

Artigo Técnico

Qualidade das águas superficiais do Médio São Francisco após a implantação dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba

Surface water quality of the Middle San Francisco river basin after the implementation of irrigated perimeters of Gorutuba/Lagoa Grande and Jaíba

Sílvia Corrêa Oliveira¹, Rosa Carolina Amaral²,
Katiane Cristina de Brito Almeida³, Carolina Cristiane Pinto⁴

RESUMO

Os perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba localizam-se na porção mineira do Médio São Francisco, totalizando cerca de 31.493 ha. Essa região possui potencial de contaminar os recursos hídricos em decorrência da urbanização, do desmatamento e da utilização de fertilizantes e de agrotóxicos nas atividades agrícolas. O objetivo desta pesquisa foi investigar o impacto da irrigação na qualidade das águas superficiais da região, utilizando fontes de dados secundários de monitoramento. Foram selecionadas nove estações de monitoramento da qualidade da água superficial na região, que representavam diferentes usos e ocupação do solo. A análise de cluster e o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido do teste de comparações múltiplas, foram utilizados para avaliar comparativamente as estações de amostragem, bem como identificar os parâmetros que apresentaram comportamentos diferenciados entre essas estações. Apesar de não ter sido possível observar um padrão de contaminação em função da localização das estações, detectou-se que as estações localizadas ao longo do Rio São Francisco não apresentaram diferenças significativas entre si, ainda que o uso e ocupação do solo fossem diferentes. A tendência temporal dos constituintes foi verificada através da aplicação do teste de hipótese de estacionariedade de Spearman, o qual detectou que a maioria dos dados analisados foram não estacionários, apresentando tendência de elevação ou redução ao longo do período analisado. Após a aplicação desses testes estatísticos, concluiu-se que, de maneira geral, a implantação de perímetros irrigados causou baixo impacto na qualidade das águas na região, no período estudado, considerando os parâmetros analisados neste trabalho.

Palavras-chave: perímetros irrigados; qualidade da água; Bacia do Rio São Francisco.

ABSTRACT

The irrigation perimeters of Jaíba and Gorutuba/Lagoa Grande are located in the Minas Gerais portion of the Middle São Francisco river basin, Brazil, occupying an area of approximately 31,493 ha. This region has the potential to contaminate water resources as a result of urbanization, deforestation and the application of fertilizers and pesticides in agricultural activities. The aim of this research was to investigate the impact of irrigation on surface water quality in the region, using secondary monitoring. Nine monitoring stations were selected in the region, which represent the different uses and occupation of land. The cluster analysis and the nonparametric Kruskal-Wallis test, followed by multiple comparisons, were used to comparatively evaluate the sampling stations and to identify which parameters showed different behavior among these stations. Although it was not possible to observe a pattern of contamination due to the location of the stations, it was found that the stations located along the São Francisco river showed no significant differences, although the use and occupation of land were different. The temporal trend of the constituents was verified by applying the test of the hypothesis of stationarity Spearman, which found that most of the data analyzed were not stationary, with a tendency of increase or decrease over the analysis period. After the application of these statistical tests, it was concluded that, in general, the implementation of irrigated perimeters caused low impact in water quality in the region, in the period studied, considering the parameters analyzed in this study.

Keywords: irrigated perimeters; water quality; São Francisco river basin.

¹Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG - Belo Horizonte (MG), Brasil.

²Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Analista Ambiental na Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) - Belo Horizonte (MG), Brasil.

³Mestre em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG. Gerente de Monitoramento da Qualidade das Águas do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) - Belo Horizonte (MG), Brasil.

⁴Mestre em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG. Analista ambiental do IGAM - Belo Horizonte (MG).

Endereço para correspondência: Sílvia Corrêa Oliveira - Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Pampulha, Avenida Antônio Carlos, 6627, bloco 1, sala 4.525 - 31270-901 - Belo Horizonte (MG), Brasil - E-mail: silvia@desa.ufmg.br

Recebido: 24/06/14 - **Aceito:** 08/08/16 - **Reg. ABES:** 136784

INTRODUÇÃO

A irrigação é uma técnica que consiste na aplicação artificial de água nas culturas, através de métodos que melhor se adaptem ao solo e às plantas, contribuindo para o aumento da produção, juntamente com as demais práticas agrícolas. Apesar dos benefícios evidentes, como aumento da produtividade, melhores condições ao agricultor, possibilidade de cultivo de duas ou mais culturas ao ano, pode ocasionar impactos ao ambiente como comprometimento da qualidade e quantidade de água, salinidade do solo, desmatamento e perda da biodiversidade.

Em regiões com secas periódicas como o Médio e Submédio São Francisco, a agricultura irrigada é essencial para o desenvolvimento econômico, uma vez que garante a safra. A região do Médio São Francisco abrange o norte de Minas Gerais, região inserida no Polígono das Secas, com alta vulnerabilidade para o desenvolvimento social em decorrência da instabilidade climática, dramatizada pelas secas que ocorrem. Assim, com intuito de promover o desenvolvimento da área, a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba (CODEVASF) iniciou a implantação, na década de 1960, de perímetros irrigados como Jaíba, Gorutuba e Lagoa Grande (CODEVASF, 2011).

Esses projetos abrangem uma área de aproximadamente 31.493 ha em operação, sendo a fruticultura, com destaque para a banana, a principal atividade agrícola. As águas utilizadas na irrigação provêm dos rios Gorutuba e São Francisco. Os principais sistemas de irrigação utilizados nesses perímetros são a aspersão convencional, a microaspersão e a irrigação por pivô central (DIJ, 2011).

A expansão da irrigação, nessa região, vem sendo acompanhada de estudos de qualidade da água, sendo essa análise importante em virtude do uso de fertilizantes e agrotóxicos, que podem alterar os processos físicos, químicos e biológicos do ambiente.

Assim, a região do Médio São Francisco é caracterizada por atividades agrícolas com potencial de contaminar os recursos hídricos, pois o excesso de água aplicada em uma área irrigada que não é evapotranspirada pelas culturas retorna aos rios pelo escoamento superficial, arrastando sais solúveis, fertilizantes e elementos tóxicos (SIMÃO *et al.*, 2009).

Deste modo, para que a agricultura irrigada continue seu crescimento de forma sustentável sem comprometer a qualidade e a quantidade de água, é essencial avaliar o impacto dessa atividade nos cursos d'água em relação aos parâmetros físico-químicos, biológicos, agrotóxicos e fertilizantes. Destaca-se que, apesar da avaliação dos agrotóxicos ser fundamental para avaliação do impacto causado pela agricultura, a falta de monitoramento dessas substâncias impossibilita os estudos que as levem em consideração.

Neste contexto, buscando avaliar a qualidade das águas superficiais na região do Médio São Francisco, na região dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba, considerando os parâmetros físico-químicos e biológicos, os objetivos deste trabalho foram

1. avaliar comparativamente as estações de amostragem monitoradas na área de estudo, considerando o uso e ocupação do solo pela agricultura, áreas preservadas e urbanizadas;
2. verificar o cumprimento dos padrões ambientais recomendados pela legislação, considerando os parâmetros físico-químicos e biológicos monitorados;
3. estudar as tendências temporais e espaciais dos parâmetros de qualidade da água nos cursos de água da região.

METODOLOGIA

Área de estudo e dados analisados

A rede de monitoramento de qualidade da água presente na região das sub-bacias dos rios Verde Grande, Riachão, Jequitaiá, Projeto Jaíba e municípios de Verdelândia, Varzelândia e Montes Claros é composta por aproximadamente 70 estações de monitoramento (CODEVASF & IGAM, 2005; IGAM, 2006). Neste estudo, foram selecionadas nove estações de monitoramento localizadas nos perímetros irrigados de interesse e que representavam o uso e ocupação do solo pela agricultura, áreas preservadas e urbanizadas, com o intuito de caracterizar a qualidade da água em virtude do uso e ocupação dessas áreas. Ressalta-se também que não foram considerados os pontos de monitoramento presentes em lagoas e em barramentos, já que o estudo pretende avaliar apenas o impacto em ambientes lóticos. O Quadro 1 apresenta a localização das estações de monitoramento instaladas na área de inserção dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba, dentro da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, considerando ainda a sub-bacia, os cursos d'água, o município e as coordenadas geográficas.

O Quadro 2 apresenta a descrição das estações de monitoramento instaladas na região dos perímetros irrigados, fornecendo informações sobre o tipo de uso e ocupação do solo.

O período de monitoramento, utilizado no presente estudo, foi selecionado em virtude da disponibilidade dos dados, de forma que algumas estações apresentaram períodos distintos de monitoramento. Para as estações SFC110, SFC240, VG007 e VG011 foram obtidos dados de 14 anos (1997 a 2010); para a estação SFC107, de 6 anos (2005 a 2010); e para as estações SFJ12, SFJ13, SFJ14 e SFJ20, de cinco anos (2006 a 2010).

As coletas tiveram uma frequência trimestral, totalizando quatro campanhas anuais. Os 14 parâmetros selecionados para avaliar a qualidade da água da Bacia do Rio São Francisco foram: cálcio total (Ca), cloreto total (Cl), coliformes termotolerantes (Col. Term.), condutividade elétrica (Cond.), demanda química de oxigênio (DQO), alcalinidade total (Alc.), cor verdadeira (Cor), dureza total (Dur. T.), fósforo total (PT), nitrato (NO₃), oxigênio dissolvido (OD), pH, sólidos dissolvidos (SD) e sólidos em suspensão (SS). Como já mencionado,

não foi possível analisar os agrotóxicos devido à falta de monitoramento, o que comprometeu uma análise mais efetiva do impacto dessa atividade nos cursos d'água. Ressalta-se que foram realizadas quatro campanhas de monitoramento de alguns agrotóxicos entre julho de 2006 e abril de 2007, no entanto, devido à falta de sensibilidade analítica de detecção do aparelho, a análise foi suspensa. O limite era igual a $0,1 \mu\text{g.L}^{-1}$, superior aos limites preconizados na Deliberação Normativa Conjunta do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais (CERH) nº 1, de 05 de maio de 2008 (MINAS GERAIS, 2008). A Figura 1 mostra a localização das estações selecionadas na área de abrangência dos perímetros irrigados.

Avaliação comparativa entre as estações de amostragem considerando o uso e ocupação do solo pela agricultura, áreas preservadas e urbanizadas

A avaliação comparativa para identificar diferenças significativas entre os parâmetros físico-químicos e biológicos monitorados nas nove estações de coleta foi efetuada por meio da análise de cluster (AC), também conhecida como análise de agrupamento. Esse teste multivariado foi efetuado após a padronização dos dados, que consiste na conversão de cada variável em escores padrão ou escores Z. Essa conversão ocorre pela subtração da média e divisão pelo desvio padrão para cada variável. O algoritmo aglomerativo utilizado para desenvolver os agrupamentos foi o de ligação completa, baseado na distância máxima entre indivíduos. Para definir os grupos formados na AC, utilizou-se o procedimento descrito por Vicini (2005), que demonstra como traçar uma linha paralelamente ao eixo horizontal do dendograma, denominada “linha Fenon” ou linha de corte. O corte, no gráfico, que determina o número de grupos, pode ser estabelecido em relação às maiores distâncias em que os grupos foram formados. A AC foi empregada, portanto, com intuito de evidenciar os grupos

de pontos de monitoramento similares, considerando as características físico-químicas e biológicas das estações de amostragem, a partir da avaliação dos parâmetros selecionados.

Em outra etapa, após a verificação da assimetria dos dados por meio de testes de normalidade, foram aplicados testes não paramétricos de Kruskal-Wallis ANOVA e o teste de medianas (KRUSKAL & WALLIS,

Quadro 2 - Descrição das estações de monitoramento localizadas na área de inserção dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba.

Ponto	Descrição
SFJ12	Rio São Francisco, a montante da foz do córrego da Serraria. Região do Projeto Jaíba, com áreas de culturas.
SFJ13	Rio São Francisco, na altura do Parque Estadual da Lagoa do Cajueiro. Região do Projeto Jaíba, com áreas mais preservadas devido à proximidade com a unidade de conservação, entretanto apresentam uma proximidade com área de culturas.
SFJ14	Rio São Francisco, nas imediações da tomada d'água para a irrigação. Região do Projeto Jaíba, com áreas de culturas.
SFJ20	Rio Verde Grande a jusante do Rio Quem Quem. A área de abrangência é áreas agrícolas no entorno do Projeto Jaíba.
SFC110	Rio Verde Grande a jusante da cidade de Jaíba. Região do Projeto Jaíba, mas o trecho monitorado está inserido em áreas predominantemente urbanizadas.
SFC240	Rio São Francisco a jusante da cidade de Manga e a montante da foz do Rio Verde Grande. Região do Projeto Jaíba, com áreas de culturas e proximidade com o núcleo urbano.
SFC107	Rio Verde Grande a jusante do Rio Arapoim e a montante da cidade de Verdelândia. A área de abrangência é região agrícola no entorno do Projeto Jaíba.
VG011	Rio Verde Grande a jusante da confluência com o rio Gorutuba. Região do Projeto Jaíba, com área de cultura.
VG007	Rio Gorutuba a jusante da cidade de Janaúba e da barragem da Associação dos Proprietários Irrigantes da Margem Esquerda do Rio Gorutuba. A área de abrangência é o Projeto Gorutuba/Lagoa Grande, com área de cultura e proximidade ao núcleo urbano.

Fonte: adaptado de IGAM (2006).

Quadro 1 - Localização das estações de monitoramento instaladas na área de inserção dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba, Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.

Estação	Sub-bacia	Curso d'água	Município	Coordenadas	
				Latitude	Longitude
SFJ12	Rio São Francisco	Rio São Francisco	Itacarambi/Jaíba	-15°05'39,30"	-44°01'52,50"
SFJ13	Rio São Francisco	Rio São Francisco	Matias Cardoso	-15°03'04,20"	-44°00'30,40"
SFJ14	Rio São Francisco	Rio São Francisco	Jaíba	-15°04'57,20"	-44°01'21,50"
SFJ20	Rio Verde Grande	Rio Verde Grande	Verdelândia	-15°46'49,60"	-43°36'49,30"
SFC110	Rio Verde Grande	Rio Verde Grande	Jaíba	-15°20'55,00"	-43°40'18,00"
SFC240	Rio São Francisco	Rio São Francisco	Manga	-14°43'45,00"	-43°55'15,00"
SFC107	Rio Verde Grande	Rio Verde Grande	Verdelândia	-15°44'13,20"	-43°35'10,30"
VG011	Rio Verde Grande	Rio Verde Grande	Manga	-14°55'35,00"	-43°30'01,00"
VG007	Rio Verde Grande	Rio Gorutuba	Janaúba	-15°44'54,00"	-43°18'25,00"

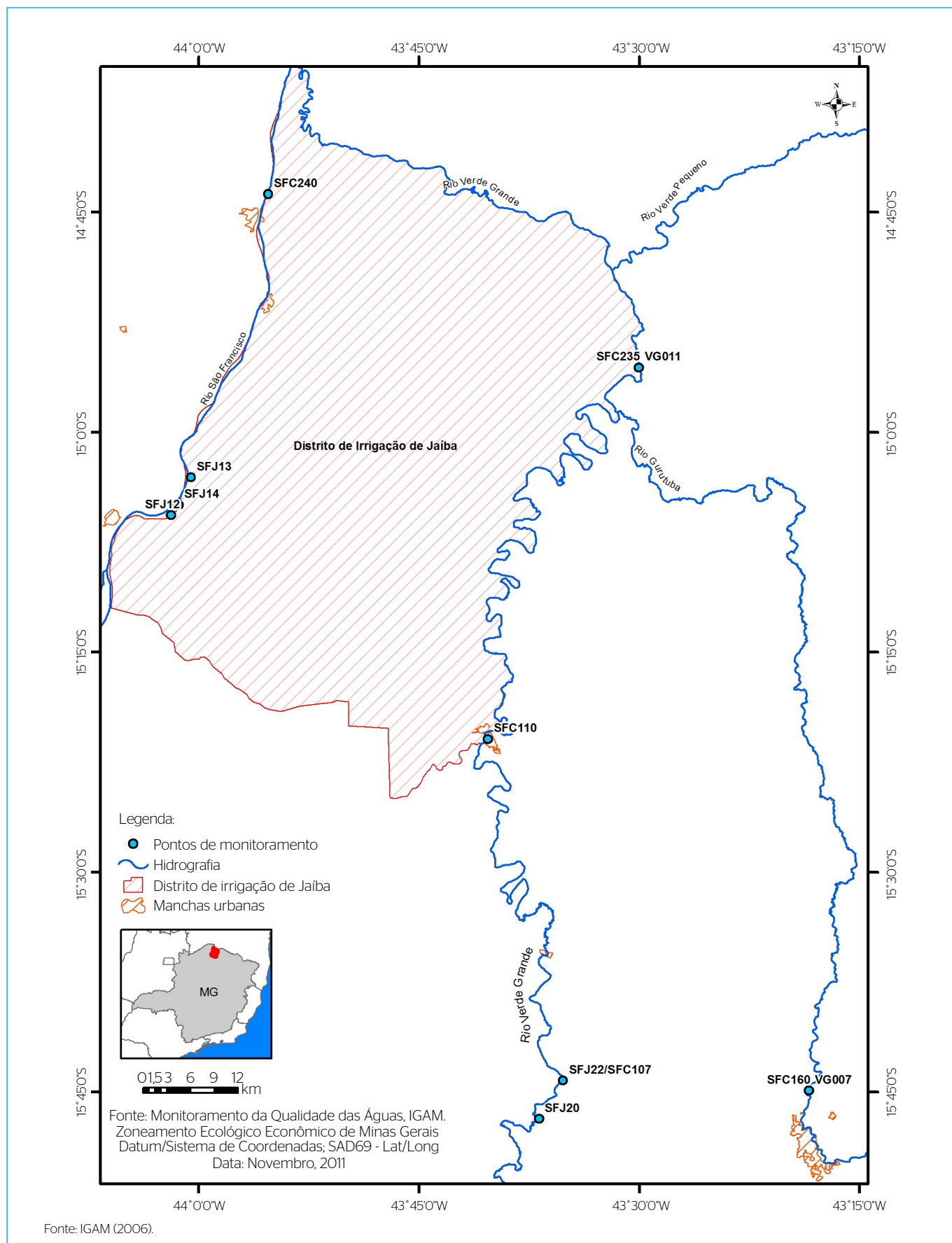


Figura 1 - Localização das estações de monitoramento na área de abrangência dos perímetros irrigados.

1952; SIEGEL & CASTELLAN, 1988), ao nível de significância (α) de 5%. Posteriormente, foram executados testes de comparações múltiplas, que permitiram uma comparação simultânea entre todos os resultados obtidos e a verificação de quais parâmetros apresentaram comportamentos diferenciados entre estações de monitoramento. Para apoiar a interpretação dos resultados obtidos foram confeccionados os gráficos *box-whisker*, para melhor visualização dos comportamentos diferenciados entre as estações de monitoramento. Todos os testes estatísticos foram realizados utilizando o *software* Statística 8.1.

Verificação do cumprimento dos padrões ambientais recomendados pela legislação, considerando os parâmetros físico-químicos e biológicos monitorados

A verificação do cumprimento dos padrões ambientais recomendados pela legislação considerou os 14 parâmetros físico-químicos e biológicos monitorados. Foram considerados os limites recomendados pela Resolução CONAMA nº 357/05 (CONAMA, 2005), Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/08 (MINAS GERAIS, 2008) e Portaria MS 2914/11 (BRASIL, 2011).

Estudo de tendências temporais e espaciais dos parâmetros de qualidade de água da região

Foi efetuada, ainda, a análise de tendências temporais da concentração dos diversos constituintes nos cursos d'água próximos aos perímetros irrigados implantados no norte de Minas Gerais, na porção mineira do Médio São Francisco. A análise de tendência efetuada foi o teste da hipótese de estacionariedade de Spearman, que detecta tendências temporais presentes em uma série de dados, tendo como objetivo avaliar a tendência de elevação dos constituintes ao longo do tempo. O teste de Spearman (ZAR, 1972; NAGHETTINI & PINTO, 2007), que é baseado no coeficiente de correlação entre as ordens de classificação da sequência de variáveis e os índices de tempo, foi desenvolvido em planilhas Excel e utilizado para checar a estacionariedade dos dados. Nos dados classificados como “não estacionários” foi aplicada a função de autocorrelação (FAC) (BERTHOUEX & BROWN, 2002), que mede o grau de correlação de uma variável, em um dado instante, consigo mesma em um instante de tempo posterior.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação comparativa entre as estações de amostragem considerando o uso e ocupação do solo pela agricultura, áreas preservadas e urbanizadas

O dendograma representado na Figura 2 é resultado da AC e mostra o agrupamento das estações de monitoramento, sendo que uma maior similaridade, considerando os 14 parâmetros citados anteriormente,

é verificada entre as estações que apresentam uma menor distância euclidiana (distância da ligação na Figura 3). Na análise em conjunto do gráfico de distâncias (Figura 3) com a Tabela 1, que mostra os valores de ligação entre as variáveis, foi possível observar que o maior salto (2,732) ocorre entre os passos de agrupamento 6 e 7, que correspondem às distâncias de ligação 12,01 e 14,75. A linha Fenon (linha de corte) foi traçada, então, entre essas duas distâncias, no valor médio de 13,4, como apresentado no dendograma da Figura 2.

Considerando a distância euclidiana igual a 13,4, observa-se a formação de dois agrupamentos, um formado pelas estações SFJ20, SFJ13, SFJ107, SFJ14 e SFJ12, que se justifica pelo uso e ocupação do solo, pois todas as estações estão localizadas em áreas agrícolas; outro formado pelas estações SFC240, VG011 e SFC110, cuja ocupação do solo é diferente, sendo que na SFC240 o uso é agrícola/urbano, na VG011 é agrícola e na SFC110 é urbano; e o isolamento da estação

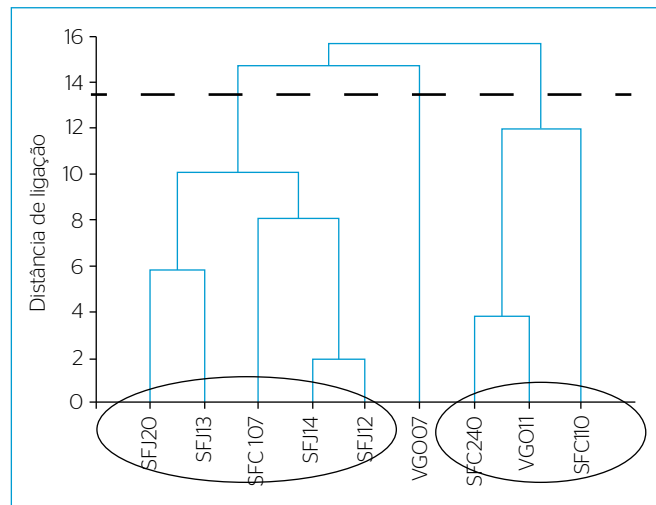


Figura 2 - Dendograma das estações de monitoramento instaladas nos perímetros irrigados localizados na porção mineira do Médio São Francisco.

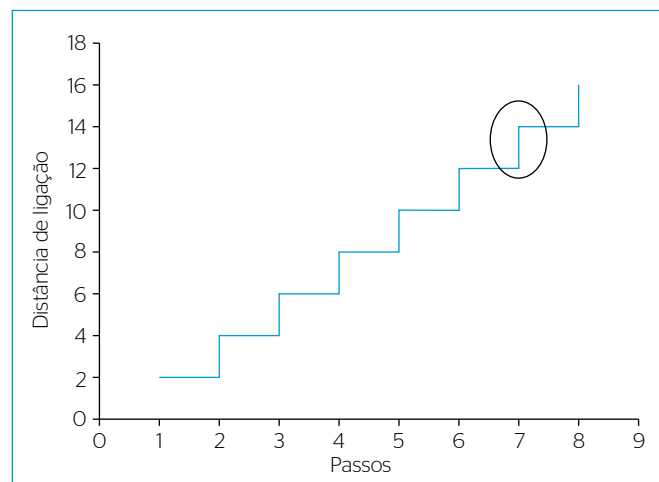


Figura 3 - Gráfico das distâncias de ligação nas quais os grupos foram formados.

VG007, única estação localizada no Rio Gorutuba (a jusante da cidade de Janaúba e da barragem da Associação dos Proprietários Irrigantes da Margem Esquerda do Rio Gorutuba) e que apresenta uma vazão bem menor do que os outros cursos d'água.

Pela análise mais detalhada do dendograma, verifica-se que as estações SFJ12 e SFJ14 apresentaram uma maior similaridade (menor distância de ligação), que é justificada pela proximidade geográfica, já que ambas estão localizadas no Rio São Francisco, e pelo uso e ocupação do solo, pois ambas estão localizadas na região do Projeto Jaíba e em áreas de culturas.

O teste de Kruskal-Wallis, ao nível de significância de 5%, seguido do teste de comparações múltiplas, foi executado com o intuito de identificar quais parâmetros foram responsáveis por diferenciar as estações. Dessa forma, foi possível verificar se águas superficiais de áreas predominantemente agrícolas apresentariam uma qualidade diferenciada de outras localizadas em áreas urbanas ou com outros tipos de uso e ocupação. E, ainda, analisar se os dados de estações de monitoramento localizadas na área de inserção dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande apresentavam comportamento distinto dos observados na região do Projeto Jaíba, considerando os parâmetros individualmente.

A Figura 4 mostra os gráficos box-whisker dos parâmetros Cond., Cl, OD e Col. Term., Alc., Ca, SD e Dur. T., cujos dados apresentaram diferenças significativas.

Pela observação da Figura 4, nota-se que os dados monitorados na estação VG007 apresentam diferenças significativas para os dados de Cond., Cl, OD e SD, quando comparados com os de todas as outras estações. Esses parâmetros, portanto, podem ser responsáveis pelo comportamento diferenciado da VG007 apresentado no dendograma (Figura 2).

Pelos testes estatísticos aplicados, os valores de Alc., Cl, Dur. T., SD, Cond. e Ca não apresentaram diferenças significativas entre os dados monitorados nas estações SFJ12, SFJ13, SFJ14 e SFC240, localizados no Projeto Jaíba ($\alpha=5\%$). No entanto, os valores observados nessas estações foram significativamente menores do que aqueles amostrados nos pontos localizados em outras áreas de culturas (SFC107, SFJ20 e VG011) e na região predominantemente urbanizada (SFC110), o que sugere um menor impacto ou uma característica natural da região.

Ressalta-se que os afluentes do Rio Verde Grande localizam-se, em grande parte de seus trajetos, nos domínios da formação geológica Lagoa do Jacaré, composta por calcários (CaCO_3), e o Rio São Francisco (na área em estudo) encontra-se nos domínios da Formação Sete Lagoas (IGLESIAS & UHLEIN, 2009), composta predominantemente por dolomitos ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Tendo em vista que a dureza de um corpo d'água está associada, principalmente, à quantidade do íon Ca^{2+} dissolvido na água, e que a dissolução dos calcários pelas águas dos rios fornece mais íons Ca^{2+} do que a dissolução dos dolomitos, essa diferença litológica entre os leitos dos rios pode ser a razão pela qual as águas do Rio Verde Grande apresentam uma dureza maior do que a do Rio São Francisco.

Para o parâmetro Col. Term., notou-se que ocorreram diferenças significativas entre os dados das estações SFJ12, SFJ13, SFC240 e VG011 em relação à estação SFC110. Essa estação (SFC110) apresentou as maiores contagens de Col. Term., provavelmente porque está inserida em um núcleo urbano.

Em relação ao OD, ao se analisar as nove estações de monitoramento, verifica-se que apenas os dados de OD da estação VG007, localizada no Rio Gorutuba, apresentam diferenças significativas em relação às demais estações. Ao se analisar a mediana, observa-se que os valores estão próximos a 3 mg.L^{-1} , abaixo do recomendado pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/08 (MINAS GERAIS, 2008) que é de 5 mg.L^{-1} , para rios de classe 2. Nesse caso, fica evidente o impacto dos lançamentos de esgotos sanitários dos municípios de Jaíba e Janaúba, localizados a montante dessas estações. As elevadas concentrações de Col. Term. e baixo teor de OD são indicativas da grave contaminação por esgoto doméstico, que deteriora a qualidade das águas do rio.

Considerando todos os resultados reportados, foi observado que o impacto da ocupação agrícola foi similar ao impacto urbano, quando os pontos de monitoramento estavam localizados no mesmo curso d'água. Deste modo, as estações situadas no Rio São Francisco não apresentaram diferenças significativas na maioria dos parâmetros, bem como as localizadas no Rio Verde Grande, mesmo quando a ocupação do solo foi diferente.

Tabela 1 - Valores das distâncias de ligação nas quais os agrupamentos foram formados ao longo dos passos de agrupamento.

Distância de ligação	Agrupamentos									Valores dos saltos
1,92	SFJ12	SFJ14								
3,78	VGO11	SFC240								1,859
5,82	SFJ13	SFJ20								2,039
8,07	SFJ12	SFJ14	SFC107							2,252
10,06	SFJ12	SFJ14	SFC107	SFJ13	SFJ20					1,989
12,01	SFC110	VGO11	SFC240							1,958
14,75	VGO07	SFJ12	SFJ14	SFC107	SFJ13	SFJ20				2,732
15,69	SFC110	VGO11	SFC240	VGO07	SFJ12	SFJ14	SFC107	SFJ13	SFJ20	0,947

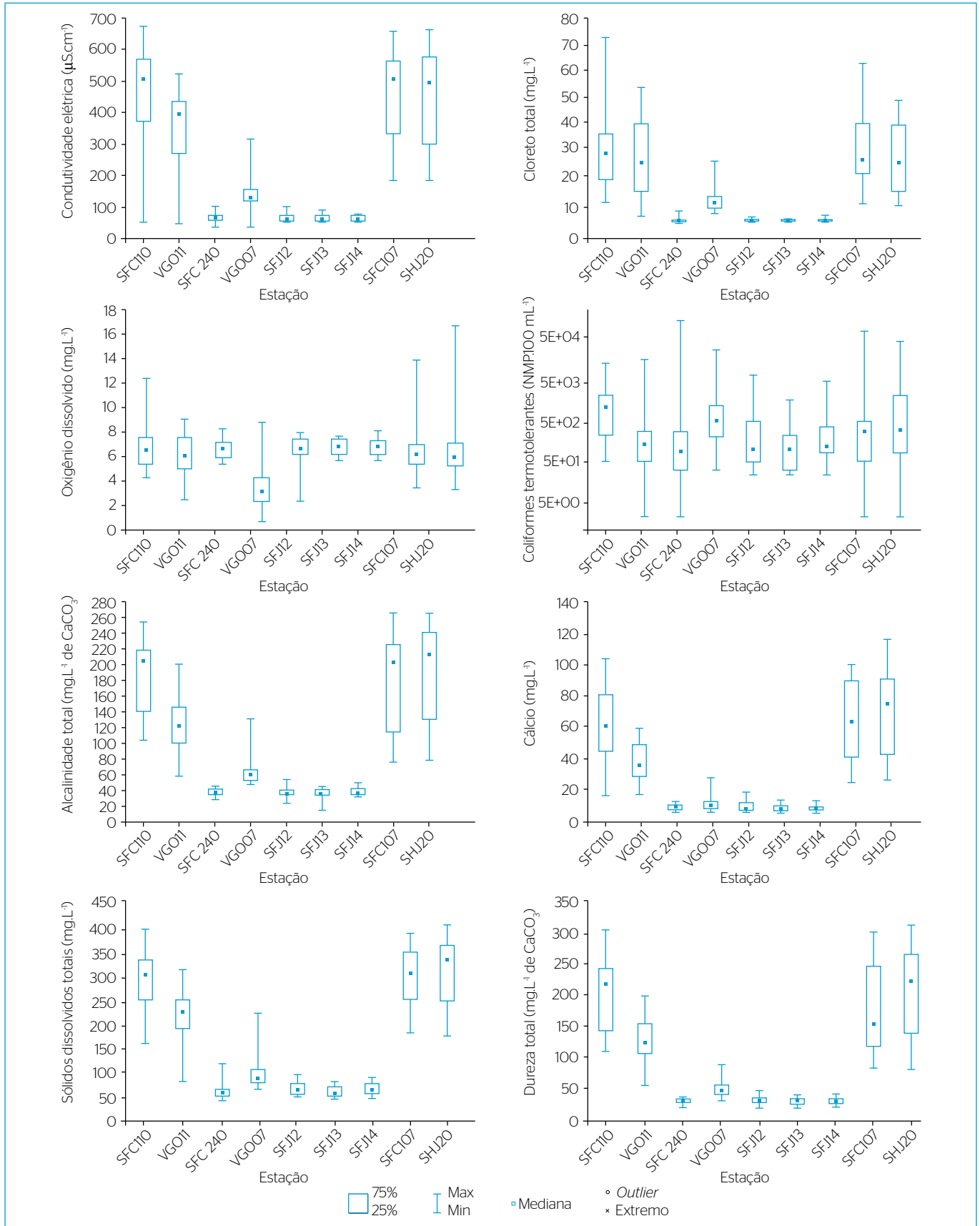


Figura 4 - Gráficos box-whisker dos parâmetros condutividade elétrica, cloreto total, oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, alcalinidade total, cálcio, sólidos dissolvidos totais e dureza total, nas nove estações de monitoramento.

Em relação às áreas agrícolas, observa-se uma melhor qualidade da água na região do Jaíba (SFJ12, SFJ13, SFJ14) em comparação com a área do entorno do Jaíba (SFC107 e SFJ20), ainda que essas áreas agrícolas estejam sujeitas ao mesmo tipo de uso em virtude da fruticultura. Foi observado que as estações localizadas no Rio São Francisco não foram estatisticamente diferentes, apesar da estação SFC240 sofrer influência não apenas da agricultura, mas também do núcleo urbano.

Considerando o impacto urbano/agrícola, observa-se que a qualidade da água foi pior no Rio Verde Grande, próximo à cidade de Jaíba. O Rio Gorutuba, apesar de receber uma carga maior de esgotos proveniente da cidade de Janáuba e haver a contribuição da poluição difusa da agricultura para o curso d'água, teve a qualidade da água superior à da região próxima ao município de Jaíba. Portanto, isso sugere que o perímetro de irrigação Gorutuba/Lagoa Grande apresenta melhores técnicas de manejo de solo, sendo favorecido também pela presença da estação de tratamento de esgoto localizada em Janáuba, que apresenta boas condições de operação (FIP, 2010).

Verificação do cumprimento dos padrões ambientais recomendados pela legislação, considerando os parâmetros físico-químicos e biológicos monitorados

Foi efetuada a verificação do cumprimento dos padrões ambientais preconizados pela Resolução CONAMA nº 375/05 (CONAMA, 2005), Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/08 (MINAS GERAIS, 2008) e Portaria MS 2914/11 (BRASIL, 2011); e a Tabela 2 apresenta um resumo da situação observada nas estações de monitoramento. Nessa é apresentada a porcentagem dos dados que violaram os limites recomendados por essas legislações para os parâmetros avaliados em todas as estações de monitoramento.

Ao se avaliar a Tabela 2, observa-se que os parâmetros SS, Col. Term., Cor e PT apresentaram alguns valores fora dos limites recomendados

pelas legislações, no entanto, esses valores foram encontrados apenas em alguns períodos da série histórica. As áreas agrícolas SFJ12 e SFJ14 apresentaram uma porcentagem maior de violação em relação às demais áreas, considerando o parâmetro SS. Em relação à cor, verifica-se que as áreas agrícolas SFJ12 e SFJ14, SFJ20 e SFC107 apresentaram períodos maiores de violação em comparação com o restante das estações. Isso ocorreu provavelmente em decorrência da decomposição da matéria orgânica proveniente das culturas de banana. A decomposição produz ácidos húmicos e fúlvicos que, lixiviados para os cursos d'água, podem alterar a cor. As maiores porcentagens de violação para o parâmetro Col. Term. ocorreram na área urbanizada representada pela estação SFC110, enquanto para o parâmetro PT foram nas áreas agrícolas SFC107 e SFJ20.

Observa-se que as porcentagens de dados em desacordo com os limites recomendados pelas legislações são bastante parecidas com as encontradas em outros estudos, considerando outras bacias hidrográficas de Minas Gerais com uso e ocupação do solo diferenciados (GONÇALVES; PINTO; OLIVEIRA, 2015; LIMA *et al.* 2015; CALAZANS *et al.*, 2015; COSTA *et al.*, 2015; BARBOSA *et al.*, 2015; CALAZANS *et al.*, 2014; TRINDADE *et al.*, 2013; ALKIMIM & OLIVEIRA, 2013).

Estudo das tendências temporais e espaciais dos parâmetros de qualidade de água da região

Para a análise das tendências temporais da concentração dos diversos constituintes nos cursos d'água próximos aos perímetros irrigados implantados na região, foi utilizado o teste de Spearman. Os resultados do teste mostraram que a maioria dos dados analisados nas nove estações foram não estacionários, ou seja, apresentaram tendência de elevação ou redução ao longo do período monitorado. Os dados que foram considerados estacionários são relativos aos parâmetros: condutividade elétrica nas estações SFC110, VG011 e SFC240; Cl em todas as

Tabela 2 - Porcentagem de dados em desacordo com os limites recomendados pela Resolução CONAMA nº 375/05, Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/08 e Portaria MS 2914/11.

Parâmetro	Limites legislação	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC110	SFC240	VG011	VG007	SFJ20	SFC107
Sólidos dissolvidos	500 mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos suspensos	100 mg.L ⁻¹	36%	40%	47%	6%	35%	-	4%	21%	14%
Cloreto total	250 mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL ⁻¹	11%	20%	11%	50%	6%	3%	28%	33%	10%
Cor	75 mg Pt.L ⁻¹	42%	33%	47%	14%	37%	5%	4%	33%	35%
Dureza total	500 mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oxigênio dissolvido	5 mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo total	0,1 mg.L ⁻¹	13%	13%	21%	13%	29%	8%	7%	63%	57%
Nitrato	10 mg.L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	6 a 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: CONAMA (2005), Minas Gerais (2008), Brasil (2011).
NMP: número mais provável; Pt: platina cobalto.

estações; DQO na estação SFC110; OD nas estações SFC110, VG011 e SFC240; PT na estação SFC110; NO₃ nas estações VG011, VG007 e SFC240; pH nas estações VG011, SFC240 e SFC110; Col. Term. nas estações SFC110, VG011, SFC240 e VG007; e SS nas estações VG011, SFC240 e VG007. O Quadro 3 apresenta um resumo dos resultados do teste de Spearman, mostrando em quais estações de monitoramento os dados analisados foram estacionários (representada pelo símbolo E), e em quais foram não estacionários. Os resultados da função de autocorrelação mostram as estações de monitoramento cujos dados apresentaram tendência de elevação ou redução, representados pelas setas ↑ e ↓, respectivamente.

As áreas agrícolas do Projeto Jaíba representadas pelas estações SFJ12, SFJ13 e SFJ14 apresentaram uma tendência de redução das concentrações dos parâmetros Col. Term., Alc., Cor, Dur. T., PT, SD e SS, sugerindo uma melhora na qualidade da água nessa região, em relação a esses constituintes. Em relação ao pH e ao NO₃, verifica-se uma tendência de elevação, exceto na estação SFJ14 para o parâmetro NO₃. No entanto, os constituintes SD, Cl, NO₃ e pH, em todas as estações de monitoramento, apresentaram valores abaixo do requerido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/08 08 (MINAS GERAIS, 2008). Apesar da estação VG011 estar localizada na área agrícola do Jaíba, como as estações SFJ12, SFJ13 e SFJ14, os dados dessa área apresentaram uma tendência de elevação para os parâmetros Cor, Dur. T. e Alc., o que não foi verificado nas demais estações localizadas no Projeto Jaíba.

A área urbanizada (SFC110) apresenta uma tendência de elevação para os parâmetros Ca, Alc., Cor, Dur. T., NO₃ e SD, sendo que os

maiores valores de SD foram evidenciados nessa área, apesar de apresentar valores abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 375/05 (CONAMA, 2005), ou seja, de 500 mg.L⁻¹. O aumento da concentração de NO₃ e SD pode estar relacionada ao aporte de matéria orgânica para o ambiente aquático, possivelmente originada dos efluentes domésticos e cargas difusas da região (IGAM, 2010).

Valores elevados de alcalinidade ocorreram na faixa de 300 mg.L⁻¹ e foram verificados nas estações SFC110, VG011 (Projeto Jaíba); e SFC107 e SFJ20 (na área do entorno do Projeto Jaíba). É importante ressaltar que a região do Vale do São Francisco, no norte de Minas, apresenta formações geológicas constituídas de calcário e dolomitos, o que poderia justificar a alcalinidade presente nos cursos d'água, fato já relatado por Iglesias e Uhlein (2009).

As áreas agrícolas do entorno do Projeto Jaíba (SFC107 e SFJ20) apresentam tendência de elevação para os parâmetros PT e NO₃. Destaca-se, no entanto, que as concentrações de NO₃ em todas as estações estão abaixo do preconizado pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/08 (MINAS GERAIS, 2008), que é 10 mg.L⁻¹. Em relação aos parâmetros Cor, OD e SS, observa-se uma tendência de redução.

A região do Perímetro de Irrigação Gortuba/Lagoa Grande (VG007) apresenta tendência de elevação quanto aos parâmetros Ca, Cor, OD e DQO; e uma tendência de redução para Alc., Dur. T., Cond., PT, pH e SD.

A água na região de inserção das estações SFJ20, SFC107 e VG011, cuja ocupação do solo é basicamente agrícola, apresentou pior qualidade

Quadro 3 – Resumo dos resultados dos testes de Spearman, considerando os dados dos parâmetros que foram considerados estacionários em todas as estações de monitoramento.

Parâmetros	PJ	PJ	PJ	EPJ	PJ	PJ	EPJ	PJ	G/LG
	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFJ20	SFC110	SFC240	SFC107	VG011	VG007
Cálcio total	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑
Cloreto total	E	E	E	E	E	E	E	E	E
Coliformes termotolerantes	↓	↓	↓	↓	E	E	↑	E	E
Condutividade elétrica	↑	↓	↓	↓	E	E	↑	E	↓
Demanda química de oxigênio	↑	↓	↓	↓	E	↓	↑	↓	↑
Alcalinidade total	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↓
Cor verdadeira	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↑	↑
Dureza total	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓
Fósforo total	↓	↓	↓	↑	E	↑	↑	↓	↓
Nitrato	↑	↑	↓	↑	↑	E	↑	E	E
Oxigênio dissolvido	↓	↓	↓	↓	E	E	↓	E	↑
pH	↑	↑	↑	↑	E	E	↓	E	↓
Sólidos dissolvidos	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓
Sólidos suspensos	↓	↓	↓	↓	↑	E	↓	E	E

E: estações de monitoramento cujos dados foram considerados estacionários; PJ: Projeto Jaíba; EPJ: Entorno do Projeto Jaíba; G/LG: Projeto Gortuba/Lagoa Grande; ↑: estações de monitoramento cujos dados apresentaram tendência de elevação; ↓: estações de monitoramento cujos dados apresentaram tendência de redução.

em comparação com as áreas agrícolas na região do Jaíba (SFJ12, SFJ13 e SFJ14). Como nessas áreas é cultivada predominantemente banana, utilizando basicamente os mesmos sistemas de irrigação e fertilizantes, essa diferença pode ser atribuída às vazões dos cursos d'água. As estações SFJ20, SFC107 e VG011 estão localizadas no Rio Verde Grande, enquanto os pontos SFJ12, SFJ13 e SFJ14 estão no Rio São Francisco. Assim, a capacidade de diluição dos constituintes do Rio Verde Grande é menor, acarretando um maior impacto.

A região de inserção da estação VG011 apresentou uma pior qualidade em comparação com as estações SFJ12, SFJ13 e SFJ14, apesar dessas estações estarem localizadas no Projeto Jaíba. Isso ocorre provavelmente em virtude da vazão dos cursos d'água, pois a estação VG011 é a única que está localizada no Rio Verde Grande.

CONCLUSÕES

Pelos resultados deste estudo não foi possível perceber um padrão de contaminação em função da localização das estações. No entanto, foi possível detectar que as estações localizadas ao longo do Rio São Francisco não apresentaram diferenças significativas entre si, ainda que

o uso e ocupação do solo fossem diferentes, provavelmente pela maior capacidade de autodepuração do Rio São Francisco, em relação aos demais cursos d'água. Concluiu-se, portanto, que apesar do perímetro de irrigação do Jaíba ser um dos maiores da América Latina, a qualidade da água na área de inserção de algumas estações apresentou melhor qualidade quando comparada com as demais áreas. Na maioria das estações localizadas no projeto Jaíba não houve uma tendência de elevação dos parâmetros ao longo do tempo, principalmente o PT, variável relacionada ao uso de fertilizantes. De uma maneira geral, verificou-se baixo impacto da irrigação na qualidade das águas no período estudado, na área de implantação dos perímetros irrigados, em relação aos parâmetros analisados neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e, principalmente, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio permanente.

REFERÊNCIAS

- ALKMIM, A.R. & OLIVEIRA, S.C. (2013) Investigação dos principais parâmetros responsáveis pela degradação das águas superficiais da lagoa da Pampulha, em Belo Horizonte/MG. In: *XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27 Anais...* Goiânia: ABES.
- BARBOSA, T.B.C.; GERALDO, M.L.A.; CALAZANS, G.M.; OLIVEIRA, S.C. (2015) Avaliação da qualidade das águas superficiais da bacia do rio paracatu por meio de técnicas multivariadas. In: *XXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 28 Anais ...* Rio de Janeiro: ABES.
- BERTHOUEX, P.M. & BROWN, L.C. (2002) *Statistics for Environmental Engineers*. New York: Lewis Publishers. 512 p.
- BRASIL. (2011) Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Diário Oficial da União.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA (2005). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União.
- CALAZANS, G.M.; ARAUJO, E.N.; NUNES, J.C.S.; BARBOSA, T.B.C.; OLIVEIRA, S.C. (2014) Avaliação da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Paraopeba utilizando métodos estatísticos multivariados. In: *XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 12 Anais...* Natal: ABRH.
- CALAZANS, G.M.; PERINI, A.F.A.; COSTA, E.P.C.; OLIVEIRA, S.C. (2015) Identificação de parâmetros críticos de poluição nas regiões do Alto, Médio e Baixo curso do rio das Velhas. In: *XXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 28 Anais...* Rio de Janeiro: ABES.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA - CODEVASF. (2011) *Apresenta produtos e serviços referentes ao Vale do São Francisco e Parnaíba*. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br/osvales>>. Acesso em: 06 maio 2011.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA & INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - CODEVASF & IGAM. (2005) *Programa de monitoramento das águas superficiais*. Projeto: Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas das sub-bacias do rio Verde-Grande, Riachão e Jequitai na Bacia do Rio São Francisco em Minas Gerais. Belo Horizonte: CODEVASF & IGAM. 109 p.
- COSTA, E.P.C.; CALAZANS, G.M.; ALMEIDA, K.C.B.; OLIVEIRA, S.C. (2015) Avaliação do percentual de violação dos parâmetros de qualidade de água em 14 anos de monitoramento da porção mineira da bacia do rio São Francisco. In: *XXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 28 Anais...* Rio de Janeiro: ABES.

- DISTRITO DE IRRIGAÇÃO DO JAÍBA - DIJ. (2011) *Apresenta produtos e serviços referentes à irrigação do Projeto Jaíba*. Disponível em: <<http://www.projetojaiba.com.br/index.php/>>. Acesso em: 03 mar. 2011.
- FUNDAÇÃO ISRAEL PINHEIRO - FIP. (2010) *Relatório de vistoria número 12200/2010*. Belo Horizonte: FIP.
- GONÇALVES, F.M.; PINTO, C.C.; OLIVEIRA, S.C. (2015) Análise espacial da qualidade das águas da Bacia do rio Paraíba do Sul. *In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Anais...* Brasília: ABRH.
- IGLESIAS, M. & UHLEIN, A. (2009) Estratifragia do grupo Bambuí e coberturas fanerozoicas no Vale do São Francisco, Norte de Minas. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 39, n. 2, p. 256-266.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. (2006) *Relatório de implantação da rede dirigida de monitoramento das águas superficiais na região do Projeto Jaíba e municípios de Verdelândia, Varzelândia e Montes Claros*. Belo Horizonte: IGAM. 59 p.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. (2010) *Relatório 1º Trimestre de 2010: monitoramento da qualidade das águas superficiais no estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: IGAM. 85 p.
- KRUSKAL, W.H. & WALLIS, W.A. (1952) Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, v. 47, n. 260, p. 583-621.
- LIMA, H.S.; PERINI, A.F.A.; PINTO, C.C.; OLIVEIRA, S.C. (2015) Qualidade da água da porção mineira da Bacia do rio Doce e sua conformidade junto à Deliberação Normativa COPAM/CERH Nº01/08. *In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, 13 Anais... Brasília: ABRH.
- MINAS GERAIS. (2008) Conselho Estadual de Política Ambiental & Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Belo Horizonte: COPAM. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 25 jan. 2011.
- NAGHETTINI, M. & PINTO, E.J.A. (2007) *Hidrologia estatística*. Belo Horizonte: CPRM. 552 p.
- SIEGEL, S. & CASTELLAN, N.J. (1988) *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. New York: McGraw-Hill. 399 p.
- SIMÃO, F.R.; FARIA, M.A.; COSTA, E.L.; OLIVEIRA, P.M. (2009) *Coletânea e análise de impactos ambientais gerados pelo Perímetro Irrigado de Jaíba*. Belo Horizonte: EPAMIG. 68 p.
- TRINDADE, A.L.C.; ALMEIDA, K.C.B.; BARBOSA, P.E.; BARBOSA, M.F.P.; OLIVEIRA, S.C. (2013) Caracterização e comparação da qualidade das águas das sub-bacias do rio São Francisco, no estado de Minas Gerais: identificação da sub-bacia mais impactada. *In: XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 27, Anais... Goiânia: ABES.
- VICINI, L. (2005) *Análise multivariada da teoria à prática*. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- ZAR, J.H. (1972) Significance testing of the Spearman rank correlation coefficient. *Journal of the American Statistical Association*, v. 67, n. 339, p. 578-580.