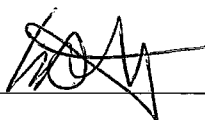


REDES NEURONAIS NA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE
CIANOBACTÉRIAS EM GRANDES RESERVATÓRIOS DE ÁGUA

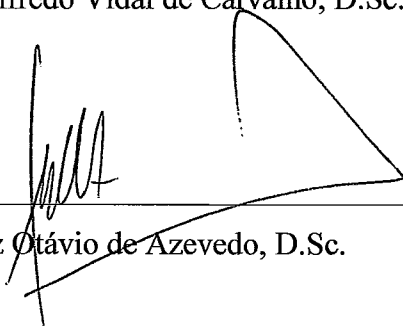
Paula Fernanda Machado Vieira de Carvalho

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

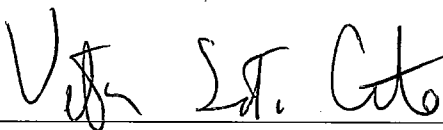
Aprovada por:



Prof. Luís Alfredo Vidal de Carvalho, D.Sc.



Dr. Luiz Otávio de Azevedo, D.Sc.



Prof. Vítor Manuel de Moraes Santos Costa, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2006

CARVALHO, PAULA FERNANDA MACHADO
VIEIRA DE

Redes Neurais na Análise do Comportamen-
to de Cianobactérias em Grandes Reservatórios de
Água [Rio de Janeiro] 2006

VIII, 81p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,
Engenharia de Sistemas e Computação, 2006)

Dissertação - Universidade Federal do Rio de
Janeiro, COPPE

1. Redes Neurais
2. Cianobactérias

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

“Nossos fracassos são, às vezes, mais frutíferos que os êxitos.”

Henry Ford

Agradecimentos

Ao Prof. Luís Alfredo por sua orientação;

Ao Dr. Luiz Otávio, pela co-orientação, incentivo e atenção;

Ao Prof. Vítor Santos Costa pela ajuda na versão final deste trabalho;

À Sabesp, em especial ao Dr. Armando Flores e à Eng. Ana Lúcia Silva pelo fornecimento dos dados utilizados na dissertação;

À CAPES pelo apoio financeiro;

Ao meu marido Flávio, pelo carinho e compreensão e por estar sempre presente em todos os momentos importantes da minha vida;

Aos meus pais, Paulo Roberto e Solange, e meu irmão, Hugo, pelo apoio em todos estes anos;

Aos colegas do SERPRO, em especial a Ernani Amaral, pelo apoio e compreensão nos momentos de finalização deste trabalho;

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

REDES NEURONAIS NA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE CIANOBACTÉRIAS EM GRANDES RESERVATÓRIOS DE ÁGUA

Paula Fernanda Machado Vieira de Carvalho

Março/2006

Orientador: Luís Alfredo Vidal de Carvalho

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

A água desempenha um papel fundamental para o homem, sendo utilizada para as mais diferentes atividades. No entanto, algumas dessas atividades geram impactos que prejudicam sua qualidade. Uma das possíveis conseqüências é o aumento da concentração de nutrientes na água, provenientes principalmente dos efluentes domésticos e industriais, e do uso de fertilizantes em áreas agrícolas.

O excesso de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, em conjunto com outros fatores, favorece o crescimento de cianobactérias na água, que muitas vezes predominam sobre os demais organismos do fitoplâncton.

Cianobactérias produzem substâncias capazes de conferir gosto e odor indesejáveis à água e toxinas nocivas à saúde de pessoas e animais. Quando presentes em grandes quantidades em reservatórios de água destinados ao abastecimento público representam uma grande preocupação às autoridades responsáveis pelo seu suprimento, pois além de encarecerem o tratamento da água, podem trazer riscos à saúde da população.

Neste contexto, a predição de tal crescimento é muito útil, pois permite às equipes responsáveis pelo abastecimento a tomada de medidas de contingência que minimizem os impactos ou impeçam o crescimento excessivo destes organismos. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é a criação de modelos de previsão da concentração de cianobactérias através da utilização de redes neuronais *feedforward* com algoritmo *backpropagation*.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

NEURAL NETWORKS FOR CYANOBACTERIA BEHAVIOURAL ANALYSIS IN WATER RESERVOIRS

Paula Fernanda Machado Vieira de Carvalho

March/2006

Advisor: Luís Alfredo Vidal de Carvalho

Department: Computer and System Engineering

Being used for many activities, water has a fundamental role for mankind. However, some impacts on its quality are generated for such activities. One of the consequences is the increasing of the concentration of nutrients in the water, proceeded mainly from industrial and domestic effluents, and the use of fertilizers in agriculture.

Such over concentration of nutrients, in special nitrogen and phosphorus, added to other factors, favours cyanobacterial growth in the water, that often dominate the phytoplankton.

Cyanobacteria produce compounds that impart undesirable tastes and odours to water and toxins which are harmful to people and animals. Cyanobacterial blooms in water reservoirs are a concern to water authorities as they increase costs in drinking water treatment, as well as represent a potential health risk.

In this context, the forecast of their growth may be very useful in helping water supply responsible staff in taking contingency measures to either minimize the impacts or avoid the excessive growth of those organisms. On this way, the aim of this dissertation is the development of models for forecasting cyanobacterial concentration using backpropagation neural networks.

Sumário

1. Introdução	1
2. Cianobactérias.....	4
2.1. O que são	4
2.2. Florações.....	5
2.3. Toxinas.....	7
2.3.1. Tipos de cianotoxinas	8
2.3.2. Intoxicações relatadas	10
2.4. Abastecimento de água	11
2.4.1. Tecnologias de tratamento	13
2.4.2. Prevenção de florações	14
3. Redes neurais	15
3.1. Neurônio biológico	16
3.2. Neurônio artificial.....	17
3.3. Funções de ativação	19
3.4. Topologia.....	20
3.5. Aprendizado.....	21
3.5.1. Aprendizado supervisionado.....	22
3.5.2. Aprendizado não-supervisionado.....	23
3.6. Redes Perceptron	23
3.6.1. Backpropagation	25
3.7. Aplicações em modelagem ecológica.....	28
4. Reservatório do Rio Grande	29
4.1. Histórico.....	29
4.2. Atualidade.....	30
4.2.1. Cianobactérias.....	31
4.3. Dados disponíveis.....	33
4.3.1. Dados de campo	33
4.3.2. Dados físico-químicos	34
4.3.3. Dados microbiológicos	35

5.	Aplicação de redes neuronais na modelagem de cianobactérias	36
5.1.	Levantamento e preparação dos dados	36
5.2.	Conjunto de dados	38
5.3.	Construção e configuração da rede neural	39
5.4.	Critério de acerto	39
5.5.	Análise de sensibilidade.....	40
5.6.	Testes	40
5.6.1.	Experimento 1	40
5.6.2.	Experimento 2.....	41
5.6.3.	Experimento 3	42
6.	Resultados e discussões.....	44
6.1.	Experimento 1	44
6.2.	Experimento 2.....	47
6.3.	Experimento 3.....	48
7.	Conclusão.....	54
	Referências Bibliográficas.....	55
	Anexo I - Base de dados.....	60
	Anexo II - Gráficos dos parâmetros	78

1. Introdução

A água desempenha um papel fundamental para o homem, tendo influência direta sobre a saúde, a qualidade de vida e o desenvolvimento do ser humano, sendo utilizada para as mais diferentes atividades como abastecimento público e industrial, recepção de efluentes domésticos e industriais, geração de energia, pesca, irrigação e recreação. No entanto, algumas dessas atividades geram impactos que prejudicam a qualidade da água bruta¹, interferindo inclusive no mais nobre destes usos, o abastecimento da população.

Um dos desdobramentos dessas atividades é aumento das concentrações de nutrientes nos corpos hídricos, especialmente nitrogênio e fósforo, provenientes principalmente dos efluentes domésticos e industriais, e do uso de fertilizantes nas áreas agrícolas. Esse enriquecimento artificial ocasiona mudanças nas populações fitoplanctônicas², aumentando a incidência de florações de microalgas e cianobactérias.

As cianobactérias possuem a capacidade de se desenvolver em vários ambientes, no entanto apresentam um maior crescimento em águas doces e calmas, com pH entre 6 e 9, temperatura entre 15 e 30°C, e alta concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, muitas vezes chegando a predominar³ sobre os demais organismos fitoplanctônicos.

Essas condições favoráveis muitas vezes são encontradas em reservatórios de água destinados ao abastecimento público, e freqüentemente suas águas também são utilizadas para recreação e pesca. Florações de cianobactérias nesses ambientes podem causar vários problemas práticos (CETESB, 2001). Por exemplo:

- interferências estéticas e recreacionais ocasionadas pela alteração tanto do gosto quanto da cor da água, e pelos maus odores provenientes das florações;
- diminuição do oxigênio dissolvido, acarretando a mortandade de peixes e prejuízo para as atividades pesqueiras;

¹ Água da fonte de abastecimento que não recebeu qualquer tratamento.

² O fitoplâncton é composto por algas unicelulares e cianobactérias. Representa a base da cadeia alimentar dos ecossistemas aquáticos.

³ Um grupo fitoplanctônico é considerado dominante quando representa mais de 50% da concentração total (número de células/mL) de células do fitoplâncton (BRASIL, 2003).

- entupimento dos filtros das estações de tratamento de água, aumentando os custos de manutenção;
- liberação de toxinas na água que, quando ingeridas, podem ser letais a alguns animais que vivem em pastagens ribeirinhas, além de causar problemas à saúde humana no caso de ingestão acidental ou problemas de tratamento nas estações de tratamento.

Embora microalgas também formem florações, aquelas encontradas em águas ricas em nutrientes geralmente consistem de cianobactérias potencialmente tóxicas (CARMICHAEL, 1994). A habilidade de algumas espécies e cepas de cianobactérias de produzir toxinas é a característica mais preocupante destes organismos do ponto de vista da saúde pública (CHORUS & BARTRAM, 1999).

Neste contexto, é importante entender o relacionamento entre a incidência de florações e os fatores que favorecem seu aparecimento para que possam ser tomadas medidas preventivas que diminuam ou mesmo impeçam o crescimento excessivo das cianobactérias, reduzindo seus impactos sobre a qualidade da água.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é a criação de modelos de previsão da concentração de cianobactérias através da utilização de redes neurais *feedforward* com algoritmo *backpropagation*.

Os dados utilizados são do Reservatório Rio Grande e foram cedidos pela Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. As águas deste reservatório abastecem 1,2 milhões de pessoas em Diadema, São Bernardo do Campo e parte de Santo André.

Assim sendo, esta dissertação vem apresentar os resultados obtidos neste trabalho, bem como algumas definições de cianobactérias e de redes neurais.

O segundo capítulo apresenta os conceitos básicos sobre cianobactérias e cianotoxinas e os problemas causados pelo crescimento excessivo destes organismos.

O capítulo 3 é dedicado às redes neurais, dando ênfase às redes *feedforward*, do tipo *perceptron* de múltiplas camadas e ao algoritmo de aprendizado *backpropagation*.

No capítulo 4 é apresentado o Reservatório Rio Grande, objeto de estudo deste trabalho, apontando a abrangência de seu abastecimento, bem como os problemas causados pela poluição, e a ocorrência de florações de cianobactérias.

O quinto capítulo apresenta o desenvolvimento prático para a aplicação de redes neuronais na tentativa de modelar o crescimento de cianobactérias no Reservatório Rio Grande.

No sexto capítulo são apresentados os principais resultados obtidos na aplicação dos modelos, além de uma breve discussão à cerca dos mesmos.

No sétimo e último capítulo são apresentadas as conclusões deste trabalho.

2. Cianobactérias

2.1. O que são

Cianobactérias, ou cianofíceas, são seres procariontes, ou seja, não possuem membrana nuclear, assim como as bactérias. Podem ser unicelulares ou multicelulares, possuem clorofila-a e efetuam fotossíntese, assim como as algas (vegetais eucariontes⁴). Por exibirem uma impressionante combinação de propriedades encontradas tanto em bactérias quanto em algas, também são conhecidas como algas azuis (“*blue-green algae*”). As primeiras espécies identificadas eram verde-azuladas, no entanto sua coloração pode variar entre vermelho, marrom e amarelo. Seus processos vitais necessitam apenas de água, dióxido de carbono, substâncias inorgânicas e luz, sendo que a fotossíntese é seu principal meio de obtenção de energia (CHORUS & BARTRAM, 1999).

Os primeiros fósseis encontrados indicam que as cianobactérias já existiam há 3,5 bilhões de anos. Provavelmente foram os primeiros produtores de matéria orgânica e os primeiros organismos a liberar oxigênio elementar na atmosfera, permitindo a vida na Terra como a conhecemos hoje (CARMICHAEL, 1994). Espécies fixadoras de nitrogênio desempenham um importante papel no ciclo do nitrogênio, contribuindo com a fertilidade de solos e águas (CHORUS & BARTRAM, 1999, ECHLIN, 1966).

Seu habitat varia de ecossistemas aquáticos a solos úmidos e rochas vulcânicas. Apesar de serem encontradas em ambientes tão diferentes, as cianobactérias se desenvolvem mais em ambientes aquáticos, seja de água doce ou salgada, inclusive em ambientes que não são habitados por nenhuma outra microalga. No entanto, é na água doce de diferentes estados tróficos que as cianobactérias mais se ploriferam, chegando a formar florações (“*blooms*”) e alterando a coloração da água.

⁴ Organismos eucariontes são aqueles cujas células possuem um núcleo bem definido e organelas celulares (mitocôndria, cloroplastos). Podem ser unicelulares ou multicelulares, e compreendem os reinos Protista, Fungi, Plantae e Animalia, em contraste com os organismos procariontes, que são do reino Monera.

As espécies de cianobactérias que vivem dispersas na água fazem parte do fitoplâncton, juntamente com as algas, porém em condições favoráveis, podem se tornar dominantes (MAIER *et al.*, 1998), especialmente em águas eutrofizadas.

As cianobactérias apresentam tanto propriedades benéficas quanto maléficas do ponto de vista humano. Estes organismos produzem substâncias de interesse à pesquisa médica, como substâncias antitumores, antivirais e antifúngicas; no entanto, também produzem toxinas nocivas à saúde de animais e pessoas, e substâncias capazes de conferir gosto e odor indesejáveis à água (CHORUS & BARTRAM, 1999). As florações de cianobactérias podem acarretar um aumento no custo do tratamento da água e problemas relacionados à saúde pública, quer esta água seja usada para consumo, quer para recreação.

2.2. Florações

Florações de cianobactérias são o resultado da superdivisão das células a quantidades acima de 1×10^3 células/mL e são formadas por apenas uma ou poucas espécies (YUNES, 2002). Assim como as cianobactérias podem se encontrar a qualquer altura da coluna d'água devido à presença de vacúolos gasosos que lhe permitem regular sua flutuação, as florações também podem estar presentes em diferentes profundidades. Quando se concentram na superfície formam escumas de aparência antiestética.

Existem vários fatores que favorecem o surgimento de florações, porém seu mecanismo ainda não foi bem compreendido (CHORUS & BARTRAM, 1999). Dentre as condições que favorecem o crescimento das cianobactérias podemos citar a abundância de nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo), pH entre 6 e 9, águas calmas (rios de fluxo lento, lagos e reservatórios), disponibilidade de luz e temperatura entre 15 e 30°C⁵.

As florações são um fenômeno natural, podendo ocorrer em águas consideradas de qualidade boa ou aceitável em grande parte do mundo, no entanto ocorrem com mais frequência em águas que sofreram interferência humana, como represamento ou recebimento de esgoto (CHORUS & BARTRAM, 1999).

⁵ Para maiores detalhes, ver BOWDEN (2000).

Represas aumentam o tempo de retenção hídrica de rios e a superfície da água exposta à radiação solar, modificando as condições de crescimento para os organismos aquáticos e favorecendo o crescimento das cianobactérias (CHORUS & BARTRAM, 1999).

O lançamento de esgoto nos corpos hídricos aumenta a concentração de nutrientes na água resultando em profundas modificações qualitativas e quantitativas nas comunidades aquáticas. Este processo de enriquecimento artificial através do aumento da concentração de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, é denominado eutrofização artificial e está relacionado com o aumento da população e da industrialização e conseqüentemente, com o aumento dos efluentes domésticos e industriais e das atividades agrícolas (ESTEVES, 1998).

Embora alguns lagos sejam naturalmente eutróficos, na maioria dos casos o excesso de nutrientes é favorecido por atividades antrópicas. Em áreas densamente povoadas, o esgoto é a fonte de pelo menos metade do fósforo total encontrado em rios e lagos (CHORUS & BARTRAM, 1999).

Inicialmente, a eutrofização artificial leva a um aumento da diversidade de espécies e indivíduos da comunidade fitoplanctônica; contudo, o surgimento de algumas espécies ocorre em detrimento do desaparecimento de outras (ESTEVES, 1998), resultando na redução na diversidade de espécies, porém, com um aumento considerável da biomassa⁶ das espécies presentes (BRASIL, 2003).

Existem vários fatores que levam as cianobactérias predominarem sobre os outros grupos fitoplanctônicos. Entre eles destacam-se sua maior afinidade com nitrogênio e fósforo do que aquelas encontradas em outros organismos fotossintéticos (CHORUS & BARTRAM, 1999) e um menor grau de predação sofrido em relação aos outros grupos fitoplanctônicos, pois produzem toxinas ou outros metabólitos que inibem sua predação por outros organismos (microcrustáceos, larvas de peixes, moluscos) (BRASIL, 2003)⁷.

Como resultado desses processos, muitas vezes restará no meio aquático as cianobactérias potencialmente tóxicas como organismos fitoplanctônicos dominantes.

⁶ Biomassa é o peso total dos indivíduos de uma população ou comunidade por unidade de área ou de volume (ESTEVES, 1998). A biomassa de cianobactérias normalmente é expressa em células/mL.

⁷ Para maiores detalhes, ver DOKULIL & TEUBNER (2000).

Esse meio aquático, apresentando uma diversidade de espécies bastante reduzida e dominância de cianobactérias potencialmente tóxicas, é, por vezes, o manancial de abastecimento que temos disponível em muitas regiões brasileiras (BRASIL, 2003).

2.3. Toxinas

Vários gêneros e espécies de cianobactérias que formam florações produzem toxinas, também conhecidas como cianotoxinas. As cianotoxinas constituem uma grande fonte de produtos naturais tóxicos produzidos por esses microorganismos e, embora ainda não estejam devidamente esclarecidas as causas da produção dessas toxinas, têm-se assumido que esses compostos tenham função protetora contra seus predadores naturais (AZEVEDO, 1998, CARMICHAEL, 1994). No entanto, aparentemente a maior parte das cianotoxinas é mais nociva aos mamíferos do que a outros organismos aquáticos (CHORUS & BARTRAM, 1999).

As cianotoxinas estão presentes no interior das células, só sendo liberadas para o ambiente quando estas se rompem. Esse rompimento pode ser causado pelo envelhecimento ou morte das cianobactérias, ou por tratamentos químicos, como a utilização de algicidas. Essas toxinas não são retiradas da água pelos tratamentos convencionais das redes públicas de abastecimento e são resistentes à fervura (BRASIL, 2003).

O comportamento de diferentes espécies de cianobactérias na natureza é heterogêneo devido às suas diferentes propriedades fisiológicas. Em populações de cianobactérias compostas por uma variedade de espécies, algumas podem não ser tóxicas, e mesmo em uma floração formada por apenas uma espécie, esta pode apresentar cepas tóxicas e outras não-tóxicas. Além disso, uma espécie pode produzir diversos tipos de cianotoxinas simultaneamente. A Figura 2.1 mostra as cianobactérias potencialmente produtoras de toxinas encontradas em corpos hídricos com mais frequência (SIVONEN, 1996; CHORUS & BARTRAM, 1999).

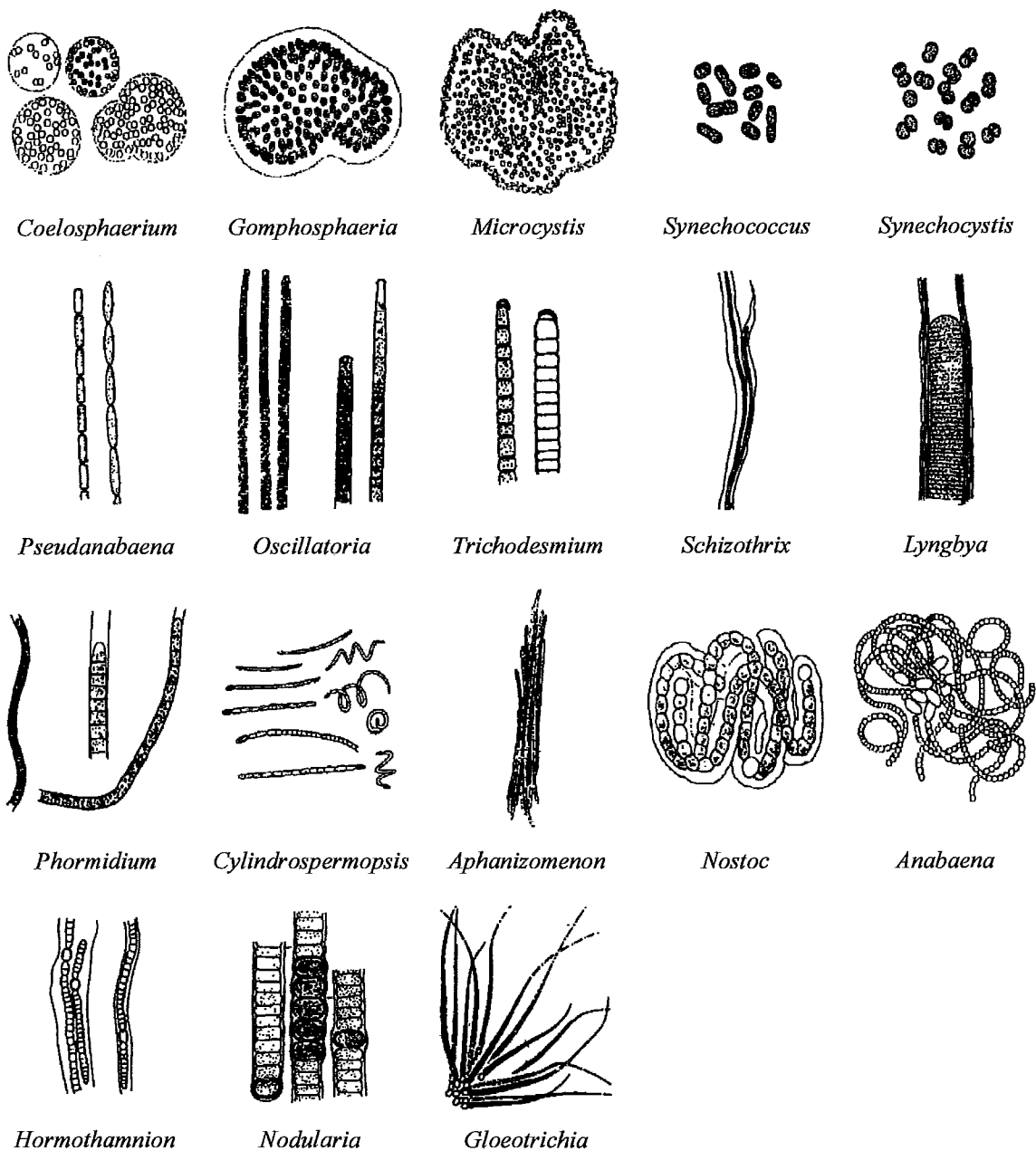


Figura 2.1 Gêneros de cianobactérias potencialmente produtoras de toxinas. Adaptado de: CHORUS & BARTRAM (1999)

2.3.1. Tipos de cianotoxinas

De acordo com sua ação farmacológica, as cianotoxinas são divididas em endotoxinas, neurotoxinas e hepatotoxinas.

Endotoxinas

Produzem reações alérgicas, irritação na pele e olhos e gastroenterite. A maior rota de exposição a estas cianotoxinas são as atividades aquáticas (CHORUS & BARTRAM, 1999, PILOTTO *et al.*, 1997).

Neurotoxinas

Interferem no funcionamento do sistema nervoso central e podem causar a morte dentro de poucos minutos através da paralisação dos músculos respiratórios, dependendo da dosagem e do consumo prévio de alimento. Os sinais de envenenamento por esta toxina em animais incluem: desequilíbrio, fasciculação muscular (tremores), respiração ofegante e convulsões (CARMICHAEL, 1994, AZEVEDO, 1998).

Existem quatro tipos de neurotoxinas conhecidas hoje: anatoxina-a, anatoxina-a(s), saxitoxina e neosaxitoxina. Elas agem de modo distinto, no entanto todas levam à paralisação da atividade muscular ocasionando a morte do animal por parada respiratória. As saxitoxinas foram inicialmente caracterizadas em espécies de dinofíceas marinhas e foram responsáveis por diversos casos de intoxicação humana através do consumo de mariscos contaminados (BITTENCOURT-OLIVEIRA & MOLICA, 2003).

As neurotoxinas são produzidas por espécies dos seguintes gêneros: *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*, *Trichodesmium* e *Cylindrospermopsis* (AZEVEDO, 1998).

Hepatotoxinas

Danificam o fígado, causando acúmulo de sangue no órgão, podendo levar à morte entre poucas horas e poucos dias, por hemorragia ou falência do fígado. É possível que a exposição freqüente a pequenas doses contribua para o desenvolvimento de câncer (CARMICHAEL, 1994, AZEVEDO, 1998). São as cianotoxinas mais frequentemente encontradas em florações de água doce em corpos hídricos de todo o mundo (CHORUS & BARTRAM, 1999).

As principais hepatotoxinas são as microcistinas, nodularinas e cilindrospermopsinas (BITTENCOURT-OLIVEIRA & MOLICA, 2003).

As cianobactérias produtoras de hepatotoxinas estão incluídas nos gêneros: *Microcystis*, *Anabaena*, *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Nostoc* e *Cylindrospermopsis* (AZEVEDO, 1998).

2.3.2. Intoxicações relatadas

As cianotoxinas começaram a atrair a atenção dos cientistas através dos primeiros casos reportados de envenenamento de animais. O primeiro caso bem documentado ocorreu em 1878 e desde então foram relatados diversos casos de morte de animais pelo consumo de água.

A intoxicação de pessoas é menos freqüente do que a intoxicação de animais, pois aparentemente as pessoas evitam nadar ou consumir água que apresentem florações visíveis ou gosto e odor desagradáveis, uma vez que na maioria dos casos de envenenamento de animais, este se deu por consumo de água com escumas de cianobactérias presentes na superfície.

No entanto, alguns tipos de neurotoxinas podem se acumular em altas concentrações em peixes, mariscos e outros animais que crescem em águas contaminadas. Dessa forma, podem existir várias rotas de exposição oral a cianotoxinas além do consumo de água contaminada ou da ingestão acidental durante atividades aquáticas.

A quantidade de água necessária para matar um animal depende do tipo e quantidade de cianotoxinas ingeridas, assim como da espécie, tamanho, sexo e idade do animal. No entanto, geralmente são suficientes de poucos mililitros a vários litros de água (CARMICHAEL, 1994, CHORUS & BARTRAM, 1999).

Não existem relatos de contaminação fatal de pessoas por ingestão de água proveniente de estações de tratamento, porém vários casos de problemas gastrointestinais e hepatointestinais foram relatados (FALCONER, 1999).

No primeiro caso confirmado de mortes de seres humanos, a contaminação se deu através de exposição intravenosa às cianotoxinas, em uma clínica de hemodiálise brasileira. Ocorreu em Caruaru (PE) em 1996, quando pacientes renais crônicos faleceram após terem sido submetidos a sessões de hemodiálise. Dos 131 pacientes em tratamento, 116 passaram a apresentar dores de cabeça, perturbações visuais, náuseas, vômitos e fraqueza muscular causados por cianotoxinas presentes na água utilizada durante as sessões. Destes, 52 vieram a falecer em decorrência da falência do fígado até 9 meses após o surgimento dos primeiros sintomas. A água utilizada nas sessões de hemodiálise não havia recebido o tratamento adequado tanto na estação de tratamento municipal, quanto na clínica (JOCHIMSEN *et al.*, 1998, AZEVEDO *et al.*, 2002).

Não é possível afirmar sem testes biológicos se existem cianotoxinas presentes em um corpo de água. Enquanto alguns gostos e odores característicos podem acusar a presença de cianobactérias na água, a ausência destes de nenhuma forma significa que não haja toxinas (CHORUS & BARTRAM, 1999).

O incidente em Caruaru levou o Ministério da Saúde à revisão da Portaria nº 36 de 19 de janeiro de 1990, que definia as normas e padrões de potabilidade da água para consumo humano no Brasil, através da homologação da Portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000. Esta portaria passou a exigir dos órgãos competentes e responsáveis pelo tratamento e fornecimento de água o monitoramento da ocorrência de cianobactérias e algumas cianotoxinas, tanto na água bruta do manancial utilizado para captação de água, quanto na água tratada para consumo (BRASIL, 2001). Em 2004, esta portaria foi substituída pela Portaria nº 518 de 25 de março (BRASIL, 2004).

Os principais problemas relacionados à intoxicação por cianotoxinas incluem distúrbios hepáticos, neurológicos, gastrointestinais e reações alérgicas. Embora registros de casos desses tipos sejam mais comuns no hemisfério norte, estudos realizados pela UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro – confirmam a ocorrência de florações tóxicas de cianobactérias em corpos d'água de vários estados brasileiros, inclusive em águas de reservatórios destinados ao abastecimento público (AZEVEDO, 1998).

2.4. Abastecimento de água

A existência de uma floração de cianobactérias em águas de abastecimento público acarreta um aumento no custo do tratamento da água, uma vez que pode ocorrer a corrosão de tanques e tubulações do sistema de distribuição e o entupimento de filtros, interferindo na coloração e turbidez da água. Além disso, uma vez que a floração esteja formada, se faz necessária a adaptação da seqüência de tratamento para que este seja efetivo na remoção das células. Porém os processos convencionais de tratamento (coagulação, floculação, sedimentação e filtração) não removem de forma significativa as toxinas liberadas na água (BRASIL, 2003).

Algumas espécies de cianobactérias produzem substâncias que causam odor desagradável (capim, mofo, esgoto, picante) e sabor ruim na água (doce, amargo), podendo provocar a recusa da água pelo consumidor (DI BERNARDO, 1995). Filtros de carvão ativado podem ser utilizados para a remoção do sabor e odor indesejáveis, no

entanto, este procedimento aumenta o custo do tratamento da água. A eficiência deste procedimento depende da concentração das cianobactérias, pois caso a concentração seja muito grande, os filtros de carvão ativado não conseguem retirar toda a substância da água, continuando o gosto desagradável.

Em regiões em que o abastecimento público de água se utiliza de águas de superfície afetadas por cianobactérias, a exposição real dos consumidores às cianotoxinas dependerá muito do método de tratamento utilizado (CHORUS & BARTRAM, 1999).

O controle de algas, cianobactérias e cianotoxinas em reservatórios de água destinados ao abastecimento público envolve ações preventivas e corretivas. A prevenção do processo de eutrofização deve ser prioritária, sendo baseada, principalmente, no manejo dos fatores que favorecem o crescimento dos organismos fitoplanctônicos, especialmente o aporte de nutrientes. As medidas de caráter corretivo de controle de algas, cianobactérias e cianotoxinas incluem o manejo da captação da água bruta e a remoção desses organismos e de seus compostos (substâncias que produzem gostos e sabor, e toxinas) no sistema de tratamento de água.

A distribuição horizontal e vertical da população de cianobactérias e algumas espécies de algas pode variar de forma significativa no corpo d'água. As escumas tendem a se acumular em zonas protegidas e de baixa circulação, como baías e reentrâncias; além disso, a profundidade em que a floração se apresenta pode variar ao longo do dia, devido a mudanças na sua capacidade de flutuação decorrentes da intensidade da lua e da fotossíntese.

Dessa forma, é possível reduzir a contaminação da água que alimenta a estação de tratamento alocando-se o ponto de captação longe dos locais onde as cianobactérias tendem a se acumular, ou então, caso isso não seja possível, pode-se utilizar uma extensão temporária da captação durante os períodos de floração (BRASIL, 2003).

Outra medida que pode ser adotada é o uso de barreiras similares às utilizadas na contenção de derramamentos de óleos. Essas barreiras têm profundidade entre 0,5 e 1m e não afetam o fluxo de água de forma significativa. Esta é uma medida emergencial e sua utilização dependerá de aspectos práticos de instalação (CHORUS & BARTRAM, 1999).

O uso de algicidas, especialmente sulfato de cobre, não é recomendado em casos de florações estabelecidas, uma vez que provocam a ruptura das células, liberando na água suas toxinas. Uma vez dissolvidas na água, essas toxinas passam através dos filtros

do sistema de tratamento com muito mais facilidade do que as toxinas que estão dentro de células intactas (CHORUS & BARTRAM, 1999). A Portaria nº 518 proíbe o uso de algicidas para o controle do crescimento de cianobactérias em mananciais para abastecimento de água quando a densidade das cianobactérias exceder 20.000 células/ml (BRASIL, 2004).

2.4.1. Tecnologias de tratamento

As tecnologias de tratamento de água podem ser divididas em dois grupos: no primeiro não é empregada a coagulação química e do segundo, este processo é imprescindível. Outra classificação possível é em função da filtração, que pode ser rápida ou lenta. (DI BERNARDO, 1995)

Dentre os principais processos de tratamento de água, destacam-se:

Coagulação: promove a agregação de partículas pequenas e dispersas em partículas maiores que podem ser separadas através de sedimentação, filtração ou flotação. Sais de alumínio e de ferro são comumente utilizados como coagulantes (CHORUS & BARTRAM, 1999).

Floculação: Mistura lenta e suave da água para acelerar a etapa de coagulação, uma vez que acelera a taxa de colisão das partículas desestabilizadas pelos coagulantes utilizados (BRASIL, 2003).

Sedimentação ou decantação: Processo de separação do material sólido presente em um líquido pela gravidade. O lodo sedimentado é geralmente acumulado por um período de tempo no próprio tanque de sedimentação/decantação (BRASIL, 2003, DI BERNARDO, 1995).

Flotação: Adição de microbolhas de gás, geralmente ar, para auxiliar na separação gravitacional das partículas. As microbolhas, em contato com as partículas, formam aglomerados que flutuam até a superfície da água, sendo removidos por meio de raspadores de superfície. É utilizada no lugar da sedimentação quando as partículas formadas na coagulação apresentam baixa velocidade de sedimentação (BRASIL, 2003).

Filtração rápida: Processo físico-químico no qual as partículas são retidas em um meio granular, geralmente a areia. Nas tecnologias de tratamento que envolvem a filtração rápida o emprego da coagulação química é imprescindível (BRASIL, 2003).

Filtração lenta: Processo biológico de remoção de partículas. O meio filtrante geralmente é constituído de areia relativamente fina e na sua superfície se desenvolve uma película biológica, conhecida como “Schmutzdecke”⁸. Esta película é composta de matéria orgânica e vários organismos, tais como algas, vírus, bactérias, protozoários, etc (BRASIL, 2003, DI BERNARDO, 1995).

Desinfecção: destruição de microorganismos patogênicos ou outros compostos indesejados. Os desinfetantes mais utilizados são: cloro, ozônio, dióxido de cloro e permanganato de potássio (CHORUS & BARTRAM, 1999).

2.4.2. Prevenção de florações

Para que sejam evitados os problemas de gosto e odor, assim como as possibilidades da presença de cianotoxinas na água, a adoção de medidas para a prevenção de florações de cianobactérias nos mananciais de abastecimento público é a melhor abordagem ao problema (BRASIL, 2003).

Os métodos de prevenção de florações de cianobactérias incluem (BRASIL, 2003):

1. O manejo da bacia hidrográfica, para minimizar a entrada de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo;
2. O tratamento da água represada deve incluir a aeração e/ou inativação dos nutrientes dissolvidos, para diminuir a disponibilidade destes nutrientes para as cianobactérias;
3. A modificação da estrutura da comunidade aquática através de controle biológico.

Modelos de predição do crescimento de cianobactérias podem facilitar o trabalho das equipes responsáveis por sistemas de abastecimento de água alertando quando medidas de contingência devem ser tomadas (CHORUS & BARTRAM, 1999).

⁸ Palavra alemã, significa “camada de sujeira”.

3. Redes neuronais

As redes neuronais, também chamadas de redes neurais ou connexionismo, constituem uma linha de pesquisa da Inteligência Artificial⁹ que tem por objetivo investigar a possibilidade de simulação de comportamentos inteligentes através de modelos baseados na estrutura e funcionamento do cérebro humano, buscando implementar seu comportamento básico e sua dinâmica (BITTENCOURT, 1998).

O estudo das redes neuronais¹⁰ foi motivado pela observação de que o cérebro é constituído de redes complexas de neurônios interconectados. O cérebro humano possui aproximadamente 10^{11} neurônios, cada um conectado em média a 10^4 outros neurônios. Embora o tempo de resposta de um neurônio seja relativamente longo, o ser humano é capaz de executar algumas tarefas, como o reconhecimento de um rosto, muito mais rápido do que os computadores (MITCHELL, 1997).

Redes neuronais nada mais são do que sistemas constituídos por neurônios artificiais interconectados que calculam determinadas funções matemáticas. Uma definição mais formal pode ser encontrada em HAYKIN (2001, p.28):

“Uma rede neural é um processador maciçamente paralelamente distribuído constituído de unidades de processamento simples, que têm propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para o uso. Ela se assemelha ao cérebro em dois aspectos:

- 1. O conhecimento é adquirido pela rede a partir de seu ambiente através de um processo de aprendizagem.*
- 2. Forças de conexão entre neurônios, conhecidas como pesos sinápticos, são utilizadas para armazenar o conhecimento adquirido.”*

A solução de problemas através de redes neuronais é bastante atrativa, já que a forma como eles são representados internamente pela rede e o paralelismo natural

⁹ A Inteligência Artificial (IA) é uma área da ciência da computação cujo objetivo central é a criação de modelos para a inteligência e a construção de sistemas computacionais baseados nesses modelos (KOSKO, 1992).

¹⁰ Apesar de “redes neurais” ser um termo mais popular, a palavra “neural” se refere ao sistema nervoso como um todo, enquanto a palavra “neuronal” se refere ao neurônio individualmente. Dessa forma, como o connexionismo estuda redes constituídas de neurônios, o termo “rede neuronal” é mais apropriado (CARVALHO, 2001).

inerente à sua arquitetura criam a possibilidade de um desempenho superior aos modelos convencionais (BRAGA *et al.*, 2000).

As características que tornam a metodologia de redes neuronais interessante do ponto de vista da solução de problemas são as seguintes:

- Capacidade de “aprender” através de exemplos e de generalizar este aprendizado de maneira a reconhecer instâncias similares que nunca haviam sido apresentadas como exemplo.
- Bom desempenho em tarefas mal definidas, onde falta o conhecimento explícito sobre como encontrar uma solução.
- Não requer conhecimento a respeito de eventuais modelos matemáticos dos domínios de aplicação.
- Elevada imunidade ao ruído, isto é, o desempenho de uma rede neuronal não entra em colapso em presença de informações falsas ou ausentes, como é o caso nos programas convencionais, mas piora de maneira gradativa.

Alguns domínios onde são comuns aplicações da técnica de redes neuronais são: reconhecimento de padrões em geral (por exemplo, visão computacional, reconhecimento de voz, etc.), processamento de sinais, previsão desde variação de carga elétrica até cotações da bolsa de valores, diagnóstico de falhas e identificação e controle de processos (BITTENCOURT, 1998).

3.1.Neurônio biológico

O neurônio é a célula fundamental do cérebro humano. Cada um dos aproximadamente 10^{11} neurônios presentes no cérebro se comunica com milhares de outros de forma contínua e paralela. Embora apresentem um comportamento complexo, o funcionamento de cada célula individualmente é relativamente simples, e é nesse funcionamento que se baseiam as redes neuronais.

Os neurônios biológicos são divididos em três seções: o corpo da célula, os dendritos e o axônio, cada um com funções específicas (Figura 3.1):

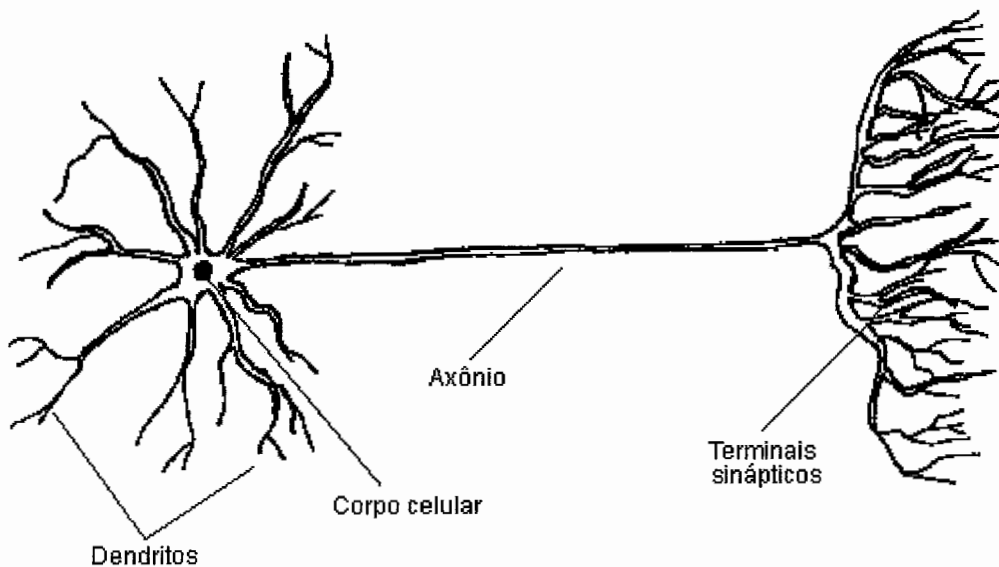


Figura 3.1: Componentes do neurônio biológico

- **Dendritos**. Têm por função receber os impulsos nervosos transmitidos pelos outros neurônios e conduzi-los até o corpo celular;
- **Corpo do neurônio**. Também chamado de *somma*, é responsável por coletar e processar informações vindas de outros neurônios, gerando novos impulsos;
- **Axônio**. Seu papel é transmitir os impulsos para os neurônios seguintes, através dos terminais sinápticos.

O ponto de contato entre a terminação axônica de um neurônio e o dendrito de outro é chamado de sinapse. É pelas sinapses que os neurônios se unem funcionalmente, formando redes neuronais. A capacidade de realizar funções complexas surge com a operação em paralelo de todos os neurônios do nosso cérebro (BRAGA *et al.*, 2000).

Apesar das redes neuronais artificiais terem inspiração biológica, nem sempre sua organização e funcionamento estão relacionados à anatomia cerebral.

3.2. Neurônio artificial

A unidade de processamento básica de uma rede neuronal é o neurônio. A figura abaixo representa um modelo de um neurônio j .

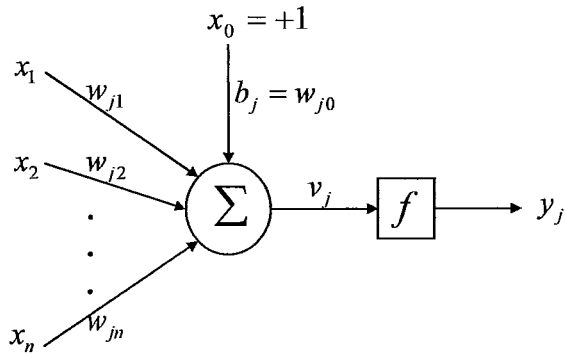


Figura 3.2: Modelo de neurônio artificial

Nesse modelo as entradas x_1, x_2, \dots, x_n representam os dendritos, a saída y_j representa o axônio e $w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jn}$ representam os pesos sinápticos, cujos valores podem ser positivos ou negativos, dependendo de as sinapses correspondentes serem inibitórias ou excitatórias.

Cada entrada x_i é multiplicada pelo seu peso sináptico w_{ji} . O neurônio então faz o somatório das entradas ponderadas pelos seus respectivos pesos e aplica a este valor uma função f , chama de *função de ativação*.

O termo b_j representa o bias, e sua função é aumentar ou diminuir a entrada da função de ativação, conforme seu valor seja positivo ou negativo. Para simplificação das equações matemáticas, pode ser tratado como um peso w_{j0} , ligado a uma entrada x_0 de valor igual a +1.

Assim sendo, podemos descrever o neurônio pelas equações abaixo:

$$v_j = \sum_{i=0}^n x_i \cdot w_{ji} \quad (1)$$

e

$$y_j = f(v_j) \quad (2)$$

Como as entradas da rede neuronal são conhecidas, em última análise a saída de um neurônio é uma função de seus pesos sinápticos. É necessário um *algoritmo de aprendizado* que altere o valor dos pesos de forma que a rede apresente o comportamento desejado. São nos pesos que fica a representação do conhecimento adquirido pela rede.

3.3. Funções de ativação

Funções de ativação são fórmulas matemáticas que definem a saída de um neurônio em função de sua entrada. Tipicamente, a amplitude da saída de um neurônio é o intervalo fechado $[0,1]$ ou ainda $[-1,1]$. A figura abaixo mostra algumas das várias formas que as funções de ativação podem apresentar.

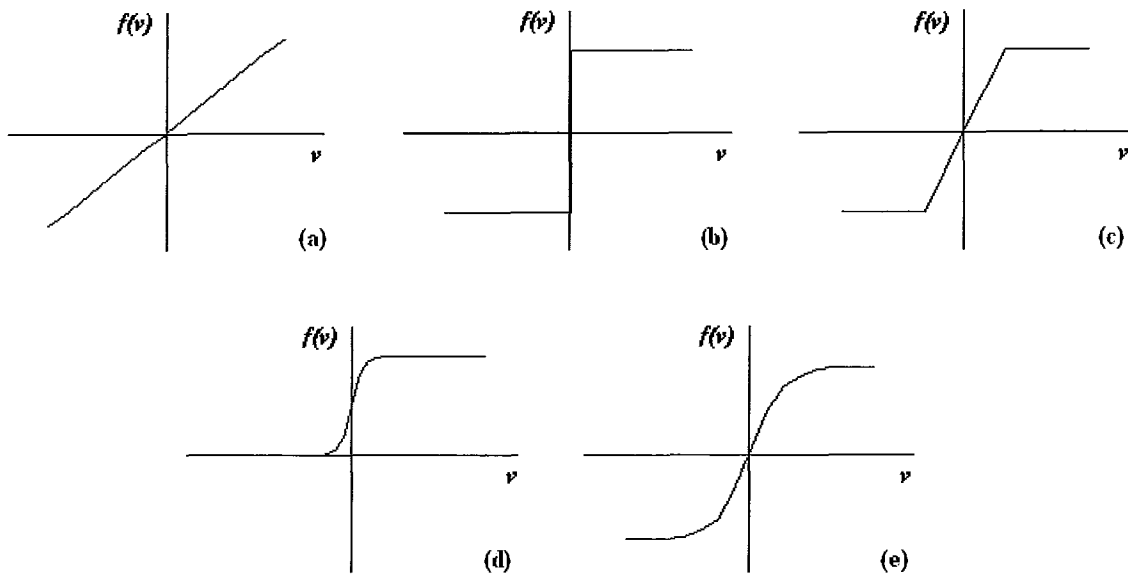


Figura 3.3 Algumas funções de ativação

Alguns tipos básicos de funções de ativação são:

- **Função linear:** A função de ativação linear (Figura 3.1a) é utilizada nos neurônios da camada de entrada. Também chamada de função identidade, é definida pela equação abaixo:

$$f(v) = v \quad (3)$$

- **Função de limiar:** A função de ativação de limiar (Figura 3.3b) é mais utilizada em redes neuronais de uma só camada.

$$f(v) = \begin{cases} +1 & \text{se } v > 0 \\ -1 & \text{se } v \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

O neurônio que possui esta forma de função de ativação, com saída igual a 0 ou 1, é conhecido como *modelo de McCulloch-Pitts*, o primeiro modelo matemático de um neurônio artificial (HAYKIN, 2001).

- **Função de limiar por partes:** Esta função de ativação (Figura 3.3c) pode ser vista como uma aproximação de um amplificador não-linear (HAYKIN, 2001).

$$f(v) = \begin{cases} +1 & \text{se } v \geq +\gamma \\ v & \text{se } |v| < +\gamma \\ -1 & \text{se } v \leq -\gamma \end{cases} \quad (5)$$

- **Função sigmóide:** É a função de ativação mais comumente utilizada em redes neurais (HAYKIN, 2001). Um exemplo é a função logística (Figura 3.3d):

$$f(v) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha v}} \quad (6)$$

onde α é o parâmetro de inclinação da função.

Outra função sigmóide bastante utilizada é a função tangente hiperbólica (Figura 3.3e):

$$f(v) = \tanh(v) = \frac{e^v - e^{-v}}{e^v + e^{-v}} \quad (7)$$

3.4. Topologia

A arquitetura de uma rede neuronal é muito importante, uma vez que ela restringe o tipo de problema que pode ser tratado pela rede. É definida pelo número de camadas da rede, número de neurônios em cada camada e tipo de conexão entre os neurônios.

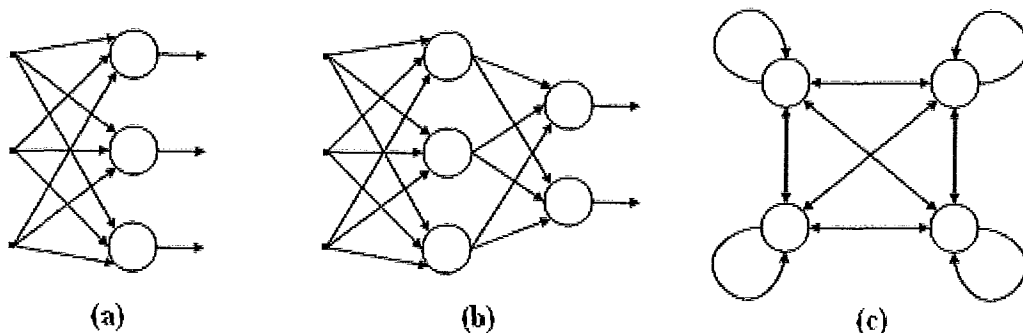


Figura 3.4 Exemplos de arquiteturas de redes neuronais

As redes neuronais podem ser classificadas em relação ao número de camadas que possuem, em:

- **Redes de uma única camada** (Figura 3.4a): não apresentam neurônios entre as entradas da rede e os neurônios de saída.
- **Redes de múltiplas camadas** (Figura 3.4 b, c): apresentam pelo menos um neurônio entre os neurônios de entrada e os neurônios de saída da rede.

A camada de entrada da rede, apesar da denominação, não representa uma camada de fato, pois seus neurônios não efetuam computações. As camadas intermediárias entre a entrada e a saída também são chamadas de camadas escondidas.

As conexões entre os neurônios podem ser do tipo:

- **Feedforward ou acíclica** (Figura 3.4 a, b): A saída de um neurônio não pode ser usada como entrada de neurônios da mesma camada ou de camadas anteriores.
- **Feedback ou cíclica** (Figura 3.4 c): A saída de algum neurônio é usada como entrada de neurônios da mesma camada ou de camadas anteriores.

Em relação à sua conectividade, podem ser classificadas em:

- **Redes totalmente conectadas** (Figura 3.4 a, b, c): Cada um dos neurônios de uma camada da rede está conectado a todos os neurônios da camada adjacente.
- **Redes fracamente (ou parcialmente) conectadas.**

3.5. Aprendizado

Redes neuronais possuem a capacidade de aprender através de exemplos e de fazer interpolações e extrapolações do que aprenderam. O conjunto de procedimentos utilizados durante este processo de aprendizado é chamado de *algoritmo de aprendizado*, cuja função é modificar os pesos sinápticos, de forma a se atingir o objetivo desejado.

De forma geral, o processo de aprendizagem pode ser esquematizado da seguinte forma (HAYKIN, 2001):

1. A rede neuronal é estimulada por um ambiente.
2. Os pesos sinápticos e bias dos neurônios são modificados como resultado desta estimulação.
3. A rede neuronal fornece novas respostas ao ambiente, devido à sua estrutura interna ter sido modificada.

Os algoritmos de aprendizado podem ser agrupados em dois paradigmas principais: aprendizado supervisionado e aprendizado não-supervisionado.

Como neste trabalho utilizou-se um algoritmo de aprendizado supervisionado, apenas este será descrito a seguir em maiores detalhes.

3.5.1. Aprendizado supervisionado

É o tipo de aprendizado mais comum no treinamento das redes neurais. Nesse método, a entrada da rede é apresentada juntamente com sua resposta, ou seja, a saída desejada. A saída produzida pela rede é comparada com a saída desejada, produzindo um erro. Os pesos da rede são ajustados de forma a minimizar este erro. A figura abaixo mostra um diagrama que ilustra este tipo de aprendizagem.

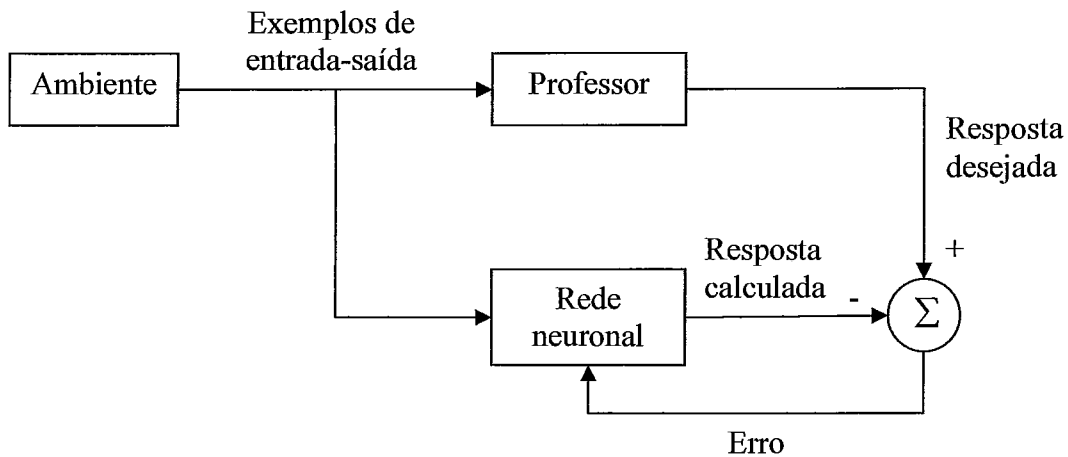


Figura 3.5 Aprendizado supervisionado. Adaptado de: HAYKIN (2001)

A aprendizagem por correção de erros tem como objetivo minimizar a diferença entre a resposta calculada pela rede e a resposta desejada.

O erro entre a resposta atual $y(t)$ e a resposta desejada $d(t)$ é definido por:

$$e(t) = d(t) - y(t) \quad (8)$$

Os pesos são então alterados através da seguinte fórmula, conhecida como *regra delta* ou *regra de Widrow-Hoff*:

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \alpha \cdot e(t) \cdot x_i(t) \quad (9)$$

onde α é a taxa de aprendizado e $x_i(t)$ é a entrada do neurônio i no tempo t .

A taxa de aprendizado é uma constante no intervalo $[0,1]$ e representa uma medida da rapidez com que o vetor de pesos será atualizado.

Os ajustes dos pesos devem ser proporcionais ao produto do erro pelo valor de entrada da sinapse naquele instante de tempo. Estes ajustes são projetados para aproximar a saída y_i da resposta d_i a partir da minimização da soma dos erros quadráticos das saídas:

$$F(w) = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=0}^k (d_i - y_i)^2 \quad (10)$$

onde k é o número de neurônios da camada de saída.

O objetivo do aprendizado supervisionado é atingir o mínimo global da superfície de erro definida por $F(w)$. Quando a rede é composta por neurônios lineares, a superfície de erro possui um único mínimo, não havendo dificuldade em atingi-lo. No entanto, quando a rede possui neurônios não-lineares, $F(w)$ pode ter um ou mais mínimos locais além do mínimo global. Assim sendo, a rede pode se estabilizar em um mínimo local indesejado (BRAGA *et al.*, 2000).

3.5.2. Aprendizado não-supervisionado

No aprendizado não-supervisionado, ou auto-organizado, somente as informações de entrada estão disponíveis para a rede.

Neste tipo de aprendizado, a rede descobre padrões, características, regularidades ou categorias no espaço de entrada e se organiza internamente de forma que seus neurônios correspondam a entradas específicas ou a um grupo de entradas relacionadas, cada agrupamento representando um *cluster* (MAIER, 1995).

3.6. Redes Perceptron

O *perceptron* é a forma mais simples de uma rede neuronal utilizada para classificação de padrões. É formada por neurônios dispostos em camadas, onde cada neurônio possui conexão apenas com os neurônios da camada seguinte, por isso também sendo conhecidas como redes *feedforward*.

O modelo de uma camada, com funções de ativação do tipo função de limiar, foi proposto em 1958 por Rosenblatt, e introduziu o conceito de aprendizado em redes neuronais (BRAGA *et al.*, 2000).

Enquanto os *perceptrons* de uma única camada somente conseguem classificar padrões linearmente separáveis (Figura 3.6a), ou seja, padrões que podem ser separados por um hiperplano, os *perceptrons* de múltiplas camadas têm sido aplicados com sucesso na solução de problemas difíceis.

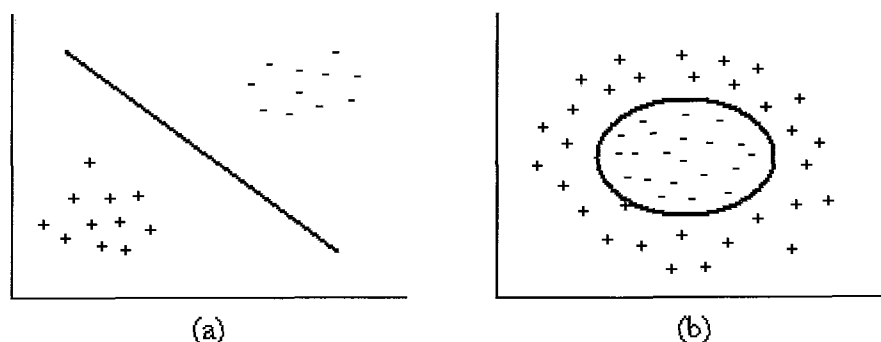


Figura 3.6 Classes linearmente separáveis (a) e não linearmente separáveis (b)

Em redes neurais de uma camada, os exemplos de treinamento apresentados à rede são mapeados diretamente em um conjunto de exemplos de saída da rede, não sendo possível a formação de uma representação interna. Dessa forma, exemplos de entrada similares resultam em saídas similares, impossibilitando a rede de aprender importantes mapeamentos. Um exemplo clássico dessa limitação é a função ou-exclusivo (XOR).

No final dos anos 60, essa limitação dos *perceptrons* de uma camada, aliada à inexistência de um processo de aprendizado para os *perceptrons* de múltiplas camadas, levou praticamente à paralisação das pesquisas em redes neurais por mais de uma década.

Nos anos 80 houve a retomada pelo interesse em redes neurais, devido, em grande parte, ao desenvolvimento do algoritmo de retropropagação de erros, ou *backpropagation*, para treinamento de redes de múltiplas camadas por Rumelhart em 1986.

Numa rede neuronal de múltiplas camadas, o processamento realizado por cada neurônio é definido pela combinação dos processamentos realizados por cada neurônio da camada anterior que está conectada a ele. Conforme o processamento segue da primeira camada até a camada de saída, as funções executadas se tornam cada vez mais complexas. Cada neurônio define como é realizada a divisão do espaço de decisão.

Como vimos anteriormente, *perceptrons* de uma camada apenas conseguem classificar padrões linearmente separáveis, pois seus neurônios apenas traçam retas no

espaço de padrões de treinamento. Em perceptrons de múltiplas camadas, a camada de saída combina as retas traçadas pela camada intermediária formando regiões convexas, permitindo a classificação de padrões não linearmente separáveis (Figura 3.6b).

Os neurônios da camada intermediária podem ser considerados como extratores de características, pois geram uma codificação interna dos padrões de entrada. Essa codificação é utilizada pela camada de saída para a definição da resposta da rede (BRAGA *et al.*, 2000).

Em geral, o número de neurônios da camada intermediária é determinado empiricamente. No entanto, é bom ter em mente que caso a rede possua um número insuficiente de neurônios na camada escondida, a rede pode não convergir. Se for usado um número excessivo de neurônios, a rede pode perder sua habilidade de generalização (MAIER, 1995).

Numa rede neuronal de múltiplas camadas, os neurônios sempre têm função de ativação semi-linear. Uma função de ativação amplamente utilizada é a função sigmóide.

O algoritmo de aprendizado mais conhecido para treinamento de perceptrons de múltiplas camadas é o algoritmo *backpropagation*.

3.6.1. Backpropagation

O treinamento com o algoritmo *backpropagation*, ou algoritmo de retropropagação de erros, ocorre em três fases.

Na primeira fase, também chamada de *forward*, um padrão é apresentado à camada de entrada da rede e a atividade resultante flui através da rede, camada por camada, até que a resposta seja produzida pela camada de saída.

Na segunda fase, também chamada de *backward*, a saída calculada pela rede é comparada à saída desejada para esse padrão particular. O erro é então calculado e propagado a partir da camada de saída até a camada de entrada.

Na terceira fase os pesos são ajustados de acordo com os erros calculados na fase anterior, através da regra delta generalizada. Esta regra é uma variação da regra delta, apropriada para redes de múltiplas camadas (FAUSETT, 1994).

A seguir são apresentadas as definições e o funcionamento do algoritmo *backpropagation*.

Definições:

Dada uma rede com C camadas, numeradas da entrada para a saída:

0 (entrada), 1, ..., c , ..., C (saída)

cada camada com N_c neurônios:

1, 2, ..., j , ..., N_c

e w_{ji}^c é o peso sináptico que liga o neurônio i da camada $c-1$ ao neurônio j da camada c

x_i é uma entrada de um neurônio j

v_j é a soma das entradas do neurônio j ponderadas pelos seus pesos

y_j é a saída do neurônio j

1. Inicializar pesos e parâmetros
2. Enquanto critério de parada não for atendido, faça:
 - 2.1. Para cada padrão de treinamento, faça:

Fase forward

- 2.1.1. A entrada é apresentada à primeira camada da rede ($c=0$):

$$v_j^0 = x_j \quad \text{para } j = 1, \dots, N_0 \quad (11)$$

- 2.1.2. Para cada camada seguinte ($c=1, \dots, C$), faça:

2.1.2.1. Cada neurônio j calcula a soma ponderada de suas entradas

$$v_j^c = \sum_{i=0}^{N_{c-1}} x_i \cdot w_{ji}^c \quad (12)$$

e aplica a função de ativação para produzir sua saída

$$y_j^c = f(v_j^c) \quad \text{para } j = 1, \dots, N_c \quad (13)$$

Backward

- 2.1.3. Os neurônios da camada de saída (C) calculam seu erro:

$$e_j^C = d_j - y_j^C \quad (14)$$

e

$$\delta_j^C = e_j^C \cdot f'(v_j^C) \quad (15)$$

2.1.4. Para $c = C, C-1, \dots, 2$ faça

$$\delta_j^{c-1} = \sum_{k=1}^{N_c} \delta_k^c \cdot w_{kj}^c \quad \text{para } j = 1, \dots, N_c \quad (16)$$

Atualizar pesos

2.2. Para $c = 1, \dots, C$

$$w_{ji}^c(t+1) = w_{ji}^c(t) + \alpha \cdot \delta_j^c(t) \cdot x_i^c(t) \quad (17)$$

A atualização dos pesos pode ser feita em dois momentos, definindo o modo do treinamento. No modo padrão, a correção dos pesos acontece a cada apresentação à rede de um exemplo do conjunto de treinamento. Dessa forma, cada atualização de pesos baseia-se somente no erro do exemplo apresentado naquela iteração. No modo *batch* ou batelada, apenas uma atualização é feita por ciclo. Todos os exemplos do conjunto de treinamento são apresentados à rede, seu erro médio é calculado e a partir deste erro fazem-se as correções dos pesos.

A taxa de aprendizado (α) determina o tamanho absoluto da alteração nos pesos da rede durante o treinamento. Quanto menor for seu valor, menores serão as variações dos pesos, o que significa uma trajetória mais suave na superfície de erro. Entretanto isso pode significar um treinamento longo. Caso α seja muito grande, a rede pode ser tornar instável. Uma forma de aumentar α evitando que a rede oscile, é modificar a regra delta (9) incluindo um termo de momento. A equação abaixo é conhecida como *regra delta generalizada* (MAIER, 1995; HAYKIN, 2001)..

$$\Delta w_i(t) = \beta \cdot \Delta w_i(t-1) + \alpha \cdot e(t) \cdot x_i(t) \quad (18)$$

onde β é um número positivo chamado de *constante de momento*, ou, simplesmente, *momento*.

O critério de parada do algoritmo *backpropagation* não é bem definido. O treinamento pode ser interrompido após um número definido de ciclos, após o erro ter atingido um valor aceitável ou através da validação cruzada, onde um subconjunto do conjunto de treinamento, chamado de conjunto de validação, é utilizado periodicamente durante o treinamento para avaliar o desempenho da rede (HAYKIN, 2001).

Depois que a rede estiver treinada e o erro estiver em um nível satisfatório, ela poderá ser utilizada como uma ferramenta para classificação de novos dados. Para tal, a

rede deverá ser utilizada apenas no modo *feedforward*. Ou seja, novas entradas são apresentadas à camada de entrada, são processadas nas camadas intermediárias e os resultados são apresentados na camada de saída, como no treinamento, mas sem a retropropagação do erro.

3.7. Aplicações em modelagem ecológica

Há vários exemplos de uso de redes neuronais em modelagem ecológica, tais como identificação de fontes de contaminação microbiológica, previsão de demanda de água, estimação de idade de peixes, previsão de chuva, modelagem e análise de eutrofização em lagos, previsão da produção primária em ecossistemas marinhos e de água doce, sensoriamento remoto e epidemiologia (LEK & GUÉGUAN, 1999; MAIER & DANDY, 2000; RECKNAGEL, 2003).

Vários estudos utilizaram redes neuronais na modelagem da eutrofização e do crescimento do fitoplâncton nos últimos anos. SCARDI (1996) utilizou redes neuronais para estimar a produção do fitoplâncton, RECKNAGEL *et al.* (1997), RECKNAGEL (1997), YABUNAKA *et al.* (1997), MAIER & DANDY (1997b), WHITEHEAD *et al.* (1997), MAIER *et al.* (1998) WEI *et al.* (2001) e LEE *et al.* (2003) previram a concentração de clorofila-a e de espécies de algas e cianobactérias em função de parâmetros da qualidade da água. Em todos estes estudos foram utilizadas redes neuronais *feedforward* com algoritmo *backpropagation*.

Redes neuronais têm várias características que as tornam adequadas à modelagem de sistemas ecológicos, a saber: a distribuição de probabilidade dos dados de entrada não precisa ser conhecida, os dados podem conter variações cíclicas e sazonais, as redes são altamente não-lineares e têm bom desempenho mesmo quando os dados estão incompletos ou apresentam ruído, além de não haver a necessidade de conhecimento prévio sobre as regras que governam os relacionamentos que se deseja modelar (MAIER *et al.*, 1998).

4. Reservatório do Rio Grande

4.1. Histórico¹¹

O Rio Grande, ou Jurubatuba, é um dos principais formadores da Represa Billings, o maior reservatório de água da região metropolitana de São Paulo.

A área ocupada atualmente pela Represa Billings foi inundada a partir de 1927, com a construção da Barragem de Pedreira, no curso do Rio Grande, também denominado Rio Jurubatuba. O projeto foi implementado pela antiga Light - “The São Paulo Tramway, Light and Power Company, Limited” -, hoje Eletropaulo, com o intuito de aproveitar as águas da Bacia do Alto Tietê para gerar energia elétrica na Usina Hidrelétrica (UHE) de Henry Borden, em Cubatão, aproveitando-se do desnível da Serra do Mar.

No início dos anos 40, iniciou-se o desvio de parte da água do Rio Tietê e seus afluentes para o reservatório Billings, a fim de aumentar a vazão da Represa e, conseqüentemente, ampliar a capacidade de geração de energia elétrica na UHE Henry Borden. Esta operação, que objetivava o aumento da produção de energia elétrica, também se mostrou útil para as ações de controle das enchentes e de afastamento dos efluentes industriais e do esgoto gerado pela cidade em crescimento.

O bombeamento das águas do Tietê para a Billings, no entanto, começou a mostrar suas graves conseqüências ambientais poucos anos depois. O crescimento da cidade de São Paulo e a falta de coleta e tratamento de esgotos levaram à intensificação da poluição do Tietê e seus afluentes que, por sua vez, passaram a comprometer a qualidade da água da Billings. Nos primeiros anos da década de 70, a Cetesb – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - é obrigada a iniciar as operações de remoção da mancha anaeróbica presente na Represa.

Em 1982, devido à grande quantidade de esgotos, que resultaram em sérios problemas de florações de cianobactérias, com algumas espécies potencialmente tóxicas, surge a necessidade de interceptação total do Braço do Rio Grande, através da

¹¹ Baseado em CAPOBIANCO & WHATELY (2002).

construção da Barragem Anchieta (Figura 4.1), para garantir o abastecimento de água do ABC, iniciado em 1958.



Figura 4.1 A Barragem Anchieta separa o braço do Rio Grande do restante da Billings (dezembro de 1999). Fonte: CAPOBIANCO & WHATELY (2002)

4.2. Atualidade

A Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - opera uma Estação de Tratamento de Água (ETA) no Reservatório do Rio Grande que produz 4,2 mil litros de água por segundo e abastece 1,2 milhões de pessoas em Diadema, São Bernardo do Campo e parte de Santo André.

O Reservatório Rio Grande também é utilizado para recreação e pesca. Suas praias, juntamente com as praias dos Reservatórios Billings e Guarapiranga, recebem nos finais de semana uma população superior a 40.000 pessoas nos períodos mais quentes do ano (CETESB, 2005).

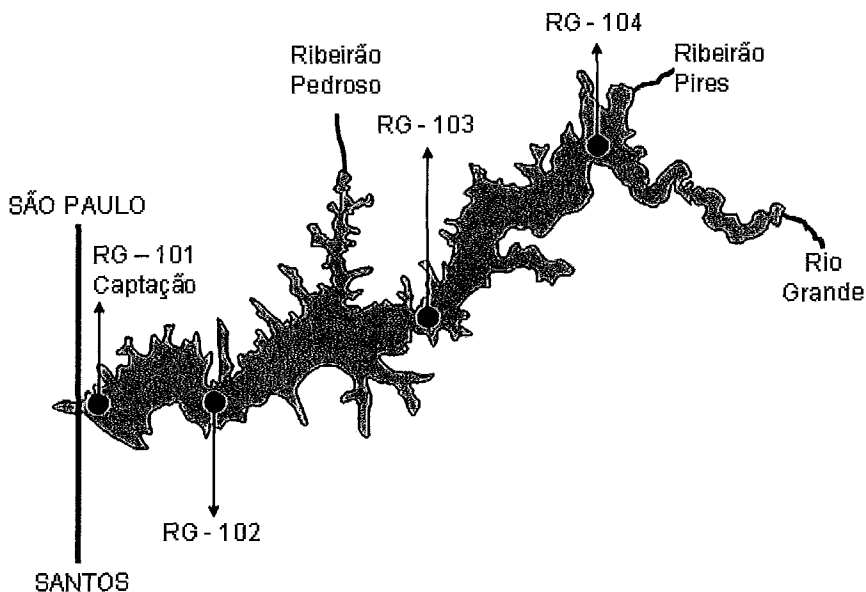


Figura 4.2 Reservatório Rio Grande

O braço do Rio Grande é formado a partir das contribuições do Rio Grande e do Ribeirão Pires (Figura 4.2). Desde a construção da barragem Anchieta, o Reservatório Rio Grande passou a ser categorizado como um reservatório isolado do Sistema Billings, sofrendo somente influências dos lançamentos domésticos e industriais de Rio Grande da Serra, Ribeirão Pires e São Bernardo do Campo.

As principais fontes de poluição do Reservatório Rio Grande encontram-se em seu trecho inicial, representadas pelo Rio Grande e Ribeirão Pires. Ambos os pontos situam-se a jusante¹² dos municípios de Rio Grande da Serra e Ribeirão Pires e, portanto, refletem a qualidade das águas após o recebimento dos lançamentos tanto de origem doméstica quanto industrial, provenientes destes municípios (CETESB, 2004). Devido à grande quantidade de esgoto proveniente da ocupação de suas sub-bacias formadoras, o Rio Grande encontra-se eutrofizado (CAPOBIANCO & WHATELY, 2002).

4.2.1. Cianobactérias

O Reservatório Rio Grande apresenta um histórico de grandes concentrações de cianobactérias, como pode ser observado na Figura 4.3, freqüentemente ultrapassando o valor de 20.000 células/mL.

Este marco de 20.000 células/mL é importante pois a quando a concentração de cianobactérias ultrapassa esse valor, a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde exige a análise semanal de cianotoxinas na água na saída do tratamento e também nas entradas das clínicas de hemodiálise e indústrias de injetáveis. Essa análise pode ser dispensada quando não houver comprovação de toxicidade na água bruta por meio da realização semanal de bioensaios em camundongos (BRASIL, 2004).

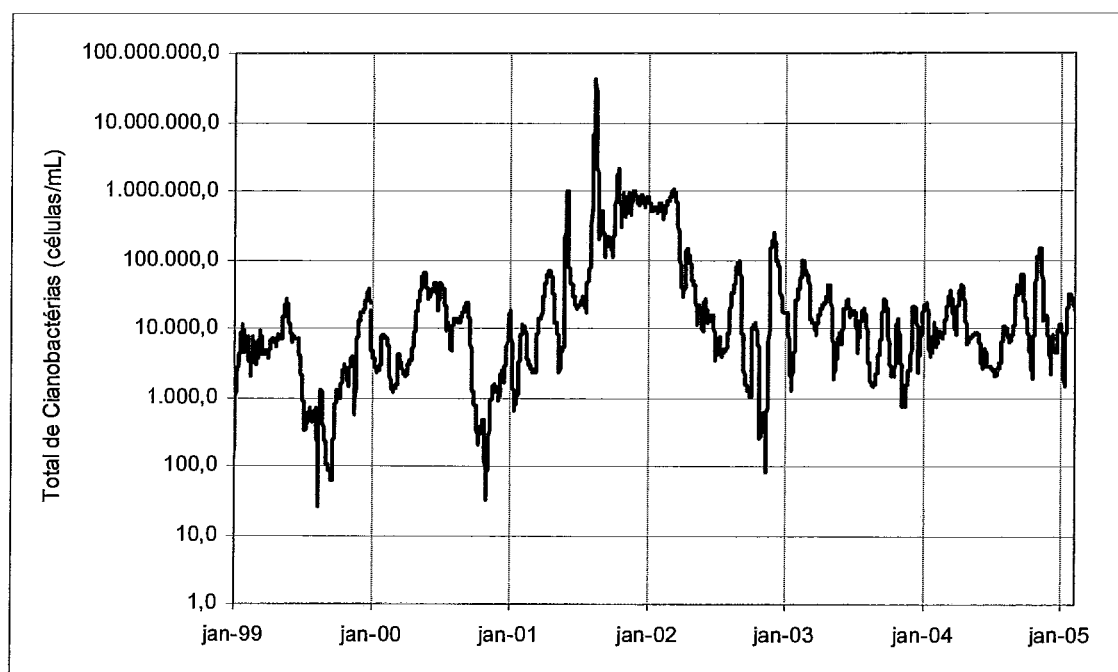


Figura 4.3 Concentração de cianobactérias no Reservatório Rio Grande

No segundo semestre de 2001, foi registrada a maior floração de algas já ocorrida na Represa do Rio Grande, com predominância do gênero *Microcystis*. Para minimizar os efeitos negativos da floração, optou-se pela instalação de uma barreira física para contenção das algas, com resultados satisfatórios. Foi confeccionada uma barreira de 300m com recursos próprios, ao custo de US\$2.000,00. A aquisição de uma barreira como aquelas utilizadas em derramamento de óleo sairia por US\$45.000,00, também com 300m de comprimento (RIVELINO *et al.*, 2003). Este fato exemplifica como a ocorrência de florações pode encarecer o custo do tratamento da água.

¹² Rio abaixo, em direção à foz.

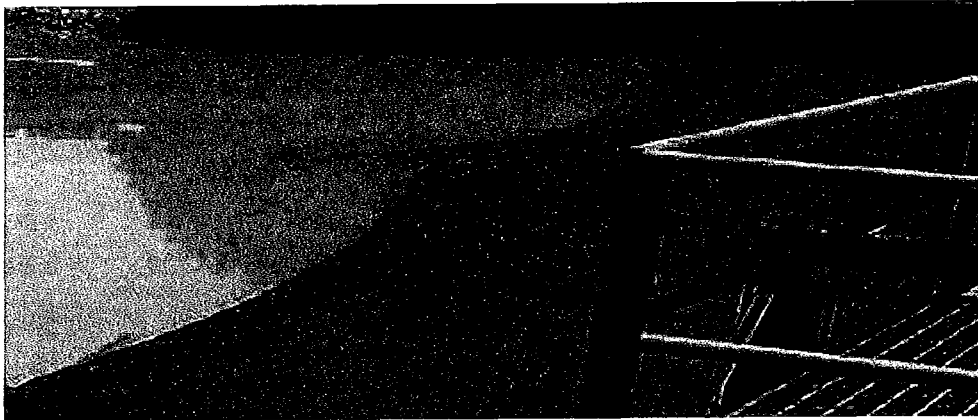


Figura 4.4 Barreira para contenção de uma floração de cianobactérias do gênero *Microcystis*. Fonte: SABESP (2005)

4.3. Dados disponíveis

Os dados utilizados foram monitorados pela Sabesp na superfície da água (profundidade de 0,3 m) no ponto RG-101, próximo à barragem Anchieta (Figura 4.1). Este ponto é próximo à captação do Reservatório Rio Grande¹³. A captação é o local de onde é extraída a água bruta para alimentar o sistema de abastecimento de água.

Os dados cedidos pela Sabesp compreendem os meses de janeiro de 1999 a fevereiro de 2005 e não apresentam uma periodicidade regular.

4.3.1. Dados de campo

Profundidade: Profundidade na coluna d'água em que foi feita a medição dos demais parâmetros monitorados.

Zona Eufótica: É a porção iluminada da coluna d'água, onde os organismos podem realizar fotossíntese, e pode variar desde alguns centímetros até dezenas de metros. O limite inferior da zona eufótica é geralmente assumido como sendo aquela profundidade onde a intensidade da radiação corresponde a 1% da que atinge a superfície (ESTEVES, 1998).

¹³ O ponto onde é feita a captação da Sabesp faz parte da rede de monitoramento da Cetesb, sob o código RGDE 02900. Uma das atribuições da Cetesb é a realização de diagnósticos ambientais dos

Temperatura da Água: As maiores taxas de crescimento de cianobactérias são observadas em temperaturas acima de 25°C (CHORUS & BARTRAM, 1999).

Temperatura do Ar

4.3.2. Dados físico-químicos

pH: O pH da água pode influenciar na composição de espécies animais e vegetais do ambiente aquático. Valores de pH entre 6 e 9 favorecem o crescimento das cianobactérias.

Fósforo Total: Na maioria das águas continentais o fósforo é o principal fator limitante de sua produtividade. Toda forma de fósforo presente em águas naturais encontra-se sob a forma de fosfato (ESTEVEES, 1998). O fósforo aparece em águas naturais devido principalmente às descargas de esgotos sanitários.

Fósforo Reativo Solúvel: Também é chamado de fosfato inorgânico dissolvido, ortofosfato e fosfato reativo. É a principal forma de fosfato assimilada pelos vegetais aquáticos. Em lagos tropicais, exceto os eutrofizados artificialmente, a concentração de fósforo reativo solúvel é muito baixa, geralmente abaixo do limite inferior de detecção da maioria dos métodos analíticos atualmente disponíveis (ESTEVEES, 1998).

Se o fósforo reativo solúvel é encontrado em concentrações acima do limite de detecção, isto significa que a quantidade disponível é maior do que a requisitada pelas cianobactérias e algas, ou seja, o crescimento destes organismos está limitado por outro fator que não o fósforo (CHORUS & BARTRAM, 1999).

Nitrogênio Total: É a soma do nitrogênio amoniacal, albuminóide, nitrato e nitrito. O nitrogênio, quando presente em baixas concentrações, pode atuar como fator limitante na produção primária de ecossistemas aquáticos (ESTEVEES, 1998).

Nitrogênio Amoniacal: O nitrogênio amoniacal pode ocorrer de duas formas: amônia (NH_3) e íon amônio (NH_4^+). Estes compostos são, via de regra, quantitativamente inexpressivos (ESTEVEES, 1998).

Nitrogênio Albuminóide: O nitrogênio albuminóide é aquele resultante da morte de seres vivos. Concentrações de nitrogênio albuminóide maiores do que aquelas de nitrogênio amoniacal indicam a presença de matéria orgânica não decomposta.

Nitrogênio Nitrato: O nitrato (NO_3^-), juntamente com o íon amônio, representam as principais fontes de nitrogênio para os produtores primários (ESTEVEES, 1998).

Nitrogênio Nitrito: O nitrito (NO_2^-) é encontrado em baixas concentrações notadamente em ambientes oxigenados (ESTEVEES, 1998).

Oxigênio Dissolvido (OD): É um dos gases dissolvidos na água mais importantes na dinâmica e na caracterização de ambientes aquáticos. A concentração de oxigênio dissolvido apresenta grandes variações diárias, pois este gás está diretamente envolvido com o processo de fotossíntese e respiração e/ou decomposição que, por sua vez, estão diretamente relacionados com a intensidade luminosa e a temperatura (ESTEVEES, 1998).

4.3.3. Dados microbiológicos

Gêneros de Cianobactérias Predominantes: *Cylindrospermopsis*, *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Oscillatoriales*, *Aphanocapsa*, *Aphanotece*, *Pseudoanabena*, *Merismopedia*, *Planktothrix*, *Gloeocapsa*, *Chroococcus*, *Chroococcales* e Total de Células.

5. Aplicação de redes neuronais na modelagem de cianobactérias

O objetivo deste trabalho é o uso de redes neuronais na modelagem do comportamento das cianobactérias em relação aos fatores que afetam seu crescimento, assim como na previsão de sua concentração.

O estudo foi inteiramente realizado com o emprego de um computador pessoal, equipado com um processador AMD Athlon com velocidade de processamento de 1,99 Gigahertz, 25 Gigabytes de espaço em disco rígido e 512 Megabytes de memória. Foi utilizado o aplicativo comercial Neufame, versão 4.0, da Neuscience.

5.1. Levantamento e preparação dos dados

Como mencionado anteriormente, os dados disponibilizados pela Sabesp compreendem os seguintes parâmetros:

- Zona Eufótica (m)
- Temperatura da Água (°C)
- Temperatura do Ar (°C)
- pH
- Fósforo Total (mg/L)
- Fósforo Reativo Solúvel (mg/L)
- Nitrogênio Total (mg/L)
- Nitrogênio Amoniacal (mg/L)
- Nitrogênio Albuminóide (mg/L)
- Nitrogênio Nitrato (mg/L)
- Nitrogênio Nitrito (mg/L)
- Oxigênio Dissolvido - OD (mg/L)
- Gêneros de Cianobactérias Predominantes (UPA/mL¹⁴ e células/mL) e Total de Células (células/mL).

¹⁴ Número de unidades de organismos por área padronizada (400mm²) por mililitro de água.

Os dados relativos ao Reservatório Rio Grande foram disponibilizados pela Sabesp em várias tabelas, abrangendo diferentes períodos. O primeiro passo foi unificar os dados em uma só tabela; os dados conflitantes foram descartados.

Também foram descartados a contagem de cianobactérias em UPA/mL, pois é apenas uma forma diferente de monitoramento da concentração de cianobactérias em células/mL, e o parâmetro 'Nitrogênio total', uma vez que este é a soma das demais formas de nitrogênio monitoradas, não acrescentando informação nova.

O segundo passo foi analisar os dados disponíveis. A base de dados resultante abrange o período de 20/10/1998 a 15/02/2005, com diferentes datas de início de monitoramento para cada parâmetro. Os dados não apresentam uma periodicidade regular, como pode ser observado na tabela abaixo, onde p é o número de dias entre as medições de cada parâmetro.

Parâmetro	Qtde. de amostras	Periodicidade média (dias)	$p \leq 7$	$8 \leq p \leq 15$	$16 \leq p \leq 30$	$31 \leq p \leq 60$	$p > 61$
Zona Eufótica	253	8,8	75,4%	18,7%	4,8%	0,8%	0,4%
Temperatura da Água	325	6,9	84,0%	15,4%	0,6%		
Temperatura do Ar	125	10,1	87,9%	11,3%			0,8%
pH	118	19,0	47,9%	17,1%	12,0%	17,9%	5,1%
Fósforo Total	88	26,5	28,7%	13,8%	20,7%	26,4%	10,3%
Fósforo Reativo Solúvel	176	12,7	78,9%	14,9%	4,0%	1,7%	0,6%
Nitrogênio Amoniacal	69	33,9	16,2%	5,9%	26,5%	35,3%	16,2%
Nitrogênio Albuminóide	60	34,6	18,3%	5,0%	23,3%	35%	18,3%
Nitrogênio Nitrato	60	34,6	18,3%	5,0%	25,0%	36,7%	15,0%
Nitrogênio Nitrito	60	34,6	18,3%	5,0%	25,0%	36,7%	15,0%
Oxigênio Dissolvido	289	7,8	78,1%	19,4%	2,1%		0,3%
Cianobactérias	311	7,2	82,3%	17,7%			

Tabela 5.1 Análise da periodicidade dos parâmetros do conjunto de dados

A base de dados apresenta um total de 350 dias com dados do monitoramento de pelo menos um dos parâmetros acima e apresenta várias lacunas. Desse total, apenas 10 dias (2,9%) apresentam valores para todos os parâmetros.

Os parâmetros ‘Temperatura do ar’ e ‘Fósforo reativo solúvel’ foram desprezados, uma vez que apresentam longo período sem valor (435 e 734 dias, respectivamente). Além disso, a temperatura do ar não é um parâmetro que a literatura relacione à ocorrência de florações de cianobactérias.

O passo seguinte foi preencher os dados ausentes utilizando interpolação linear (MAIER & DANDY, 1997b; YABUNAKA *et al.*, 1997; LEE *et al.*, 2003).

O quarto passo foi preparar os dados para sua utilização com a técnica de redes neurais. Como a concentração total de cianobactérias, apresenta uma faixa de valores muito grande, variando de 25,5 a 41.534.350,0 células/mL, foi utilizado o seu logaritmo.

É usual normalizar as variáveis dentro de um intervalo específico, como [-1; 1] ou [0,1]. Neste trabalho, todos os parâmetros foram normalizados dentro do intervalo [0,1;0,9], utilizando a seguinte transformação linear :

$$x'_i = a + \frac{(x_i - x_{min}) \cdot (b - a)}{(x_{max} - x_{min})} \quad (19)$$

onde x'_i é a valor normalizado, x_i é o valor original da variável, x_{min} e x_{max} são os valores mínimo e máximo da variável, a e b são os limites inferior e superior do valor normalizado (WEI *et al.*, 2001; LEE *et al.*, 2003).

5.2. Conjunto de dados

Para compor os conjuntos de dados utilizados neste trabalho, foram escolhidos os parâmetros que foram monitorados no mesmo período que as cianobactérias, de 05/01/1999 a 09/02/2005:

- Zona Eufótica (m)
- Temperatura da Água (°C)
- pH
- Fósforo Total (mg/L)
- Nitrogênio Amoniacal (mg/L)
- Oxigênio Dissolvido (mg/L)
- Cianobactérias (células/mL)

Este conjunto de dados foi dividido em 2 subconjuntos, devido aos objetivos deste trabalho, modelagem e previsão da concentração de cianobactérias, que necessitam de conjuntos de dados com características diferentes.

Conjunto 1

Este conjunto será utilizado nos experimentos de modelagem. Possui os dados apenas das datas que possuem medição de cianobactérias.

Possui um total de 249 vetores.

Conjunto 2

Este conjunto de dados será utilizado no experimento de previsão. Em experimentos deste tipo a rede deve incluir os últimos valores conhecidos de cada parâmetro e também valores passados.

Possui um total de 292 vetores.

5.3. Construção e configuração da rede neural

Este trabalho foi baseado em redes neuronais *feedforward*, do tipo perceptrons de múltiplas camadas, com algoritmo de aprendizado *backpropagation*.

Este algoritmo de aprendizado foi escolhido pois, como mencionado anteriormente, existem vários trabalhos correlatos que o utilizaram.

Antes de iniciar o treinamento é necessário escolher o número de camadas escondidas e o número de neurônios em cada uma delas, a função de ativação dos neurônios, o critério de parada, a taxa de aprendizado e o momento.

5.4. Critério de acerto

Para avaliar o desempenho da rede, foram calculados o erro médio quadrático (“*root mean squared error*”) e a correlação entre a saída obtida e a saída desejada.

Na utilização do erro médio quadrático para avaliar a habilidade de generalização da rede, os erros maiores têm mais influência do que os pequenos (MAIER, 1995).

O erro médio quadrático é calculado pela seguinte fórmula:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_k^N (d_k - y_k)^2} \quad (20)$$

onde N é o número de padrões do conjunto de teste, d_k é a saída desejada e y_k é a saída calculada pela rede.

Para comparar o desempenho de diferentes redes neuronais para a tarefa de previsão, é importante analisar a resposta gráfica de cada rede, uma vez que importantes fatores na descrição da ocorrência de florações são o seu início, duração e amplitude, e respostas melhores em relação a estes fatores podem apresentar o erro médio quadrático ligeiramente maiores do que outras respostas.

5.5. Análise de sensibilidade

Após o treinamento de cada rede foi utilizada a análise de sensibilidade para determinar a significância relativa de cada entrada em relação à saída. Para tal, cada uma das entradas foi aumentada em 10% por vez, e a alteração na resposta da rede foi calculada. A sensibilidade de cada entrada é dada por:

$$S = \frac{1}{N_p} \cdot \sum_{i=1}^{N_p} \left(\frac{\text{Alteração na saída}(\%)}{\text{Alteração na entrada}(\%)} \right)_i \times 100 \quad (21)$$

onde N_p é o número de exemplos do conjunto de treinamento (LEE *et al.*, 2003).

5.6. Testes

Neste item são apresentados os testes realizados com diferentes configurações de rede, variando tanto os parâmetros de treinamento quanto as variáveis de entrada. Em todos os testes a saída da rede foi o logaritmo da concentração total de cianobactérias.

5.6.1. Experimento 1

Este experimento visa testar o efeito de diferentes configurações dos parâmetros da rede neuronal no desempenho da rede. Para tanto, foram testadas várias combinações dos seguintes parâmetros:

- Momento (β)
- Taxa de aprendizado (α)

- Função de ativação (F)
- Número de neurônios na camada escondida (N_e)

Para que possa ser avaliado o efeito das mudanças de cada parâmetro, apenas um deles foi alterado de cada vez, enquanto todos os outros foram mantidos constantes. Os valores iniciais de cada parâmetro foram os valores sugeridos pelo software utilizado:

- $\beta=0,8$
- $\alpha=0,2$
- F =sigmóide
- $N_e=3$

O conjunto de dados foi dividido aleatoriamente em treinamento e teste. O conjunto de treinamento ficou com 199 vetores e o conjunto de teste com 62 vetores.

O critério de parada adotado foi a utilização do conjunto de teste também como conjunto de validação, ou seja, o treinamento foi interrompido a intervalos regulares e o desempenho da rede foi avaliado em relação ao conjunto de teste. O treinamento foi encerrado quando o erro do conjunto de teste começou a aumentar.

5.6.2. Experimento 2

O segundo experimento investiga a possibilidade de modelagem da concentração total de cianobactérias a partir de dados de campo e dados físico-químicos monitorados no mesmo dia.

O conjunto de dados foi dividido aleatoriamente entre treinamento (80%) e teste (20%). A Figura 5.1 mostra a estrutura da rede neuronal utilizada neste experimento.

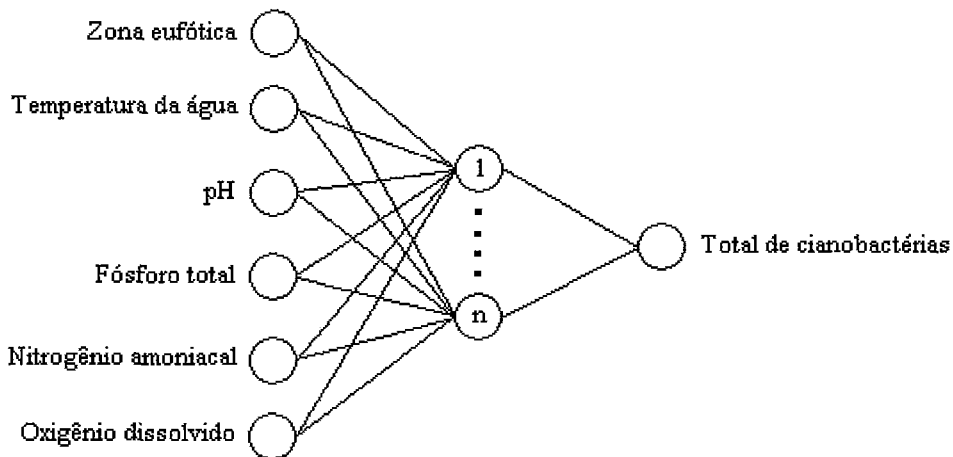


Figura 5.1 Estrutura da rede neuronal do experimento 2

Após o treinamento foi realizada uma análise de sensibilidade e uma nova rede foi construída utilizando apenas as entradas com maiores sensibilidades.

5.6.3. Experimento 3

O objetivo deste experimento é a previsão da concentração total de cianobactérias duas semanas à frente com base nos valores atuais e passados dos parâmetros da base de dados.

Para definir quais valores serão utilizados como entradas da rede de previsão utilizou-se o mecanismo definido por MAIER & DANDY (1997a, 1997b).

Neste procedimento é criada uma rede neuronal para cada parâmetro, utilizando como entrada seu valor atual, assim como o valor de k semanas anteriores, e a saída é a concentração de cianobactérias duas semanas à frente.

Após o treino de cada rede, é realizada a análise de sensibilidade em cada uma, e as entradas com maiores sensibilidades são escolhidas para integrar a rede neuronal de previsão.

Para que uma rede neuronal possa aprender corretamente, é importante que os valores extremos de cada variável estejam no conjunto de treinamento (MAIER & DANDY, 1997b). Dessa forma, os anos de 1999 a 2003 foram escolhidos para compor o conjunto de treinamento e os dados de 2004 e início de 2005 foram utilizados para teste.

Após a realização da análise de sensibilidade, foram escolhidos três conjuntos de entradas com diferentes parâmetros para a realização do treinamento de três redes de previsão.

6. Resultados e discussões

Foram testadas várias configurações de rede, variando tanto os parâmetros de treinamento quanto as variáveis de entrada. Em todos os testes a saída da rede foi o logaritmo da concentração total de cianobactérias.

6.1. Experimento 1

Neste experimento foram testadas várias combinações de momento, taxa de aprendizado, número de neurônios da camada escondida e funções de ativação.

Os valores dos parâmetros são da configuração inicial sugerida pelo software utilizado ($\beta=0,8$; $\alpha=0,2$; F =sigmóide; $N_e=3$), exceto onde se afirmar o contrário. A Tabela 6.1 mostra o erro (RMSE) e a correlação entre a saída desejada e a saída obtida pela rede para os conjuntos de treinamento e teste, utilizando-se a configuração inicial.

N_e	F	α	β	Ciclos	Treinamento		Teste	
					RMSE	correl	RMSE	correl
3	sig	0,2	0,8	291	0,79233	0,59849	0,79234	0,64117

Tabela 6.1 Resultado da configuração inicial

O primeiro teste foi variar o momento, mantendo-se os demais parâmetros constantes. A tabela abaixo mostra os resultados obtidos.

β	Ciclos	Treinamento		Teste	
		RMSE	correl	RMSE	correl
0,05	681	0,79000	0,59625	0,78590	0,63354
0,5	361	0,78841	0,59621	0,77933	0,63333
0,8	291	0,79233	0,59849	0,79234	0,64117
0,9	311	0,78310	0,60212	0,77000	0,63742

Tabela 6.2 Resultado de diferentes momentos (β)

Pode-se observar que o número de ciclos necessários para se atingir o critério de parada tende a diminuir com o aumento do momento (Figura 6.1).

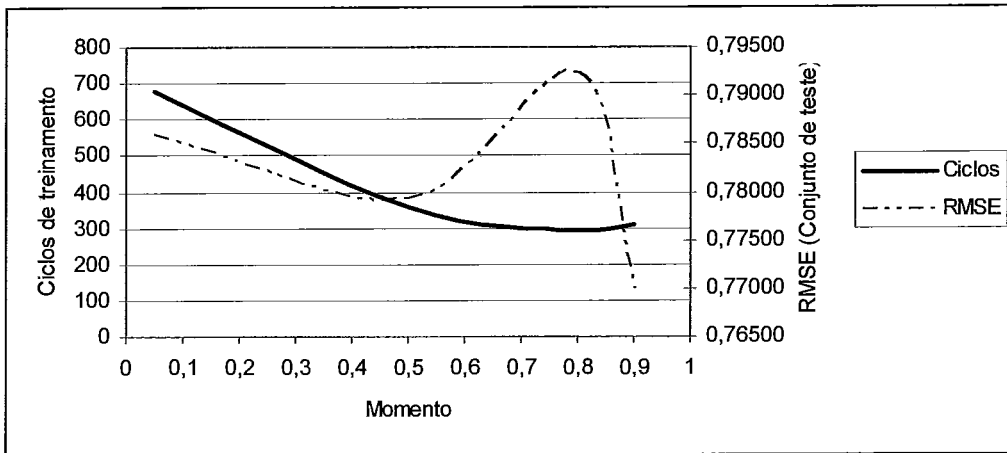


Figura 6.1 Efeito da variação do momento

No teste seguinte a taxa de aprendizado foi variada, enquanto os demais parâmetros ficaram constantes. Observando os resultados obtidos (Tabela 6.3 e Figura 6.2), é possível perceber que a diminuição na taxa de aprendizado tornou o treinamento mais longo, com ligeiro aumento do erro tanto para o conjunto de treinamento quanto para o de teste.

α	Ciclos	Treinamento		Teste	
		RMSE	correl	RMSE	correl
0,01	2.211	0,84117	0,56501	0,85152	0,56752
0,02	681	0,81781	0,57134	0,82752	0,58150
0,1	351	0,78537	0,59810	0,76485	0,63703
0,2	291	0,79233	0,59849	0,79234	0,64117

Tabela 6.3 Resultado de diferentes taxas de aprendizado (α)

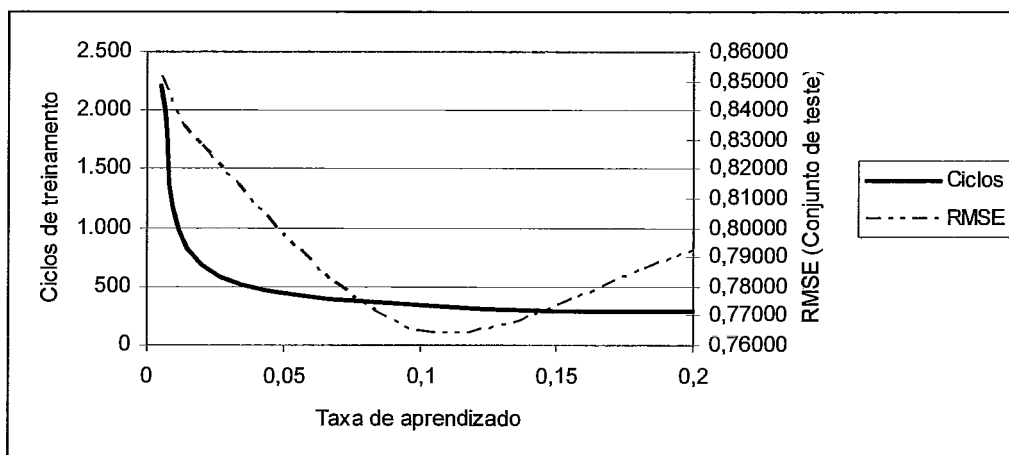


Figura 6.2 Efeito da variação da taxa de aprendizado

Os testes acima foram repetidos variando-se a taxa de aprendizado e o momento simultaneamente, para avaliação do efeito da taxa de aprendizado em relação a diferentes momentos. Os resultados se encontram na tabela abaixo.

α	β	Ciclos	Treinamento		Teste	
			RMSE	correl	RMSE	correl
0,005	0,05	9.901	0,84976	0,56385	0,85902	0,56475
0,005	0,5	5.481	0,84223	0,56480	0,85170	0,56706
0,005	0,8	2.211	0,84117	0,56501	0,85152	0,56752
0,005	0,9	1.221	0,82861	0,56764	0,83970	0,57347
0,02	0,05	2.681	0,83828	0,56547	0,84837	0,56860
0,02	0,5	1.671	0,81942	0,57066	0,82955	0,58006
0,02	0,8	681	0,81781	0,57134	0,82752	0,58150
0,02	0,9	121	0,94364	0,55742	0,94485	0,54260
0,1	0,05	681	0,81364	0,57333	0,82193	0,58576
0,1	0,5	681	0,79073	0,59547	0,78753	0,63190
0,1	0,8	351	0,78537	0,59810	0,76485	0,63703
0,1	0,9	361	0,78868	0,59840	0,78207	0,64124
0,2	0,05	681	0,79000	0,59625	0,78590	0,63354
0,2	0,5	361	0,78841	0,59621	0,77933	0,63333
0,2	0,8	291	0,79233	0,59849	0,79234	0,64117
0,2	0,9	311	0,78310	0,60212	0,77000	0,63742

Tabela 6.4 Resultado de diferentes combinações de taxa de aprendizado e momento

Para valores constantes da taxa de aprendizado, ao se aumentar o momento, o tempo de treinamento diminuiu. Para a combinação de $\alpha=0,02$ e $\beta=0,9$, a rede se tornou instável, não treinando corretamente.

Neste experimento foram testadas várias combinações destes parâmetros e não se observou alterações significativas nas respostas da rede. No geral houve apenas pequenas alterações no tempo de treinamento.

Nos experimentos seguintes esses parâmetros não foram alterados significativamente.

6.2. Experimento 2

Neste experimento tentou-se modelar a concentração de cianobactérias em relação aos demais parâmetros monitorados no mesmo dia.

Foi treinada uma rede neuronal ('rede 1') com 12 neurônios na camada escondida, função de ativação do tipo sigmóide, taxa de aprendizado igual a 0,02 e momento igual a 0,8. a tabela abaixo e a Figura 6.3 mostram os resultados obtidos após 1671 ciclos de treinamento.

Conjunto	RMSE	Correlação
Treinamento	0,796	0,588
Teste	0,796	0,618

Tabela 6.5 Resultados da rede 1

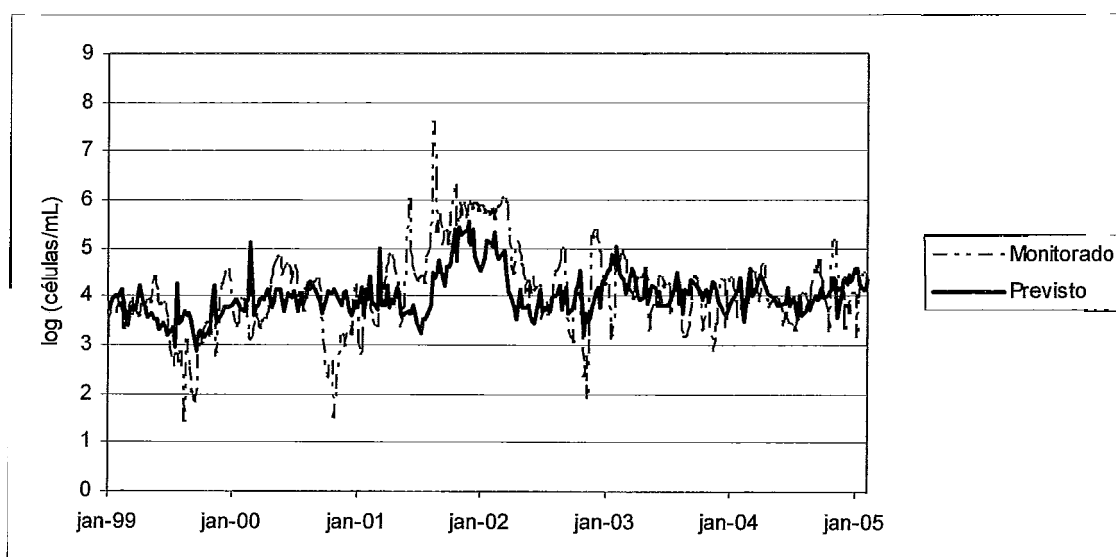


Figura 6.3 Resultados da rede 1 para treinamento e teste

Foi realizada análise de sensibilidade nas entradas da rede 1, para os conjuntos de treinamento e teste (Figura 6.4). A sensibilidade da 'Zona eufótica' e da 'Temperatura da água' são muito maiores do que a dos demais parâmetros, dessa forma foi treinada uma segunda rede ('rede 2') utilizando apenas estes parâmetros como entrada.

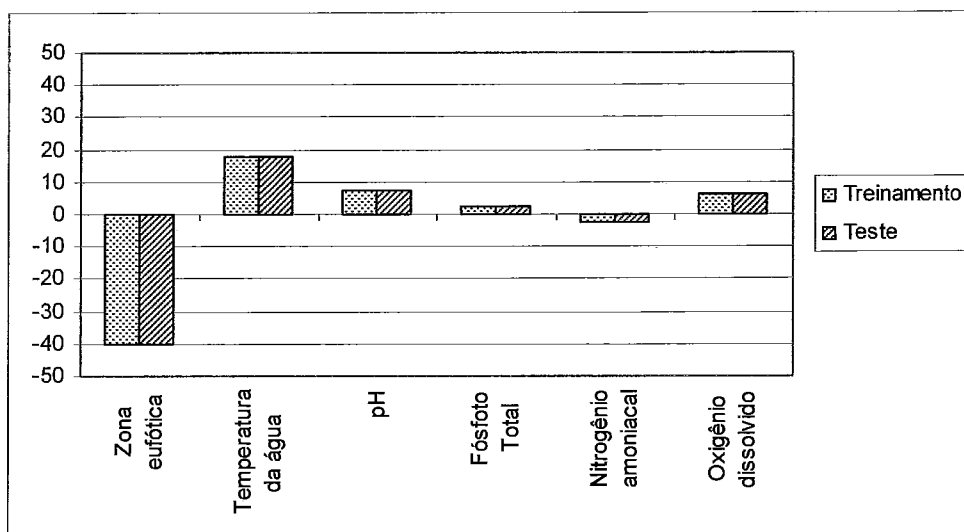


Figura 6.4 Sensibilidade dos parâmetros da rede 1

A rede 2 foi treinada com 5 neurônios na camada escondida e demais parâmetros iguais aos da rede 1. O treinamento durou 981 ciclos e os resultados obtidos estão na tabela abaixo.

Conjunto	RMSE	Correlação
Treinamento	0,794	0,589
Teste	0,780	0,630

Tabela 6.6 Resultados da rede 2

A rede 2 apresentou resultados ligeiramente melhores, mesmo tendo apenas duas variáveis de entrada, a zona eufótica e a temperatura da água.

6.3. Experimento 3

O objetivo deste experimento é a previsão da concentração de cianobactérias duas semanas à frente.

Neste experimento foram criadas sete redes neuronais, uma para cada parâmetro. Uma rede de determinado parâmetro tem como entrada seus k últimos valores conhecidos, isto é, seus valores nos tempos $t, t-1, \dots, t-(k-1)$.

Após as redes terem sido treinadas, foi realizada análise de sensibilidade de suas entradas, os resultados se encontram na Tabela 6.7. As semanas de cada parâmetro que têm as sensibilidades mais altas serão utilizadas como entradas do modelo final.

Entrada	Zona eufótica	Temperatura da água	pH	Fósforo total	Nitrogênio amoniacal	Oxigênio dissolvido	Total de cianobactérias
t	-17,7	-10,3	14,7	3,6	-10,9	11,4	81,9
t-1	-6,0	-19,9	-17,2	-5,6	3,1	-1,2	-11,8
t-2	-10,8	-18,7	5,7	3,8	-4,6	-10,7	-17,2
t-3	-5,9	-12,4	10,9	-1,1	3,6	7,2	15,1
t-4	-7,1	-5,5	-1,1	-1,1	-11,0	-2,1	34,2
t-5	5,3	17,7	12,6	6,8	-7,2	4,5	-0,4
t-6	9,8	13,2	-12,6	5,5	-1,7	8,3	-12,8
t-7	-2,8	-1,6	-0,4	-1,1	-1,7	2,8	11,3
t-8	2,5	16,2	-15,5	-4,0	7,6	6,0	20,7
t-9	0,5	0,5	2,0	10,2	-0,1	-1,8	-1,2
t-10	-6,1	10,1	15,4	11,7	-7,5	-3,8	-23,7
t-11	5,0	9,5	-9,5	5,3	-1,9	-0,4	5,1
t-12	11,6	16,1	-8,4	3,4	-2,3	-6,4	12,4
t-13	-3,7	8,6	-18,3	-3,5	5,0	-3,3	-5,3
t-14	-6,2	6,9	-2,2	-8,0	-1,2	-0,2	-7,8
t-15	2,0	-6,1	6,4	2,1	-4,2	-4,0	4,8
t-16	1,0	11,4	7,0	20,7	3,3	17,6	14,9
t-17	9,9	5,6	-14,3	4,1	1,0	5,5	-5,0
t-18	7,0	0,6	14,2	-6,1	1,3	8,2	-22,9
t-19	8,1	6,0	20,1	-3,3	-3,4	8,2	-5,8
t-20	-4,4	15,4	-0,7	14,3	-4,1	1,2	13,9
t-21	-5,0	2,4	-10,3	-0,8	-1,2	-1,7	0,7
t-22	-0,1	4,7	2,0	12,5	5,0	3,3	-21,9
t-23	3,0	14,4	13,6	-1,0	-4,3	6,1	6,5
t-24	-0,4	-2,7	8,3	1,3	-0,3	7,1	20,1
t-25	-5,4	-3,3	-27,4	-31,7	12,3	7,1	-3,9

Tabela 6.7 Sensibilidade das 26 entradas das 7 redes neuronais

A partir dos valores de sensibilidade, foram escolhidos valores arbitrários mínimos de 10% e 20%, para compor as entradas das redes 1 e 2, respectivamente. Como entradas da rede 3 foram escolhidas as mesmas entradas da rede 2, com exceção do parâmetro ‘total de cianobactérias’. A tabela abaixo mostra as entradas escolhidas para cada rede.

Parâmetros	Rede 1	Rede 2	Rede 3
Zona eufótica	-	12	12
Temperatura da água	-	5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 23	5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 23

pH	19	0, 3, 5, 10, 18, 19, 23	0, 3, 5, 10, 18, 19, 23
Fósforo total	16	9, 10, 16, 20, 21	9, 10, 16, 20, 21
Nitrogênio amoniacal	-	25	25
Oxigênio dissolvido	-	0, 16	0, 16
Total de cianobactérias	0, 4, 8, 24	0, 3, 4, 7, 8, 12, 16, 20, 24	-
Total de entradas	6	33	24

Tabela 6.8 Parâmetros e semanas escolhidas

Os gráficos abaixo mostram o resultado do treinamento e teste para as três redes.

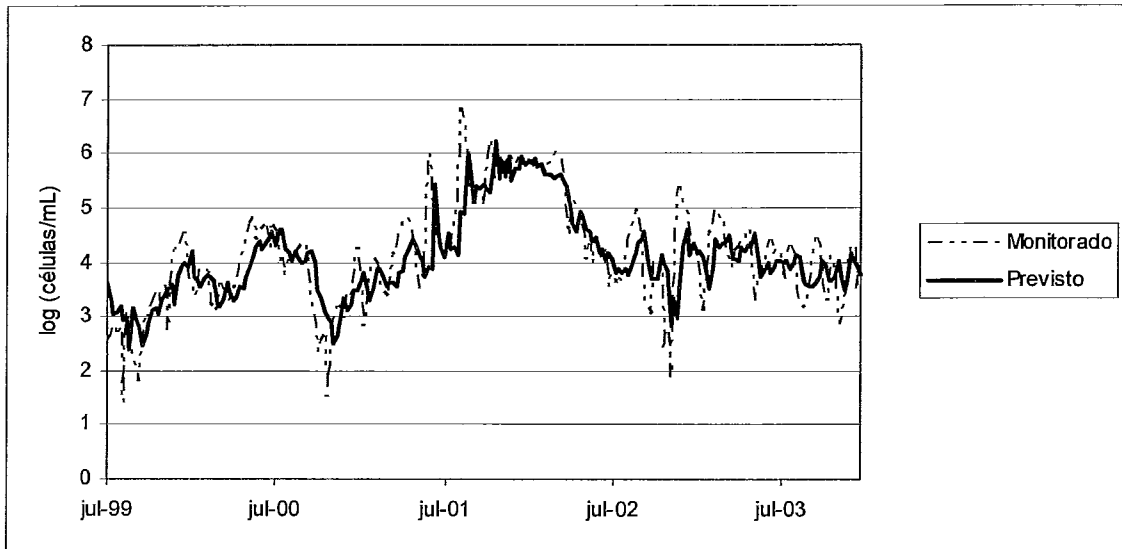


Figura 6.5 Resultado da rede 1 para o conjunto de treinamento

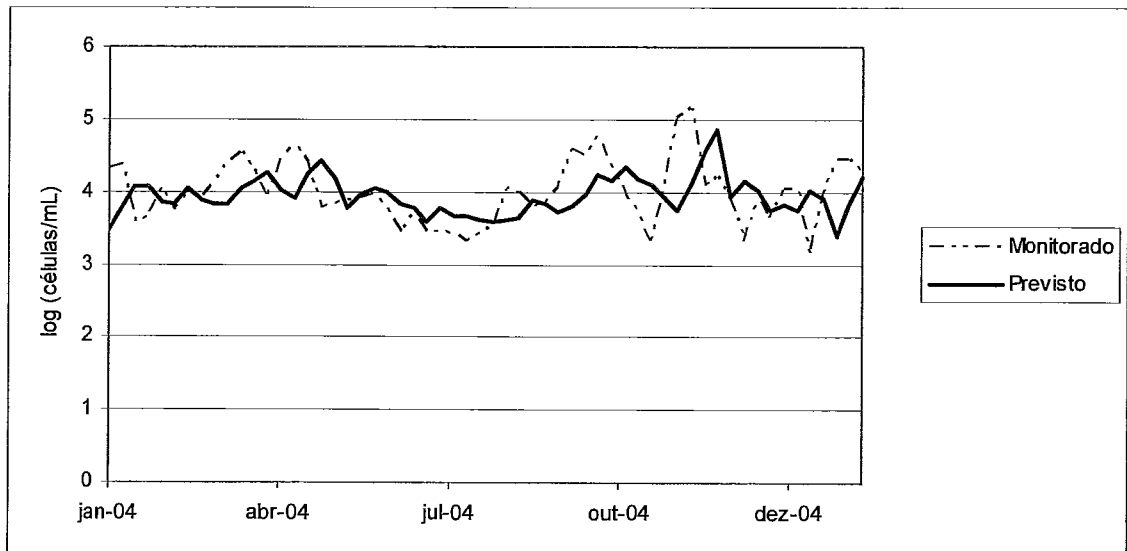


Figura 6.6 Resultado da rede 1 para o conjunto de teste

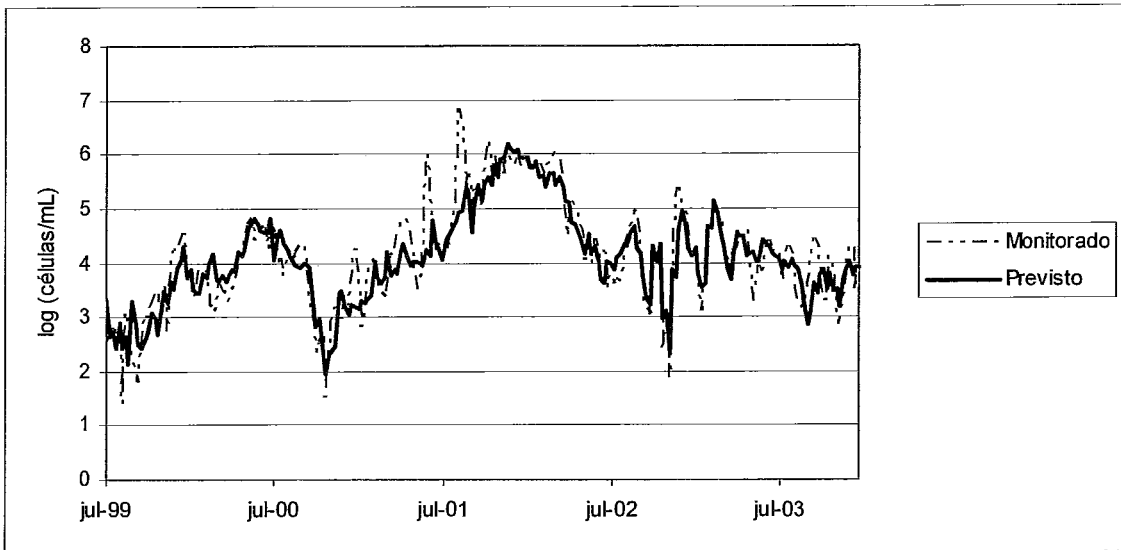


Figura 6.7 Resultado da rede 2 para o conjunto de treinamento

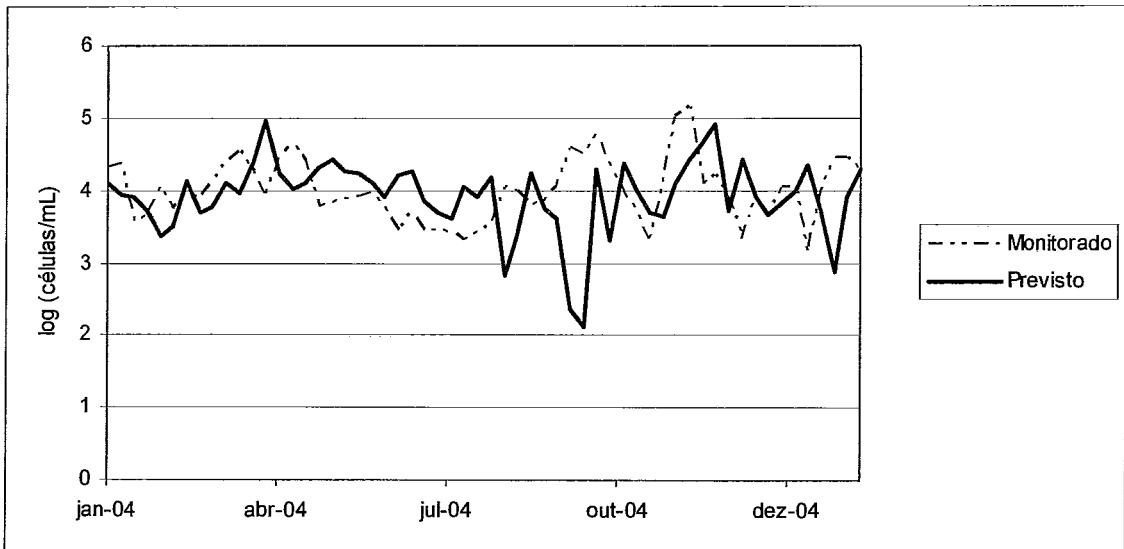


Figura 6.8 Resultado da rede 2 para o conjunto de teste

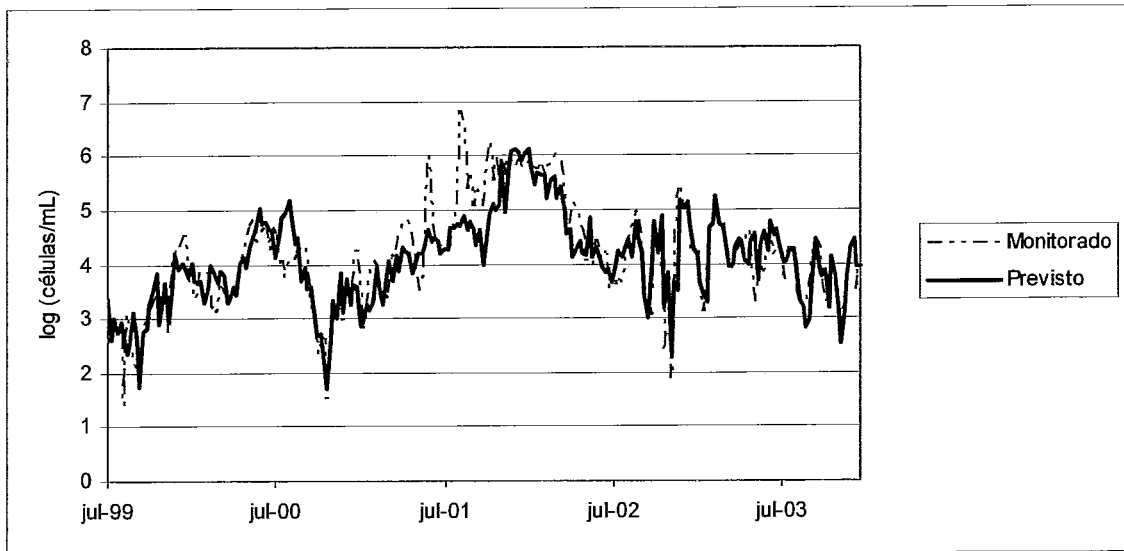


Figura 6.9 Resultado da rede 3 para o conjunto de treinamento

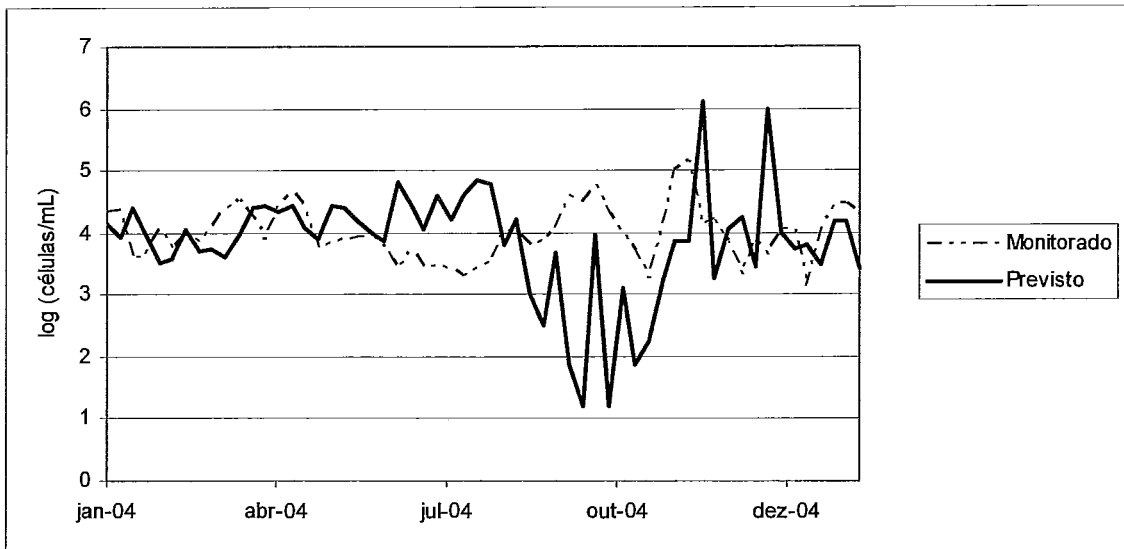


Figura 6.10 Resultado da rede 3 para o conjunto de teste

Os valores de erro e correlação dos testes realizados podem ser observados na Tabela 6.9.

	Rede 1		Rede 2		Rede 3	
	Treinamento	Teste	Treinamento	Teste	Treinamento	Teste
RMSE	0,588	0,481	0,453	0,710	0,502	1,077
correlação	0,803	0,119	0,889	-0,111	0,861	-0,200

Tabela 6.9 Resultado das redes 1, 2 e 3

As três redes apresentaram resultados bastante semelhantes para o conjunto de treinamento, o mesmo não aconteceu para o conjunto de teste. O resultado do conjunto de teste da 'rede 1' apresentou amplitude e duração da concentração de cianobactérias compatíveis com os valores observados, no entanto a saída da rede está defasada em relação à saída esperada.

A comparação dos resultados para o conjunto de teste das redes 2 e 3 mostra que a ausência do parâmetro 'total de cianobactérias' na entrada da rede piora de maneira significativa o resultado.

7. Conclusão

A previsão do crescimento de cianobactérias é uma tarefa bastante complexa, uma vez que depende da combinação de diversos fatores, tanto como da temperatura da água, pH, disponibilidade de nutrientes e intensidade da luz solar que chega até estes organismos, quanto das características do corpo d'água, por exemplo, a profundidade, vazão e nível trófico.

No estudo de caso desenvolvido neste trabalho foram utilizados dados monitorados pela Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do estado de São Paulo), para seu controle da qualidade da água. Ainda que os dados disponíveis não necessariamente incluam todas as variáveis que podem ser importantes para o entendimento da ocorrência de florações de cianobactérias, foi com base nestes dados que foram conduzidos três experimentos, nos quais foram desenvolvidas redes neuronais com diferentes entradas na tentativa de modelar a população de cianobactérias.

Em cada experimento foram testadas diferentes combinações de parâmetros de treinamento, não sendo observadas grandes alterações no desempenho da rede.

Através na análise de sensibilidade pode-se perceber que os diferentes parâmetros contribuem de maneira significativa para a modelagem da concentração de cianobactérias. Entretanto, o grande número de dados ausentes e conseqüentemente, de dados interpolados, não permitiu uma maior investigação da importância de cada parâmetro no fenômeno que se deseja modelar.

As redes que têm como entrada valores passados da concentração de cianobactérias apresentaram melhor desempenho do que as redes que utilizaram apenas os outros parâmetros. Como a concentração de cianobactérias é o resultado da interação de diversos fatores, alguns não presentes nos dados utilizados, podemos supor que informações da dinâmica do ambiente aquático de certa forma estão representadas na própria concentração de cianobactérias.

Nesse sentido, como perspectivas para a continuidade do trabalho, a obtenção de dados mais completos (frequentes) são fundamentais para que possam ser realizados estudos mais conclusivos sobre a relação da biomassa de cianobactérias com os parâmetros normalmente monitorados em estações de tratamento de água, aumentando, assim, a possibilidade de prevenção de seu crescimento excessivo nessas estações.

Referências Bibliográficas

- AZEVEDO, S. M. F. O., 1998, “Toxinas de Cianobactérias: Causas e conseqüências para a Saúde Pública”, *Medicina On line - Revista Virtual de Medicina*, Volume 1, Número 3, Ano I. Disponível em <http://www.medonline.com.br/med_ed/med3/microcis.htm>. Acesso em: 18 nov. 2005.
- AZEVEDO, S. M. F. O., CARMICHAEL, W. W., JOCHIMSEN, E. M. et al., 2002, “Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru – Brazil”, *Toxicology*, 181-182, pp. 441-446.
- BITTENCOURT, G., 1998, *Inteligência Artificial: Ferramentas e Teorias*. Florianópolis, UFSC.
- BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C., MOLICA, R., 2003, “Cianobactéria Invasora: Aspectos moleculares e toxicológicos de *Cylindropermopsis raciborskii* no Brasil”, *Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*, ano 6, número 30, pp. 82-90.
- BOWDEN, G. J., 2000, *A Review of Cyanobacteria*. Research Report No. R168, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Adelaide, Australia.
- BRAGA, A. P., LUDEMIR T. B., CARVALHO, A. C. P. L. F., 2000, *Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações*. Rio de Janeiro, LTC.
- BRASIL, 2001, Portaria nº 1469, de 29 de dezembro de 2000. “Aprova a Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano e dá outras providências”, *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 02 jan. 2001, Seção I, pp. 19-23.
- BRASIL, 2004, Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. “Aprova a Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano e dá outras providências”, *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 26 mar. 2004, Seção I, pp. 266-270.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2003, *Cianobactérias Tóxicas na Água para Consumo Humano na Saúde Pública e Processos de Remoção em Água para Consumo Humano*, Brasília, DF.

CAPOBIANCO, J. P. R., WHATELY, M., 2002, *Billings 2000: Ameaças e perspectivas para o maior reservatório de água da região metropolitana de São Paulo*. São Paulo, Instituto Socioambiental.

CARMICHAEL, W. W., 1994, "The Toxins of Cyanobacteria", *Scientific American*, 270 (1), pp. 78-86.

CARVALHO, L. A. V., 2001, *Datamining: A Mineração de Dados no Marketing, Medicina, Economia, Engenharia e Administração*. Tatuapé, Érica.

CETESB, 2001, *Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2000*. São Paulo, CETESB.

CETESB, 2004, *Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2003*. São Paulo, CETESB.

CETESB, 2005, *Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2004*. São Paulo, CETESB.

CHORUS, I., BARTRAM, J. (Ed.), 1999, *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. London, E & FN Spon.

DI BERNARDO, L., 1995, *Algas e suas Influências na Qualidade das Águas e nas Tecnologias de Tratamento*. Rio de Janeiro, ABES.

DOKULIL, M. T., TEUBNER, K., 2000, "Cyanobacterial dominance in lakes", *Hydrobiologia*, 438, pp. 1-12.

ECHLIN, P., 1966, "The blue-green algae", *Scientific American*, 214 (6), pp. 74-81.

ESTEVES, F. A., 1998, *Fundamentos de Limnologia*. 2 ed. Rio de Janeiro, Interciência.

- FALCONER, I. R., 1999, "An Overview of Problems Caused by Toxic Blue-Green algae Cyanobacteria in Drinking and Recreational Water", *Environmental Toxicology*, Volume 14, Issue 1, pp. 5-12.
- FAUSETT, L., 1994, *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, algorithms and applications*. New Jersey, Prentice Hall.
- HAYKIN, S., 2001, *Redes Neurais: Princípios e Práticas*. 2 ed. Porto Alegre, Bookman.
- JOCHIMSEN, E. D., CARMICHAEL, W. W., AN, J. et al., 1998, "Liver failure and death after exposure to microcystins at a hemodialysis center in Brazil", *The New England Journal of Medicine*, Volume 338, Number 13, March.
- KOSKO, B., 1992, *Neural Networks and Fuzzy Systems: A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence*. Englewood Cliffs, Prentice Hall International.
- LEE, J. H. W., HUANG Y., DICKMAN M. et al., 2003, "Neural Network Modeling of Coastal Algal Blooms", *Ecological Modelling*, 159, pp. 179-201.
- LEK, S., GUÉGAN, J. F., 1999, "Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction", *Ecological Modelling*, 120, pp. 65-73.
- MAIER, H. R., 1995, *A review of artificial neural networks*. Research Report No. R 131, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Adelaide, Australia.
- MAIER, H. R., DANDY, G. C., 1997a, "Determining Inputs for Neural Network Models of Multivariate Time Series", *Microcomputers in Civil Engineering*, 12, pp. 353-368.
- MAIER, H. R., DANDY, G. C., 1997b, "Modelling Cyanobacteria (Blue-Green Algae) in the River Murray Using Artificial Neural Networks", *Mathematics and Computers in Simulation*, 43, pp. 377-386.

- MAIER, H. R., DANDY, G. C., 2000, "Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modelling issues and applications", *Environmental Modelling & Software*, 15, pp. 101-124.
- MAIER, H. R., DANDY, G. C., BURCH, M. D., 1998, "Use of artificial neural networks for modelling cyanobacteria *Anabaena* spp. in the River Murray, South Australia", *Ecological Modelling*, 105, pp. 257-272.
- MITCHELL, T. M., 1997, *Machine Learning*. New York, McGraw-Hill.
- PILOTTO, L. S., DOUGLAS, R. M., BURCH, M. D., CAMERON, S. et al., 1997, "Health effects of exposure to cyanobacteria (blue-green algae) during recreational water-related activities", *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 21, 6, pp. 562-566.
- RECKNAGEL, F., 1997, "ANNA – Artificial Neural Network model for predicting species abundance and succession of blue-green algae", *Hydrobiologia*, 349, pp. 47-57.
- RECKNAGEL, F (Ed.), 2003, *Ecological Informatics: Understanding Ecology by Biologically-Inspired Computation*. Berlin, Springer-Verlag.
- RECKNAGEL, F., FRENCH, M., HARKONEN, P. et al., 1997, "Artificial neural network approach for modelling and prediction of algal blooms", *Ecological Modelling*, 96, pp. 11-28.
- RIVELINO, O., SOUZA, W. F. R., MERLLO FILHO, H., 2003, "Barreira de contenção para algas do gênero *Microcystis* sp.", *Saneas*, Junho, pp. 29-31.
- SABESP, 2005, *Abastecimento de Água na Região Metropolitana de São Paulo*, Julho. Disponível em <www.aesabesp.com.br/secretaria_palestra_abastecimento.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2005.
- SCARDI, M., 1996, "Artificial neural networks as empirical models for estimating phytoplankton production", *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 139, pp. 289-299.

- SIVONEN, K., 1996, "Cyanobacterial toxins and toxin production", *Phycologia*, Vol. 35 (6 Supplement), pp. 12-24.
- WEI, B., SUGIURA, N., MAEKAWA, T., 2001, "Use of artificial neural network in the prediction of algal blooms", *Water Research*, Vol. 35, No. 8, pp. 2022-2028.
- WHITEHEAD, P. G., HOWARD, A., ARULMANI, C., 1997, "Modelling algal growth and transport in rivers: a comparison of time series analysis, dynamic mass balance and neural network techniques", *Hydrobiologia*, 349, pp. 39-46.
- WILSON, H., RECKNAGEL, F., 2001, "Towards a generic artificial neural network model for dynamic predictions of algal abundance in freshwater lakes", *Ecological Modelling*, 146, pp. 69-84.
- YABUNAKA, K., HOSOMI, M., MURAKAMI, A., 1997, "Novel Applications of a Back-Propagation Artificial Neural Network Model Formulated to Predict Algal Bloom", *Water Science and Technology*, Vol. 36, No. 5, pp. 89-97.
- YUNES, J. S., 2002, "Florações de Algas (Cianobactérias) Nocivas: Homem Vítima ou Culpado?", *CianoNews*, Abril. Disponível em <<http://www.cianobacterias.furg.br>>. Acesso em: 05 jun. 2004.

Anexo I - Base de dados

PARÂMETROS	DADOS DE CAMPO				FÍSICO-QUÍMICOS							
	Profundidade	Zona Eufótica	Temperatura da Água	Temperatura do Ar	pH	Fósforo Total	Fósforo Relativo Solúvel	Nitrogénio Amónia	Nitrogénio Albumínico	Nitrogénio Nitrato	Nitrogénio Nitrato	Oxigénio Dissolvido
UNIDADE	m	m	°C	°C	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
20/10/1998	0					0,017		0,243				
05/01/1999	0	6,3	25		7,6		<0,005					7,9
12/01/1999	0	6,6	24		7,6	0,018		0,195				8
19/01/1999	0	6	25				<0,005					7,9
27/01/1999	0	6	27				0,01					7,4
02/02/1999	0	5,7	25				<0,005					6,4
09/02/1999	0	5,4	25		7,5	0,022		0,122				7,5
12/02/1999	0	5,1	25				<0,005					7,8
18/02/1999	0	6,3	26				<0,005					7,5
23/02/1999	0	6,3	25				<0,005					
02/03/1999	0	7,5	25				0,005					7,6
09/03/1999	0	6,3	26				<0,005					7,3
16/03/1999	0	5,1	24		6,9	0,008	<0,005	0,46				5
23/03/1999	0	6	25				<0,005					8,4
30/03/1999	0	6,9	26				0,007					7,5
06/04/1999	0	5,4	25		8,3	0,017	<0,005	0,29				8,3
13/04/1999	0	5,1	23				<0,005					4,4
20/04/1999	0	5,4	23				<0,005					4,2
27/04/1999	0	5,4	21,5				<0,005					4,6
04/05/1999	0	6,3	22				<0,005					7,5
11/05/1999	0	5,4	21		7,2	0,005	<0,005	0,58	0,11	<0,01	0,007	7
18/05/1999	0	5,7	21				<0,005					6,7
25/05/1999	0		19				<0,005					6,8
01/06/1999	0	5,4	18				<0,005					6,9
08/06/1999	0	6	17				<0,005					6,9
15/06/1999	0	5,4	17		6,8	0,016	0,06	0,4	0,18	0,357	0,28	6,5
22/06/1999	0	6	18				<0,005					5,5
29/06/1999	0	6,9	18				<0,005					6,7
06/07/1999	0	6,6	17				<0,005					5,9
13/07/1999	0	6,3	17		6,9	0,013	<0,005	0,045	0,192	1,008	0,012	6,8
20/07/1999	0	8,7	19				<0,005					8,2
27/07/1999	0	3,1	18				<0,005					8,4
03/08/1999	0	6,3	18				<0,005					8,1
10/08/1999	0	6,3	19				<0,005					8,2
17/08/1999	0	5,1	17		7,2	0,02	<0,005	0,24	0,1	0,95	0,021	7,4
24/08/1999	0	5,7	19				<0,005					
31/08/1999	0	6	21				0,009					8,8
09/09/1999	0	6	20									
14/09/1999	0	6	19		7,1	0,013		0,38	0,217	0,851	0,031	7,1
21/09/1999	0	9	20									7,5
28/09/1999	0	7,2	20									7,5

PARÂMETROS	DADOS DE CAMPO				FÍSICO-QUÍMICOS							
	Profundidade	Zona Eufótica	Temperatura da Água	Temperatura do Ar	pH	Fósforo Total	Fósforo Reativo Solúvel	Nitrogênio Amoniacal	Nitrogênio Albuminóide	Nitrogênio Nitrato	Nitrogênio Nitrato	Oxigênio Dissolvido
UNIDADE	m	m	°C	°C	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
05/10/1999	0	6,6	18									6,3
14/10/1999	0	7,5	19,5		7,2	0,005		0,36	0,173	0,841	0,079	7,6
19/10/1999	0	7,5	20			0						7,7
26/10/1999	0	6,9	19			0						7,8
04/11/1999	0	6,9	22			0						7,9
09/11/1999	0	4,5	21			0						8,3
17/11/1999	0	3	19		7,2	0,02		0,509	0,21	0,863	0,212	7,14
23/11/1999	0	6,6	20									8,4
30/11/1999	0		20									8,18
07/12/1999	0	6										7,54
14/12/1999	0	5,7	22		7,1	0,015		<0,02	0,115	0,88	0,08	7,34
22/12/1999	0		22									7,8
28/12/1999	0	6,3	25									7,74
04/01/2000	0	6	24									7,5
18/01/2000	0	6	27									7,26
27/01/2000	0											5,74
01/02/2000	0											
09/02/2000	0	6,3	24									6,88
15/02/2000	0	5,7	25									6,6
19/02/2000	0							0,14				
22/02/2000	0	5,4	24									6,9
29/02/2000	0	1	23									8,7
09/03/2000	0	6,3	23									5,94
14/03/2000	0	6	24									6,6
21/03/2000	0	5,4	22		7	0,03		0,106	0,141	0,559	0,001	5,88
28/03/2000	0	5,4	23									7,16
04/04/2000	0	5,1	22									5,74
11/04/2000	0	6	24									8,06
18/04/2000	0	5,1	23		7,9	0,014		<0,02	0,145	0,484	0,004	
25/04/2000	0	5,4	22									6,4
02/05/2000	0	5,7	21									
09/05/2000	0	5,1	21									6,22
16/05/2000	0	3,9	21		7	0,019		0,051	0,159	0,545	0,001	5,62
23/05/2000	0	3,9	20									
30/05/2000	0	4,5	19									6,9
06/06/2000	0	5,7	20									7,38
20/06/2000	0	4,5	20		7,3	0,012		0,045	0,158	0,553	0,001	7,92
27/06/2000	0	4,2	18			0						6,6
04/07/2000	0	3,9	18			0						8,18
11/07/2000	0	4,8	18,5		7,4	0,019			0,155			8,36
18/07/2000	0	5,4	16									7,76
25/07/2000	0	3,9	15									

PARÂMETROS	DADOS DE CAMPO				FÍSICO-QUÍMICOS							
	Profundidade	Zona Eufótica	Temperatura da Água	Temperatura do Ar	pH	Fósforo Total	Fósforo Reativo Solúvel	Nitrogênio Amoniacal	Nitrogênio Albuminóide	Nitrogênio Nitrato	Nitrogênio Nitrito	Oxigênio Dissolvido
UNIDADE	m	m	°C	°C	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
03/05/2001	0		24									7,68
07/05/2001	0		22									1,44
08/05/2001	0	3	19									1,26
14/05/2001	0	4,5	20		6,7	0,02		0,76	0,76	<0,01	0,005	3,7
22/05/2001	0	4,8										
24/05/2001	0		19									5,12
29/05/2001	0	4,8	20									4,28
05/06/2001	0	5,7	22									8,78
07/06/2001	0		21									8,96
12/06/2001	0	6	21									8,87
18/06/2001	0	5,1	20		7	0,016		0,05	0,29	0,5	0,139	6,64
26/06/2001	0	6,3	19									6,38
28/06/2001	0											
03/07/2001	0	6,9	18									7,76
11/07/2001	0	7,8	19									9,36
17/07/2001	0	6,6	19		7,4	0,022		0,06		0,63	0,003	8,78
24/07/2001	0	6	17									6,98
31/07/2001	0		18									7,55
07/08/2001	0	5,7	21									8,88
15/08/2001	0	3	20									8,76
18/08/2001	0											
21/08/2001	0	3,6	21									8,56
28/08/2001	0	3	20									8,18
04/09/2001	0	2,4	22		7,1	0,032	<0,005	0,06	0,5	0,84	0,018	8,82
11/09/2001	0	3,6	20	18			<0,005					8,98
18/09/2001	0	3,6	18	17			<0,005					5,98
25/09/2001	0	2,9	20	23			<0,005					8,66
02/10/2001	0	3	20	24			<0,005					7,62
09/10/2001	0	3	21	20			<0,005					7,98
17/10/2001	0	0,9	23	20			<0,005					
22/10/2001	0		22,5	26		0,04						7,92
23/10/2001	0	3,3	23	27		0,026	<0,005					7,92
24/10/2001	0	3	23	26		0,034						7,7
25/10/2001	0		24	22		0,039						8,3
26/10/2001	0		22	28		0,065						8,06
29/10/2001	0		24	29		0,117						9,42
30/10/2001	0	1,5	25	27		0,034	<0,005					9,92
31/10/2001	0		26	30		0,056						
01/11/2001	0		24	24		0,038						9,02
06/11/2001	0		22	22		0,035	0,008					
13/11/2001	0		22,5	20,5		0,03	<0,005					7,86
20/11/2001	0	1,5	22	23	8,8	0,044	<0,005	<0,02	0,45	0,1		7,58

PARÂMETROS	DADOS DE CAMPO				FÍSICO-QUÍMICOS							
	Profundidade	Zona Eufótica	Temperatura da Água	Temperatura do Ar	pH	Fósforo Total	Fósforo Reativo Solúvel	Nitrogênio Amônia	Nitrogênio Amônio	Nitrogênio Nitrato	Nitrogênio Nitrito	Oxigênio Dissolvido
UNIDADE	m	m	°C	°C	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
27/11/2001	0	1,5	26	26								8,24
30/11/2001	0		20	24	9,1							
04/12/2001	0	3	24	21		0,045	<0,005					7,3
11/12/2001	0	1,5	24	23		0,029	<0,005					7,34
18/12/2001	0	3,6	25	26		0,03	<0,005					6,86
26/12/2001	0		22	20		0,022	<0,005					6,58
27/12/2001	0		22	20								
03/01/2002	0	3,6	21	24		0,023	<0,005					8,2
15/01/2002	0		24	24	7,8	0,029						5,72
22/01/2002	0	2,4	25	28,5	8,4	0,039	<0,005					8,4
29/01/2002	0	2,4	25	26,5			<0,005					7,44
05/02/2002	0	2,4	24	23			<0,005					6,8
14/02/2002	0	1,8	26	25			<0,005					8,72
19/02/2002	0	3	25	25	8,3	0,014	<0,005	0,08	0,47	<0,01	0,001	
21/02/2002	0		25	25								8
26/02/2002	0	3	23,5	23,5			<0,005					7,66
05/03/2002	0	1,8	27	30			<0,005					10,02
12/03/2002	0		28	31			<0,005					8,54
19/03/2002	0		26	27			<0,005					6,7
26/03/2002	0	5,1	25	24			<0,005					6,46
02/04/2002	0		26	28			<0,005					7,18
09/04/2002	0	6	25	25	7,3	0,024	<0,005	0,38	0,3	<0,01	0,003	6,67
16/04/2002	0	6,9	24	24			<0,005					8,23
23/04/2002	0	5,4	25	25			0,006					6,45
30/04/2002	0	3,9	25	25								
03/05/2002	0		23	27								4,18
07/05/2002	0	4,8	24	24			<0,005					4,17
14/05/2002	0	4,8	25	28			<0,005					
21/05/2002	0	3,9	22	22	6,7	0,008		0,83	0,2	0,15	0,158	3,57
28/05/2002	0		22	22			<0,005					4,07
04/06/2002	0	6	21,5	21			<0,005					7,5
11/06/2002	0	6,3	21	22								8,01
18/06/2002	0		21	23			<0,005					8,13
25/06/2002	0	3,6	20	16	7	0,023	<0,005	0,12	0,19	0,73	0,023	4,4
02/07/2002	0	5,4	19	18			<0,005					5,91
11/07/2002	0		18,5	16			<0,005					5,19
16/07/2002	0	4,8	18	19			<0,005					5,94
23/07/2002	0	5,4	18	20	7,3	0,022	<0,005	0,07	0,17	0,81	0,022	6,75
30/07/2002	0	4,5	18	20			<0,005					7,8
06/08/2002	0	4,2	17	17			0,007					8,38
13/08/2002	0	5,4	23	28			<0,005					9,51
20/08/2002	0	4,2	21	26			<0,005					8,85

PARÂMETROS	DADOS DE CAMPO				FÍSICO-QUÍMICOS							
	Profundidade	Zona Eufótica	Temperatura da Água	Temperatura do Ar	pH	Fósforo Total	Fósforo Reativo Solúvel	Nitrogênio Amônia	Nitrogênio Albuminóide	Nitrogênio Nitrato	Nitrogênio Nitrito	Oxigênio Dissolvido
UNIDADE	m	m	°C	°C	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
27/08/2002	0	6	21	21	7,3	0,01	<0,005	0,03	0,06	0,65	0,031	8,73
03/09/2002	0	4,2	19	17			<0,005					6,33
10/09/2002	0	3,9	19	22			<0,005					7,22
17/09/2002	0	6,3	20	23			<0,005					8,66
26/09/2002	0	6	19	21			<0,005					
03/10/2002	0		20	21	7,9	0,019	0,011	0,21	0,14	0,58	0,098	8,9
08/10/2002	0	5,4	24	29			<0,005					10,01
15/10/2002	0	5,1	26	30			0,007					8,16
22/10/2002	0	3,6	24	21			<0,005					8,11
29/10/2002	0	9	24,5	28			<0,005					7,45
05/11/2002	0	6,6	22	19			<0,005					
12/11/2002	0	7,2	22	22			<0,005					8,07
19/11/2002	0	7,2	23,5	27			<0,005					7,64
26/11/2002	0		22	22			<0,005					8,19
28/11/2002	0		24,5	28								
03/12/2002	0	5,1	24	22			<0,005					8,21
10/12/2002	0	4,8	25	23			<0,005					6,93
17/12/2002	0	6,3	25	29	7,4	0,019	<0,005	0,14	0,21	0,44	0,079	6,34
23/12/2002	0	4,8	25	24,5			<0,005					8,03
30/12/2002	0	4,8	25	26			<0,005					7,97
07/01/2003	0		26									8,27
14/01/2003	0	4,5	25	24			<0,005					7,29
21/01/2003	0	4,2	27	27	8,8	0,033	<0,005	<0,02	0,23	0,34	0,002	8,27
30/01/2003	0	4,2	24,5	24			<0,005					4,69
04/02/2003	0	3	26	31			<0,005					8,03
11/02/2003	0	5,4	28	28			<0,005					7,49
18/02/2003	0	4,8	25	27			<0,005					6,79
25/02/2003	0	5,4	27	29	8	0,028	<0,005	0,06	0,23	0,26	0,022	8,02
05/03/2003	0	6,3	27	26			<0,005					7,36
11/03/2003	0	5,4	25	25			<0,005					6,88
18/03/2003	0	3	20	24			<0,005					6,43
25/03/2003	0	3,3	22	23			<0,005					3,97
31/03/2003	0		26	24	7,7	0,042	0,04	0,14	0,25	0,25	0,003	8,14
01/04/2003	0	5,7	25	26	7,9	0,021	0,024	0,22	0,13	0,25	0,004	7,9
08/04/2003	0	5,1	23	19			<0,005					3,61
15/04/2003	0	5,4	22	22			<0,005					5,6
22/04/2003	0	5,7	23	24			0,013					7,59
29/04/2003	0	3,9	24	27			0,006					7,88
06/05/2003	0	5,7	22	21			0,016					3,95
13/05/2003	0	5,1	21	20			<0,005					5,94
20/05/2003	0		21,5									8,19
27/05/2003	0	4,2	20	20			<0,005					4,17

PARÂMETROS	DADOS DE CAMPO				FÍSICO-QUÍMICOS							
	Profundidade	Zona Eufótica	Temperatura da Água	Temperatura do Ar	pH	Fósforo Total	Fósforo Reactivo Solúvel	Nitrogénio Amoniacal	Nitrogénio Albuminóide	Nitrogénio Nitrato	Nitrogénio Nitrito	Oxigénio Dissolvido
UNIDADE	m	m	°C	°C	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
01/06/2003	0		20,5									
03/06/2003	0	5,1	20	22			<0,005					6,38
10/06/2003	0	4,8	20	22			<0,005					7,45
17/06/2003	0	6,3	21	23	7,9	0,025	0,012	0,03	0,15	0,45	0,043	8,84
24/06/2003	0											
01/07/2003	0		19									5,66
08/07/2003	0											5,49
10/07/2003	0											6,65
15/07/2003	0											6,52
22/07/2003	0	4,8	18			0,05						7,51
29/07/2003	0	3,6	19				0,033					8,04
05/08/2003	0	6,6	20		7,6	0,111	<0,005	<0,02	0,15	0,45	0,056	8,66
12/08/2003	0	4,5	18				<0,005					5,41
19/08/2003	0	6	17,5				<0,005					5,05
26/08/2003	0	4,2	18			0,005						6,49
02/09/2003	0	4,5	17			0,017						7,19
09/09/2003	0	4,2	20		8,2	0,028	0,027	0,07	0,16	0,56	0,052	
17/09/2003	0											
23/09/2003	0											8,4
24/09/2003	0		20		8	0,032		0,23	0,09	0,65	0,045	9,32
30/09/2003	0		20			0,064						
07/10/2003	0		21,5		6,9							8,03
14/10/2003	0		19		7,1	0,036	<0,005	0,12	0,14	0,72	0,075	6,9
21/10/2003	0		21		7,6	0,02	<0,005	0,1	0,18	0,67	0,08	
28/10/2003	0		21,5		7,6		<0,005					
04/11/2003	0	4,8	19		7,2		<0,005					
11/11/2003	0	4,5	23		7,6	0,024	<0,005	0,04	0,15	0,72	0,198	7,74
18/11/2003	0	4,5	22,5		7,6		<0,005					
25/11/2003	0		24		7,5		<0,005					
02/12/2003	0		23		7,6							
09/12/2003	0				7,8							
16/12/2003	0	7,5	26		7,6		<0,005					
22/12/2003	0		24		7,4							
29/12/2003	0		24									
06/01/2004	0	6,3	23,5		7,6		<0,005					
13/01/2004	0	6,3	24		8	0,026	<0,005	<0,02	0,07	0,49	0,144	7,6
20/01/2004	0		24		7,7							7,66
28/01/2004	0	4,8	24		7,5		0,005					7,31
03/02/2004	0	4,5	25,5		7,8		<0,005					7,57
10/02/2004	0	5,7	24		7,5	0,017	<0,005	0,23	0,13	0,53	0,017	6,55
17/02/2004	0	7,5	24		7,7		<0,005					6,7
25/02/2004	0	4,2	23		7,8		<0,005					4,54

PARÂMETROS	DADOS DE CAMPO				FÍSICO-QUÍMICOS							
	Profundidade	Zona Eufótica	Temperatura da Água	Temperatura do Ar	pH	Fósforo Total	Fósforo Reactivo Solúvel	Nitrogênio Amoniacoal	Nitrogênio Albuminóide	Nitrogênio Nitrato	Nitrogênio Nitrito	Oxigênio Dissolvido
UNIDADE	m	m	°C	°C	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
02/03/2004	0	3,9	25		7,7	0,025	<0,005	0,04	0,19	0,48	<0,001	8,42
09/03/2004	0	5,7	25		7,6		<0,005					7,43
15/03/2004	0		20		6,7	0,039	<0,005	0,35	0,14	0,18	0,006	7,25
16/03/2004	0		24		7,4							7,23
23/03/2004	0		23		7,5							6,67
30/03/2004	0	3,9	24		7,5		<0,005					8,02
06/04/2004	0		24		7,8							7,31
13/04/2004	0		24,5		7,4							7,96
20/04/2004	0	5,1	24		7,5		<0,005	0,05	0,16	0,23	<0,001	
27/04/2004	0		23,5		7,3							6,06
04/05/2004	0	4,8	23,5				<0,005					5,43
11/05/2004	0	4,8	21		7,4		<0,005					4,89
18/05/2004	0	3,3	20				<0,005					6,22
25/05/2004	0	5,1	19,7		7,3	0,019	<0,005	0,1		0,26	0,027	6,12
01/06/2004	0						<0,005					6,95
08/06/2004	0		17,5		7,5		<0,005					6,82
15/06/2004	0		17		7,5		<0,005					7,03
22/06/2004	0	4,8	19		7,9	0,03	<0,005	0,02	0,14	0,46	0,003	9,77
29/06/2004	0	5,1	20		6,6		<0,005	0,03				8,96
07/07/2004	0	5,1	19		7,6		<0,005					8,82
13/07/2004	0		18		7,3							6,6
22/07/2004	0	5,4	11		7,9		<0,005					7,37
27/07/2004	0	4,8	17		7,9		<0,005					8,11
03/08/2004	0	6,3	18		7,6		<0,005					9,15
10/08/2004	0	5,7	17		7,5	0,019	<0,005	<0,02	0,14	0,5	0,007	
12/08/2004	0											7,69
17/08/2004	0		18		7,5							
25/08/2004	0		17		7,4							8,63
31/08/2004	0		19									8,88
08/09/2004	0		21,5		7,8							
14/09/2004	0		21		7,4	0,014	<0,005	0,05	0,19	0,46	0,011	8,13
21/09/2004	0		22		7,4							7,57
24/09/2004	0											
28/09/2004	0		24		7,7							
05/10/2004	0		19	19	7,6							7,98
13/10/2004	0		19	25	7,6	0,016	<0,005	<0,02	0,14	0,43	0,001	
19/10/2004	0	4,8	21	22	7,6		0,166	0,04	0,16	0,38	0,004	
26/10/2004	0	4,8	21	19	7,6		<0,005	<0,02	0,06	0,37	0,037	
02/11/2004	0	4,5	22	22	8,1		<0,005	<0,02	0,19	0,31	0,043	8,61
09/11/2004	0	3,9	21	20	7,5		0,007	0,03	0,16	0,29	0,051	8,07
16/11/2004	0	6	21	20	7,4		<0,005	0,7	0,44	0,36	0,021	7,57
23/11/2004	0		22	24	7,5	0,022	<0,005	<0,02	0,2	0,36	0,009	8,19

PARAMETROS	DADOS DE CAMPO				FÍSICO-QUÍMICOS							
	Profundidade	Zona Eufótica	Temperatura da Água	Temperatura de Ar	pH	Fósforo Total	Fósforo Realivo Solúvel	Nitrogênio Amoniacaal	Nitrogênio Albuminóide	Nitrogênio Nitrato	Nitrogênio Nitrito	Oxigênio Dissolvido
UNIDADE	m	m	°C	°C	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
30/11/2004	0	4,5	23	21	7,6		<0,005	0,09	0,17	0,33	0,009	8,13
07/12/2004	0	5,7	24	27	8,8	0,067	<0,005	0,09	0,16	0,31	0,011	8,8
10/12/2004	0		20	24								
12/12/2004	0		24	22								
14/12/2004	0		24	24	7,8							8,53
16/12/2004	0		28	30								
21/12/2004	0	4,8	24	18	7,6		<0,005					
27/12/2004	0		24	26	7,7							6,06
04/01/2005	0		25	22	7,9							8,38
11/01/2005	0	3,6	26	16			<0,005					8,15
18/01/2005	0	3,9	25	26	6,6		<0,005					6,93
26/01/2005	0	4,2	24	16	7	0,015	<0,005	0,21	0,12	0,1	0,012	4,8
01/02/2005	0	3,9	21	20	7,3		<0,005					
09/02/2005	0	3,6	23	22	7,2	0,023	<0,005	0,25	0,09	<0,01	0,09	
15/02/2005	0											6,82

PARÂMETROS	HIDROBIOLOGIA													
	Anabaena	Aphanocapsa	Aphanotece	Chroococcales	Chroococcus	Cylindrospermopsis	Gloeocapsa	Merismopedia	Microcystis	Oscillatoria	Cyanobacteria Oscillatoriales	Planktothrix	Pseudoanabaena	Cianobactérias Total de Células
UNIDADE	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL
20/01/1998														
20/10/1998														
05/01/1999	24								144					168
12/01/1999	14			1496					263		684			2457
19/01/1999	130								2574		1862			4566
27/01/1999	53								8198		3402			11653
02/02/1999									24,5		4368			4392,5
09/02/1999	4							705,6	91		6832			7632,6
12/02/1999						178			25		3520			3723
18/02/1999	45	45									1982			2072
23/02/1999	26	3679				64					3679			7448
02/03/1999	136					280			288		2220			2924
09/03/1999	48				60	192			135		3495			3930
16/03/1999	20			680,4		4343,9	21,6	324	36		3742,8			9168,7
23/03/1999						60		630	252		3139,5			4081,5
30/03/1999						216			165		4423			4804
06/04/1999	96					252			729		2622			3699
13/04/1999	63			1690		297		984	522		3333			6889
20/04/1999						2899,4		707	854		2611,8			7072,2
27/04/1999					35	550,2		469	130		4217,4			5401,6
04/05/1999	54			218	34				1080		6818,9			8204,9
11/05/1999	54					1455			948		4623			7080
18/05/1999	127,4			662	66	2751		1138	1141		12654			18539,4
25/05/1999	91,2			651,6		884		561,1	1341,6		23313			26842,5
01/06/1999	78					1332			2121,6		8073			11604,6
08/06/1999	48			162		1376,2		328,6	697,2		3830,4			6442,4
15/06/1999	96			756		2016			315		4242			7425
22/06/1999	36			424,8	12	4148,2			193,2		2340			7154,2
29/06/1999	163,2				34,4	1016,4			1029		1029			3272
06/07/1999	54			142	15	127,4			235,2		507,2			1080,8
13/07/1999						105			210		27			342
20/07/1999						126			308,4					434,4
27/07/1999									701		11,2			712,2
03/08/1999						34			352		42			428
10/08/1999						613,2			63					676,2
17/08/1999						25,5								25,5
24/08/1999						773,5			509,6					1283,1
31/08/1999									360					360
09/09/1999						18			90					108
14/09/1999														
21/09/1999									64,6					64,6
28/09/1999					32,4	218,4					73,2			324

PARÁMETROS	HIDROBIOLOGIA													
	Anabaena	Aphanocapsa	Aphanotece	Chroococcales	Chroococcus	Cylindrospermopsis	Gloeocapsa	Merismopedia	Microcystis	Oscillatoria	Cyanobacteria Oscillatoriales	Planctofrix	Pseudoanabaena	Cianobacterias Total de Células
UNIDADE	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL
05/10/1999						1148,4			37,2		55,2			1240,8
14/10/1999					10	816			168					994
19/10/1999						1416			373,2					1789,2
26/10/1999				893,2		1725,6			393,6		57,4			3069,8
04/11/1999				170,8		18			926,4		298,2			1413,4
09/11/1999				383,6	32,4	73,2			1549,2		1145,3			3183,7
17/11/1999				680,4	32,4	2168,4			334,8		769,6			3985,6
23/11/1999				252		33			79,5		189			553,5
30/11/1999														
07/12/1999				5874,4					184,8		10767,4			16826,6
14/12/1999				1870,4		2679,6			133,6		13219,2			17902,8
22/12/1999														
28/12/1999	24										36960			36984
04/01/2000					194						4698,4			4892,4
18/01/2000											2265,2			2265,2
27/01/2000					94,9						2941,4			3036,3
01/02/2000						127,4					8122,8			8250,2
09/02/2000		3258				84					4148,2			7490,2
15/02/2000					30,2	84					6921,6			7035,8
19/02/2000														
22/02/2000				30,6		21					1668,7			1720,3
29/02/2000						462					693			1155
09/03/2000											1554			1554
14/03/2000									173,8		4146,8			4320,6
21/03/2000						362,2					2562			2924,2
28/03/2000				420							1732,5			2152,5
04/04/2000				168				276			1597,5			2041,5
11/04/2000	63					1339,8					1822,5			3225,3
18/04/2000	90					21					3307,5			3418,5
25/04/2000	180			84		1113					6907,5			8284,5
02/05/2000						2529,8					15127,5			17657,3
09/05/2000					34,4	2031,4					27304,5			29370,3
16/05/2000						63					52050			52113
23/05/2000											65100			65100
30/05/2000											26806,5			26806,5
06/06/2000				108							28950	2655		31713
20/06/2000				54							45867			45921
27/06/2000					133,2	84					12109,5	6418,5		18745,2
04/07/2000											43200	2970		46170
11/07/2000				422,8	3000,2						31900			35323
18/07/2000				1310,4	241,2						7597,5			9149,1
25/07/2000				420							11925	180		12525

PARÂMETROS	HIDROBIOLOGIA													
	Anabaena	Aphanocapsa	Aphanizetea	Chroococcales	Chroococcus	Cylindrocapsa	Gloeocapsa	Merismopedia	Microcystis	Oscillatoria	Cyanobacteria Oscillatoriales	Planctotrix	Pseudoanabaena	Cianobactérias Total de Células
UNIDADE	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL
27/07/2000											7537,5			7537,5
31/07/2000				180							4657,5			4837,5
08/08/2000				106,4					61		13077			13244,4
15/08/2000											14352			14352
21/08/2000														
22/08/2000				338,8	37,6				30		11520			11926,4
24/08/2000														
04/09/2000				1901,2	504,2	786					15874,5			19065,9
12/09/2000				1680							22120			23800
19/09/2000	39				543	106,4		68,8			9615			10372,2
26/09/2000				1366,4	6									1372,4
03/10/2000														
09/10/2000				211,4										211,4
17/10/2000														
24/10/2000									455					455
31/10/2000						33								33
07/11/2000				69,2	30	13,5					15			127,7
21/11/2000	188,4					722,4			30	417,5	200,4			1558,7
29/11/2000	236,9					21			486	33	492,1			1269
05/12/2000											925,3			925,3
12/12/2000										75,6	2358,5			2434,1
19/12/2000				27							1638			1665
26/12/2000											4644			4644
30/12/2000														
02/01/2001											18240			18240
09/01/2001											1656			1656
16/01/2001											653,1			653,1
25/01/2001											1242			1242
26/01/2001														
30/01/2001											4968			4968
06/02/2001											11066,7			11066,7
13/02/2001						145,8					8820,9			8966,7
19/02/2001						526,1					2812			3338,1
28/02/2001														
06/03/2001				210			60				2034			2304
13/03/2001											2376			2376
20/03/2001	24,6			69,3		554					13075,3			13723,2
27/03/2001	192			27		162					13680			14061
03/04/2001	24,2			108,9		3846,1			318,4		27818			32115,6
10/04/2001				27,2	69	90,7					50072,5			50259,4
17/04/2001				32,7	30,2				77,6		70149,8			70290,3
24/04/2001				265					275,8		54649,9			55190,7

PARÂMETROS	HIDROBIOLOGIA													
	Anabaena	Aphanocapsa	Aphanotece	Chroococcales	Chroococcus	Cylindrospermopsis	Gloeocapsa	Merismopedia	Microcystis	Oscillatoria	Cyanobacteria Oscillatoriales	Planctothrix	Pseudoanabaena	Cianobactérias Total de Células
UNIDADE	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL
03/05/2001		25,3		262					183,4		12243,8			12714,5
07/05/2001														
08/05/2001				306,1		108,9		8328			2358,5			11101,5
14/05/2001				259,7		419,2					1640,5			2319,4
22/05/2001				191,4		601,4			193,6		4483,4			5469,8
24/05/2001														
29/05/2001				27,2		870,8			2055,5		2812			5765,5
05/06/2001	432			108		108			967643		26160			994450,8
07/06/2001	192			67,5		108			4027,5	16,5	90480			94891,5
12/06/2001	192			40,5		36			20595		48120			68983,5
18/06/2001				108		231		1988	1740		28500			32567
26/06/2001														
28/06/2001				40,8		338,7			7969		10683,7			19032,2
03/07/2001														
11/07/2001						255,2			5302,5		18954			24511,7
17/07/2001				136,1		973,6			8387,6		19250,9			28748,2
24/07/2001	36,3			27,2		698,5			12513,6		4021,5			17297,1
31/07/2001	36					546		120	55670,9	33	7605			64010,9
07/08/2001	360					2037			99947,6		2790			105134,6
15/08/2001	6014,3					25373,3			7939711		26628,8			7997728
18/08/2001	2400					1330			4,2E+07		1500			41534350
21/08/2001	6678,1					865,7			3123437		9363,5			3140344
28/08/2001	1614,7			40,8		5989,9			187124	316	8859,4			203944,5
04/09/2001	997,8			313		84832,9			390993	149,7	32454,4			509740,9
11/09/2001	686,4					25870,2			82305	2532,2	2302			113695,8
18/09/2001	53,5					156341		3268	55910,3	277,2	3504,6			219354,4
25/09/2001				467,8		28274,4			171317		5850,9			205910,4
02/10/2001	72			54		63000			44123,5		4875			112124,5
09/10/2001	1124,8			81,6		167634			128362	415,8	10280,6			307898,2
17/10/2001	5616			252		269080			1751767		35300			2062015
22/10/2001														
23/10/2001	725,7					273746					28825,9			303297,2
24/10/2001														
25/10/2001	5315,7			381		42049,6			118761	66,5	204805			371378,9
26/10/2001														
29/10/2001														
30/10/2001	23984			1442,3		484276			311012	33,3	96556,8			917303,7
31/10/2001														
01/11/2001														
06/11/2001	7800,3					298242			73315,7	685	39892,5			419935,5
13/11/2001	18600			932,4		599200			195495		110000			924227,4
20/11/2001	28431					318654			90633,3		7320,4			445038,7

PARAMETROS	HIDROBIOLOGIA													
	Anabaena	Aphanocapsa	Aphanotece	Chroococcales	Chroococcus	Cylindrospermopsis	Gloeocapsa	Merismopedia	Microcystis	Oscillatoria	Cyanobacteria Oscillatoriales	Planctoflora	Pseudoanabaena	Cianobactérias Total de Células
UNIDADE	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL
27/11/2001	111998					761972			123926		33865,4			1031762
30/11/2001	60474			108		584179			281303		19352			945415,9
04/12/2001	73294,5			27,2		610142			55738,4		9403,7			748606
11/12/2001	35599,5			82		483935			61821,2		57003,8			638441
18/12/2001	24189,6					805715			15786		26205,4			871896,3
26/12/2001	145,8					522207		636	23019	33,4	32703,8			578745
27/12/2001														
03/01/2002	7015			81,6		788783			10005		28221,2			834105,3
15/01/2002	2267,8					497096			2755,3		26507,8			528627,2
22/01/2002	108					571000		5417,5	4822,2	33	19600			600980,7
29/01/2002	947,7					475065			2820,6		14647,5			493480,8
05/02/2002	252			13,5		556600		354,8	4881,8		102000			664102,1
14/02/2002	3918,4					356400			7243,2		21465			389026,6
19/02/2002	1796,1					570875	6	5625	2506,8		31849,6			612658,1
21/02/2002														
26/02/2002	36			27		638000		11624	2101,3		15400			667188,3
05/03/2002														
12/03/2002	252			67,5		1025000			4828,2		34700			1064848
19/03/2002	558					670200		212	11220	49,5	77200			759439,5
26/03/2002	36					167916		2495	249		14111			184807
02/04/2002	63,6			358,2	27,6	40567,8			3186		108			44311,2
09/04/2002	36				41,4	91		8828	442,5		20319,6			29758,5
16/04/2002								15391,8	6002,7		120948			142342,5
23/04/2002						150		45069,7	619,7		58000			103839,4
30/04/2002				309,6		120,9		45496,4	11,3		6652			52590,2
03/05/2002														
07/05/2002						1095		34650			6810			42555
14/05/2002						540		4725			6138			11403
21/05/2002						1305		17394	78	99	3915			22791
28/05/2002				40,8		1088,5			113,4		8184,1			9426,8
04/06/2002	290,3					650,1			544,3	66,5	25701,5			27252,7
11/06/2002						241,9			871,3	116,4	10703,9			11933,5
18/06/2002	18					105			101,3		15950			16174,3
25/06/2002	36					1620		4990,5	895,8	42	7956			15540,3
02/07/2002						1740			361,8	63	1260			3424,8
11/07/2002	18,1					1632,8			1122,5		4671,6			7445
16/07/2002	90,7					1224,6			344,7	42,3	2358,5			4060,8
23/07/2002	36,3					1300,2			771		2872,5			4980
30/07/2002	18,1					695,5			898,5		3053,9			4666
06/08/2002	18,2	68,3				1063,1			751,8		7593,8			9495,2
13/08/2002	54,4	68							2957,6		22375,4			25455,4
20/08/2002	36,5			42,5					193,6		41917,5			42190,1

PARÂMETROS	HIDROBIOLOGIA													
	Anabaena	Aphanocapsa	Aphanotece	Chroococcales	Chroococcus	Cylindrospermopsis	Gloeocapsa	Merismopedia	Microcystis	Oscillatoria	Cyanobacteria Oscillatoriales	Planctothrix	Pseudonabena	Cianobactérias Total de Células
UNIDADE	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL
27/08/2002								45,6			80797,5			80843,1
03/09/2002											93757,5			93757,5
10/09/2002											10620			10620
17/09/2002				27,2							1923,1			1950,3
26/09/2002								528,8	63		684			1275,8
03/10/2002											1047,9			1047,9
08/10/2002								433,6			10230,2			10663,8
15/10/2002											11950			11950
22/10/2002											7500			7500
29/10/2002								129,8			120			249,8
05/11/2002											600			600
12/11/2002				34,5							45			79,5
19/11/2002						30,4					1533,9			1564,3
26/11/2002											182160			182160
28/11/2002						135					159000			159135
03/12/2002				127					22,7	148,2	239880			240178,1
10/12/2002											99832,5			99832,5
17/12/2002					6,8						79826			79832,8
23/12/2002				24,1							18949			18973,1
30/12/2002											16529,6			16529,6
07/01/2003											17370			17370
14/01/2003											2916			2916
21/01/2003											1270			1270
30/01/2003				42,5		45,6		865,7	11,4		4829,6			5794,8
04/02/2003											33108,8			33108,8
11/02/2003									22,8	106,3	40601,3			40730,4
18/02/2003				525				438,5	308,1		98200			99471,6
25/02/2003									180		61800			61980
05/03/2003									129,8		59600			59729,8
11/03/2003								30,2			14110,6			14140,8
18/03/2003				148,8				546,8			10843,9			11539,5
25/03/2003				1254,5				1306,1			5771,3			8331,9
31/03/2003				997,9		14,9		380,2	111,4		13860			15364,4
01/04/2003														
08/04/2003				1932		120		1927	22,5		15090			19091,5
15/04/2003				1530,9		167,1		3553,9	22,8		17955			23229,7
22/04/2003			120,9	127		181,4		393,1			23081			23903,4
29/04/2003									34		43742,9			43776,9
06/05/2003		66,8						2221,6			9702			11990,4
13/05/2003						44,6		326,7	11,1		1499,9			1882,3
20/05/2003				62,4		148,5		89,1			3385,8			3685,8
27/05/2003						637,9		5771,3			2566,7			8975,9

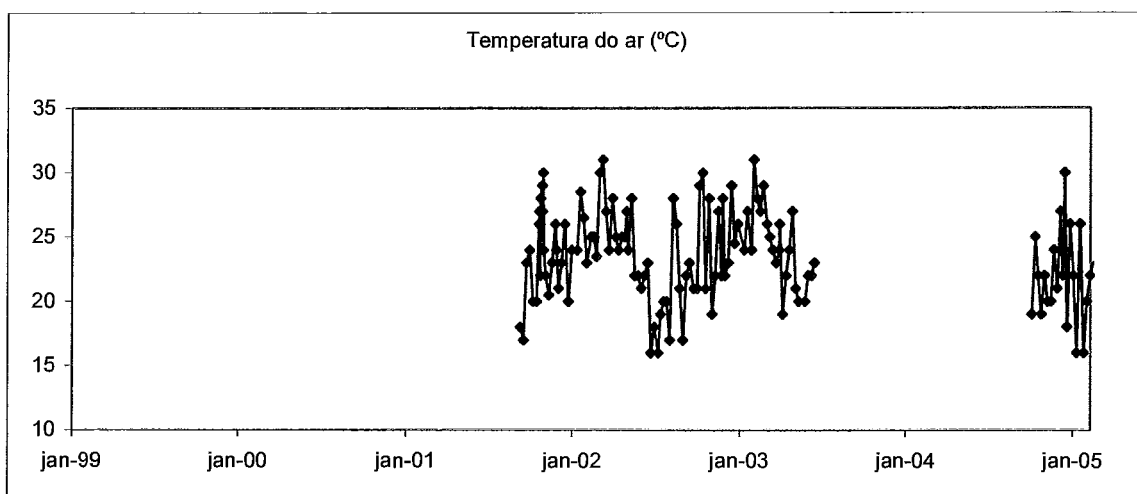
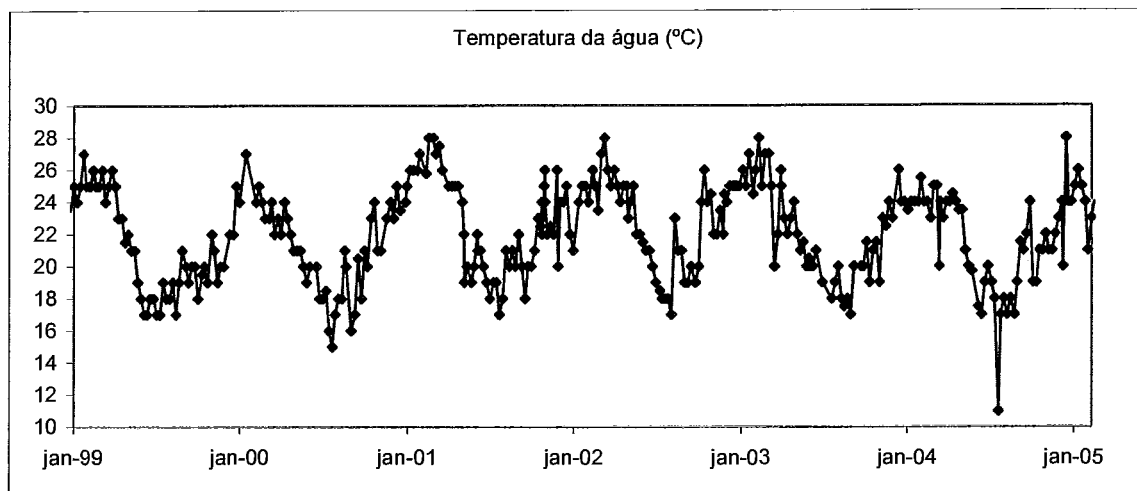
PARÂMETROS	HIDROBIOLOGIA													
	Anabaena	Aphanocapsa	Aphanizotece	Chroococcales	Chroococcus	Cylindrospermopsis	Gloeocapsa	Merismopedia	Microcystis	Oscillatoria	Cyanobacteria Oscillatoriales	Planktothrix	Pseudoanabaena	Cianobactérias Total de Células
UNIDADE	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL
01/06/2003														
03/06/2003						579,2		712,8			4722,3			6014,3
10/06/2003				63,5		514		241,9			19200,5			20019,9
17/06/2003				168					45		26500			26713
24/06/2003	22,3			166,3		430,7		2257,2		20,8	11969,1			14866,4
01/07/2003						150		24			17900			18074
08/07/2003				104		1039,5		801,9	33,4		14322			16300,8
10/07/2003														
15/07/2003				207,9		698		178,2			3489,8			4573,9
22/07/2003				127,6		698,6			125,3		11026,1			11977,6
29/07/2003				602,9		252,5		29,7		20,8	18810			19715,9
05/08/2003	22,3			561,3							13728			14311,6
12/08/2003				415,8		124,7		297			2529			3366,5
19/08/2003				252				156	67,5		1131			1606,5
26/08/2003				330,2					38,6		1041,7			1410,5
02/09/2003				41,6							1563,7			1605,3
09/09/2003	71,3									26,7	4092,7			4190,7
17/09/2003	95			582,1		20,8			22,3		7857,1			8577,3
23/09/2003				435,2					203,7		27201,2			27840,1
24/09/2003														
30/09/2003				273							19695			19968
07/10/2003											4009,4			4009,4
14/10/2003											2008,5			2008,5
21/10/2003									150,6		1872,5			2023,1
28/10/2003											13543,2			13543,2
04/11/2003						29,7					4561,9			4591,6
11/11/2003											747,2			747,2
18/11/2003						15,2					710,8			726
25/11/2003				83,2		89,1					1764,2			1936,5
02/12/2003				145,5		178,2					2851,2			3174,9
09/12/2003				21,3							21465			21486,3
16/12/2003											19200			19200
22/12/2003						45					2160	30		2235
29/12/2003						72,9					6998,4			7071,3
06/01/2004											21312			21312
13/01/2004						2660,9					20898			23558,9
20/01/2004											3849,1			3849,1
28/01/2004											4536			4536
03/02/2004				191,4							11773,4			11964,8
10/02/2004											5544			5544
17/02/2004											9210			9210
25/02/2004											7261,2			7261,2

PARÂMETROS	HIDROBIOLOGIA													
	Anabaena	Aphanocapsa	Aphanotece	Chroococcales	Chroococcus	Cylindrospermopsis	Gloeocapsa	Merismopedia	Microcystis	Oscillatoria	Cyanobacteria Oscillatoriales	Planctofitox	Pseudoanabaena	Cianobactérias Total de Células
UNIDADE	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL
02/03/2004				41,6							12438,4			12480
09/03/2004											23220			23220
15/03/2004														
16/03/2004											34920			34920
23/03/2004											17784			17784
30/03/2004											8100			8100
06/04/2004											27480			27480
13/04/2004	67,5										44400			44467,5
20/04/2004														
27/04/2004								297			5559,8			5856,8
04/05/2004														
11/05/2004									419,5		7184,3			7603,8
18/05/2004														
25/05/2004						14,9					8910		89,1	9014
01/06/2004														
08/06/2004						17,8					2583,9			2601,7
15/06/2004											5025,2			5025,2
22/06/2004				26,7							2744,3			2771
29/06/2004	22,5			27							2700			2749,5
07/07/2004	408,4			95,3							2105,7			2609,4
13/07/2004	245					53,5					1710,7			2009,2
22/07/2004	66,8			160,5							2690,8			2918,1
27/07/2004	45,4	204,1									2249,6	799,8		3298,9
03/08/2004	3229,9										7805,2			11035,1
10/08/2004	2086,4										7910			9996,4
12/08/2004														
17/08/2004	476,2			32,7							5642,2			6151,1
25/08/2004	181,5			27,2							7297,5			7506,2
31/08/2004											11299,5			11299,5
08/09/2004											43861,5			43861,5
14/09/2004											31800			31800
21/09/2004											59280			59280
24/09/2004				27							31680			31707
28/09/2004											20599,9			20599,9
05/10/2004											9475,9			9475,9
13/10/2004											4538,3			4538,3
19/10/2004	53,5										1835,5			1889
26/10/2004											13288			13288
02/11/2004				40,5							102480			102520,5
09/11/2004				81							146880			146961
16/11/2004	180			162							12600			12942
23/11/2004											16156,8			16156,8

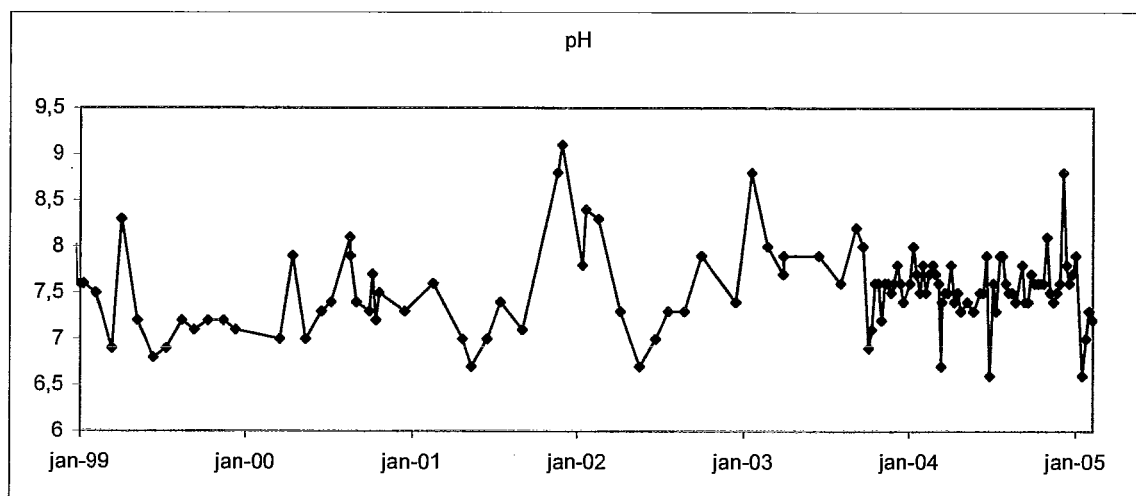
PARAMETROS	HIDROBIOLOGIA													
	Anabaena	Aphanocapsa	Aphanizotece	Chroococcales	Chroococcus	Cylindrospermopsis	Gloeocapsa	Merismopedia	Microcystis	Oscillatoria	Cyanobacteria Oscillatoriales	Planctothrix	Pseudoanabaena	Cianobacterias Total de Células
UNIDADE	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL	Cel / mL
30/11/2004	225			81							7110			7416
07/12/2004				27,2							1669,1		423,3	2119,6
10/12/2004														
12/12/2004														
14/12/2004	45			27							7956			8028
16/12/2004	68			54,4							4209		60,5	4391,9
21/12/2004				270							4176			4446
27/12/2004	22,3	1770,9		187,1							9159,5			11139,8
04/01/2005				190,5							11066,7			11257,2
11/01/2005				324							1080			1404
18/01/2005				43,5				30,21			9542,8		90,7	9707,21
26/01/2005	135			364,5		342	8	870			28920		240	30879,5
01/02/2005	726,1		564,8	258,7		363,1		60,5	34		27108,5			29115,7
09/02/2005	360		120	94,5				150			17700			18424,5
15/02/2005														

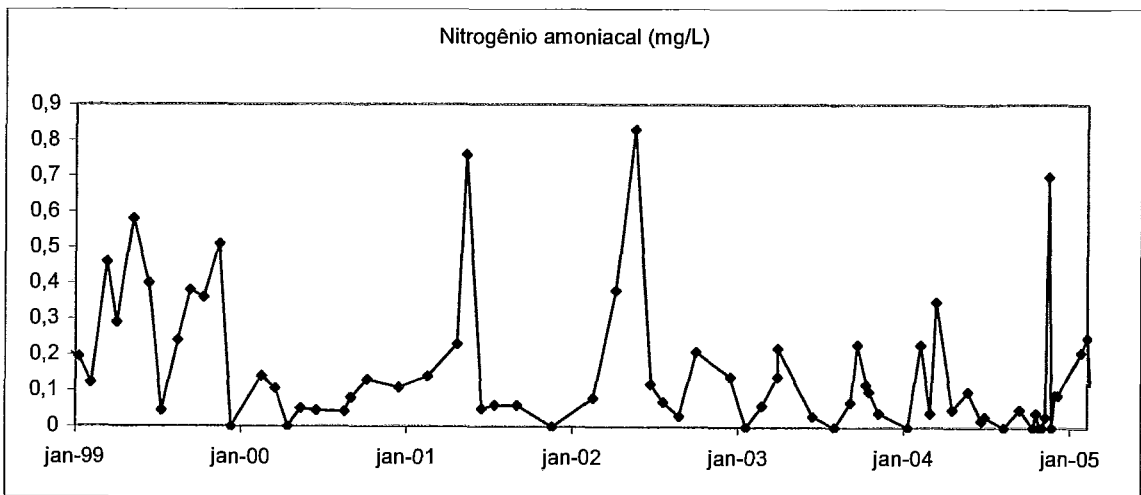
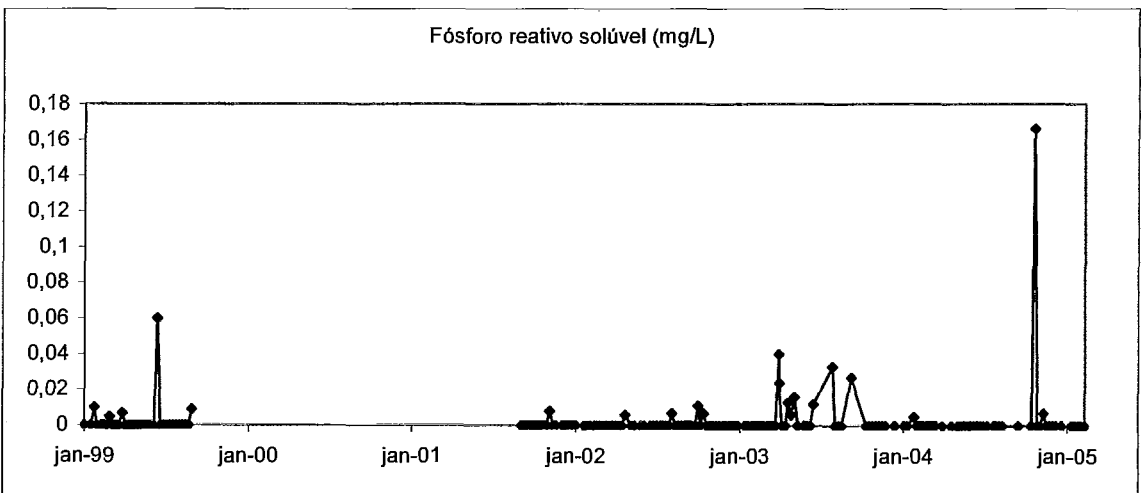
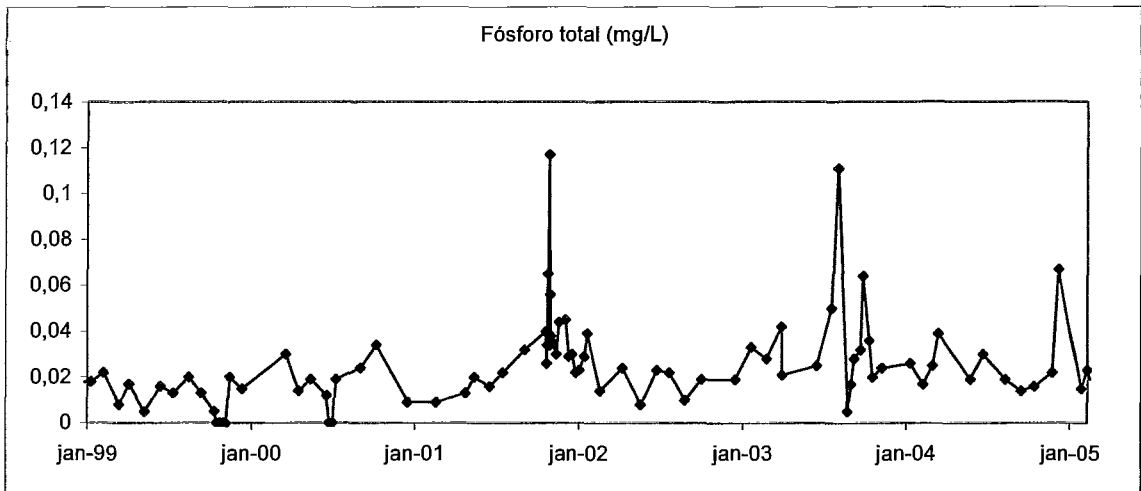
Anexo II - Gráficos dos parâmetros

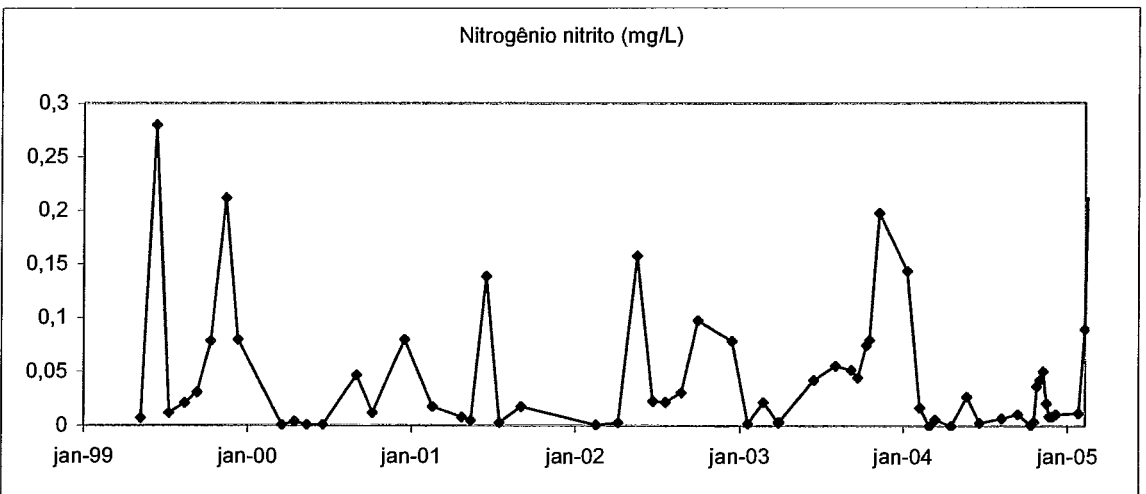
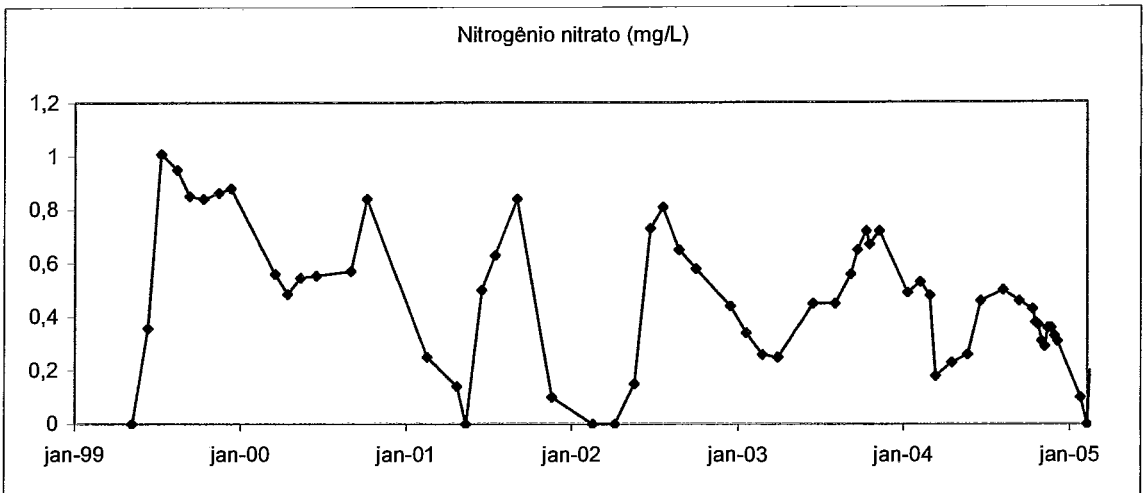
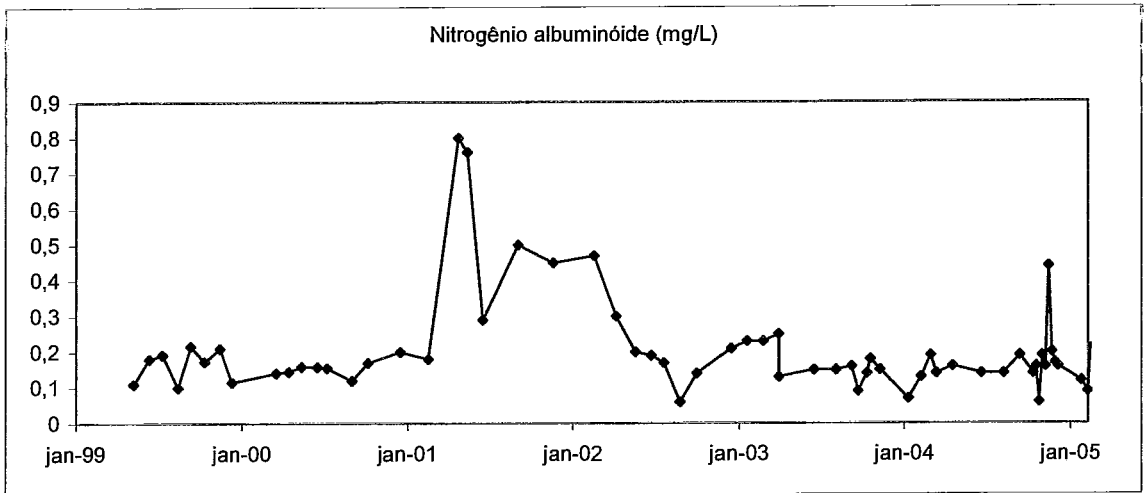
Dados de campo

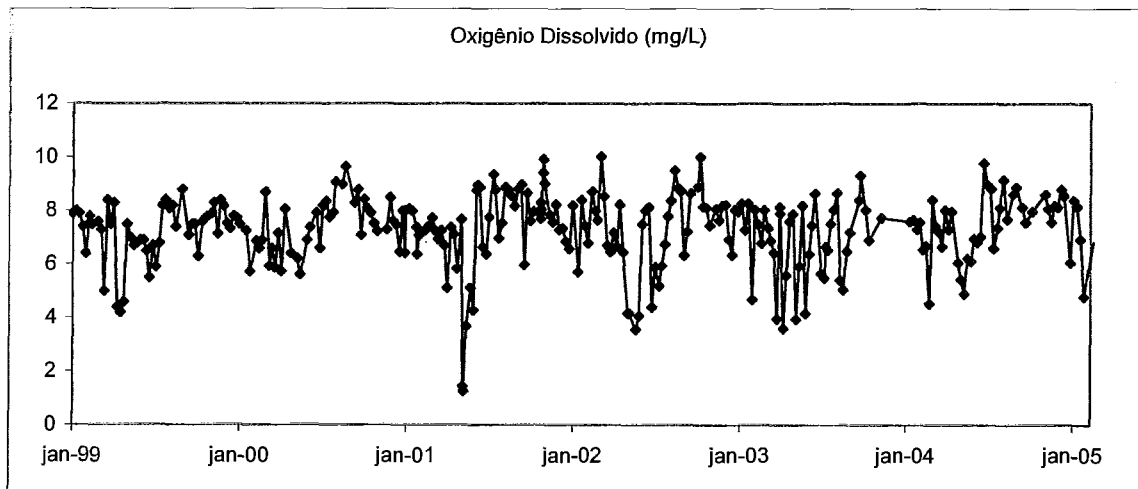


Dados físico-químicos









Dados microbiológicos

