IV-009 - FLORAÇÕES DE CIANOBACTÉRIAS EM AMBIENTE LÓTICOS E SUA RELAÇÃO COM VARIÁVEIS BIÓTICAS, ABIÓTICAS E SAZONAIS

Hanna Duarte Almeida Ferraz[(1)]
Bióloga, Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais
Eduardo von Sperling
Engenheiro Civil e Sanitarista (UFMG), Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG), Doutor em Limnologia (Universidade Técnica de Berlim), Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Endereço[(1)]**:**- Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Av.Antonio Carlos 6627, Bloco 1, Sala 4625 Pampulha 31270-901 - Belo Horizonte, MG – Brasil - Telefone: 34091019 - Email: hanna.ferraz@yahoo.com.br

RESUMO

A presença de cianobactérias, em sistemas aquáticos é um dos principais problemas de poluição em todo o mundo. Apesar dos frequentes problemas de florações em ambientes aquáticos, a investigação das causas da presença de cianobactérias em rios é bastante limitada à literatura internacional. Os dados de qualidade da água utilizados nesta pesquisa referem-se ao programa de monitoramento realizado no Estado de Minas Gerais pelo IGAM. Dados das populações de cianobactérias utilizados são do período 2007-2011, totalizando 1555 amostras. Os parâmetros da água analisados foram: densidade de cianobactérias, clorofila *a*, temperatura da água, oxigênio dissolvido, DBO, pH, cloreto, cor, alcalinidade, condutividade elétrica, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, fósforo total, turbidez e sólidos suspensos totais. A avaliação estatística envolveu a detecção de *outliers*, testes de normalidade dos dados, correlação de Spearman e Análise de Componentes Principais (PCA). A maioria das florações foram registradas durante a estação seca (abril a outubro). Os resultados da PCA apontam uma correlação positiva da densidade de cianobactérias com o pH, clorofila *a*, temperatura e nitrato, e uma relação inversa com turbidez, cor e sólidos em suspensão. A principal conclusão a ser destacada nesta pesquisa é que é preciso mais do que um gatilho principal para a ocorrência de florações de cianobactérias nos rios do Estado.

PALAVRAS-CHAVE: Cianobactérias, Qualidade de Água, Ambiente Lótico, Florações.

INTRODUÇÃO

As florações de cianobactérias são um evento cada dia mais freqüente nos ambientes tropicais. Segundo Azevedo *et al*. (2002), o controle destas florações é um desafio para a gestão de ambientes aquáticos visando garantir que a saúde humana não seja comprometida.

As florações podem ser nocivas devido a alta densidade de células de cianobactérias, as quais podem conter elevadas concentrações de toxinas, que, caso cheguem às águas de abastecimento para consumo humano, podem ser prejudiciais a este uso. As florações também acarretam odor e cor a água, além de tornar seu tratamento para consumo mais oneroso. Outros prejuízos também podem ocorrer tendo em vista que, nestas situações a pesca e o contato primário (em ambientes destinados à recreação) também devem ser interrompidos.

Os eventos de florações de cianobactérias ganharam um destaque especial a partir da tragédia de Caruaru em 1996 (também conhecida como "A síndrome de Caruaru"), quando ocorreu o primeiro relato de mortes humanas em conseqüência de cianotoxinas.

A relação entre períodos de seca e chuva, carga de nutrientes, aumento da temperatura, luminosidade e cobertura vegetal na bacia são fatores que podem favorecer as florações de cianobactérias. (JARDIM *et al.* 2008; SPERLING & JARDIM 2009; PAERL & HUISMAN, 2008 e BURFORD *et al*. 2007). Ações antrópicas como represamento de ambientes de rios e lançamento de esgoto também afetam diretamente esta comunidade.

A conservação e recuperação dos ambientes aquáticos, descaracterizando os mesmos como um perigo à comunidade que depende da mesma, dependem diretamente do estudo destes locais, visando compreender as interações bióticas e abióticas ali presentes, particularmente em relação aos efeitos advindos de florações de cianobactérias (GEIST, 2011).

Associado a esta necessidade de estudos é ainda grande a carência de trabalhos sobre florações de cianobactérias em ambientes lóticos tropicais.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

O Estado de Minas Gerais está localizado na região sudeste do Brasil e possui uma população de 19.597.330 habitantes (IBGE, 2012), distribuídos em 853 municípios em uma área de 586.520 km^2. A rede hidrográfica de Minas Gerais é composta por 17 bacias e possui cerca de 10000 cursos de água. (IGAM, 2006). Em questões de esgotamento sanitário, segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB, (IBGE, 2008), em Minas Gerais 68,9% dos domicílios tem acesso a rede de esgotos, sendo um dos Estados com maior índice na federação. Apesar do grande índice de coleta, apenas 22,7% dos esgotos do Estado é tratado, o que traz impactos negativos aos recursos hídricos.

Foram abordados neste estudo 4 das maiores e principais bacias do Estado: Bacia do rio das Velhas (BV); Bacia do rio São Francisco – Porção Norte (SFN); Bacia do rio São Francisco – Porção Sul (SFS) ; Bacia do rio Doce (RD) e Bacia do rio Grande (BG). Estas bacias foram selecionadas baseadas no fato de que são as bacias monitoradas pelo programa Águas de Minas há mais tempo e com uma maior série de dados em relação ao parâmetro Densidade de Cianobactérias.

DADOS UTILIZADOS NA PESQUISA

Os dados utilizados nesta pesquisa são referentes ao monitoramento realizado pelo projeto Águas de Minas do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). O projeto, existente desde 1997, tem como objetivo identificar alterações na qualidade das águas dos rios do Estado e acompanhar a qualidade das águas de Minas Gerais.

Para a bacia do São Francisco Sul foram analisadas 14 estações de amostragem, 15 para o São Francisco Norte, 18 para a bacia do rio Doce, 22 para a sub-bacia do rio das Velhas e, por fim, 21 estações de amostragem na bacia do rio Grande, totalizando 90 estações de amostragem no Estado. Os dados são provenientes de coletas desde o início de 2007, ano em que as análises de cianobactérias começaram a ser realizadas pelo IGAM, até março de 2011 totalizando 1555 dados analisados.

A tabela 1 apresenta os parâmetros analisados no estudo:

Tabela 1: Parâmetros de qualidade de água analisados no estudo e métodos de ensaio

Variáveis Bióticas	Referência	Variáveis Abióticas	Referência
Densidade de cianobactérias	Uttermöhl, 1958	Temperatura	APHA 2550B
Clorofila *a*	APHA 10200H	OD	ABNT NBR 10559/1988
		DBO	ABNT NBR 12614/1992
		pH	APHA 5520B
		Cloretos	USGS-I-1187 78
		Cor real	APHA 2120B
		Alcalinidade	APHA 2320B
		Condutividade Elétrica	APHA 2510B
		Nitrato	APHA 4500 NO_3 E
		Nitrogênio Orgânico	APHA 4500 N_{org} B
		Nitrogênio Amoniacal	ABNT NBR 10560/1988
		Nitrito	APHA 4500 NO_2 B
		Fósforo total	APHA 4500-P E
		Turbidez	APHA 2130B
		Sólidos Suspensos Totais	ABNT NBR 10664/1989
		DQO	ABNT NBR 10357/1988

TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Ao inicio das analises estatísticas notou-se a necessidade de definição de uma densidade de cianobactérias que seria considerada como floração durante o tratamento dos dados. Desta forma foi definido que apenas valores de abundância acima de 10000 células/mL seriam tratados como episódios de floração. Este valor se justifica, pois, segundo Molica e Azevedo (2009) não existe em termos de densidade uma definição para floração. Desta forma a escolha deste valor se deu baseado na portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) que estipula esta densidade como o limiar para que a freqüência de monitoramento em um manancial de água aumente de mensal para semanal indicando desta forma esta concentração de células como um primeiro sinal de alerta.

Primeiramente os dados passaram por uma verificação da presença de outliers. Em seguida os dados foram padronizados a partir da formula Log X +1. Posteriormente foi verificação a normalidade das variáveis através de testes de normalidade Kolmogorov-Smirnov, Shapiro Wilk e o teste gráfico "Normal Probability Plot", executados pelo pacote estatístico PAST (HAMMER et al., 2001). Como era esperado, a distribuição de algumas variáveis não seguiu a curva normal, adotando-se então análises não paramétricas na próxima etapa do tratamento estatístico.

A matriz de correlação de Spearman foi calculada e buscou identificar aquelas variáveis que apresentavam comportamentos semelhantes. Quando foi verificada uma alta correlação significativa entre duas variáveis, uma delas era excluída.

Em seguida foi empregada uma análise de componentes principais para verificar os principais padrões de comportamento entre todas as variáveis mensuradas. Por fim gráficos de linha e Box-plot foram elaborados para exploração da relação entre as variáveis bióticas e abióticas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição da densidade de cianobactérias por bacia pode ser observada na figura 1. O maior valor de densidade de cianobactérias, observado em todo o período analisado no Estado de Minas Gerais, foi de 8,5 x 10^4 cel/mL na sub-bacia do rio das Velhas, em Setembro de 2010 e o segundo maior valor encontrado, também foi registrado no mês de setembro na mesma bacia, porém no ano de 2007: 7,7 x 10^4 células/mL. Em ambos os casos a espécie responsável pelo episódio de floração foi *Sphaerocavum brasiliense*.

Dentre as bacias, o maior número de episódios de florações registrado no Estado ocorreu na sub-bacia do rio das Velhas, com 94% dos casos.

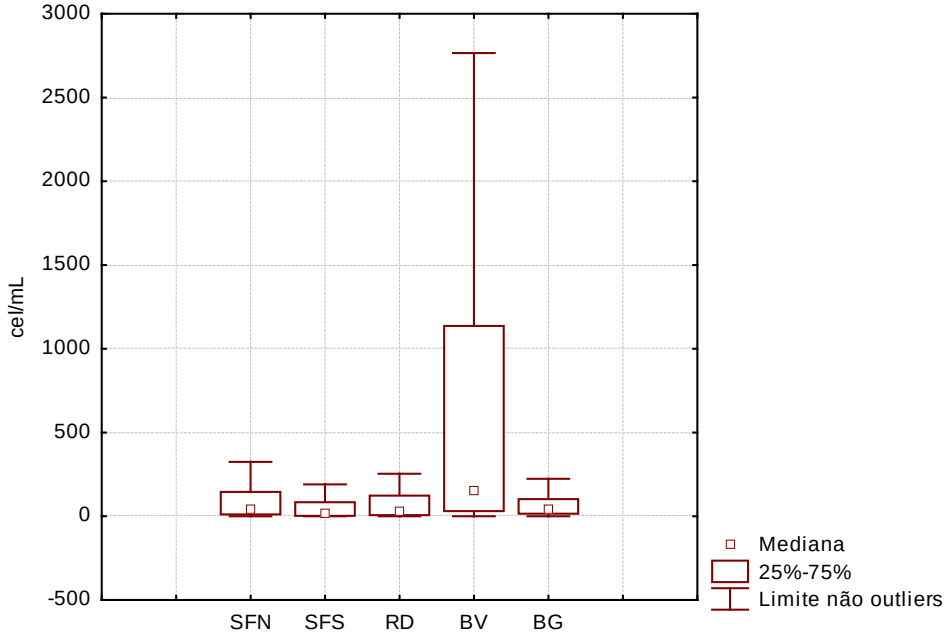

Figura 1: Box plot da densidade de cianobactérias em quatro bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais no período de 2007 a 2011

Neste estudo foram identificados sete organismos responsáveis pelas florações de cianobactéria no Estado de Minas Gerais: *Microcystis* sp., *Sphaerovacum brasiliense*; *Merismopedia* sp.; *Planktothrix* sp., *Aphanocapsa* sp. Nostocaceae N.I. e Pseudoanabaenaceae N.I.. É importante lembrar que esta não é a diversidade total dos rios do Estado, e sim um levantamento daquelas espécies responsáveis pelos eventos de floração.

A espécie, *Sphaerovacum brasiliense* foi a maior responsável pelas altas densidades de cianobactérias registradas no Estado, equivalendo a 30% do total. A espécie *Planktothrix* sp. veio logo em seguida com 11% dos casos, seguida de episódios de florações de duas espécies simultaneamente, combinando *Sphaerovacum brasiliense* e *Planktothrix* sp. com 10%. É interessante ressaltar que a origem desses taxa é a lagoa da Pampulha, que funciona como uma incubadora natural destes taxa para o rio das Velhas.

Os dois gêneros citados acima possuem em comum uma vantagem adaptativa: a capacidade de flutuabilidade devido à presença de aerotopos em suas células. Desta forma é possível inferir que a capacidade de flutuação na coluna d' água foi para essas espécies um fator chave no sucesso em dominar o ambiente. Até o presente momento não foi encontrada nenhuma cepa da espécie *Sphaerovacum brasiliense* produtora de cianotoxinas em cepas mineiras. No entanto as espécies do gênero *Planktothrix* são potenciais produtoras da hepatotoxina microcistina (que pode levar à morte humana por choque hemorrágico) (Sannt Anna *et al.* 2006). Vale destacar no entanto que não existe até o momento registro da produção de Microcistina por *Planktothrix* no estado de Minas Gerais. Ainda assim, as florações causadas por organismos deste gênero devem ganhar destaque devido ao seu risco à população humana.

Quando observada a distribuição sazonal dos eventos de florações no Estado foi possível notar que a maioria dos casos ocorreu em períodos considerados, historicamente, como meses de seca (abril a setembro), ou no mês de outubro, que vem imediatamente após a seca. Outros trabalhos pelo mundo corroboram o fato de que as florações diminuem em períodos de maiores chuvas e conseqüentemente aumento da turbidez (KROGMANN,1986; OLIVER, *et al.*1999; Paidere *et al.* 2007; JARDIM *et al.* 2008)

Costa *et al.* (2007) associaram em seus estudos a estiagem, com a maior concentração dos nutrientes na água devido à evaporação, aos eventos de alta densidade de cianobactérias. Em estudo realizado a respeito de

florações no rio das Velhas, Jardim e colaboradores (208) observaram que a seca foi um fator de grande influência nas florações que ocorreram na bacia.
A maior freqüência dos episódios de floração em períodos de seca ganha ainda mais importância sob a perspectiva das mudanças climáticas. Em um trabalho discutindo os efeitos do aquecimento global sobre as chuvas e as florações de cianobactérias, Reichwaldt & Ghadouani, (2012) apontam para o fato de que as previsões indicam uma maior freqüência e intensidade das chuvas, com maiores períodos de seca no intervalo das mesmas. Segundo esta previsão, as condições climáticas sobre o efeito do aquecimento global serão extremamente favoráveis ao crescimento das cianobactérias.

Os resultados da ACP (figura 2) apontaram a Densidade de Cianobactérias positivamente correlacionada com as variáveis pH, Clorofila *a*, Nitrato e Temperatura, esta última não tão forte quanto as anteriores. Apresentando uma relação inversa com as variáveis do primeiro grupo, estão Cor, Turbidez e Sólidos Suspensos Totais. Devido às características intrínsecas a cada um destes parâmetros já era esperado que eles apresentassem comportamentos semelhantes e contrários ao crescimento das cianobactérias, uma vez que estas dependem diretamente da luz para realização da fotossíntese, sua fonte de energia.

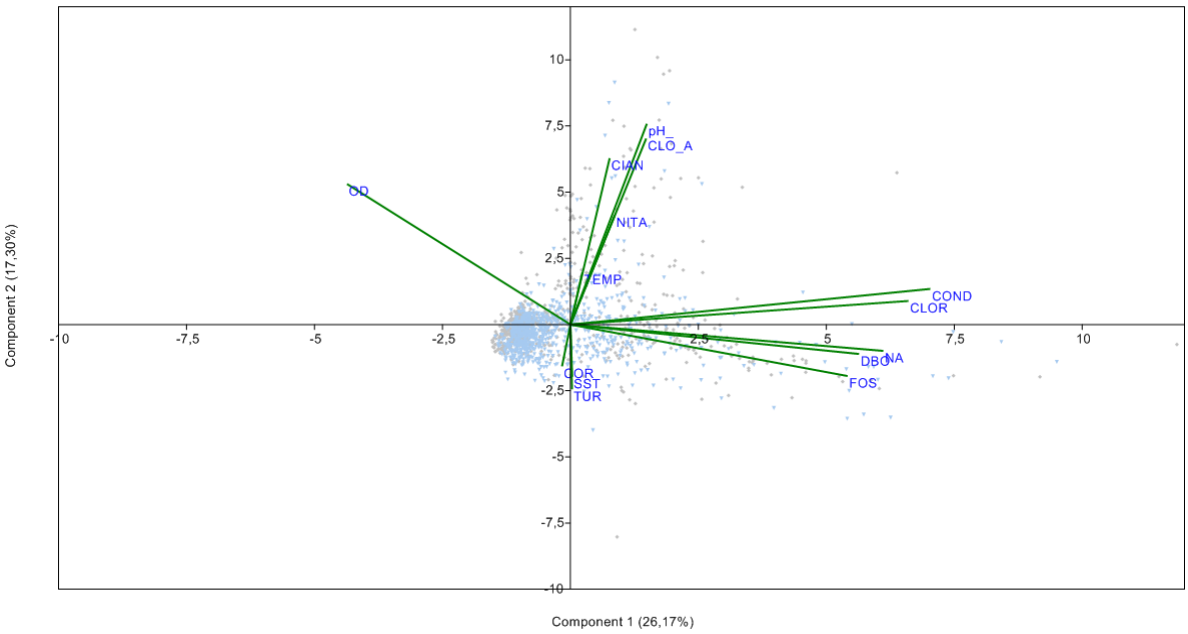

Figura 2: Análise de Componente Principal em quatro bacias do Estado de Minas Gerais no período de 2007 a 2011

Era esperado que tanto o Nitrato como o Fósforo Total se mostrassem positivamente correlacionados com a densidade de cianobactérias. Uma explicação para a não ocorrência desta relação na análise de componente principal seria a hipótese de que, nas bacias do Estado de Minas Gerais, o nitrato funcione como limitante para o crescimento das cianobactérias. O nutriente fósforo total, estando sempre presente, não estaria influenciando o crescimento das cianobactérias, e sim o nitrato que, sendo mais escasso, quando presente, associado à já existente carga de fósforo, aliado ainda a outros fatores ambientais, trabalha contribuindo positivamente para o aumento da densidade das cianobactérias.

Deve ainda ser salientado para fins de comparação para os valores pontuais de fósforo e nitrato registrados no Estado que, de acordo com a resolução CONAMA 357 (2005) que dispõe sobre a classificação dos corpos de água, mesmo para ambientes de classe 3, os limites médios de fósforo encontrados estavam acima do permitido. Já para a variável nitrato, ela se apresentou dentro dos limites aceitáveis para esta classe.

Os resultados obtidos a partir da analise gráfica dos dados permitem concluir que, em situações onde há picos de densidade de cianobactérias, a turbidez apresentava valores mais baixos, indicando uma relação inversa entre essas variáveis. Estes resultados são corroborados por Oliver *et al.* (1999); Mitrovic *et al.* (2011) e Dzialowski

et al. (2011). A mesma tendência obtida para a turbidez foi observada para a concentração de sólidos suspensos totais.

A relação entre clorofila *a* e a densidade de cianobactérias mostrou-se diretamente proporcional, corroborando o trabalho de Jardim (2011).

Em relação a temperatura, foi observada uma correlação entre a mesma e a densidade das cianobactérias. É importante ressaltar que, a faixa ótima de crescimento destes organismos se dá em temperaturas maiores que 25 graus Celsius, temperatura essa mantida nos ambientes estudados em grande parte do tempo.

Muitos autores destacam a influência do aquecimento global no aumento da freqüência dos episódios de florações de cianobactérias. É importante lembrar a respeito desta discussão que, para o Brasil, um pais tropical, a faixa de temperatura em que se encontram os rios na maior parte do ano já é alta quando comparada aos países temperados. Desta forma é de se esperar que seja notado esse aumento de freqüência de florações, principalmente em ambientes temperados.

Em relação ao pH (figura 3), é clara a ocorrência de florações em águas com pH alcalino. Este resultado é corroborado por Dantas *et al.* (2008) e Twist *et al.* (1998).

Para os principais nutrientes relacionados às cianobactérias pode-se notar que valores elevados de nitrato (figura 4) foram acompanhados pelo aumento da densidade das cianobactérias. No entanto, nota-se episódios com altos valores da forma nitrogenada, sem a alta densidade destes organismos deixando claro o fato que o nitrato não é o único responsável pelas florações.

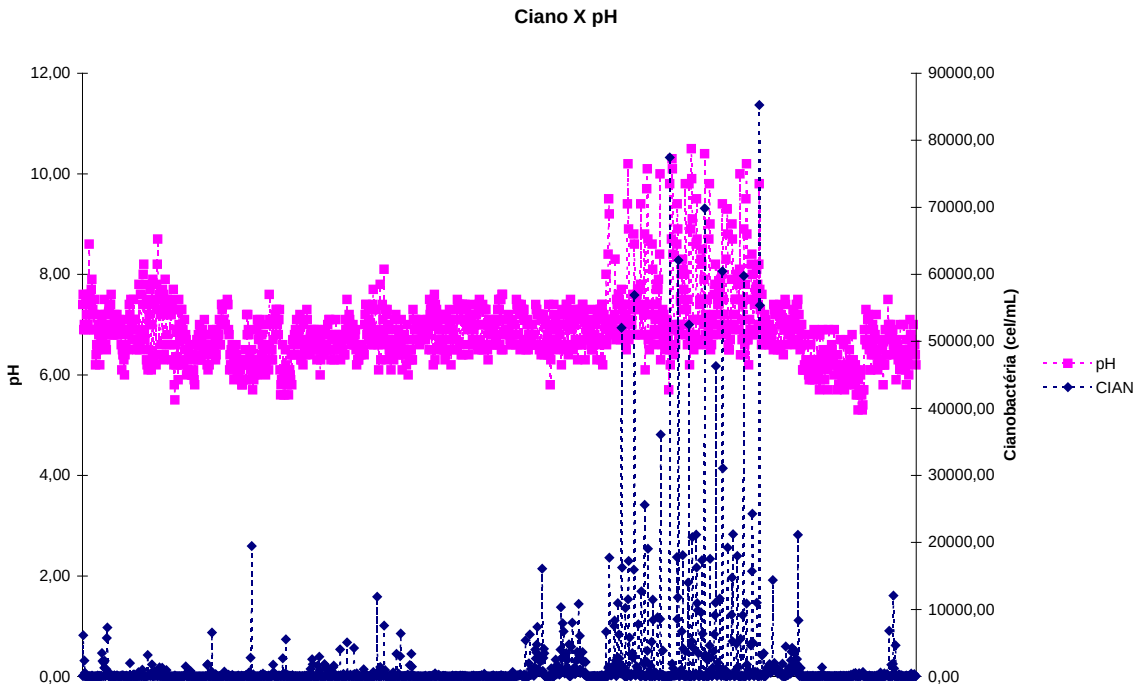

Figura 3: Relação entre a densidade de cianobactérias e o pH no período de 2007 a 2011

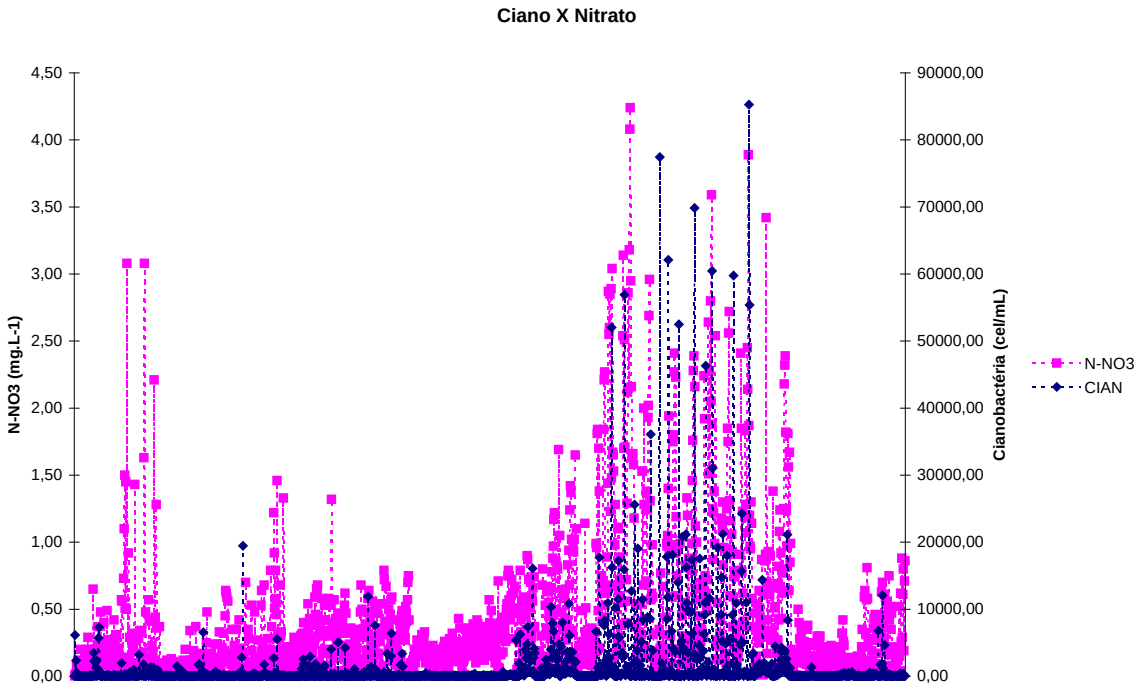

Figura 4: Relação entre a densidade de cianobactérias e nitrato no período de 2007 a 2011

O fósforo apresentou valores elevados durante todo o período estudo e, estando sempre disponível para as cianobactérias, não demonstrou relações diretas ou indiretas com os valores de densidades.

CONCLUSÕES

Segundo a Análise de Componente Principal é possível afirmar que existe uma correlação positiva entre as variáveis Densidade de Cianobactéria, Nitrato, Temperatura da Água, pH e Clorofila *a.*, e uma correlação negativa com as variáveis Cor, Sólidos Suspensos Totais e Turbidez. Esta correlação foi evidenciada pelas analises realizadas a partir dos gráficos de linha e os valores de Spearman, com exceção apenas para a variável cor, que não demonstrou comportamento claro em relação as cianobactérias;

A existência de apenas uma variável favorável às cianobactérias não é o suficiente para causar os episódios de densidade de cianobactérias acima de 10.000 cel/mL. Foi possível concluir ao longo do trabalho que a combinação de elevados valores de nitrato com elevados valores de fósforo total, alta temperatura da água, pH alcalino associados ao período estival foram os responsáveis pelo aumento da densidade das cianobactérias

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, pela disponibilização dos dados sem os quais este trabalho não existiria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO, S.M.F.O., CARMICHAEL, W. W., JOCHIMSEN, E. M., RINEHART, K. L., LAU, S., SHAW, G.R., EAGLESHAM, G. K. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru*/Brazil. *Toxicology*, v.181-182, p.441-446, 2002.
2. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de Março de 2005. *Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.* Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 de março de 2005.

3. BRASIL. Ministério da Saúde. *PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011, a qual dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*. 2011.
4. BURFORD M.A., JOHNSON S.A., COOK A.J., PACKER T.V., TAYLOR B.M., TOWNSLEY E.R. Correlations between watershed and reservoir characteristics, and algal blooms in subtropical reservoirs. *Water Research*, v. 41, n. 18, p.4105-4114, 2007.
5. COSTA, L.S.; BARBOSA, T.R.; CONSOLI, M.A.F. distribuição espacial e temporal de cianobactérias nos afluentes do sistema guandu -CEDAE/RJ. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2007 Caxambu - MG. *Proceedings…* Caxambu: 2007.
6. PAERL, H.W., HUISMAN, J. Blooms like it hot. *Science*, v. 320, p. 57-58, 2008.
7. SPERLING, E. V. e JARDIM, F. A. Influence of climatic conditions on cyanobacteria blooms in a tropical water supply river. In: 34 WEDC CONFERENCE, 2009, ADDIS ABEBA. 34 WEDC CONFERENCE. LOUGHBOROUGH 2009 *Proceedings* Loughborough University, 2009. v. 1. p. 832-836.
8. DANTAS, E. W. Temporal variation of the phytoplankton community at short sampling intervals in the Mundaú reservoir, Northeastern Brazil. *Acta Bot. Bras*., v. 22, n. 4, p. 970-982, 2008.
9. DZIALOWSKI, A.R.; SMITH, V. H.; WANG, S.H.; MARTIN, M. C.; DENOYELLES Jr, F. Effects of non-algal turbidity on cyanobacterial biomass in seven turbid Kansas reservoirs. *Lake and Reservoir Management*, v. 27, n.1, p. 6-14, 2011.
10. Hammer, Ø., Harper, D.A.T., and P. D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* v. 4, n 1: 9pp. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.
11. KROGMANN, D.W.; BUTALLA, R.; SPRINKLR, J. Blooms of Cyanobacteria on the Potomac River. *Plant Physiol* , v.80, p. 667-671, 1986.
12. GEIST, J. Integrative freshwater ecology and biodiversity conservation. *Ecological Indicators*, v. 11, n. 6, p. 1507-1516, 2011.
13. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. Brasil, 2008.
14. JARDIM, F. A.; JARDIM, B. F. M.; RESENDE, R. M. S.; LADEIA, M. M.; CERQUEIRA, D. A.; GIANI, A. Cyanobacteria blooms in waters of river intake areas in Minas Gerais Brazil, during the dry season of 2007 Contingency Plants. In: 9o. SIMPÓSIO ÍTALOBRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Florença, Itália. 2008.
15. JARDIM, Barbara Fernanda de Melo. *Variação dos parâmetros físicos e químicos das águas superficiais da bacia do rio das Velhas-MG e sua associação com as florações de cianobactérias*. 2011. 113 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
16. MITROVIC, S.M.; HARDWICK, L.; DORANI, F. Use of flow management to mitigate cyanobacterial blooms in the Lower Darling River, Australia. *Journal of Plankton Research*, v.33, n.2, p.229-241, 2011.
17. MOLICA, R.J.R., AZEVEDO, S.M.F.O. Ecofisiologia de cianobactérias produtoras de cianotoxinas. *Oecologia Brasiliense*, v.13, n.2, p.229-246, 2009.
18. OLIVER, R.L., HART, B.T., OLLEY, J., GRACE, M., REES, C. & CAITCHEON, G. (1999) *The Darling River: Algal Growth and the Cycling and Sources of Nutrients*. Final report to the Murray-Darling Basin Commission.
19. PAIDERE, J., GRUBERTS, D.; SKUTE, A. Impact of two different flood pulses on planktonic communities of the largest floodplain lakes of the Daugava River (Latvia). *Hydrobiologia*, v. 592, p. 303-314, 2007.
20. REICHWALDT, E.S.; GHADOUANI, A. Effects of rainfall patterns on toxic cyanobacterial blooms in a changing climate: Between simplistic scenarios and complex dynamics. *Water Research*, v.46, p.1372-1393, 2012.
21. SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T. de P.; AGUJARO, L.F.; CARVALHO, M.C.; CARVALHO, L.R.; SOUZA, R.C.R. *Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras.* Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2006. 58 p.
22. TWIST, H.; EDWARDS, A. C.; COD, G. A. Algal Growth responses to waters of Contrasting Tributaries of the River Dee, North-East Scotland. *Water Research*, v. 32, p.2471-2479. 1998.