocha (11 Km²) e Roxo (13,7 Km²) situados na bacia hidrográfica do Sado, Boavista (3,5 Km²), Enxoé (2 Km²), Monte Novo (2,7 Km²) e Vigia (2,6 Km²) localizados na bacia hidrográfica do Guadiana, e St^a Clara (19 Km²) situado na bacia hidrográfica de Mira. Segundo a classificação de Koppen, o clima da região é temperado mediterrânico, caracterizados por apresentar verões quentes e chuvas no inverno (Csa). No Brasil os dois reservatórios selecionados para o estudo foram Três Marias (1.142 Km²) e Tucuruí (2.430 Km²). O reservatório de Três Marias situa-se no Estado de Minas Gerais, cujo clima tropical apresenta duas estações bem delimitadas pelas chuvas (inverno quente e seco e verão quente e chuvoso). O reservatório de Tucuruí situa-se no Estado do Pará que apresenta um clima tropical húmido, que segundo a classificação de Koppen (Amw), o período de Junho a Novembro corresponde à estação seca.

2.2 Caracterização Físico-Química

Para a caracterização físico química, os parâmetros selecionados foram a Temperatura, o pH, a Condutividade, a Saturação de Oxigénio, o Azoto Amoniacal, os Nitratos, o Fósforo Total, o Manganês, a Carência Bioquímica de Oxigénio e Azoto Total. Os valores dos parâmetros físicos e químicos dos reservatórios portugueses, foram obtidos a partir de uma matriz de dados disponibilizada pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH). A matriz de dados físico-químicos dos reservatórios brasileiros foi adquirida a partir do Laboratório da Água da Universidade de Évora. O período de avaliação dos reservatórios portugueses estendeu-se de 2000 a 2008 (Roxo), de 2000 a 2007 (Monte Novo e Vigia), de 2000 a 2005 (Alvito e Monte da Rocha), limitando-se aos anos de 2006/2007 no reservatório da Boavista, 2003/2004 reservatório de Enxoé e 2000 no reservatório de St^a Clara. Nos reservatórios brasileiros a colheita de dados abrangiu vários locais, durante os anos de 2005 (Três Marias) e 2006 (Tucuruí).

2.3 Caracterização Fitoplanctónica

A avaliação fitoplanctónica dos reservatórios portugueses e brasileiros baseou-se em dados fornecidos pelo Laboratório da Água da Universidade de Évora, obtidos a partir da identificação e quantificação (Método de Utermöhl), e do cálculo do biovolume dos organismos pertencentes a cada *taxon*. Complementarmente foi determinada a concentração da clorofila *a* com recurso a espectrofotometria de absorção molecular, equação de Lorenzen (1967).



A identificação de grupos algais dominantes na população fitoplanctónica em situação de fluorescência nas diferentes estações do ano, permitiu avaliar o impacto potencial na saúde da população exposta, pela associação entre o género de cianobactéria presente e tipo de toxina produzida.

2.4 Tratamento de dados

Os dados foram inicialmente trabalhados com recurso à estatística descritiva de modo a identificar medidas de tendência central e de dispersão para cada um dos parâmetros. Com o objetivo de avaliar gradientes temporais (reservatórios portugueses) e espaciais (reservatórios brasileiros), foram efetuadas representações gráficas através de diagramas de extremos para os parâmetros como o Azoto Total e o Fósforo Total. Estas representações permitiram detetar a existência de “outliers” e apontar comportamentos assimétricos no vetor de dados. Apesar da significância de alguns “outliers”, verificou-se que as influências que poderiam ter no desvio da média, não iria alterar o sentido da interpretação. Para estimar os níveis de risco associados ao contacto e ingestão de águas contaminadas por cianobactérias, foram utilizados guidelines emitidos pela WHO (2004). As análises e representações gráficas apresentadas, foram efetuadas através do programa estatístico *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 13.

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização Físico-Química

As condições químicas, físicas e hidrológicas condicionam a comunidade fitoplanctónica regulando a sua dinâmica, biomassa, composição e abundância (INAG, 2009). De ente os compostos azotados avaliados, as concentrações médias de Nitratos e Azoto Amoniacal registadas situam-se abaixo dos valores máximos permitidos nas legislações portuguesa e brasileira. No que respeita aos Nitratos, a concentração média nos reservatórios portugueses foi inferior a 50mg/L, Valor Máximo Recomendado (VMR), enquanto que nos reservatórios brasileiros a concentração foi inferior a 10,0mg/L, Valor Máximo (VM) na legislação brasileira

Tabela 1- Concentrações médias e desvio padrão para os parâmetros físico-químicos avaliados nos reservatórios portugueses

| Albufeiras Portuguesas | Alvito | Boavista | Enxoé | M ^{te} Novo | M ^{te} da Rocha | St ^a Clara | Roxo | Vigia |
|--|------------------|------------------|------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|------------------|
| Período Avaliado | 2000/05 | 2006/07 | 2003/04 | 2000/07 | 2000/05 | 2000 | 2000/08 | 2000/07 |
| Parâmetros Avaliados (2000/2008) | | | | | | | | |
| Temperatura (°C) | 18.6 SD 4.7 | 19.3 SD 4.8 | 19 SD 4.8 | 18.8 SD 5.1 | 21.1 SD 4.6 | 18.1 SD 5.6 | 18.1 SD 4.2 | 18.7 SD 5.4 |
| pH | 8.1 SD 0.2 | 8.2 SD 0.2 | 8.1 SD 0.2 | 8.2 SD 0.4 | 7.8 SD 0.2 | 7.5 SD 0.1 | 8.1 SD 0.2 | 7.8 SD 0.5 |
| Condutividade(µS/cm) | 302.7 SD 36.3 | 239.3 SD 34.7 | 467.0 SD 55.6 | 350.8 SD 56.0 | 382.1 SD 21.0 | 177.8 SD 5.3 | 1064. SD 182.3 | 275.4 SD 63.2 |
| SO (%) | 99 SD 22.9 | 86.1 SD 14.6 | 79.8 SD 22.4 | 92.2 SD 19.3 | 73.6 SD 12.0 | 70.5 SD 8.1 | 85.1 SD 20.0 | 71.7 SD 28.4 |
| Azoto Amoniacal (mg/L) | 0.05 SD 0.02 | 0.09 SD 0.04 | 0.35 SD 0.5 | 0.12 SD 0.07 | 0.05 SD .01 | 0.04 SD .00 | 0.16 SD 0.14 | 0.16 SD 0.10 |
| Nitratos (mg/L) | 0.77 SD 0.4 | 1.8 SD 1.3 | 0.68 SD 0.36 | 1.1 SD 0.8 | 0.72 SD 0.5 | 0.69 SD 0.4 | 1.4 SD 0.9 | 2.1 SD 1.3 |
| Fósforo Total (mg/L) | 0.03 SD 0.02 | 0.1 SD 0.04 | 0.14 SD 0.04 | 0.07 SD 0.03 | 0.05 SD 0.01 | 0.03 SD .00 | 0.06 SD 0.03 | 0.06 SD 0.03 |
| Manganês (mg/L) | 0.07 SD 0.07 | 0.1 SD 0.07 | 0.10 SD 0.03 | 0.06 SD 0.04 | 0.12 SD 0.16 | 0.01 SD .00 | 0.04 SD 0.04 | 0.18 SD 0.24 |
| Carência Bioquímica de Oxigénio (mg/L) | 3,0 SD 1.0 | 3,0 SD 0,0 | 4,6 SD 1,2 | 3,6 SD 0,9 | 3,6 SD 1,7 | 1,5 SD 1,1 | 3,8 SD 1,1 | 3,9 SD 1,6 |
| Azoto Total (mg/L) | 1.3 SD 0.5 | 2.4 SD 1.4 | 2.7 SD 0.6 | 2.2 SD 0.8 | 1.5 SD 0.5 | 0.9 SD 0.4 | 2.3 SD 0.9 | 3.2 SD 1.5 |



(Tabela 1).

Relativamente ao Azoto Amoniacal, apesar da elevada concentração registada no reservatório de Enxóe, cerca de 90% reservatórios portugueses apresentaram níveis inferiores a 1,5mg/L,

VMR para águas superficiais que serão submetidas a tratamentos químico, físico e desinfecção. Nos reservatórios brasileiros (Tabela 2) os valores médios não ultrapassam o VM (3,7mg/L, para pH \leq 7,5) para águas doces de classe 1 e 2 (Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005).

Tabela 2- Concentrações médias e desvio padrão para os parâmetros físico-químicos avaliados nos reservatórios brasileiros

| Represas Brasileiras | Três Marias | Tucuruí |
|--|------------------|-----------------|
| Período Avaliado | 2005 | 2006 |
| Parâmetros Avaliados (2005/2006) | | |
| Temperatura (°C) | 27.3 SD 0.3 | 30.9 SD 0.2 |
| pH | 7.3 SD 0.2 | 7.1 SD 0.5 |
| Condutividade(μ S/cm) | 57.5 SD11.9 | 50.4 SD 7.3 |
| SO (%) | 85.4 SD 10.1 | 71.6 SD 1.6 |
| Amonia (mg/L) | 0.03 SD 0.006 | 0.06 SD 0.04 |
| Nitratos (mg/L) | 0.08 SD 0.05 | 0.14 SD 0.14 |
| Fósforo Total (mg/L) | 0.09 SD 0.08 | 0.07 SD 0.05 |
| Manganês (mg/L) | 5.0 SD 7.0 | 0.04 SD .008 |
| Carência Bioquímica de Oxigénio (mg/L) | - | - |
| Azoto Total (mg/L) | 0.9 SD 0.3 | 0.98 SD 0.98 |

Os valores médios obtidos para o Azoto Total manifestaram igual tendência que os Nitratos e Azoto Amoniacal ou seja, nos reservatórios portugueses, os valores médios registados apresentaram-se em geral superiores aos dos reservatórios brasileiros (Figura 1). Relativamente ao Fósforo Total, os reservatórios Brasileiros de Três Marias e de Tucuruí (Tabela 2) mostraram teores médios acima do VM (0.020mg/L) permitido em ambiente lântico, e do VM (0,025 mg/L) permitido em ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, contrariamente aos reservatórios portugueses cujos níveis médios se situaram entre 0,03 e 0,14 mg/L (Tabela 1), claramente abaixo do valor previsto na legislação (Decreto-Lei 236/98).

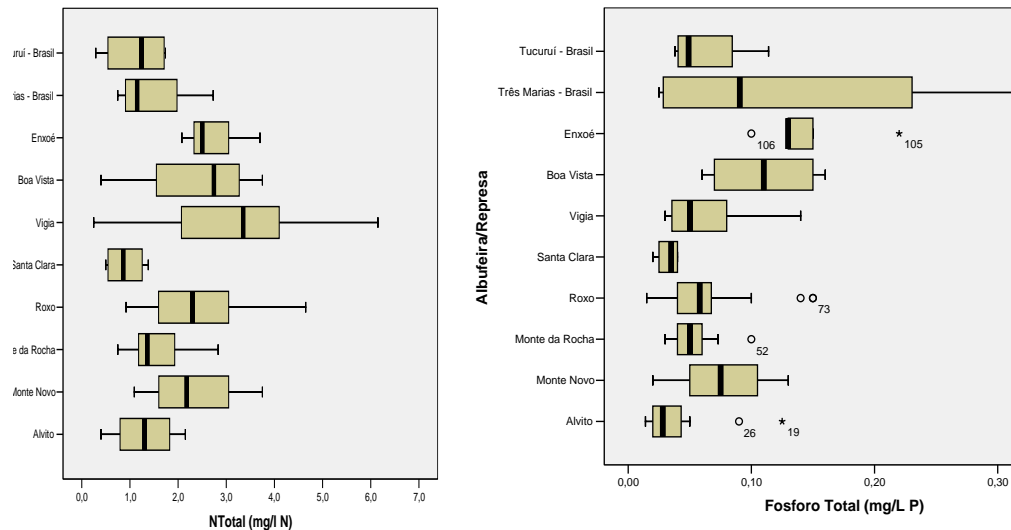


Figura 1: Diagramas de extremos para os parâmetros Azoto Total e Fósforo Total, desenhado individualmente por reservatório. Indicação da mediana, dos quartis superiores e inferiores e identificação de "outliers"

De todas as massas de água estudadas, os reservatórios de Enxóé em Portugal e de Três Marias no Brasil, são os que apresentaram os valores de fósforo total mais elevados (Figura 1). O reservatório de Enxóé destina-se à produção de água para consumo humano e, o facto de ter sido recetora de águas residuais por vezes com tratamento deficiente, efluentes industriais e atividades de bovinicultura, contribuiu para a eutrofização da albufeira. Segundo Coelho e Leitão (2001), desde 2001 que o desenvolvimento de fluorescências de cianobactéria interdita a produção de água para esse fim. Por seu lado, de acordo com o Relatório do Sistema Estadual de Meio Ambiente/MG - SISEMA (2005), até 1983 chegaram ao rio águas industriais não tratadas, efluentes domésticos, para além do uso indiscriminado de pesticidas e herbicidas (GOMES, 2009). A Saturação de Oxigénio (SO) e Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO) apresentaram valores médios elevados nos reservatórios portugueses (Tabela 1), podendo este aumento estar associado à produção de Oxigénio por algas e outros produtores primários através da fotossíntese no caso da SO (MENDES; OLIVEIRA, 2004), ou ser devido ao aumento de resíduos orgânicos por contaminação das águas recetoras no caso da CBO. Nos reservatórios brasileiros, o valor de SO também se apresenta acima dos 50% (Tabela 2).

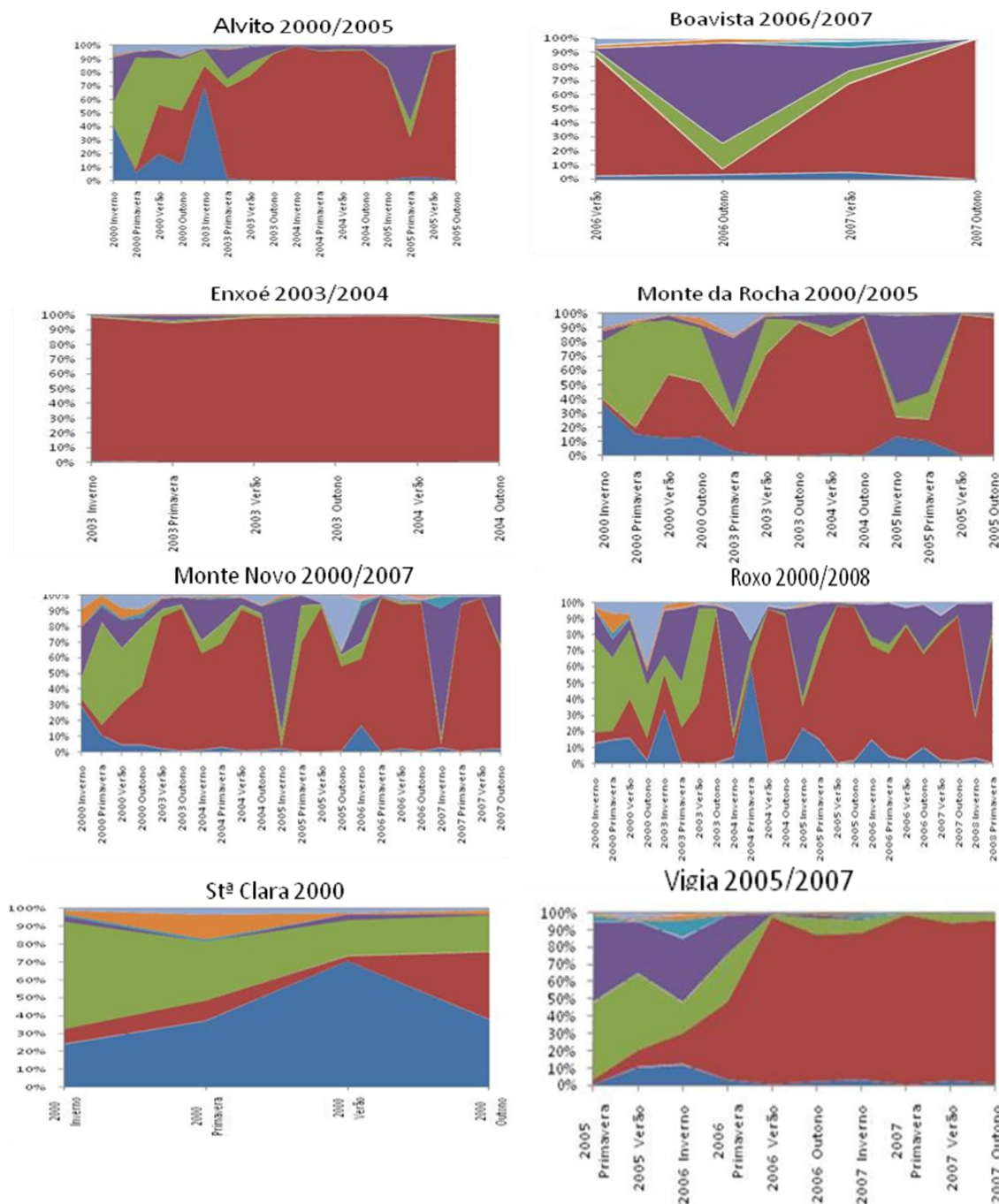
De um modo geral o Manganês apresentou valores elevados nos reservatórios estudados, excetua-se contudo os reservatórios do Roxo e St^a Clara em Portugal (< 0,05mg/L), e Tucuruí no Brasil (< 0,1 mg/L). Relativamente aos parâmetros físicos avaliados refira-se que a Temperatura dos reservatórios brasileiros apresentou em média valores mais elevados do que a temperatura dos reservatórios portugueses, podendo esse fato favorecer a ocorrência de fluorescências. Em relação ao pH, os reservatórios portugueses registaram valores que nos permitem referir uma alcalinidade ligeira. Para além da mineralização, a contaminação de sais provenientes de efluentes e resíduos pode influenciar o aumento da Condutividade. Com um



VMR de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, os reservatórios portugueses apresentaram valores médios entre 177,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Stª Clara) e 1.064,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Roxo), registrando os restantes reservatórios valores que não ultrapassam os 467 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os reservatórios brasileiros apresentaram níveis médios de condutividade substancialmente mais baixos, do que os reservatórios portugueses, registando-se como valor médio mais elevado 59,323 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.2 Caracterização Fitoplanctónica

A partir da identificação e contagem da população fitoplanctónica foi possível verificar, que de entre os reservatórios portugueses estudados (Figura 2), o de Stª Clara foi o único em que não se registou um domínio percentual de cianobactérias durante o período avaliado, verificando-se nesse reservatório, um domínio de bacilariófitas a partir da primavera de 2000, precedido de clorófitas na estação anterior.





■ Bacilariófitas ■ Cianobacterias ■ Clorofitas ■ Criptófitas ■ Crisófitas ■ Euglenófitas ■ Pirrófitas ■ Prasinófitas

Figura 2: Abundância relativa dos principais grupos fitoplanctônicos em reservatórios portugueses

Dos reservatórios portugueses, Enxóé foi aquele que apresentou um domínio percentual evidente de cianobactérias (90 a 100%) sobre os restantes grupos fitoplanctônicos, durante todo o período estudado. Os restantes reservatórios apresentaram períodos relativamente longos de domínio evidente de cianobactérias, que atingiram valores próximos dos 100%, tendo-se verificado esporadicamente a dominância de clorófitas, crisófitas e criptófitas, de forma alternada ou concomitante como ocorreu nos reservatórios do Monte da Rocha e da Vigia (Figura 2).

O reservatório brasileiro de Três Marias apresentou um domínio claro de cianobactérias em toda a sua distribuição espacial (Figura 3) com valores percentuais próximos dos 100%. Apesar do domínio percentual de cianobactérias verificado também no reservatório de Tucuruí, refiram-se os locais 17 na 1ª campanha e 15 na 2ª campanha onde se verificou uma diminuição percentual deste grupo algal, com o aparecimento de bacilariófitas no local 17 e clorófitas e pirrófitas no local 15.

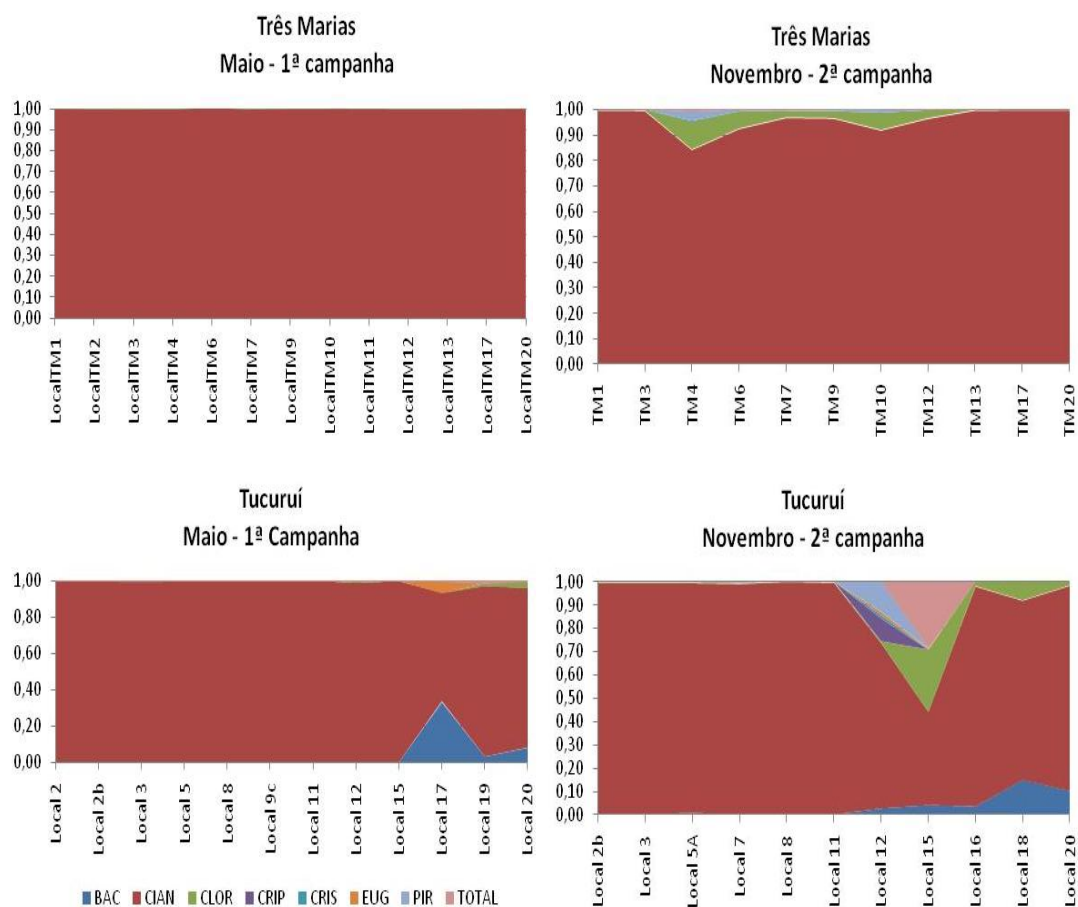


Figura 3: Abundância relativa dos principais grupos fitoplanctônicos em reservatórios brasileiros



No que se reporta à concentração de clorofila a , os valores médios mais elevados foram registados nos reservatórios portugueses (Figura 4), com especial relevo para o reservatório de Enxoé (47,7 μ g/L), onde se verificou a dominância permanente de cianobactérias (Figura 2). O reservatório do Roxo apresentou igualmente uma concentração de clorofila a relativamente elevada (25,6 μ g/L) mas o domínio das cianobactérias só apresentou um padrão de maior regularidade a partir de 2005. Antes disso, esta dominância foi alternada com clorófitas, bacilariófitas e pirrófitas.

Os valores de clorofila a registados nos reservatórios brasileiros apresentaram-se em média inferiores aos de Enxoé e Roxo (Figura 4) no entanto, os padrões de dominância de cianobactérias foram idênticos aos verificados no reservatório português de Enxoé.

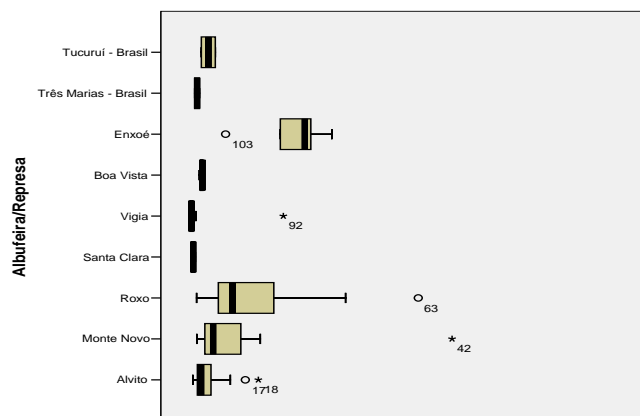


Figura 4: Concentração de clorofila a dos reservatórios objeto de estudo em diagramas de extremos, desenhados individualmente por reservatório

Segundo Morais et al. (2008), é frequente a clorofila a apresentar-se reduzida em situações de fluorescências de cianobactérias resultando esse facto da menor concentração de clorofila a por célula de cianobactérias, comparativamente com os outros grupos fitoplanctónicos.

3.3 Identificação de Fluorescências a cianobactérias

Assumindo a presença de fluorescências com contagens de células superiores a 2000/ml, pode afirmar-se que à excepção do reservatório de St^a Clara, verificaram-se fluorescências nas épocas do verão e outono em todos os reservatórios portugueses estudados, com especial atenção para:

- (i) O reservatório do Roxo, verão de 2005 (Tabela 5), em que numa das colheitas foram contabilizadas 320642 cels/ml (*Oscillatoria sp*);
- (ii) O reservatório da Boavista, outono de 2007 (Tabela 5), em que numa das colheitas foram contabilizadas 1270173 cels/ml (*Microcystis aeruginosa*);
- (iii) O reservatório de Enxoé, outono de 2003 (Tabela 5), colheita de Outubro, foram contabilizadas 817530 cels/ml (*Aphanizomenon sp*).



Na época de inverno apenas os reservatórios do Alvito, Enxoé e Roxo registaram fluorescências e, à exceção de Boavista, Monte da Rocha e Stª Clara, todos apresentaram fluorescências na primavera. Os reservatórios brasileiros de Três Marias e Tucuruí apresentaram fluorescências a cianobactérias em ambos os períodos do ano.

A população elevada que caracteriza as fluorescências fitoplanctónicas não se mantém mais do que duas semanas mas, as condições favoráveis poderão proporcionar outro crescimento e a fluorescência poderá ser substituída. Estas fluorescências sucessivas poderão manter-se durante vários meses, podendo ocorrer fluorescências mistas (CRAYTON, 1993).

Dos reservatórios portugueses objeto de estudo, o que registou maior diversidade de cianobactérias foi o reservatório do Roxo com seis géneros diferentes no verão de 2005; pelo contrário, o reservatório que evidenciou menor diversidade foi o reservatório de Monte Novo com dois géneros. Nos reservatórios portugueses os géneros referenciados como produtores de neuro e /ou hepatotoxinas foram *Aphanizomenon spp*, *Microcystis aeruginosa* e *Oscillatoria sp*. Estando estes géneros presentes nas fluorescências mais elevadas, a exposição poderia ocasionar sintomatologia ao nível hepático e ao nível do sistema nervoso (Tabela 5).

Tabela 5: Identificação dos reservatórios portugueses com fluorescências mais densas, géneros responsáveis e respetivas propriedades tóxicas e órgão alvo em humanos

| Albufeira | Colheita | Cels/ml - Cianobacteria | Propriedades tóxicas | Órgãos alvo – Alguns Sintomas associados em humanos |
|----------------|---------------|---------------------------------------|-----------------------------|---|
| Alvito | Março 2004 | 325475 <i>Snowella sp</i> | Irritantes | Pele, Olhos – erupções cutâneas, bolhas, urticária, olhos lacrimejantes ou garganta irritada) |
| Boavista | Setembro 2007 | 1270173 <i>Microcystis aeruginosa</i> | Hepatotóxico | Fígado- Dor abdominal, diarreia, vómitos, aumento de concentração sérica de enzimas hepáticos |
| Enxoé | Dezembro 2003 | 817530 <i>Aphanizomenon spp</i> | Neurotóxico Hepatotóxico | Sistema nervoso (tonturas, lábios dormentes, formigueiro nos dedos das mãos e pés. Fígado |
| Monte da Rocha | Setembro 2004 | 253226 <i>Aphanocapsa sp</i> | Irritantes | Pele, Olhos |
| Monte Novo | Junho 2006 | 114595 <i>Microcystis sp</i> | Hepatotóxico | Fígado |
| Roxo | Setembro 2005 | 320642 <i>Oscillatoria sp</i> | Neurotóxico Dermotóxico | Sistema nervoso Pele |
| Vígia | Mai 2007 | 183593 <i>Woronichinia</i> | Irritantes | Pele, Olhos |

Fonte: Corus & Bartram (1999)

Nos reservatórios brasileiros, a sintomatologia subjacente à exposição situar-se-ia a nível hepático e eventualmente a nível neurológico, uma vez que além da espécie *Microcystis aeruginosa* foi registada a presença do género *Cylindrospermopsis* (hepatotóxico), embora com menor densidade celular (Tabela 6). No entanto, é importante salientar que nem todas as



fluorescências de cianobactérias são tóxicas e, mesmo as fluorescências causadas por cianobactérias produtoras de toxinas podem não produzir toxinas com níveis detetáveis (CRAYTON, 1993).

Tabela 6: Identificação dos reservatórios brasileiros com fluorescências mais densas, gêneros responsáveis e respectivas propriedades tóxicas e órgão alvo em humanos

| Albufeira | Colheita | Cels/ml - Cianobacteria | Propriedades tóxicas | Órgãos alvo – Alguns Sintomas associados em humanos |
|-------------|----------------|---|-----------------------------|--|
| Três Marias | Primavera-2005 | 130900 - <i>Limnothrix sp</i> 6554 - <i>Microcystis aeruginosa</i> | Irritantes Hepatotóxico | Afectam todos os tecidos expostos Fígado- Dor abdominal, diarreia, vômitos, aumento de concentração sérica de enzimas hepáticos |
| Tucuruí | Outono - 2006 | 387344 - <i>Microcystis aeruginosa</i> 17420 – <i>Cylindrospermopsis</i> | Hepatotóxico Neurotóxico | Fígado- Dor abdominal, diarreia, vômitos, aumento de concentração sérica de enzimas hepáticos |

Fonte: Corus & Bartram (1999)

3.4 Medidas de Mitigação

A ocorrência de fluorescências com densidades celulares superiores a 100.000cels/ml acompanhadas de valores de clorofila *a* superiores a 10µg/ml detetadas, permitem indicar a existência de risco potencial para a saúde pública nos reservatórios portugueses (excetuando Stª Clara) e no reservatório brasileiro de Tucuruí, devido à presença de cianobactérias dos gêneros *Microcystis*, *Cylindrospermopsis*, *Aphanizomenon* e *Oscillatoria* (Tabela 7).

Tabela 7: Género de cianobactérias, respetiva toxina produzida e potencial impacte em mamíferos

| Cianobactéria (género) | Cianotoxinas | Principal órgão alvo em mamíferos |
|--|---------------|---|
| <i>Microcystis</i> <i>Aphanizomenon</i> <i>Planktothrix (Oscillatoria)</i> | Microcystins | Fígado, carcinogénico potencial em outros tecidos |
| <i>Planktothrix (Oscillatoria)</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> | Anatoxin-a | Sinapse nervosa |
| <i>Aphanizomenon</i> <i>Planktothrix (Oscillatoria)</i> | Nodularin | Fígado, carcinogénico potencial |
| <i>(Oscillatoria)</i> | Aplysiatoxins | Pele, possível promotor tumoral |

Fonte: Global Water Research Coalition, 2009



De acordo com a WHO (2004), os valores registados identificam uma correspondência com um factor de risco moderado/ alto com implicação de doença a longo prazo, para além de efeitos adversos a curto prazo. Se a ingestão de água contaminada com cianobactérias pode originar queixas de natureza variada, segundo White (2007) o contacto recreativo com uma água cuja concentração de células seja superior a 15000 células/ml, pode potenciar problemas de toxicidade (Tabela 8).

Tabela 8: Níveis de Risco associados à exposição recreativa

| Nível de Risco | Actividade recreativa |
|----------------|--|
| Elevado | Natação, mergulho, Windsurf. Atividades que envolvem imersão e por consequência elevada probabilidade de ingestão, inalação e exposição cutânea |
| Moderado | Atividades em que o risco de ingestão é reduzido, e a exposição a aerossóis e o contacto cutâneo são limitados (canoagem, vela) |
| Baixo | Atividades sem contacto com a água (acampamento, piquenique) |

Fonte: Global Water Research Coalition, 2009

Assim, importa implementar um conjunto de medidas suscetíveis de manter e promover a saúde comunitária/saúde pública, nomeadamente através da qualidade da água para consumo. Segundo a WHO (2008), várias ações podem proteger as fontes de água, diminuindo a probabilidade da ocorrência de fluorescências nomeadamente tratamentos de água eficazes para remover cianobactérias e respetivas toxinas, tais como filtração para remoção de células, oxidação com ozono ou cloração devendo ainda, conforme Van Apeldoorn (2007), ser considerada a monitorização regular para cianotoxinas nas águas destinadas ao consumo humano.

Nos programas de monitorização em águas de utilização recreativa, o nível e o tipo de monitorização deve ter em conta o historial de fluorescências a cianobactérias, o tipo de utilização da água, e a probabilidade da ocorrência de novas fluorescências em função do nível de nutrientes. Esta monitorização deve incluir a escolha do local de estudo (assegurando que este abrange a área frequentada pelo público), inspeções visuais e físicas (turvação da água e a localização de espumas), e a colheita de amostras para a contagem e identificação algal, avaliação de nutrientes e toxinas (GLOBAL WATER RESEARCH COALITION, 2009).

Pela dificuldade da vigilância durante a utilização recreativa da água, é possível aplicar medidas a curto prazo que passam pela proibição de utilização recreativa da água e pela



divulgação de informação ao público. A médio e longo prazo deve identificar-se as fontes de nutrientes (poluição), de modo a evitar o desenvolvimento de cianobactérias e outras algas potencialmente perigosas (WHO, 2003). O aumento da ocorrência de fluorescências a cianobactérias provocado pela eutrofização crescente das massas de água, tem sido encarado com preocupação pelas agências de proteção ambiental e distribuidores de água para consumo humano em muitos países (SANTOS, 2004), devido aos sérios impactos ecológicos e económicos associados.

Conclusões

Os reservatórios portugueses e brasileiros objeto de estudo apresentaram fluorescências de intensidade variável. Em Portugal, à exceção de St^a Clara, os reservatórios apresentaram dominância de cianobactérias na comunidade fitoplanctónica durante a grande parte dos períodos avaliados, registando-se em alguns casos, uma abundância relativa próxima de 100% como é o caso do reservatório de Enxoé, acompanhada de valores de clorofila a de 47,7 μ g/L. Os reservatórios brasileiros revelaram uma população fitoplanctónica igualmente dominada pelas cianobactérias com abundância relativa próxima dos 100%, acompanhada no caso do reservatório de Tucurí de uma concentração de clorofila a que superou os 10 μ g/l.

O registo de períodos com fluorescências a cianobactérias de densidades superiores a 100.000 cels/ml, pressupõe um risco potencial moderado /alto para a saúde pública, com implicação de doença a longo prazo e efeitos adversos a curto prazo uma vez que, os géneros dominantes são produtores de hépato e/ou neurotoxinas como é o caso de *Microcystis*, *Aphazinomenon* e *Oscillatoria* em Portugal e *Microcystis* e *Cylindrospermopsis*, no Brasil.

Como recetores de efluentes de natureza diversa, os reservatórios portugueses e brasileiros apresentaram concentrações de fósforo total superiores a 10 μ g/L, podendo este facto ter contribuído para o desenvolvimento exponencial de cianobactérias. Os riscos para a saúde pública associados o aumento de fluorescências a cianobactérias, implicam medidas de mitigação que poderão passar pelo controlo e tratamento dos efluentes para diminuir a eutrofização, tratamento adequado das águas para consumo e a informação destinada ao público em geral.

REFERÊNCIAS

COELHO, H.; LEITÃO, P. Modelação integrada de bacias e albufeiras: os casos do Pocinho e do Enxoé. **Revista Recursos Hídricos**, v. 1, n. 31, p. 77-85, mar. 2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), Ministério do Meio Ambiente, Brasil **Resolução nº 357**, de 17.03.2005.

CORUS, I.; BARTRAM, J. **Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management**. Geneva: published by E & FN Spon on behalf of the World Health Organization, 1999.

CRAYTON, M. A. **Toxic cyanobacteria blooms: a field/laboratory guide**. Olympia: Office of Environmental Health Assessments, Washington State Department of Health, 1993.

DIRECÇÃO REGIONAL DO AMBIENTE E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO DO ALENTEJO. **Identificação e caracterização das fontes poluidoras de carácter pontual localizadas em bacias hidrográficas das albufeiras destinadas à produção de água para consumo e em bacias drenantes para zonas balneares** (levantamento efectuado entre Agosto e Dezembro de 1999).



Beja: Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Alentejo [consultado em 25 jul. 2011]. Disponível em: <http://www.ccdr-.gov.pt/downloads/agua/fpoluidoras.pdf>

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. **Obras de proteção contra enchentes em torrentes e rios**. Florianópolis: FATMA/GTZ, 1999.

GLOBAL WATER RESEARCH COALITION. **International guidance manual for the management of toxic cyanobacteria**. London: Global Water Research Coalition, 2009.

GOMES, M. V. **Estudo da ocorrência de metais traço em sedimentos superficiais do Rio São Francisco a montante e a jusante da Represa Três Marias, Minas Gerais, Brasil, PR** [dissertation]. São Cristóvão (PR): Universidade Federal de Sergipe, 2009.

INAG. **Qualidade ecológica e gestão integrada de albufeiras**: contrato nº 2003/067/INAG. Lisboa: INAG, 2009.

MENDES, B.; OLIVEIRA, J. F. S. **Qualidade da água para consumo humano**. Lisboa: Lidel, 2004.

MINISTÉRIO DO AMBIENTE, PORTUGAL. **Decreto-Lei nº 236/98**, de 01.08.1998.

MORAIS, M. M.; PEDRO, A.; NUNES, S. **Qualidade ecológica e gestão integrada de albufeiras**: contrato protocolar nº 2003/076/INAG. Adenda ao relatório: fitoplancton. Évora: Fundação Luís de Molina/Universidade de Évora, 2008.

MSAGATI, T. A. M.; BUPE, A.; SHUSHU, S.; SHUSHU, D. Evaluation of methods for the isolation, detection and quantification of cyanobacterial hepatotoxins. **Aquatic Toxicology**, v. 4, n. 78, p. 382-397, jul. 2006.

PAERL, H. Nutrient and other environmental controls of harmful cyanobacterial blooms along the freshwater–marine continuum. In Hudnell, H. K. editor. **Cyanobacterial harmful algal blooms**: state of the science and research needs. New York: Springer, 2008. P. 217-237.

SANTOS, M. C. R.; PACHECO, D. M. D.; MUELLE, H; SANTANA, F. Fluorescências de cianobactérias nas Lagoas das Sete Cidades e Furnas (S. Miguel-Açores): causas e consequências. **8ª Conferência Nacional do Ambiente**, DCEA/FCT/UNL, Lisboa, 27-29 out. 2004.

VAN APELDOORN, M. E.; VAN EGMOND, H. P.; SPEIJERS, G. J. A.; BAKKER, G. Toxins of cyanobacteria. **Molecular Nutrition and Food Research**, vol. 51, nº 1, p. 7-60, jan. 2007.

WHITE, S. H.; DUIVENVOORDEN, L. J.; FABBRO, L. D.; EAGLESHAM, G. K. Mortality and toxin bioaccumulation in *Bufo marinus* following exposure to *Cylindrospermopsis raciborskii* cell extracts and live cultures. **Environmental Pollution**, v. 1, n. 147, p. 158-167, 2007.

WHO. **Guidelines for drinking-water quality**. 3rd edition incorporating the 1st and 2nd addenda. Geneva: WHO, 2008.

WHO. **Guidelines for drinking-water quality**, vol. 1. 3rd ed. Geneva: WHO, 2004.

WHO. **Guidelines for safe recreational water environments – Vol. 1: coastal and fresh waters**. Geneva: WHO, 2003.



WHO. **Toxic cyanobacteria in water**: a guide to their public health consequences, monitoring and management. Geneva: WHO, 1999.

WHO; UNICEF. **Water for life**: making it happen. Geneva: WHO, 2005.

Contacto: Fernando Bellém, Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa, Av. D João II, Lote 4.69.01. P-1990-096 Lisboa. Email fernando.bellem@estesl.ipl.pt. TM: 00351 96 68 38 929