



I-179 - ESTUDO DA ASSOCIAÇÃO ENTRE PARÂMETROS BIÓTICOS E ABIÓTICOS E A OCORRÊNCIA DE CIANOBACTÉRIAS NO RESERVATÓRIO DE VARGEM DAS FLORES/MG

Lenora Nunes Ludolf Gomes ⁽¹⁾

Bióloga (UFMG). Mestra em Microbiologia (UFMG). Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG). Pós-doutoranda do Departamento de Botânica da UFMG.

Silvia Maria Alves Correia Oliveira

Engenheira (UFMG) Mestra e Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Alessandra Giani

Bióloga (UFMG), Mestra em Ecologia (UnB), Doutora em Hidrobiologia (Universidade de Konstanz, Alemanha), Pós-doutorado pela Universidade de Quebec (Canadá) e Professora Associada do Departamento de Botânica da UFMG.

Eduardo von Sperling

Engenheiro Civil e Sanitarista (UFMG), Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG), Doutor em Limnologia (Universidade Técnica de Berlim) e Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da UFMG.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Pedra Bonita, 1076 - Barroca - Belo Horizonte - MG - CEP: 30430-390 - Brasil - Tel: (31) 3332-1502 - e-mail: lenoragomes@gmail.com

RESUMO

O presente estudo visa compreender as relações entre os parâmetros físicos, químicos e biológicos, e a ocorrência de cianobactérias no manancial de Vargem das Flores/MG. Para tanto, foi realizado o monitoramento dos parâmetros bióticos e abióticos da água do reservatório entre outubro de 2004 e outubro de 2007. Os resultados dos parâmetros monitorados (Temperatura, OD, N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, P-PT, Turbidez, Cor, Alcalinidade, Cloreto, Condutividade, pH, Ferro Total, SST, Cianobactérias, Bacillariophyta, Fitoflagelados, Chlorophyceae, Zooplâncton, clorofila-*a*) indicaram perfis de distribuição na coluna d'água, tanto dos fatores físicos e químicos quanto dos biológicos, característicos para cada estação de amostragem. Análise estatística de agrupamento confirmou que a estação 1, localizada próxima à torre de tomada d'água da ETA, possui comportamento diferenciado, quase sempre apresentando água de melhor qualidade. Em geral, foi observada estratificação da coluna d'água, apresentando anoxia e maior concentração de nutrientes no hipolimnion durante o período chuvoso (verão) e circulação da massa d'água no período seco (inverno). O grupo das cianobactérias não foi encontrado durante o período seco, retornando logo após a desestratificação sendo esse ciclo repetido durante os três anos de pesquisa. Foi observada sucessão das espécies de cianobactérias encontradas no reservatório, com predomínio ao final do estudo do gênero *Aphanocapsa* sp. (picoplâncton). Através das análises de componentes principais pode ser percebido um padrão de correlação negativa entre a ocorrência de cianobactérias e as concentrações de ortofosfato em todas as profundidades da coluna d'água.

PALAVRAS-CHAVE: Cianobactérias, nutrientes, florações.

INTRODUÇÃO

A degradação dos ambientes aquáticos por ações antrópicas, juntamente com o aumento da ocorrência de florações tóxicas de cianobactérias nos mananciais destinados ao abastecimento público, tem recebido grande atenção por implicar risco potencial à saúde humana.

Desta forma, muitos países estão desenvolvendo guias de recomendação para os serviços de abastecimento público lidarem com a presença das cianobactérias. O Brasil tornou-se o primeiro país a editar uma portaria (Portaria MS 518/2004) contemplando, como parâmetro de controle de qualidade da água potável, as análises de cianobactérias e cianotoxinas na água.



Para tanto, tem-se buscado tecnologias adequadas ao manejo e tratamento das águas contendo cianobactérias potencialmente produtoras de cianotoxinas, assim como um melhor entendimento da dinâmica do ambiente aquático, no que se refere à proliferação das cianobactérias.

O conhecimento das relações existentes entre os diversos fatores componentes de um ecossistema aquático, em especial um manancial, pode propiciar o desenvolvimento de ferramentas que, através do uso de modelos preditivos, possibilitem prever a ocorrência das florações de cianobactérias. O entendimento da dinâmica da população de cianobactérias nos mananciais permitirá que as estações de tratamento se adequem, operacionalmente aos problemas oriundos do fenômeno das florações, garantindo assim a qualidade da água distribuída e protegendo a saúde da população.

Neste contexto, este estudo visa compreender as relações entre os parâmetros físicos, químicos e biológicos, investigar a relação entre a variação na população de cianobactérias e os fatores ambientais, assim como analisar a dinâmica do reservatório.

MATERIAIS E MÉTODOS

O reservatório do sistema Vargem das Flores, utilizado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Copasa para abastecimento de parte da população da região metropolitana de Belo Horizonte, está localizado entre os municípios de Betim e Contagem na bacia de drenagem do Rio Paraopeba e foi inaugurado em 1972. Atualmente, a represa possui um espelho d'água de 5,5 quilômetros quadrados (km²) com um volume de 44 milhões de metros cúbicos, profundidade máxima de 18 metros e profundidade média de 6 metros.. O reservatório está situado nas coordenadas geográficas 19° 53' 44,99" S e 44° 09' 01,56" W e sua água tem origem nos seguintes tributários: córrego Água Suja, ribeirão Betim, córrego Morro Redondo e córrego Bela Vista.

Para o levantamento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos do monitoramento da qualidade da água do manancial, foram escolhidas as estações de amostragem mais representativas do reservatório (Figura 1): estação 1 - estação mais profunda, localizada junto à torre de tomada d'água; estação 2 – encontro dos dois braços principais; estação 3 – braço do córrego Água Suja; estação 4 – braço do ribeirão Betim.

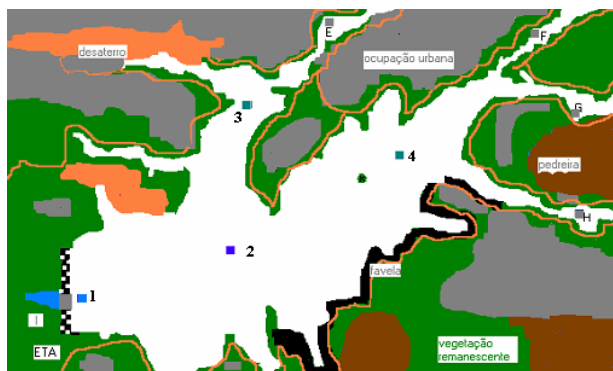


Figura 1 - Localização dos pontos de amostragem no reservatório de Vargem das Flores/MG.

O monitoramento realizado no reservatório de Vargem das Flores compreendeu o período entre outubro de 2004 e outubro de 2007. Para a determinação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, tanto para a preservação, quanto para transporte e análise, foram seguidas as metodologias propostas pelo “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 1998). As amostras de água para análise foram coletadas nas seguintes profundidades: superfície, profundidade de extinção do disco de Secchi, 5 e 10 metros da superfície e a um metro do fundo. Os parâmetros avaliados em todas as estações e em todas as profundidades foram: alcalinidade total, pH, condutividade elétrica, cor aparente, turbidez, temperatura da água/ar, oxigênio dissolvido, ortofosfato, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, sólidos em suspensão totais, cloretos, ferro, análises qualitativas e quantitativas do fitoplâncton e zooplâncton, clorofila-a e análise de cianotoxinas.

Para o tratamento estatístico dos dados foi realizada inicialmente uma análise exploratória através de análises temporais e estatística descritiva. Para tanto, foram calculadas as estatísticas básicas relativas ao número de



dados, médias aritmética e geométrica, mediana, desvio padrão, percentis de 10 e de 90 %. Os resultados foram apresentados na forma de tabelas e de gráficos “box-whisker” para permitir uma melhor visualização da variabilidade observada em cada estação de amostragem, em todas as profundidades

Em seguida, foram empregados os testes estatísticos não paramétricos para verificação da existência de diferenças significativas entre as medianas dos dados relativos aos parâmetros físicos, químicos e biológicos coletados nas diversas profundidades. Quando os dados foram considerados diferentes nos testes Kruskal-Wallis ANOVA e no teste de medianas (Kruskal-Wallis, 1952, Siegel & Castellan, 1988), ao nível de significância (α de 5%), foram empregados os testes de comparações múltiplas. Estes testes permitem uma comparação simultânea entre todos os resultados obtidos e a verificação de quais constituintes apresentam comportamentos diferenciados dentre as quatro profundidades (superfície, secchi, 5 metros e fundo). O teste não paramétrico de comparações múltiplas de classes para todos os grupos (Siegel & Castellan, 1988) foi empregado após a aplicação do teste de Kruskal-Wallis ANOVA e teste de medianas. Foi efetuada, ainda, a verificação de diferenças significativas entre as concentrações medidas nos períodos seco e chuvoso em todas as profundidades amostradas, por meio do teste estatístico de Mann-Whitney, considerando o nível de significância (α) de 5 %.

Para a análise de todas as variáveis em conjunto foram utilizadas a análise de agrupamentos e a análise de componentes principais (ACP). A análise de agrupamentos foi realizada numa tentativa de evidenciar os grupos de pontos similares, considerando as características limnológicas e sanitárias das quatro estações de monitoramento, a partir da avaliação de 19 variáveis (Temperatura, OD, N-NH₄, N-NO₃, P-PO₄, P-PT, Turbidez, Cor, Alcalinidade, Cloreto, Condutividade, pH, SST, Cianobactérias, Bacillariophyta, Fitoflagelados, Chlorophyceae, Zooplâncton, clorofila-*a*). Da mesma forma, as 19 variáveis, foram analisadas com o emprego da ACP numa tentativa de explicar as principais tendências de variação da qualidade da água observada tanto no período de chuva quanto de seca.

RESULTADOS

No intuito de caracterizar o ambiente estudado, são apresentados tanto os resultados de cada estação de amostragem, considerando separadamente os parâmetros abióticos e bióticos, quanto os resultados das comparações desses entre as quatro estações de amostragem, incluindo as séries temporais e os resultados das análises multivariadas. Na tabela 1 estão apresentados os resultados da estatística descritiva da concentração de nutrientes analisados na profundidade do Secchi das estações de amostragem monitoradas.

Apenas na estação 1 as concentrações de amônia medidas na profundidade do fundo foram significativamente maiores que as das outras profundidades no período chuvoso (Figura 2 e Tabela 1). A concentração da amônia nas outras estações não apresentou diferenças significativas entre as profundidades. As menores concentrações de nitrogênio amoniacal no epilimnio contrastando com maiores no hipolimnio podem estar relacionadas ao maior consumo pelo fitoplâncton nas camadas superficiais e maior produção do íon amônio no fundo, tanto através da decomposição da matéria orgânica quanto da redução do nitrato em condições anaeróbias.

Quando avaliada a diferença das concentrações de amônia entre os períodos chuvoso e seco (Tabela 1), observa-se que no período seco as concentrações foram significativamente maiores, possivelmente relacionado com a circulação da massa d'água e carreamento da amônia do fundo. Contudo analisando-se os valores da amônia no período chuvoso, observa-se elevadas concentrações (valores máximos) que podem estar relacionados a eventos de chuva e carreamento de matéria orgânica (Figura 2). Por outro lado, analisando-se os resultados das outras formas de nitrogênio, nitrato e nitrito (Tabela 1), não foram observadas diferenças da concentração desses compostos quando comparadas as profundidades em cada período, ou mesmo quando comparadas as concentrações medidas entre os dois períodos.

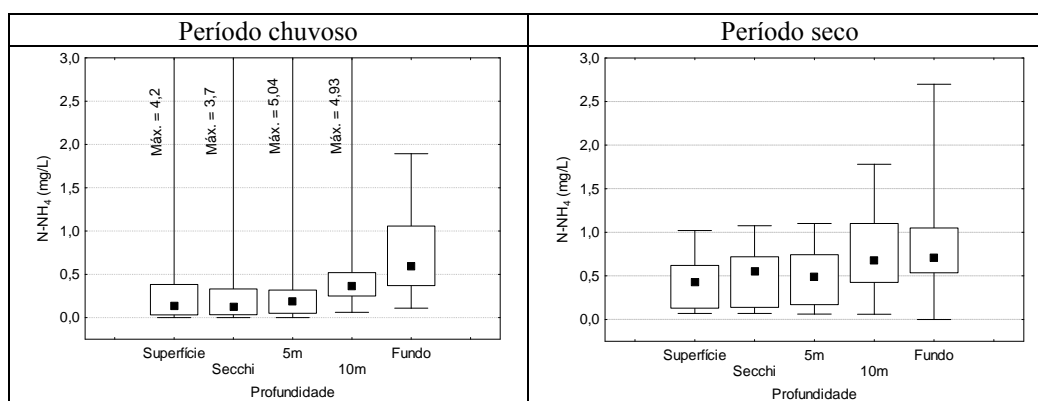


Figura 2 - Gráficos “box=whisker” da concentração de amônio na estação, período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro). Vargem das Flores/MG.

Da mesma forma, as concentrações de ortofosfato e fósforo total não apresentaram diferenças significativas ($\alpha = 5\%$) nem entre as profundidades nem entre os períodos seco e chuvoso. Apesar dos testes estatísticos (baseados na diferença entre medianas) não terem apontado diferenças entre as profundidades, observa-se na Figura 3 variação da concentração tanto de ortofosfato quanto de fósforo total, com maiores valores nas camadas mais profundas. Através da análise dos valores encontrados para os nutrientes, tanto fósforo quanto nitrogênio, pode-se inferir que o reservatório encontrou-se na maior parte do período em condições de mesotrofia (índice de Vollenweider para as formas de nitrogênio e fósforo total).

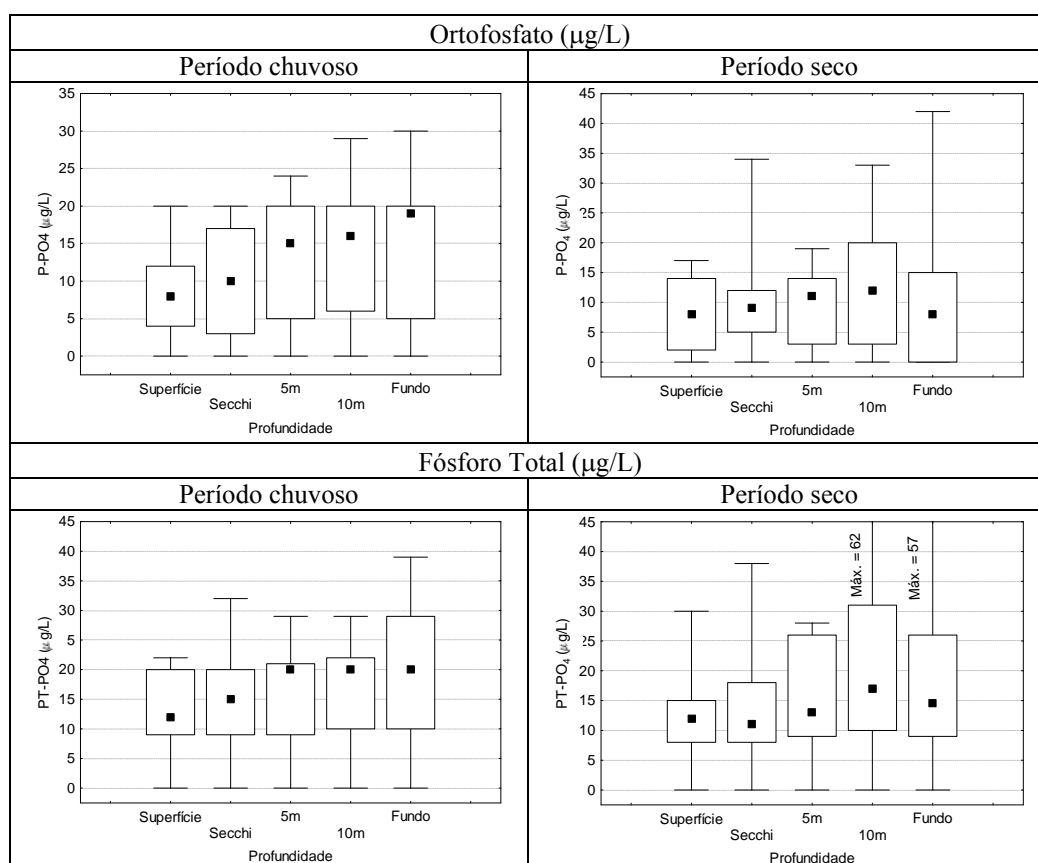


Figura 3 - Gráficos “box=whisker” das concentrações de ortofosfato e fósforo total na estação 1, período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro). Vargem das Flores/MG.



Tabela 1: Estatística descritiva dos nutrientes amostrados nas diversas profundidades das estações 1 a 4, no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro), Vargem das Flores/MG.

Estação 1										
Parâmetros	chuva					Seca				
	N-NH ₄ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	PO ₄ (μg/L)	PT (μg/L)	N-NH ₄ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	PO ₄ (μg/L)	PT (μg/L)
Nº dados	19	19	18	19	19	17	16	16	17	17
Méd. aritm.	0,38	0,01	0,40	10	14	0,49	0,01	0,75	8	11
Méd. geom.			0,24			0,36		0,37		
Mediana	0,13	0,01	0,31	10	15	0,55	0,01	0,41	9	11
Perc. 10%	0,00	0,01	0,06	0	1	0,07	0,00	0,09	0	5
Perc. 90%	0,96	0,02	0,73	20	20	1,01	0,02	1,70	17	18
Desv. Pad.	0,84	0,01	0,39	7	8	0,33	0,01	0,84	6	7
Estação 2										
Parâmetros	chuva					Seca				
	N-NH ₄ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	PO ₄ (μg/L)	PT (μg/L)	N-NH ₄ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	PO ₄ (μg/L)	PT (μg/L)
Nº dados	14	12	12	14	14	10	6	6	10	10
Méd. aritm.	0,62	0,01	0,24	21	25	1,07	0,01	0,37	20	23
Méd. geom.	0,16	0,01	0,20	19	23	0,62	0,01	0,23	17	23
Mediana	0,17	0,01	0,22	20	21	0,77	0,01	0,27	20	20
Perc. 10%	0,01	0,01	0,10	8	16	0,15	0,01	0,03	8	19
Perc. 90%	2,63	0,02	0,44	31	34	2,61	0,02	0,90	32	35
Desv. Pad.	0,98	0,01	0,15	8	10	1,01	0,00	0,32	9	7
Estação 3										
Parâmetros	chuva					Seca				
	N-NH ₄ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	PO ₄ (μg/L)	PT (μg/L)	N-NH ₄ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	PO ₄ (μg/L)	PT (μg/L)
Nº dados	14	12	12	14	14	10	6	6	10	10
Méd. aritm.	0,62	0,02	0,63	20	25	1,08	0,02	0,90	16	27
Méd. geom.	0,20	0,01	0,29	19	24	0,58	0,02	0,61	15	26
Mediana	0,20	0,01	0,19	20	20	0,60	0,02	0,70	19	27
Perc. 10%	0,01	0,01	0,10	12	19	0,11	0,01	0,09	7	20
Perc. 90%	2,13	0,03	1,41	25	39	2,97	0,02	2,46	21	37
Desv. Pad.	0,81	0,01	0,96	6	8	1,13	0,00	0,81	6	7
Estação 4										
Parâmetros	chuva					Seca				
	N-NH ₄ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	PO ₄ (μg/L)	PT (μg/L)	N-NH ₄ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	PO ₄ (μg/L)	PT (μg/L)
Nº dados	14	12	12	14	14	10	6	6	10	10
Méd. aritm.	0,70	0,02	0,55	30	31	1,09	0,02	0,88	20	30
Méd. geom.		0,01	0,25	28	29	0,65	0,02	0,44	19	28
Mediana	0,28	0,01	0,18	25	28	0,91	0,02	0,46	20	26
Perc. 10%	0,01	0,01	0,08	20	20	0,14	0,01	0,09	10	20
Perc. 90%	2,02	0,03	0,76	44	49	2,75	0,02	3,30	28	50
Desv. Pad.	0,93	0,02	1,00	12	12	1,02	0,01	1,22	6	12

Na figura 4 estão apresentados os gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 que indicaram diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, na profundidade de extinção do disco de Secchi durante o período chuvoso (outubro a março).

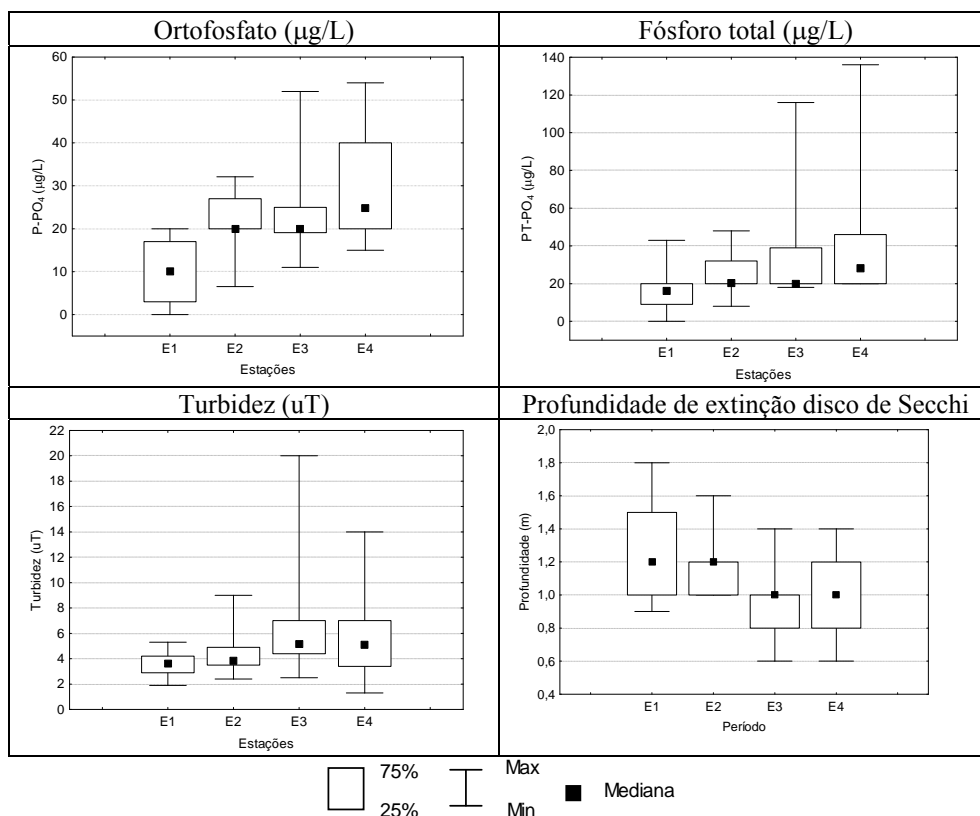


Figura 4 - Gráficos “box=whisker” dos parâmetros das estações 1 a 4 na profundidade do Secchi, período chuvoso (outubro a março). Vargem das Flores/MG.

Os resultados do teste estatístico de Kruskal-Wallis realizados para comparação entre as quatro estações na profundidade de extinção do disco de Secchi (Figura 1) indicaram diferenças significativas (ao nível de significância de 5%) para o ortofosfato, fósforo total e turbidez. As concentrações de ortofosfato e fósforo total foram menores na estação 1 do que nas outras estações nessa profundidade. Enquanto a turbidez e a profundidade do Secchi da estação 1 foram significativamente diferentes das medidas na estação 3 na mesma profundidade. A maior profundidade de extinção do disco de Secchi na estação 1 assim como a menor turbidez podem ser atribuídas ao menor impacto das chuvas na porção mais preservada do reservatório em função da localização e profundidade. Já no período seco apenas os valores da concentração de ortofosfato foram significativamente diferentes quando comparadas as quatro estações.

Na Figura 5 estão apresentados o perfil térmico da estação 1 e o perfil de distribuição das cianobactérias na coluna d’água durante todo o período nessa estação de amostragem. O perfil térmico da estação 1 (Figura 5a) é caracterizado pela ocorrência de estratificação térmica durante os meses mais quentes (outubro a março) e circulação da massa de água durante o período seco e frio (abril a setembro). Observa-se ainda o padrão de circulação monomítico na zona pelágica do reservatório (estação 1) com circulação da coluna d’água ocorrendo uma vez por ano. A diferença encontrada entre as profundidades, com maior estabilidade da coluna d’água durante o período chuvoso, coincide com temperaturas ambiente mais elevadas características da estação (verão).

Na Figura 5 (b) observa-se a ausência das cianobactérias no período seco, coincidente com a desestratificação. Após a circulação, quando houve aumento da concentração de nutrientes na coluna d’água e retorno da estratificação, observa-se o reaparecimento das cianobactérias. As espécies predominantes na ocorrência das cianobactérias observada no período compreendido entre outubro/04 e fevereiro/05 pertenciam ao gênero *Microcystis*. No período chuvoso subsequente (setembro a dezembro de 2005) além de terem sido encontradas menores concentrações de células/mL somente a espécie *Sphaerocavum brasiliense* foi observada. Já na nova ocorrência de cianobactérias compreendida no terceiro período de chuvas monitorado (setembro/05 a março/06) o predomínio foi da espécie picoplânctônica *Aphanocapsa* sp.

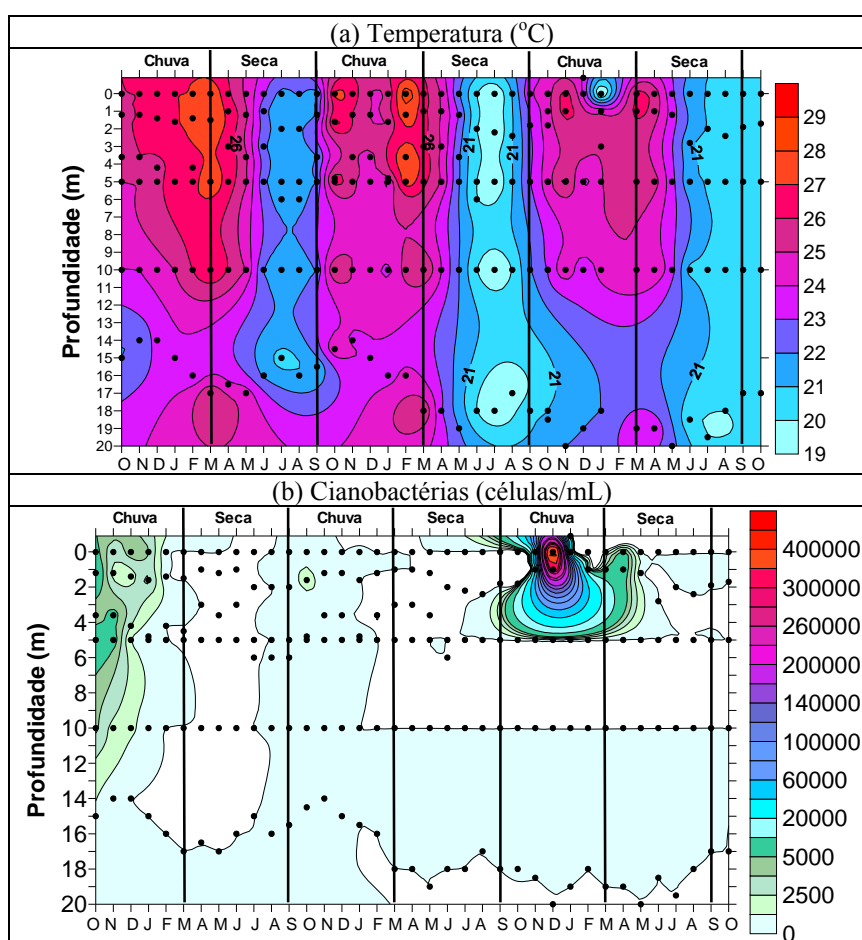


Figura 5 – Perfil térmico (a) e perfil da distribuição das cianobactérias da coluna d'água da estação 1 do reservatório de Vargem das Flores/MG, no período de outubro/2004 a outubro/2007.

Analisando-se os resultados da análise multivariada ACP (Figura 6) observa-se que no período chuvoso as cianobactérias se mostraram positivamente relacionadas ao fitoplâncton, OD, NH_4 , pH e SST. Foi observada, também, uma correlação negativa entre a ocorrência de cianobactérias e as concentrações de nitrato, ortofosfato e fósforo total. A correlação negativa da ocorrência de cianobactérias com as concentrações de fósforo total foi encontrada, provavelmente, devido aos baixos valores de fósforo total medidos nos últimos meses do monitoramento realizado apenas na estação 1.

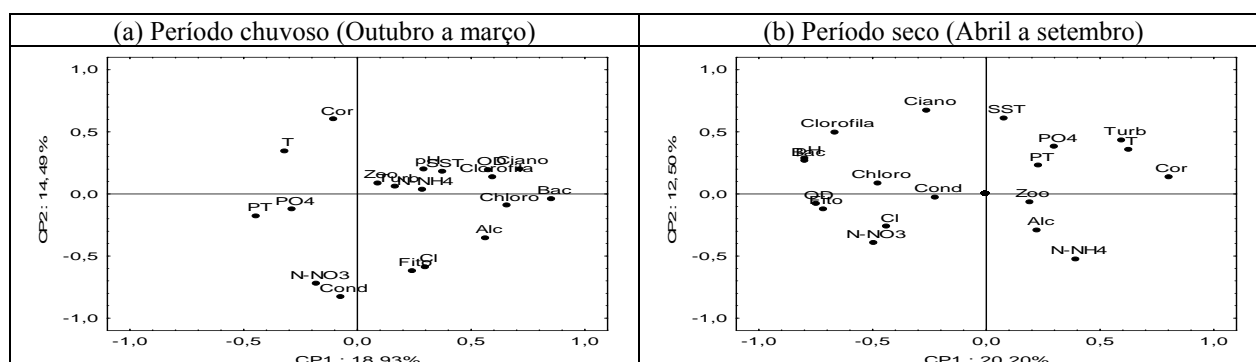


Figura 6 - Ordenação (ACP) das variáveis bióticas e abióticas nos pontos distribuídos nas quatro profundidades nas quatro estações. Vargem das Flores /MG, nos períodos (a) chuvoso e (b) seco.



Já no período seco, um novo cenário se apresentou, mostrando fortes associações do OD com os fitoflagelados. Foi verificado ainda que as cianobactérias estiveram separadas do fitoplâncton, provavelmente por terem ocorrido durante um pequeno intervalo de tempo no período (meses de transição). Ressalta-se assim que como as cianobactérias ocorreram apenas em alguns poucos meses no período seco, torna-se inadequado extrair maiores conclusões.

CONCLUSÕES

Como conclusões obtidas do desenvolvimento desse estudo, pode-se apontar:

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos da água amostrada na estação 1, localizada próxima à torre de tomada d'água da ETA, apresentam características diferenciadas, quase sempre apresentando melhor qualidade.

O período chuvoso apresentou as maiores variações nos parâmetros amostrados entre as profundidades e entre as estações podendo ser caracterizado como período de ocorrência das cianobactérias.

A sucessão observada dentro do grupo das cianobactérias (*Aphanocapsa* sp em detrimento das *Microcystis* spp) pode ser um indicativo de mudança das características da água do manancial

As análises de componentes principais mostraram que no período chuvoso, onde ocorreram as concentrações mais elevadas de cianobactérias, o grupo aparece sempre correlacionado com as algas das classes Bacillariophyta e Chlorophyta.

Em geral, pode ser percebido um padrão de correlação negativa entre a ocorrência de cianobactérias e as concentrações de ortofosfato, evidenciando-se o consumo desse nutriente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20^aed. Washington, APHA/WEF/AWWA, 1998.
2. AZEVEDO, M.T.P., SANT'ANNA, C.L. *Sphaerocavum*, a new genus of planktic cyanobacteria from continental water bodies in Brazil. *Algol. Studies*, v.109, p. 79-92, 2003.
3. BICUDO, C.E.M., MENEZES, M. *Gêneros de águas continentais do Brasil (chave para identificação e descrições)*. 2 ed. RiMa, São Carlos. Brasil, 2006. 502p.
4. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 518, de 23 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/sitefunasa/legis/pdfs/portarias_m/pm1518_2004.pdf>. Acesso em 25 out. 2004.
5. CARMOUZE, J.P. *O metabolismo dos sistemas aquáticos – fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas*. FAPESP, São Paulo. Brasil, 1994. 253p.
6. CHORUS, I.; BARTRAM, J. Toxic cyanobacteria in water: a guide to public health consequences, monitoring and management. *World Health Organization*. London and New York, 416 p, 1999.
7. KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Cyanoprokaryota, 1. Teil: Chlorococcales. – In: ETTL, H., GÄRTNER, G., HEYNING, H., MOLLENHAUER, D. (Ed.) *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Gustav Fischer, Stuttgart, 1999. p.545.
8. KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 47, N^o. 260, 1952, pp. 583-621
9. SIEGEL, S.; CASTELLAN, N. 1988. *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*, second edition, New York: McGraw-Hill, 399 pp.
10. WHITTON, B.A., POTTS, M. (Ed.) *The ecology of cyanobacteria – their diversity in time and space*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. The Netherlands. 2000. p. 149-194.