

## IV-178 - 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

**Elizângela Pinheiro da Costa** <sup>(1)</sup>

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestranda em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais DESA – UFMG.

**Giovanna Moura Calazans**

Engenheira Ambiental pelo Centro Universitário de Sete Lagoas. Mestre em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais DESA – UFMG.

**Katiane Cristina de Brito Almeida**

Bióloga pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Especialista em Meio Ambiente e Gestão de Recursos Hídricos pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Mestre em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais DESA – UFMG. Analista ambiental do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM- MG) e coordenadora do Programa Águas de Minas.

**Sílvia Maria Alves Correia Oliveira**

Engenheira Eletricista pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutora em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais DESA – UFMG. Professora adjunta do DESA – UFMG.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Rua Lúcio Flávio dos Santos, 71 – Minas Caixa - Belo Horizonte - MG - CEP: 31615-330 - Brasil - Tel: (31) 3455-5622 - e-mail: elizangelapc@gmail.com

### RESUMO

A avaliação de dados históricos obtidos através do monitoramento de qualidade de águas superficiais é essencial para obter informações necessárias ao conhecimento da situação real dos recursos hídricos e dar suporte à gestão das bacias hidrográficas. Nesse contexto, buscou-se avaliar dados de 14 anos da rede de monitoramento de qualidade das águas superficiais na porção mineira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, mantidas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), investigando as violações de vinte e seis parâmetros de qualidade em relação aos limites preconizados pela DN COPAM/ CERH nº 01 de 05 de maio de 2008 em cada estação de monitoramento das dez Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs) da bacia. Foram constatados os maiores percentuais de violação para os parâmetros Coliformes Termotolerantes, Manganês Total, Fósforo Total, Turbidez e Cor Verdadeira. O parâmetro Coliformes Termotolerantes foi o mais violado de maneira geral na bacia do rio São Francisco e para a maioria das UPGRHs, destacando o grau de poluição que o lançamento de esgotos domésticos brutos ou com tratamento com eficiência insuficiente de remoção de poluentes acarretam nos corpos hídricos da bacia. As UPGRHs localizadas na região do Alto São Francisco foram identificadas como as mais impactadas com relação ao esgoto doméstico em relação às demais, ressaltando o impacto que as áreas mais urbanizadas e industrializadas geram nos recursos hídricos locais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade de águas superficiais, monitoramento, violações aos limites legais, rio São Francisco, IGAM, Projeto Águas de Minas.

### INTRODUÇÃO

A avaliação dos dados de monitoramento da qualidade das águas, superficiais e subterrâneas, é essencial à etapa de planejamento da gestão dos recursos hídricos. As informações de qualidade das águas permitem conhecer a situação dos corpos hídricos, bem como as alterações resultantes das pressões antrópicas (BRAGA *et.al.*, 2006). Considerando a complexidade dos sistemas hídricos superficiais devido à variabilidade espacial e temporal desses, o monitoramento deve ser estruturado com base em objetivos previamente definidos e deve

possuir configurações que visem atender a esses objetivos, com pontos de amostragem, frequência de coleta e parâmetros monitorados consistentes com os objetivos propostos (ANA, 2014). Através da avaliação dos dados de séries históricas de redes de monitoramento podem-se extrair informações que refletem melhor o caráter variável da qualidade dos recursos hídricos, de forma a subsidiar adequadamente a gestão das águas na bacia.

No estado de Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) é o órgão responsável pelo monitoramento das águas superficiais e subterrâneas, através da coordenação do Projeto Águas de Minas, que disponibiliza uma ampla série histórica de monitoramento superficial, que é realizada desde 1997 (IGAM, 2014). Trindade (2013) avaliou, por meio de técnicas estatísticas, os dados de monitoramento das dez Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRHs) que estão inseridas na porção mineira da bacia do rio São Francisco, realizando uma comparação das unidades em termos de qualidade de água, identificando os principais fatores de poluição em cada sub-bacia, bem como a sub-bacia mais impactada, para o período de 2008 a 2011. A sub-bacia do rio das Velhas (SF5) foi identificada como a sub-bacia mais impactada, confirmando por meio dos resultados de diferentes técnicas estatísticas uma situação de degradação já alardeada por pesquisadores da área (TRINDADE, 2013). Dentre os resultados, destaca-se que na Análise de Cluster de percentuais de frequência de violação a UPGRH SF5 foi a mais isolada dentre as dez avaliadas e ela foi agrupada ao grupo mais susceptível às atividades minerárias e industriais, ressaltando o impacto que as atividades econômicas concentradas na região metropolitana de Belo Horizonte ocasionam nos recursos hídricos locais.

Esta pesquisa em questão visou avaliar o percentual de frequência de violação dos parâmetros de qualidade de água das estações de monitoramento das dez UPGRHs que compõem a porção mineira da bacia hidrográfica do rio São Francisco, em comparação com os preconizados pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01 de 05 de maio de 2008. Buscou-se indicar a frequência histórica de violação em um período mais longo do que o investigado por Trindade (2013), além de identificar os parâmetros mais violados por unidade de planejamento e as estações de monitoramento nas quais ocorreram essas violações, sempre relacionando os resultados obtidos ao uso e ocupação do solo da bacia.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse trabalho foram analisados os dados de monitoramento do Projeto Águas de Minas, disponibilizados pelo IGAM. Foi utilizado um conjunto de dados composto por 302 estações de monitoramento de qualidade das águas superficiais das dez UPGRHs (Quadro 1) da bacia do rio São Francisco, abrangendo coletas de 2000 a 2013, totalizando um período de 14 anos. As estações avaliadas estão localizadas em cursos d'água de enquadramento Classe Especial, Classe 1, Classe 2 ou Classe 3.

Foram analisados os 26 parâmetros físico-químicos e biológicos de qualidade da água apresentados no Quadro 2, selecionados dentre os parâmetros avaliados por Trindade (2013) que possuem limite preconizado na DN COPAM/ CERH nº 01 de 05 de maio de 2008.

**Quadro 1: Estações de monitoramento de cada UPGRH da bacia do rio São Francisco avaliadas no estudo**

UPGRH	ESTAÇÕES UTILIZADAS
SF1 – Afluentes do Alto São Francisco	SF001, SF002, SF003, SF004, SF005, SF008, SF010
SF2 – Rio Pará	PA001, PA002, PA003, PA004, PA005, PA007, PA009, PA010, PA011, PA013, PA015, PA017, PA019, PA020, PA021, PA022, PA023, PA024, PA025, PA026, PA028, PA029, PA031, PA032, PA034, PA036, PA040, PA042, PA044
SF3 – Rio Paraopeba	BP022, BP024, BP026, BP027, BP029, BP032, BP036, BP066, BP068, BP069, BP070, BP071, BP072, BP073, BP074, BP075, BP076, BP078, BP079, BP080, BP081, BP082, BP083, BP084, BP085, BP086, BP088, BP090, BP092, BP094, BP096, BP098, BP099

**Quadro 1: Estações de monitoramento de cada UGRH da bacia do rio São Francisco avaliadas no estudo (CONT.)**

UGRH	ESTAÇÕES UTILIZADAS
SF4 – Entorno da represa de Três Marias	SF006, SF007, SF009, SF011, SF013, SF015, SF016, SF017, SF042, SF044, SF046, SF048, SF050, SF052, SF054, SF056, SF058, SF060
SF5 – Rio das Velhas	AV005, AV007, AV010, AV020, AV050, AV060, AV070, AV080, AV120, AV160E, AV160F, AV180E, AV180F, AV200, AV210, AV250, AV300, AV320, AV340, BV001, BV010, BV013, BV035, BV037, BV041, BV062, BV063, BV067, BV070, BV076, BV080, BV081, BV083, BV085, BV105, BV130, BV133, BV135, BV136, BV137, BV138, BV139, BV140, BV141, BV142, BV143, BV144, BV145, BV146, BV147, BV148, BV149, BV150, BV151, BV152, BV153, BV154, BV155, BV156, BV157, BV158, BV159, BV160, BV161, BV162, SC03, SC10, SC12, SC13, SC14, SC16, SC17, SC19, SC21, SC22, SC23, SC24, SC25, SC26, SC27, SC28, SC30, SC31, SC32, SC33, SC38, SC39, PV005, PV010, PV015, PV020, PV025, PV030, PV035, PV040, PV045, PV050, PV055, PV060, PV070, PV075, PV080, PV085, PV090, PV105, PV125, PV130, PV135, PV140, PV145, PV150, PV155, PV160, PV165, PV185, PV200, PV205, PV220
SF6 – Rios Jequitai e Pacuí	SF012, SF018, SF019, SF021, SF023, SF040, SFC001, SFC005, SFC035
SF7 – Rio Paracatu	PT001, PT003, PT005, PT007, PT009, PT010, PT011, PT013, PTE001, PTE003, PTE005, PTE007, PTE009, PTE011, PTE013, PTE015, PTE017, PTE019, PTE021, PTE023, PTE025, PTE027, PTE029, PTE031, PTE033, PTE035, PTE037, SFH10, SFH11, SFH13
SF8 – Rio Urucuia	SF025, SFH17, UR001, UR007, UR009, UR010, UR011, UR012, UR013, UR014, UR015, UR016, UR017
SF9 – Rios Pandeiros e Calindó	SF022, SF024, SF026, SF027, SF028, SF029, SF031, SF033, SF034, SFH23, SFJ01, SFJ02, SFJ03, SFJ04, SFJ05, SFJ06, SFJ07, SFJ08, SFJ10, SFJ11, SFJ12, SFJ13, SFJ14
SF10 – Rio Verde Grande	SF014, SF020, SFC145, SFC200, SFH21, SFH22, SFJ15, SFJ16, SFJ17, SFJ18, SFJ19, SFJ20, SFJ21, SFJ22, SFJ23, VG001, VG003, VG004, VG005, VG007, VG009, VG011

**Quadro 2: Parâmetros físico-químicos e biológicos de qualidade da água analisados e respectivas notações de referência**

Alumínio Dissolvido ( $Al_{diss}$ )	Cor Verdadeira (Cor)	Oxigênio Dissolvido (OD)
Arsênio Total ( $As_T$ )	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	pH <i>in loco</i> (pH)
Bário Total ( $Ba_T$ )	Fenóis Totais ( $Fen_T$ )	Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)
Chumbo Total ( $Pb_T$ )	Ferro Dissolvido ( $Fe_{diss}$ )	Sólidos em Suspensão Totais (SST)
Cianeto Livre ( $CN^-$ ) <sup>(a)</sup>	Fósforo Total ( $P_T$ )	Substâncias Tensoativas (MBAS)
Cloreto Total ( $Cl_T$ )	Manganês Total ( $Mn_T$ )	Sulfato Total ( $SO_4^{2-}$ )
Clorofila <i>a</i> ( $Cl-a$ )	Níquel Total ( $Ni_T$ )	Turbidez (Turb.)
Cobre Dissolvido ( $Cu_{diss}$ )	Nitrato ( $N-NO_3^-$ )	Zinco Total ( $Zn_T$ )
Coliformes Termotolerantes / <i>Escherichia coli</i> (Coli. Term.) <sup>(b)</sup>	Nitrogênio Amoniacal Total ( $N-NH_4^+$ )	

Observações:

- Em todos os parâmetros avaliados os dados censurados foram substituídos por seus respectivos limites de detecção (LD), com exceção o parâmetro Cianeto Livre, devido ao fato deste possuir LD maior que o limite legal preconizado na legislação estadual até 2010. Portanto, dados censurados até 2010 foram desconsiderados.
- A partir de 01/01/2013 o parâmetro *Escherichia coli* substituiu o Coliformes termotolerantes no monitoramento realizado pelo IGAM. Neste estudo foram considerados ambos em conjunto.

Considerando a classe de enquadramento do curso d'água no qual cada estação estava localizada foi calculado, para cada um dos 26 parâmetros, o percentual de amostras violadas. Para as estações localizadas em cursos d'água de Classe Especial os limites considerados foram aqueles relativos à Classe 1, tendo em vista que a legislação estadual não propõe limites numéricos, mas sim estabelece que as condições naturais do corpo de água sejam mantidas. O mesmo procedimento foi aplicado ao parâmetro Cor Verdadeira da Classe 1, uma vez que a legislação é subjetiva quanto ao limite deste, sendo adotado o limite da Classe 2 nesse caso.

Para cada sub-bacia e para toda a bacia do rio São Francisco foram elaborados gráficos de percentual de frequência de ocorrência dos parâmetros violados através do *software Microsoft Excel®*. Em seguida, foram gerados gráficos do tipo *Box-Plot* e aplicado o teste de *Kruskal-Wallis* seguido pelo teste de comparações múltiplas para avaliar diferenças entre as UPGRHs com base nos percentuais de frequência de violação dos parâmetros com maiores taxas de violação em geral em todas as UPGRHs. Foi utilizado o *software Statistica 8.1* para a realização desses testes.

Os resultados obtidos foram comparados com o tipo de uso e ocupação do solo das sub-bacias em análise tendo em consideração os planos de bacia hidrográfica desenvolvidos para cada unidade de planejamento e relatórios de monitoramento de qualidade das águas superficiais publicados pelo IGAM.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação aos gráficos de percentual de frequência de violação apresentados na Figura 1, observa-se que os cinco parâmetros com maiores frequências de violação para a porção mineira da bacia do rio São Francisco são: Coliformes Termotolerantes, Manganês Total, Fósforo Total, Turbidez e Cor Verdadeira. De maneira geral, os parâmetros Coliformes Termotolerantes e Manganês Total foram identificados dentre os cinco mais violados em todas as UPGRHs. Já os parâmetros Cor Verdadeira e Turbidez foram identificados dentre os cinco mais violados em nove UPGRHs (exceto SF5) e sete UPGRHs (exceto SF2, SF5 e SF10), respectivamente.

O parâmetro Coliformes Termotolerantes, que é indicador de contaminação fecal em águas superficiais, manteve-se como o mais violado em todas as sub-bacias, à exceção da UPGRH SF9, na qual ele ocupa o quarto lugar de frequência de violação (Figura 1). Destacam-se as sub-bacias do rio Pará (SF2), rio Paraopeba (SF3) e rio das Velhas (SF5) como as sub-bacias mais impactadas por esgoto doméstico, cujos dados de Coliformes Termotolerantes violaram em mais de 70% os dados analisados. Essas sub-bacias se localizam no Alto São Francisco, região com alto grau de urbanização (93%), que abriga metade da população da bacia do rio São Francisco (MMA, 2006).

Os parâmetros Manganês Total, Cor Verdadeira, Turbidez e Sólidos em Suspensão Totais estão relacionados principalmente a processos erosivos, naturais ou antrópicos, como no caso do manejo inadequado do solo na agropecuária e nos processos de mineração, que resultam no carreamento de sólidos para os corpos d'água. A concentração de metais dissolvidos na água, como manganês e ferro, ocasionam coloração preta e vermelha, respectivamente, nas águas superficiais, alterando a cor verdadeira do curso d'água. Estes parâmetros podem se originar da poluição difusa de áreas agricultáveis, de atividades minerárias ou mesmo de condições naturais do solo do estado, rico em minerais diversos.

Outros parâmetros como o Ferro Dissolvido (segundo mais violado na UPGRH SF2 e quinto mais violado na UPGRH SF4 – Figura 1) e Arsênio Dissolvido (quarto mais violado na UPGRH SF5 – Figura 1) também estão associados às atividades de mineração e apresentaram-se com alto percentual de frequência de violação. O quadrilátero ferrífero abrange áreas das unidades de planejamento SF5, SF3 e SF2 (pequena parcela), o que justifica a elevada atividade minerária nessas sub-bacias e, conseqüentemente, a acentuada pressão nos recursos hídricos com a alteração dos parâmetros indicados. Destaca-se, mais uma vez, a possibilidade de ocorrência de concentrações elevadas destes metais, ainda que não haja contribuição antrópica, já que ocorrem naturalmente em algumas regiões. Algumas violações menos frequentes dos demais parâmetros de metais (como Níquel Total, Chumbo Total, Alumínio Dissolvido) na UPGRH SF5 também são relacionadas à exploração de minerais metálicos e não metálicos e atividades industriais diversas, especialmente no Alto rio das Velhas (IGAM, 2013a). As contribuições difusas de despejos indevidos, tanto industriais como domésticos, do município de Contagem para a bacia da Pampulha acarretam em violações na bacia, em

especial para os parâmetros Cianeto Livre, Ferro Dissolvido, Fósforo Total, Manganês Total e Sólidos em Suspensão Totais. As UPGRHs com as maiores violações do parâmetro Fósforo Total foram SF2, SF3, SF5 e SF10, todas com percentuais de violação acima de 20%. A Figura 1 apresenta gráficos de percentual de frequência de ocorrência dos parâmetros violados em cada UPGRH e em toda a porção mineira da bacia do rio São Francisco, destacando os cinco mais violados.



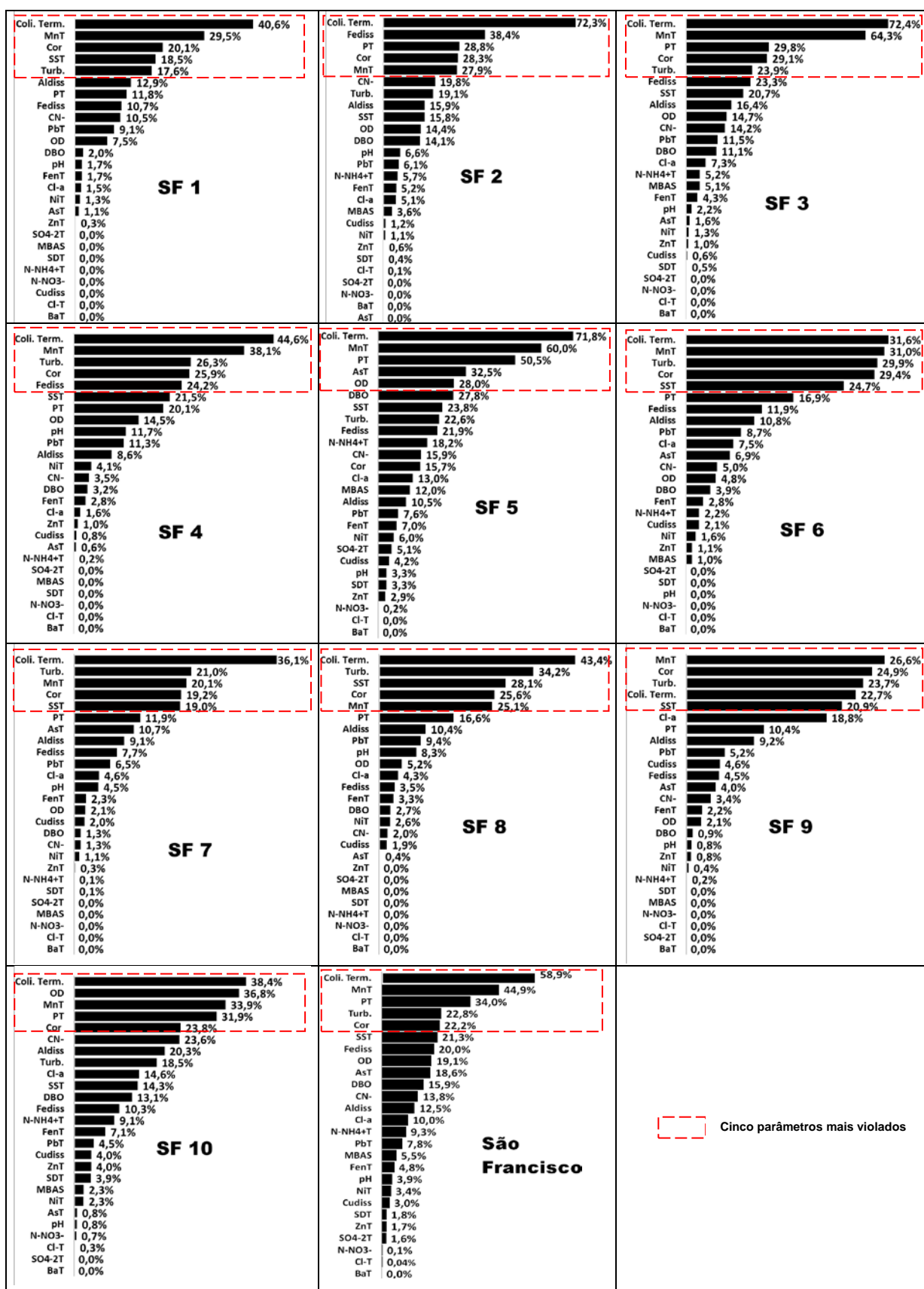


Figura 1: Gráficos de percentual de frequência de ocorrência dos parâmetros violados em cada UGRH e em toda a porção mineira da bacia do rio São Francisco

As elevadas concentrações de fósforo total podem ser relacionadas à poluição difusa de atividades agropecuárias desenvolvidas em algumas áreas das unidades de planejamento e ao lançamento em corpos d'água de esgotos domésticos e efluentes industriais, concentrado principalmente a jusante dos centros urbanos. Na UPGRH SF2 as maiores violações de Fósforo Total (percentuais iguais ou acima de 50%) ocorreram em estações a jusante de municípios de maior destaque na sub-bacia (Divinópolis, Itaúna, Pará de Minas, Carmópolis de Minas, Nova Serrana, São Gonçalo do Pará, Passa Tempo), devido aos lançamentos domésticos e industriais dessas regiões (CBH RIO PARÁ, 2011). Já na UPGRH SF3 foram identificados lançamentos intensos devido às contribuições urbanas de municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), dentre outros, que ainda não possuem coleta e/ou tratamento adequados dos efluentes domésticos, como Betim, Juatuba, Mateus Leme, Brumadinho, Mário Campos, Congonhas e Conselheiro Lafaiete (FEAM, 2011; IGAM, 2013b).

Na UPGRH SF5 (Bacia do rio das Velhas) um pouco mais da metade (50,5%) das amostras de Fósforo Total coletadas em 14 anos de monitoramento apresentaram violações ao limite preconizado na legislação, enfatizando novamente os impactos advindos dos despejos domésticos sem tratamento ou com tratamento insuficiente dessa região altamente urbanizada e adensada (Belo Horizonte - SC10, BV154; Sete Lagoas - SC25, SC26; Caeté - SC03; Santa Luzia - SC14, SC16, BV153; Nova Lima - BV062; Sabará - BV155; Lagoa Santa - BV137; Funilândia e Baldim - BV156) e dos efluentes das diversas atividades industriais desenvolvidas na região (IGAM, 2013a). Na UPGRH SF10 os lançamentos se devem às atividades agropecuárias e industriais diversas desenvolvidas na região (ANA, 2011b), e aos lançamentos de esgoto sem tratamento de municípios de maior porte como Janaúba (VG007) e Montes Claros (VG003).

Os gráficos do tipo *box-plot* gerados a partir dos resultados dos testes de *Kruskal-Wallis* e comparações múltiplas para os cinco parâmetros com maiores violações ao longo de toda a porção mineira da bacia do rio São Francisco (Coliformes Termotolerantes, Fósforo Total, Manganês Total, Turbidez e Cor Verdadeira) estão apresentados na Figura 2. Percebe-se que a bacia do rio São Francisco apresenta degradação ambiental em sua totalidade mesmo que as áreas mais adensadas em termos de população e atividades antrópicas expressivas apresentem piores índices de qualidade conforme tem sido comprovado nos relatórios trimestrais do IGAM (IGAM, 2013c).

Os resultados apresentados na Figura 2 para o parâmetro Coliformes Termotolerantes indicam diferenças significativas entre as estações das UPGRHs SF2, SF3 e SF5 e das unidades de planejamento SF6, SF7, SF8, SF9 e SF10. As medianas de percentuais de frequência de violação das unidades SF2, SF3, SF5 apresentaram valores significativamente ( $\alpha = 5\%$ ) maiores em comparação às demais mencionadas. Este fato reforça a afirmativa de que as sub-bacias da região do Alto São Francisco são mais impactadas com relação ao esgoto doméstico do que as sub-bacias do médio e baixo curso. Além de ser o parâmetro mais frequente em violações de forma geral em quase todas as unidades de planejamento e na porção mineira do rio São Francisco nesses 14 anos avaliados, conforme apresentado anteriormente (Figura 1), nas estações de forma individual as mais elevadas frequências de violação de ocorreram para Coliformes Termotolerantes em todas as UPGRHs. Portanto, enfatiza-se que apesar do desenvolvimento ao longo dos anos na ampliação dos serviços de coleta e tratamento de esgotos domésticos, ainda há uma grande parcela de esgotos brutos lançados diretamente nos corpos hídricos e de esgotos tratados em estações de tratamento de esgotos (ETEs) inadequadas (IGAM, 2013a) e mesmo naquelas em bom estado de operação, a tecnologia de tratamento de nível secundário não possui eficiência de remoção dos contaminantes necessária à manutenção da qualidade de água esperada no enquadramento dos cursos d'água.

Os parâmetros Cor Verdadeira, Fósforo Total e Turbidez apresentaram menos unidades de planejamento com resultados de diferenças significativas entre estas (Figura 2). Cor Verdadeira e Turbidez apresentaram medianas com até 40% de percentual de frequência de violação de maneira geral. Em relação à Cor Verdadeira, as UPGRHs SF3, SF6 e SF10 apresentaram diferença significativa e valores superiores em comparação à SF5. Já para o parâmetro Turbidez a SF8 apresentou diferença significativa e valores superiores em comparação à SF2 e à SF5. Por sua vez, o parâmetro Fósforo Total apresentou valores para a SF5 diferentes e superiores significativamente em comparação às UPGRHs SF7 e SF9. Nota-se que as UPGRHs com maiores variações nas frequências de violação das estações para esse parâmetro foram a SF3, SF5 e SF10, ressaltando novamente o impacto que as regiões mais urbanizadas e industrializadas exercem nos recursos hídricos.

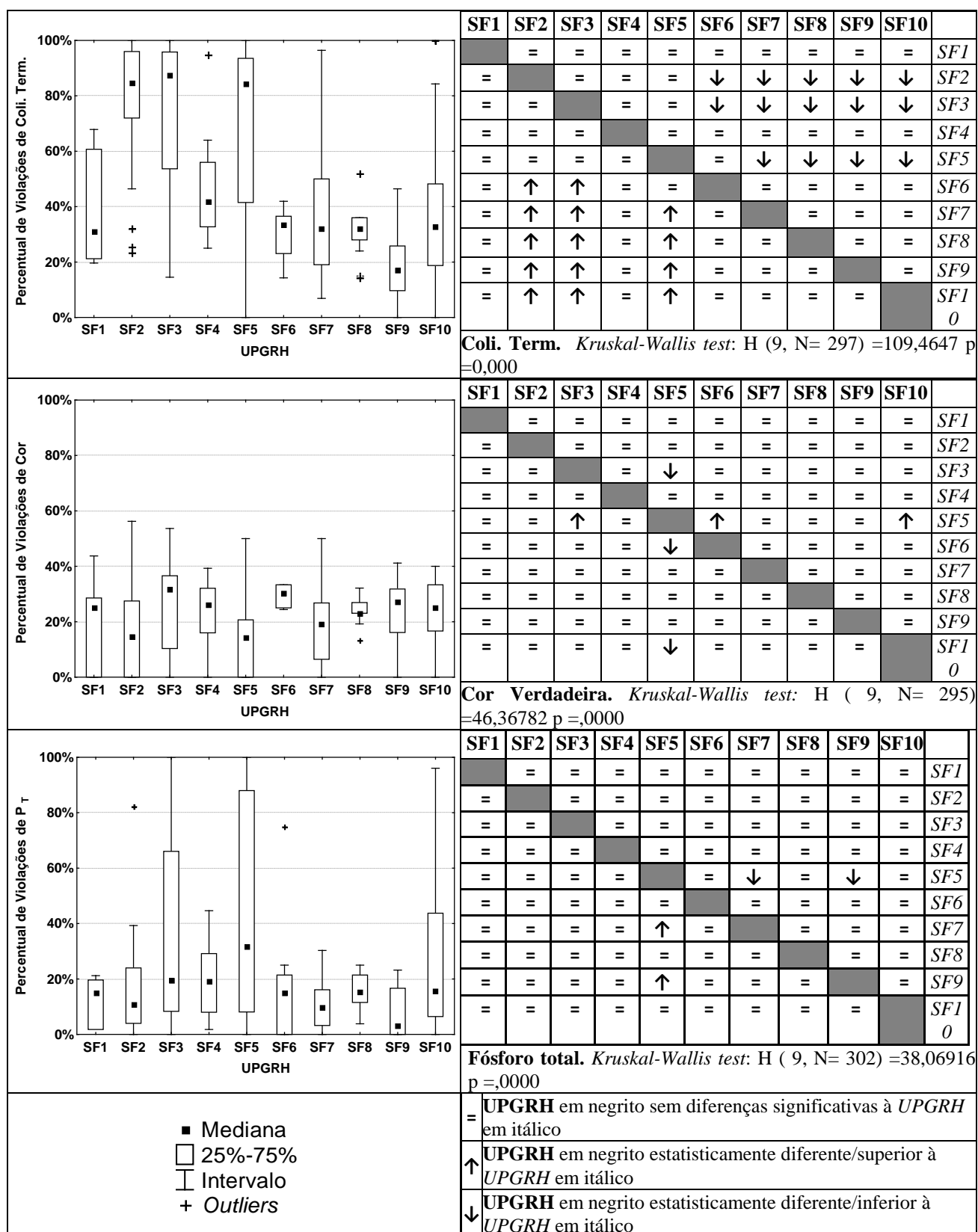
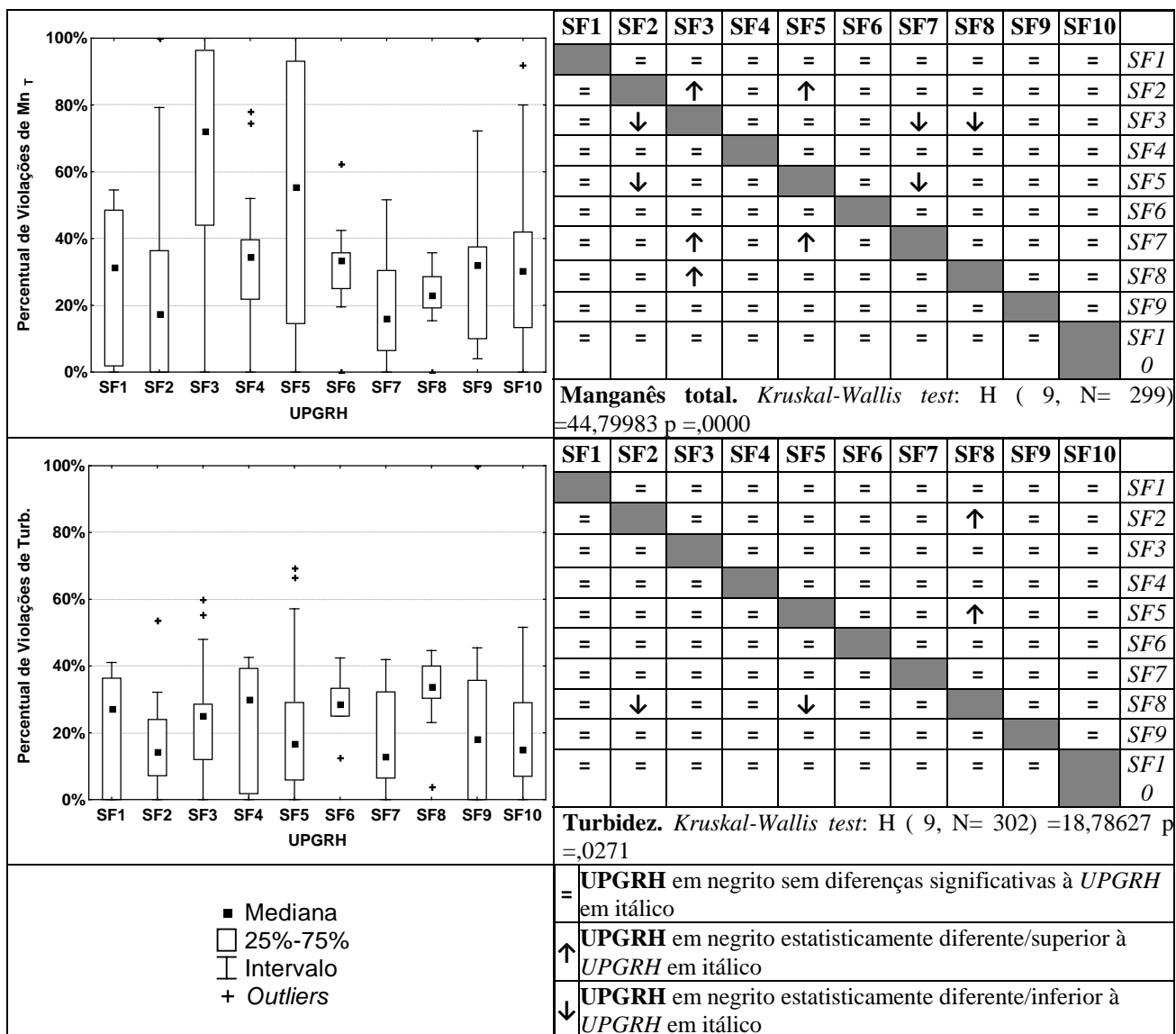


Figura 2: Gráficos *box-plot* e resultados de diferenças significativas ( $\alpha = 5\%$ ) das porcentagens de violação dos parâmetros Coliformes Termotolerantes, Cor Verdadeira, Fósforo Total, Manganês Total e Turbidez, dentre as UPGRHs do rio São Francisco.





**Figura 2: Gráficos box-plot e resultados dos testes de comparação múltipla dos valores medianos das porcentagens de violação dos parâmetros Coliformes Termotolerantes, Cor Verdadeira, Fósforo Total, Manganês Total e Turbidez, dentre as UPGRHs do rio São Francisco. (CONT.)**

Por último, o parâmetro Manganês Total apresentou valores variados entre as UPGRHs. A UPGRH SF3 apresentou valores diferentes e superiores significativamente em comparação à SF2, à SF7 e à SF8, e à SF5 com valores diferentes e superiores significativamente em comparação à SF2 e à SF7. Nota-se a variação do intervalo de violações da SF5 para Manganês Total, que demonstra a existência de estações com amplo atendimento à legislação estadual enquanto outras com percentual elevado (até 100%) de violações. Considerando a concentração de atividades de mineração no Alto rio das Velhas em comparação ao restante da sub-bacia do rio das Velhas, tal variação nas violações de Manganês Total pode ser atribuída a essa distribuição espacial das atividades minerárias que podem influenciar as concentrações desse parâmetro.

## CONCLUSÕES

A bacia do rio São Francisco apresenta elevada frequência de violação histórica de parâmetros em muitas de suas estações de monitoramento. Os parâmetros que mais se destacam na frequência de violação são Coliformes Termotolerantes, Fósforo Total, Manganês Total, Turbidez e Cor Verdadeira. Mesmo compondo o grupo de parâmetros mais violados para todas as sub-bacias, esses parâmetros podem possuir diferenças significativas entre as regiões, conforme verificado principalmente para o parâmetro Coliformes Termotolerantes. As sub-bacias localizadas na região do Alto São Francisco são as mais impactadas quanto ao lançamento de esgoto, fato que é justificado pela alta densidade demográfica e alto grau de industrialização na região. A partir da avaliação das violações, conclui-se que a qualidade das águas superficiais da bacia do rio São Francisco é degradada pelo lançamento de esgotos, efluentes industriais, atividades minerárias e por agricultura.

## AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e à Pró-Reitoria de Pesquisa da UFMG pelas bolsas e financiamento da pesquisa e ao Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) pelos dados fornecidos e apoio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. *Portal da Qualidade das Águas*. Disponível em < [http://pnqa.ana.gov.br/rede/rede\\_monitoramento.aspx](http://pnqa.ana.gov.br/rede/rede_monitoramento.aspx)>. Acesso em: 29 ago. 2014.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande: Relatório Síntese*. Brasília, 2011b. 180p.
3. BRAGA, B.; PORTO, M.; TUCCI, C. E. M. “Monitoramento de Quantidade e Qualidade das Águas”, in *Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação*. São Paulo, Escrituras, 2006, p. 145-60.
4. COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARÁ – CBH RIO PARÁ; ASSOCIAÇÃO DE USUÁRIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARÁ. *Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Pará, Alto Rio São Francisco: Etapa 3 Avaliação e Análise Ambiental*. 2011. 437p.
5. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. *Plano para Incremento do Percentual de Tratamento de Esgotos Sanitários na Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba*. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2011. 515p.
6. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Identificação de municípios com condição crítica para a qualidade de água na bacia do rio das Velhas*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2013a. 48p.
7. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Identificação de municípios com condição crítica para a qualidade de água na bacia do rio Paraopeba*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2013b. 41p.
8. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Monitoramento da qualidade das águas superficiais no estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2013c. 69p. Relatório trimestral – 3º trimestre de 2013.
9. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Monitoramento da Água Superficial*. Disponível em < <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas/monitoramento/agua-superficial> >. Acesso em: 29 ago. 2014.
10. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco*. Brasília: MMA, 2006. 148p.
11. TRINDADE, A. L. C. Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais da porção mineira da bacia do rio São Francisco. 2013. 181 p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.