

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,**  
**MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DE PERÍMETROS**  
**IRRIGADOS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS**  
**SUPERFICIAIS DA PORÇÃO MINEIRA DO**  
**MÉDIO SÃO FRANCISCO**

**Rosa Carolina Amaral**

**Belo Horizonte**

**2012**

**IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DE PERÍMETROS  
IRRIGADOS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS  
SUPERFICIAIS DA PORÇÃO MINEIRA DO MÉDIO  
SÃO FRANCISCO**

**Rosa Carolina Amaral**

**Rosa Carolina Amaral**

**IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DE PERÍMETROS  
IRRIGADOS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS  
DA PORÇÃO MINEIRA DO MÉDIO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Caracterização, prevenção e controle da poluição

Orientador: Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG  
2012

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me acompanha sempre.

Agradeço ao meu pai, João Batista do Amaral, que sempre apoiou e acreditou em meus sonhos.

Agradeço a minha mãe, Efigênia, pela dedicação e amor incondicional, me apoiando em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis.

Agradeço as minhas filhas e ao Ronan pelo incentivo, companheirismo e compreensão, pois em muitos momentos estive ausente.

Agradeço a minha família, irmão e sobrinhos pelo incentivo.

À minha orientadora Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira pelo incentivo, dedicação e ensinamentos que foram essenciais ao desenvolvimento desta dissertação.

Ao programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais pela oportunidade.

Ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas pela disponibilização dos dados.

Ao Alessandro e a todas as pessoas que de alguma maneira me ajudaram.

## RESUMO

Os projetos de irrigação Jaíba, Gortuba e Lagoa Grande localizam-se na porção mineira do Médio São Francisco, ocupando uma área irrigável de aproximadamente 31.493 ha. Como a agricultura irrigada tem potencial para contaminar os recursos hídricos em decorrência do desmatamento, da aplicação de fertilizantes e de pesticidas, o objetivo desta pesquisa foi investigar o impacto da irrigação na qualidade das águas superficiais da região, utilizando fonte de dados secundários de monitoramento disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e pela HIDROWEB. Foram selecionadas nove estações de monitoramento na região que representassem o uso e ocupação do solo pela agricultura, áreas preservadas e urbanizadas, com o intuito de caracterizar o impacto. Primeiramente foi realizada uma análise multivariada (Análise de Cluster) numa tentativa de evidenciar as estações de monitoramento similares, considerando as características físico-químicas e biológicas. Posteriormente foram aplicados testes não paramétricos (Kruskal-Wallis ANOVA e teste de medianas, seguidos do teste de comparações múltiplas), para verificação de quais parâmetros apresentaram comportamentos diferenciados entre as estações de monitoramento. Finalmente, foi aplicado 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. 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. Os resultados do teste de Spearman mostraram que a maioria dos dados analisados nas nove estações foram não estacionários, ou seja, apresentaram tendência de elevação ou de redução ao longo do período monitorado. No entanto, um maior número de dados, contemplando uma série histórica mais longa, seria necessário para confirmação de tal tendência. Considerando o efeito da sazonalidade, foi verificado que no período seco ocorre, de maneira geral, uma redução da qualidade da água, devido a maior concentração dos constituintes em decorrência da menor vazão do rio Verde Grande. Concluiu-se que, de maneira geral, não houve uma deterioração da qualidade das águas da região no período estudado, considerando os parâmetros analisados neste trabalho.

## ABSTRACT

The irrigation projects Jaíba Gorutuba and Laguna Grande located in the mining portion of the Middle San Francisco, occupying an irrigable area of approximately 31,493 ha. As irrigated agriculture has the potential to contaminate water resources due to deforestation, the application of fertilizers and pesticides, the objective of this research was to investigate the impact of irrigation on surface water quality in the region, using secondary data source for monitoring available the Mining Institute of Water Management (IGAM) and HIDROWEB. We selected nine monitoring stations in the region that represented the use and occupation of land for agriculture, conservation areas and urbanized, with the aim of characterizing the impact. We first performed a multivariate analysis (cluster analysis) in an attempt to highlight the monitoring stations similar, considering the physico-chemical and biological parameters. Later tests were nonparametric (Kruskal-Wallis ANOVA and median test, followed by multiple comparisons test) to check which parameters showed different behaviors between the monitoring stations. Finally, we applied the test of the hypothesis of stationarity Spearman, to detect temporal trends present in a data series, aiming to evaluate the increasing trend of the constituents over time. The results of this study was not possible to observe patterns of contamination depending on the location of the stations. However, it was possible to detect that the stations located along the Sao Francisco River showed no significant differences between them, although the use and occupation were different, probably due to greater self-purification capacity of the river São Francisco, in relation to other courses water. The results of the Spearman Rank Correlation test showed that most of the data analyzed in the nine were non-stationary stations, ie, had a tendency to increase or decrease over the monitored period. However, a greater number of data comprising a series longer, it is necessary to confirm this tendency. Considering the effect of seasonality, it was found that during the dry period occurs, in general, a reduction in water quality due to higher concentrations of constituents due to the lower flow of the Rio Verde Grande. It was concluded that in general there was a deterioration in water quality during the study period, depending on the parameters.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	V
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....	IX
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
3.1 AGRICULTURA IRRIGADA E O IMPACTO NO MEIO AMBIENTE .....	4
3.2 PERÍMETROS IRRIGADOS – NORTE DE MINAS GERAIS.....	10
3.2.1 <i>Projeto Jaíba</i> .....	16
3.2.2 <i>Projeto Gorutuba/Lagoa Grande</i> .....	20
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
4.1 ORIGEM DOS DADOS.....	24
4.2 ANÁLISE PRELIMINAR DOS PARÂMETROS AMOSTRADOS NAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM. ....	29
4.3 CLASSIFICAÇÃO MULTIVARIADA DAS ESTAÇÕES.....	30
4.4 AVALIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM .....	31
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
5.1 ANÁLISE PRELIMINAR DOS PARÂMETROS AMOSTRADOS NAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM. ....	33
5.2 CLASSIFICAÇÃO MULTIVARIADA DAS ESTAÇÕES.....	34
5.3 AVALIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM .....	37
5.3.1 <i>Avaliação espacial das estações de amostragem</i> .....	37
5.3.2 <i>Avaliação Temporal das estações de amostragem</i> .....	46
5.3.2.1 Condutividade Elétrica .....	49
5.3.2.2 Sólidos Dissolvidos Totais e Sólidos Suspensos Totais .....	53
5.3.2.3 Cloreto Total .....	60
5.3.2.4 Alcalinidade total .....	63
5.3.2.5 Coliformes termotolerantes .....	66
5.3.2.6 Cor.....	69
5.3.2.7 DQO .....	72
5.3.2.8 Dureza Total e Cálcio.....	74
5.3.2.9 Oxigênio dissolvido.....	80
5.3.2.10 Fósforo total .....	83
5.3.2.11 Nitrato .....	86
5.3.2.12 pH.....	89
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>92</b>
<b>7 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>94</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>95</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>99</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 - Vazões outorgadas por finalidade de uso. ....	4
Figura 3-2 – Representação das quatro regiões do rio São Francisco. ....	11
Figura 3-3 - Áreas irrigadas implantadas na bacia hidrográfica do rio São Francisco. ....	13
Figura 3-4 - Localização dos perímetros irrigados no norte de Minas Gerais. ....	14
Figura 3-5 - LAYOUT Geral do Projeto Jaíba. ....	18
Figura 3-6 – Diagrama de distribuição de água do Projeto Jaíba para as etapas I e II.....	19
Figura 3-7 – Estação de bombeamento 1, captando água diretamente no rio São Francisco. ....	20
Figura 3-8 – Localização do perímetro irrigado de Gorutuba. ....	21
Figura 3-9 – Localização do perímetro irrigado de Lagoa Grande. ....	22
Figura 4-1 - Localização das estações de monitoramento na área de abrangência dos perímetros irrigados. ....	27
Figura 4-2 – Localização das estações de monitoramento na área de abrangência dos perímetros irrigados, com destaque para os usos e ocupação do solo . ....	28
Figura 5-1 – Dendograma das estações de monitoramento instaladas nos perímetros irrigados localizados na porção mineira do Médio São Francisco. ....	35
Figura 5-2 – Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros alcalinidade, cloreto total, dureza total, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido nas nove estações de monitoramento .....	38
Figura 5-3- Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros cálcio, coliformes termotolerantes, fosfato total, sólidos suspensos, nitrato e cor real nas nove estações de monitoramento.....	41
Figura 5-4 – Gráficos <i>box-whisker</i> dos parâmetros DQO e pH nas nove estações de monitoramento.....	43
Figura 5-5- Média mensal da vazão no período de 1997 a 2010 no rio São Francisco, nas estação seca e chuvosa. ....	47
Figura 5-6- Média mensal da vazão no período de 1997 a 2010 no rio Verde Grande, nas estação seca e chuvoso. ....	47
Figura 5-7 – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro condutividade elétrica nas nove estações de monitoramento.....	51
Figura 5-8 – Gráficos <i>box-whisker</i> do parâmetro condutividade elétrica no período seco e chuvoso das nove estações de monitoramento.....	52
Figura 5-9 - Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro sólidos dissolvidos totais nas nove estações de monitoramento. ....	54
Figura 5-10: Gráficos <i>box-whisker</i> do parâmetro sólidos dissolvidos totais no período seco e chuvoso das nove estações de monitoramento.....	56
Figura 5-11 – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro sólidos suspensos nas nove estações de monitoramento.....	58

Figura 5-12 - Gráficos <i>box-whisker</i> do parâmetro sólidos suspensos no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.....	59
Figura 5-13 – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro cloreto total nas nove estações de monitoramento.....	61
Figura 5-14- Gráficos <i>box-whisker</i> do parâmetro cloreto total no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.....	62
Figura 5-15 – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro alcalinidade total nas nove estações de monitoramento.....	64
Figura 5-16 - Gráficos <i>box-whisker</i> do parâmetro alcalinidade total no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.....	65
Figura 5-17 – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro coliformes termotolerantes nas nove estações de monitoramento.....	67
Figura 5-18 - Gráficos <i>box-whisker</i> do parâmetro coliformes termotolerantes no período seco e chuvoso nove estações de monitoramento.....	68
Figura 5-19 – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro cor nas nove estações de monitoramento.....	70
Figura 5-20 - Gráficos <i>box-whisker</i> do parâmetro cor no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento .....	71
Figura 5-21 – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro DQO nas nove estações de monitoramento.....	72
Figura 5-22 - Gráficos <i>box-whisker</i> do parâmetro DQO no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.....	73
Figura 5-23 – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro dureza total nas nove estações de monitoramento.....	76
Figura 5-24 – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro cálcio nas nove estações de monitoramento.....	77
Figura 5-25 - Gráficos <i>box-whisker</i> do parâmetro cálcio no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.....	78
Figura 5-26 - Gráficos <i>box-whisker</i> do parâmetros dureza total no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.....	79
Figura 5-27 – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro OD nas nove estações de monitoramento.....	81
Figura 5-28 - Gráficos <i>box-whisker</i> do parâmetro OD no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.....	82
Figura 5-29 - Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro fósforo total nas nove estações de monitoramento.....	84
Figura 5-30 - Gráficos <i>box-whisker</i> do parâmetro fósforo total no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.....	85
Figura 5-31 – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro nitrato nas nove estações de monitoramento.....	87

Figura 5-32 - Gráficos <i>box-whisker</i> do parâmetro nitrato no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.....	88
Figura 5-33- Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro pH nas nove estações de monitoramento.....	89
Figura 5-34 – Gráficos <i>box-whisker</i> representando do parâmetro pH no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.....	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 - População urbana e rural, e taxa de urbanização da bacia do rio São Francisco.....	12
Tabela 4-1 – Localização das estações de monitoramento instaladas na área de inserção dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba .....	25
Tabela 4-2 – Descrição das estações de monitoramento localizadas na área de inserção dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba .....	25
Tabela 4-3 – Coordenadas geográficas das estações de monitoramento. ....	26
Tabela 4-4 – Relação das estações de monitoramento de vazão .....	29
Tabela 5-1 – Porcentagem de <i>outliers</i> em cada estação de amostragem. ....	33
Tabela 5-2 Resumo dos resultados dos testes de Kruskal-Wallis seguido do teste de comparação múltipla ( $\alpha$ =5%), considerando todos os parâmetros e todas as estações de monitoramento .....	44
Tabela 5-3 Resumo dos resultados dos testes de Spearman, considerando os dados dos parâmetros que foram considerados estacionários em todas as estações de monitoramento.....	48
Tabela 5-4 – Resumo da porcentagem dos valores que estão em desacordo com a legislação. ....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

BIRD	Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DIJ	Distrito de Irrigação do Jaíba
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
FETAEMG	Federação dos Trabalhadores de Assistência Técnica e Rural
HIDROWEB	Sistema de Informações em Hidrologia
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INIC	Instituto Nacional de Colonização e Irrigação
JNIC	Japan Bank for International Cooperation
RURALMINAS	Fundação Rural Mineira

# 1 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 60, de perímetros irrigados como Jaíba, Gortuba 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 agrária. As águas utilizadas na irrigação provêm do rio Gortuba 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, nesta região, está sendo acompanhada de estudos de qualidade da água, sendo esta 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 quantidade de água, é essencial avaliar o impacto dessa atividade nos cursos d'água em relação aos parâmetros físico-químicos, biológicos agrotóxicos e fertilizantes.

Essa avaliação será feita por meio da análise de dados secundários disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba - CODEVASF, em nove estações de monitoramento localizadas na porção mineira do Médio São Francisco. No entanto não foi possível avaliar os agrotóxicos e fertilizantes, devido à falta de informação sobre o assunto, apesar de serem fundamentais na avaliação do impacto.

Desta forma, este trabalho procura auxiliar no preenchimento desta lacuna, buscando avaliar o impacto da atividade da agricultura irrigada na qualidade das águas superficiais na região do Médio São Francisco em relação aos parâmetros físico-químicos e biológicos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 *Objetivo geral***

O objetivo geral desta pesquisa é a avaliação do impacto da agricultura irrigada na qualidade das águas superficiais da porção mineira do Médio São Francisco.

### **2.2 *Objetivos específicos***

- Avaliar comparativamente as estações de amostragem monitoradas na porção mineira da região do Médio São Francisco, associando-as de forma preliminar com o uso e ocupação do solo pela agricultura, áreas preservadas e urbanizadas;
- Verificar se os parâmetros físico-químicos e biológicos estão dentro dos padrões ambientais recomendados pela legislação;
- Estudar as tendências temporais e espaciais dos parâmetros de qualidade de água nos cursos de água da região.



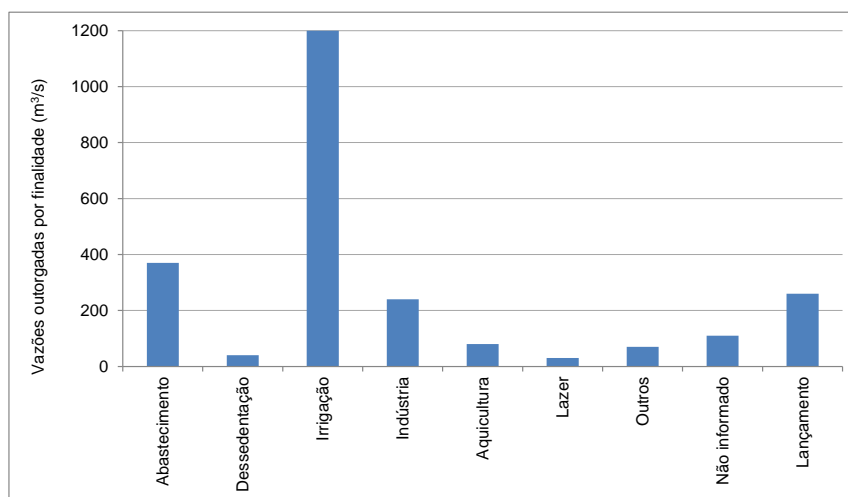
### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Agricultura irrigada e o impacto no meio ambiente

A irrigação é meio artificial e racional de fornecer água para as culturas, proporcionando às plantas as exigências hídricas durante o seu ciclo, sendo que a quantidade de água necessária às culturas é função da espécie cultivada, do local e época de cultivo e do tipo de solo (BERNARDO e MANTOVANI, 2006).

As plantas exigem grandes quantidades de água, que deverão ser aportadas pelas chuvas ou pela irrigação. Para se produzir uma única tonelada de trigo e milho, as plantas exigem 1.000 toneladas de água; mais ainda, para se produzir uma tonelada de soja e arroz são necessárias 2.000 toneladas de água (PIRES *et al.*, 2008). Conforme ANA (2007), o consumo de água no Brasil distribui-se da seguinte forma: 46% na irrigação, 27% no consumo humano e 18% no consumo industrial. Em escala mundial o gasto de água na irrigação atinge a média de 70 %.

Considerando as vazões outorgadas por finalidade de uso, estudos da ANA indicam que até dezembro de 2004 mais de 95 mil outorgas já haviam sido emitidas no Brasil, sendo o maior número destinado ao consumo humano, e as maiores vazões outorgadas para a atividade da agricultura irrigada, que representa 60% das outorgas para captação, conforme FIG. 3.1 (ANA, 2007).



**Figura 3-1 - Vazões outorgadas por finalidade de uso.**

Fonte: ANA, 2007

Apesar do grande consumo de água, a agricultura irrigada é importante, pois fornece 40% dos alimentos no mundo, ocupando aproximadamente 260 milhões de hectares de terras. Destaca-

se ainda que uma expansão provavelmente será necessária para atender um aumento de 40 a 45% da demanda de alimentos até o ano de 2025 (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM, 1999).

Sendo assim, estima-se um crescimento de consumo de água em níveis mundiais para atender a essa demanda de alimentos. Segundo Paz *et al.* (2000) apesar do grande consumo de água, a irrigação representa a maneira mais eficiente de aumento da produção e concordam que haverá um consumo de água maior no ano de 2020 para atender à produção agrícola.

Desta forma, a expansão da agricultura irrigada se tornará uma questão preocupante, devido ao elevado consumo de água e ao comprometimento da qualidade em decorrência do deflúvio superficial.

A degradação dos mananciais, proveniente das atividades agrícolas ocorre, principalmente, devido ao escoamento superficial que poderá carrear nutrientes, como nitrogênio e fósforo, para os cursos d' água. Em decorrência desse aporte de nutrientes poderá ocorrer crescimento excessivo de algas e plantas que reduzem a disponibilidade de oxigênio dissolvido nas águas, afetando adversamente o ecossistema aquático e causando, algumas vezes, mortalidade de peixes. Poderão ocorrer também, devido à floração das algas, alterações no sabor e odor da água ou presença de toxinas comprometendo o abastecimento doméstico de água (MERTEN e MINELLA, 2002).

As formas químicas mais usadas na adubação nitrogenada são amoniacal, nítrica, amídica e protéica, sendo que cada composto têm suas particularidades, como eficiência no fornecimento de nitrogênio para as plantas e, sobretudo, ação impactante no agroecossistema. O nitrato é a principal forma de nitrogênio associada à contaminação dos mananciais. A lixiviação do nitrato para os cursos d' água é diretamente dependente do excesso do nutriente no solo e intensificada pela percolação de água em épocas de chuva ou quando a irrigação é manejada com lâminas de água que excedem as capacidades das culturas (REZENDE, 2002). Em geral, as atividades agrícolas são consideradas como uma das principais causas de elevadas concentrações de nitrato nas águas subterrâneas e de superfície (KVÍTEK *et al.*, 2009).

As perdas de nitrato para os cursos d' água ocorrem quando cargas negativas dos íons de nitrato são repelidas pelas cargas negativas do solo, assim os íons de nitrato tornam-se móveis

e lixiviáveis, podendo atingir os corpos de água subterrâneos ou superficiais. Geralmente esse fato ocorre quando os íons de nitrato na solução do solo não são absorvidos pelas plantas ou imobilizados pela microbiota do solo (GOMES *et al.*, 2008; PRIMAVESI *et al.*, 2006).

Em regiões tropicais úmidas, com baixos teores de matéria orgânica e em estágio de intemperismo a presença de cargas positivas no solo é muito maior do que em solos de regiões temperadas, assim a lixiviação do nitrato poderá ser dificultada, embora não totalmente impedida (ALCÂNTARA e CAMARGO, 2005).

Em regiões com solos latossolos e cambissolos, devido à composição mineralógica destes, ocorre adsorção de cloreto e nitrato, retardando a lixiviação destes nutrientes para os cursos d'água. Parron (2007), ao avaliar a bacia do rio Preto no Médio São Francisco, em regiões irrigadas, concluiu que as águas da bacia apresentaram baixo impacto por contaminação por nutrientes provavelmente devido ao tipo de solo (latossolos e cambissolos). Oliveira (2009) encontrou valores de nitrato abaixo do recomendado pela Resolução CONANA nº 375/2005, nos quatro pontos de monitoramento presentes no perímetro de irrigação de Cruzeta, localizado no Rio Grande do Norte.

Os impactos negativos resultantes da ocorrência do nitrato em corpos d'água são a eutrofização dos mananciais hídricos e doenças humanas como a metemoglobinemia, resultante da ingestão de água com concentrações elevadas de nitrato, ou seja, valores acima de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{N-NO}_3^-$  e  $44 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  podem oferecer risco para a saúde humana. A sensibilidade para a metemoglobinemia está relacionada ao pH estomacal das crianças (igual ou maior do que 4). Nestas condições as bactérias redutoras de nitrato se desenvolvem no intestino delgado, reduzindo o nitrato a nitrito, que é absorvido pela corrente sanguínea, convertendo a hemoglobina a metemoglobina. O pigmento alterado, não transportado com eficiência o oxigênio e provoca a asfixia (GONDA, 1985).

O escoamento de nutrientes, principalmente nitrato, foi evidenciado pela atividade de fruticultura irrigada praticada na bacia Pochay, localizado no Chile, onde foi comprovado que 23% a 25 % do fertilizante nitrogenado aplicado no solo era carregado para águas superficiais e as maiores concentrações de nitrato foram detectadas durante a estação chuvosa (RIBBE *et al.*, 2008).

Estudos efetuados nos países baixos (Estônia, Letônia e Lituânia) mostraram que, apesar de reduzirem a aplicação de fertilizantes nas culturas, os cursos d' água de quatro bacias hidrográficas agrícolas não apresentaram redução significativa da concentração dos parâmetros nitrato, amônia, nitrogênio inorgânico dissolvido, fosfato e fósforo total, evidenciando que outras variáveis interferem no carreamento de nutrientes para os mananciais (KOKORITE *et al.*, 2003). Outros autores, como Granlund (2005), ao avaliar a concentração de nutrientes agrícolas em bacias hidrográficas na Finlândia, no período de 1981 a 2000, verificaram que apesar da adoção pelos fazendeiros de medidas ambientais como redução da aplicação de fertilizantes nos últimos anos, não houve uma redução da concentração de nutrientes como nitrogênio e fósforo.

A aplicação de fertilizantes fosfatados ocorre porque o fósforo é elemento essencial à nutrição das plantas. Esse nutriente geralmente é retido pelas partículas do solo, portanto a contaminação de águas subterrâneas por lixiviação é praticamente desprezível, principalmente em solos tropicais. No entanto, o processo erosivo e o escoamento de água nos solos são os principais fatores de contaminação de águas superficiais em áreas agrícolas (ISHERWOOD, 2000).

Queiroz (2010) encontrou baixos valores de nutrientes como fósforo na microbacia da Sanga Mandarina, região predominante agrícola, provavelmente porque na área está presente solos argilosos que tem a capacidade de reter o fósforo.

A análise de séries temporais de concentrações de nutrientes em rios europeus revelou que as tendências dos níveis de nitrogênio coincidem com o aumento do uso de fertilizantes nitrogenados. Já a evolução temporal do fósforo (por exemplo,  $PO_4\text{-P}$ ) parece estar associada a um menor grau com agricultura (TUMAS, 2000 *apud* KOKORITE *et al.*, 2003).

Assim, em decorrência do uso de fertilizantes e uso inadequado da água, a irrigação é uma atividade com alto potencial degradador, contribuindo para a contaminação dos mananciais, deteriorando a qualidade da água, devido ao aumento dos nutrientes, agroquímicos e metais pesados (SANTOS, 2006).

A ocupação e uso do solo pelas atividades agrícolas alteram sensivelmente os processos biológicos, físicos e químicos dos rios, uma vez que as chuvas precipitadas sobre as vertentes irão formar o deflúvio (escoamento) superficial que irá carrear sedimentos e poluentes para o

curso d'água. Desta forma, o rio é um integralizador dos fenômenos ocorrentes nas vertentes da bacia, sendo que essas alterações podem ser avaliadas pelos parâmetros da qualidade da água (MERTEN e MINELLA, 2002). Estudos realizados em São Paulo evidenciaram essa relação entre o uso e ocupação do solo e a qualidade da água. O primeiro foi realizado na região de Cunha e comprovou que as microbacias recobertas por atividades agrícolas/pecuárias tiveram valores de temperatura, turbidez e cor aparente da água superiores aos registrados nas microbacias ocupadas por florestas de mata atlântica (ARCOVA e CICCO, 1999). Um estudo semelhante realizado por Donadio *et al.* (2005) em quatro nascentes da bacia hidrográfica do córrego Rico no estado de São Paulo comprovou também que nas nascentes com vegetação natural remanescente, a qualidade da água mostrou-se melhor que nas nascentes com uso agrícola, principalmente em relação às variáveis cor, turbidez, alcalinidade e nitrogênio total. Brito *et al.* (2005), ao avaliar a qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Salitre, ocupada por agricultura, localizada na Bahia encontrou valores elevados de pH e de condutividade elétrica. No entanto, Queiroz (2010), ao avaliar a influência do uso e ocupação do solo por agricultura na qualidade da água da microbacia da Sanga Mandarina, encontrou uma boa qualidade em relação aos parâmetros condutividade elétrica, pH, temperatura da água, turbidez, nitrato, nitrito e nitrogênio total. Lucas (2007) também verificou que a agricultura irrigada causa baixo impacto na microbacia do ribeirão Marins em São Paulo.

Crepalli (2007), avaliou a qualidade da água do rio Cascavel - PR, relacionando a qualidade ao uso e ocupação do solo pela urbanização e agropecuária. O autor concluiu que os nutrientes fósforo, nitrato e nitrito foram maiores na área rural que urbana. No entanto, em relação à turbidez, cor, condutividade elétrica, não foi possível avaliar se as alterações da qualidade da água foram piores pelo uso urbano ou rural, mas esses parâmetros apresentaram uma forte correlação com a vazão.

Carvalho e Frinhani (2010), ao avaliar a qualidade da água do rio Tigre, em áreas urbanas, rurais e de nascente, quanto aos parâmetros temperatura, OD, DBO, turbidez, sólidos totais e dissolvidos, coliformes totais e termotolerantes, fósforo, surfactantes aniônicos, nitrogênio total e amônia concluíram que os estados mais degradados do curso d' água ocorreram em regiões urbanizadas, principalmente em decorrência do lançamento de esgotos.

O impacto na qualidade da água pelo uso e ocupação do solo pode ser avaliado de maneira espacial com auxílio da técnica estatística denominada Análise de Agrupamentos (Análise de Cluster), uma ferramenta que permite uma análise exploratória, agrupando as estações de monitoramento com características da água semelhantes, auxiliando na identificação das fontes de poluição. Bu *et al.*, (2010) avaliaram variações temporais e espaciais da qualidade da água do rio Jinshui na China por um período de três anos. A análise formou três agrupamentos de acordo com a qualidade da água, considerando: baixa poluição, poluição moderada e altos níveis de poluição. O grupo 1 mostrou a melhor qualidade, o que é justificado pelo uso e ocupação do solo por florestas. O grupo 2 apresentou uma qualidade moderada, sendo as áreas com baixa ocupação humana e poucas terras agrícolas. O grupo 3 evidenciou a pior qualidade, sendo suas áreas com extensas terras agrícolas e alta densidade populacional.

Os parâmetros da qualidade da água podem refletir as características de ocupação da bacia, por atividades agrícolas, industriais, urbanas, dentre outras. Em sistemas agrícolas as perdas de nutrientes pela erosão hídrica apresentam características diferentes, devido ao tipo de cultura, aos fertilizantes que são aplicados, à época do ano que ocorre o preparo do solo e à colheita. Ressalta-se, ainda, que esta contribuição pela erosão hídrica pode ser intensificada nas épocas de chuvas (CETESB, 2005).

Parron (2007), ao avaliar a qualidade da água da bacia do rio Preto no Médio São Francisco, em regiões irrigadas, verificou que em épocas de seca a concentração de nutrientes tende a ser maior, em virtude da baixa pluviosidade e altas taxas de evaporação, o que ocasiona um menor volume de água nos cursos d' água acarretando maior concentração dos nutrientes. Vanzela (2004) também verificou que em épocas de seca, com exceção dos sólidos suspensos e oxigênio dissolvido, houve uma diminuição da qualidade de água da microbacia do córrego Três Barras em São Paulo.

A avaliação dos impactos ambientais da agricultura irrigada é essencial para promover o entendimento dos processos de degradação dos recursos naturais, bem como no delineamento de medidas corretivas que permitam auferir, ao máximo, benefícios sociais com o mínimo de danos ambientais (RODRIGUES e IRIAS, 2004).

### **3.2 Perímetros Irrigados – Norte de Minas Gerais**

O Brasil possui uma das mais vastas e densas redes de drenagem fluvial do mundo, possuindo mais de 12% da água potável do globo. Entretanto essa distribuição não é uniforme, tendo em vista que 78% das águas brasileiras estão localizadas na região Amazônica, a qual corresponde a 54,5% do território nacional, abrigando 5% da população. Os 22% restantes estão localizados nas demais regiões do país que concentram 95% da população (TUNDISI, 1999)

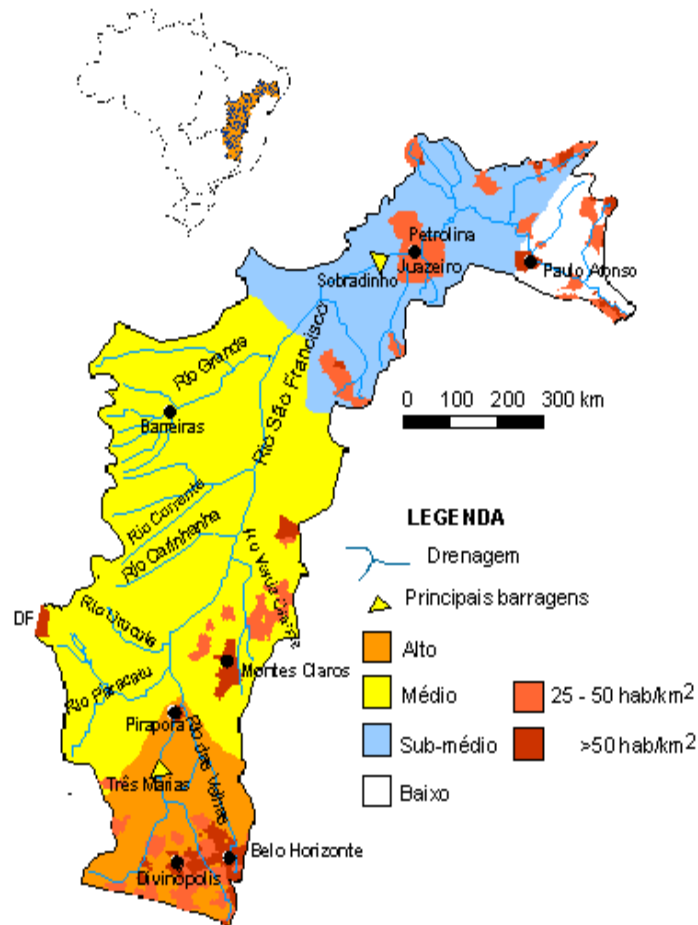
Assim, considerando-se as diferenças socioeconômicas regionais, os recursos naturais e as condições edafoclimáticas, a distribuição das áreas irrigadas no Brasil ocorre de forma desigual e segundo as capacidades regionais. É o caso, por exemplo, da cultura arrozeira irrigada na região Sul, grãos e cereais nas regiões Sudeste e Centro-Oeste e, ultimamente, crescimento da fruticultura irrigada na região Nordeste e Norte de Minas Gerais. Deste modo, o Brasil possui aproximadamente 5% da área cultivada irrigada, respondendo por 16% da produção total (PAZ *et al.*, 2000).

Uma das regiões ocupada pela agricultura no Brasil é a bacia do São Francisco, região muito importante para os estados de Minas Gerais e Nordeste devido, principalmente, a atividades econômicas como geração de energia, desenvolvimento da agricultura irrigada, navegação e piscicultura (MANETA *et al.*, 2009).

A bacia hidrográfica do rio São Francisco abrange 639.219 km<sup>2</sup> de área de drenagem (7,5% do país) e vazão média de 2.850 m<sup>3</sup>/s (2% do total do país). O rio São Francisco tem 2.700 km de extensão e nasce na Serra da Canastra em Minas Gerais, escoando no sentido sul-norte pela Bahia e Pernambuco, quando altera seu curso para este, chegando ao Oceano Atlântico através da divisa entre Alagoas e Sergipe. A Bacia engloba sete unidades da federação - Bahia (48,2%), Minas Gerais (36,8%), Pernambuco (10,9%), Alagoas (2,2%), Sergipe (1,2%), Goiás (0,5%), e Distrito Federal (0,2%) abrangendo 504 municípios, o que corresponde 9% do total de municípios do país (MMA, 2010).

Devido à sua extensão e diferentes ambientes percorridos, a bacia está dividida em 4 regiões: Alto São Francisco - das nascentes até a cidade de Pirapora (111.804km<sup>2</sup> - 17,5% da região); Médio São Francisco - de Pirapora até Remanso (339.763km<sup>2</sup> - 53% da região); Sub-Médio São Francisco - de Remanso até Paulo Afonso (155.637km<sup>2</sup> - 24,4% da região); e o Baixo São

Francisco - de Paulo Afonso até sua foz (32.013km<sup>2</sup> - 5,1% da região), conforme apresentado na FIG. 3.2.



**Figura 3-2** – Representação das quatro regiões do rio São Francisco.  
 Fonte: Comitê da bacia hidrográfica do rio São Francisco, 2011

Cerca de 16,14 milhões de pessoas (9,5% da população do país) habitam a bacia hidrográfica do rio São Francisco, com maior concentração no Alto (56%) e Médio São Francisco (24%). A população urbana representa 77% da população total e a densidade populacional é de 22 hab/km<sup>2</sup>. Nas demais regiões, observa-se percentual de população da ordem de 10% no Sub-Médio e no Baixo São Francisco. Os dados referentes à população urbana e rural, e taxa de urbanização estão apresentados na TAB. 3.1:



**Tabela 3-1 - População urbana e rural, e taxa de urbanização da bacia do rio São Francisco**

Sub-bacia	População (hab)			Urbanização (%)
	Urbana	Rural	Total	
Alto	6.461.510	269.230	6.730.740	96
Médio	2.814.511	2.302.782	5.117.293	55
Sub-médio	1.375.230	1.080.538	2.455.768	56
Baixo	901.713	938.518	1.840.231	49
Total	11.552.964	4.591.068	16.144.032	77

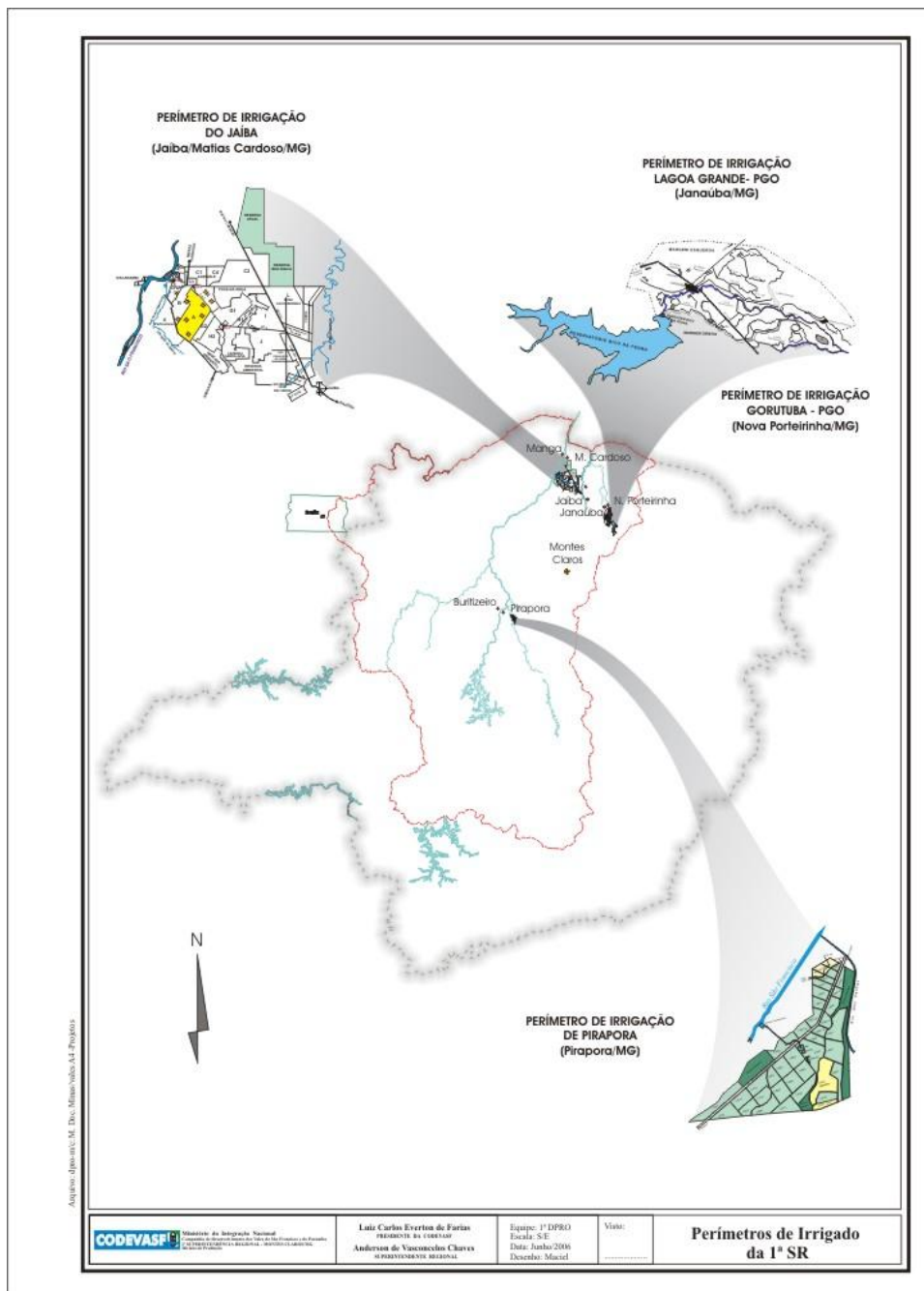
Fonte: MMA, 2010

O desenvolvimento da irrigação na região iniciou-se na década de 60 pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba - CODEVASF, com a implantação de perímetros irrigados na bacia com intuito de promover o desenvolvimento regional. A FIG. 3.3 mostra as áreas irrigadas implantadas na bacia hidrográfica do rio São Francisco.



**Figura 3-3** - Áreas irrigadas implantadas na bacia hidrográfica do rio São Francisco.  
 Fonte: ANA [2003]

Um dos polos de implantação dos perímetros irrigados foi o Norte de Minas Gerais com a instalação dos projetos Gorutuba/Lagoa Grande, Pirapora e Jaíba conforme FIG. 3.4. Esses projetos, com exceção do Pirapora, estão inseridos na região do Médio São Francisco, sendo as principais fontes hídricas o rio Gorutuba e o rio São Francisco.



**Figura 3-4** - Localização dos perímetros irrigados no norte de Minas Gerais.  
 Fonte: Codevasf, [197-?]

A estrutura produtiva dos perímetros de irrigação do Norte de Minas, principalmente no Projeto Jaíba, inicialmente foi de culturas tradicionais. A partir do início dos anos 80, houve direcionamento para o cultivo de frutas e hortaliças (RODRIGUES, 2001). O cultivo de banana é a principal cultura da região, com destaque para a banana-anã (NUNES *et al.*, 2008; VIDAL e EVANGELISTA, 2006).

A plantação da banana abrange os municípios de Montes Claros, Capitão Enéas, Janaúba, Nova Porteirinha, Porteirinha, Jaíba, Manga, Januária e áreas circunvizinhas, ocupando uma área de aproximadamente 16 mil ha, dos quais 73% correspondem ao plantio da banana irrigada (VIEIRA *et al.*, 2009).

A banana (*Musa sp*) é uma planta exigente em nutrientes, o seu cultivo demanda grandes quantidades para manter bom desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. O potássio e o nitrogênio são os mais absorvidos e os que mais participam de funções essenciais ao crescimento e produção da bananeira. A bananeira, apesar de absorver grande quantidade de nutrientes, 66% da massa vegetativa produzida na colheita retornam ao solo, em forma de pseudocaules, folhas e rizoma (EMBRAPA, 2011).

Os solos deficientes em nutrientes necessitam da aplicação de fertilizantes e calcário. Segundo a ECOPLAN (2007), na região dos perímetros irrigados são aplicados fertilizantes minerais e orgânicos. Em algumas áreas dos perímetros como a fazenda Arco Verde localizada no perímetro de irrigação Jaíba, utiliza apenas adubo orgânico na cultura de banana.

Os principais sistemas de irrigação utilizados nesses perímetros são aspersão convencional, microaspersão, pivô central, gotejamento e sulcos (CODEVASF, 2011).

O sistema de aspersão convencional é caracterizado pelo uso de tubulações em linhas principais e laterais, que emitem jatos d' água que caem na cultura como se fosse chuva. Ele pode ser fixo, semi-fixo ou portátil. No fixo as linhas principais e as laterais permanecem na mesma posição durante a irrigação da área e as tubulações podem ser enterradas. Já nos sistemas semifixos, as linhas principais são fixas (geralmente enterradas) e as linhas laterais são movidas ao longo das linhas principais. Nos sistemas portáteis, tanto as linhas principais quanto as laterais são móveis. Em suma, esse método é recomendado para áreas pequenas (ANDRADE e BRITO, 2006).

Os microaspersores são fixados ao solo ou ficam suspensos em arames, aplicando jatos de água próximos às raízes das culturas (CONCEIÇÃO, 2004). Este sistema possui vantagens como maior controle fitossanitário, economia de água e energia e fertirrigação.

O sistema de irrigação por pivô central é um método automatizado que consiste em uma linha móvel de aspersão sustentado por torres metálicas que recebe em seu centro (pivô) uma

tubulação que asperge água sobre a plantação em áreas circulares de até 200 hectares. A área irrigada aumenta à medida que se afasta do pivô e, para uma aplicação uniforme de água, é necessária uma maior vazão por unidade de comprimento. Esse sistema é bastante aceito devido aos seguintes fatores: necessidade mínima de mão-de-obra, simplicidade de operação, adaptação em terrenos planos e ondulados e aplicação de fertilizantes juntamente com a água. Entretanto apresenta desvantagens como: restrição da aplicação de água em áreas retangulares, inviabilidade de operação em áreas com declives acima de 20% e a necessidade do solo apresentar taxa de infiltração de água compatível com a intensidade de precipitação máxima do pivô (CARVALHO e BATISTA, 2007).

Os solos presentes na região são latossolos, argissolos, cambissolos, vertissolos, neossolos flúvicos, neossolos litólicos e neossolos quartzarênicos (RESENDE *et al.*, 1970; EPAMIG, 1976). Em relação aos aspectos geológicos, na região compreendida entre os rios São Francisco, Verde Grande e Gorutuba, predominam rochas carbonáticas do domínio geológico do Grupo Bambuí, seguido pela Formação Paraopeba (RIBEIRO *et al.*, 2009).

O clima da área é tropical úmido de savana, caracterizado por uma estação seca acentuada no inverno. A temperatura média anual é de 26°C, sendo a temperatura máxima em outubro e mínima em junho. A precipitação média anual é de 974,8 mm, distribuída de forma irregular, sendo que nos meses de outubro a março concentra-se aproximadamente 81% do total precipitado (ECOPLAN, *et al.*, 1988).

A cobertura vegetal da região é representada por floresta perenifólia/subperenófolia, floresta mesófolia (mata seca) e caatinga hiperxerofólia. Essas formações florestais apresentam-se parcialmente degradadas, com exceção da caatinga hiperxerofólia que ocorre em áreas com solos não agricultáveis (SIMÃO *et al.*, 2009).

### **3.2.1 Projeto Jaíba**

O Projeto Jaíba está localizado no norte de Minas Gerais, em uma área denominada Mata da Jaíba, entre os rios São Francisco e Verde Grande, abrangendo os municípios de Jaíba, Manga, Matias Cardoso e Verdelândia, na região do Médio São Francisco. A sua concepção teve como objetivos a diminuição das desigualdades socioeconômicas da região, ampliação da fronteira agrícola, aumento da renda média dos trabalhadores locais e criação de polo agropecuário para abastecer parte da região sudeste. A área foi escolhida por ser uma das

regiões mais pobres do estado, bem como por ser banhada pelo rio São Francisco (SILVA *et al.*, 2010).

As primeiras iniciativas governamentais de ocupação planejada da região foram tomadas na década de 50, com os estudos realizados pelo *Bureau of Reclamation* dos Estados Unidos, que identificou uma área com potencial para a agricultura irrigada em uma região denominada Mata da Jaíba, entre os rios São Francisco e Verde Grande (DIJ, 2011).

Nessa época havia na região o Núcleo de Colonização Rio Verde Grande, com aproximadamente 200 agricultores ocupando uma área de 310 mil hectares de terra. Segundo Silva (2006), esse núcleo se formou a partir de projetos de colonização do extinto INIC (Instituto Nacional de Colonização e Irrigação), mas não obteve sucesso devido à distância do centro administrativo-político de Minas Gerais, falta de apoio técnico e clima impróprio para a agricultura. Apesar do insucesso da primeira tentativa de colonização, essa região passou a dispor de uma infraestrutura básica instalada, a qual possibilitou, posteriormente, o planejamento de ações mais concretas diretamente ligadas a essa região.

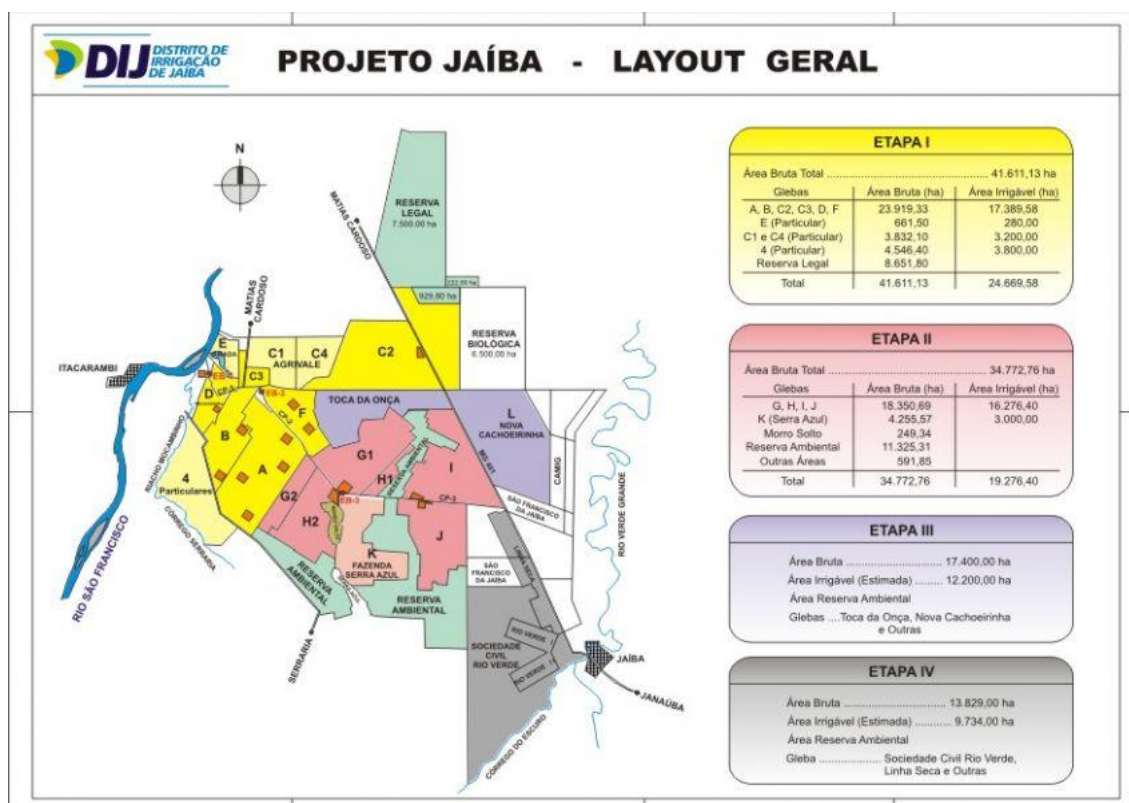
As discussões referentes ao projeto se iniciaram novamente na década de 70, quando o governo de Minas Gerais, por meio da RURALMINAS, determinou a reformulação do antigo Núcleo de Colonização do Rio Verde Grande, bem como a implantação de um projeto piloto de irrigação, numa área inicial de 5.680 hectares, envolvendo a região de Mocaminho (DIJ, 2011). Devido à importância do projeto para o desenvolvimento socioeconômico do norte de Minas, o governo federal, por meio da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e Parnaíba (CODEVASF), tornou-se parceira do empreendimento com a contratação de um empréstimo junto ao Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD), para a execução das obras de infraestrutura coletiva de irrigação (SILVA, 2006). O Banco Mundial investiu recursos no projeto e na década de 90 investimentos estaduais, decorrentes de financiamento junto ao *Japan Bank for International Cooperation* (JBIC), também foram incorporados.

O início da operação do projeto com instalação das primeiras famílias de irrigantes ocorreu no final da década de 80. Nessa mesma época foi fundado o Distrito de Irrigação de Jaíba – DIJ, órgão formulado nos moldes do Distrito de Irrigação da Califórnia – EUA. O DIJ é uma instituição de caráter privado, sem fins lucrativos, composto por representantes dos irrigantes,

dos empresários proprietários de lotes, da CODEVASF e da RURALMINAS, com a finalidade de administrar toda a área irrigada na Etapa I (SANTOS e SILVA, 2009).

O Projeto Jaíba foi concebido para ser implantado em quatro etapas, ocupando uma área total de 100.000 ha, sendo 67.000 ha de área irrigada. Apenas a Etapa I está concluída, ocupando uma área total de 41.611 ha, sendo 24.669 ha de área irrigável, 8.651,80 ha de área de reserva legal e o restante da área utilizada para infraestrutura (não-irrigável). Ressalta-se que 70% dos lotes da Etapa I são ocupados por pequenos agricultores em área de cinco hectares (CODEVASF *apud* SILVA, 2006).

Segundo DIJ (2011) a Etapa II atingirá uma área aproximada de 34.700 ha, e estão previstos o assentamento de pequenos e médios produtores em áreas de 10, 25,64 e 90 ha. Já as Etapas III e IV têm, respectivamente, 17.000 ha e 15.800 ha. A FIG. 3.5 apresenta o *layout* geral do Projeto Jaíba. Como mencionado anteriormente, apenas a Etapa I foi concluída, a Etapa II encontra-se em processo de ocupação, na etapa III foram concluídos os estudos de viabilidade e a etapa IV encontra-se em fase de planejamento (CODEVASF, 2011).



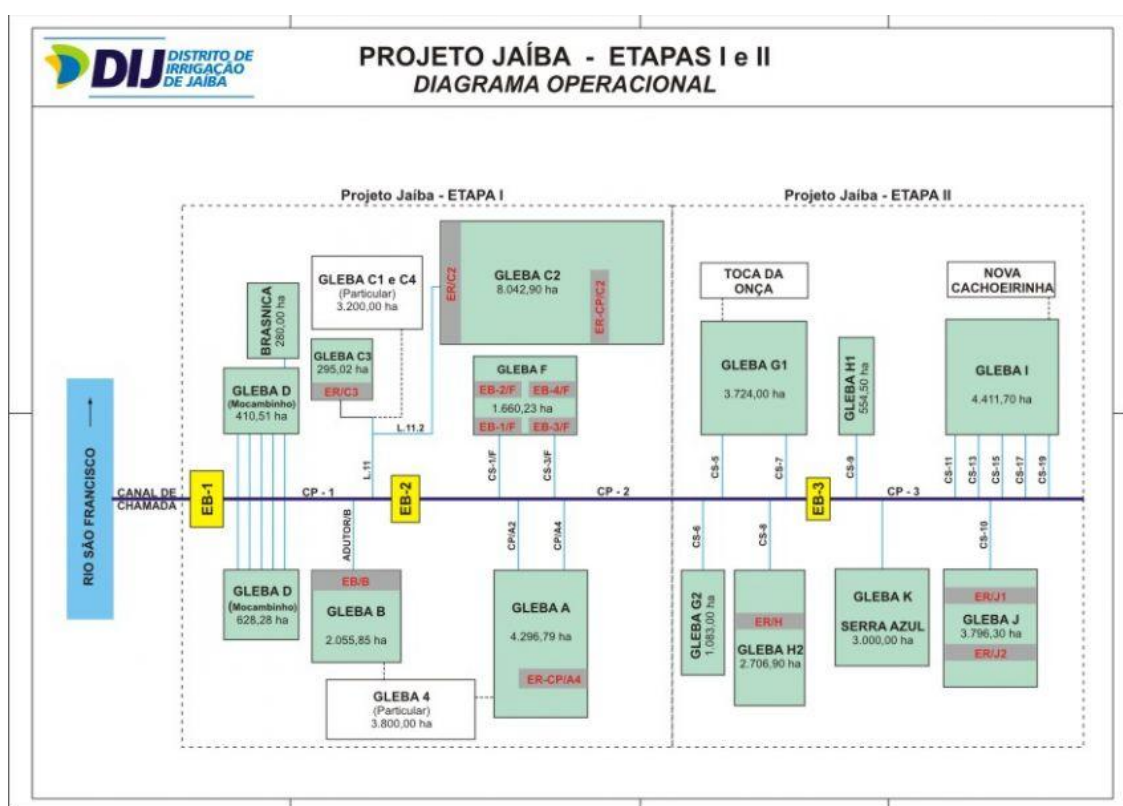
**Figura 3-5 - LAYOUT Geral do Projeto Jaíba.**

Fonte: Projeto Jaíba, 2011



A infraestrutura do projeto é composta por 163 km de canais, 385 km de adutoras, 533 km de estradas, 3 km de drenos e estações de bombeamento. A principal estação é a EB1, que capta água diretamente no rio São Francisco através de um canal com 1.200 m de extensão. (CODEVASF, 2011).

O sistema hidráulico principal, conforme demonstrado na FIG. 3.6, possui uma capacidade de 80 m<sup>3</sup>/s, projetado para abastecimento nas Etapas I e II. Na estação de bombeamento 1, (EB1), conforme FIG. 3.7, estão instaladas nove bombas, com um total de 16.785 kW e capacidade para 65 m<sup>3</sup>/s; na estação de bombeamento 2 (EB2), estão instaladas seis bombas, com um total de 4.686 kW e capacidade para rebombar 18,7 m<sup>3</sup>/s (CODEVASF, 1999).



**Figura 3-6 – Diagrama de distribuição de água do Projeto Jaíba para as etapas I e II.**  
Fonte: DIJ (2011)





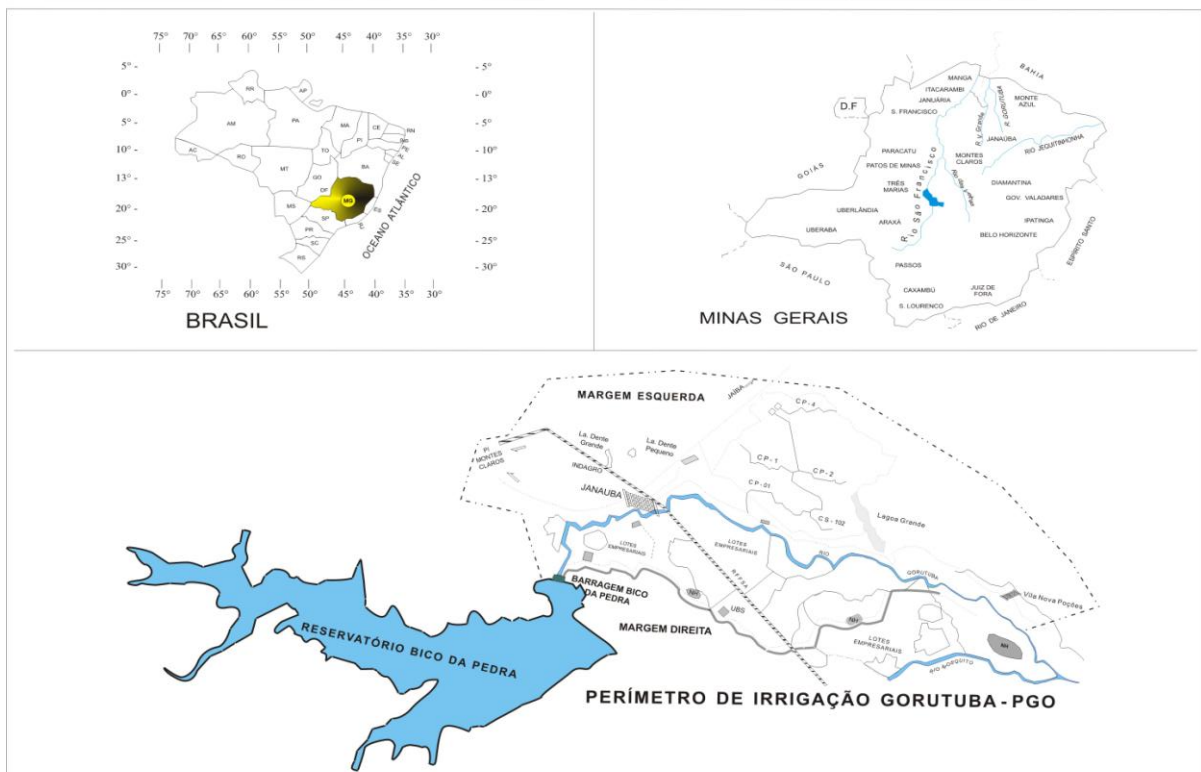
**Figura 3-7** – Estação de bombeamento 1, captando água diretamente no rio São Francisco.  
Fonte: SILVA, 2006

Os sistemas de irrigação predominantes no Jaíba são: aspersão convencional, pivô central, microaspersão e gotejamento. No cultivo de milho, o terceiro maior em área plantada na região do Projeto Jaíba, utiliza-se o sistema de irrigação por pivô central, enquanto que os outros cultivos que ocorrem na área representam menos de 25% da área total plantada e, normalmente, utilizam os tipos de sistema de irrigação de microaspersão e gotejamento. Algumas culturas praticadas são das frutas maracujá, abacaxi, goiaba, tangerina, laranja, manga, uva, limão, abacate, pinha e tomate. Destaca-se que a plantação de tomate utiliza predominantemente o pivô central como sistema de irrigação e a banana, a microaspersão (ECOPLAN, 2007).

Em decorrência da área destinada à plantação, bem como a infraestrutura instalada, o Projeto Jaíba, quando concluído, será o maior projeto de irrigação da América Latina (SILVA, 2006).

### **3.2.2 Projeto Gorutuba/Lagoa Grande**

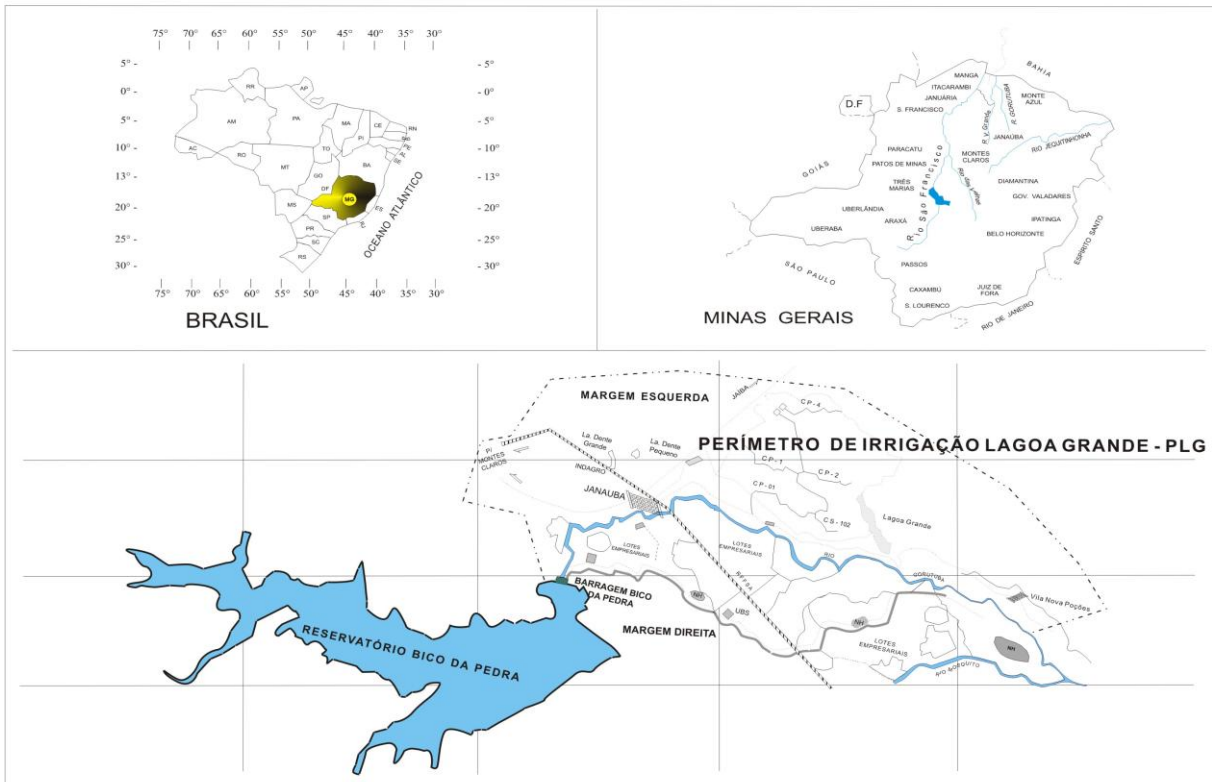
O perímetro de irrigação Gorutuba, conforme mostrado na FIG. 3.8, localiza-se no município de Nova Porteirinha, na margem direita do rio Gorutuba, na região do Médio São Francisco. O início da operação ocorreu em 1978, ocupando atualmente uma área de 5.286 ha, com 127 km de canais, 320 km de estrada, 136 km de drenos e uma estação de bombeamento. O perímetro encontra-se plenamente ocupado. A área irrigável está distribuída em 3.044 ha com 430 lotes de pequenos irrigantes, 2.242 ha com 51 lotes de empresas (CODEVASF, 2011).



1ª DPL / DPLA

**Figura 3-8 – Localização do perímetro irrigado de Gorutuba.**  
Fonte: CODEVASF [197-?]

O perímetro de irrigação de Lagoa Grande localiza-se no município de Janaúba, no Médio São Francisco, na margem esquerda do rio Gorutuba, conforme FIG. 3.9. O início da operação ocorreu em 1988. O projeto ocupa uma área irrigada de 1538 ha, dotada de uma infraestrutura composta por 24 km de canais, 22 km de estradas e duas estações de bombeamento. Ressalta-se que não é considerado um projeto público como o Gorutuba, pois é ocupado somente por empresários (CODEVASF, 2011).



1ª DPL / DPLA

**Figura 3-9 – Localização do perímetro irrigado de Lagoa Grande.**  
Fonte: Codevasf, [197-?]

A fonte hídrica desses perímetros é o rio Gorutuba, que tem sua vazão regularizada pela barragem bico de Pedra, a qual possui um volume de água acumulado de 705,6 milhões de metros cúbicos de água e uma vazão de irrigação de  $6 \text{ m}^3 / \text{s}$  (CODEVASF, 1999) O rio Gorutuba é afluente do rio Verde Grande que deságua no rio São Francisco.

Segundo Nunes (2003), o sistema de irrigação utilizado no perímetro Gorutuba pelos pequenos irrigantes é predominantemente por sulcos, seguido de aspersão convencional e microaspersão. Já os empresários utilizam primeiramente aspersão convencional, seguida de sulcos, microaspersão e gotejamento. No Projeto Lagoa Grande predomina o sistema de microaspersão.

As principais culturas no Gorutuba são banana, manga, feijão e mamão, enquanto no perímetro de Lagoa Grande ocorre a predominância da fruticultura, com destaque também para a banana, presente em mais de 80% da área cultivada do perímetro, seguida dos cultivos

de manga, limão e caju (CODEVASF, 2011). No Gorutuba, a plantação de banana corresponde aproximadamente 50% da área cultivada (ALMEIDA e SCWAZBOLD, 2003).

## 4 METODOLOGIA

A área de interesse no presente estudo compreende os perímetros irrigados implantados no Norte de Minas Gerais, localizados na porção mineira do Médio São Francisco. Os perímetros irrigados são Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba, que utilizam como fonte hídrica o rio Gorutuba e rio São Francisco, ambos pertencentes à bacia hidrográfica do rio São Francisco. Todas as informações referentes a estas áreas estão presentes no item 3.2 da Revisão da Literatura.

### 4.1 *Origem dos dados*

Para este estudo foram utilizados dados secundários disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM e Sistema de Informações Hidrológicas -HIDROWEB. A rede de monitoramento de qualidade de água presente na região das sub-bacias do rio Verde Grande, Riachão, Jequitaiá, Projeto Jaíba e municípios de Verdelândia, Varzelândia e Montes Claros é composta por aproximadamente setenta estações de monitoramento (CODEVASF e IGAM, 2005; IGAM, 2006). As estações de monitoramento presentes na bacia do Riachão, Jequitaiá e no município de Montes Claros não foram selecionadas, pois não contemplam os perímetros irrigados do presente estudo. Destaca-se que os pontos de monitoramento presentes em lagoas e em barramentos também não foram considerados, pois o estudo pretende avaliar apenas o impacto em ambientes lóticos. Da mesma forma, os pontos de monitoramento localizados em canais de irrigação não foram selecionados, pois permitiriam analisar apenas a qualidade da água que é utilizada na irrigação Assim, foram consideradas relevantes para o presente estudo apenas nove estações de monitoramento que estão localizadas na área de inserção dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba. A TAB. 4.1 descreve a localização, considerando a bacia, sub-bacia, curso d'água e município, a TAB. 4.2 apresenta a descrição das estações de monitoramento instaladas na região dos perímetros irrigados e a TAB.4.3 apresenta as coordenadas geográficas das estações.

**Tabela 4-1 – Localização das estações de monitoramento instaladas na área de inserção dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba**

<b>Estação</b>	<b>Bacia</b>	<b>Sub-bacia</b>	<b>Curso D'água</b>	<b>Município</b>
SFJ12	Rio São Francisco	Rio São Francisco	Rio São Francisco	Itacarambi / Jaíba
SFJ13	Rio São Francisco	Rio São Francisco	Rio São Francisco	Matias Cardoso
SFJ14	Rio São Francisco	Rio São Francisco	Rio São Francisco	Jaíba
SFJ20	Rio São Francisco	Rio Verde Grande	Rio Verde Grande	Verdelândia
SFC110	Rio São Francisco	Rio Verde Grande	Rio Verde Grande	Jaíba
SFC240	Rio São Francisco	Rio São Francisco	Rio São Francisco	Manga
SFC107	Rio São Francisco	Rio Verde Grande	Rio Verde Grande	Verdelândia
VG011	Rio São Francisco	Rio Verde Grande	Rio Verde Grande	Manga
VG007	Rio São Francisco	Rio Verde Grande	Rio Gorutuba	Janaúba

Fonte: IGAM (2006)

**Tabela 4-2 – Descrição das estações de monitoramento localizadas na área de inserção dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba**

<b>Ponto</b>	<b>Descrição</b>
SFJ12	Rio São Francisco, a montante da foz do córrego da Serraria. A região de abrangência é o Projeto Jaíba, com áreas de culturas.
SFJ13	Rio São Francisco, na altura do Parque Estadual da Lagoa do Cajueiro. A região de abrangência é o 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. A área de abrangência é o 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. A área de abrangência é o Projeto Jaíba, mas o ponto está inserido em áreas predominantemente urbanizadas. Ressalta-se que a cidade de Jaíba tem ETE que atende aproximadamente 30% da população (SIAM, 2011).
SFC240	Rio São Francisco a jusante da cidade de Manga e a montante da foz do rio Verde Grande. A área de abrangência é o Projeto Jaíba, com áreas de culturas e proximidade com o núcleo urbano
SFC107	Rio Verde Grande a jusante do rio Arapويم e a montante da cidade de Verdelândia. A área de abrangência é áreas agrícolas no entorno do Projeto Jaíba.
VG011	Rio Verde Grande a jusante da confluência com o rio Gorutuba. A área de abrangência é o Projeto Jaíba, com área de cultura
VG007	Rio Gorutuba a jusante da cidade de Janaúba e da barragem da ASSIEG. A área de abrangência é o Projeto Gorutuba/Lagoa Grande, com área de cultura e proximidade ao núcleo urbano. Ressalta-se que a cidade de Janaúba tem ETE que atende aproximadamente 39.5% da população (SIAM, 2011).

Fonte:IGAM , 2006 (adaptado)

**Tabela 4-3** – Coordenadas geográficas das estações de monitoramento.

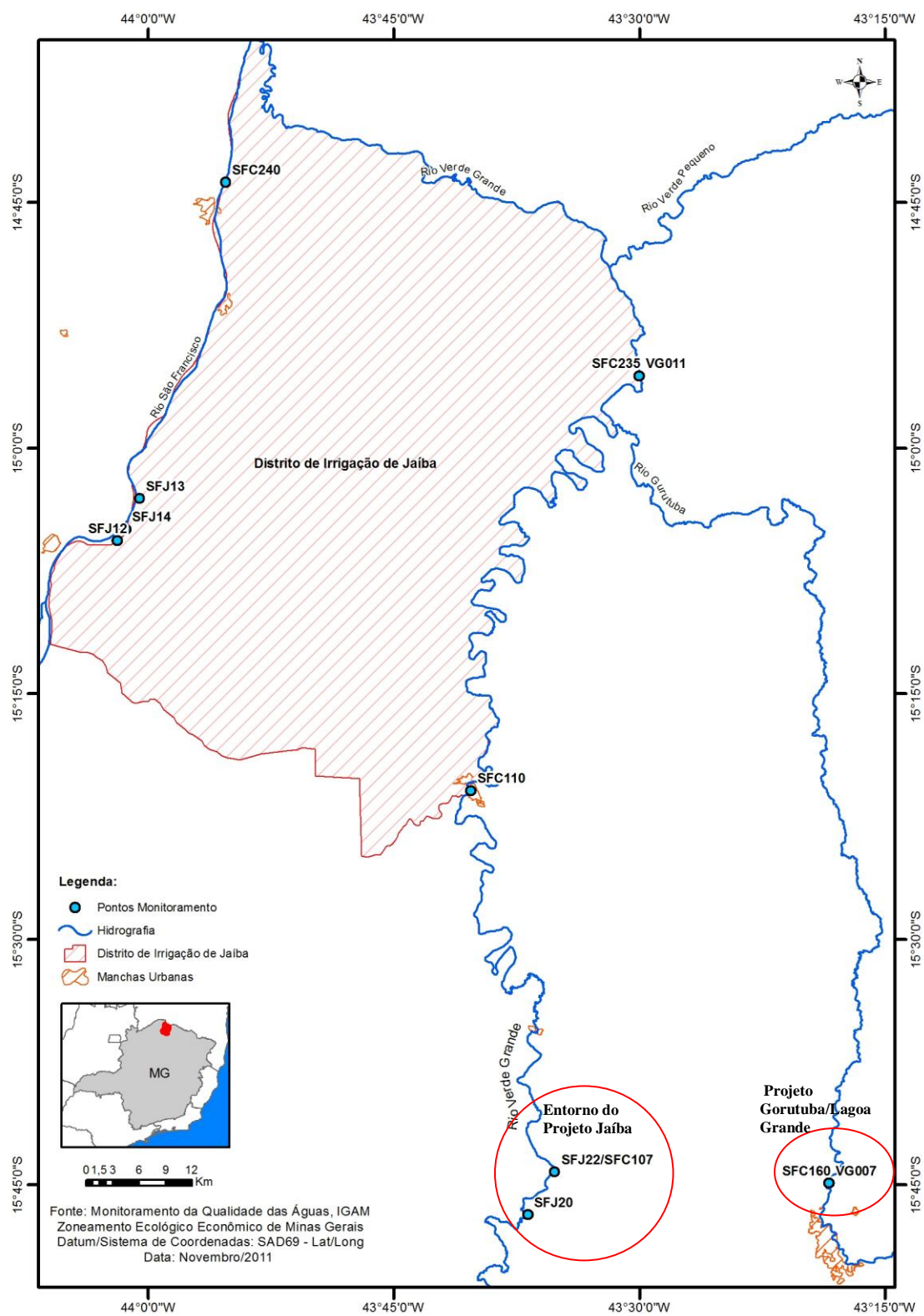
<b>Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
SFJ12	-15°05'39,30"	-44°01'52,50"
SFJ13	-15°03'04,20"	-44°00'30,40"
SFJ14	-15°04'57,20"	-44°01'21,50"
SFJ20	-15°46'49,60"	-43°36'49,30"
SFC110	-15°20'55,00"	-43°40'18,00"
SFC240	-14°43'45,00"	-43°55'15,00"
SFC107	-15°44'13,20"	-43°35'10,30"
VG011	-14°55'35,00"	-43°30'01,00"
VG007	-15°44'54,00"	-43°18'25,00"

Fonte: IGAM, 2006

O período de monitoramento, utilizado no presente estudo, foi de 5 anos (2006 a 2010) para as estações SFJ12, SFJ13, SFJ14 e SFJ20, de 14 anos (1997 a 2010) para as estações SFC110, SFC240, VG007 e VG011 e de 6 anos (2005 a 2010) para a estação SFC107.

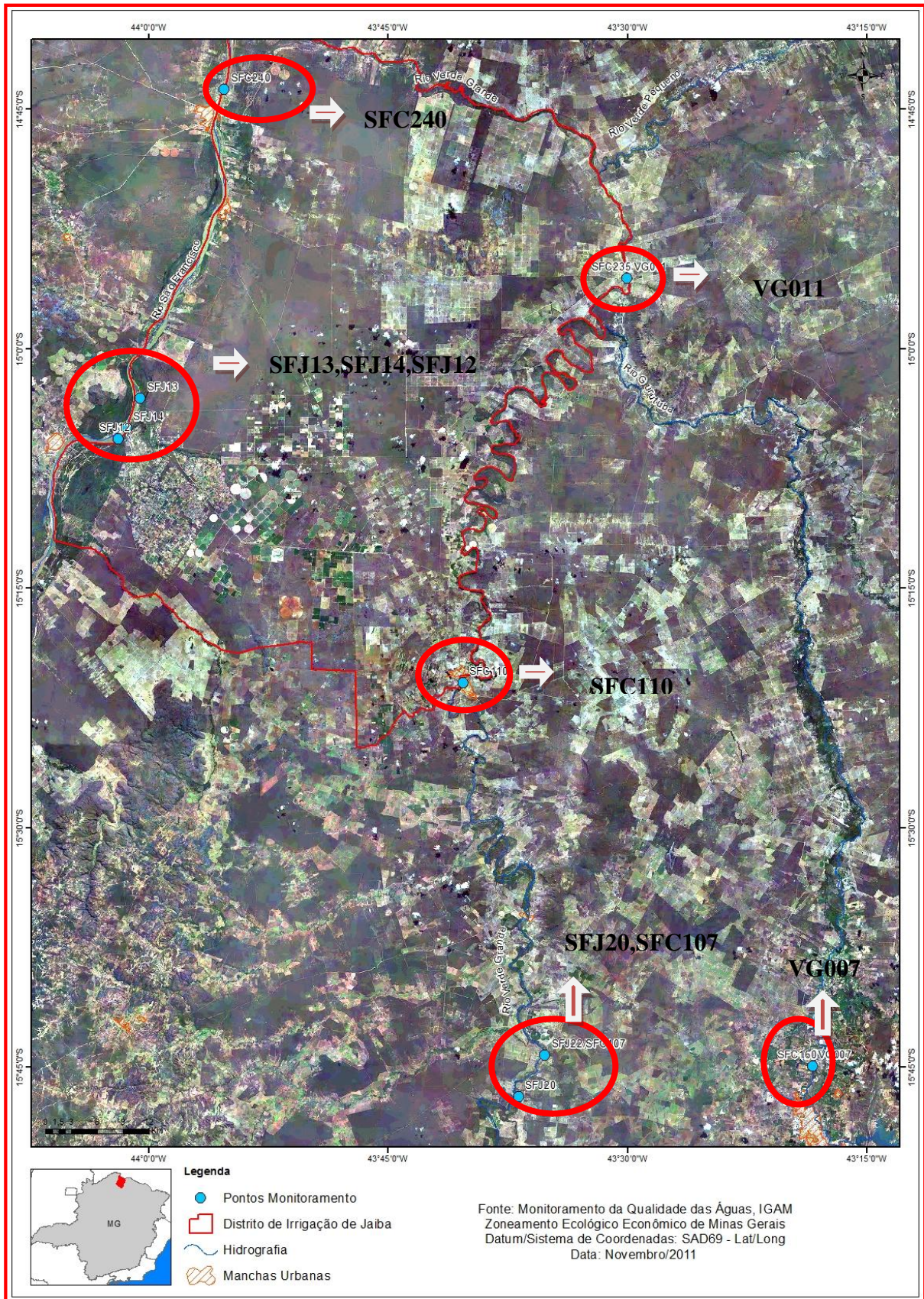
As coletas foram realizadas pelo CETEC e tiveram uma frequência trimestral, totalizando quatro campanhas anuais por estação. As campanhas foram realizadas nas estações chuvosa e de seca, considerando os períodos determinados em BARBIERI (2005), que analisou os dados diários de precipitação das regiões sul e sudeste do Brasil entre os anos de 1981 a 1996, concluindo que a estação chuvosa inicia-se no mês de outubro e termina no mês de março. Os meses de janeiro/fevereiro/março, outubro/novembro/dezembro correspondem à estação chuvosa, enquanto os meses de abril/maio/junho, julho/agosto/setembro correspondem à estação seca.

As FIG. 4.1 e 4.2 mostram a localização das estações de monitoramento sendo que seis estações estão localizadas na área de abrangência do Projeto Jaíba, duas no entorno do Projeto Jaíba e uma localizada na área de abrangência do Gorutuba/Lagoa Grande. A FIG. 4.2 apresenta um maior detalhamento da região, com destaque para os usos e ocupação do solo.



**Figura 4-1** - Localização das estações de monitoramento na área de abrangência dos perímetros irrigados. Fonte:IGAM (2006)





**Figura 4-2 – Localização das estações de monitoramento na área de abrangência dos perímetros irrigados, com destaque para os usos e ocupação do solo .**



Os parâmetros selecionados para avaliar a qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Francisco foram: cálcio total, cloreto total, coliformes termotolerantes, condutividade elétrica, Demanda Química de Oxigênio (DQO), alcalinidade total, cor verdadeira, dureza total, fósforo total, nitrato, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão. A seleção desses parâmetros considerou estudos de avaliação de impactos ligados à agricultura (LUCAS, 2007; OLIVEIRA, 2009; PARRON *et al.*, 2007.; ARCOVA e CICCIO, 1999; DONADIO *et al.*, 2005; QUEIROZ *et al.*, 2010). Outro fator considerado foi a quantidade de dados disponibilizados já que, para alguns parâmetros, o número era insuficiente para permitir qualquer análise.

Em relação à vazão, foram utilizadas as informações disponibilizadas pelo HIDROWEB (2011). Para o rio São Francisco e Verde Grande foram usados os dados referentes à média mensal da vazão no período de 1997 a 2010. Já para o rio Gorutuba, não foi possível a obtenção desses dados. A TAB. 4.3 mostra o nome da estação, a localização e o órgão responsável pela operação da estação de monitoramento de vazão.

**Tabela 4-4 – Relação das estações de monitoramento de vazão**

Estação	Bacia	Curso d'água	Município	Operadora
44500000	Rio São Francisco	Rio São Francisco	Manga	CPRM
44670000	Rio São Francisco	Rio Verde Grande	Jaíba	CPRM

Fonte: HIDROWEB, 2011

## **4.2 Análise Preliminar dos parâmetros amostrados nas estações de amostragem.**

Os dados referentes aos parâmetros físico-químicos estudados para os perímetros irrigados localizados na porção mineira do Médio São Francisco foram analisados, inicialmente, para verificação da presença de *outliers*, ou seja, observações que são substancialmente diferentes das outras, que apresentam valores extremos. A ocorrência desses valores pode indicar características reais da população em estudo ou erros de medição que podem distorcer seriamente os resultados dos testes estatísticos. Assim, com o intuito de evitar distorções nos resultados, todas as ocorrências foram analisadas individualmente para a verificação da necessidade de sua exclusão ou não.

Existem vários métodos de identificação de *outliers* e, dentre eles, um amplamente utilizado é a detecção por meio da amplitude interquartis, representada por  $AIQ$ , que é dada pela diferença entre  $Q_3$  e  $Q_1$ , respectivamente, o primeiro e o terceiro quartis. Assim, no presente estudo, foi considerado *outlier* superior todo dado superior a  $(Q_3+1,5AIQ)$  e, analogamente, *outlier* inferior todo valor menor que  $(Q_1-1,5AIQ)$  (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

Após a determinação dos *outliers*, cada dado foi analisado individualmente para verificação da necessidade ou não de sua exclusão. Em seguida, foi calculada a estatística descritiva para cada ponto de monitoramento, considerando número de dados, médias aritmética e geométrica, mediana, desvio padrão, percentis de 10 e de 90%, para cada estação e os resultados apresentados na forma de tabelas permitindo uma visualização da variabilidade em cada ponto.

A normalidade dos dados foi verificada utilizando os testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov, Shapiro Wilk e o teste gráfico “Normal Probability Plot”, executados pelo pacote estatístico Statistica 6.1.

### **4.3 Classificação multivariada das estações**

Uma avaliação comparativa para identificar diferenças significativas dos parâmetros físico-químicos foi realizada entre as nove estações de monitoramento, utilizando um teste multivariado.

Foi realizada uma Análise de Agrupamentos (Cluster) com intuito de evidenciar os grupos de pontos de monitoramento similares, considerando as características físico-químicos das estações de amostragem, a partir da avaliação dos parâmetros selecionados.

A execução desta análise foi realizada utilizando o “software” Statistica 6.1, que se constituiu das seguintes etapas:

- Padronização dos dados, necessária devido aos diferentes tipos de escala. A padronização dos dados consiste na conversão de cada variável em escores padrão (também conhecidos como escores Z). Essa conversão ocorre pela subtração da média e divisão pelo desvio-padrão para cada variável:

$$\text{Valor padronizado} = \frac{X - \bar{X}}{S_x}$$

Assim, cada variável inicial tem um valor padronizado com uma média zero e um desvio-padrão igual a um. Essa padronização dos dados elimina o viés introduzido pelas diferenças nas escalas das diversas variáveis utilizadas na análise.

- Análise de Cluster pelo método hierárquico (análise hierárquica de agrupamentos), com o objetivo de verificar se agrupamentos “naturais” são formados de maneira significativa pelos dados.

Foi usado o algoritmo aglomerativo para desenvolver os agrupamentos de ligação completa, baseado na distância máxima entre indivíduos. Assim, todos os indivíduos em um agrupamento são conectados um com o outro a alguma distância máxima ou similaridade mínima. A distância euclideana, a qual considera o comprimento da hipotenusa de um triângulo retângulo formado a partir de dois pontos em duas dimensões, foi utilizada como uma medida de similaridade.

#### **4.4 Avaliação espacial e temporal das estações de amostragem**

A avaliação espacial foi realizada utilizando ferramentas estatísticas como aplicação dos testes não paramétricos de Kruskal-Wallis ANOVA e o teste de medianas (KRUSKAL-WALLIS, 1952; SIEGEL E CASTELLAN, 1988), ao nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%. Posteriormente foram executados testes de comparações múltiplas, os quais 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*.

Foi realizada uma avaliação das 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, considerando os dados das nove estações de monitoramento obtidos no período. A análise 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 e 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 e BROWN, 2002), que mede o grau de correlação de uma variável, em um dado instante, consigo mesma em um instante de tempo posterior. Posteriormente foi realizado o teste estatístico não paramétrico de Mann-Whitney para verificar se existem diferenças significativas entre os períodos seco e chuvoso, ao nível de significância de 5%.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise Preliminar dos parâmetros amostrados nas estações de amostragem.

A análise dos *outliers* foi efetuada de forma criteriosa e verificou-se que todos os parâmetros apresentaram valores extremos. Entretanto, apenas alguns desses dados foram excluídos da análise, após comprovação de que eram resultados de erros de medição ou equívocos na transcrição dos dados e não indicativos das características reais dos fenômenos observados. Os *outliers* identificados no período chuvoso da série histórica dos parâmetros cor, fósforo total e sólidos suspensos não foram excluídos, no entanto valores extremos presentes na estação seca do parâmetro condutividade elétrica foram eliminados. A TAB. 5.1 mostra a porcentagem de *outliers* em cada estação. Verifica-se que o maior percentual de *outliers* foi observado para os parâmetros coliformes termotolerantes, cor e sólidos em suspensão, o que demonstra um comportamento usual e esperado para dados ambientais. Na estação SFJ13 não foram observados *outliers* para esses parâmetros, provavelmente porque está inserida em áreas mais preservadas.

**Tabela 5-1 – Porcentagem de *outliers* em cada estação de amostragem.**

PARÂMETRO	ESTAÇÃO								
	SFC110	VG011	SFC240	VG007	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC107	SFJ20
Alcalinidade	0,0%	0,0%	0,0%	7,4%	10,5%	6,6%	0,0%	0,0%	0,0%
cloreto total	3,7%	0,0%	3,7%	5,5%	0,0%	0,0%	5,2%	0,0%	0,0%
Cálcio	0,0%	0,0%	0,0%	7,4%	5,2%	0,0%	5,2%	0,0%	0,0%
coliformes termotolerantes	3,7%	17,9%	11,3%	16,6%	10,5%	0,0%	11,1%	14,3%	15,7%
condutividade elétrica	1,8%	0,0%	1,8%	1,8%	5,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
pH	0,0%	2,6%	5,3%	1,9%	0,0%	0,0%	0,0%	5,3%	0,0%
cor	14,8%	21,5%	18,5%	3,7%	5,2%	0,0%	0,0%	10,5%	15,7%
DQO	0,0%	4,1%	0,0%	6,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Dureza Total	0,0%	0,0%	3,7%	0,0%	21,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Oxigênio Dissolvido	3,7%	0,0%	0,0%	0,0%	5,2%	0,0%	0,0%	9,5%	10,5%
Fósforo Total	3,7%	10,2%	1,8%	7,4%	0,0%	0,0%	10,5%	0,0%	0,0%
Nitrato	1,8%	5,1%	3,7%	0,0%	0,0%	9,0%	14,2%	6,2%	0,0%
Sólidos Dissolvidos	0,0%	0,0%	9,3%	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Sólidos Suspensão	7,4%	12,8%	0,0%	11,1%	0,0%	0,0%	0,0%	4,7%	0,0%

A estatística descritiva referente ao número de dados, médias aritmética e geométrica, mediana, desvio padrão, percentis de 10 e de 90 %, foi realizada para cada estação de monitoramento. Os resultados estão representados no Apêndice A, em forma de tabelas.

Ressalta-se que algumas estações apresentam número de dados diferentes para alguns parâmetros, bem como o período de amostragem.

Os resultados apresentados na TAB. A1 a A13 serão comentados com maior nível de detalhamento nos itens que se seguem, quando da apresentação dos testes estatísticos.

A normalidade dos dados foi verificada para a determinação dos testes estatísticos que seriam empregados nas análises posteriores, se paramétricos ou não paramétricos. Portanto, como mencionado no item 4.2, foram realizados testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, Shapiro Wilk e o teste gráfico “Normal Probability Plot”, executados pelo pacote estatístico Statistica 6.1. Ressalta-se que esses testes foram executados para todos os parâmetros de todas as estações, mas apenas alguns exemplos foram apresentados no Apêndice B.

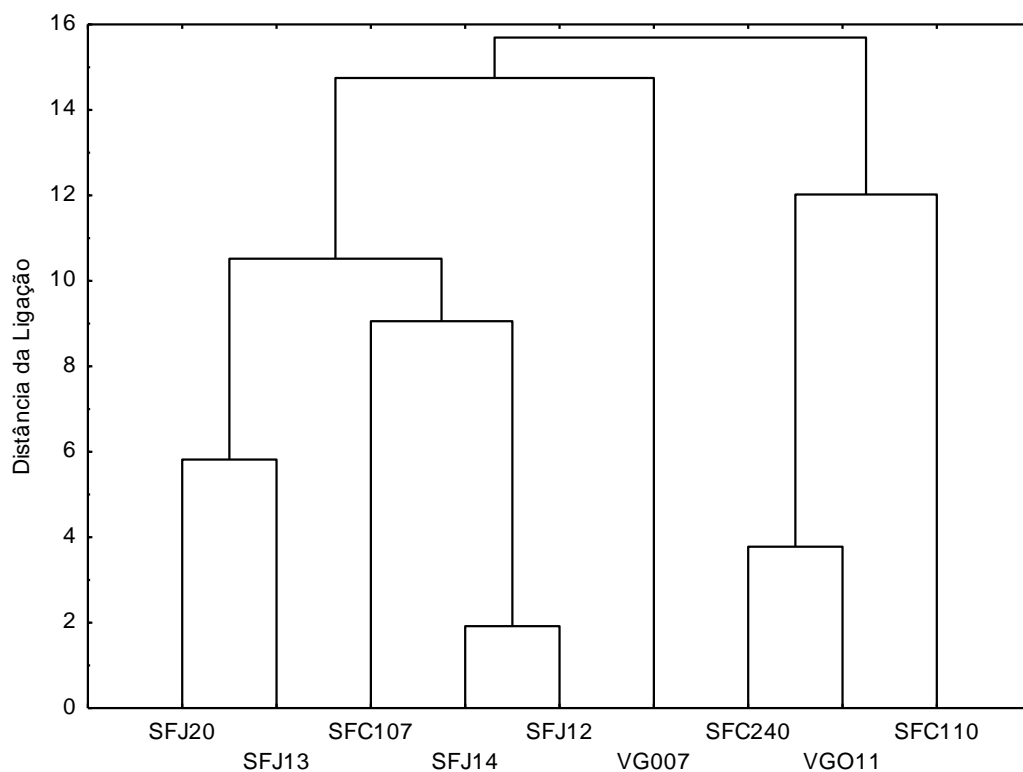
Os resultados indicaram que todos os parâmetros apresentam desvios da normalidade, ou seja, são assimétricos. Assim os testes que foram executados para análise destes dados foram não paramétricos, como Mann-Whitney, teste da hipótese de estacionariedade de Spearman e testes Kruskal-Wallis ANOVA seguido do teste de medianas.

## **5.2 Classificação multivariada das estações**

A Análise de Agrupamento (Cluster) foi efetuada com intuito de evidenciar as estações de monitoramento que apresentaram características semelhantes, considerando a qualidade dos corpos d’água onde estavam localizadas. Os parâmetros utilizados nesta análise foram todos aqueles citados no item 4.1.

Como o período de amostragem foi diferente entre as estações de monitoramento analisadas, a análise de Cluster foi realizada para cinco anos de monitoramento (2006 a 2010), período monitorado por todas as estações. Ressalta-se que, em alguns pontos, houve dados faltantes para alguns parâmetros, o que acarretou a exclusão dos dados correspondentes ao mesmo período de todas as estações.

O dendograma representado na FIG. 5.1 mostra o agrupamento das estações de monitoramento, sendo que uma maior similaridade é verificada entre as estações que apresentam uma menor distância euclidiana (distância da ligação na FIG. 5.1).



**Figura 5-1** – Dendrograma das estações de monitoramento instaladas nos perímetros irrigados localizados na porção mineira do Médio São Francisco.

Considerando uma distância euclidiana igual a 13, observa-se a formação de dois agrupamentos e o isolamento da estação VG007. O agrupamento formado pelas estações SFJ20, SFJ13, SFJ107, SFJ14 e SFJ12 justifica-se pelo uso e ocupação do solo, pois todas as estações estão localizadas em áreas agrícolas. Em relação o agrupamento formado pelas estações SFC240, VG011 e SFC110 verifica-se que a ocupação do solo é diferente, sendo que a SFC240 o uso é agrícola/urbano, VG011 agrícola e SFC110 urbano. Assim com intuito de verificar as estações que apresentaram uma maior similaridade foi realizada uma análise considerando as menores distâncias euclidianas.

Pela análise do dendrograma verificou-se que as estações SFJ12 e SFJ14 apresentaram uma maior similaridade, que é justificada pelo uso e ocupação do solo, pois ambas estão localizadas na região do Projeto Jaíba e em áreas de culturas, bem como no rio São Francisco (ver TAB. 4.2). Portanto o maior impacto ambiental observado nestes locais pode ser atribuído à agricultura. Não foi possível obter informações se essas estações estão localizadas em áreas que tem o mesmo tipo de culturas.



As estações de monitoramento SFC110, VG007 e SFC107 não apresentaram similaridade com as demais estações, ficando isoladas no dendograma. Avaliando a distribuição espacial dessas estações, verifica-se que a estação SFC110 está localizada dentro de uma área urbana enquanto a VG007 está inserida nas proximidades do núcleo urbano e em áreas de culturas do Projeto Gorutuba/Lagoa Grande. Já a SFC107 encontra-se em áreas de cultura agrícola. Assim os dados destas estações, SFC110, VG007 e SFC107, têm características diferentes, ou seja, contribuem com impactos distintos que podem ser atribuídos à urbanização, a práticas urbano/agrícolas e à atividade agrícola, respectivamente. O isolamento da estação VG007, pode ser atribuída à baixa vazão, pois é a única estação localizada no rio Gorutuba.

Os agrupamentos formados pelas estações SFC240 e VG011 e também entre a SFJ20 com SFJ13 evidenciam uma similaridade, embora não tão expressiva quanto os pontos SFJ12 e SFJ14. Os pontos SFJ20 e SFJ13 estão localizados em áreas de culturas, sendo a estação SFJ13 próxima ao Parque Estadual Lagoa do Cajueiro. Assim, era esperado que esta estação ficasse isolada, tendo em vista a sua localização em área mais preservada. Seria esperado, também, que a estação SFJ20 formasse um agrupamento com a SFC107, pois ambas localizam -se no rio Verde Grande e estão próximas a atividades agrícolas. No entanto não foi possível verificar se essas áreas desenvolvem o mesmo tipo de cultura.

As estações VG011 e SFC240, apesar de apresentarem certa similaridade, têm características diferentes quanto ao uso e ocupação do solo. A estação SFC240 está localizada em áreas de culturas do Projeto Jaíba, próxima à área urbana e localiza-se no rio São Francisco, enquanto a estação VG011 está em área de cultura do Jaíba e localiza-se no rio Verde Grande.

É importante ressaltar que uma análise mais aprofundada do uso e ocupação do solo, bem como os tipos de sistema de irrigação utilizados em cada área de inserção das estações de monitoramento, deveria ser efetuada para justificar os agrupamentos observados, assim como o monitoramento de um maior número de pontos na região. No entanto, apesar das fragilidades apontadas, algumas análises que se seguem evidenciam os motivos para a formação dos grupos observados.

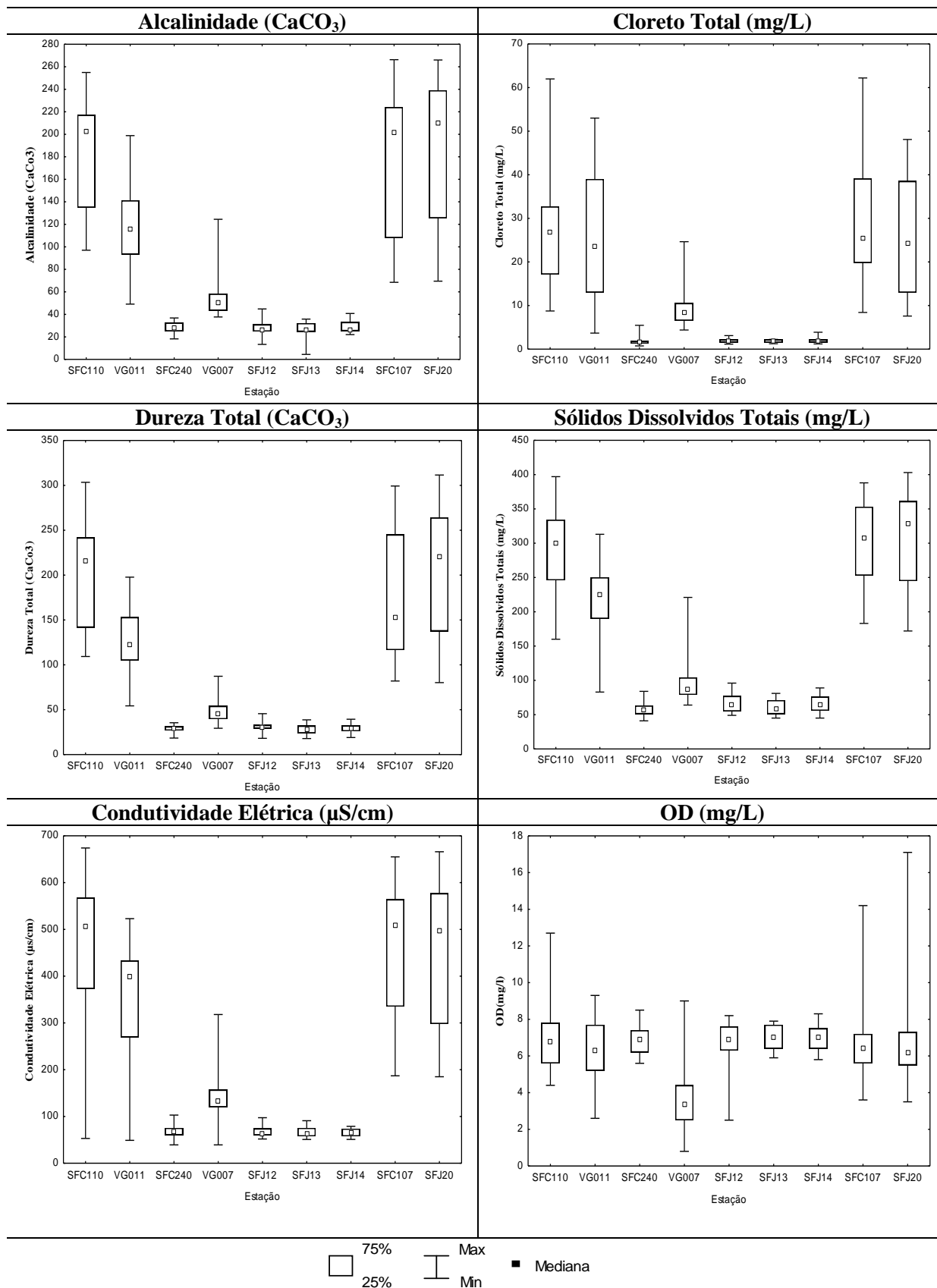
## **5.3 Avaliação espacial e temporal das estações de amostragem**

### **5.3.1 Avaliação espacial das estações de amostragem**

Com o intuito de verificar a existência de diferenças significativas entre os parâmetros monitorados em cada estação de amostragem foi executado o teste de Kruskal-Wallis ANOVA e o teste de medianas a nível significância de 5%, seguido do teste de comparações múltiplas.

O objetivo foi 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 Gortuba/Lagoa Grande apresentavam comportamento distinto dos observados na região do Projeto Jaíba, considerando os parâmetros individualmente e não de forma conjunta como até então.

A FIG. 5.2 mostra os gráficos *box-whisker* dos parâmetros alcalinidade, cloreto total, dureza total, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido (OD) nas nove estações de monitoramento. Como já mencionado no item 4.4, tais gráficos permitem uma melhor visualização dos resultados dos testes estatísticos efetuados (Kruskal-Wallis ANOVA, teste de medianas e testes de comparações múltiplas), ao nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%.



**Figura 5-2 – Gráficos *box-whisker* dos parâmetros alcalinidade, cloreto total, dureza total, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido nas nove estações de monitoramento**

Nota: Outliers não foram apresentados devido a escala.

O deflúvio superficial agrícola (escoamento de água da superfície do solo) apresenta características diferentes de acordo com uso de fertilizantes, práticas agrícolas, época de plantio e colheita (CESTEB, 2005).

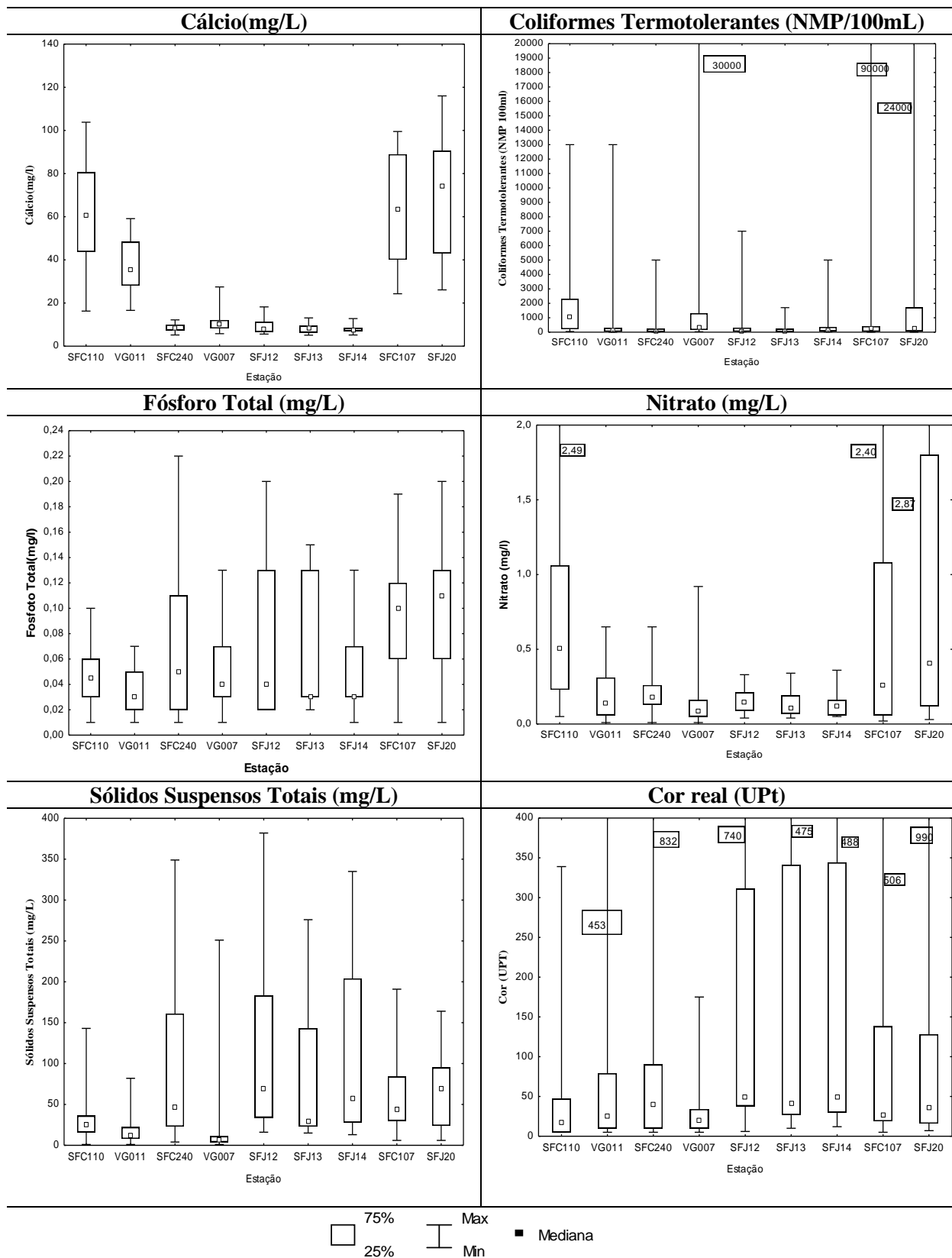
Os testes estatísticos aplicados aos parâmetros alcalinidade, cloreto total, dureza total, sólidos dissolvidos, condutividade elétrica e cálcio não indicaram diferenças significativas entre os dados monitorados nas estações SFJ12, SFJ13, SFJ14 e SFC240, localizados no Projeto Jaíba ( $\alpha=5\%$ ). No entanto, os valores observados nestas estações foram significativamente menores 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.

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, abaixo do recomendado pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º01/08. Era esperado que os baixos valores de oxigênio dissolvido fossem decorrentes da degradação da matéria orgânica lixiviada da plantação de banana para o curso d'água. Ao analisar, os dados referentes à DBO não apresentados neste estudo, foram encontrados baixos valores, no período de 1997 a 2010, ficando a mediana em torno de 2m/L (IGAM e CODEVASF, 2005). Ressalta que segundo ECOPLAN (2009) as baixas taxas de oxigênio neste ponto do rio Gorutuba é provavelmente em decorrência da contribuição de águas pouco oxigenadas da barragem ASSIEG. A estação VG007, apresenta diferenças significativas em relação a todas as estações quanto aos parâmetros cloreto total, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, o que pode explicar a não formação de agrupamento pela Análise de Cluster.

A condutividade elétrica é um parâmetro indicativo de sais dissolvidos na água, sendo uma medida direta e indireta da influência das atividades desenvolvidas nas bacias sobre os recursos hídricos, provenientes do lançamento de efluentes domésticos, industriais e atividades agropastoris (VANZELA, 2004). Assim ao se analisar as medianas do parâmetro condutividade elétrica verifica-se que as maiores concentrações estão localizadas na área de inserção das estações SFC110, SFJ20 e SFC107. Ressalta-se que esse comportamento das estações foi verificado também para o parâmetro sólido dissolvidos, pois este é constituído,

dentre outros compostos, por sais que influenciam diretamente na condutividade elétrica da água (VANZELA, 2004). As estações SFJ20 e SFC107 estão localizadas em áreas agrícolas e a estação SFC110 em área urbanizada, portanto a contaminação por condutividade elétrica e sólidos dissolvidos advinda da área urbana mostrou-se semelhante à contaminação por áreas agrícolas.

A FIG. 5.3 mostra os gráficos *box-whisker* dos parâmetros cálcio, coliformes termotolerantes, fósforo total, sólidos suspensos, nitrato e cor nas nove estações de monitoramento.



**Figura 5-3-** Gráficos *box-whisker* dos parâmetros cálcio, coliformes termotolerantes, fosfato total, sólidos suspensos, nitrito e cor real nas nove estações de monitoramento  
 Nota: Outliers não foram apresentados devido a escala.

Os esgotos não tratados são as principais fontes de contaminação dos cursos d'água por microrganismos (FERREIRA, 2003). Assim, ao se analisar o parâmetro coliformes termotolerantes, 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 concentrações de coliformes termotolerantes, provavelmente porque está inserida em núcleo urbano. Ressalta-se que a concentração de coliformes termotolerantes pode ser elevada também em áreas agrícolas, provavelmente porque vários agricultores utilizam adubo orgânico nas culturas.

Quevedo e Pagani (2011) relatam que o aporte de fósforo em cursos d'água ocorre principalmente pelo lançamento de esgotos domésticos e industriais, bem como pelo carreamento de solo e fertilizantes em áreas cultivadas. Ao se analisar a concentração de fósforo total observou-se que não ocorreram diferenças significativas entre os dados das estações localizadas em áreas agrícolas com as estações localizadas próximas a áreas urbanizadas. Assim, a contaminação por fósforo advindo da área urbana mostrou-se semelhante à contaminação por áreas agrícolas. No entanto ocorreram diferenças significativas entre os dados das estações localizadas apenas em áreas agrícolas como VG011 com SFC107 e SFJ20. Segundo Pellegrini (2005) a transferência de fósforo e sedimentos de ambientes terrestres para aquáticos em áreas agrícolas pode ser função da área, posição das lavouras e ausência de mata ciliar.

Segundo Razmkhah *et al.* (2010), a concentração de nitrato presente na água pode ser proveniente de fertilizantes nitrogenados e da decomposição do nitrogênio oriundos do esgoto doméstico. As estações localizadas apenas em áreas agrícolas (SFJ12, SFJ13, SFJ14, VG011, SFC107 e SFJ20), não apresentaram diferenças entre si. A estação SFC110, localizada em áreas predominantemente urbanizada apresentou diferenças em relação às demais estações, com exceção da SFJ20 e SFC107.

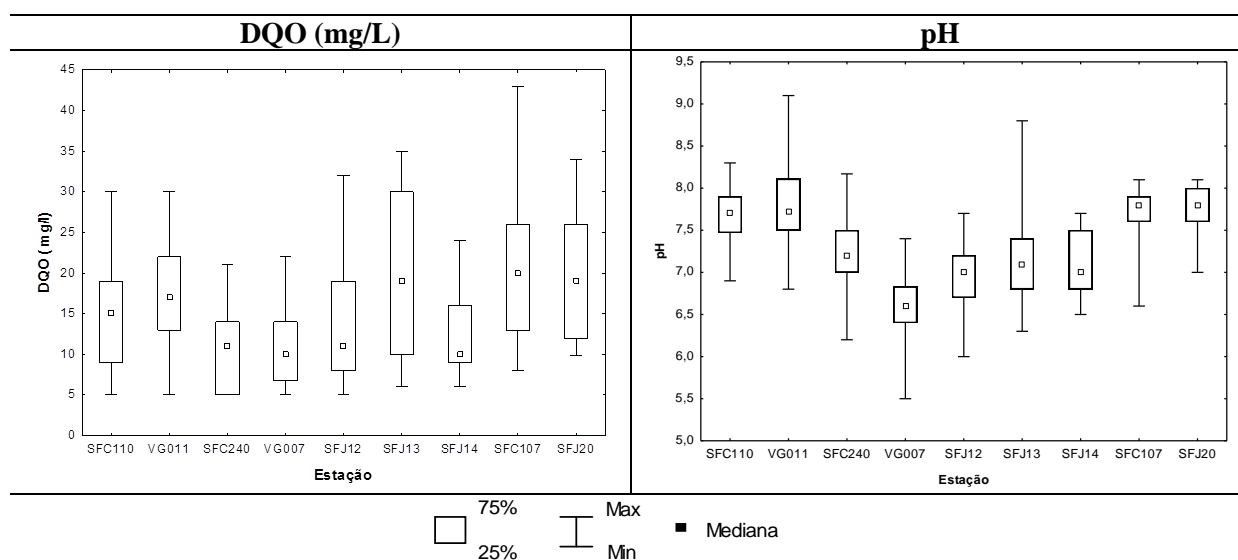
Ressalta-se que a mediana das nove estações de monitoramento apresentou valores da concentração de nitrato abaixo do valor máximo determinado pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº01/08, ou seja, abaixo de 10 mg/L. O estudo de Oliveira (2009), realizado no perímetro Irrigado de Cruzeta na região semiárida do Rio Grande do Norte, também apresentou valores de nitrato abaixo do limite indicado pela legislação no

período de amostragem de um ano, apesar do uso intensivo de fertilizantes na área e do lançamento de esgotos.

O parâmetro cor real apresentou diferença significativa apenas entre as estações SFC110 com SFJ12 e SFJ14 e a estação VG007 com SFJ12 e SFJ14.

A concentração de sólidos suspensos totais apresentou diferenças significativas entre os dados da estação SFC110 e das estações VG007, SFJ12 e entre o ponto VG007 com as demais estações, exceto a VG011.

A FIG. 5.4 mostra os gráficos *box-whisker* dos parâmetros DQO e pH nas nove estações de monitoramento.



**Figura 5-4 – Gráficos *box-whisker* dos parâmetros DQO e pH nas nove estações de monitoramento.**

Os testes estatísticos aplicados ao parâmetro pH não indicaram diferenças significativas entre os dados monitorados nas estações SFJ12, SFJ13, SFJ14, SFC240 e VG007 localizados no Projeto Jaíba ( $\alpha=5\%$ ). No entanto, as medianas observadas nestas estações foram menores que aquelas amostrados nos pontos localizados em outras áreas de culturas (SFC107, SFJ20 e VG011 e SFC110).

Segundo Ecoplan (2009) os baixos valores de pH encontrados na estação VG007 é decorrente da interferência dos processos metabólicos das comunidades aquáticas que habitam os ambientes represados localizados nesta bacia.



Quanto ao parâmetro DQO observa-se que ocorreram diferenças significativas entre os dados das estações SFC107, SFJ20, VG011 e das estações SFC240 e VG007.

A TAB. 5.2 apresenta um resumo dos resultados dos testes estatísticos, mostrando quais as estações de monitoramento não apresentaram diferenças significativas entre si (representada pelo símbolo =), quais apresentaram valores considerados estatisticamente mais elevados do que outras estações mas não apresentaram diferenças entre si (símbolo =↑) e aquelas que apresentaram valores considerados estatisticamente menores (símbolo ↓). Quando a célula aparece em branco na tabela, significa que não foram detectadas diferenças significativas entre os valores do parâmetro em análise naquela estação em relação a todas as demais.

**Tabela 5-2** Resumo dos resultados dos testes de Kruskal-Wallis seguido do teste de comparação múltipla ( $\alpha = 5\%$ ), considerando todos os parâmetros e todas as estações de monitoramento

Parâmetros	PJ		PJ	EPJ	PJ	PJ	EPJ	PJ	G/LG
	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFJ20	SFC110	SFC240	SFC107	VG011	VG007
Cálcio Total	=	=	=	=↑	=↑	=	=↑	=↑	=
Cloreto Total	=	=	=	=↑	=↑	=	=↑	=↑	↓
Coliformes Termotolerantes	↓	↓			↑	↓		↓	↑
Condutividade Elétrica	=	=	=	=↑	=↑	=	=↑	=↑	↓
DQO				↑		↓	↑		↓
Alcalinidade Total	=	=	=	=↑	=↑	=	=↑	=↑	↓
Cor Verdadeira	↑		↑		↓				↓
Dureza Total	=	=	=	=↑	=↑	=	=↑	=↑	=
Fósforo Total	=	=	=	↑	=	=	↑	=	=
Nitrato	=	=	=	=	↑	=	=	=	↓
Oxigênio Dissolvido									↓
pH	=	=	=	=↑	=↑	=	=↑	=↑	↓
Sólidos Dissolvidos	=	=	=	=↑	=↑	=	=↑	=↑	↓
Sólidos Suspensos	=	=	=	=	↓	=	=	↓	↓

Legenda:

= - estações de monitoramento cujos dados não apresentaram diferenças significativas entre si;

↑ - estações de monitoramento cujos dados apresentaram valores considerados estatisticamente mais elevados;

↓ - estações de monitoramento cujos dados apresentaram valores considerados estatisticamente menores.

↑= - estações de monitoramento cujos dados apresentaram valores considerados estatisticamente mais elevados, mas não apresentaram diferenças significativas entre si

Branco- não foram detectadas diferenças significativas entre os valores do parâmetro em análise naquela estação em relação a todas as demais.

PJ – Projeto Jaíba

EPJ – Entorno do Projeto Jaíba

G/LG – Projeto Gorutuba/Lagoa Grande

Em suma, considerando todos os resultados reportados, observa-se que o impacto da ocupação agrícola foi similar ao impacto urbano, quando as 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 presentes na sub-bacia do rio Verde Grande, mesmo quando a ocupação do solo foi diferente.

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).

Como essas áreas agrícolas estão sujeitas ao uso dos mesmos tipos de fertilizantes e sistemas de irrigação em virtude da fruticultura, com destaque da bananicultura, uma possível justificativa para o impacto do perímetro Jaíba ser diferente da área do entorno do Jaíba seria o fato da vazão do rio Verde Grande ser menor que do rio São Francisco. Esta hipótese é reforçada pelo fato das estações localizadas no rio São Francisco não serem estatisticamente diferentes, apesar da estação SFC240 sofrer influência não apenas da agricultura mas também do núcleo urbano. O rio São Francisco apresenta uma vazão superior ao rio Verde Grande, portanto a capacidade de diluição de compostos é maior, logo na região do Jaíba o impacto é menor que nas áreas do entorno do Projeto Jaíba.

Em relação aos pontos SFC240 e VG011, apesar de terem formado um agrupamento pela Análise de Cluster, diferenças significativas foram observadas para a maioria dos parâmetros, com exceção de coliformes termotolerantes, oxigênio, cor, fósforo e nitrato. Apesar dessas estações estarem localizadas na área de inserção do perímetro de irrigação do Jaíba, a localização dos pontos estão em cursos d'água diferentes, bem como o uso e ocupação do solo não é semelhante. A estação SFC240 localiza-se no rio São Francisco, em áreas de culturas e próximas a núcleo urbano enquanto a estação VG011 localiza-se no rio Verde Grande, e apenas em áreas de culturas. Ao se avaliar os dados dos parâmetros que são significativamente diferentes entre essas estações, observa-se que os valores das medianas são maiores na estação VG011, evidenciando que o impacto em áreas agrícolas na sub-bacia do Verde Grande é superior ao impacto urbano/agrícola no rio São Francisco.

Considerando o impacto urbano/agrícola, observa-se que a qualidade da água foi pior no rio Verde Grande, próximo a cidade de Jaíba. No rio Gorutuba apesar de receber uma carga maior esgotos proveniente da cidade de Janáuba e a contribuição da poluição difusa da agricultura para o curso d'água, a qualidade da água foi superior a região próxima ao município de Jaíba. Portanto, sugerindo que o perímetro de irrigação Gorutuba/Lagoa

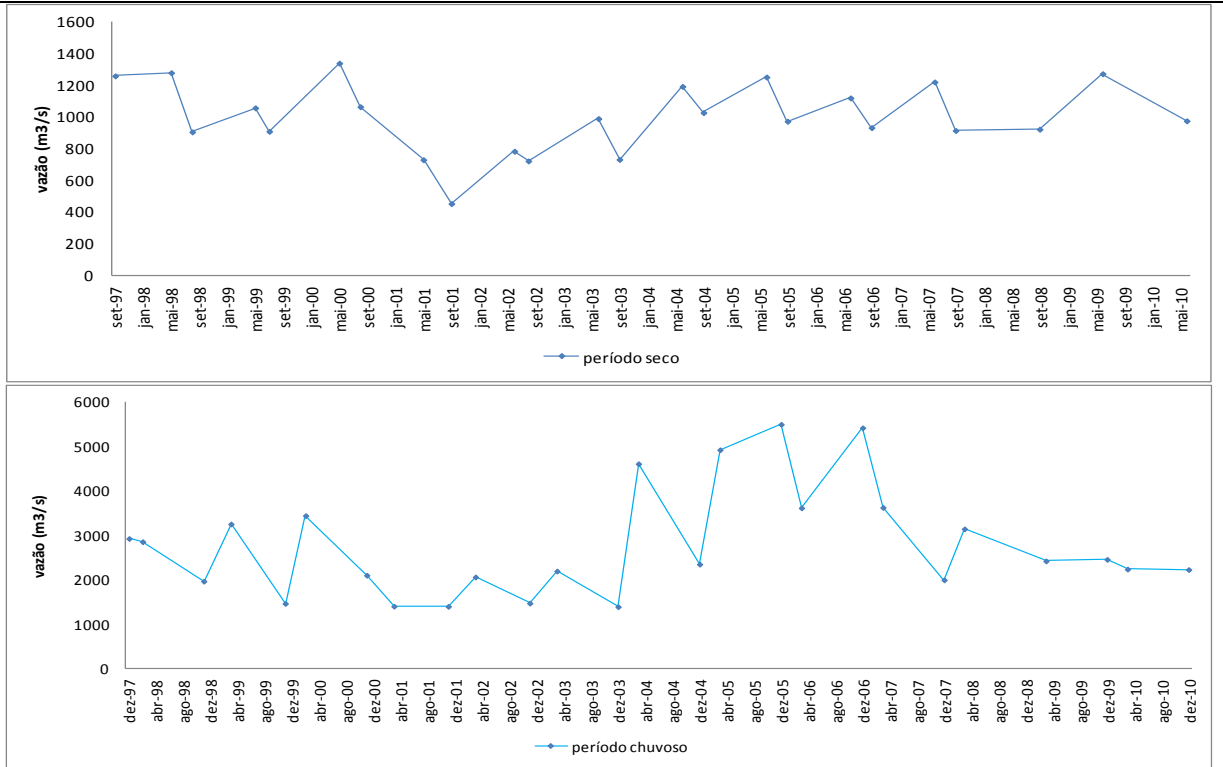
Grande, apresenta melhores técnicas de manejo de solo, bem como a ETE localizada em Janáuba apresenta boas condições de operação.

A qualidade da água na área do perímetro irrigado Gorutuba/Lagoa Grande é melhor que na região do entorno do Jaíba, apesar do rio Gorutuba apresentar menor vazão em relação ao rio Verde Grande.

### **5.3.2 Avaliação Temporal das estações de amostragem**

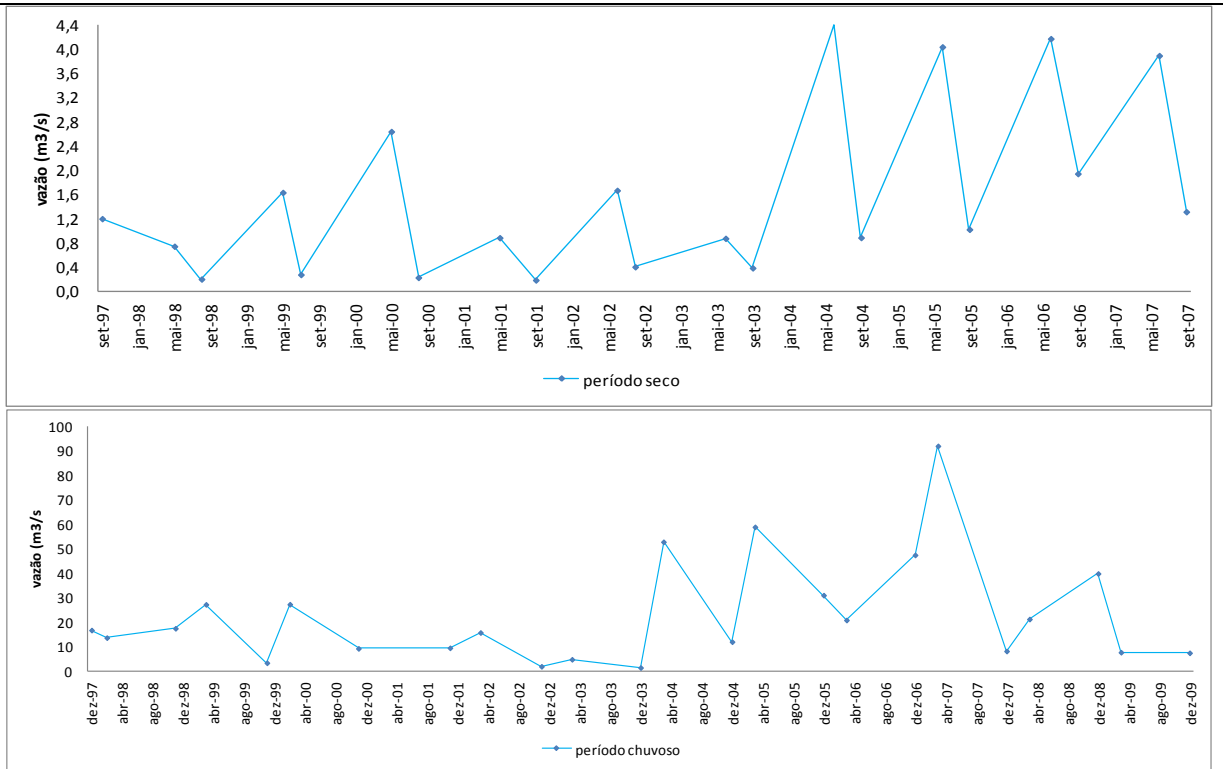
Foram elaborados gráficos de séries temporais para os dados das nove estações de monitoramento, considerando todos os parâmetros, com o objetivo de verificar a evolução da concentração das variáveis. Foi aplicado, também, o teste de Spearman, que detecta tendências temporais presentes em uma série de dados e checa a hipótese de estacionariedade. Os tipos de não-estacionariedade incluem tendências, ‘saltos’ e ciclos, ao longo do tempo. Nas estações classificadas como “não estacionarias” foi aplicada a função de autocorrelação – FAC - (BERTHOUEX e BROWN, 2002). Posteriormente foi realizado o teste estatístico não paramétrico de Mann-Whitney para verificar se existem diferenças significativas entre os períodos seco e chuvoso, ao nível de significância de 5%. As FIG. 5.5 e 5.6 mostram a média mensal da vazão no período de 1997 a 2010 em função da sazonalidade no rio São Francisco e rio Verde Grande, evidenciando que no período chuvoso a vazão é maior. Ressalta-se que não foi possível a obtenção de dados referente a vazão mensal do rio Gorutuba.

### Rio São Francisco



**Figura 5-5-** Média mensal da vazão no período de 1997 a 2010 no rio São Francisco, nas estação seca e chuvosa.

### Rio Verde Grande



**Figura 5-6-** Média mensal da vazão no período de 1997 a 2010 no rio Verde Grande, nas estação seca e chuvoso.

Os resultados do teste de Spearman 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, cloreto total em todas as estações, DQO na estação SFC110, OD nas estações SFC110, VG011 e SFC240, fósforo na estação SFC110, nitrato nas estações VG011, VG007 e SFC240, pH nas estações VG011, SFC240 e SFC110, coliformes termotolerantes nas estações SFC110, VG011, SFC240 e VG007 e sólidos suspensos totais nas estações VG011, SFC240 e VG007. Estes resultados serão discutidos mais detalhadamente a seguir. A TAB. 5.3 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.

**Tabela 5-3** 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	↓
DQO	↑	↓	↓	↓	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

Legenda:

**E** - estações de monitoramento cujos dados foram considerados estacionários;

PJ – Projeto Jaíba

EPJ – Entorno do Projeto Jaíba

G/LG – Projeto Gorutuba/Lagoa Grande

↑ - estações de monitoramento cujos dados apresentaram tendência de elevação;

↓ - estações de monitoramento cujos dados apresentaram tendência de redução.

Foram elaborados gráficos de séries temporais para as nove estações de amostragem, considerando os dados dos parâmetros selecionados, que serão apresentados em itens específicos, com o intuito de auxiliar na avaliação de redução, elevação ou estabilidade da concentração dos constituintes. Ressalta-se que as estações foram agrupadas em um mesmo gráfico sempre que as concentrações dos constituintes apresentavam valores próximos ou semelhantes, para permitir uma melhor visualização. A TAB 5.4 apresenta um resumo situação observada nas estações de monitoramento, considerando a porcentagem dos valores que ficaram fora dos limites recomendados pela legislação para os diversos parâmetros.

**Tabela 5-4** – Resumo da porcentagem dos valores que estão em desacordo com a legislação.

Parâmetro	Legislação	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC110	SFC240	VG011	VG007	SFJ20	SFC107
Condutividade	100 us/cm (Moraes, 2008)	-	-	-	98%	1,8%	98%	93%	100%	100%
Sólidos dissolvidos	500 mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos suspensos	100 mg/L	36%	40%	47%	6%	35%	-	4%	21%	14%
Cloreto Total	250 mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alcalinidade	( 30 a 500 mg/L) (Moraes, 2008)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	11%	20%	11%	50%	6%	3%	28%	33%	10%
Cor	75 mg Pt/L	42%	33%	47%	14%	37%	5%	4%	33%	35%
DQO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dureza Total	500 mg/L (Portaria 2914/11)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cálcio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OD	5 mg/L	-	-	-	-	-	2,5%	74%	5%	5%
Fósforo	0,1 mg/L	13%	13%	21%	13%	29%	8%	7%	63%	57%
Nitrato	10 mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	6 a 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### 5.3.2.1 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica na água pode ser influenciada pela entrada de fertilizantes e defensivos agrícolas que levam ao aumento das concentrações iônicas nos corpos d'água. Assim, à medida que aumenta a quantidade de sólidos dissolvidos, aumenta a condutividade específica da água (MOSCA, 2003). Ressalta-se que atividades antropogênicas, como descargas industriais, ou geogênica (decomposição de rochas) também podem elevar os valores da condutividade elétrica (SANTA CATARINA, 1998 *apud* CREPALLI, 2007).

A FIG.5.7 mostra os gráficos de séries temporais para o parâmetro condutividade elétrica nas nove estações de monitoramento.

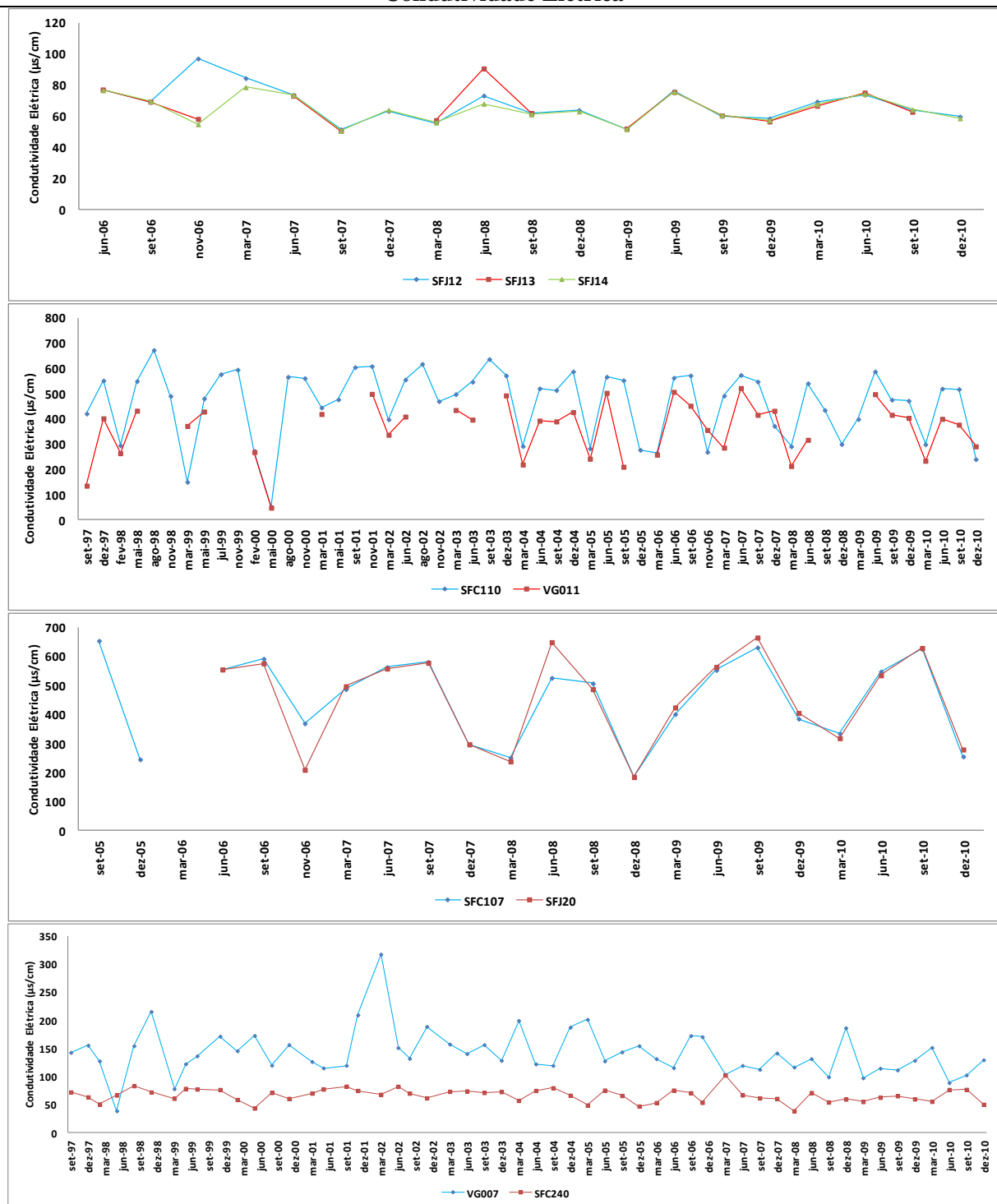
Os resultados mostraram altos valores de condutividade elétrica nas nove estações de monitoramento, superiores a 100  $\mu$ s/cm na maioria do período de amostragem. No entanto, a Resolução CONAMA n° 375/05 bem como a Deliberação Normativa Conjunta

COPAM/CERH-MG nº01/08, não estabelecem limite para este parâmetro em corpos d'água. Os maiores valores estão na região urbanizada, que corresponde à estação SFC110 e nas áreas agrícolas na região de inserção do Projeto Jaíba (VG011). Na região do entorno do Jaíba, nota-se que os valores atingem concentrações elevadas na época de seca. No entanto, apesar da aparente variação dos valores de condutividade elétrica nas estações SFC110 e VG011, os dados foram considerados estacionários segundo os testes estatísticos.

O teste estatístico não paramétrico de Mann-Whitney indicou diferenças significativas no período seco e chuvoso, ao nível de significância de 5%, conforme evidenciado na FIG. 5.8, nas estações SFC110, SFC 240, VG007, SFJ13, SFJ20 e SFC107. Ao se analisar as medianas, verifica-se que no período de seca foram observados valores mais elevados já que a redução do volume dos cursos d'água acarreta uma elevação na concentração de sais dissolvidos e consequentemente ocasiona aumento da condutividade. Observa-se que na estação VG007 os valores foram mais elevados na estação chuvosa, ainda que não fosse usual.

Os resultados acima corroboram os resultados encontrados por Vanzela (2004), que registraram os maiores valores de condutividade elétrica no período de seca na microbacia do córrego Três Barras em São Paulo.

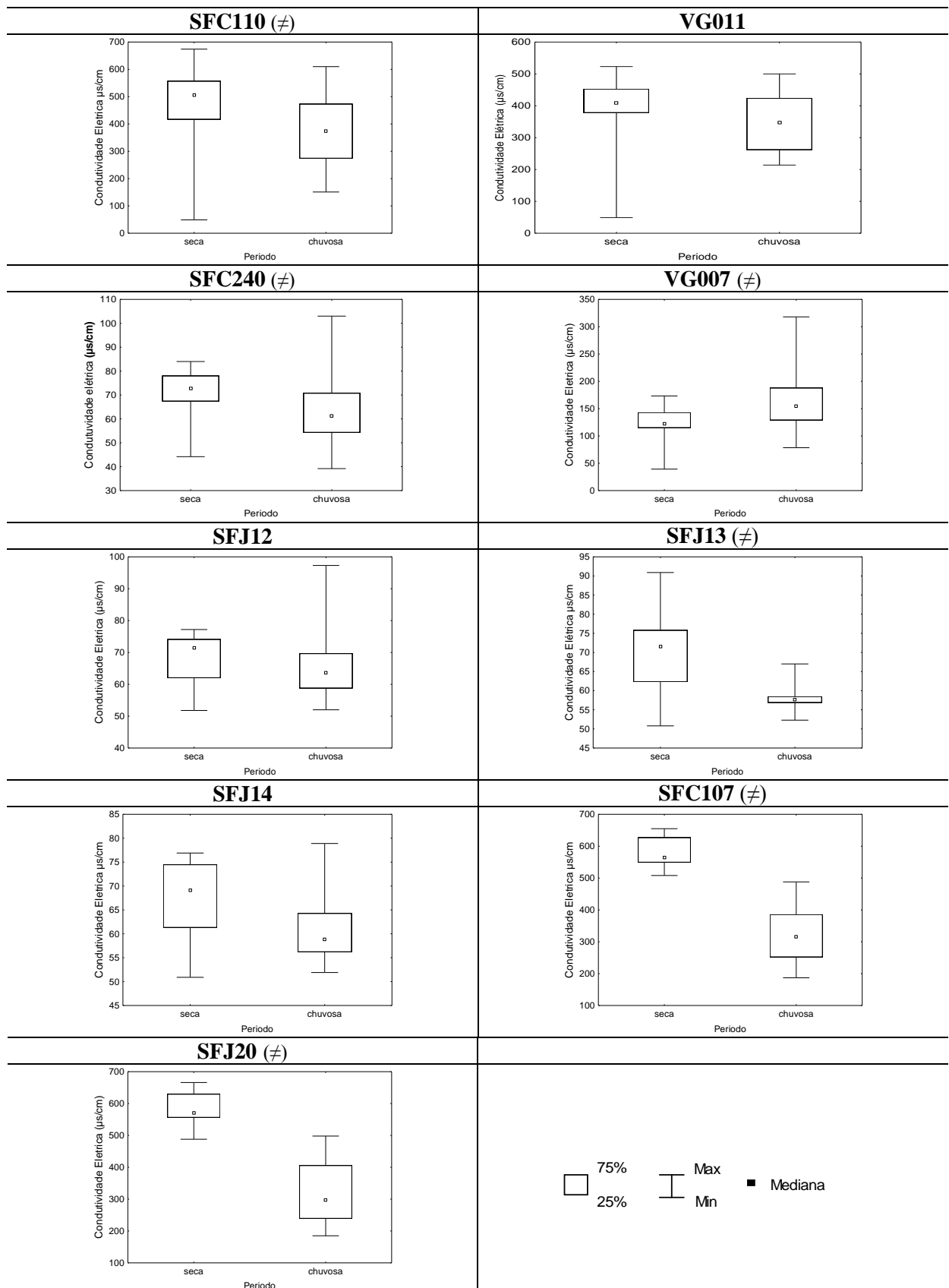
## Condutividade Elétrica



**Figura 5-7** – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro condutividade elétrica nas nove estações de monitoramento.

Nota: Os meses que não há dados, os pontos não estão interligados.





**Figura 5-8 – Gráficos *box-whisker* do parâmetro condutividade elétrica no período seco e chuvoso das nove estações de monitoramento**

Nota: Os símbolos (≠) indicam diferenças significativas entre o período seco e chuvoso, de acordo com o teste de Mann-Whitney ( $\alpha = 5\%$ )

### 5.3.2.2 Sólidos Dissolvidos Totais e Sólidos Suspensos Totais

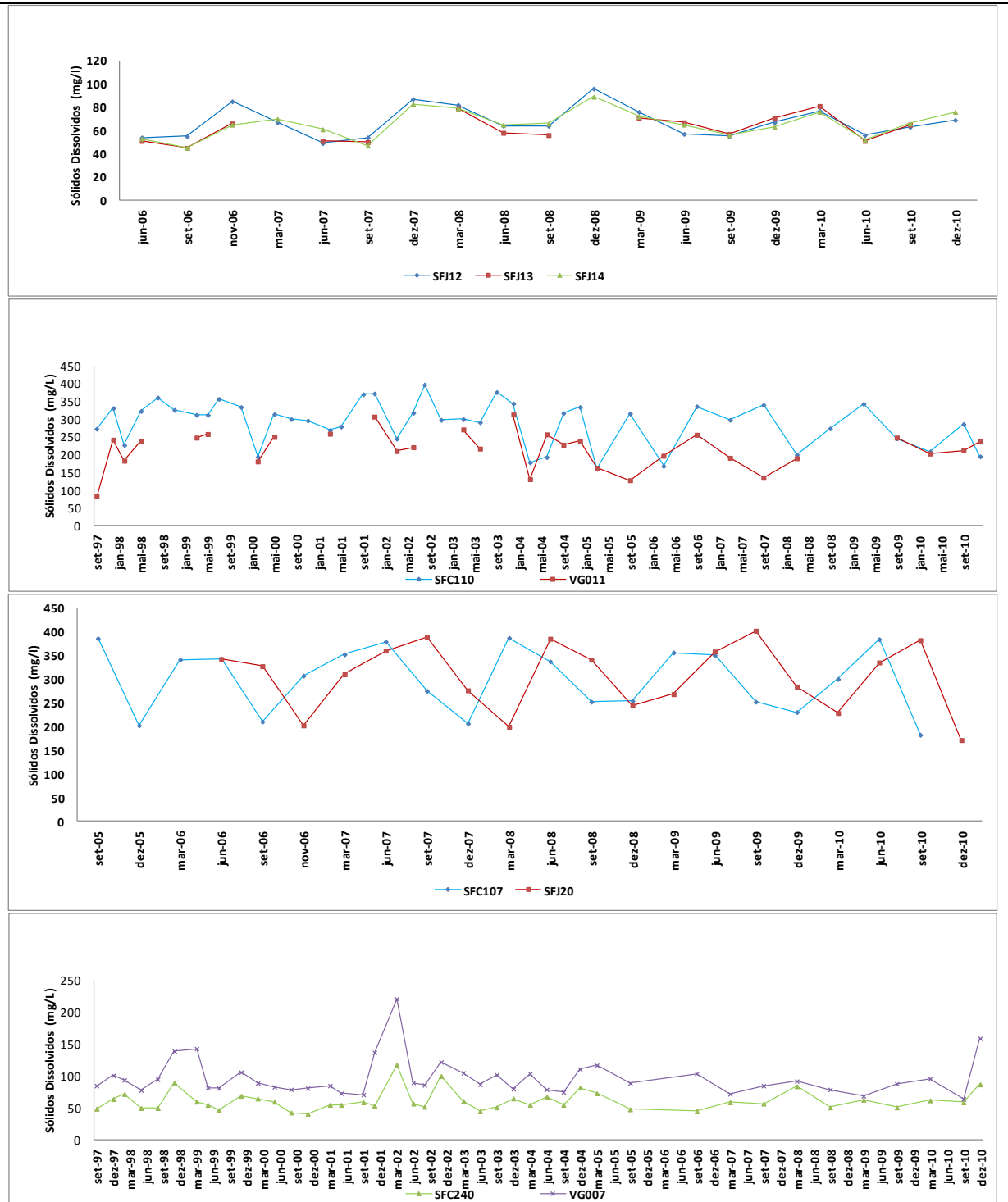
O despejo de esgotos e o uso dos solos para a agricultura constituem-se nas principais contribuições antrópicas de sólidos em cursos d'água (VANZELA, 2004).

A FIG. 5.9 mostra os gráficos de séries temporais para o parâmetro sólidos dissolvidos totais (SDT) nas nove estações de monitoramento. Como já comentado, o teste de Spearman indicou a não estacionariedade dos dados, ou seja, a presença de tendência de redução ou elevação das concentrações de sólidos dissolvidos totais ao longo do tempo.

Os resultados nas nove estações de monitoramento mostraram valores abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº375/05, bem como a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº01/08, ou seja, de 500 mg/L.

Os maiores valores foram 450mg/L e estão na região urbanizada que corresponde à estação SFC110, nas áreas agrícolas na região de inserção do Projeto Jaíba (VG011), e na área do entorno do Projeto Jaíba, representada pelas estações SFC107 e SFJ20. Destaca-se que esses resultados corroboram os trabalhos de Brito *et al.*, (2005) que, ao avaliar a qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Salitre em virtude da agricultura, verificaram valores mais elevados de sólidos dissolvidos em áreas irrigadas.

## Sólidos Dissolvidos Totais



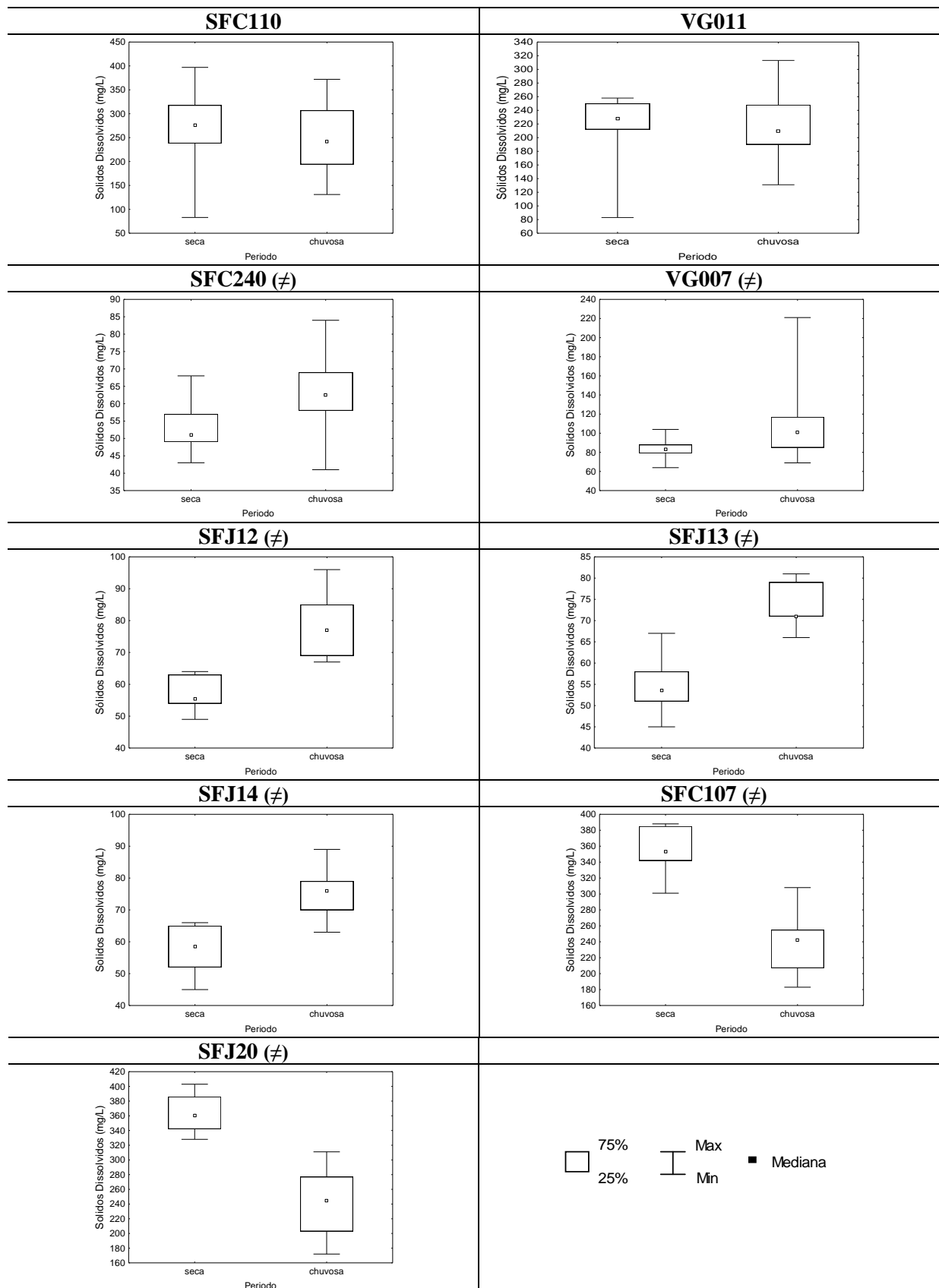
**Figura 5-9** - Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro sólidos dissolvidos totais nas nove estações de monitoramento.

Nota: Os meses que não há dados, os pontos não estão interligados.

O teste de Mann-Whitney detectou diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, nos dados de SDT nas estações SFC240, VG007, SFJ12, SFJ13, SFJ14, SFJ20 e SFC107. As

maiores concentrações medianas ocorrem durante o período de chuvoso, com exceção das estações SFC107 e SFJ20, conforme mostra a FIG. 5.10.

Os resultados nas estações SFC240, VG007, SFJ12, SFJ13, SFJ14, não estão de acordo com a literatura. Vanzela (2004), ao avaliar a qualidade da água para irrigação na microbacia do córrego Três Pontas em São Paulo, encontrou as maiores concentrações de sólidos dissolvidos durante o período seco. Este fato ocorre porque durante a seca, com a redução do volume de água dos cursos d'água, a concentração de sólidos dissolvidos tende a aumentar.



**Figura 5-10:** Gráficos *box-whisker* do parâmetro sólidos dissolvidos totais no período seco e chuvoso das nove estações de monitoramento

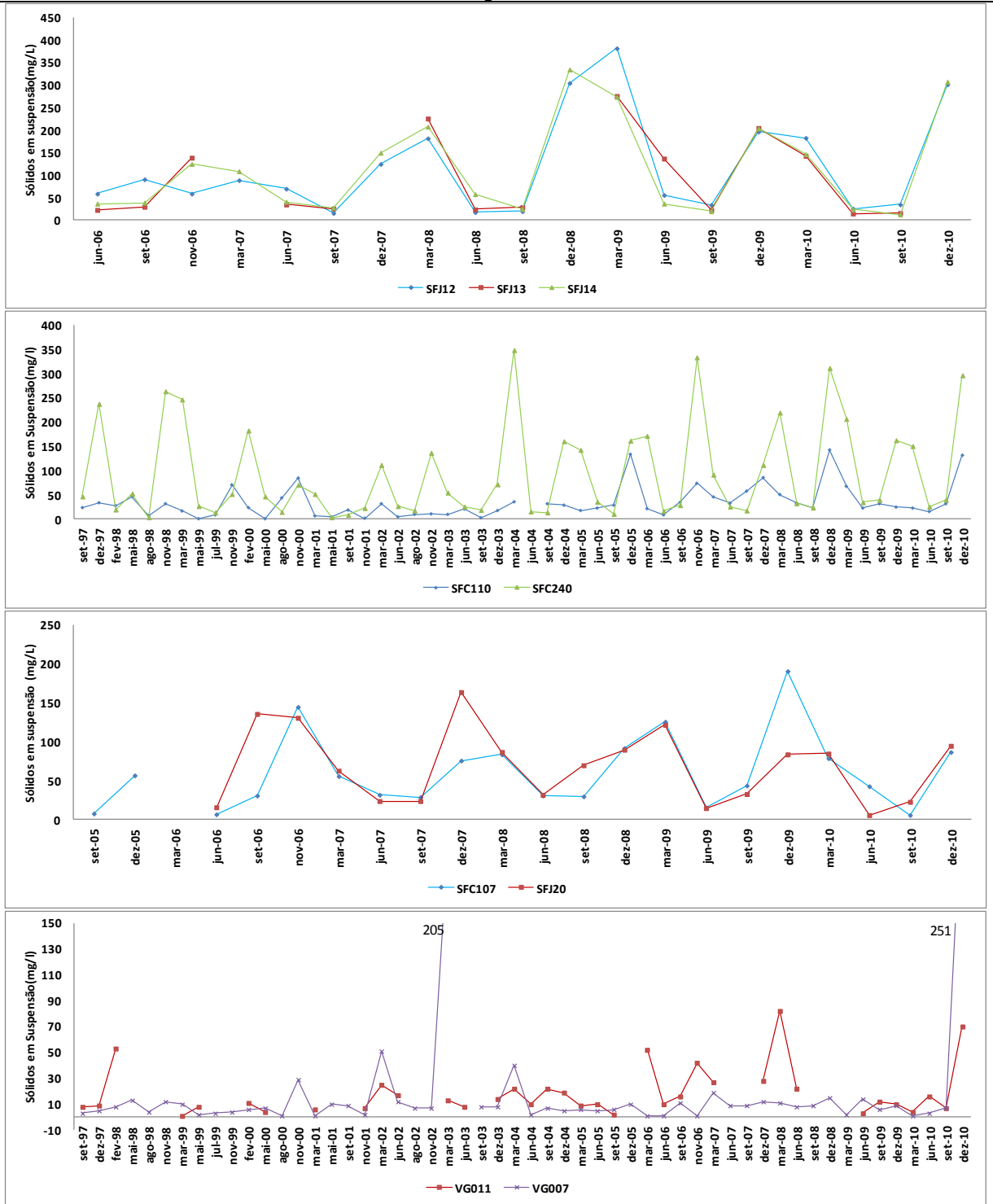
Nota: Os símbolos(≠) indicam diferenças significativas entre o período seco e chuvoso, de acordo com o teste de Mann-Whitney ( $\alpha = 5\%$ ).

A FIG 5.11 mostra os gráficos de séries temporais para o parâmetro sólidos suspensos totais (SST) nas nove estações de monitoramento.

Pela observação do gráfico verifica-se tendência de elevação dos valores de concentração dos sólidos suspensos durante o período chuvoso, como era de se esperar. Esse fato fica mais evidente ao se analisar as medianas das estações SFC110, SFC240, SFJ12, SFJ13, SFJ14, SFJ20 e SFC 107 na FIG. 5.12, pois se verifica uma diferença significativa da concentração de sólidos suspensos em relação à sazonalidade, com uma maior concentração durante o período chuvoso.

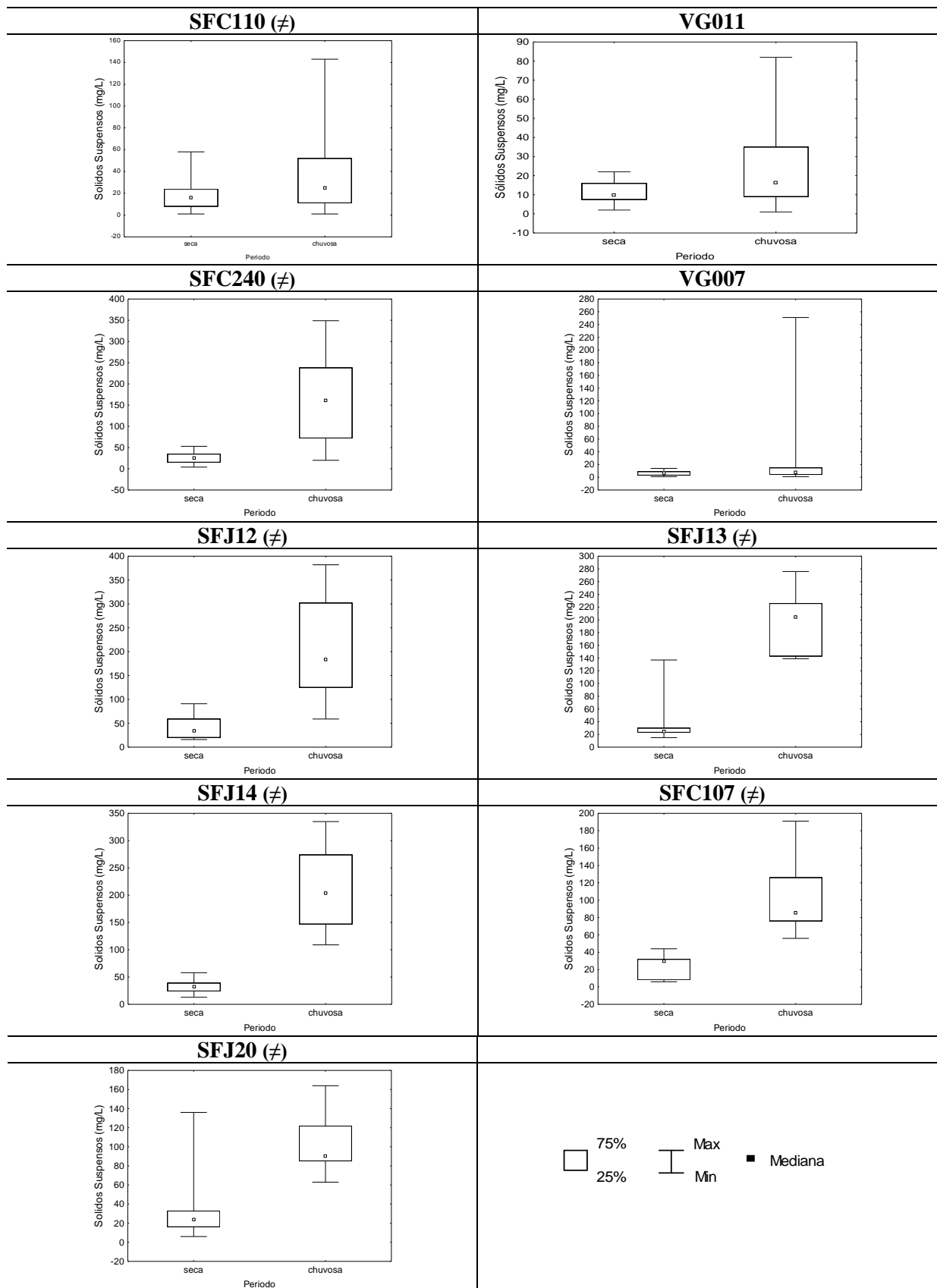
Na maioria das estações observam-se valores elevados de sólidos suspensos no período chuvoso, acima do limite estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01/08, de 100 mg/L, para águas doces de classe 2, fato não observado para as estações VG011 e VG007.

## Sólidos Suspensos Totais



**Figura 5-11** – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro sólidos suspensos nas nove estações de monitoramento.

Nota: Os meses que não há dados, os pontos não estão interligados.



**Figura 5-12 - Gráficos *box-whisker* do parâmetro sólidos suspensos no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento**

Nota: Os símbolos (≠) indicam diferenças significativas entre o período seco e chuvoso, de acordo com o teste de Mann-Whitney ( $\alpha = 5\%$ ).

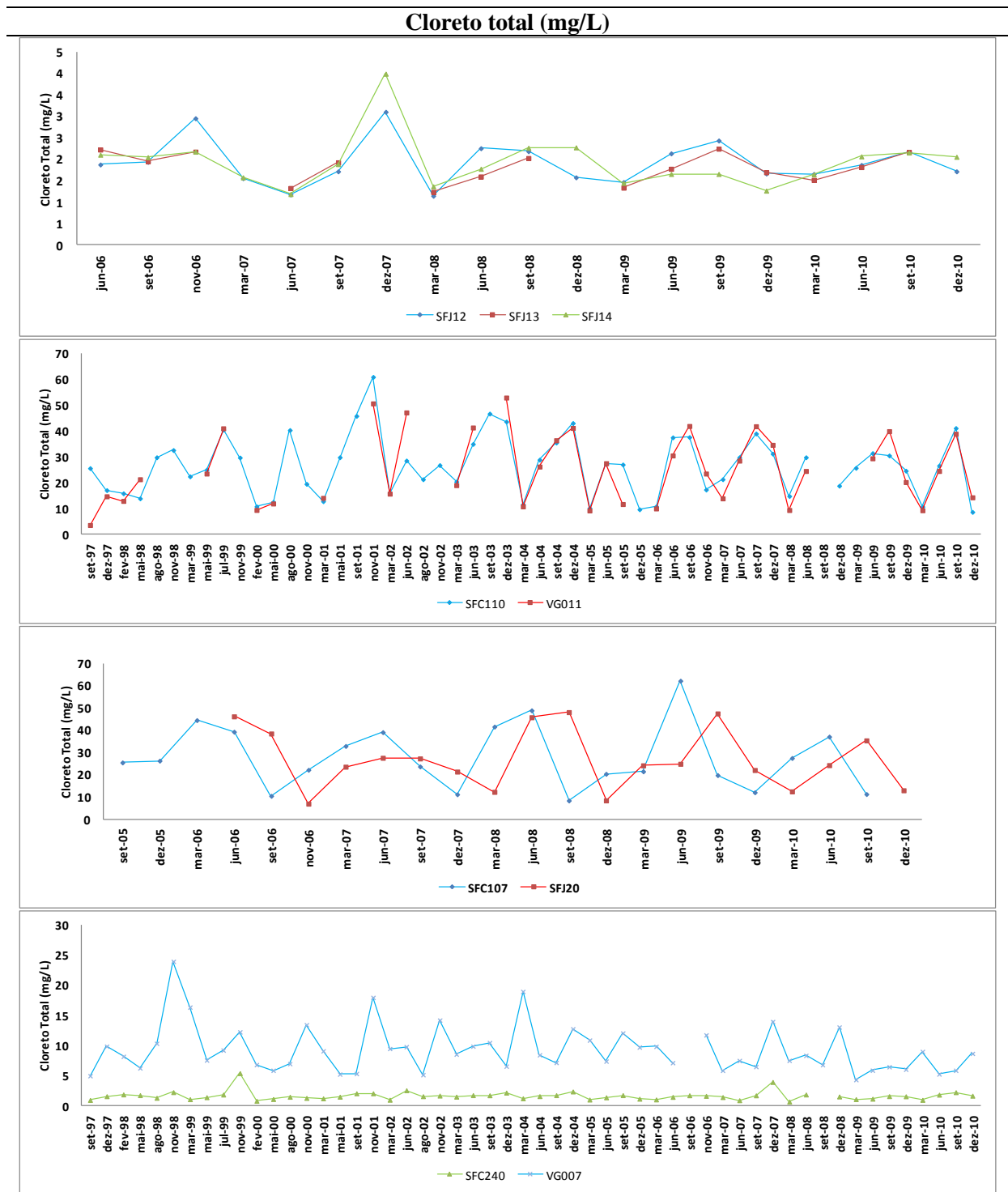


### 5.3.2.3 Cloreto Total

Os esgotos domésticos e industriais bem como o retorno de águas utilizadas em irrigação para os cursos d'água podem contribuir com aumento do cloreto nas águas (FARIAS, 2006).

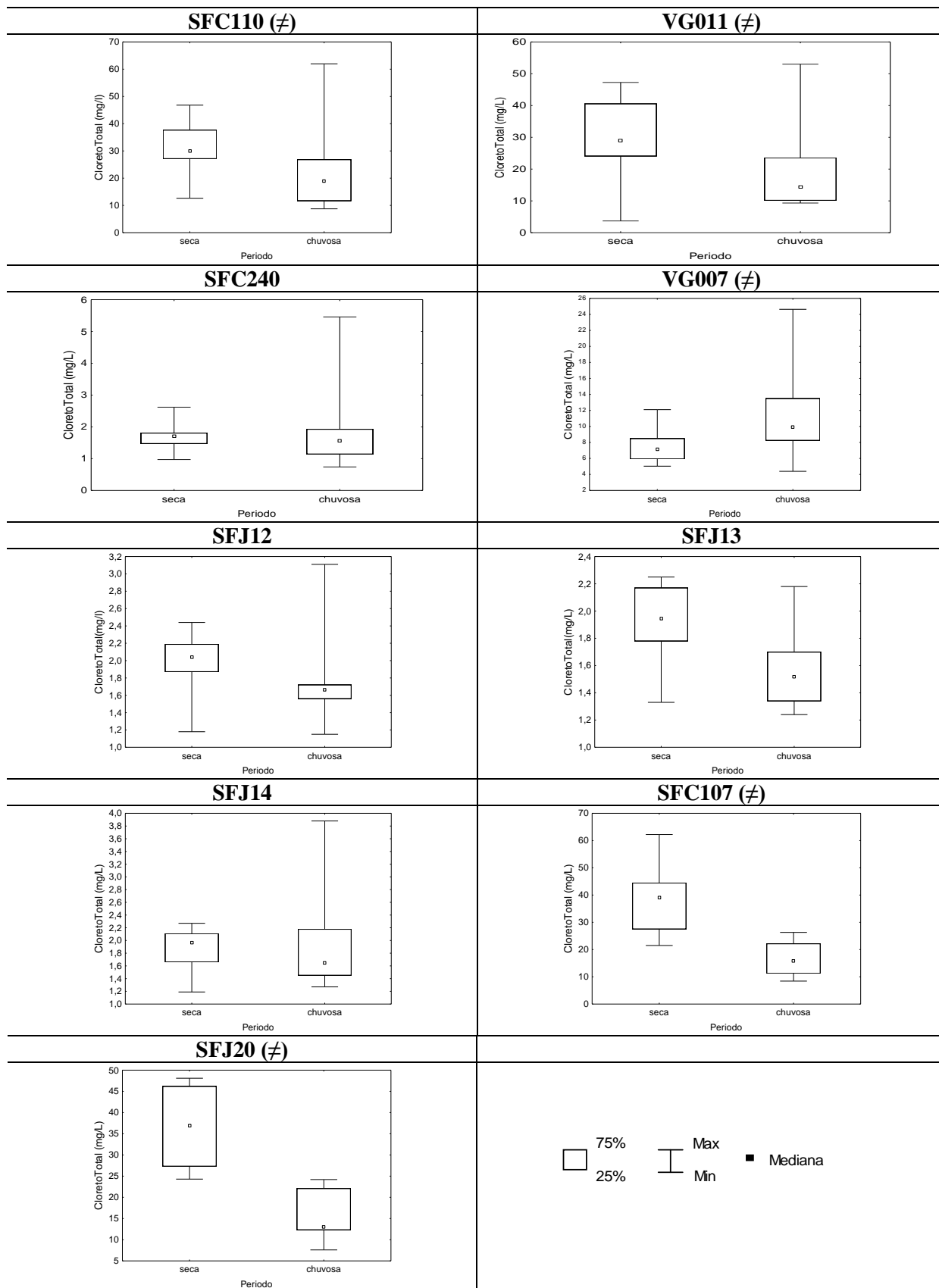
Analisando os gráficos de séries temporais nas nove estações de monitoramento representados na FIG. 5.13, verifica-se que os valores estão abaixo do limite estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/08, ou seja, de 250 mg/L. As maiores concentrações estão na faixa de 70 mg/L e ocorrem nas estações SFC110, VG011 e SFC107 e SFJ20, mas ainda assim apresentando valores bastante baixos. Os valores mais elevados na estação SFC110 são provavelmente devido à descarga de esgotos domésticos, enquanto nas demais estações a influência talvez possa ser atribuída à atividade agrícola, talvez em virtude do uso de adubos com elevado índice salino como cloreto de potássio. O teste de Spearman realizado verificou que a concentração de cloreto encontra-se estacionária em todas as estações.

O teste estatístico não paramétrico Mann-Whitney verificou que existem diferenças significativas entre o período seco e chuvoso, ao nível de significância de 5%, nas estações SFC110, VG011, VG007, SFJ20, SFC107, conforme apresentado na FIG. 5.14, que evidencia uma maior concentração durante o período de seca.



**Figura 5-13 –** Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro cloreto total nas nove estações de monitoramento.

Nota: Os meses que não há dados, os pontos não estão interligados.



**Figura 5-14-** Gráficos *box-whisker* do parâmetro cloreto total no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.

Nota: Os símbolos (≠) indicam diferenças significativas entre o período seco e chuvoso, de acordo com o teste de Mann-Whitney ( $\alpha = 5\%$ ).

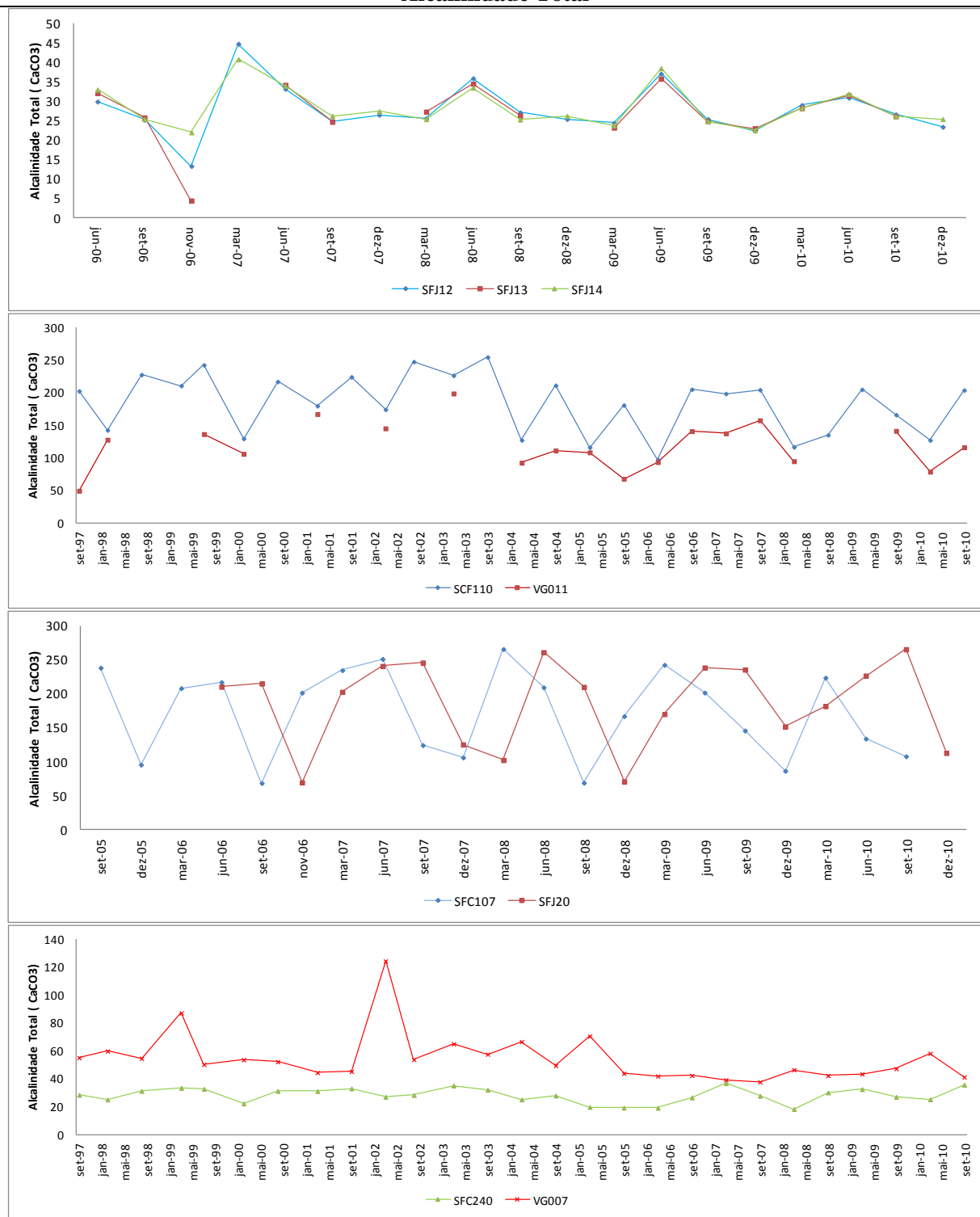
#### 5.3.2.4 Alcalinidade total

Na maior parte dos ambientes aquáticos a alcalinidade é devida exclusivamente à presença de bicarbonatos. Valores elevados de alcalinidade podem estar associados a processos de decomposição de matéria orgânica e à alta taxa respiratória de microrganismos, com liberação e dissolução do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) na água. A maioria das águas naturais apresenta valores de alcalinidade na faixa de 30 a 500 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (MORAIS, 2008).

Analisando os gráficos de séries temporais nas nove estações de monitoramento representados na FIG 5.15, verifica-se que os maiores valores estão na faixa de 300 mg/L e ocorrem na área urbanizada (SFC110), no Projeto Jaíba (VG011) e na área do entorno do Projeto Jaíba (SFC107 e SFJ20). As maiores concentrações observadas na estação SFC110 podem ser atribuída à influência de esgotos domésticos do município de Jaíba, ainda que Iglesias e Uhlein (2009) relatem que a região do Vale do São Francisco, no Norte de Minas, apresentam formações geológicas constituídas de calcário e dolomitos, o que poderia justificar a alcalinidade presente nos cursos d'água.

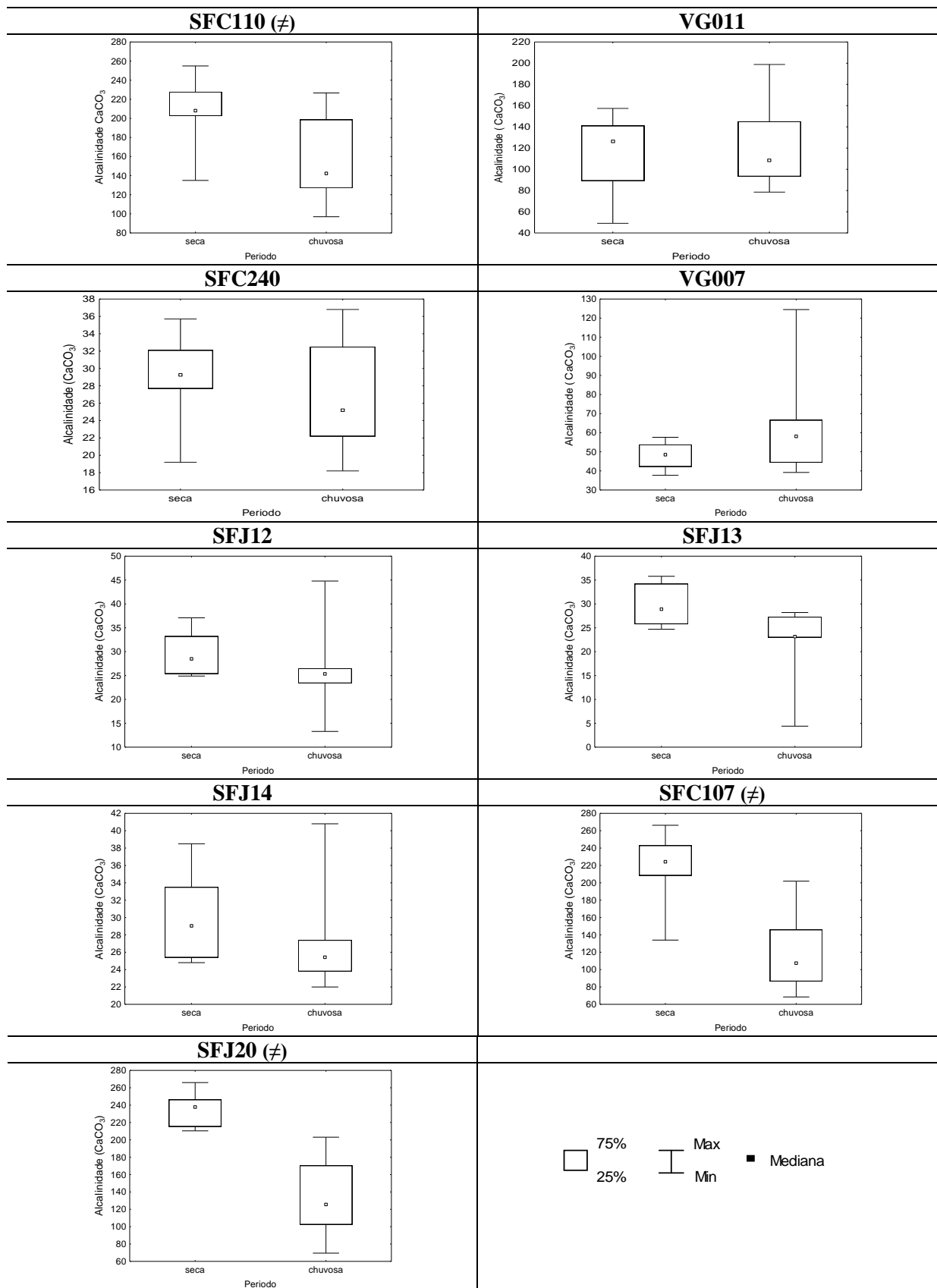
Quanto a relação entre a concentração e a sazonalidade, o teste estatístico não paramétrico Mann-Whitney verificou que existem diferenças significativas entre o período seco e chuvoso, ao nível de significância de 5%, nas estações SFC110, SFJ20, SFC107. Conforme mostrado nos gráficos da FIG 5.16, no período seco a concentração mediana é maior na maioria das estações.

### Alcalinidade Total



**Figura 5-15** – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro alcalinidade total nas nove estações de monitoramento.

Nota: Os meses que não há dados, os pontos não estão interligados.



**Figura 5-16 - Gráficos *box-whisker* do parâmetro alcalinidade total no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.**

Nota: Os símbolos (≠) indicam diferenças significativas entre o período seco e chuvoso, de acordo com o teste de Mann-Whitney ( $\alpha = 5\%$ ).

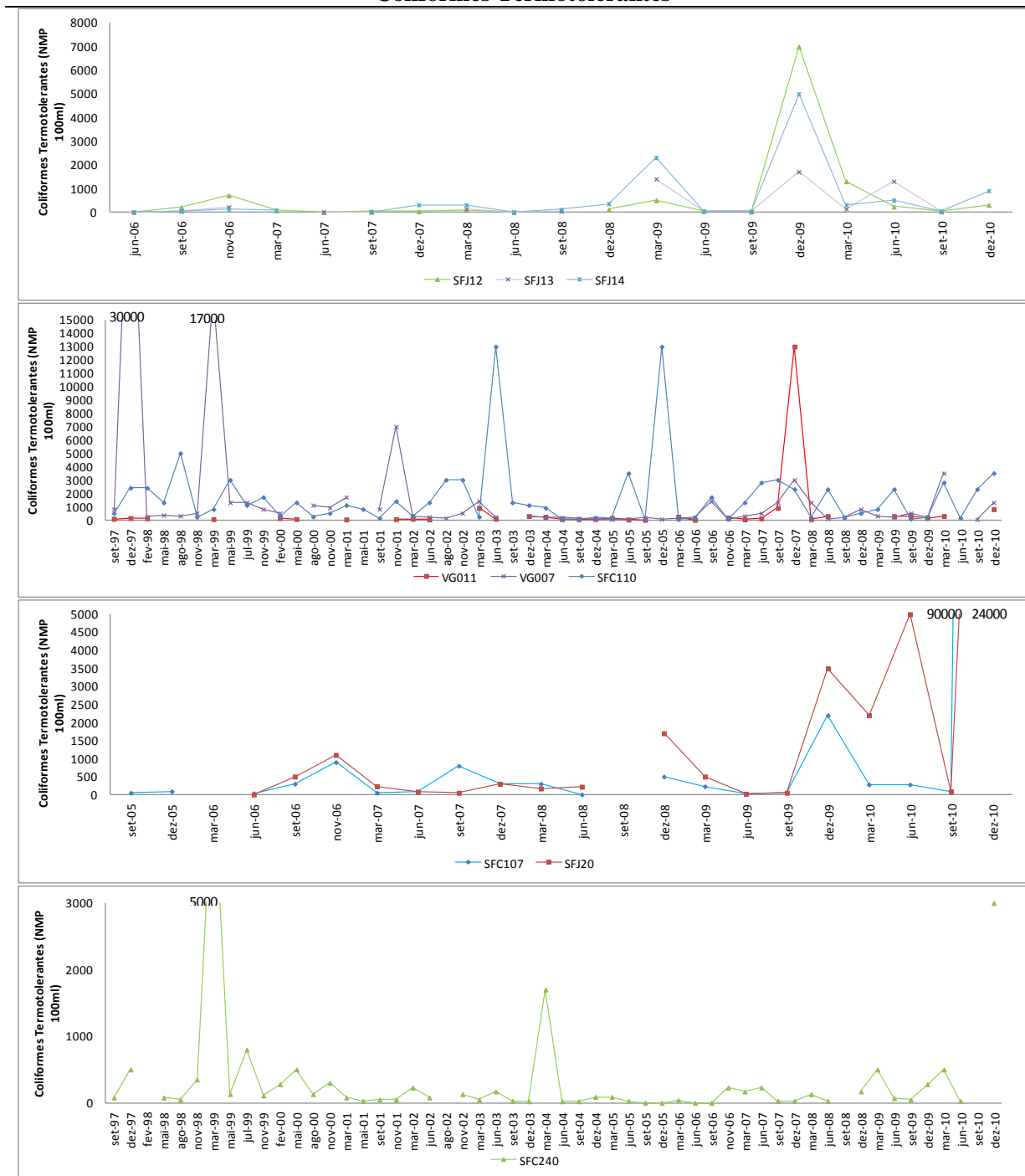
### 5.3.2.5 Coliformes termotolerantes

Os gráficos de séries temporais representados na FIG 5.17 evidenciam grandes variações nas concentrações de coliformes termotolerantes em algumas estações, fato comprovado pelo teste de Spearman, que detectou tendências temporais nas estações SFC240, SFJ12, SFJ13, SFJ14 e SFJ20. Verificou-se um aumento da concentração de coliformes em alguns períodos de chuva, provavelmente isso ocorreu em função do maior aporte de fezes animais ou humanas para os cursos d'água.

Em relação ao cumprimento da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/08, verificou-se que na maioria do período de amostragem os valores obtidos excedem o limite permitido pela legislação, ou seja de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros. O teste de Spearman realizado verificou que a concentração de coliformes encontra-se estacionária na área urbana (SFC110) e nas regiões agrícolas do Projeto Jaíba, na área de inserção das estações VG011 e SFC240. Ressalta-se que essas estações estão localizadas no rio Verde Grande.

Ao realizar o teste estatístico não paramétrico Mann-Whitney verificou-se que existem diferenças significativas no período seco e chuvoso, ao nível de significância de 5%, nas estações SFC240, SFJ12, SFJ13, SFJ14, SFJ20 e SFC107, conforme evidenciado na FIG.5.18.

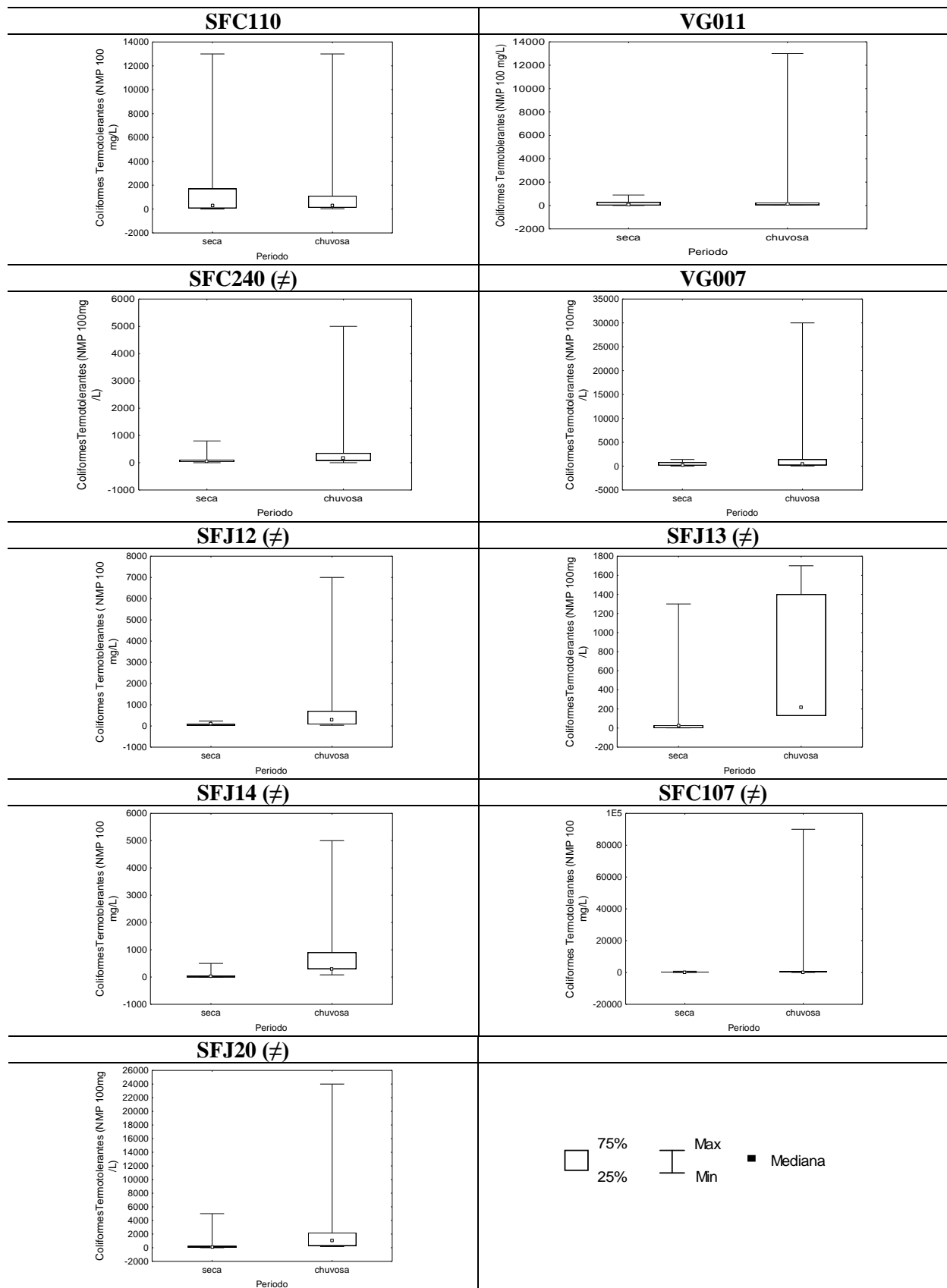
## Coliformes Termotolerantes



**Figura 5-17 – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro coliformes termotolerantes nas nove estações de monitoramento.**

Nota: Os meses que não há dados, os pontos não estão interligados.





**Figura 5-18 - Gráficos *box-whisker* do parâmetro coliformes termotolerantes no período seco e chuvoso nove estações de monitoramento.**

Nota: Os símbolos (≠) indicam diferenças significativas entre o período seco e chuvoso, de acordo com o teste de Mann-Whitney ( $\alpha = 5\%$ ).

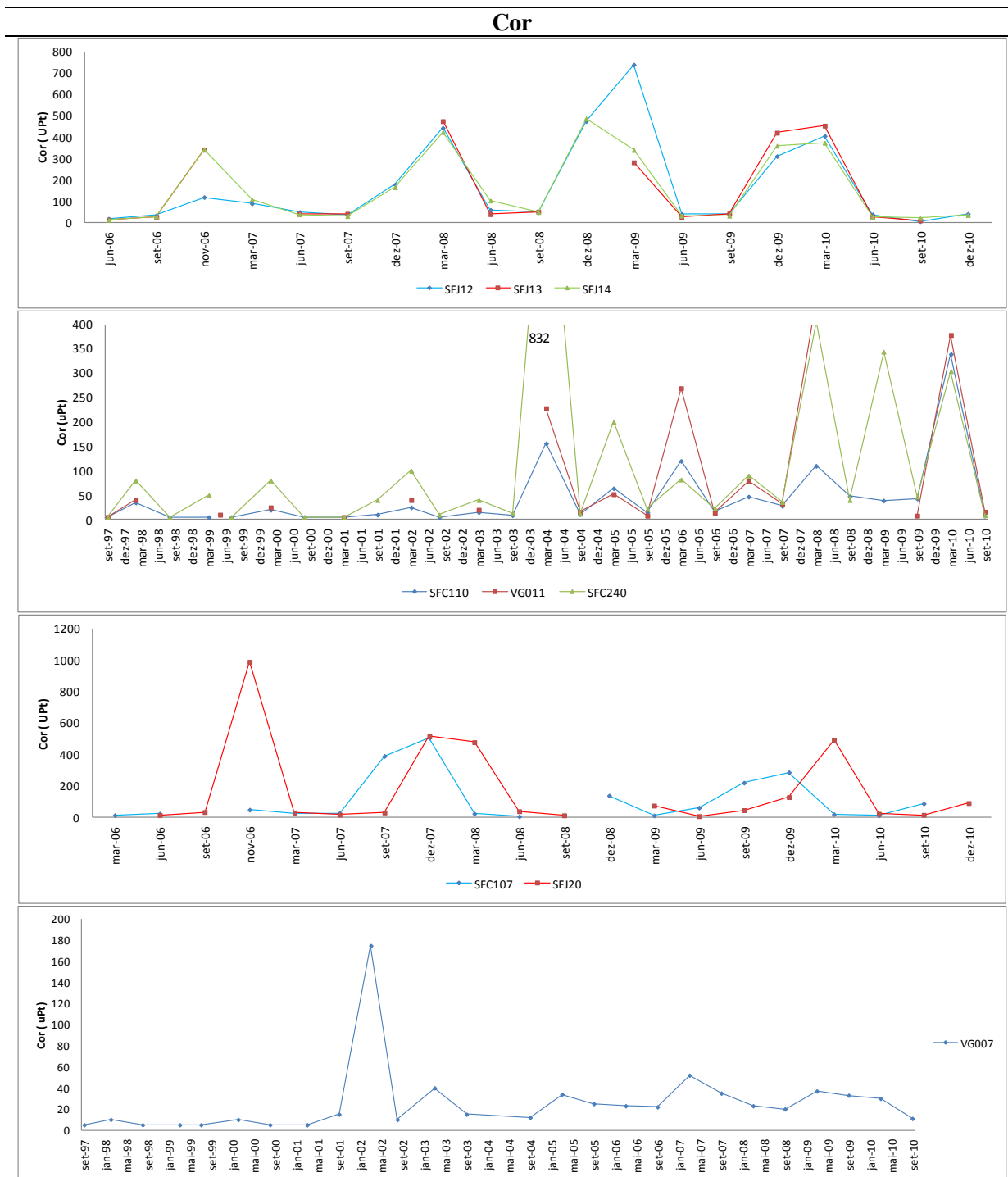
### 5.3.2.6 Cor

As águas naturais possuem coloração, que variam de 0 a 200 mgPt/L. Os cursos d'água com alto teor de substâncias orgânicas dissolvidas possuem uma coloração acima deste valor (MOSCA, 2003).

A FIG. 5.19 representa os gráficos de séries temporais do parâmetro cor nas nove estações de monitoramento. Ao analisar esses gráficos, verifica-se uma tendência de maior concentração no período chuvoso e nas áreas agrícolas do Projeto Jaíba e nas áreas do entorno do Projeto Jaíba. Esses valores nestas áreas encontram-se acima dos limites permitidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/08, ou seja, de 75 mg Pt/L, na maioria do período de amostragem.

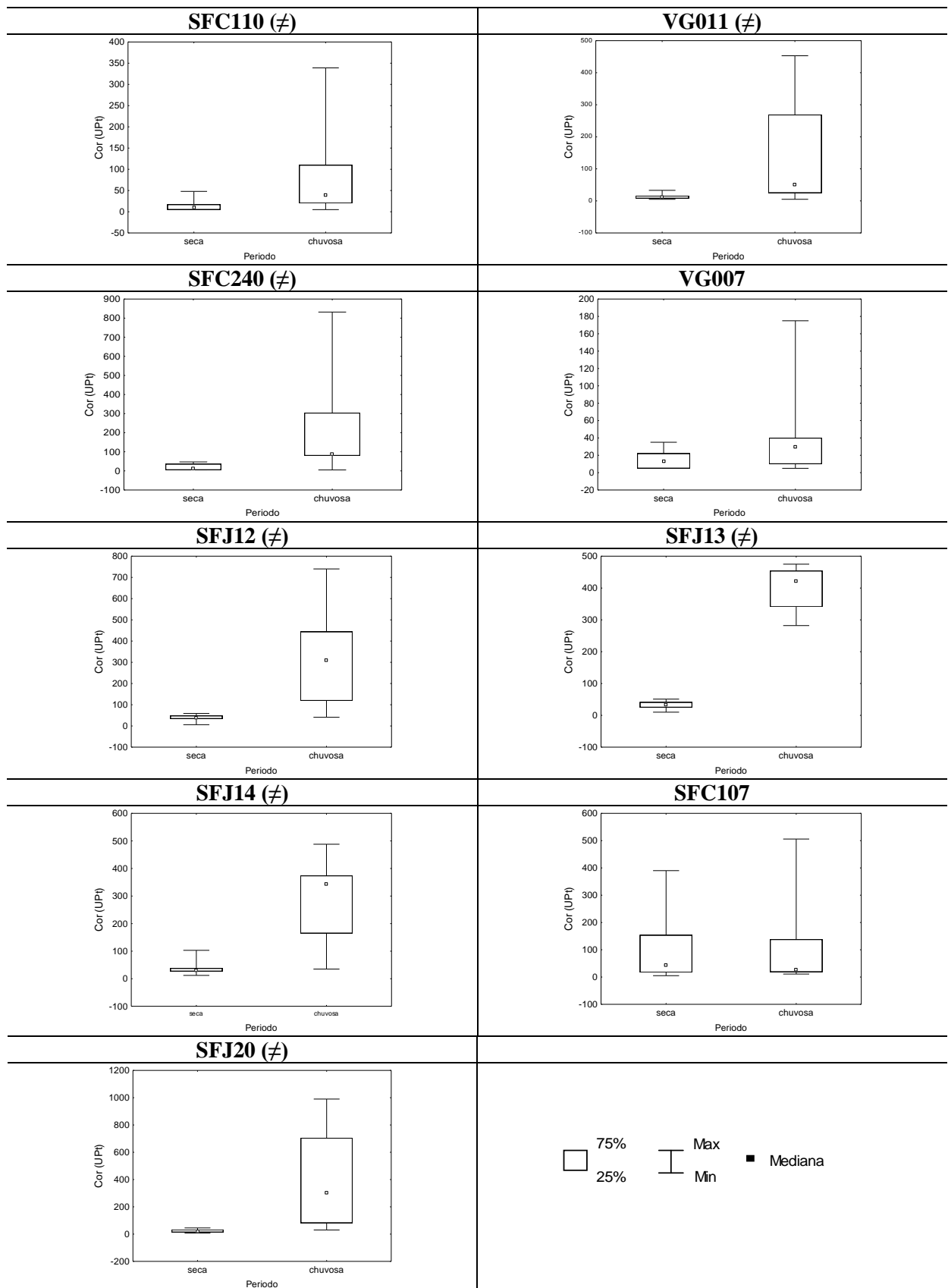
Ao se analisar as medianas dos *box-whisker* representado na FIG. 5.20, verifica-se uma diferença significativa nos valores de cor devido à sazonalidade nas estações SFC110, VG011, SFC240, SFJ12, SFJ13, SFJ14 e SFJ20. A concentração é maior no período chuvoso. Estudos realizados por Arcova e Cicco (1999) também evidenciaram uma maior concentração do parâmetro cor no período chuvoso e em microbacias agrícolas.

Nas estações localizadas na área de inserção dos perímetros irrigados, altas concentrações de cor podem ser indicativo da decomposição matéria orgânica proveniente das culturas de banana, pois segundo a EMBRAPA (2011), 66% da massa vegetativa produzida na colheita retornam ao solo, em forma de pseudocaules, folhas e rizoma. Como esse resíduo do bananal é utilizado como matéria orgânica no cultivo, em função da grande quantidade de nutrientes que retorna ao solo, a decomposição das folhas produz os ácidos húmico e fúlvico, substâncias naturais que alteram a cor.



**Figura 5-19** – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro cor nas nove estações de monitoramento.

Nota: Os meses que não há dados, os pontos não estão interligados.

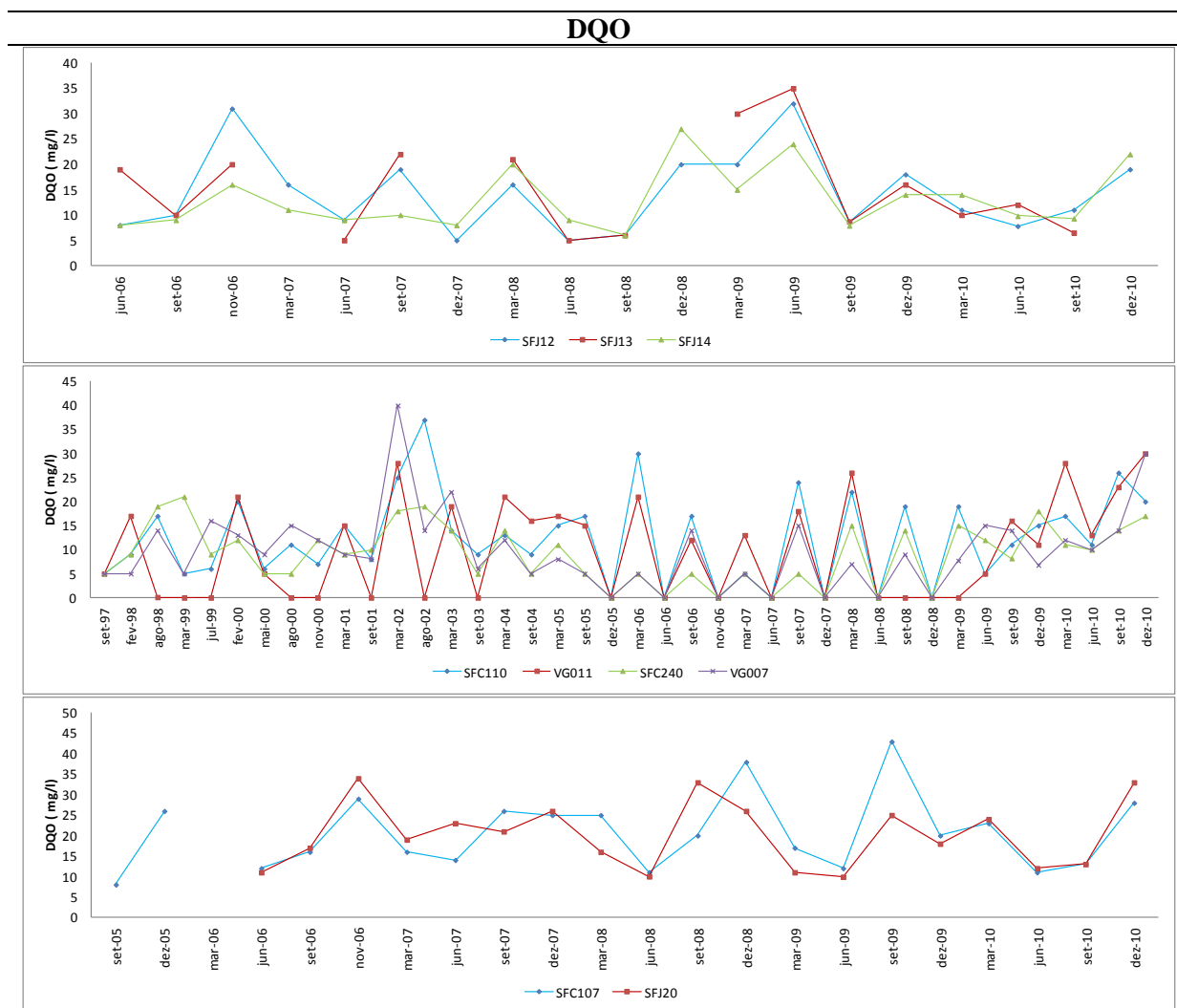


**Figura 5-20** - Gráficos *box-whisker* do parâmetro cor no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento .

Nota: Os símbolos indicam diferenças significativas entre o período seco e chuvoso, de acordo com o teste de Mann-Whitney ( $\alpha = 5\%$ ).

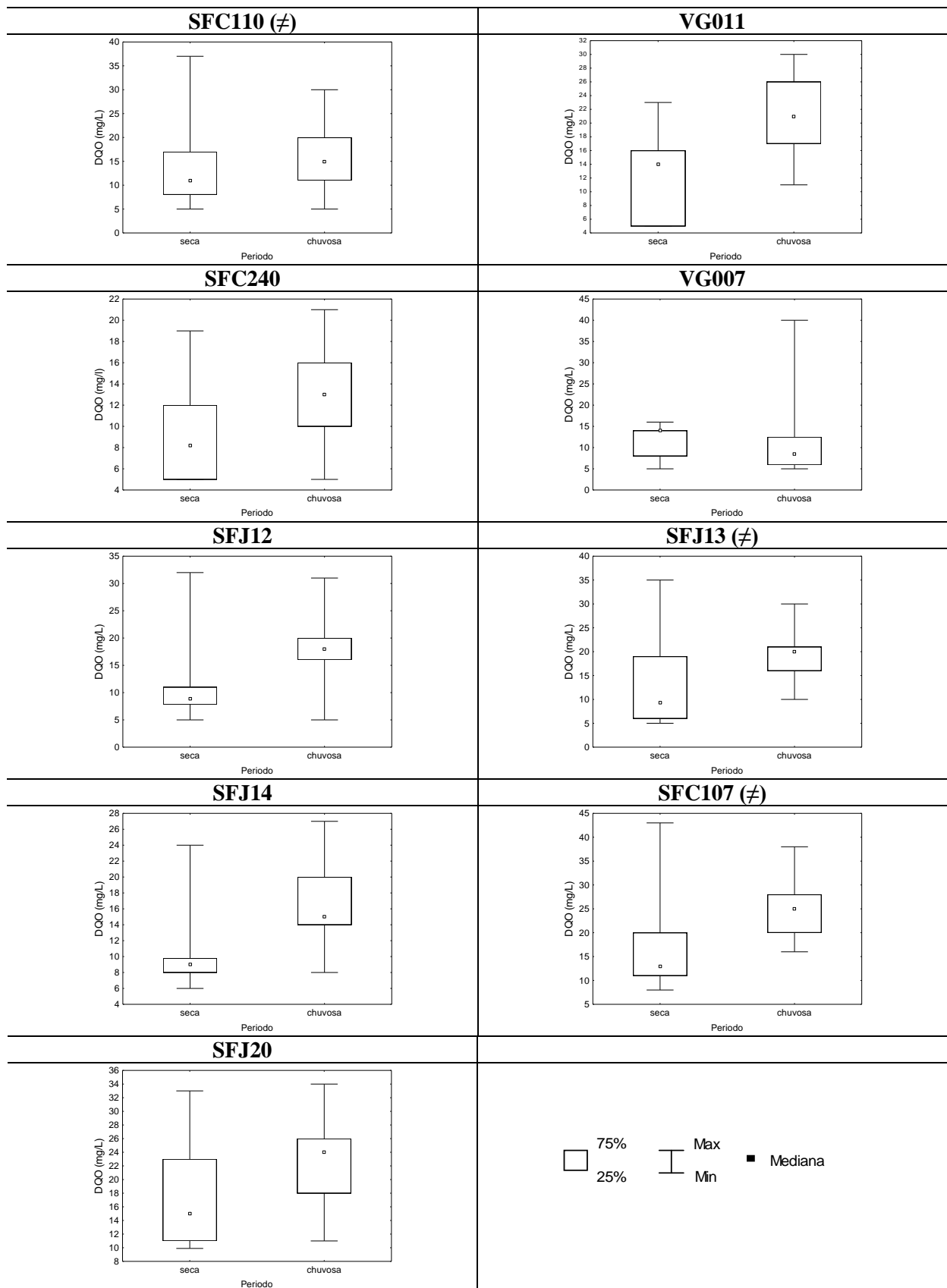
### 5.3.2.7 DQO

Os gráficos de séries temporais representados na FIG. 5.21 evidenciam uma tendência de aumento da concentração de DQO em alguns períodos de chuva. Em todas as estações de monitoramento houve uma variação em torno de 5mg/L a 40mg/L. A FIG. 5.22 mostra que houve variação da concentração em relação ao período seco e chuvoso, nas estações SFC110, SFJ13, SFJ 20 e SFC 107, fato comprovado pelo teste de Mann-Whitney.



**Figura 5-21** – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro DQO nas nove estações de monitoramento.

Nota: Os meses que não há dados, os pontos não estão interligados.



**Figura 5-22** - Gráficos *box-whisker* do parâmetro DCO no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.

Nota: Os símbolos indicam diferenças significativas entre o período seco e chuvoso, de acordo com o teste de Mann-Whitney ( $\alpha = 5\%$ ).

### 5.3.2.8 Dureza Total e Cálcio

A dureza indica a concentração de cátions multivalentes em solução na água. Os cátions mais frequentemente associados à dureza são os de cálcio e magnésio ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ). A dureza de uma água pode ter origem natural (dissolução de rochas calcáreas, contendo cálcio e magnésio) ou antropogênica (lançamento de efluentes industriais). De acordo com o grau de dureza, expresso em mg/L, a água pode ser classificada em: mole ou branda (< 50 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ); dureza moderada (entre 50 e 150 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ); dura (entre 150 e 300 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) e muito dura (> 300 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) (MORAIS, 2008)

As FIG. 5.23 e 5.24 mostram os gráficos de séries temporais para os parâmetros dureza total e cálcio nas nove estações de monitoramento.

Os resultados mostram que as maiores concentrações foram de 350 mg/L para dureza total e aproximadamente 130 mg/L para cálcio e ocorreram nas áreas agrícolas (VG011, SFJ20 e SFC107) e na área urbana (SFC110).

Pela avaliação dos gráficos, parece haver uma tendência de maior concentração desses parâmetros durante o período de seca, fato não comprovado pelo teste de tendência de Spearman. Do mesmo modo, ao se realizar o teste de Mann-Whitney, verifica-se que existem diferenças significativas em relação à variável dureza total entre o período seco e chuvoso, nas estações SFC110, SFJ13, SFJ20 e SFC107, o que pode ser evidenciado pelos gráficos *box-whisker* da FIG. 5.25. O período de seca nessas estações apresentou maiores valores, devido à maior concentração de substâncias dissolvidas, em decorrência da menor vazão.

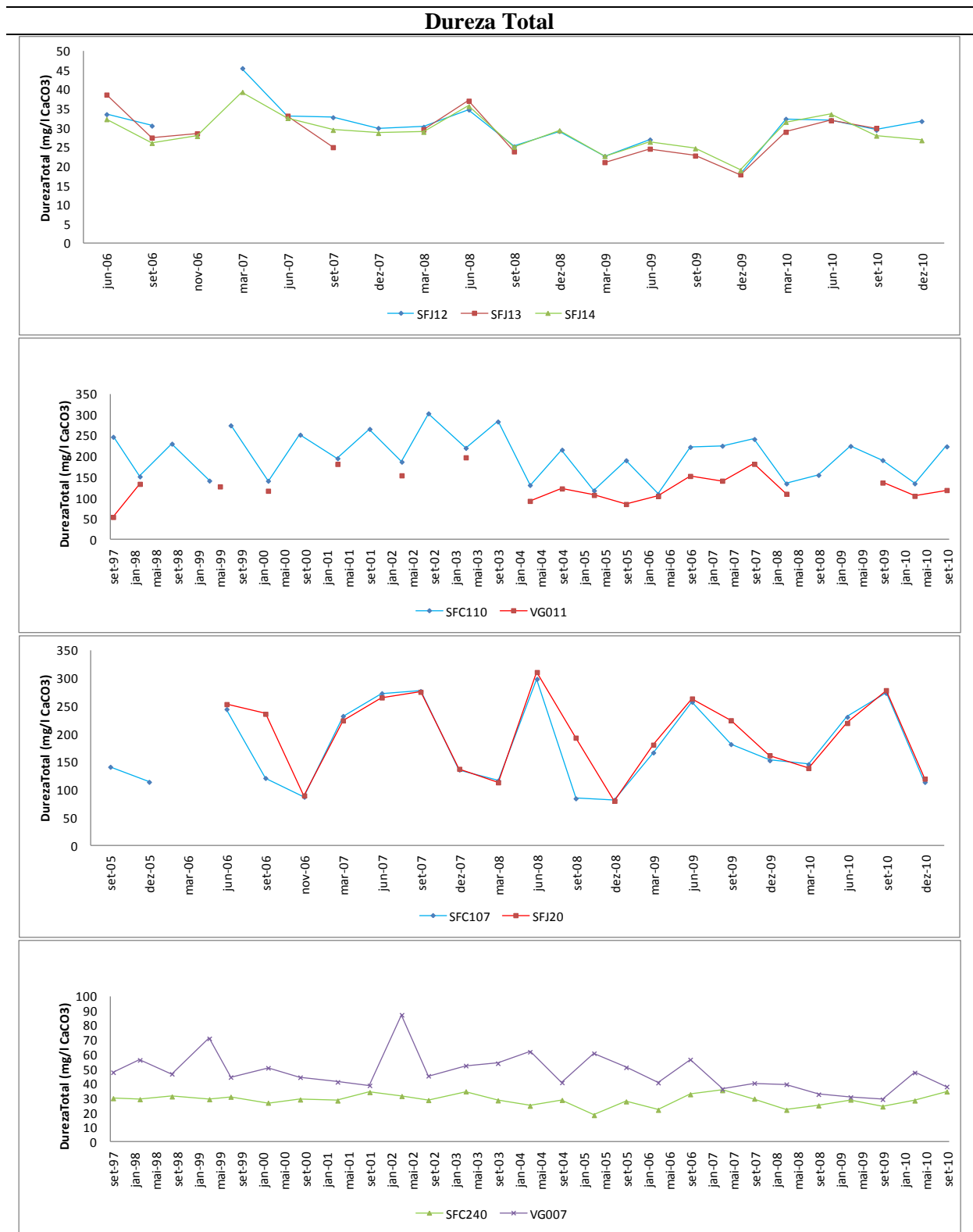
Em relação ao parâmetro cálcio observou-se que ocorreram diferenças significativas entre o período de seca e chuvoso nas estações SFC110, SFC107 e SFJ20. Sendo as maiores concentrações verificadas no período de seca, conforme evidenciado na FIG. 5.26.

Os estudos realizados por Vanzela (2004) apontaram que houve pouca variação da concentração de cálcio durante o ano, sendo detectadas as maiores concentrações durante o período de seca, bem como dureza total. Destaca-se que o estudo realizado por Oliveira (2009), no perímetro irrigado de Cruzeta, evidenciou também que não houve grandes variações e maiores concentrações de dureza total foram encontrados durante o período de seca.

Segundo a EMBRAPA (2011), um bananal retira do solo, por tonelada de cachos, em média 0,22 kg de Ca e 0,30 kg de Mg. Sendo que as quantidades de nutrientes que retornam ao solo de um plantio de banana são consideráveis, podendo chegar a valores máximos aproximados, na época da colheita, em kg/ha/ciclo, de 126 de Ca; 187 de Mg. Apesar da bananeira exigir altas concentrações de cálcio e magnésio, não foram encontradas altas concentrações de dureza total e cálcio na água. Portanto, sugere-se que a dose de fertilizantes rico nesses nutrientes tem sido aplicado na quantidade recomendada para as plantas em decorrência do tipo de solo. Tendo em vista que a geologia da região é constituída por calcários, provavelmente a concentração de cálcio presente na água é de origem natural, em virtude da dissolução dos minerais da rocha.

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH - MG n° 01/08 não define padrões para cálcio e dureza total, no entanto a Portaria 2914/11, que estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, define 500mg/L de dureza total como um valor aceitável para consumo humano. Em todas as estações o valor de dureza total ficou abaixo de 500mg/L.

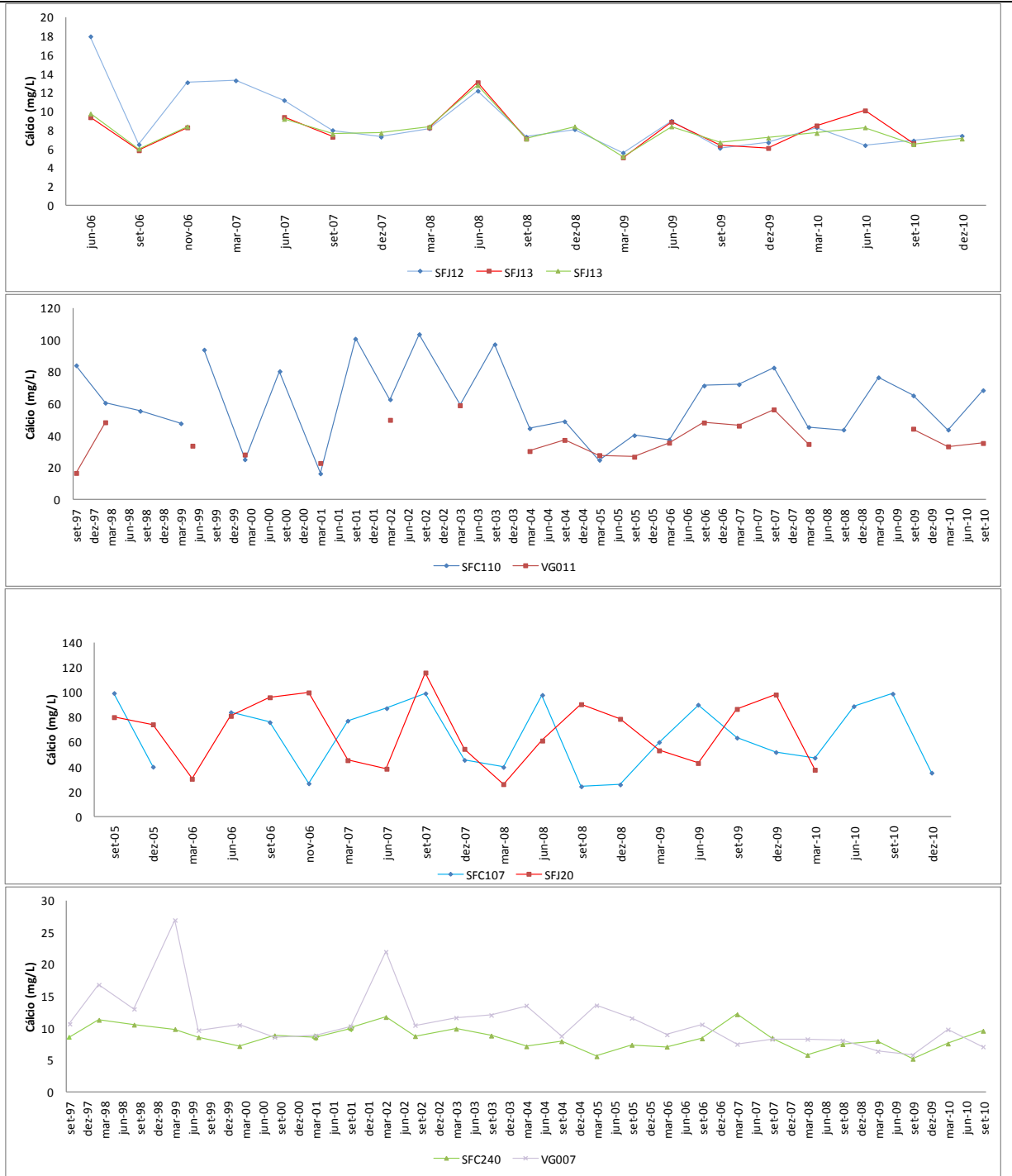




**Figura 5-23** – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro dureza total nas nove estações de monitoramento.

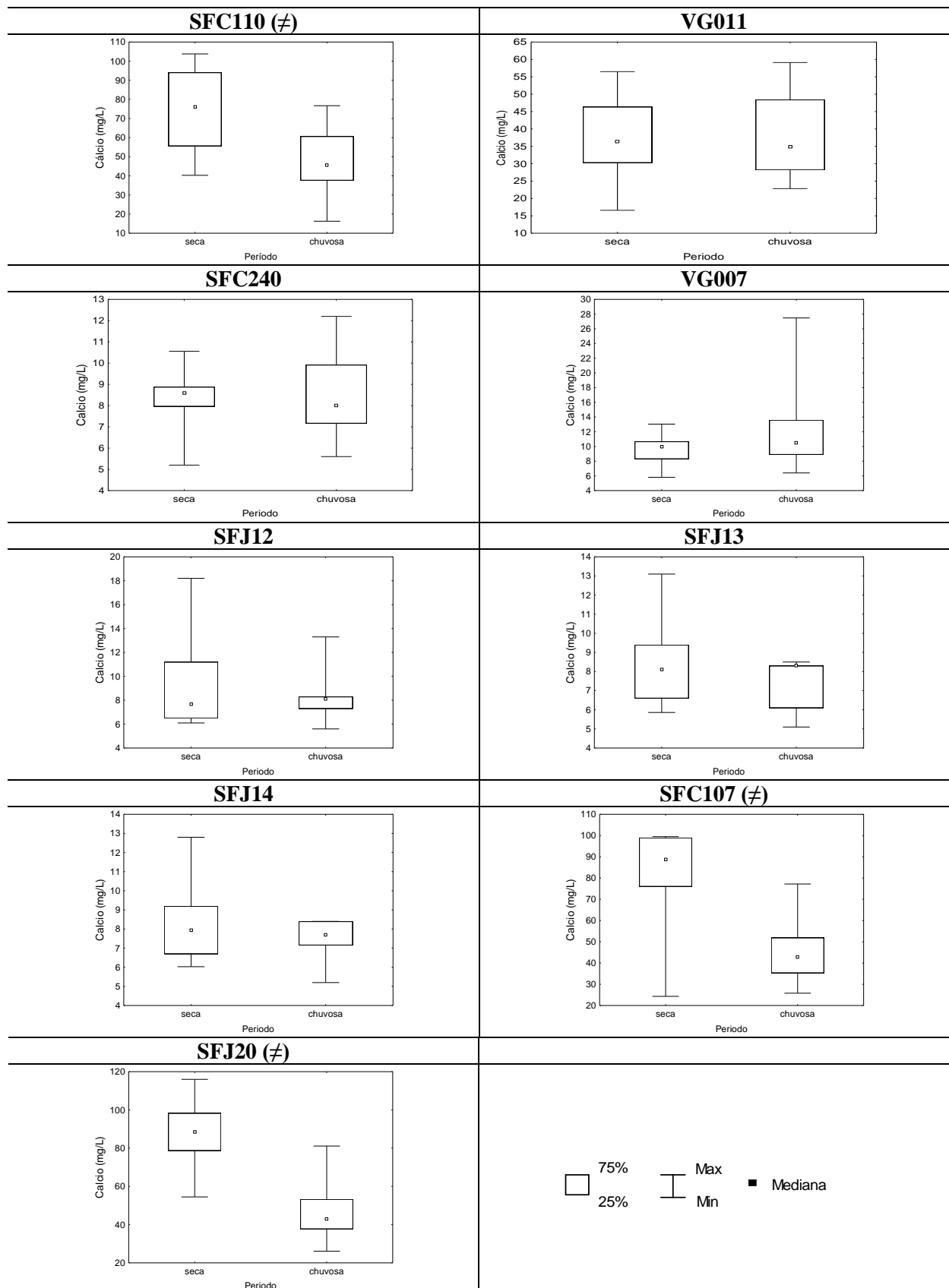
Nota: Os meses que não há dados, os pontos não estão interligados.

## Cálcio



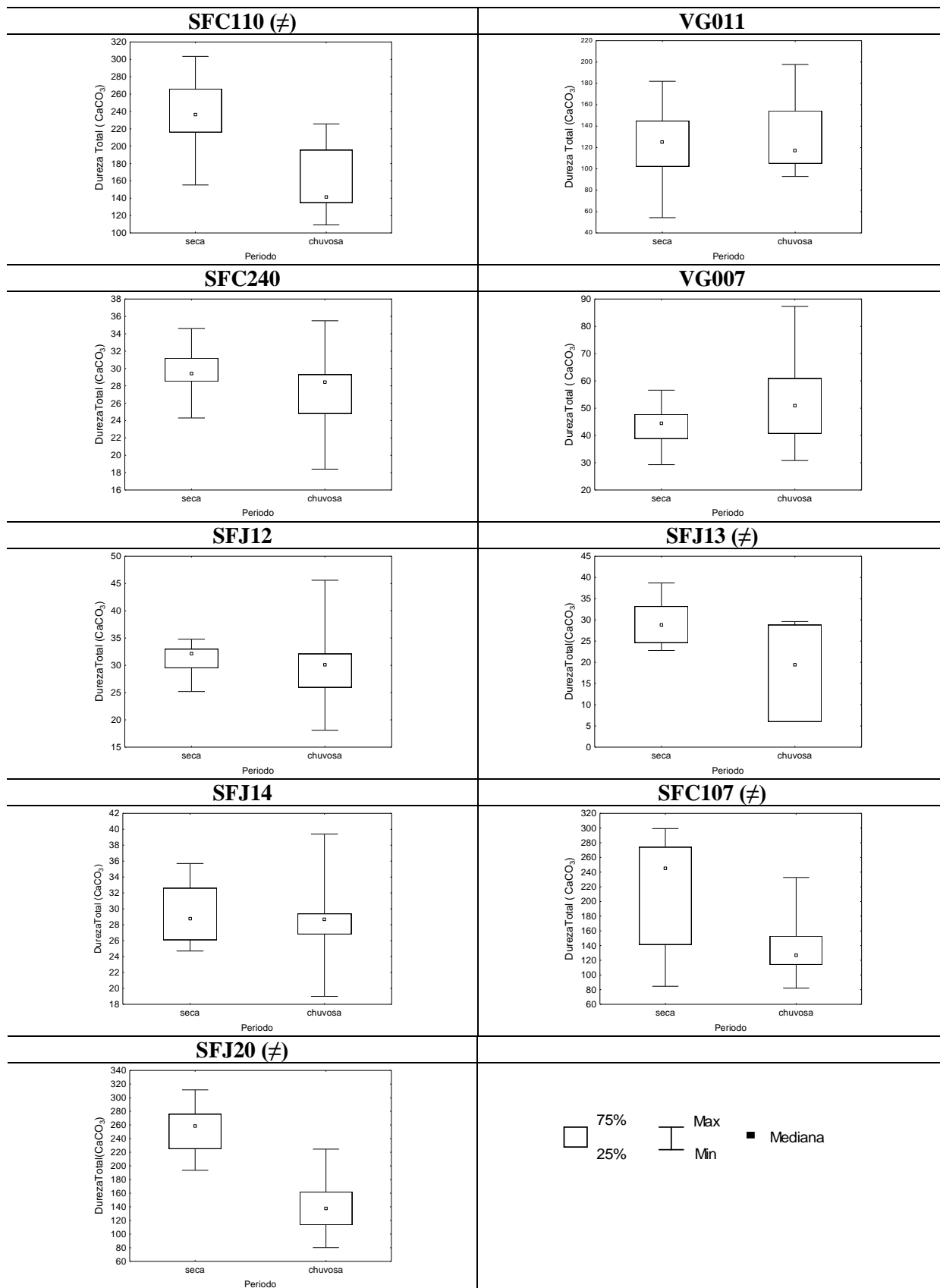
**Figura 5-24 –** Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro cálcio nas nove estações de monitoramento.

Nota: Os meses que não há dados, os pontos não estão interligados.



**Figura 5-25** - Gráficos *box-whisker* do parâmetro cálcio no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.

Nota: Os símbolos (≠) indicam diferenças significativas entre o período seco e chuvoso, de acordo com o teste de Mann-Whitney ( $\alpha = 5\%$ ).



**Figura 5-26** - Gráficos *box-whisker* do parâmetros dureza total no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.

Nota: Os símbolos (≠) indicam diferenças significativas entre o período seco e chuvoso, de acordo com o teste de Mann-Whitney ( $\alpha = 5\%$ ).

### 5.3.2.9 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) é um dos parâmetros mais significativos para expressar a qualidade de um ambiente aquático. A dissolução de gases na água sofre a influência de distintos fatores ambientais (temperatura, pressão, salinidade). As variações nos teores de OD estão associadas aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos corpos d'água. (MORAIS, 2008).

A principal consequência de aporte de defensivos e corretivos agrícolas para a qualidade dos corpos d'água superficiais é a alteração da concentração de oxigênio dissolvido, devido à perda de oxigenação da água (REBOUCAS *et al.*, 1999 *apud* CREPALLI, 2007).

Ao se analisar os gráficos de séries temporais do parâmetro oxigênio dissolvido nas nove estações de amostragem representados na FIG. 5.27, verifica-se que apenas a estação VG007 apresenta valores abaixo do permitido pela legislação ambiental, na maioria do período de amostragem, ou seja, de 5 mg/L. Segundo ECOPLAN (2009) as baixas taxas de oxigênio neste ponto do rio Gorutuba ocorreram provavelmente em decorrência da contribuição de águas pouco oxigenadas da barragem ASSIEG.

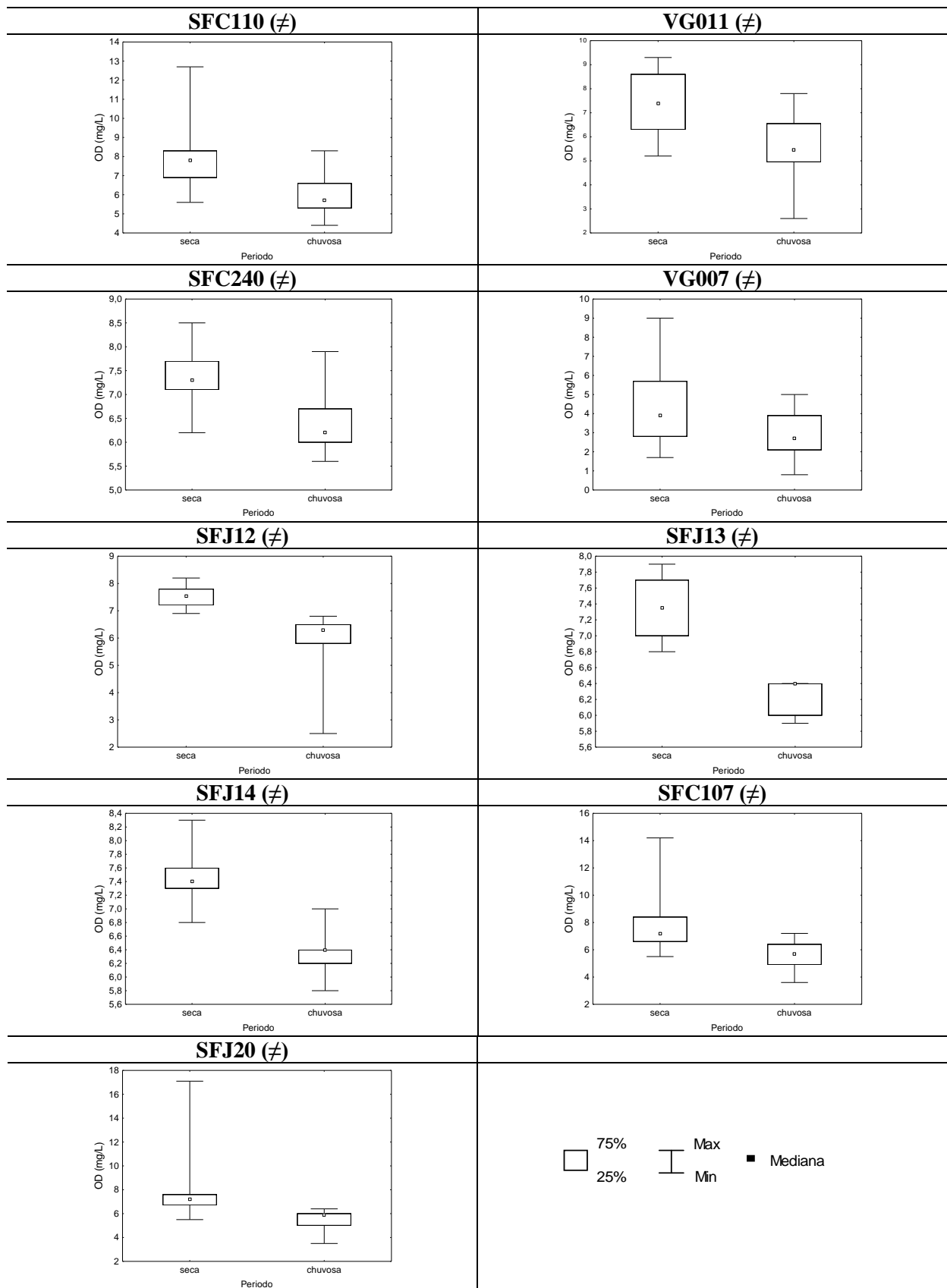
Os gráficos de séries temporais evidenciam uma tendência de maior concentração de oxigênio no período de seca, o que é comprovado pelos gráficos *box-whisker* representados na FIG. 5.28. Esse fato ocorreu, provavelmente, porque nesse período ocorre uma redução da temperatura que favorece a solubilidade do oxigênio. Destaca-se ainda que na estação seca houve uma redução da concentração de sólidos suspensos e, conseqüentemente, do aporte de matéria orgânica aos cursos d'água.

## Oxigênio Dissolvido



**Figura 5-27** – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro OD nas nove estações de monitoramento.

Nota: Os meses que não há dados, os pontos não estão interligados.



**Figura 5-28 - Gráficos *box-whisker* do parâmetro OD no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.**

Nota: Os símbolos (≠) indicam diferenças significativas entre o período seco e chuvoso, de acordo com o teste de Mann-Whitney ( $\alpha = 5\%$ ).

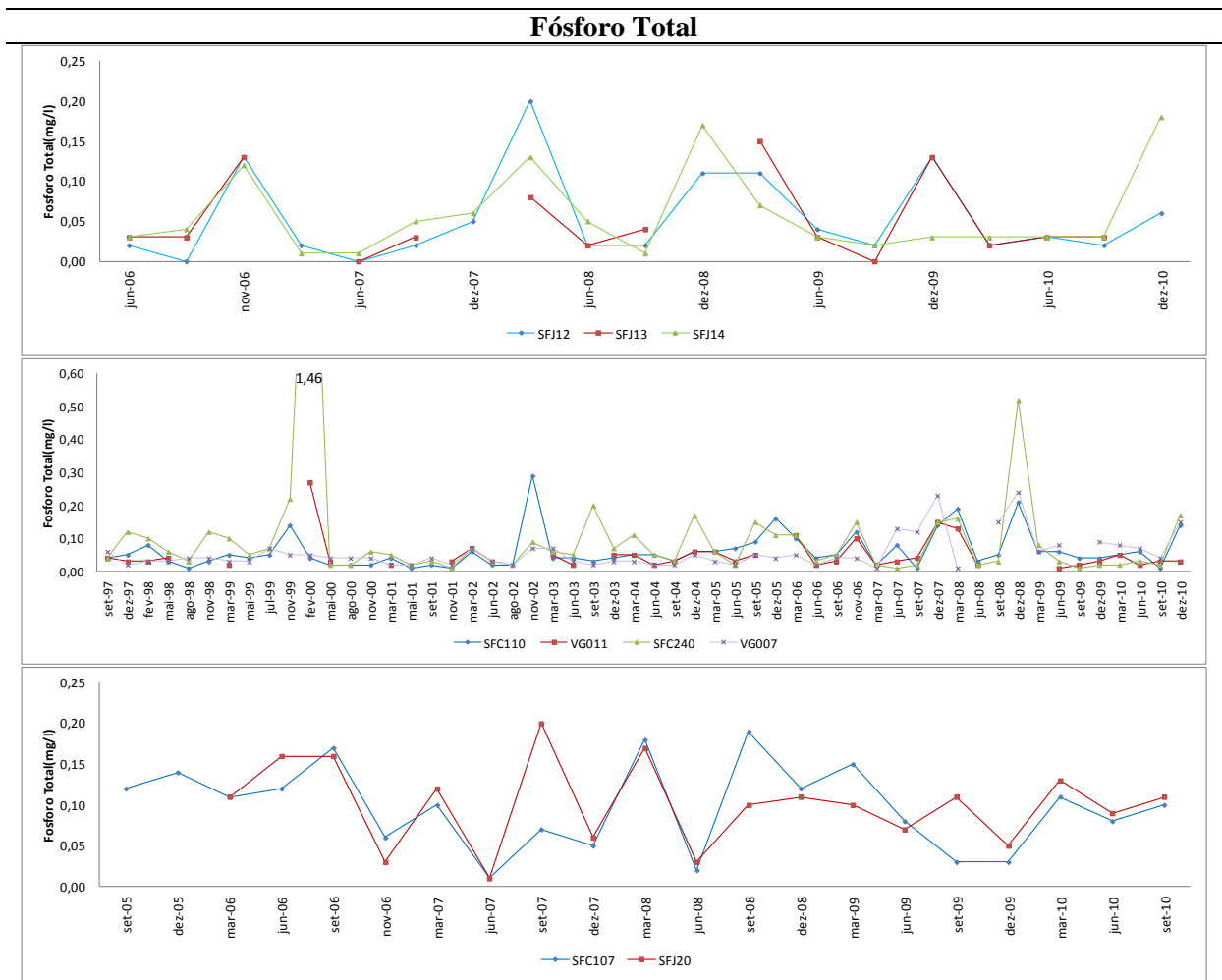
#### 5.3.2.10 Fósforo total

O fósforo é, na maioria dos casos, o nutriente mais importante para o crescimento de plantas aquáticas. No ambiente aquático o fósforo pode ser encontrado sob várias formas: orgânica (matéria orgânica dissolvida e particulada na biomassa) e inorgânica (fração solúvel representada pelos sais de fósforo dissolvidos e a insolúvel pela presença de minerais de difícil solubilização como o fosfato de cálcio). A presença de fósforo na água está relacionada à processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva) ou antropogênicos (lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes, pesticidas). Em águas naturais não poluídas as concentrações de fósforo situam-se na faixa de 0,01 a 0,05 mg/L (MORAIS, 2008).

A FIG. 5.29 mostra os gráficos de séries temporais para o parâmetro fósforo total nas nove estações de monitoramento. Ao se avaliar os gráficos observam-se valores acima do limite estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/08, em alguns períodos, ou seja, valores acima de 0,1 mg/L. Apenas os dados da estação SFC110 mostraram-se estacionários, como já comentado. As baixas concentrações de fósforo nos cursos d'água é provavelmente devido a capacidade de retenção de fósforo nos solos latossolos, devido a presença de óxidos de ferro e alumínio (EBERHARDT, 2008).

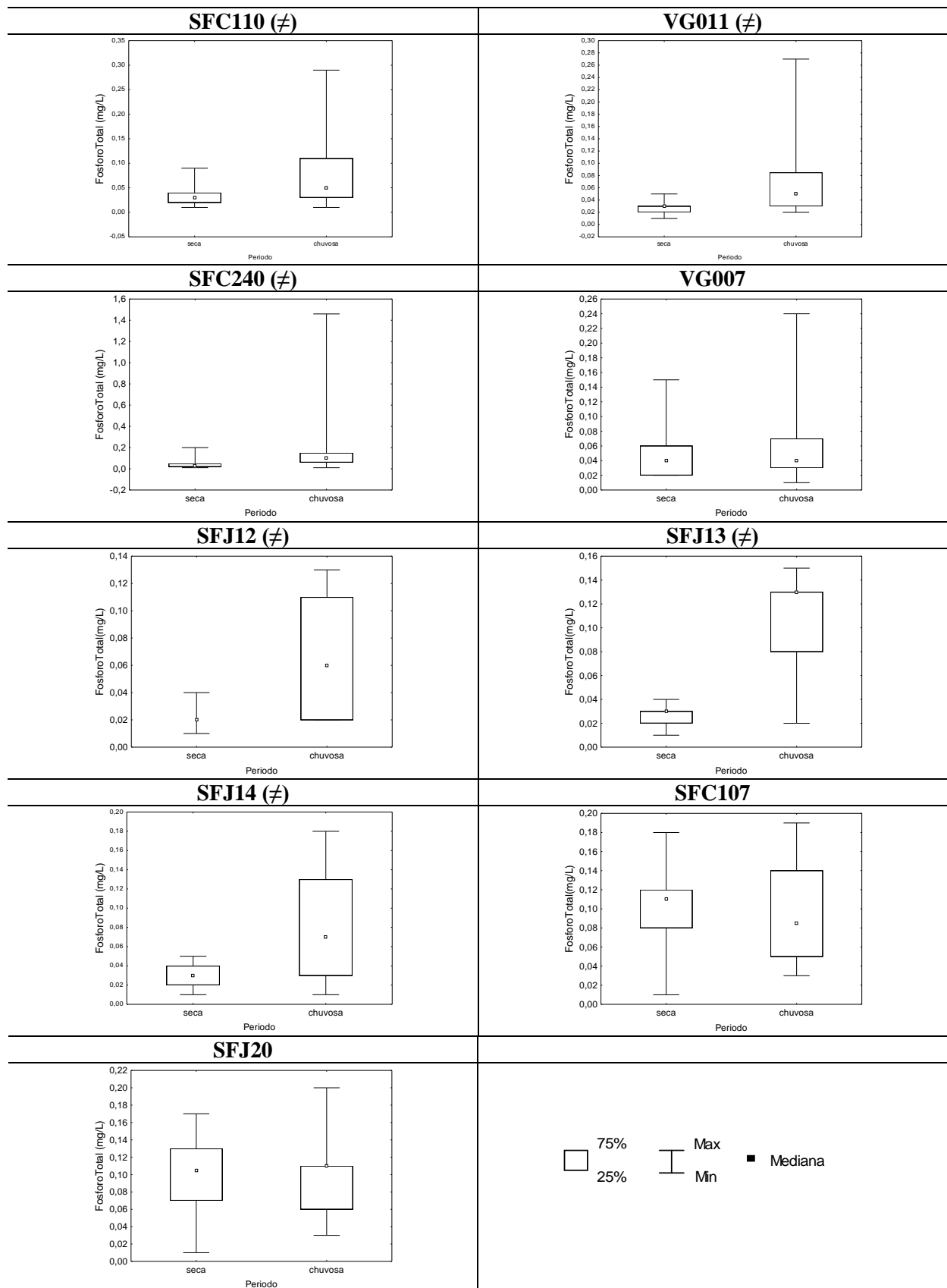
A evolução temporal indica uma tendência de maior concentração de fósforo no período chuvoso, fato comprovado pelos resultados dos testes de Mann-Whitney, ao nível de significância de 5%. Conforme evidenciado na FIG. 5. 30, existem diferenças significativas entre o período seco e chuvoso nas estações SFC110, VG011, SFC240, SFJ12, SFJ13 e SFJ14.





**Figura 5-29 - Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro fósforo total nas nove estações de monitoramento.**

Nota: Os meses que não há dados, os pontos não estão interligados.



**Figura 5-30 - Gráficos *box-whisker* do parâmetro fósforo total no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.**

Nota: Os símbolos (≠) indicam diferenças significativas entre o período seco e chuvoso, de acordo com o teste de Mann-Whitney ( $\alpha = 5\%$ ).

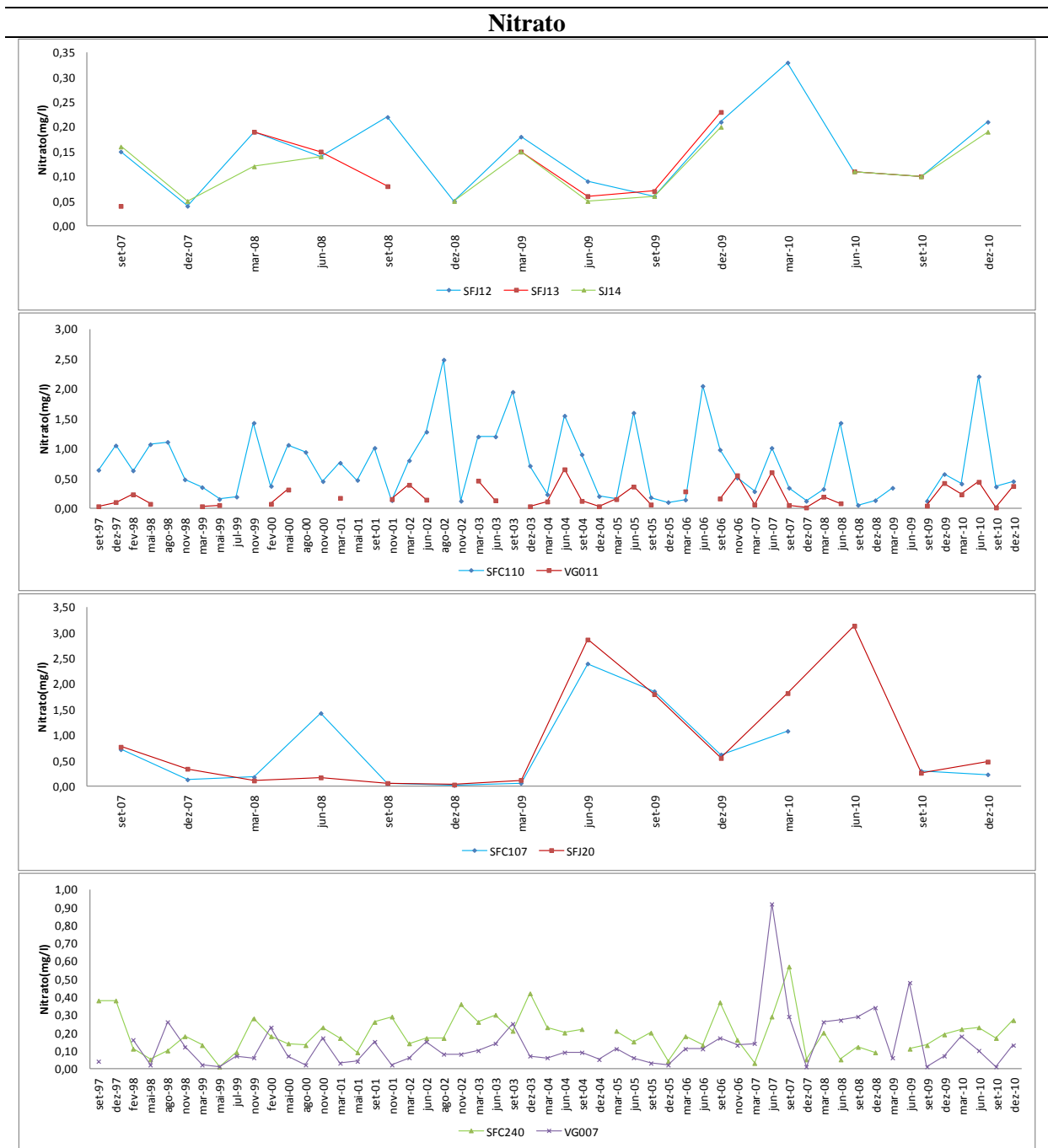
#### 5.3.2.11 Nitrato

O nitrogênio é um dos mais importantes nutrientes para o crescimento de algas e macrófitas, sendo facilmente assimilável nas formas de amônia e nitrato. O nitrato é um parâmetro que indica poluição por atividades agrícolas devido ao uso de fertilizantes, bem como pode estar associado a despejos domésticos e industriais.

A FIG. 5.31 mostra os gráficos de séries temporais para o parâmetro nitrato nas nove estações de monitoramento. Pela análise dos gráficos observa-se que em todas as estações os valores encontrados estão abaixo do recomendado pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/08, ou seja, de 10 mg/L. Esses resultados corroboram os estudos de Parron (2007), Queiroz (2010) e Oliveira (2009) que, ao avaliarem a qualidade da água em regiões onde a agricultura era a atividade predominante, encontraram valores baixos de nitrato, ou seja, abaixo do limite estabelecido pela legislação. Como já comentado, apenas os valores de nitrato nas estações VG011, VG007 e SFC240 mostraram-se estacionários.

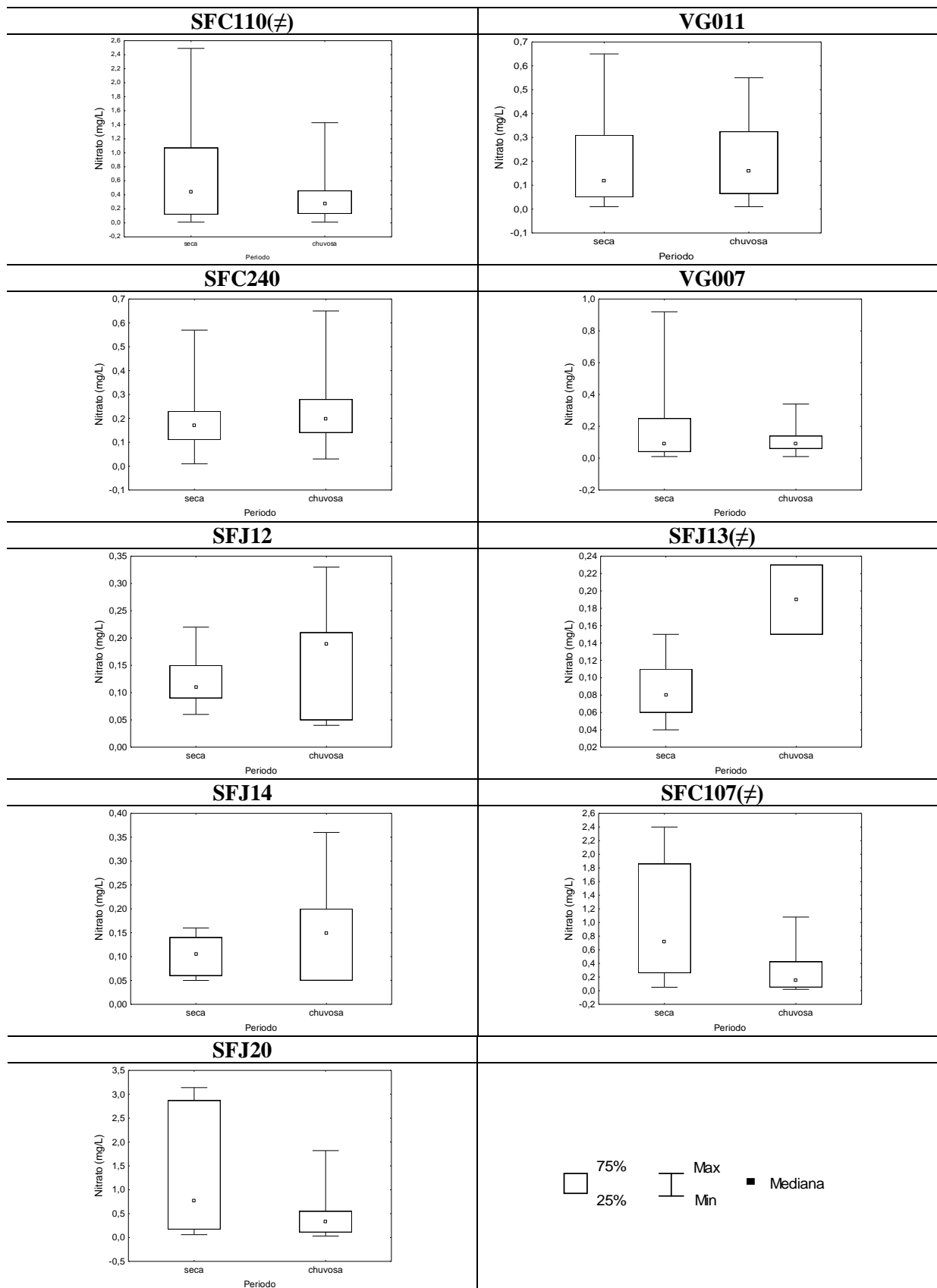
Nessas áreas agrícolas os valores baixos podem ocorrer porque os solos latossolos e cambissolos, presentes na região, tem a capacidade de adsorção de ânions como o nitrato. Este fato foi evidenciado por Parron (2007) que encontrou valores baixos de nitrato no rio Preto localizado no Médio São Francisco, região agrícola com predominância de solos latossolos e cambissolos.

O teste estatístico não paramétrico Mann-Whitney observou que não existem diferenças significativas no período seco e chuvoso, ao nível de significância de 5%, na maioria das estações, com exceção dos pontos SFC110, SFJ13 e SFC107, conforme evidenciado na FIG.5.32. Esses resultados confirmam os encontrados por Oliveira (2009) que observou que valores baixos de nitrato independem da sazonalidade.



**Figura 5-31 – Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro nitrato nas nove estações de monitoramento.**

Nota: Os meses que não há dados, os pontos não estão interligados.

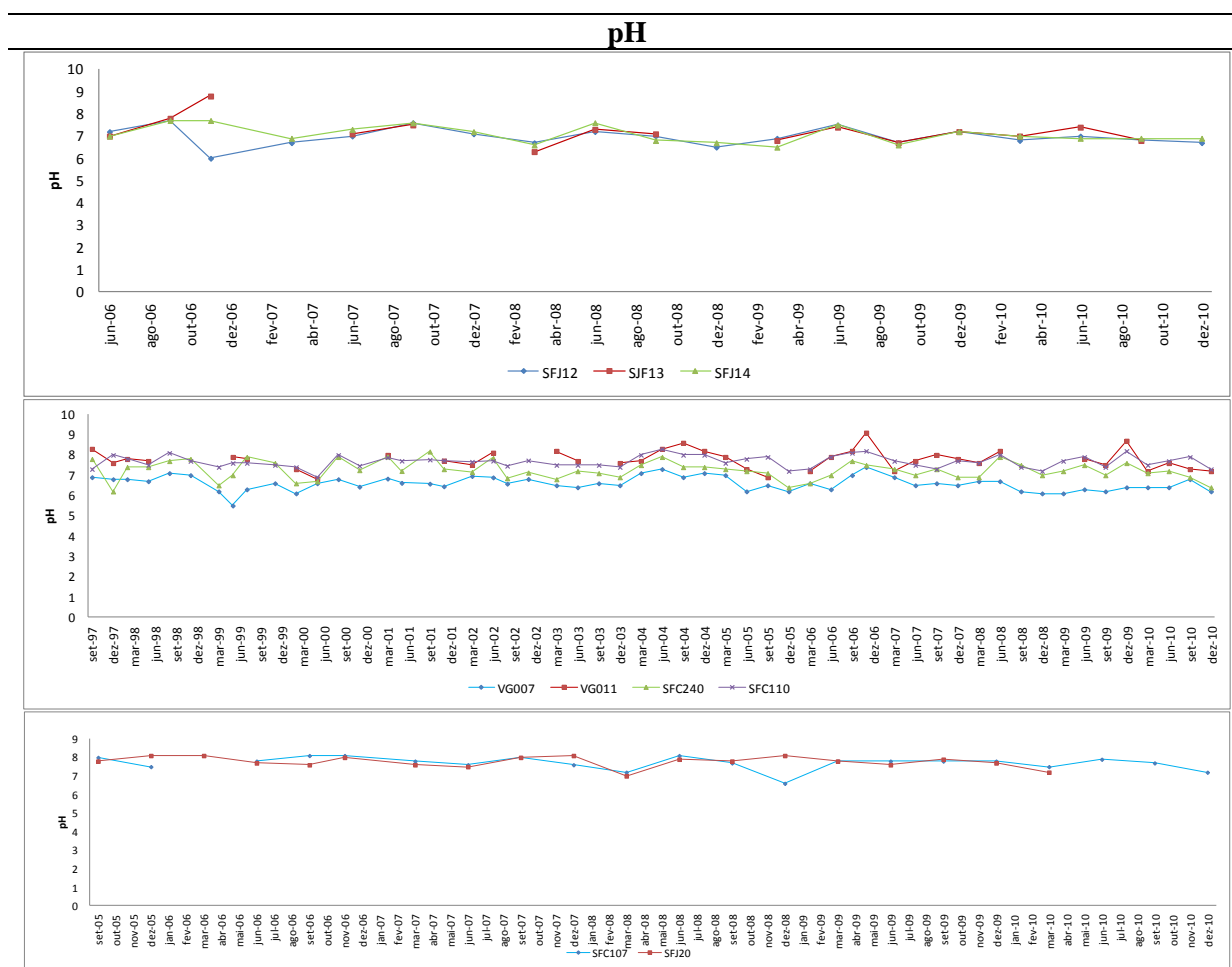


**Figura 5-32 - Gráficos *box-whisker* do parâmetro nitrato no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento**

Nota: Os símbolos (≠) indicam diferenças significativas entre o período seco e chuvoso, de acordo com o teste de Mann-Whitney ( $\alpha = 5\%$ ).

### 5.3.2.12 pH

A FIG. 5.33 mostra os gráficos de séries temporais para o parâmetro pH nas nove estações de monitoramento. Ao se avaliar os gráficos observa-se que em todas as estações os valores encontrados na maioria do período de amostragem estão dentro do recomendado pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/08, ou seja, variando de 6 a 9, para corpos d'água classe 2. Os valores de pH apresentaram tendência (não estacionariedade) em quase todos os pontos de amostragem, com exceção das estações VG011, SFC240 e SFC110.

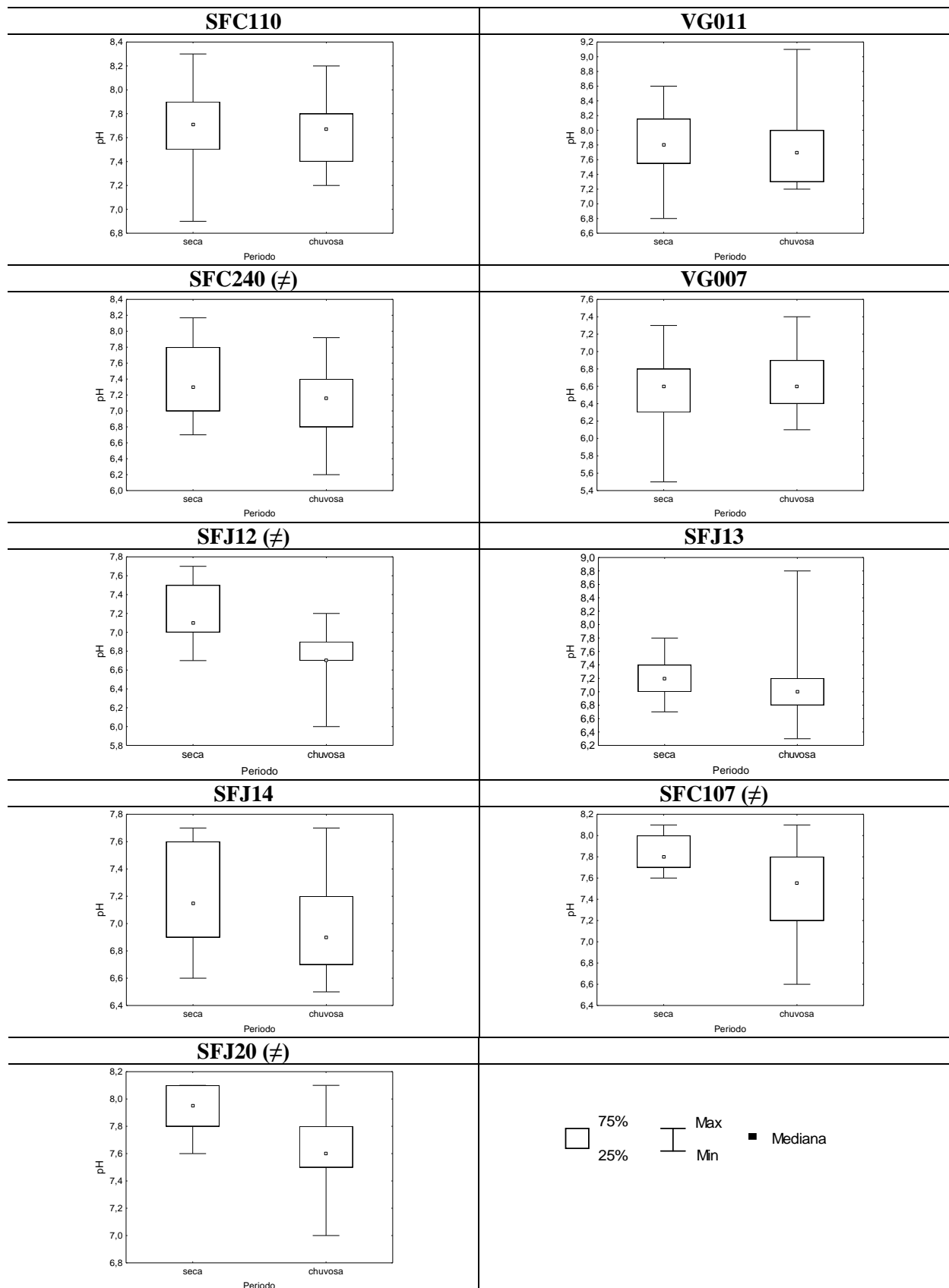


**Figura 5-33-** Gráfico de séries temporais representando a evolução do parâmetro pH nas nove estações de monitoramento.

Nota: Os meses que não há dados, os pontos não estão interligados.

O teste estatístico não paramétrico Mann-Whitney verificou que existem diferenças significativas no período seco e chuvoso, ao nível de significância de 5%, conforme evidenciado na FIG. 5.34, sendo as maiores concentrações encontradas no período de seca nas estações SFJ12, SFC240, SFJ20 e SFC107. Esses valores corroboram os resultados

encontrados por Vanzela (2004), que também encontrou valores elevados de pH em período de seca no córrego Três Pontas.



**Figura 5-34 – Gráficos *box-whisker* representando do parâmetro pH no período seco e chuvoso nas nove estações de monitoramento.**

Nota: Os símbolos (≠) indicam diferenças significativas entre o período seco e chuvoso, de acordo com o teste de Mann-Whitney ( $\alpha = 5\%$ ).



## 6 CONCLUSÕES

A investigação do impacto da irrigação nas águas superficiais da porção mineira do Médio São Francisco, utilizando fonte de dados secundários de monitoramento disponibilizados pelo IGAM, mostrou que não houve uma deterioração da qualidade das águas no período estudado, considerando os parâmetros analisados. Ressalta-se que outros estudos em áreas agrícolas, como a região de Sanga Mandarinina e a microbacia do ribeirão Marins, também foi verificado que a atividade de agricultura causou baixo impacto na qualidade das águas em relação aos parâmetros monitorados ( LUCAS, 2007 e QUEIROZ, 2010).

Os parâmetros sólidos dissolvidos, cloreto total, nitrato e pH em todas as estações de monitoramento apresentaram valores abaixo do recomendado pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01/08. Em relação às variáveis cor, sólidos suspensos e coliformes termotolerantes observou-se valores acima do permitido pela legislação, no entanto esses valores foram encontrados apenas em alguns períodos da série histórica.

Não foi possível perceber, também, um padrão de contaminação em função da localização das estações. No entanto, foi possível perceber que as estações SFJ12, SFJ13, SFJ14 e SFC240 (localizadas ao longo do rio São Francisco) não apresentaram diferenças significativas entre si, considerando praticamente todos os parâmetros analisados. Isto foi observado, apesar do uso e ocupação do solo ser diferente, já que na estação SFC240 são adotadas práticas agrícola/urbanos e nas estações SFJ 12,SFJ13 e SFJ14 práticas predominantemente agrícolas.

A qualidade da água na região de inserção das estações SFJ20, SFC107 e VG011, cuja ocupação do solo é basicamente agrícola apresentaram pior qualidade em comparação com as áreas agrícolas na região do Jaíba (SFJ12, SFJ13 e SFJ14). Como nessas áreas são cultivadas predominantemente banana, utilizando basicamente os mesmos sistemas de irrigação e fertilizantes, esta diferença pode ser atribuída às vazões dos cursos d'água. As estações SFJ20, SFC107 e VG011 estão localizadas na 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 estação VG007 localizada no perímetro de irrigado Gorutuba/Lagoa Grande apresentou a qualidade da água melhor que a região do entorno do Jaíba, provavelmente em decorrência de

melhores técnicas de manejo de solo e sistemas de irrigação, mas tal fato não pode ser comprovado em campo.

Considerando o efeito da sazonalidade, foi verificado que no período seco ocorre, de maneira geral, uma redução da qualidade da água, devido a maior concentração dos constituintes em decorrência da menor vazão do Verde Grande.

Apesar do perímetro de irrigação do Jaíba ser um dos maiores da América Latina, a qualidade da água na área de inserção das estações SFJ12, SFJ13 e SFJ14 apresentaram melhor qualidade quando comparada com as demais áreas. Isso ocorre provavelmente porque a capacidade autodepuração do rio São Francisco é maior, em relação aos demais cursos d'água, e não porque o perímetro tem as melhores práticas agrícolas e manejo do solo.

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.

O impacto das áreas urbanizadas foi similar ao observado para as áreas agrícolas, quando as estações estavam localizadas no mesmo curso d'água. A estação SFC110, localizada no rio Verde Grande, a jusante da cidade de Jaíba, apresentou a pior qualidade quanto comparada com as demais áreas urbanizadas, apesar do município possuir uma estação de tratamento de esgotos (ETE) que atende aproximadamente 30% da população.

Ainda que o trabalho não tenha avaliado a relação dos agrotóxicos que são utilizados e demais parâmetros importantes para quantificar o impacto da agricultura como biondicadores e sedimentos, acredita-se que o presente trabalho tenha dado uma contribuição importante para a avaliação do impacto da atividade da agricultura irrigada na qualidade das águas superficiais na região do Médio São Francisco. Diante do cenário atual de disponibilidade e competição pelos recursos hídricos pelos diferentes setores da sociedade, tais informações ganham ainda maior importância, que serão de grande auxílio para uma gestão do uso da água que seja racional, econômica e ecologicamente sustentável.

## **7 RECOMENDAÇÕES**

Para quantificar melhor o impacto da agricultura na região do Médio São Francisco é necessário obter informações sobre a quantidade e os principais tipos de fertilizantes que são aplicados na agricultura, bem como a relação dos agrotóxicos que são utilizados e monitoramento dos principais constituintes na água. Ressalta-se ainda a importância de avaliar os sedimentos e a comunidade biológica, pois os sedimentos têm a capacidade de incorporar e acumular elementos contaminantes como pesticidas, enquanto os bioindicadores aquáticos permitem uma avaliação integrada dos efeitos ecológicos causados por múltiplas fontes de poluição.

## REFERÊNCIAS

- ALCÂNTRA, M. K; CAMARGO, O. A. Adsorção de nitrato com cargas variáveis. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.40, n.4, p: 369-376, 2005
- ALMEIDA, M. A. B; SCWAZBOLD, A. Avaliação Sazonal da qualidade das águas ao Arroio da Cria Montenegro, RS, com aplicação do Índice de Qualidade da Água (IQA). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v.8, p: 81-97, 2003
- Agência Nacional das Águas - ANA. Consumo de água no Brasil, Brasília, 2007.
- Agencia Nacional das Águas - ANA. *Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco : Subprojeto 4.5.B – Formulação de um Programa de Gerenciamento Integrado da Bacia do rio São Francisco e da sua Zona Costeira*, 2003. Brasília: ANA, 2003. 152 p. Resumo Executivo do Relatório Final.
- ANDRADE, C. L. T.; BRITO, R. A. L. *Métodos de Irrigação e Quimigação*. 1.ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Circular técnica 86, Dez. 2006. Disponível: em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/490418>>. Acesso em: 10 Marc.2011.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, A. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha. *Scientia Forestalis*, v. 56, p. 125-134, 1999.
- BARBIERI, P. R. B. Caracterização da estação chuvosa nas regiões sul e sudeste do Brasil associado com a circulação atmosférica. 2005. 121 f. (Dissertação de Mestrado), INPE, São Jose dos Campos, 2005.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de Irrigação*. 8 ed. Viçosa : UFV, 2006. 625 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria CONAMA nº 2914 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. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 14 de dezembro de 2011
- 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
- BRITO, L.T.; SRINIVASAN, V. S.; SILVA, A. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, O. C.; HERMES, L. C. Influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Salitre. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande. v. 9, n. 4, p. 596-602, 2005.
- BU, H.; TAN, X.; LI, S.; ZHANG, Q. Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui River of the South Qinling, Mst.; China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. v. 73, p 907-913, 2010.
- CARVALHO, E .F.; FRINHANI, E. M. D. Monitoramento da qualidade das águas do rio Tigre, Joaçaba, SC. *Unoesc&Ciência Aect*, Joaçaba.v. 1, n.1, p.49-58, jan/fev., 2010.
- CARVALHO, D. F. S.; BATISTA, L. D. A evolução dos pivôs. *A Granja - A nova era do algodão*.v. 63, n. 705, p. 44-46, set., 2007.
- Comitê da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Apresenta produtos e serviços referente a bacia do São Francisco. Disponível:<[http:// www.saofrancisco.cbh.gov.br/default.aspx](http://www.saofrancisco.cbh.gov.br/default.aspx)>. Acesso em: 07mai. 2011.
- Companhia Tecnológica de Saneamento Ambiental - CETESB. *Relatório de qualidades das águas interiores do estado de São Paulo, 2004*. São Paulo: CETESB, 2005. 297 p. Relatório.

Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Apresenta produtos e serviços referente ao Vale do São Francisco e Parnaíba. Disponível: <<http://www.codevasf.gov.br>>. Acesso em: 06 mai. 2011.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO -CODEVASF. Ruralminas. Distrito de Irrigação. Perímetro irrigado de Jaíba. Jaíba, s.d. (Manual informativo) *apud* SILVA, Amanda Cristina da, *Dilemas da agricultura familiar irrigada no Projeto Jaíba*. 2006. 89 f. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

CODEVASF, *Inventário de Projetos da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco-CODEVASF*, 3.ed., Brasília: Ministério da Integração Social, 1999, 52 p.

CODEVASF, IGAM. *Programa de monitoramento das águas superficiais – Projeto: Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas das sub-bacias do rio Verde-Grande, Riachão e Jequitáí na bacia do rio São Francisco em Minas Gerais*, 2005. 109 p. Relatório.

CONCEIÇÃO, M. A. F. *Irrigação de fruteiras por microaspersão*. 1. ed. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. 16 p. (Embrapa Uva e Vinho, Circular Técnica 49)

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL; CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º1, de 05 de mai. de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Belo Horizonte: COPAM, 2008.

CREPALLI, Mauro da Silva. *Qualidade da água do rio Cascavel*. 2007. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

Distrito de Irrigação do Jaíba. Apresenta produtos e serviços referente a irrigação do Projeto Jaíba. Disponível: <<http://www.projetojaiba.com.br>>. Acesso em 03 mar. 2011.

DONADIO, N. M. M; GALBIATTI, J. A; PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes em diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego Rico, São Paulo, Brasil. *En.Agric*, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 115-125, jan/abr. 2005.

EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, F. M. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em latossolos sob pastagens do cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, v.32, p.1009-1016, 2008.

ECOPLAN ENGENHARIA LTDA. *Relatório de Controle Ambiental do Projeto Jaíba II*. Porto Alegre: ECOPLAN, 2007. 244 p. Relatório.

ECOPLAN ENGENHARIA LTDA. *Elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande*. Porto Alegre: ECOPLAN, 2009. 145 p. Relatório Preliminar.

ECOPLAN; MAGNA; CODEVASF; COBA. *Projeto Jaíba -1 etapa : Projeto Básico Glebas ABC<sub>3</sub> e C<sub>2</sub>*. Porto Alegre: ECOPLAN, 1988. v.4, 308 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Apresenta produtos e serviços referente a agropecuária. Disponível: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em 03 mar.2011.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS - Epamig- *Levantamento de reconhecimento com detalhes dos solos do Distrito Agroindustrial de Jaíba- Minas Gerais*. Belo Horizonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 1976, 242 p.

FARIAS, Maria Sallydelândia Sobral. Monitoramento da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Cabelo. 2006. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

FERREIRA, A. P. Inspeção microbiológica para avaliação da qualidade das águas ambientais. *Rev. Bras. Farm.*, v. 84, p. 61- 63, 2003.

- GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D.; BOEIRA, R. C.; TOLEDO, L. G. *Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos bioquímicos, fertilizantes e corretivos*. 2 ed. rev. amp. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008. 62 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos 66).
- GONDA, J. *Contaminação de solos e de águas do lençol freático por fossas absorventes*. 1985. 87 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1985.
- GRALUND, K.; RAIKE, A.; EKHOLM, P.; RANKINEN, K.; REKOLAINEN, S. Assessment of water protection targets for agricultural nutrient loading in Finland. *Journal of Hydrology*. v. 304 p. 251-260, 2005.
- IGLESIAS, M.; UHLEIN, A. Estratigrafia do grupo bambuí e coberturas fanerozoicas no Vale do São Francisco, Norte de Minas. *Revista Brasileira de Geociências*. v 39, p: 256-266, 2009
- ISHERWOOD, K. F. *Fertilizer use and the environment*. Paris: IFA, 2000, 51p.
- KRUSKAL, W. H., WALLIS, W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *J. Amer. Statist. Assoc.* v 47, p 583–621. 1952.
- KOKORITE, I.; STALNACKE, P.; GRIMVALL, A.; LIBISERLLER, C.; LAZNIK, M. Trends in nutrient concentrations in Latvian rivers and the response to the dramatic change in agriculture. *Journal of Hydrology*. v. 283, p. 184-205, 2003.
- KVÍTEK, T.; ZELABEK, P.; BYSTRICKY, V.; FUCEK, P.; LEXA, M.; GERGEL, J.; NOVAK, P.; ONDR, P. Changes of nitrate concentrations in surface waters influenced by land use in the crystalline complex of the Czech Republic. *Physics and Chemistry of the Earth*. v. 34, p. 541-551, 2009.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS -IGAM. *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, 2006. 59 p. Relatório.
- LUCAS, Ariovaldo Antônio Tadeu. Impacto da irrigação da bacia hidrográfica do ribeirão dos Marins. 2007. 102 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- MANETA, M. P.; TORRES, M.; WALLENDER, W. W.; VOSTI, S.; KIRBY, M.; BASSOI, L. H.; RODRIGUES, L. N. Water demand and flows in the São Francisco River Basin (Brazil) with increased irrigation. *Agricultural Water Management*. v. 96, p. 1191-1200, ago, 2009.
- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, Porto Alegre. v.3. n.4. out/dez. 2002.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Comitê da bacia hidrográfica do São Francisco. A bacia hidrográfica do São Francisco. 2010. Disponível em: <[www.saofrancisco.cbh.gov.br/baciasf.aspx](http://www.saofrancisco.cbh.gov.br/baciasf.aspx)> Acesso em: 12 de dezembro de 2011.
- MORAIS, P. B. Curso Superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental. CESET/UNICAMP. 2008.
- MOSCA, Andréia Arruda de Oliveira. Caracterização hidrológica de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas. 2003. 88f. Dissertação (Mestrado em Conservação de ecossistemas de florestas)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.
- NUNES, Walder Antônio Gomes de Albuquerque. Efeitos de irrigação com água de poços tubulares e do rio Gorutuba sobre as propriedades de solo na região de Janaúba-MG. 2003. 167 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- NUNES, W. A. G.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; RUIZ, H. A.; FREITAS, G. A.; BEIRIGO, R. M. Qualidade da água de irrigação de poços tubulares e do rio Gorutuba na região de Janaúba-MG. *Irriga*. Botucatu, v. 10, n. 4, p. 403-410, novembro-dezembro, 2005

- NUNES, W. A. G. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; RUIZ, H. A.; BEIRIGO, R. M.; BONCOMPANI, A. L. P. Características químicas de solos da região de Janaúba, MG, irrigados com água de poços tubulares e do rio Gorutuba. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 32, p. 227-236, 2008.
- OLIVEIRA, Luciana Caldeira de. Avaliação dos indicadores de impactos ambientais no perímetro irrigado de Cruzeta – Região semi-árida, RN. 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.
- PARRON, L. M. *et al.* Variação sazonal de parâmetros físicos químicos da água de reservatórios na bacia hidrográfica do rio Preto, Médio São Francisco. In: CONGRESSO de ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Caxambu. *Anais...* Caxambu: 2007.
- PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 465-473, 2000.
- PELLIGRINI, João Batista Rossetto. Fósforo na água e no sedimento na microbacia hidrográfica do Arroio Lino Agudo – RS. 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
- PIRES, REGINA CÉLIA DE M., ARRUDA, FLÁVIO B.; SAKAI, EMÍLIO; CALHEIROS, RINALDO DE O.; BRUNINI, ORIVALDO. Agricultura irrigada. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, 2008.
- PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; CORREA, L. A.; SILVA, A. G.; CANTARELLA, H. Lixiviação de nitrato em pastagem de coastcross adubada com nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*. v.35, n.3, p: 683-690, 2006
- QUEIROZ, M. M. F.; IOST, C. GOMES, D. S.; VILA BOAS, M. A. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. *Revista Verde*, Mossoró, v. 5, n. 4, p. 200-210, out/dez, 2010.
- QUEVEDO, C. M. G; PAGANINI, W. S. A ferramenta de produção mais limpa e a gestão de fósforo no meio ambiente. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 3., 2011, São Paulo, 2011.
- RAZMKASH, H.; ABRISHAMCHI, A.; TORKIAN, A. Evaluation of spatial and temporal variation in Water quality by pattern recognition techniques: A case study on Jajrood river (Tehran ,Iran). *Journal of Environmental Management*. v. 91, p. 852-860, mar/abr, 2010.
- REBOUÇAS *et al.* Disponibilidade de água: cenários e perspectivas. In: Simpósio de toxicologia, agricultura e preservação da qualidade da água. Edição especial, 1999, Revista Brasileira de toxicologia. v. 12 n. 1. 1999 *apud* CREPALLI, Mauro da Silva. Qualidade da água do rio Cascavel. 2007. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.
- REZENDE, A. V. *Agricultura e qualidade da água por nitrato*. 1.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 29 p. (Embrapa Cerrados, Documentos 57)
- RESENDE, M.; FERNANDES. B.; COELHO, D. T. *Levantamento de reconhecimento de solos da bacia de irrigação do rio Gorutuba*. Viçosa: UFV, Convênio DNOCS-UREMG, 1970, 143 p.
- RIBBE, A. L.; DELGADO, P.; SALGADO, E.; FLUGEL, W. A. Nitrate pollution of surface water induced by agricultural non-point pollution in the Pochay watershed, Chile. *Desalination*. v. 226; p. 13-20, 2008.
- RIBEIRO, M. S.; FARIA, F. H. S.; LIMA, A. L.; SANTOS, S. R.; JESUS, M. R. Avaliação da qualidade da água e tratamento de águas subterrâneas para irrigação em Jaíba e Janaúba – Precipitação química e corrosão. *Irriga*. v. 14, n. 3, p: 336-347, 2009

RODRIGUES, L. Potencial da agricultura irrigada como indutora do desenvolvimento regional: o caso do Projeto Jaíba no norte de Minas Gerais. *Revista Econômica do Nordeste* .v. 32, n. 2,p. 206-232, abr/jun, 2001.

RODRIGUES, G. S.; IRIAS, L. J. M. *Considerações sobre os Impactos Ambientais da Agricultura Irrigada*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 7p. (Embrapa Meio Ambiente, Circular técnica 7)

SANTA CATARINA. Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina. FATMA. *Relevância de parâmetros de qualidade das águas aplicados a águas correntes. Parte I: Características gerais, nutrientes, elementos-traço e substâncias nocivas inorgânicas, características biológicas*. Florianópolis: FATMA/GTZ, 1998 p.108 *apud* CREPALLI, Mauro da Silva. Qualidade da água do rio Cascavel. 2007. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

SANTOS, Ariodi Francisco dos. *Práticas da agricultura familiar, O uso e ocupação do solo e qualidade da água: A bacia hidrográfica do rio pequeno - São José dos Pinhais – PR*. 2006. 213 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SANTOS, G. R.; SILVA, R. S. Os irrigantes do projeto Jaíba: da produção de subsistência á agricultura moderna. In: Seminário Internacional sobre o Desenvolvimento Regional do Nordeste. 2009, Recife. [Anais eletrônicos...] Recife: 2009. Disponível em: <[http://www.centrocelsofurtado.org.br/2009/anais/ArtigoCompleto\\_GilmardosSantos\\_Mesa4.pdf](http://www.centrocelsofurtado.org.br/2009/anais/ArtigoCompleto_GilmardosSantos_Mesa4.pdf) > Acesso em 10 mar. 2011

SILVA, Amanda Cristina da, *Dilemas da agricultura familiar irrigada no Projeto Jaíba*. 2006. 89 f. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SILVA, L. D. A.; GOMES, L. F.; FONSECA, A. I. A. O desenvolvimento da agricultura familiar no Projeto Jaíba. In: Colóquio da cidade e região: dinâmica dos espaços urbanos e rurais. 1., 2010, Montes Claros [anais eletrônicos...] Montes Claros: Unimontes, 2010 Disponível em: [http://www.unimontes.br/arquivos/novidades/2010/Anais\\_d\\_o\\_l\\_coloquio/Agricultura\\_Familiar\\_OD.pdf](http://www.unimontes.br/arquivos/novidades/2010/Anais_d_o_l_coloquio/Agricultura_Familiar_OD.pdf) .>. Acesso em: 10 abr. 2011.

SIEGEL, S. & CASTELLAN, N. J. *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. 2nd ed. New York, NY: McGraw-Hill. 1988.

SIMÃO, F. R.; FARIA, M. A.; COSTA, E. L.; OLIVEIRA, P. M. Coletânea e análise de impactos ambientais gerados pelo Perímetro Irrigado de Jaíba. Belo Horizonte: EPAMIG, 2009. 68p. (Série Documentos n°45).

Sistema Integrado de Informação Ambiental-SIAM. Apresenta produtos e serviços referente a dados ambientais do estado de Minas Gerais. Disponível:<<http://www.siam.mg.gov.br>>. Acesso em 03 mar.2011.

Sistema de Informação em Hidrologia. Apresenta produtos e serviços referente a hidrologia. Disponível:<<http://www.hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em 03 mar.2011.

STATISTICA 6.1 STATSOFT, Inc., Tulsa, USA, 2003.

TUMAS, R. Evaluation and prediction of nonpoint pollution in Lithuania. *Ecological Engineering* v.14, p 443–451, 2000 *apud* KOKORITE, I.; STALNACKE, P.; GRIMVALL, A.; LIBISERLLER, C.; LAZNIK, M. Trends in nutrient concentrations in Latvian rivers and the response to the dramatic change in agriculture. *Journal of Hydrology*. v. 283, p. 184-205, 2003.

TUNDISI, José Galizia. Limnologia no Século XXI: Perspectivas e Desafios. In: *Congresso Brasileiro de Limnologia*, 7., 1999, São Carlos. *Resumos...* São Carlos, 1999, p. 24.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM (UNEP). 1999. Global Environment Outlook 2000. United Kingdom: Earthscan Publications.



VANZELA, Luiz Sérgio. Qualidade de água para irrigação na microbacia do córrego Três Barras no município de Marinópolis, SP. 2004. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2004.

VIDAL, M. F.; EVANGELISTA, F. R.; Fruticultura irrigada no norte de Minas Gerais. In: *Congresso da Sociedade de Economia e Sociologia Rural – Sober*, 44., 2006, Fortaleza: 2006.

VIEIRA, E. O; PRATES, H. T, PEREIRA, J. R. B.; SILVA, G. F.; DUARTE, F.V.; NERES, P.M. Avaliação da contaminação do carbofuran nos solos do Distrito de Irrigação do Gorutuba. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*. v.13, n.3, p:250–256, 2009

ZAR, J. H. Significance testing of the Spearman rank correlation coefficient. *Journal of the American Statistical Association*, v. 67, Issue 339, p. 578 – 580, Sep. 1972.

# APÊNDICE A

Estatística descritiva para todas as  
estações de amostragem

**Tabela A.1:** Estatística descritiva do parâmetro alcalinidade nas nove estações de amostragem

	SFC110	VG011	SFC240	VG007	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC107	SFJ20
Número de dados	27	19	27	27	19	15	19	21	19
Média aritmética	184	119	28	55	28	27	28	172	186
Média geométrica	178	114	28	53	27	25	28	158	173
mediana	203	116	28	50	27	26	26	202	210
Desvio padrão	45	37	5	18	7	7	5	65	63
Percentil 10	123	76	20	42	23	23	24	87	96
Percentil 90	234	159	34	68	36	34	35	243	249

**Tabela A.2:** Estatística descritiva do parâmetro cloreto total nas nove estações de amostragem

	SFC110	VG011	SFC240	VG007	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC107	SFJ20
Número de dados	53	39	53	53	19	15	19	21	19
Média aritmética	27	25	2	9	2	2	2	28	27
Média geométrica	24	21	2	9	2	2	2	24	23
mediana	27	24	2	8	2	2	2	26	24
Desvio padrão	12	14	1	4	1	0	1	14	13
Percentil 10	11	10	1	5	1	1	1	11	12
Percentil 90	41	42	2	14	3	2	2	45	46

**Tabela A.3:** Estatística descritiva do parâmetro cálcio nas nove estações de amostragem

	SFC110	VG011	SFC240	VG007	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC107	SFJ20
Número de dados	27	19	27	27	19	15	18	21	19
Média aritmética	61	38	9	11	9	8	8	65	68
Média geométrica	56	36	8	10	8	8	8	59	62
mediana	61	35	9	10	8	8	8	64	74
Desvio padrão	24	12	2	5	3	2	2	27	27
Percentil 10	33	26	7	7	6	6	6	27	36
Percentil 90	95	51	11	15	13	10	9	99	99

**Tabela A.4:** Estatística descritiva do parâmetro coliformes nas nove estações de amostragem

	SFC110	VG011	SFC240	VG007	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC107	SFJ20
Número de dados	54	34	50	50	18	15	18	20	18
Média aritmética	1703	563	334	1676	710	457	694	4827	2206
Média geométrica	730	107	89	431	154	132	208	191	315
mediana	1100	110	85	325	110	130	300	255	265
Desvio padrão	2530	2210	830	4825	1775	658	1325	20054	5611
Percentil 10	95	30	23	77	26	30	30	38	42
Percentil 90	3000	644	500	1830	1060	1400	1740	1030	3950

**Tabela A.5:** Estatística descritiva do parâmetro condutividade elétrica nas nove estações de amostragem

	SFC110	VG011	SFC240	VG007	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC107	SFJ20
Número de dados	54	39	54	54	19	15	19	21	19
Média aritmética	464	363	67	142	68	66	65	456	456
Média geométrica	434	338	66	137	67	65	64	429	425
mediana	507	398	68	132	64	63	64	508	498
Desvio padrão	138	110	12	42	11	11	9	148	157
Percentil 10	275	219	52	103	55	54	54	252	233
Percentil 90	594	499	79	189	79	77	76	627	634

**Tabela A.6:** Estatística descritiva do parâmetro cor nas nove estações de amostragem

	SFC110	VG011	SFC240	VG007	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC107	SFJ20
Número de dados	27	19	27	27	19	15	19	17	19
Média aritmética	44	89	111	27	167	153	158	111	284
Média geométrica	20	33	38	17	81	68	82	47	70
mediana	17	25	40	20	49	41	49	27	38
Desvio padrão	71	137	184	34	207	183	167	151	508
Percentil 10	5	7	5	5	31	18	26	11	14
Percentil 90	114	291	320	45	450	441	384	328	931

**Tabela A.7:** Estatística descritiva do parâmetro DQO nas nove estações de amostragem

	SFC110	VG011	SFC240	VG007	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC107	SFJ20
Número de dados	33	23	33	33	19	15	19	21	19
Média aritmética	15	17	11	12	14	17	13	21	20
Média geométrica	13	15	10	10	12	14	12	19	19
mediana	15	17	11	10	11	16	10	20	19
Desvio padrão	8	7	5	7	8	9	6	9	8
Percentil 10	5	6	5	5	6	7	8	11	11
Percentil 90	25	28	18	16	22	28	22	29	33

**Tabela A.8:** Estatística descritiva do parâmetro Dureza Total nas nove estações de amostragem

	SFC110	VG011	SFC240	VG007	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC107	SFJ20
Número de dados	27	19	27	27	17	15	19	21	19
Média aritmética	201	128	29	48	31	28	29	178	199
Média geométrica	193	123	28	46	30	28	28	164	185
mediana	216,00	123	29	45	31	29	29	153	220
Desvio padrão	55	36	4	13	6	6	5	73	70
Percentil 10	133	91	23	35	24	22	24	87	109
Percentil 90	269	182	34	61	34	36	34	274	277

**Tabela A.9:** Estatística descritiva do parâmetro OD nas nove estações de amostragem

	SFC110	VG011	SFC240	VG007	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC107	SFJ20
Número de dados	54	39	54	54	19	15	19	21	19
Média aritmética	7	6	7	4	7	7	7	7	7
Média geométrica	7	6	7	3	6	7	7	7	7
mediana	7	6	7	3	7	7	7	6	6
Desvio padrão	2	2	1	2	1	1	1	2	3
Percentil 10	5	5	6	2	6	6	6	5	5
Percentil 90	9	9	8	6	8	8	8	8	8

**Tabela A.10:** Estatística descritiva do parâmetro Fósforo Total nas nove estações de amostragem

	SFC110	VG011	SFC240	VG007	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC107	SFJ20
Número de dados	54	38	54	52	19	15	19	21	19
Média aritmética	0,06	0,05	0,10	0,06	0,06	0,06	0,06	0,10	0,10
Média geométrica	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08
mediana	0,05	0,03	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,10	0,11
Desvio padrão	0,06	0,05	0,21	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
Percentil 10	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03
Percentil 90	0,14	0,10	0,17	0,12	0,13	0,13	0,14	0,17	0,16

**Tabela A.11:** Estatística descritiva do parâmetro Nitrato nas nove estações de amostragem

	SFC110	VG011	SFC240	VG007	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC107	SFJ20
Número de dados	53	37	54	53	14	11	13	15	14
Média aritmética	0,73	0,20	0,21	0,13	0,15	0,14	0,13	0,63	0,89
Média geométrica	0,50	0,12	0,17	0,08	0,13	0,12	0,11	0,27	0,39
mediana	0,51	0,14	0,18	0,09	0,15	0,11	0,12	0,26	0,41
Desvio padrão	0,60	0,18	0,13	0,15	0,08	0,09	0,09	0,74	1,07
Percentil 10	0,13	0,03	0,06	0,02	0,05	0,06	0,05	0,04	0,08
Percentil 90	1,53	0,45	0,38	0,27	0,22	0,23	0,20	1,69	2,56

**Tabela A.12:** Estatística descritiva do parâmetro Sólidos Dissolvidos nas nove estações de amostragem

	SFC110	VG011	SFC240	VG007	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC107	SFJ20
Número de dados	43	30	39	42	19	15	19	21	19
Média aritmética	291	217	58	95	67	61	66	300	306
Média geométrica	284	209	57	92	66	60	65	292	298
mediana	300	225	57	88	64	58	65	308	328
Desvio padrão	62	52	10	27	13	11	12	69	71
Percentil 10	360	260	70	122	85	76	80	385	387
Percentil 90	194	135	47	73	54	50	51	207	202

**Tabela A.13:** Estatística descritiva do parâmetro Sólidos Suspensos nas nove estações de amostragem

	SFC110	VG011	SFC240	VG007	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC107	SFJ20
Número de dados	53	36	54	53	19	15	19	21	19
Média aritmética	35	19	94	17	118	90	115	60	68
Média geométrica	22	13	52	7	76	53	72	42	50
mediana	25	12	47	7	70	30	58	44	70
Desvio padrão	32	19	97	43	111	90	105	48	48
Percentil 10	5	4	14	1	20	19	23	8	16
Percentil 90	73	47	244	18	303	218	281	126	132

**Tabela A.14:** Estatística descritiva do parâmetro pH nas nove estações de amostragem

	SFC110	VG011	SFC240	VG007	SFJ12	SFJ13	SFJ14	SFC107	SFJ20
Número de dados	54	39	54	54	19	15	19	21	19
Média aritmética	8	8	7	7	7	7	7	8	8
Média geométrica	8	8	7	7	7	7	7	8	8
mediana	8	8	7	7	7	7	7	8	8
Desvio padrão	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Percentil 10	7	7	7	6	7	7	7	7	7
Percentil 90	8	8	8	7	8	8	8	8	8

# APÊNDICE B

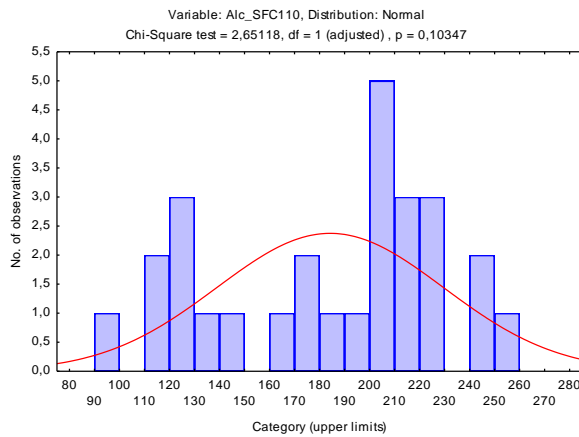
## Testes de Normalidade dos dados para algumas estações de amostragem

**Teste Kolmogorov-Smirnov**

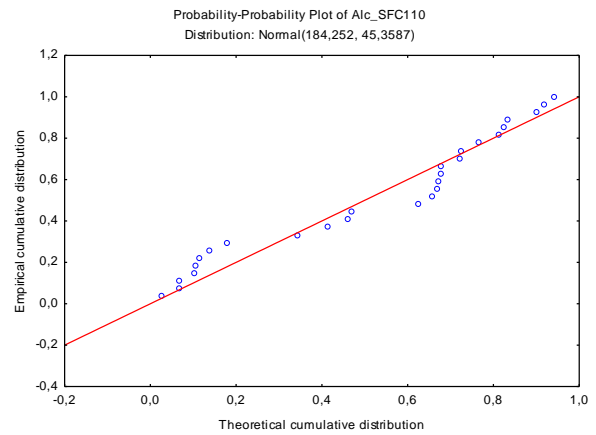
**Gráficos: "Normal Probability plot"**

**Alcalinidade**

**SFC110**



**SFC110**

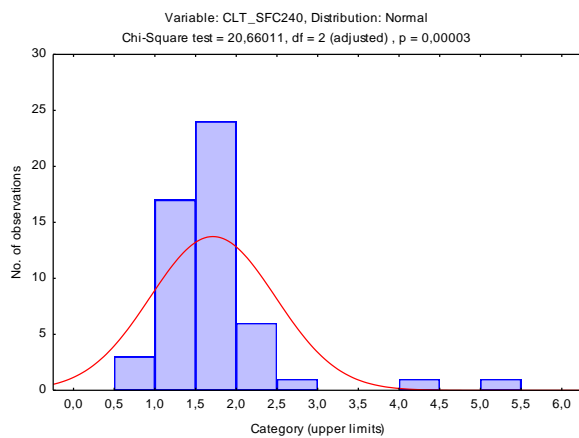


**Teste Kolmogorov-Smirnov**

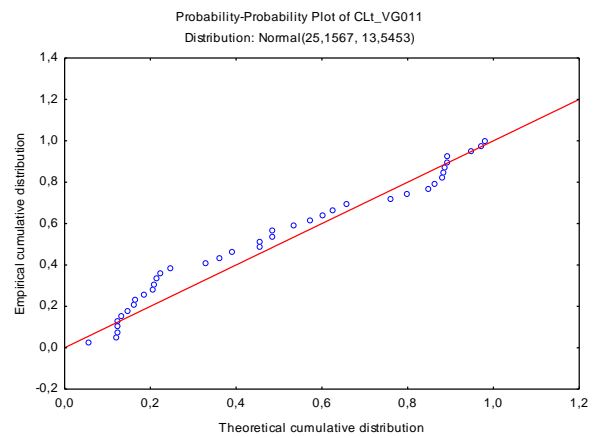
**Gráficos: "Normal Probability plot"**

**Cloreto Total**

**SFC240**



**VG011**

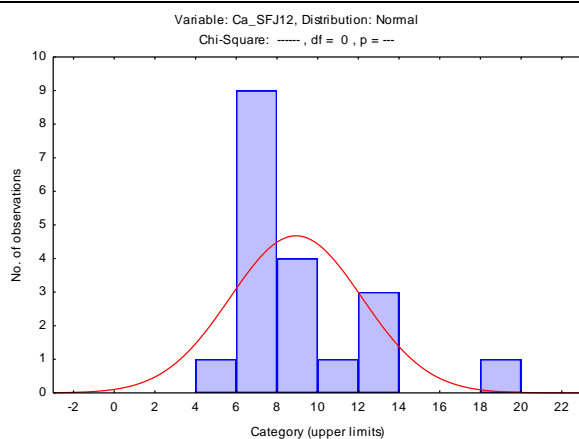


**Teste Kolmogorov-Smirnov**

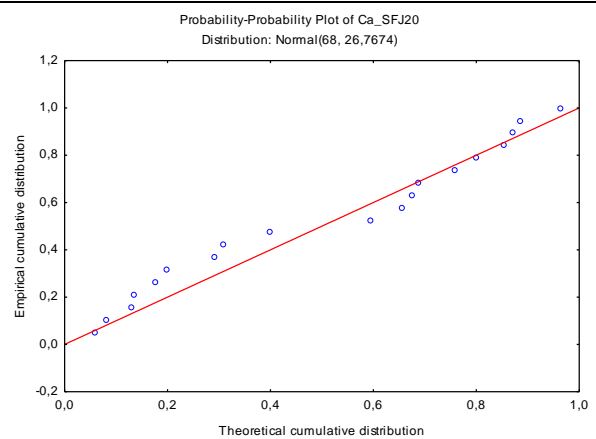
**Gráficos: "Normal Probability plot"**

**Cálcio**

**SFJ12**



**SFJ20**



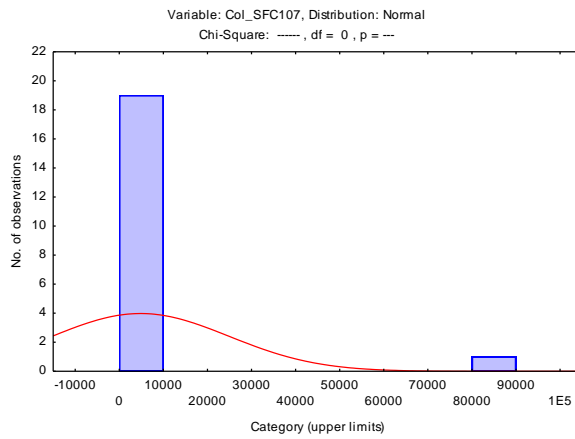


**Teste Kolmogorov-Smirnov**

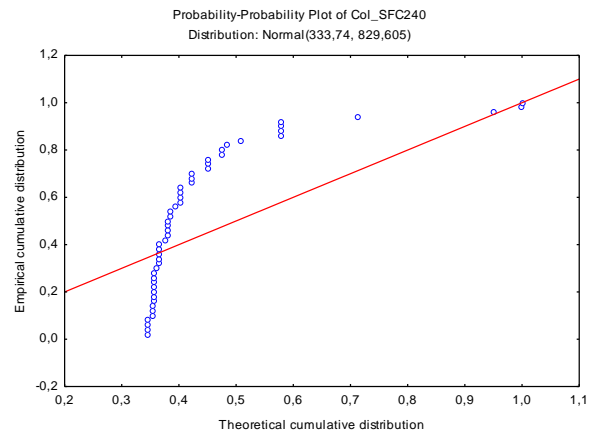
**Gráficos: "Normal Probability plot"**

**Coliformes Termotolerantes**

**SFC107**



**SFC240**

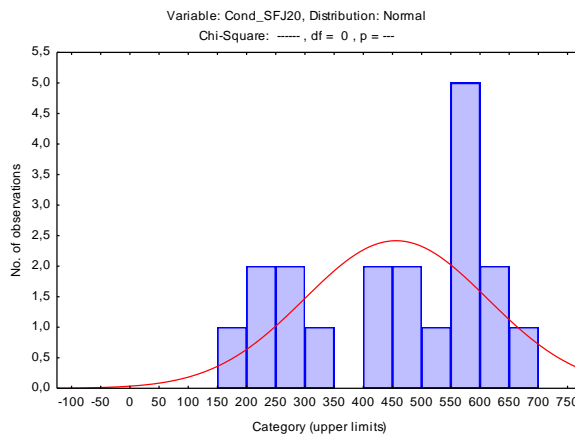


**Teste Kolmogorov-Smirnov**

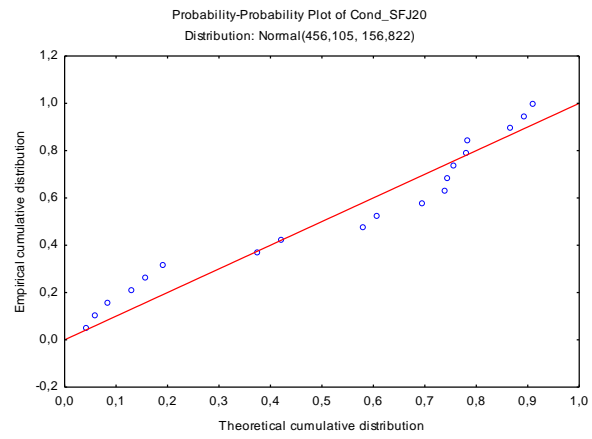
**Gráficos: "Normal Probability plot"**

**Condutividade elétrica**

**SFJ20**



**SFJ20**

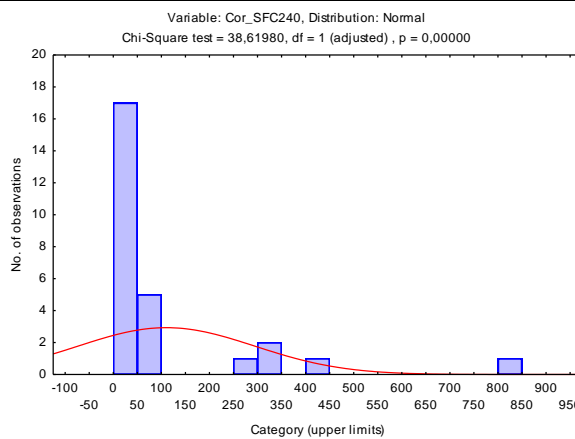


**Teste Kolmogorov-Smirnov**

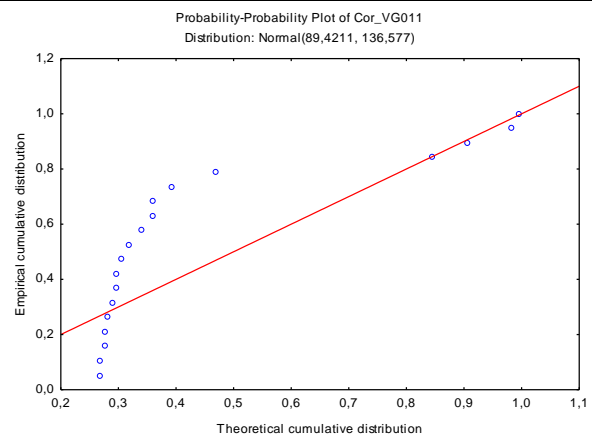
**Gráficos: "Normal Probability plot"**

**Cor**

**SFC240**



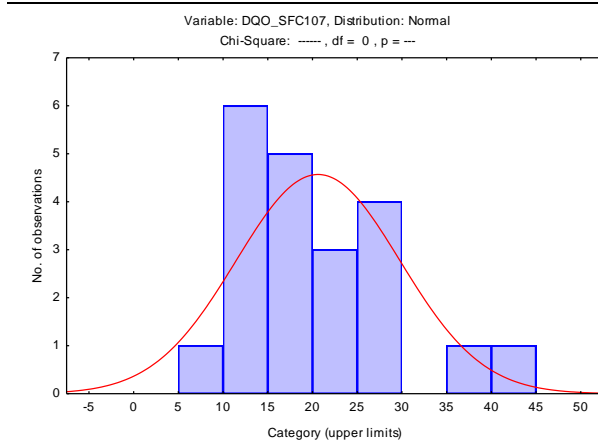
**VG011**



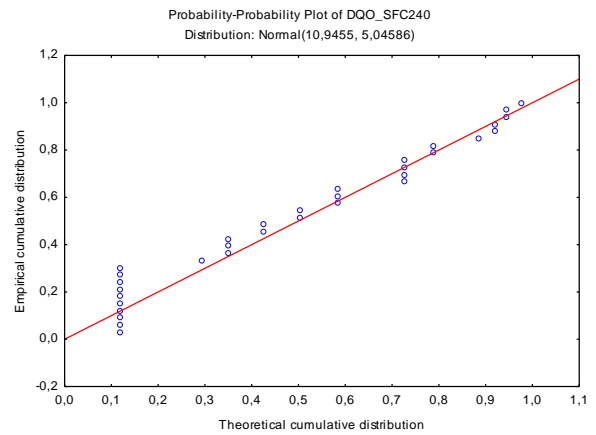
**Teste Kolmogorov-Smirnov**

**Gráficos: "Normal Probability plot"**

**DQO**



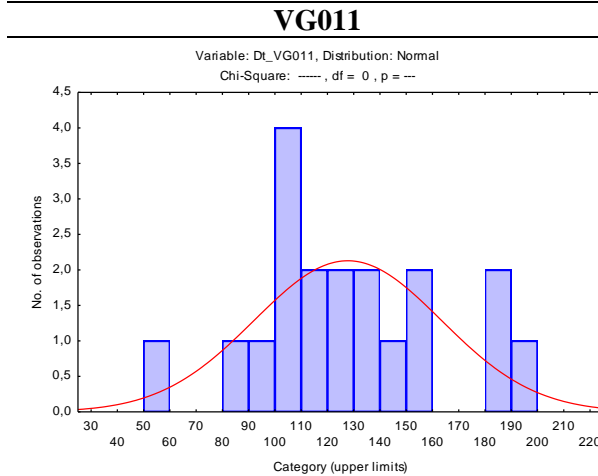
**SFC240**



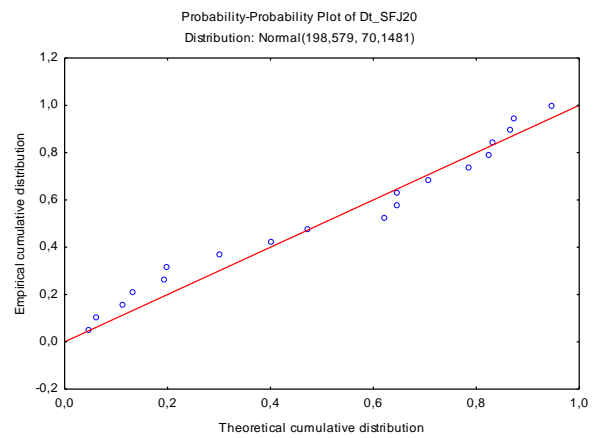
**Teste Kolmogorov-Smirnov**

**Gráficos: "Normal Probability plot"**

**Dureza Total**



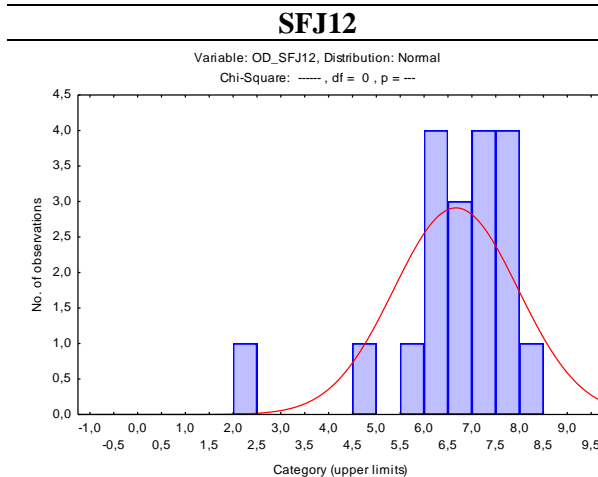
**SFJ20**



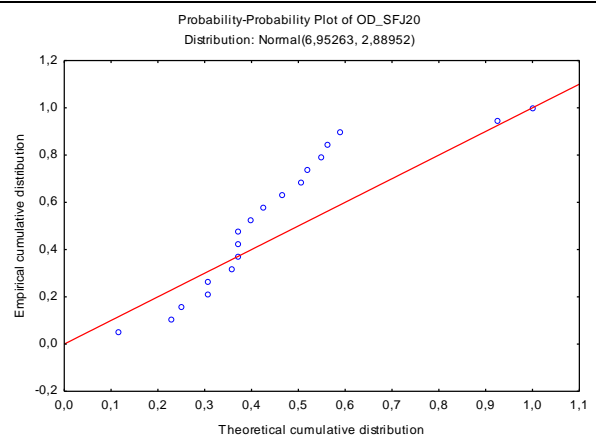
**Teste Kolmogorov-Smirnov**

**Gráficos: "Normal Probability plot"**

**OD**



**SFJ20**

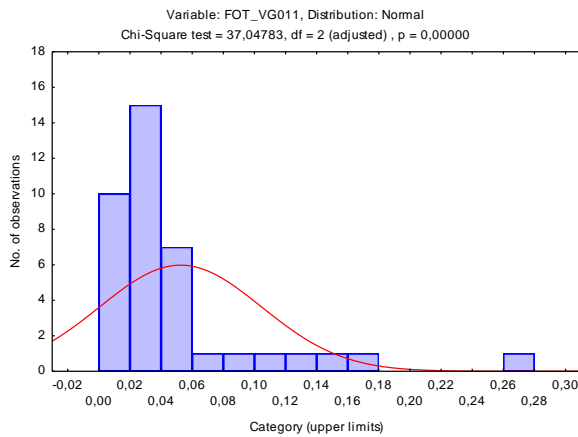


**Teste Kolmogorov-Smirnov**

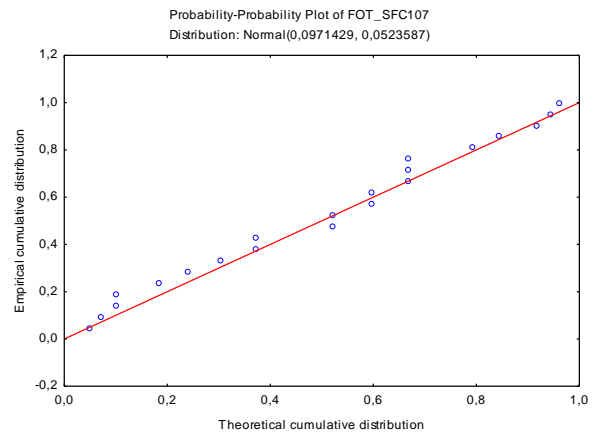
**Gráficos: "Normal Probability plot"**

**Fósforo Total**

**VG011**



**SFC107**

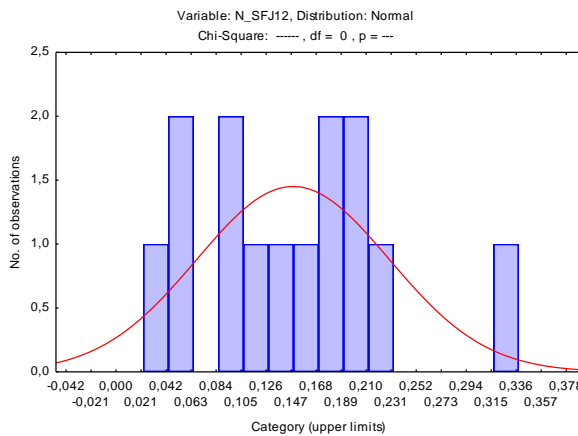


**Teste Kolmogorov-Smirnov**

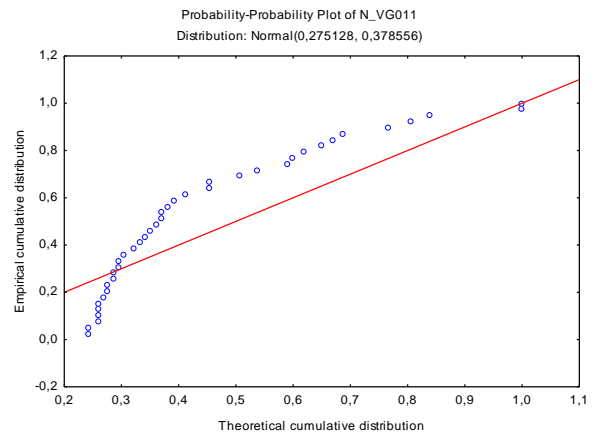
**Gráficos: "Normal Probability plot"**

**Nitrato**

**SFJ12**



**VG011**

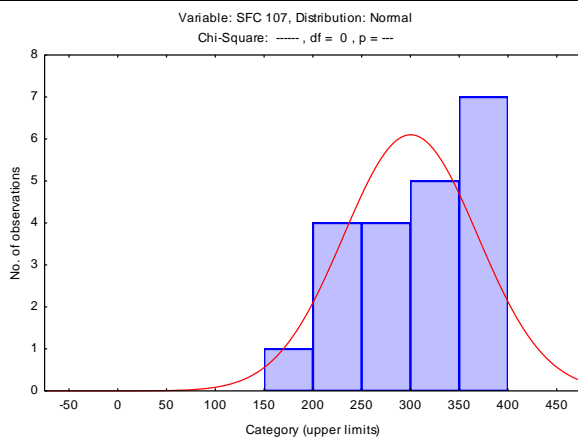


**Teste Kolmogorov-Smirnov**

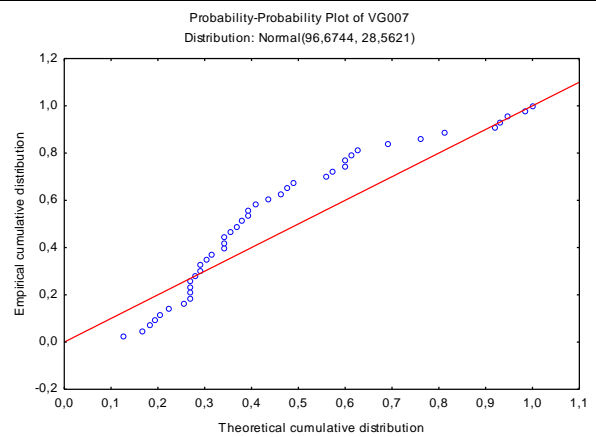
**Gráficos: "Normal Probability plot"**

**Sólidos Dissolvidos**

**SFC107**

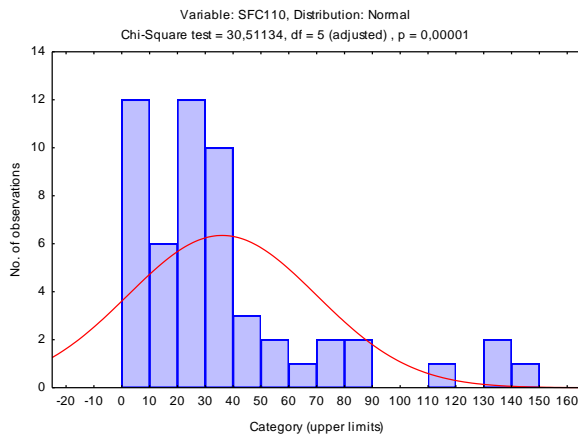


**VG007**



Sólidos Suspensos

SFC110



VG007

