

PLANEAMENTO BIOFÍSICO E GESTÃO DE ECOSISTEMAS LACUSTRES: AS LAGOAS DOS AÇORES¹

João PORTEIRO*; Helena CALADO*; Margarida PEREIRA**; José Eduardo VENTURA**;
Luz PARAMIO *

* Universidade dos Açores. Departamento de Biologia. Secção de Geografia
Rua Mãe de Deus, Apartado 1422, 9501-801 PONTA DELGADA (PORTUGAL)
Tel.: +351.296650479 Fax: +351.296650100 e-mail: geografia@notes.uac.pt

** Universidade Nova de Lisboa. e-Geo - Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional
Avenida de Berna, 26-C, 1069-061 LISBOA (PORTUGAL)
Tel.: +351.217933519 Fax: +351.217977759 e-mail: ma.pereira@fcsh.unl.pt; je.ventura@fcsh.unl.pt

1. INTRODUÇÃO

Em regiões insulares, distantes dos espaços continentais circundantes, são as condicionantes biofísicas, em particular os recursos naturais disponíveis (limitados) e a fragmentação territorial (isolamento e dispersão geográfica), aliadas às restrições tecnológicas e aspectos sócio-culturais, que acabam por determinar a capacidade de alcançarem e manterem um patamar de desenvolvimento sustentado. De modo geral, regista-se uma tendência histórica (cíclica) para que os sistemas produtivos das ilhas assentem em especializações produtivas, que consomem mas que posteriormente degradam os recursos naturais de que dependem, ocorrendo períodos de recessão, alternados com momentos de alguma prosperidade económica (Beller *et al.*, 1990).

A história dos Açores, semelhante à dos restantes arquipélagos da Macaronésia, foi marcada por “monoculturas coloniais de exportação” (Oliveira, 1989a). Os ciclos de especialização (trigo, pastel, laranja) alteraram profundamente a paisagem das ilhas e ditaram a utilização abusiva dos recursos naturais. No arquipélago, o protagonismo do modelo de crescimento fixado na pecuária com fins industriais (fileira do leite) emerge depois da Segunda Guerra Mundial. A ruptura dos métodos de produção tradicionais (assentes na exploração familiar), o alargamento da área de pastagem para além das parcelas com essas aptidões, o arroteamento generalizado da floresta endémica (hoje apenas confinada a áreas inacessíveis), o incremento progressivo do efectivo animal (estimado em 238 mil bovinos, em 2004) e a aplicação excessiva de fertilizantes, conduziram a pressões insustentáveis sobre os recursos naturais, com especial incidência para as águas interiores superficiais (lagoas).

¹ Projecto “Classificação das Lagoas dos Açores. Modelos de Gestão de Bacias Hidrográficas” POCTI/ GEO/42554/2001 - FCT. Os autores integraram a equipa do Plano de Ordenamento da Bacia Hidrográfica da Lagoa das Sete Cidades.

Receptoras dos subprodutos da actividade económica hoje dominante, as lagoas apresentam-se muito vulneráveis às pressões a que estão sujeitas, surgindo sinais inequívocos de eutrofização (acréscimo de nutrientes e consequente deterioração dos padrões de qualidade da água, devido à proliferação de algas). A degradação dos ecossistemas lacustres é considerada uma das principais disfunções ambientais do arquipélago, cuja gravidade é reconhecida pela população, comunidade científica e administração regional. O estado trófico é mais acentuado nas lagoas cujas respectivas bacias hidrográficas são exploradas pela actividade pecuária (Porteiro & Calado, 2003).

As primeiras referências sobre o problema remontam aos anos 80 do século passado (Medeiros *et al.*, 1983; Cunha, 1986; Oliveira, 1989). Todavia, foi a divulgação dos resultados das campanhas de monitorização das principais lagoas (UNL, 1991; INOVA, 1996, 1999) que chamou à atenção para os impactes das actividades económicas no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Num primeiro momento, as respostas da administração pautaram-se por medidas desenquadradas de uma visão estratégica e integrada. Visavam, apenas, minimizar os efeitos indesejáveis da eutrofização, sem combater as causas do problema. Procurava-se, somente, requalificar as lagoas e as margens envolventes, enquanto espaços com interesse paisagístico e aptidão para actividades lúdicas.

Na viragem do milénio, a magnitude do problema assumiu dimensões imprevisíveis que reclamaram alternativas de intervenção, reivindicadas por diversos quadrantes da sociedade. Na sequência dos trabalhos promovidos pela Secção de Geografia da Universidade dos Açores, relativos à 1ª Fase dos Planos de Ordenamento das Bacias Hidrográficas das Lagoas das Sete Cidades e Furnas (UA, 1998), assistiu-se a uma alteração da postura institucional. O planeamento biofísico, disciplina integradora das metodologias de ordenamento do território com as de gestão dos recursos naturais, emergiu como linha condutora do processo de requalificação dos meios lacustres regionais. A procura de aproximações eficientes despertou a comunidade científica no sentido de desenvolver instrumentos de apoio à tomada de decisão. Neste contexto, surgem os Planos de Ordenamento das Bacias Hidrográficas das Lagoas das Furnas e das Sete Cidades (aprovados em Fevereiro de 2005) e diversificam-se os projectos de investigação, cujos objectivos visam colmatar lacunas de conhecimento e estabelecer novos modelos de intervenção.

O projecto “Classificação das Lagoas dos Açores. Modelos de Gestão de Bacias Hidrográficas”, suportado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (POCTI/

GEO/42554/2001) e objecto de discussão nesta comunicação, consiste numa das mais recentes iniciativas no âmbito do processo de controlo da eutrofização. Sublinha-se o carácter inovador deste projecto, consubstanciado na formulação de equações que permitem simular os eventuais efeitos no estado das lagoas decorrentes de modelos alternativos de ocupação das bacias hidrográficas.

2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

Localizados no Oceano Atlântico Norte, quatro arquipélagos, num total de 23 ilhas e 16 ilhotas de origem vulcânica que ocupam cerca de 15 000 km², constituem a Região Biogeográfica da Macaronésia. Para além dos Açores, incluem-se os arquipélagos da Madeira, Canárias e Cabo Verde, situados, sensivelmente, entre as latitudes 15° N e 40° N e as longitudes 13° W e 31° W (Figura 1).



Figura 1 – Enquadramento Geográfico da Macaronésia

O arquipélago dos Açores estabelece o limite setentrional da Região Macaronésica, ocupando uma faixa definida pelos paralelos 36° e 39° N e pelos meridianos 24° e 31° W. Constituído por nove ilhas (2334 km²), agrupadas pela proximidade geográfica (Grupos Ocidental, Central e Oriental), o arquipélago tem orientação geral WNW-ESSE, fruto do peculiar enquadramento geodinâmico desta região do Atlântico. Muito embora existam elementos que justificam as analogias biogeográficas da Macaronésia, como o modelo de

colonização natural (Flora e Fauna), ocorrem, contudo, factores que imprimem a diferenciação dos arquipélagos.

Salienta-se, desde logo, o comportamento das variáveis climáticas: a localização mais setentrional dos Açores reflecte-se nos elevados quantitativos pluviométricos e na moderação da amplitude térmica (diária e anual). A abundância de água é um dado incontestável: o balanço hidrológico simplificado, constante no Plano Regional da Água (SRA, 2001), demonstra as disponibilidades hídricas (valores médios anuais para o arquipélago): a precipitação atinge 1930 mm, a evapotranspiração potencial ronda 1090 mm, sendo gerados cerca de 690 mm de escoamento superficial e 150 mm de recarga aquífera. Nestas condições, a singularidade hidrológica dos Açores manifesta-se na quantidade e diversidade de zonas húmidas, como sejam turfeiras, charcos, pauis e, sobretudo, as magníficas lagoas permanentes que ocupam as caldeiras dos vulcões centrais.

3. OS AMBIENTES LACUSTRES DOS AÇORES

As lagoas dos Açores constituem reservas estratégicas de água doce e desempenham funções vitais no funcionamento e manutenção dos sistemas naturais das ilhas. A excepcional importância dos ambientes lacustres das ilhas pode ser sintetizada nas seguintes funções (Porteiro, 2000): regularização e estabilização do regime hidrológico dominante, pelos efeitos “amortecedores” no escoamento torrencial; recarga contínua e aproximadamente uniforme dos aquíferos, nascentes e cursos de água (Rodrigues, 1995); biótopos de grande interesse conservacionista (Dias, 1996), reconhecidos pelas Directivas Comunitárias Aves e Habitats (79/409/CEE e 92/437/CEE, respectivamente); ecossistemas de suporte a comunidades de zonas húmidas ameaçadas de extinção (Constância *et al.*, 1997); habitats indispensáveis à sobrevivência de avifauna protegida por diversas convenções internacionais (Le Grand, 1983); massas de água com potencial para utilizações múltiplas, incluindo abastecimento público e actividades económicas (SRA, 2001); elementos singulares da paisagem das ilhas, com elevado valor cénico (Abreu, 2001; Calado, 2000); locais aprazíveis para recreio e lazer (turismo). Por todos estes motivos, as lagoas representam um valioso património natural que urge preservar.

4. ASPECTOS GERAIS DAS LAGOAS DOS AÇORES

Nos Açores existem 88 lagoas inventariadas (Tabela 1), caso único no contexto da Macaronésia (Porteiro, 2000). Encontram-se distribuídas de forma desigual por cinco das nove ilhas do arquipélago: São Miguel é a mais representada, com mais de 37% das ocorrências e 88% da superfície lacustre regional. O volume de água doce armazenado atinge cerca de $90 \cdot 10^6 \text{m}^3$, do qual quase metade corresponde às lagoas das Sete Cidades (São Miguel): Azul e Verde ($4,37 \text{ km}^2$).

| Lagoas | Sma | Smi | Ter | Gra | Sjo | Pic | Fai | Flo | Cor | Açores |
|-------------------------|-----|-------|------|-----|-----|------|-----|-------|-----|--------|
| nº | - | 33 | 18 | - | - | 28 | - | 8 | 1 | 88 |
| % | - | 37.5 | 20.4 | - | - | 32.0 | - | 9.1 | 1.0 | 100 |
| hectares | - | 834 | 6 | - | - | 16 | - | 72 | 25 | 953 |
| % | - | 87.5 | 0.6 | - | - | 1.7 | - | 7.6 | 2.6 | 100 |
| V (10^3m^3) | - | 78929 | 25 | - | - | 232 | - | 10655 | 156 | 89998 |
| % | - | 87.7 | 0.02 | - | - | 0.3 | - | 11.8 | 0.1 | 100 |

Sma – Santa Maria; Smi - São Miguel; Ter – Terceira; Gra – Graciosa; Sjo – São Jorge; Pic – Pico; Fai – Faial; Flo – Flores; Cor - Corvo

Tabela 1 – Inventário das Lagoas dos Açores

Estudos realizados por Porteiro (2000), sobre as principais características fisiográficas, morfológicas, climáticas e hidrológicas das lagoas dos Açores, indicam a prevalência de massas de água de pequena dimensão e pouco profundas, situadas nas regiões mais recônditas do interior das ilhas, a média-grande altitude, dominando as que se formam em crateras de explosão (cones de escórias). De um modo geral, as bacias hidrográficas apresentam configurações circulares, relevo acentuado e rede de drenagem pouco hierarquizada. Os tópicos seguintes ilustram as particularidades mais marcantes destes ecossistemas:

- as bacias hidrográficas são de reduzida dimensão, com valores médios de $1,7 \text{ km}^2$. A superfície máxima é de 16 km^2 e a mínima de $0,01 \text{ km}^2$;
- as bacias hidrográficas encontram-se a 680 m de altitude média, cota indicativa da posição que ocupam no contexto da altimetria das ilhas;
- as bacias hidrográficas apresentam uma geomorfologia acidentada, sendo o declive médio de 27° ;

- as bacias hidrográficas possuem formas circulares, como indicam os resultados médios do coeficiente de circularidade (0,7);
- as bacias hidrográficas têm uma rede fluvial pouco estruturada, com predomínio claro do escoamento difuso. A densidade média de drenagem é de 3 km/km²;
- as lagoas são de reduzida dimensão (superfície média de 0,29 km² e máxima de 3,6 km²) e pouco profundas (profundidade média de coluna de água de 3,3 m);
- as condições climáticas são influenciadas pela orografia e altitude. A temperatura média anual não ultrapassa 12 °C e a precipitação ronda 3 300 mm;
- o escoamento superficial é considerável (2515 mm) e o solo permanece saturado durante quase todo o ano. Verifica-se um *superavit* hídrico muito significativo (2610 mm);
- o volume total de água afluente às lagoas, por escorrência superficial e subterrânea, supera em quase cinco vezes a precipitação directa no plano de água;
- o tempo médio de renovação hídrica das lagoas é baixo (0,32/ano), devido ao reduzido volume de armazenamento e aos elevados *inputs* hídricos.

Pelos critérios da Directiva-Quadro da Água (2000/60/CE), relativos à classificação de ecótipos (Sistema A), as lagoas dos Açores são, maioritariamente, de média altitude, de muito pequena dimensão, pouco profundas e com solos siliciosos (Figura 2). Quanto ao parâmetro “dimensão”, verifica-se que 84 lagoas não alcançam a superfície mínima estipulada neste sistema de classificação (0,5 km²).

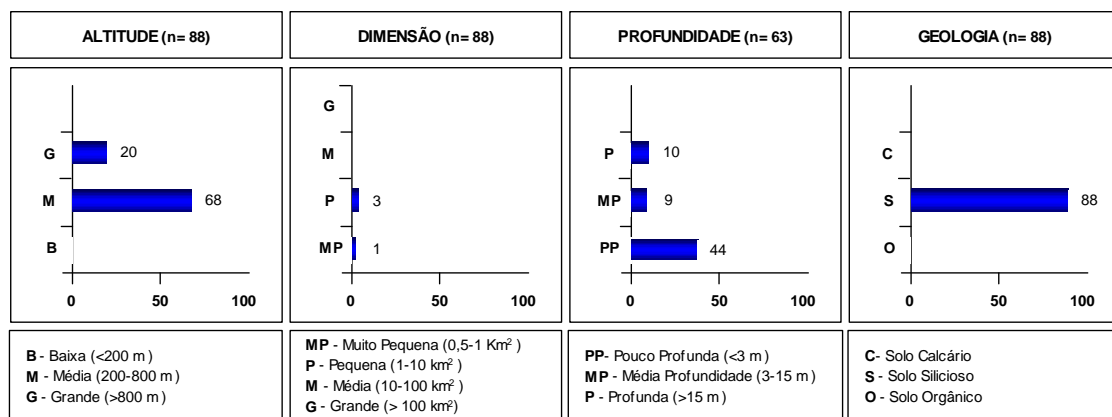


Figura 2 – Classificação das Lagoas dos Açores, segundo a Directiva-Quadro da Água (Sistema A)

5. CONDICIONANTES BIOFÍSICAS DAS LAGOAS DOS AÇORES

A vulnerabilidade das lagoas dos Açores, face às pressões que as actividades humanas exercem na qualidade da água, faz com que estes ecossistemas se debatam com problemas de difícil resolução. O estado das lagoas é inegavelmente favorecido pelas características biofísicas dominantes: pequena dimensão da generalidade das massas de água, o que se manifesta na elevada sensibilidade a qualquer tipo de pressão, principalmente de origem antrópica (captação de água para abastecimento à pecuária); reduzida espessura do horizonte impermeável (fundo), susceptível a ruptura devido à circulação de máquinas agrícolas e ao pisoteio animal; morfologia instável e declive acentuado das vertentes das bacias hidrográficas, o que incrementa a velocidade do escoamento superficial; presença de formações de pedra-pomes e de outros materiais erodíveis (cinzas vulcânicas e cascalho), o que favorece o assoreamento dos planos de água; prevalência do escoamento difuso (rede hidrográfica pouco hierarquizada), o que dificulta o controlo das entradas de nutrientes (Porteiro & Calado, 2003).

Estes condicionalismos biofísicos colocam limitações ao exercício das actividades praticadas nas bacias hidrográficas, exigindo adopção de boas práticas agrícolas e de conservação do solo. A realidade demonstra que tais aspectos nem sempre foram respeitados.

6. PRESSÕES

A eutrofização (cultural ou antropogénica) resulta do enriquecimento das águas em compostos nutritivos (principalmente fósforo) que promovem o crescimento acelerado da vegetação aquática (UNESCO/WMO, 1992). Os impactes manifestam-se na alteração da composição das comunidades biológicas e nos padrões de qualidade da água, inviabilizando a sua utilização para utilizações mais exigentes (Casas, 1988a). O conceito admite vários estádios evolutivos, mencionados por ordem crescente de degradação: oligotrófico, mesotrófico e eutrófico.

A eutrofização das lagoas dos Açores é hoje considerada uma das principais disfunções ambientais do arquipélago, pelos impactes que tem na economia, paisagem e na preservação dos recursos naturais. O processo seria certamente mais lento se não houvesse a considerar uma componente antropogénica com significado crescente (U.N.L., 1991). Os factores que mais concorrem para a degradação das lagoas dos Açores sistematizam-se nos seguintes tópicos:

- alargamento generalizado das pastagens, ao ponto de corresponderem, globalmente, a 87 % da SAU dos Açores (mais de 35 % da área das bacias são pastagens);
- intensificação da actividade agro-pecuária, verificando-se um encabeçamento médio de 1,9 Cabeças/ha de SAU;
- desflorestação acentuada das bacias hidrográficas (arroteamentos para instalação de pastagens permanentes);
- abertura de estradas e de caminhos de penetração (destabilização de vertentes);
- erosão dos solos instáveis (assoreamento dos planos de água);
- incremento da carga animal (pisoteio, contaminação físico-química e fecal e deposição de matéria orgânica);
- aplicação excessiva e de agro-químicos (fertilizantes e pesticidas);
- captação descontrolada de água para abastecimento das explorações pecuárias (22 das 88 lagoas inventariadas);
- acesso do gado às margens (abeberamento), provocando contaminação fecal e orgânica (46 das 88 lagoas inventariadas);
- ruptura sistemática das camadas impermeáveis (alteração do regime hidrológico e regressão do nível de inundações);
- implantação de florestas de produção (Criptoméria), com conseqüente perda de *habitats* (redução da biodiversidade);
- descarga contínua de efluentes agrícolas, ricos em nutrientes e em matéria orgânica oxidável.

Do exposto, conclui-se que o problema da eutrofização resulta, em grande medida, do exercício de uma actividade produtiva não ajustada às condicionantes biofísicas dos ambientes aquáticos. Na verdade, a prevalência do modelo económico assente na exploração pecuária, o incremento do efectivo bovino, a ruptura com os métodos de produção tradicionais e a aplicação descuidada de fertilizantes químicos degradaram a qualidade das águas interiores, conduzindo à eutrofização. Perante a situação, a comunidade científica e a administração regional reuniram esforços para assegurar a recuperação do frágil equilíbrio ecológico entretanto destabilizado.

A Secção de Geografia da Universidade dos Açores e o e-Geo da Universidade Nova de Lisboa participam, desde 1995, na pesquisa de respostas inovadoras para o problema, assentes nos princípios e metodologias de gestão de recursos naturais, ordenamento do território e planeamento biofísico (Porteiro & Calado, 1995). O projecto “Classificação das Lagoas dos Açores. Modelos de Gestão de Bacias Hidrográficas” (FCT - POCTI/

GEO/42554/2001), permitiu testar novas abordagens (modelação da qualidade da água e simulação de cenários alternativos) no momento de conceber instrumentos para o controlo das actividades exercidas nas bacias hidrográficas.

7. MODELAÇÃO DO ESTÁDO TRÓFICO

7.1 Introdução

A modelação do estado trófico tem por objectivo diagnosticar o estado de referência e simular cenários alternativos ao padrão actual de ocupação do solo. Com efeito, foram aplicados modelos de “carga-resposta” em que a magnitude da eutrofização depende de parâmetros hidrológicos e morfológicos das lagoas (tempo hidráulico de residência e profundidade média da coluna de água) e dos nutrientes disponíveis para consumo da vegetação aquática (produção primária). As equações que sustentam o cálculo destas relações definem curvas limite para cargas de fósforo (nível permissível *versus* nível excessivo) onde se projecta graficamente o grau de eutrofização previsível cada lagoa (Diagramas de Carga de Vollenweider). O exercício coloca-se ao nível da simulação das cargas emitidas pelos diversos usos do solo, factor controlável por instrumentos de ordenamento do território, disposições normativas e de medidas de compensação económica e social, entre outros mecanismos de intervenção.

7.2 Modelo da OCDE (1982)

Dos modelos de “carga/resposta”, discutidos na literatura da especialidade (Premazzi & Chiaudani, 1992; Ryding & Rast, 1992; Walker, 1996; Salas, 2001; Panuska & Kreider, 2003), salienta-se o da OCDE (1982) como uma das aproximações mais consensuais e com grande aceitação pela comunidade científica. Trata-se de um modelo semi-empírico, sujeito a sucessivos refinamentos, que permite avaliar a situação de referência (diagnóstico), mas que também possibilita a simulação de estratégias alternativas de requalificação (previsão). A sua aplicação exige o cumprimento dos seguintes procedimentos:

1. Cálculos Prévios
 - a. Determinação de parâmetros morfométricos e hidrológicos
 - b. Compilação de parâmetros físico-químicos
2. Processamento de Dados
 - a. Determinação do nutriente limitante (relação azoto/fósforo)

- b. Relações estatísticas entre concentração de fósforo no lago e distintos indicadores tróficos: clorofila, transparência, produção primária, taxa de esgotamento do oxigénio hipolimnético
- c. Cálculo de entradas e saídas de nutrientes
- d. Relações estatísticas entre carga de fósforo e concentração de fósforo no lago, “normalizada” pela profundidade média e tempo de retenção hidráulica

7.3 Desenvolvimento do Modelo

Todos os procedimentos apontados anteriormente foram concretizados. Mediante a equação do balanço de massas (Vollenweider, 1976), obtiveram-se as relações matemáticas entre “cargas” e “respostas” (sistema “bacia hidrográfica” versus “lagoa”). Contudo, no desenvolvimento do modelo, surgiram restrições, relacionadas com a inexistência de amostragem dos afluentes e com as insuficiências dos programas de monitorização de diversas lagoas. Nestes termos, a modelação envolveu os seguintes passos:

1. Estimativa das cargas de nutrientes (reconhecimento dos usos do solo e aplicação de coeficientes de exportação);
2. Estabelecimento das relações estatísticas inerentes à base metodológica do modelo;
3. Adaptação de diferentes modelos disponíveis na bibliografia ao caso de estudo;
4. Avaliação das respostas tróficas das lagoas;
5. Simulação de cenários alternativos, base das estratégias para o controlo da eutrofização (modelos de gestão de bacias hidrográficas).

- Estimativa das Cargas de Nutrientes. Após a identificação das classes de uso do solo nas bacias hidrográficas, aplicaram-se coeficientes de exportação de fósforo disponíveis na bibliografia, ajustados segundo as concentrações observadas nas lagoas. Estimou-se, assim, a emissão de fósforo de cada classe de uso do solo (kg/ha/ano) e, conhecida a representação de cada tipologia, calculou-se a exportação global do nutriente.
- Diagramas de Carga de Vollenweider. De acordo com dados morfométricos e hidrológicos das lagoas, assim como das emissões de fósforo estimadas pelo método apresentado, as lagoas dos Açores foram projectadas nos Diagramas de Carga de Vollenweider.

No diagrama apresentado na Figura 3, observa-se a diminuta representação de lagoas abaixo do nível permissível, facto que demonstra a situação pouco favorável da qualidade da generalidade das lagoas. A Figura 4 representa a classificação do estado trófico das

lagoas dos Açores, em correspondência com os níveis permissível, intermédio e excessivo de fósforo.

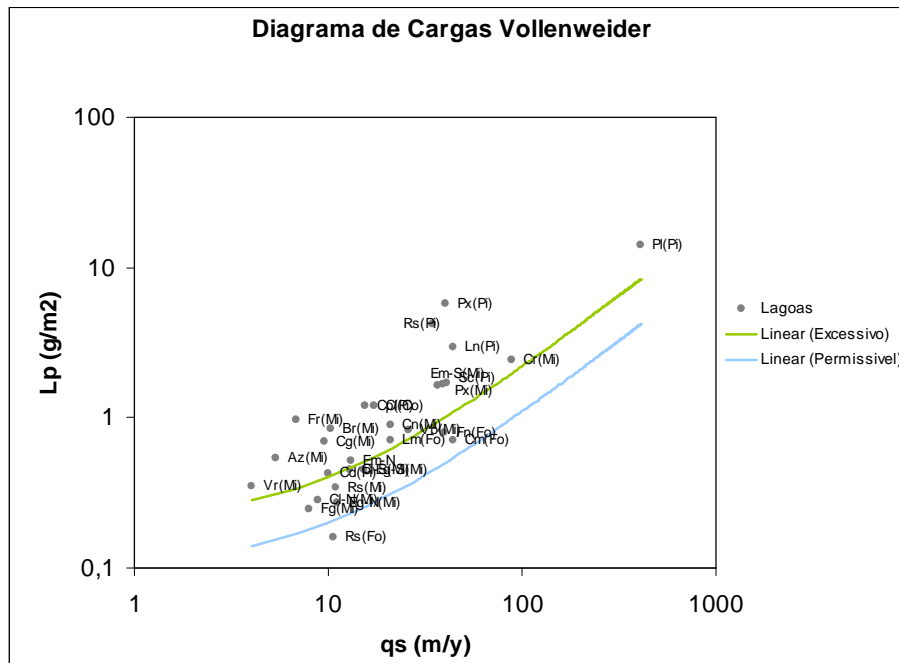


Figura 3 – Projecção das lagoas dos Açores no Diagrama de Carga de Vollenweider

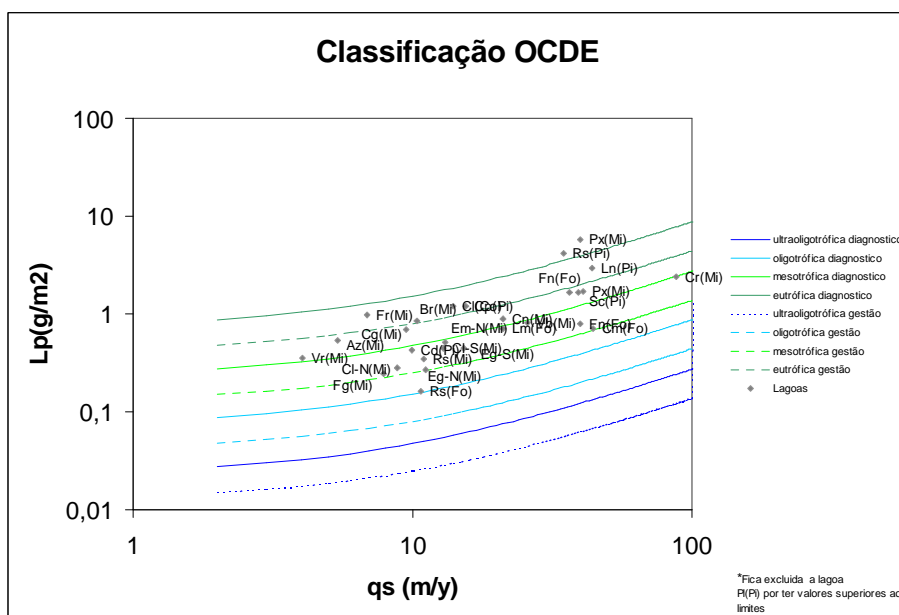


Figura 4 – Projecção das lagoas dos Açores no Sistema de Classificação do Estado Trófico (Diagnóstico)

8. DEFINIÇÃO E SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS

8.1 Modelos de Predição

Para a simulação do estado trófico das lagoas dos Açores, aplicaram-se os seguintes modelos de predição que obtiveram comportamentos estatísticos satisfatórios: OCDE (Modelos de Dados Combinados e de Lagos Pouco Profundos, 1982); EPA - Environmental Protection Agency (Candfield & Bachman, 1981 – Modelo de Lagos Naturais); US Army Corps of Engineers (Walker, 1996 - Modelo Geral). Recorreu-se ao Software Wilms (Wisconsin Department of Natural Resources) para a realização das operações de modelação. As lagoas dos Açores foram simuladas de acordo com comportamentos distintos:

Grupo 1. Lagoas de maior profundidade e que estratificam durante o período quente

Grupo 2. Lagoas de média-baixa profundidade e que não estratificam durante todo o ano

Grupo 3. Lagoas de baixa profundidade e que não estratificam durante todo o ano

8.2 Simulação de Cenários

Concluídos os procedimentos anteriores, simularam-se cenários que envolvem a redução das cargas de fósforo que afluem às lagoas (usos alternativos à ocupação actual do solo nas bacias). Tendo presente os objectivos de qualidade da água (melhoria do estado trófico) e os constrangimentos económicos, sociais e institucionais, foram criados cinco cenários alternativos:

- Cenário 1 - Implantação de Buffers (Faixas Tampão). Os buffers ou margens de segurança estão destinados a interceptar e reter parte das escorrências dos terrenos a montante, interceptação de nutrientes, sedimentos e matéria orgânica. Em função da área e do tipo de solo podem reduzir até 30 % das exportações afluentes de fósforo. Resulta um Cenário com poucas implicações sócio-económicas.
- Cenário 2 - Reconversão de Usos: transformação da área de pastagem da bacia em floresta (taxas de exportação de fósforo inferiores). Este cenário pressupõe alterações sensíveis no modelo actual de ocupação do solo, pelo que pode resultar em impactos assinaláveis nas actividades económicas, caso não sejam tomadas medidas de compensação.
- Cenário 3 - Reconversão de Usos. Transformação total da área de pastagem de cada bacia hidrográfica em cobertos vegetativos espontâneos, com as menores taxas de exportações de fósforo. A reconversão das áreas de pastagem em matos mistos pressupõe alterações

muito significativas no regime de exploração da terra, cujo rendimento depende actualmente da bovinicultura e silvicultura.

- Cenário 4 - Reconversão de Usos. Transformação total de todos os usos do solo de cada bacia hidrográfica em cobertos vegetativos espontâneos. Este cenário pressupõe alterações radicais no regime de exploração da terra.
- Cenário 5 - Extensificação da Pastagem. assenta na simulação de medidas agro-ambientais, compensação económica à extensificação da pecuária, com impactes sócio-económicos minimizados. A redução do encabeçamento traduz-se na diminuição do coeficiente de exportação de fósforo da pastagem.

Os resultados, apresentados na Figura 5 e no Tabela 2, indicam a evolução positiva do estado trófico das lagoas dos Açores, em especial nos cenários que envolvem a reconversão da pastagem em outros usos com menores coeficientes de exportação de fósforo (Matos).

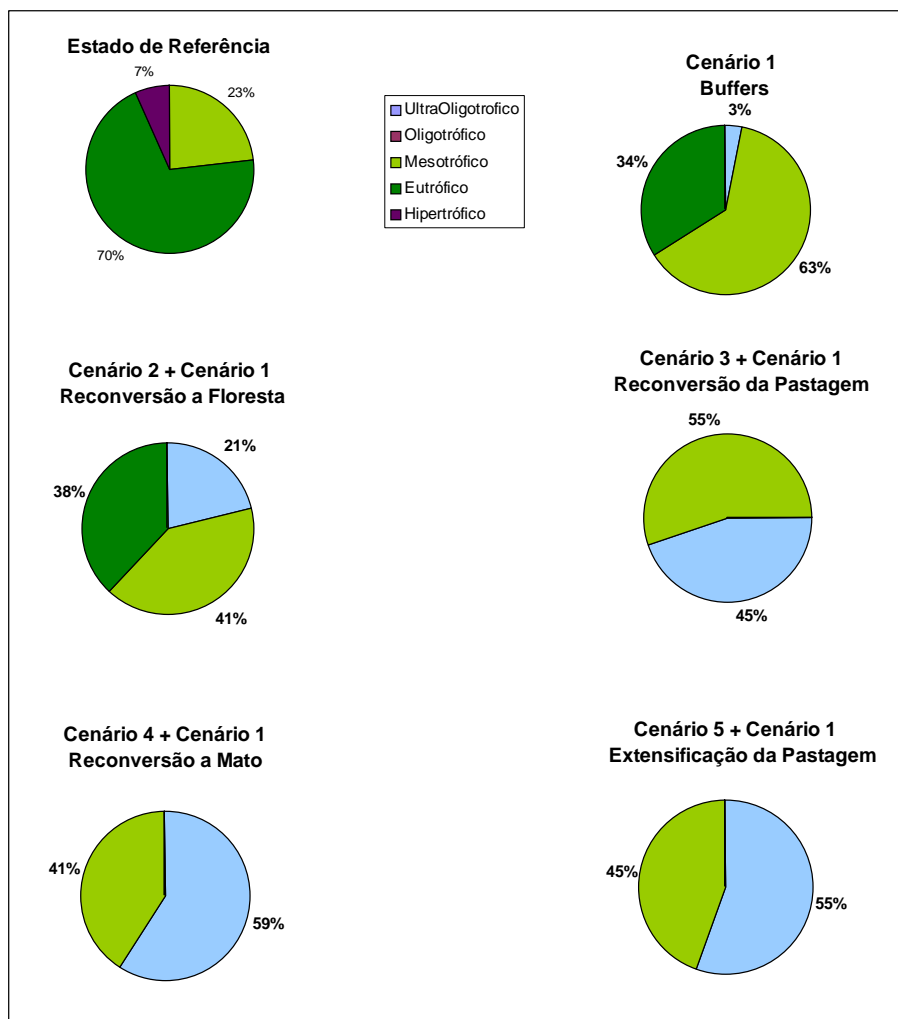


Figura 5 - Representação do Estado Trófico das Lagoas dos Açores por Cenário

| Lagoas | Observado na Lagoa | Estado de Referência | Buffers | Reconversão de Usos | | | | Extensificação |
|-----------------------------------|--------------------|----------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|
| | | | Cenário 1 | Cenário 2 + Cenário 1 | Cenário 3 + Cenário 1 | Cenário 4 + Cenário 1 | Cenário 5 + Cenário 1 | |
| ILHA DE SÃO MIGUEL | | | | | | | | |
| Lagoa do Caldeirão - Norte | M | M | M | M | M | O | M | |
| Lagoa do Caldeirão - Sul | M | M | M | M | M | O | M | |
| Lagoa do Caldeirão da Vaca Branca | E | E | M | O | O | O | O | |
| Lagoa do Canário | E | E | M | M | M | M | M | |
| Lagoa do Carvão | M | M | M | O | O | M | O | |
| Lagoa do Congro | E | E | E | M | O | M | O | |
| Lagoa das Éguas - Norte | E | E | M | O | O | O | O | |
| Lagoa das Éguas - Sul | E | E | M | O | O | O | O | |
| Lagoa das Empadadas - Norte | E | E | M | M | M | O | M | |
| Lagoa das Empadadas - Sul | M | M | E | M | M | M | M | |
| Lagoa do Fogo | M | M | M | O | O | O | O | |
| Lagoa das Furnas | E | E | E | M | M | M | M | |
| Lagoa do Peixe | E | E | E | M | M | M | M | |
| Lagoa Rasa (S.Devassa) | M | M | M | M | M | O | M | |
| Lagoa de São Brás | H | E | E | M | M | M | M | |
| Lagoa das Sete Cidades - Azul | M | E | E | M | O | O | O | |
| Lagoa das Sete Cidades - Verde | M | M | M | M | M | O | O | |
| ILHA DO PICO | | | | | | | | |
| Lagoa do Caiado | E | E | M | O | O | O | O | |
| Lagoa do Capitão | E | E | E | M | O | O | O | |
| Lagoa do Landroal | E | E | E | M | M | M | O | |
| Lagoa do Paúl | E | E | M | M | M | M | M | |
| Lagoa do Peixinho | E | E | E | M | M | M | M | |
| Lagoa Rosada | E | E | E | M | M | M | O | |
| Lagoa Sêca | E | E | E | M | M | O | M | |
| ILHA DAS FLORES | | | | | | | | |
| Lagoa Comprida | M | M | M | O | O | O | O | |
| Lagoa Funda | M | M | M | O | O | O | O | |
| Lagoa da Lomba | E | E | M | O | O | O | O | |
| Lagoa Rasa | M | M | O | O | O | O | O | |
| ILHA DO CORVO | | | | | | | | |
| Lagoa do Caldeirão | M | M | E | M | M | M | M | |

Legenda: H - Hipertrófico E - Eutrófico M - Mesotrófico O - Oligotrófico

Tabela 2 – Variação do Estado Trófico das Lagoas dos Açores (Cenários)

9. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O objectivo de um programa de controlo da eutrofização consiste em manter e/ou restabelecer um estado trófico pré-determinado. Contudo, no plano teórico, não existem estratégias universais, pois os conhecimentos científicos, as tecnologias disponíveis, as problemáticas económicas e o enquadramento institucional condicionam a selecção do modelo de desenvolvimento a adoptar (Casas, 1988b). As medidas de controlo da eutrofização podem ser divididas em dois grupos distintos (Porteiro, 2000): medidas correctivas, aplicadas nas próprias massas de água; medidas preventivas, que visam a gestão das fontes externas de nutrientes. O recurso às primeiras só deve ser equacionado quando não existem alternativas para minimizar a entrada de nutrientes nas massas de água.

Retomando os resultados dos cenários simulados no ponto anterior, foram considerados três grupos de medidas (estratégias): criação de faixas tampão (buffers); reconversão de usos, com diferentes gradientes de intervenção; e extensificação da pastagem. Em complemento, apontam-se outras acções pertinentes, como a monitorização da qualidade da água ou intervenções correctivas na massa de água, estas apenas para as lagoas que não respondem de forma satisfatória às medidas simuladas. A Tabela 3 indica a estratégia

recomendada para a gestão das lagoas dos Açores. Note-se que pode haver necessidade de conjugar medidas alternativas, caso os condicionalismos económicos e biofísicos das lagoas assim o recomendem. Retiram as seguintes conclusões:

| Lagoas | ESTRATÉGIAS ALTERNATIVAS | | | | | | | Estratégia Recomendada |
|-----------------------------------|--------------------------|---------|------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------|---------------------------|------------------------|
| | Tipo 1 | Tipo 2 | Tipo 3 | | | Tipo 4 | Tipo 5 | |
| | Monitorização | Buffers | Nível 1: Pastagem a Floresta | Nível 2: Pastagem a Mato | Nível 3: Total a Mato | Extensificação | Controlo do Plano de Água | |
| Lagoa do Caldeirão - Norte | Intensiva | E | D | D | D | A | | B |
| Lagoa do Caldeirão - Sul | Intensiva | E | D | D | D | A | | B |
| Lagoa do Caldeirão da Vaca Branca | Intensiva | A | NE | NE | E | NE | | B |
| Lagoa do Canário | Intensiva | A | NE | NE | NE | NE | | B |
| Lagoa do Carvão | Intensiva | A | NE | NE | A | NE | Necessária | B |
| Lagoa do Congro | Intensiva | NE | NE | NE | A | A | Necessária | TM |
| Lagoa das Éguas - Norte | Intensiva | E | D | D | D | NE | | B |
| Lagoa das Éguas - Sul | Intensiva | E | D | D | D | NE | | B |
| Lagoa das Empadadas - Norte | Intensiva | A | NE | NE | E | NE | | B |
| Lagoa das Empadadas - Sul | Intensiva | NE | NE | NE | E | NE | | TM |
| Lagoa do Fogo | Intensiva | E | D | D | D | NE | | B |
| Lagoa das Furnas | Intensiva | NE | NE | A | A | NE | Necessária | TM |
| Lagoa do Peixe | Intensiva | NE | NE | NE | E | NE | Necessária | TM |
| Lagoa Rasa (S.Devassa) | Intensiva | E | NE | NE | E | A | | B |
| Lagoa de São Brás | Intensiva | NE | A | A | E | A | | TM |
| Lagoa das Sete Cidades - Azul | Intensiva | NE | A | E | E | E | | M |
| Lagoa das Sete Cidades - Verde | Intensiva | A | E | E | E | A | | M |
| Lagoa do Caiado | Intensiva | A | E | D | D | E | | F |
| Lagoa do Capitão | Intensiva | NE | A | E | NE | A | | M |
| Lagoa do Landroal | Intensiva | NE | NE | E | NE | A | | M |
| Lagoa do Paúl | Intensiva | NE | A | A | E | A | Necessária | F |
| Lagoa do Peixinho | Intensiva | NE | NE | NE | NE | A | Necessária | M |
| Lagoa Rosada | Intensiva | NE | NE | A | A | NE | Necessária | M |
| Lagoa Sêca | Intensiva | A | NE | NE | E | NE | | TM |
| Lagoa Comprida | Intensiva | E | D | D | D | E | | E |
| Lagoa Funda | Preventiva | E | D | D | D | E | | E |
| Lagoa da Lomba | Preventiva | D | D | D | D | D | | D |
| Lagoa Rasa | Preventiva | D | D | D | D | D | | D |
| Lagoa do Caldeirão | Intensiva | NE | NE | A | A | NE | Necessária | M |

Legenda: E – Estratégia Efectiva; NE – Estratégia não Efectiva; A - Estratégia Aplicável; D – Estratégia Desnecessária;

B – Criação de *Buffers*; TM – Reconversão Total para Mato; F – Reconversão da Pastagem para Floresta;

M – Reconversão da Pastagem para Mato; E - Extensificação

Tabela 3 – Avaliação de Estratégias Alternativas

- A monitorização deve sempre constituir uma prioridade para a totalidade das lagoas, sobretudo para aquelas que se encontram em pior estado de conservação.
- A criação de buffers constitui uma das medidas mais efectivas para o conjunto das lagoas, até porque é de fácil implementação, com custos económicos e sociais pouco relevantes.
- A reconversão total ou parcial dos usos do solo nas bacias hidrográficas apresenta resultados satisfatórios ao nível ambiental, sendo o modelo recomendado para um conjunto significativo de lagoas, principalmente para as mais deterioradas. Os custos económicos e sociais podem ser significativos, havendo necessidade de analisar caso a caso.
- A extensificação é uma estratégia importante a distintos níveis, podendo ser tomada como primeira aproximação aos casos em que a reconversão seja dificultada por motivos económicos e sociais.
- A intervenção directa na massa de água é recomendada para os casos mais problemáticos, sendo um requisito imprescindível a realização de estudos técnicos complementares.

BIBLIOGRAFIA

- Abreu, A. 2001. *Identificação e Caracterização das Paisagens dos Açores*. Universidade de Évora. Évora.
- Beller, W., d'Ayala, P. & Hein, P. 1990. Observations and recommendations of the interoceanic workshop, Puerto Rico, 1986. *In*: Beller, W., d'Ayala, P. & Hein, P. (Ed.) *Sustainable development and environmental management of small islands*, 5:365-396. Man and the Biosphere Series. UNESCO/Parthenon Publishing Group. Paris.
- Calado, H. 2000. *Planeamento Ambiental e Ordenamento do Território: o caso da bacia hidrográfica da lagoa das Sete Cidades*. Dissertação de Doutoramento. Universidade dos Açores. Ponta Delgada, 339pp.
- Candfield, D.E. & R.W. Bachman. 1981. *Prediction of total phosphorus Concentration, Chlorophyll-a and Sechhi Depts in Natural and Artificial Lakes*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, ol.38, No. 4, pp 414-423.
- Casas, J. 1988a. Características Generales del Proceso de Eutrofización. *Curso sobre la Eutrofización de Embalses*. Ministério de Obras Publicas y Urbanismo. Madrid.
- Casas, J. 1988b. Generalidades sobre Métodos de Prevención y Control de la Eutrofización. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas – Ministério de Obras Publicas y Urbanismo. Madrid.
- Constância, J.; Braga, T.; Nunes, J.; Machado, E.; Silva, L. 1997. *Lagoas e Lagoeiros da Ilha de São Miguel*. Associação Ecológica Amigos dos Açores. Ponta Delgada.
- Cunha, R. T. 1986. *Estudo da bacia hidrográfica das Sete Cidades - Análise biofísica do ecossistema lagunar*. Secretaria Regional do Equipamento Social. Ponta Delgada, 53pp.
- Dias, E. 1996. *Vegetação Natural dos Açores – Ecologia e Sintaxonomia das Florestas Naturais*. Dissertação de Doutoramento. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo. 302pp.
- INOVA, 1996. *Análise das Águas da Região Autónoma dos Açores*. Instituto de Inovação Tecnológica dos Açores. Ponta Delgada, 554pp.
- INOVA, 1999. *Análise das Águas da Região Autónoma dos Açores*. Instituto de Inovação Tecnológica dos Açores. Ponta Delgada, 291pp.
- Le Grand, G. 1983. Check list of the birds of the Azores. *Arquipélago - Série Ciências da Natureza*, 4, pp. 49-58.
- Medeiros, J., G. Flores & Ribeiro, F. 1983. *Dados preliminares sobre o estado trófico da Lagoa das Sete Cidades*. Universidade dos Açores. Ponta Delgada
- OCDE, 1982. *Eutrophication of Waters: Monitoring, Assessment and Control*. Organization for Economic Cooperation and Development. Paris
- Oliveira, J. 1989a. A pastagem permanente da ilha de São Miguel (Açores): Estudo Fitossociológico e primeira abordagem do ponto de vista agronómico. Universidade dos Açores. Ponta Delgada.
- Oliveira, M. 1989b. Estrutura das comunidades de fitoplâncton nas Lagoas das Sete Cidades, Açores. *Relatório Técnico Científico do INIP* 8:1-27.

- Panuska, J. & J. Kreider, 2003. *Wisconsin Lake Modeling Suite*, Wisconsin Department of Natural Resources, PUBL-WR-363-94
- Porteiro, J. & Calado, H. 1995. Interesses Antagónicos na Salvaguarda das Lagoas do Arquipélago dos Açores.- P.29 in: *Resumos do VII Colóquio Ibérico de Geografia*. Cáceres.
- Porteiro, J. 2000. *Lagoas dos Açores. Elementos de Suporte ao Planeamento Integrado*. Dissertação de Doutoramento. Universidade dos Açores. Ponta Delgada, 344p.
- Porteiro, J. & Calado, H. 2003. *Elementos para a Requalificação Ambiental das Lagoas dos Açores*. Sociedade & Território: 35: 92-99.
- Premazzi, G. & Chiaudani G. 1992. *Ecological Quality of Surface Water. Quality assessment schemes for European Community Lakes. Environment Institute – University of Milan*. Joint Research Centre – Commission of the European Communities. Brussels. 122 pp.
- Rodrigues, R. 1995. *Hidrologia de ilhas vulcânicas*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Lisboa.
- Salas, H. 2001. *Metodologias Simplificadas para la evaluación de la eutrofización en lagos Calidos Tropicales*. Organización Panamericana de la Salud OPS, Lima.
- SRA, 2001. *Plano Regional da Água*. Secretaria Regional do Ambiente, Direcção Regional do Ordenamento do Território e Recursos Hídricos, Ponta Delgada.
- UA, 1998. *Planos de Ordenamento da Bacias Hidrográfica das Lagoas das Sete Cidades e Furnas*. Departamento de Biologia. Universidade dos Açores. Ponta Delgada.
- UNESCO/WMO, 1992. *Internatiol Glossary of Hydrology*. Chapman & Hall, London.
- UNL, 1991. *O controlo da eutrofização nas Lagoas de S.Miguel-Açores*. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Vollenweider, R. A. 1976. Advances in defining loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 33: 53-83.
- Walker, W. 1996. *Simplified procedures for Eutrophication Assessment and Prediction: User Manual*. U.S: Army Corps of Engineers. Washington D.C.