



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE UNB DE PLANALTINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO RURAL

DAPHNE HELOISA DE FREITAS MUNIZ

**PROPOSIÇÃO DE UM ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA  
IRRIGAÇÃO (IQAI) COM BASE NO MONITORAMENTO E  
CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS EM AMBIENTES  
RURAI DO CERRADO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

BRASÍLIA

2014

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE UNB DE PLANALTINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO RURAL

DAPHNE HELOISA DE FREITAS MUNIZ

**PROPOSIÇÃO DE UM ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA  
IRRIGAÇÃO (IQAI) COM BASE NO MONITORAMENTO E  
CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS EM AMBIENTES  
RURAI DO CERRADO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural pelo Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural – PPG MADER da Universidade de Brasília.

ORIENTADOR: PROF. DR. EDUARDO CYRINO OLIVEIRA-FILHO  
CO-ORIENTADOR: DR. JORGE ENOCH FURQUIM WERNECK LIMA

BRASÍLIA  
2014

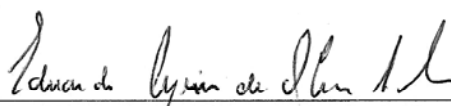
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE UNB DE PLANALTINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO RURAL

**Termo de Aprovação**

“Proposição de um índice de qualidade de água para irrigação (IQAI) com base no monitoramento e caracterização de águas superficiais em ambientes rurais do Cerrado”

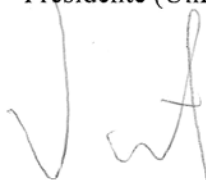
*Daphne Heloisa de Freitas Muniz*

Banca Examinadora




---

Prof. Dr. Eduardo Cyrino de Oliveira-Filho  
Presidente (UnB/FUP)



---

Prof. Dr. José Vicente Elias Bernardi  
Membro Titular (UnB/FUP)



---

Prof. Dr. Giuliano Marchi  
Membro Externo não vinculado ao Programa (Embrapa)

*Às minhas filhas Lara e Lis. “Que a curiosidade seja  
mais importante que o conhecimento” (Albert  
Einstein).*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Ivo Henrique Muniz e Maria Wila pelo amor, por me mostrarem a importância de se trabalhar arduamente e principalmente com o que ama. Ensinaram-me o que realmente importa. Devo tudo a vocês dois.

Ao meu querido Diogo, pelo amor, companheirismo e principalmente pela paciência durante essa fase.

Aos meus irmãos Thais, Pedro e João. Vocês sempre acreditaram.

Aos colegas do Monitoramento Ambiental Carla, Darlan e Leandro. Com vocês as dificuldades da interdisciplinaridade foram amenizadas.

Aos professores do PPG MADER, em especial Professores Ludgero Vieira e José Vicente Bernardi, por me mostrarem o quão valioso é o estudo estatístico.

Aos técnicos da Embrapa Cerrados José Roberto Leopoldino (Jatobá) e Luciano Adjuto. Grande parte desse trabalho foi devido a vocês.

Aos estagiários do Laboratório de Hidrometria e Hidrossedimentometria da Embrapa Cerrados Fellipe, Luane, Leonardo, Pedro e Nikolas pelo auxílio nas coletas.

Aos estagiários do Laboratório de Ecotoxicologia e Química da Água da Embrapa Cerrados Nathan, Fernanda, Dênis e Zélia. Por toda ajuda nas coletas, análises e principalmente pelo companheirismo. Com vocês os meus dias de trabalho foram mais alegres.

Ao Estatístico da Embrapa Cerrados, Juaci Malaquias, pela contribuição primordial nos cálculos estatísticos, em especial na composição do IQA.

Ao meu co-orientador, Dr. Jorge Enoch Lima, pelo desafio proposto e pela confiança no meu trabalho.

Ao meu professor e orientador, Dr. Eduardo Cyrino Oliveira-Filho. Obrigada pela confiança, paciência e parceria desde 2006. Obrigada por tudo!

## RESUMO

Muniz, Daphne Heloisa de Freitas. **Proposição de um Índice de Qualidade de Água para Irrigação (IQAI) com base no monitoramento e caracterização de águas superficiais em ambientes rurais do Cerrado**. 2014. 67 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

A qualidade da água para a agricultura irrigada vem se tornando uma questão importante nos últimos anos, devido ao aumento da demanda de água pelo setor. Programas de monitoramento de qualidade geram uma enorme quantidade de dados que necessitam ser sintetizados. O objetivo do presente trabalho foi propor um Índice de Qualidade de Água para Irrigação (IQAI) com base na avaliação de parâmetros indicadores de qualidade da água de três corpos hídricos de ambientes rurais do Cerrado. Para isso, foram selecionadas três áreas de coleta inseridas em zonas rurais do Distrito Federal, Brasil (Córrego Capão Comprido, Rio Jardim e Córrego Sarandi). As coletas de amostra de água ocorreram entre maio de 2012 e abril de 2013. Para cada amostra coletada foram feitas determinações dos parâmetros temperatura, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica, total de sólidos dissolvidos, turbidez, dureza total; dos íons cloreto, fluoreto, nitrato, nitrito, fosfato, sulfato, sódio, potássio, amônio, cálcio e magnésio; fósforo total, razão de adsorção de sódio, coliformes totais e coliformes termotolerantes. A partir dos dados obtidos na Análise de Variância e na Análise das Componentes Principais (PCA), foi evidenciado que parâmetros importantes, indicativos de poluição rural, como amônio, fosfato, sulfato e fósforo total obtiveram valores abaixo do limite de detecção para todo período analisado nos três corpos hídricos. Os demais parâmetros não apresentaram grande variação de suas concentrações entre períodos hidrológicos (seca e chuva) nos três corpos hídricos. Entre os pontos amostrais houve diferença significativa na qualidade da água. A técnica estatística multivariada, por meio da aplicação da PCA, mostrou que é possível reduzir o número de parâmetros de 16 para 7, considerados principais. A partir dos dados de monitoramento e da análise estatística dos três corpos hídricos foi possível selecionar parâmetros para compor um IQA para fins de irrigação que refletisse as características da água do Cerrado.

**Palavras-chave:** Irrigação, Cerrado, Análise das Componentes Principais, IQA.

## ABSTRACT

Muniz, Daphne Heloisa de Freitas. **Proposing an Index of Water Quality for Irrigation (IQAI) based on the monitoring and characterization of surface water in rural areas of the Cerrado.** 2014. 67 p. Dissertation (MA) - Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

The quality of water for irrigated agriculture has become an important issue in recent years due to increased water demand by sector. Quality monitoring programs generate a huge amount of data that need to be synthesized. The aim of this work was to propose an Irrigation Water Quality Index (IWQI) based on the evaluation of water quality indicators parameters of three water bodies in rural environments in Cerrado. For this, three areas of collecting inserted in rural areas of the Federal District, Brazil (Capão Comprido Stream, Jardim River and Sarandi Stream) were selected. The collects of water samples occurred between May 2012 and April 2013. For each collected sample were made determinations of the parameters: temperature, dissolved oxygen, pH, electrical conductivity, total dissolved solids, turbidity, total hardness; ions chloride, fluoride, nitrate, nitrite, phosphate, sulfate, sodium, potassium, ammonium, calcium and magnesium; total phosphorus, sodium adsorption ratio, total coliforms and fecal coliforms. From the data obtained in the Analysis of Variance and Principal Component Analysis (PCA), it was shown that key parameters indicative of rural pollution, such as ammonium, phosphate, sulfate and total phosphorus had values below the detection limit for the entire period analyzed in three water bodies. The other parameters did not show great variation in their concentrations between hydrological periods (dry and wet) in the three water bodies. Between sampling points was no significant difference in water quality. The multivariate statistical technique, by the application of PCA, showed that it is possible to reduce the number of parameters of 16 to 7, considered major. From the data monitoring and statistical analysis of the three water bodies was possible to select parameters to compose a WQI for irrigation purposes to reflect the characteristics of the water in the Cerrado.

**Key-words:** Irrigation, Cerrado, Principal Component Analysis, WQI.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ADASA</b>	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal
<b>ANA</b>	Agência Nacional de Águas
<b>APHA</b>	American Public Health Agency
<b>AR</b>	Alta Restrição
<b>BR</b>	Baixa Restrição
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	Cálcio
<b>CCME</b>	Canadian Council of Ministers of the Environment
<b>CETESB</b>	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
<b>Cl<sup>-</sup></b>	Cloreto
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>COND</b>	Condutividade elétrica
<b>CP</b>	Componente Principal
<b>CTERMO</b>	Coliformes termotolerantes
<b>CT</b>	Coliformes totais
<b>DF</b>	Distrito Federal
<b>DP</b>	Desvio Padrão
<b>DUR</b>	Dureza total
<b>E. COLI</b>	Escherichia coli
<b>EDTA</b>	Ácido Etilenodiamino Tetra-acético
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization of the United Nations
<b>F<sup>-</sup></b>	Fluoreto
<b>FUNASA</b>	Fundação Nacional de Saúde
<b>GDF</b>	Governo do Distrito Federal
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>IQA</b>	Índice de Qualidade da Água
<b>IQAI</b>	Índice de Qualidade da Água para Irrigação
<b>K<sup>+</sup></b>	Potássio
<b>K-S</b>	Teste Kolmogorov-Smirnov



<b>LD</b>	Limite de detecção
<b>M</b>	Média/Mediana
<b>Max</b>	Máximo
<b>Mg.L<sup>-1</sup></b>	Miligrama por litro
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	Magnésio
<b>MI</b>	Ministério da Integração
<b>Min</b>	Mínimo
<b>MMA</b>	Ministério do Meio Ambiente
<b>MR</b>	Média Restrição
<b>Na<sup>+</sup></b>	Sódio
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	Amônio
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	Nitrito
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Nitrato
<b>NSF</b>	National Sanitation Foundation
<b>OD</b>	Oxigênio dissolvido
<b>PCA</b>	Análise das Componentes Principais
<b>PT</b>	Fósforo total
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	Fosfato
<b>RAS</b>	Razão de Adsorção de Sódio
<b>RR</b>	Rigorosa Restrição
<b>SMEWW</b>	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	Sulfato
<b>SR</b>	Sem Restrição
<b>T</b>	Teste t
<b>U</b>	Teste Wilcoxon-Mann-Whitney
<b>TDS</b>	Total de sólido dissolvido
<b>TEMP</b>	Temperatura
<b>TURB</b>	Turbidez
<b>UNT</b>	Unidade Nefelométrica de Turbidez
<b>USEPA</b>	United States Environmental Protection Agency
<b>UV</b>	Ultra Violeta

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1. AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA EM TRÊS CORPOS HÍDRICOS DE ÁREAS RURAIS DO CERRADO BRASILEIRO

<b>Figura 1.</b> Localização das áreas de estudo.....	6
<b>Figura 2.</b> Localização geográfica dos pontos de coleta C1, C2 e C3 no Córrego Capão Comprido.....	7
<b>Figura 3.</b> Pontos de coleta C1, C2 e C3 no Córrego Capão Comprido.....	8
<b>Figura 4.</b> Localização geográfica dos pontos de coleta J1, J2 e J3 no Rio Jardim .....	9
<b>Figura 5.</b> Pontos de coleta J1, J2 e J3 no Rio Jardim.....	9
<b>Figura 6.</b> Localização geográfica dos pontos de coleta S1, S2 e S3 no Córrego Sarandi.....	10
<b>Figura 7.</b> Pontos de coleta S1, S2 e S3 no Córrego Sarandi.....	11
<b>Figura 8.</b> Procedimentos de coleta e preservação de amostras.....	12
<b>Figura 9.</b> Métodos e equipamentos utilizados nas análises.....	15
<b>Figura 10.</b> Valores mensais de precipitação total acumulada (mm) de Maio de 2012 a Abril de 2013.....	19
<b>Figura 11.</b> Projeção espacial da ordenação das variáveis nas componentes 1 e 2 para o Córrego Capão Comprido.....	35
<b>Figura 12.</b> Projeção espacial da ordenação das variáveis nas componentes 1 e 2 para o Rio Jardim.....	36
<b>Figura 13.</b> Projeção espacial da ordenação das variáveis nas componentes 1 e 2 para o Córrego Sarandi.....	37

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I. AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA EM TRÊS CORPOS HÍDRICOS DE ÁREAS RURAIS DO CERRADO BRASILEIRO

<b>Tabela 1.</b> Valores de $p$ para os testes de normalidade e comparação entre os períodos hidrológicos por meio dos testes T e U.....	21
<b>Tabela 2.</b> Estatística descritiva para o período seco (maio a outubro de 2012).....	22
<b>Tabela 3.</b> Estatística descritiva no período chuvoso (novembro de 2012 a abril de 2013).....	22
<b>Tabela 4.</b> Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas para período seco no Córrego Capão Comprido.....	25
<b>Tabela 5.</b> Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas para período chuvoso no Córrego Capão Comprido.....	26
<b>Tabela 6.</b> Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas, para período seco e chuvoso, que apresentam diferenças estatisticamente significativas entre os períodos hidrológicos no Córrego Capão Comprido.....	26
<b>Tabela 7.</b> Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas para período seco no Rio Jardim.....	28
<b>Tabela 8.</b> Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas para período chuvoso no Rio Jardim.....	28
<b>Tabela 9.</b> Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas, para período seco e chuvoso, que apresentam diferenças estatisticamente significativas entre os períodos hidrológicos no Rio Jardim.....	29
<b>Tabela 10.</b> Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas para período seco no Córrego Sarandi.....	30
<b>Tabela 11.</b> Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas para período chuvoso no Córrego Sarandi.....	31
<b>Tabela 12.</b> Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas, para período seco e chuvoso, que apresentam diferenças estatisticamente significativas entre os períodos hidrológicos no Córrego Sarandi.....	31

<b>Tabela 13.</b> Autovalores, porcentagem da variância explicada e porcentagem de variância cumulativa para as quatro componentes principais para os três corpos hídricos.....	33
<b>Tabela 14.</b> Cargas das componentes principais, porcentagens de variação e porcentagem total explicada para o Córrego Capão Comprido.....	34
<b>Tabela 15.</b> Cargas das componentes principais, porcentagens de variação e porcentagem total explicada para o Rio Jardim.....	36
<b>Tabela 16.</b> Cargas das componentes principais, porcentagens de variação e porcentagem total explicada para o Córrego Sarandi.....	37

## **CAPÍTULO 11. UTILIZAÇÃO DE DADOS DE MONITORAMENTO PARA DEFINIÇÃO DE ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO.**

<b>Tabela 1.</b> Cargas fatoriais (autovetores), porcentagem de variação e porcentagem total explicada para o Córrego Sarandi.....	56
<b>Tabela 2.</b> Resultados obtidos nas análises físico-químicas e microbiológicas para o Córrego Sarandi, nos três pontos de amostragem.....	59
<b>Tabela 3.</b> Valores limites para o cálculo da medida de qualidade ( $q_i$ ) para os parâmetros selecionados.....	60
<b>Tabela 4.</b> Medidas de qualidade $q_i$ , valores dos pesos $w_i$ calculados para cada parâmetro e valor do IQAI calculado para os pontos S1, S2 e S3.....	60
<b>Tabela 5.</b> Classes de IQAI e recomendações para utilização da água para irrigação.....	62

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	xv
OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS .....	xviii
REFERÊNCIAS .....	xix
CAPÍTULO I. AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA EM TRÊS CORPOS HÍDRICOS DE ÁREAS RURAIS DO CERRADO BRASILEIRO.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	2
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	6
2.1. Localização e descrição das áreas de estudo .....	6
2.2. Coleta e preservação das amostras .....	11
2.3. Métodos de análises .....	12
2.4. Balanço Iônico .....	15
2.5. Tratamento dos dados .....	16
2.6. Estatística Descritiva e Análise de Variância .....	17
2.7. Análise das Componentes Principais (PCA) .....	18
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
3.1. Dados de temperatura e precipitação do período de estudo .....	19
3.2. Tratamento dos dados e diferença de sazonalidade .....	20
3.3. Análise de variância para os pontos amostrais .....	24
3.4. Análise das Componentes Principais (PCA) .....	32
4. CONCLUSÕES .....	39
5. REFERÊNCIAS .....	40

CAPÍTULO II. UTILIZAÇÃO DE DADOS DE MONITORAMENTO PARA DEFINIÇÃO DE UM ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO .....	47
1. INTRODUÇÃO .....	48
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	52
2.1. Áreas de estudo, coleta das amostras e métodos de análises .....	52
2.2. Análise das Componentes Principais e Análise Fatorial (PCA/AF), seleção dos parâmetros para o Córrego Sarandi e etapas de desenvolvimento do Índice de Qualidade de Água (IQA).....	52
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	55
3.1. Análise das Componentes Principais e Análise Fatorial (PCA/AF) para o Córrego Sarandi e critérios para seleção dos parâmetros.....	55
3.2. Valores determinados na análise laboratorial para cada parâmetro, medidas de qualidade ( $q_i$ ) e pesos dos parâmetros ( $w_i$ ) .....	59
3.3. Índice de Qualidade da Água para Irrigação (IQAI) .....	60
4. CONCLUSÕES .....	63
5. REFERÊNCIAS .....	64

## INTRODUÇÃO GERAL

A água é um recurso natural intensamente utilizado, essencial ao desenvolvimento socioeconômico e à manutenção da vida. O crescimento populacional associado à gestão inadequada tem tornado este um recurso limitado e finito.

Os processos naturais, assim como as atividades humanas, podem causar alterações nas características físicas, químicas e biológicas da água, com consequências adversas para a saúde humana e os ecossistemas. Dentre os principais contribuintes antropogênicos que comprometem a qualidade da água, destacam-se os efluentes (domésticos, rurais, industriais), despejados diretamente nos corpos hídricos, e os deflúvios superficiais de origem urbana e agrícola.

A agricultura, maior usuária de água doce a nível mundial, contribui para as preocupações a respeito das implicações globais acerca da quantidade e da qualidade da água (Ongley, 1996). A agricultura irrigada, em especial, tornou-se uma questão preocupante, devido ao elevado consumo e às limitações de disponibilidade de água. Um enfoque importante inerente à prática da agricultura irrigada está relacionado aos padrões de qualidade da água. A avaliação da composição da água, nesse caso, é imprescindível e visa evitar o impacto desfavorável sobre o solo, desenvolvimento da planta, o mal desempenho de sistemas e equipamentos de irrigação e ainda visa garantir a produção de alimentos livres de patógenos.

Uma estratégia para a avaliação ou monitoramento da qualidade da água, tanto para fins de destinação e uso da água (abastecimento público, irrigação) como para o diagnóstico de problemas relacionados à poluição (urbana, agrícola) é a adoção de métodos químicos, físicos e biológicos de análise.

Programas de monitoramento da qualidade da água por longos períodos e em vários pontos de amostragem produzem uma grande quantidade de dados analíticos, que muitas vezes são difíceis de serem analisados e interpretados, sendo muitas vezes subutilizados.

Esses dados necessitam ser sintetizados, de forma a representar de forma clara e significativa o estado atual e as tendências das águas, para que possam ser utilizados como informações gerenciais e

como ferramenta na tomada de decisões relativas aos recursos hídricos (Ferreira e Ide, 2001; Trindade, 2013).

Métodos estatísticos multivariados são excelentes instrumentos de pesquisa que auxiliam na interpretação de complexos conjuntos de informações. Diversos trabalhos empregam tais técnicas com diferentes objetivos, entre eles: identificar e analisar as relações entre a qualidade da água, uso e ocupação do solo; obter informações sobre semelhanças e diferenças entre períodos e pontos de amostragem da qualidade da água; reconhecer os parâmetros responsáveis pelas variações e tendências espaciais e temporais desta qualidade; identificar as fontes de poluição de diferentes pontos de um corpo d'água (Singh et al., 2004; Moura, 2008; Vieira et al., 2012; Trindade, 2013).

Outra forma de organização dos dados em um formato sintético é o uso de indicadores e índices de qualidade de água, os chamados IQAs (Toledo e Nicolella, 2002). A utilização de índices é uma tentativa dos programas de monitoramento de água no sentido de acompanhar o estado dos recursos hídricos ao longo de uma bacia hidrográfica ou ao longo do tempo (CPRH, 2003).

Apesar de ser uma ferramenta largamente utilizada, os IQAs apresentam alguns problemas, dentre os mais significativos, a destinação aplicada à água. O recurso hídrico pode ser utilizado para fins diversificados considerando seus usos múltiplos (Bollmann e Marques, 2000). Em geral, para cada uso, podem ser elencados parâmetros individuais de qualidade provocando o surgimento de escalas de valores diferenciadas para uma mesma variável ambiental (Rickwood e Carr, 2007).

O IQA proposto pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo (CETESB) é o índice mais aceito pelas instituições federais e estaduais encarregadas do monitoramento da qualidade da água. Este IQA foi criado na década de setenta, nos Estados Unidos, pela *National Sanitation Foundation* (NSF). A partir de 1977 começou a ser utilizado pela CETESB (Zagatto et al., 1999; Oliveira-Filho e Lima, 2002).

Em nível Federal o IQA NSF/CETESB foi utilizado no monitoramento da qualidade da água na bacia do rio Prata em território brasileiro e atualmente vem sendo utilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA) no Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA). Ele tem sido utilizado também como instrumento de gestão para algumas bacias do Programa Produtor de Água,



que objetiva, dentre outros, o controle da poluição difusa rural, com foco na melhoria da qualidade da água (ANEEL, 2001; ANA, 2012; ANA, 2014).

Os parâmetros de qualidade que compõem o cálculo do IQA NSF/CETESB refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos, sendo que os padrões utilizados no desenvolvimento desse índice são relacionados à qualidade da água para fins de abastecimento público (MMA, 2006).

Embora, inicialmente, formuladas para avaliar a qualidade da água potável, considerando a contaminação urbana, acredita-se que uma lógica similar pode ser facilmente aplicada para avaliar a qualidade das águas para irrigação, levando em consideração fontes de contaminação e uso específicos (Simsek e Gunduz, 2007).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho é o de propor um Índice de Qualidade de Água para Irrigação (IQAI) no Cerrado com base no monitoramento e caracterização de águas superficiais em ambientes rurais da região.

O desenvolvimento do trabalho foi estruturado em dois capítulos intitulados: “Avaliação de parâmetros de qualidade da água em três corpos hídricos de áreas rurais do Cerrado brasileiro” e “Utilização de dados de monitoramento para definição de Índice de Qualidade da Água para fins de irrigação”.

## **OBJETIVO GERAL**

Propor um Índice de Qualidade de Água para Irrigação (IQAI) no Cerrado brasileiro com base na avaliação de parâmetros indicadores de qualidade da água de três corpos hídricos de ambientes rurais da região.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Estabelecer parâmetros indicadores de qualidade da água superficial em ambientes rurais do Cerrado brasileiro;
2. Utilizar parâmetros indicadores para definição de um índice de qualidade de água superficial (IQA) para irrigação.

## REFERÊNCIAS

- ANA, 2012. Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil 2012. Agência Nacional de Águas, Brasília, 264pp.
- ANA, 2014. Portal Nacional da Qualidade das Águas (PNQA). Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/Estrutura/PNQA.aspx>> Acesso em: 23 jun.2013.
- ANEEL, 2001. Diagnóstico da situação do monitoramento da qualidade da água da Bacia do Prata em território brasileiro. ANEEL/IBAMA/ANA. 88pp.
- Bollman, H. A., Marques, D.M., 2000. Bases para Estruturação de Indicadores de Qualidade de Águas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 5, 37-60.
- CPRH/PE, 2003. Seleção de índices e indicadores. Programa Nacional de Meio Ambiente II, Subcomponente Monitoramento da qualidade de água. Pernambuco, 2003. Disponível em: <<http://www.pe.gov.br/busca/?q=sele%E7%E3o+de+%EDndices+e+indicadores>>. Acesso em: 4 jun. 2013.
- Ferreira, L.M., Ide, C.N., 2001. Avaliação comparativa da sensibilidade do IQA-NSF, IQA-Smith e IQA-Horton, aplicados ao rio Miranda, MS. Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa.
- Merten, G.H., Minella, J.P., 2002. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, 3, 33-38.
- MMA, 2006. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Síntese Executiva. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, MMA/SRH, Brasília, 135pp.
- Moura, L.H.A., 2008. Estudo geoquímico da Bacia do Gama e avaliação da qualidade da água. Dissertação (mestrado), IG/UNB, Brasília, 129pp.
- Oliveira-Filho, E.C., Lima, J.E.F.W., 2002. Impacto da agricultura sobre os recursos hídricos na região do cerrado. Planaltina – DF, Embrapa Cerrados, 50pp.
- Ongley, E.D., 1996. Control of water pollution from agriculture - FAO irrigation and drainage paper 55. GEMS/WCCC, Canada, 1996.
- Rickwood, C, Carr, GM. 2007. Global drinking water quality index development and sensitivity analysis report. United Nations Environment Programme UNEP, 60pp.
- Simsek, C., Gunduz, O., 2007. IWQ Index: A GIS-integrated technique to asses irrigation water quality. Environ. Monit. Assess., 128, 277-300.

- Singh, K.P., Malik, A., Mohan, D., Sinha, S., 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) - a case study, *Water Research*, 38, 3980-3992.
- Toledo, L.G., Nicolella, G., 2002. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. *Scientia Agricola*, 59, 1, 181-186.
- Trindade, A.L.C., 2013. Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais da porção mineira da bacia do Rio São Francisco. Dissertação (mestrado), Programa em Pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos, UFMG, Belo Horizonte, 181 pp.
- Vieira, J.S., Pires, J.C.M., Martins, F.G., Vilar, V.J.P., Boaventura, R.A.R., Botelho, C.M.S., 2012. Surface water quality assessment of Lis river using multivariate statistical methods. *Water Air Soil Pollut.*, 223, 5549-5561.
- Zagatto, P.A., Lorenzetti, M.L., Lamparelli, M.C., Salvador, M.E.P., Menegon Jr, N., Bertoletti, E., 1999. Aperfeiçoamento de um índice de qualidade de águas. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 11, 111-126.

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA EM  
TRÊS CORPOS HÍDRICOS DE ÁREAS RURAIS DO CERRADO  
BRASILEIRO**

## 1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ocupando a região central do país com aproximadamente 24% do território. Desempenha papel fundamental no processo de distribuição dos recursos hídricos pelo país, onde se originam as grandes regiões hidrográficas brasileiras. Contudo, nas últimas décadas, o Cerrado tem sofrido profundas transformações em função da urbanização e, principalmente, do desenvolvimento do agronegócio no Centro-Oeste brasileiro, com influência negativa sobre os recursos hídricos (Lima, 2011; Aquino et al., 2007).

O Distrito Federal (DF) é a terceira unidade federativa do país com a menor disponibilidade hídrica superficial per capita por ano. Nos últimos anos o DF vem apresentando acentuado crescimento populacional, tanto nas áreas urbanas quanto na área rural. Em três anos (2010-2013) a população do DF cresceu 7,2%, mais que o dobro da média nacional (2,8%) e, soma-se a este fato que aproximadamente 71% da sua área ocupada atualmente por culturas agrícolas e pastagem cultivada (IBGE, 2013; Sano et al., 2008; Silva e Costa-Neto, 2008).

Estima-se que para os próximos 20 anos a região enfrentará sérios problemas relacionados à escassez e poluição da água. A agricultura irrigada foi o setor que mais apresentou aumento da demanda no consumo de água na região, devido ao grande investimento da iniciativa privada e, com a incorporação de novas áreas (ADASA, 2005; Sano et al., 2005; Silva e Costa-Neto, 2008). Até a década de 1980, a área irrigada no DF era de 1.000 hectares. Em 2002, esse número era de 12.000 hectares (Azevedo et al., 2002).

O DF possui uma situação preocupante com relação aos recursos hídricos. Inserido no bioma cerrado, a região possui um sistema hidrológico frágil, caracterizado pelo pequeno volume d'água e clima marcado por longos períodos de seca, quando ocorre redução acentuada das chuvas e conseqüente aumento no consumo de água (ADASA, 2005; Gonçalves, 2012). Entre as bacias hidrográficas que enfrentam estresse hídrico e conflitos de uso encontram-se aquelas ocupadas por atividade agrícola com uso intenso de água, como as bacias do rio Preto e do rio São Marcos (GDF, 2007).

Das sete bacias que compõe a estrutura hídrica superficial do DF, três delas são essenciais para o abastecimento público e irrigação na região: bacias dos Rios Descoberto, Rio São Bartolomeu e Rio Preto.

A bacia do Rio Descoberto é de fundamental importância para o abastecimento do DF, suprindo cerca de 70% da população. Além disso, a bacia também contribui para a área agrícola, sendo responsável pela produção de hortaliças, frutas, carne bovina, aves e ovos consumidos no DF, representando cerca de metade da demanda da Bacia do Rio Preto (bacia com maior uso agrícola) (Chaves et al., 2010; Spera et al., 2003).

Um estudo realizado por Carmo et al. (2005), caracterizou as águas da Bacia do Rio Descoberto em nove pontos de amostragem. Os resultados mostraram altas concentrações de parâmetros físico-químicos e elementos-traço, com diluição ao longo do rio. Nesse estudo, os parâmetros alcalinidade, fosfato e amônia estiveram acima da média de outros estudos de qualidade da água no DF.

Ávila (2005) avaliou a relação entre uso e manejo do solo na bacia do Córrego Capão Comprido (sub-bacia do Lago Descoberto, bacia do Rio Descoberto), quantificando as cargas de nitrogênio, fósforo e sedimento na bacia. O estudo observou que, após a adubação do solo, houve um incremento principalmente na quantidade de nitrogênio, transportado por escoamento superficial.

A bacia do Rio São Bartolomeu abrange grande parte do DF, envolvendo cidades satélites importantes. A área da bacia inclui as sub-bacias dos córregos Mestre D'armas e Pipiripau, consideradas representativas das ocupações rurais e urbanas do DF. Cerca de 70% de sua área é ocupada por formações campestres e atividades agropecuárias e cerca de 4% da área é urbanizada (Ferreira, 2006; Sena-Souza, 2013).

Bilich (2007) avaliou a ocupação do solo com a qualidade da água na microbacia do córrego Mestre D'armas através do Índice de Qualidade da Água. Foi verificado no estudo alterações na qualidade da água devida principalmente a atividades agrícolas na região, principalmente olericultura.

Portela (2013) avaliou a qualidade da água na área de influencia direta da Estação Ecológica de Águas Emendadas (Planaltina, DF), analisando trinta pontos de amostragem, entre eles córregos e ribeirões que compõem a Bacia do São Bartolomeu como o Mestre D'Armas, Atoleiro e Pípiripau. No estudo foi evidenciada uma variabilidade significativa nos parâmetros turbidez, cor, fosfato, nitrato, amônia e cloreto em áreas com influência direta da urbanização.

A bacia do Rio Preto possui uma área de aproximadamente 10.000 km<sup>2</sup>. É considerado um rio federal, abrangendo além do Distrito Federal, (12,94%) os estados de Goiás (22,01%) e Minas Gerais (65,05%). Com uso predominantemente rural, responsável por 80% da produção agrícola do Distrito Federal, a bacia é um grande contribuinte para o Rio São Francisco destacando-se pela sua importância para o abastecimento humano, geração de energia e irrigação (Oliveira-Filho e Parron, 2007).

Rocha et al. (2008), analisaram a influencia do uso da terra sobre a qualidade da água de cinco nascentes de córregos da bacia do Rio Preto, sendo duas nascentes protegidas por vegetação natural e três com atividade agrícola no entorno. O estudo mostrou que o pH e alcalinidade foram influenciados pelo material de origem e que uma das nascentes estudadas apresentou influencia agrícola sobre a qualidade da água.

Estudo realizado por Muniz et al. (2011) comparou a qualidade da água entre o Rio Jardim (sub-bacia do Rio Preto) e Ribeirão Sobradinho (sub-bacia do Rio São Bartolomeu), corpos d'água com influências agrícola e urbana, respectivamente. A bacia do Ribeirão Sobradinho mostrou-se consideravelmente perturbada devido à urbanização. Parâmetros como oxigênio dissolvido, condutividade, nitrato sulfato e *E. coli* foram os parâmetros mais adequados para o tipo e o nível de contaminação aquática. Já no Rio Jardim, o uso do solo mostrou pouca influência sobre os parâmetros de qualidade da água.

Conforme os estudos citados, as três bacias já apresentam indícios de conflitos pelo uso da água, os quais são intensificados devido às características climáticas e hidrológicas da região do Cerrado. Com o desenvolvimento econômico e incremento populacional as demandas por recursos hídricos são aumentadas, o que gera conflitos de destinação de uso e de disponibilidade, tanto quantitativa quanto qualitativa (Setti et al., 2001).



Diante desse quadro, a gestão integrada do uso, controle e conservação dos recursos hídricos é a alternativa eficiente para evitar e mediar conflitos. Uma das principais ferramentas da gestão é o monitoramento da qualidade da água. Este instrumento fornece conhecimento e informações básicas para avaliar a presença de contaminantes, para entender os sistemas aquáticos, além de fornecer subsídios à políticas públicas.

Atualmente, os programas de monitoramento de qualidade da água envolvem, geralmente, coletas frequentes mensais, nos mesmos pontos de amostragem e análises laboratoriais de um grande número de variáveis, resultando em uma matriz volumosa (Guedes et al., 2012).

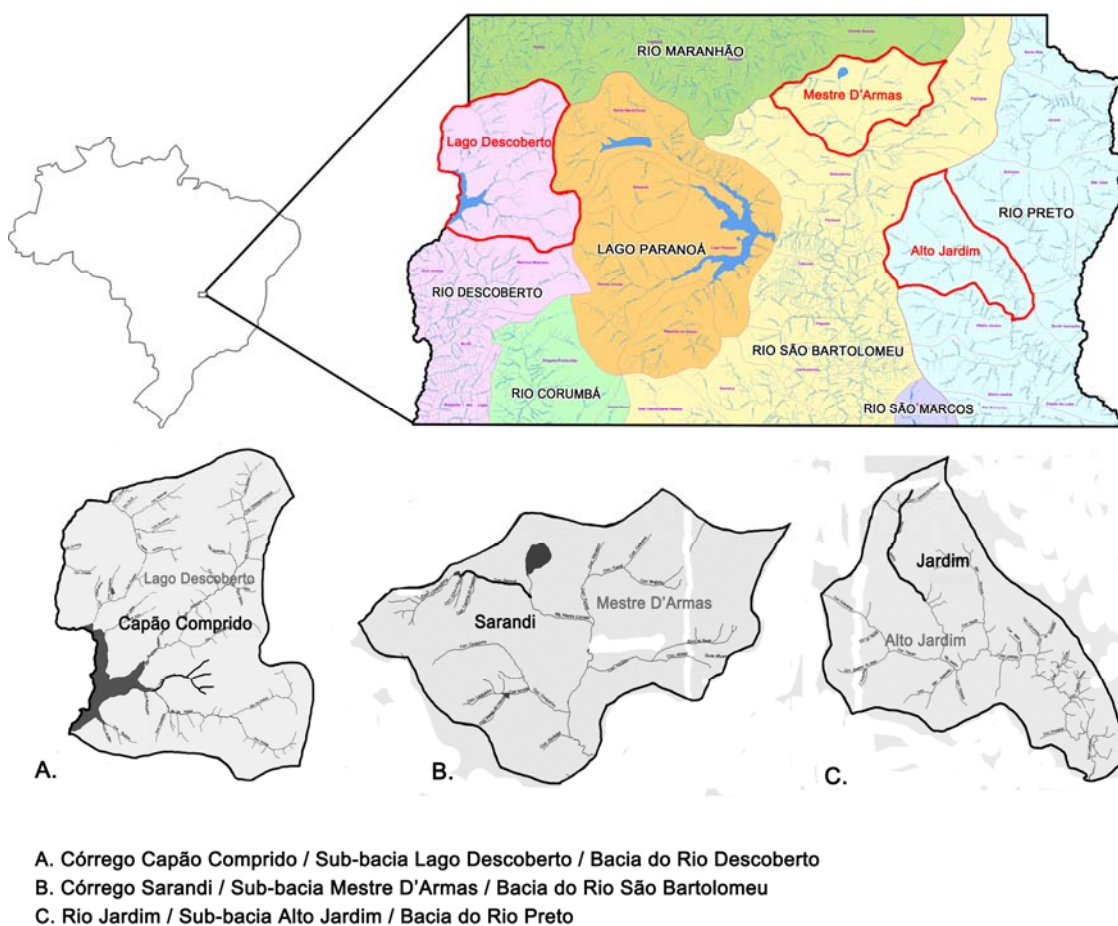
O monitoramento produz inúmeros dados que são difíceis de analisar e interpretar, devido à intrínseca relação entre as variáveis. Para minimizar tais problemas, técnicas de estatística multivariada têm sido amplamente aplicadas na análise e interpretação de conjuntos de dados complexos para a avaliação da qualidade da água, identificação de fontes de poluição e variações temporais e espaciais, com o objetivo de subsidiar a gestão dos corpos hídricos (Singh et al., 2005; Shrestha e Kazama, 2007; Iscen et al, 2009; Kazi et al., 2009; Moura et al., 2010; Guedes et al., 2012; Oketola et al., 2013; Mostafaei, 2014).

Nesse contexto, o presente capítulo objetiva, a partir de dados de monitoramento, avaliar parâmetros de qualidade da água de três corpos hídricos inseridos em ambientes rurais de três bacias hidrográficas no DF.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Localização e descrição das áreas de estudo

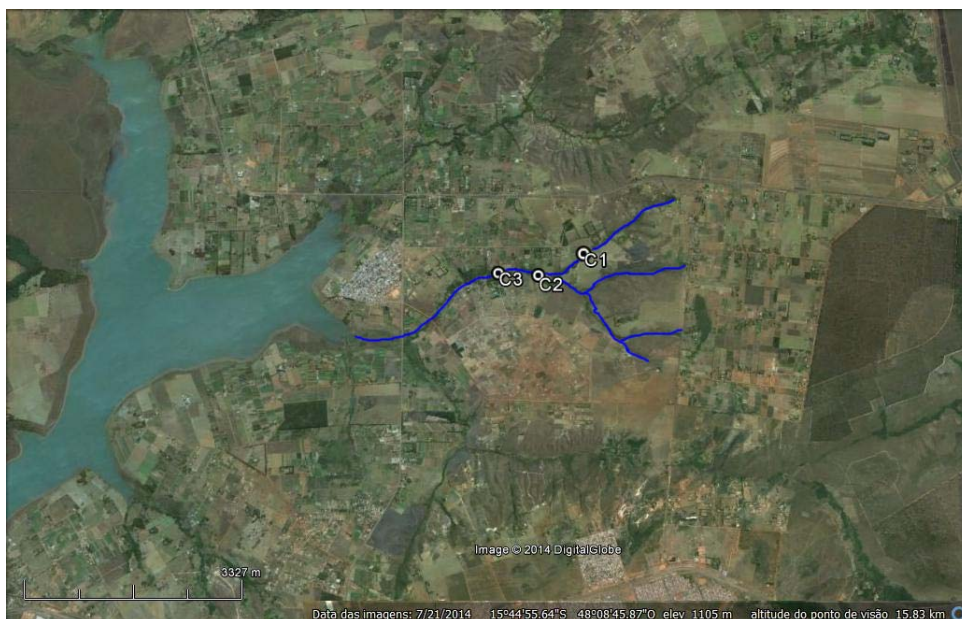
Foram selecionados três áreas de coleta inseridas em zonas rurais do Distrito Federal. Os locais escolhidos para monitoramento da qualidade da água superficial abrangem três, das sete bacias hidrográficas do DF, Rio Descoberto, Rio Preto e Rio São Bartolomeu (Figuras 1 e 2). Essas três bacias, foram selecionados devido à influência direta de atividades agrícolas nessas regiões e de acordo com o uso preponderante principal dos três corpos hídricos: a irrigação. Para cada corpo foram escolhidos três pontos de amostragem totalizando nove pontos nas três bacias.



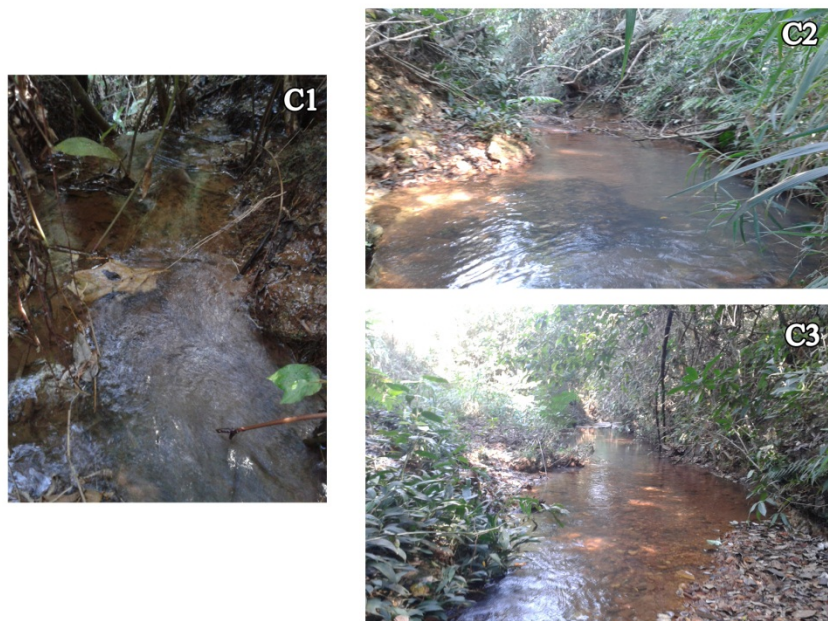
**Figura 1.** Localização das áreas de estudo.

O Córrego Capão Comprido compõe a sub-bacia do Lago Descoberto, localizada na porção oeste do DF e inserida dentro da área de abrangência do Projeto Integrado de Colonização Alexandre de Gusmão (PICAG). Seus principais tributários são: o rio Descoberto, o ribeirão das Pedras, o ribeirão Rodeador e os córregos Chapadinha e Pulador. A bacia do rio abrange uma área aproximada de 16,4 km<sup>2</sup> e localiza-se entre as coordenadas 15°43' a 15°45' de latitude sul e 48°10' a 48°06' de longitude oeste. Essa região é de fundamental importância, pois o córrego contribui para o lago Descoberto, onde sua água é utilizada para o abastecimento público de diversas cidades do DF. O uso e a ocupação do solo da bacia são predominantemente agrícolas, sendo explorada a agricultura e a pecuária em pequenas propriedades (máximo de 10 hectares). A olericultura e, em menor escala, a fruticultura são a base da produção agrícola local (Fernandes, 2005; Fragoso, 2007; Lopes, 2010).

Os pontos de amostragem C1, C2 e C3 localizam-se na fazenda Coité do Cerrado. O ponto C1 – olho d'água do córrego capão comprido com coordenadas geográficas 15°44'23,24" Sul e 48°8'26,53" Oeste; C2 – montante de área de recuperação de mata de galeria degradada, coordenadas 15°44'34,40" Sul e 48°8'50,80" Oeste; e o ponto C3 – jusante de área de recuperação de mata de galeria degradada, coordenadas 15°44'33,20" Sul e 48°9'12,14" Oeste (Figuras 2 e 3).



**Figura 2.** Localização geográfica dos pontos de coleta C1, C2 e C3 no Córrego Capão Comprido. Imagem: Google Earth. Data da imagem: 21/07/2014.

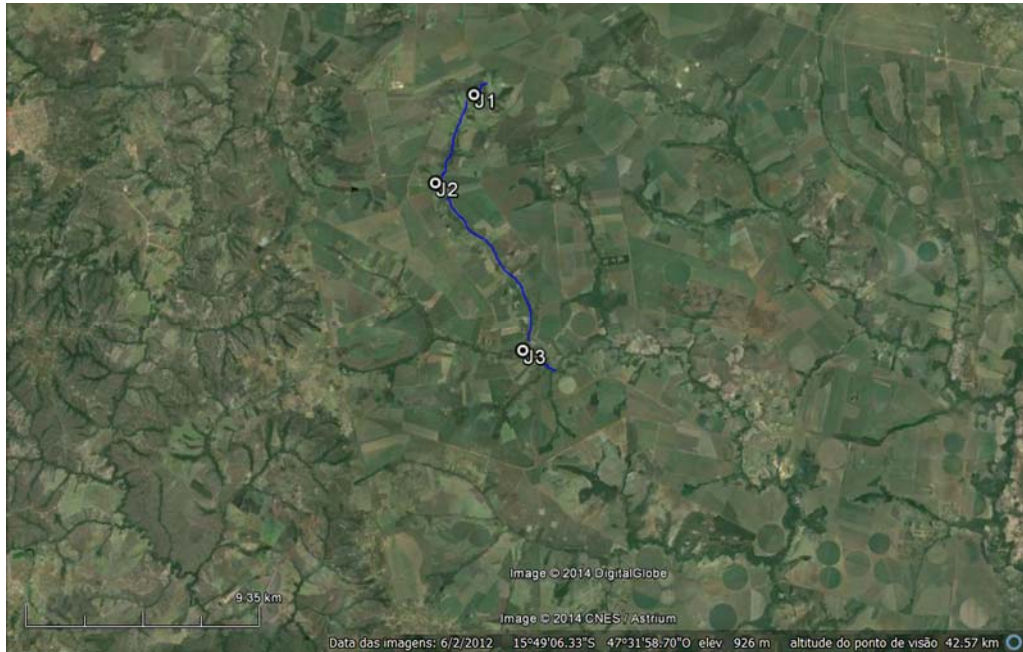


**Figura 3.** Pontos de coleta C1, C2 e C3 no Córrego Capão Comprido.

O Rio Jardim está inserido na sub-bacia do Alto Rio Jardim localizado na região sudeste do DF entre 15°40' e 16°02' de latitude sul e 47°20' e 47°40' de longitude oeste, com uma área de drenagem total de 141,8 km<sup>2</sup>. O Rio Jardim é um importante afluente do Rio Preto que deságua no Rio Paracatu, importante contribuinte da margem esquerda do Rio São Francisco. As principais atividades desenvolvidas na área da bacia são: cultivo de grãos (soja, feijão, milho, sorgo), algodão, cítricos, café, mandioca e hortaliças; criação de aves e de gado (Lima, 2010; Frota, 2006).

O ponto J1 – nascente do Rio Jardim, localiza-se na Fazenda São Miguel, com coordenadas geográficas 15°43'51,2" Sul e 47°34'41,8" Oeste; J2 – montante da barragem do Rio Jardim, localizado na chácara 95, com coordenadas geográficas 15°45'54,9" Sul e 47°35'34,80" Oeste; e J3 – montante da confluência do Rio Jardim com o Córrego Estanislau (<55 km<sup>2</sup>), com coordenadas geográficas 15°49'44,3" Sul e 47°33'28,9" Oeste (Figuras 4 e 5).





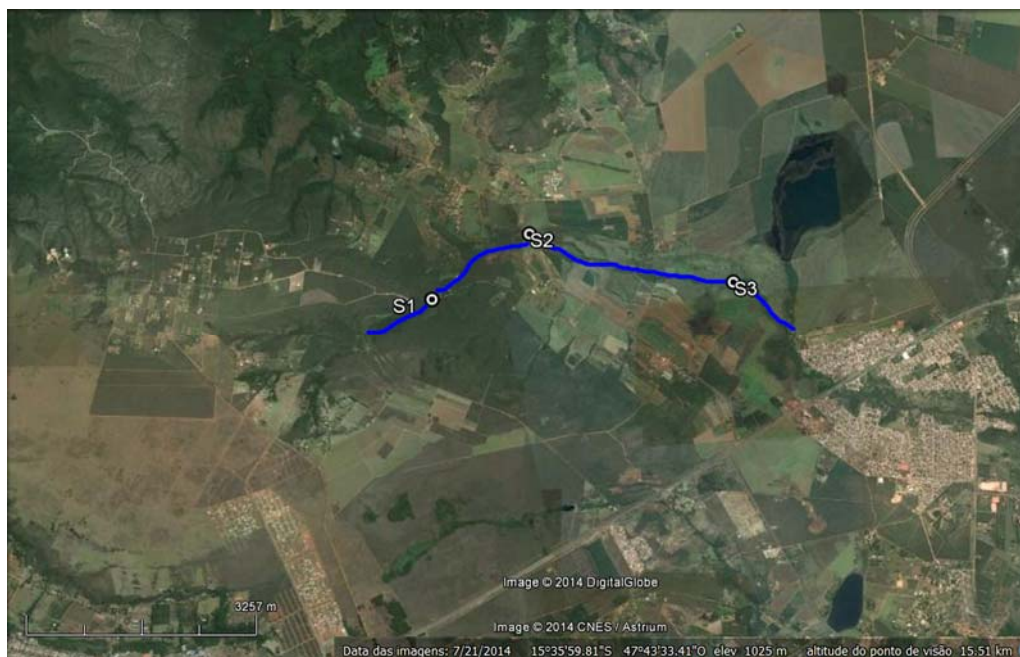
**Figura 4.** Localização geográfica dos pontos de coleta J1, J2 e J3 no Rio Jardim. Imagem: Google Earth. Data da imagem: 02/06/2012.



**Figura 5.** Pontos de coleta J1, J2 e J3 no Rio Jardim.

O Córrego Sarandi localizado ao norte do DF (15°40' e 16°02' de latitude sul e 47°20' e 47°40' de longitude oeste) é afluente da margem direita do ribeirão Mestre d'Armas que deságua do rio São Bartolomeu, importante tributário da bacia do rio Paraná. Possui uma área de drenagem de aproximadamente 30 km<sup>2</sup>. A área caracteriza-se por ser uma área que sofre fortes influências de loteamentos e de atividades agrícolas desenvolvidas (Assis et al., 2013; Carvalho, 2005).

Os pontos de amostragem do córrego Sarandi foram determinados: S1 – nascente do rio Sarandi, cachoeira inserida dentro da área da Embrapa Cerrados, coordenadas 15°35'43,0" Sul e 47°44'46,4" Oeste; S2 – Ponte da rodovia que dá acesso ao Núcleo Rural Sarandi, coordenadas 15°35'10,9" Sul e 47°43'58,7" Oeste; e S3 – abaixo da área experimental da Embrapa Cerrados, coordenadas 15°35'33,9" Sul e 47°42'17,1" Oeste (Figuras 6 e 7).



**Figura 6.** Localização geográfica dos pontos de coleta S1, S2 e S3 no Córrego Sarandi. Imagem: Google Earth. Data da imagem: 21/07/2014.





**Figura 7.** Pontos de coleta S1, S2 e S3 no Córrego Sarandi.

## **2.2. Coleta e preservação das amostras**

Os pontos de coleta foram definidos com base em características importantes, como representatividade dos pontos de coleta, facilidade de acesso e segurança da amostragem. Estudos realizados anteriormente nas bacias, também auxiliaram na definição dos locais de amostragem (Parron et al., 2009a; Parron et al., 2009b; Sousa et al., 2009; Sonoda, 2010; Muniz et al., 2011). O levantamento de estudos já realizados nos locais contribui com informações sobre características das áreas e as principais atividades poluidoras das bacias (CETESB e ANA, 2011).

As coletas ocorreram mensalmente, entre maio de 2012 a abril de 2013, totalizando 12 meses. Foram coletadas amostras de água superficial mergulhando-se frascos de polietileno de 300 mL, cerca de 15 a 30 cm, devidamente preparados (Figura 8A). Para determinação de coliformes totais e *Escherichia coli*, as amostras foram coletadas em recipientes estéreis

apropriados contendo tiosulfato de sódio, 0,1 mg/100mL de amostra (Figura 8B). Após as coletas todos os frascos foram acondicionados em caixa térmica, sob refrigeração e ao abrigo da luz até a chegada ao laboratório (Figura 8C). As análises físicas, químicas e de coliformes foram realizadas com cada amostra coletada.

Amostras destinadas a análise iônica por cromatografia foram filtradas em membrana hidrofílica, constituída por misturas de ésteres de celulose com porosidade de 0,45  $\mu\text{m}$  e congeladas até o momento da leitura (Figura 8D).



**Figura 8.** Procedimentos de coleta e preservação de amostras.

Todos os procedimentos de coleta e preservação de amostras foram realizados de acordo com o Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos (CETESB e ANA, 2011).

### 2.3. Métodos de análises

Os parâmetros utilizados nesse trabalho foram definidos com base em seu significado, abrangência, limitações, referências para comparações e custos para obtenção.



Para cada amostra coletada foram feitas determinações de 22 parâmetros: temperatura (TEMP), oxigênio dissolvido (OD), pH, condutividade (COND), total de sólido dissolvidos (TDS), turbidez (TURB), dureza total (DUR); dos íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), fluoreto ( $\text{F}^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ); fósforo total (PT), razão de adsorção de sódio (RAS), coliformes totais (CT) e coliformes termotolerantes - *E. coli* (CTERMO).

As variáveis temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade, total de sólidos dissolvidos e pH foram determinados em campo com a utilização de medidor multiparâmetros portátil modelo Hanna HI 9828, devidamente calibrado para cada parâmetro antes da medição (Figura 9A).

A turbidez foi medida em laboratório, no dia da coleta, com a utilização de um turbidímetro portátil Hanna, modelo HI 93703 (Figura 9B), equipamento dotado com fonte de luz (filamento de tungstênio), que incide na amostra, e um detector fotoelétrico capaz de medir a luz que é dispersa em um ângulo de  $90^\circ$  em relação à luz incidente. A turbidez assim medida é fornecida em unidades nefelométricas de turbidez (UNT). O turbidímetro foi calibrado com suspensões de turbidez (0, 10 e 500 UNT) antes de ser utilizado.

A dureza total foi realizada através de método titulométrico EDTA-Na (ABNT, 1992). A titulação é um procedimento analítico no qual a quantidade desconhecida de um composto (titulado) é determinada através da reação deste com um reagente (titulante) padrão ou padronizado (Skoog et al., 2006). O EDTA e seus sais de sódio formam um complexo quelatado solúvel quando adicionado a uma solução de certos cátions metálicos. Quando uma pequena quantidade de indicador (Negro de Eriocromo T) é adicionado a uma solução aquosa contendo íons cálcio e magnésio em pH de  $10,0 \pm 0,1$ , a solução torna-se vermelho vinho. Quando o EDTA é titulado, os íons cálcio e magnésio são complexados, e quando todas as formas de cálcio e magnésio forem complexadas a solução aquosa vira de vermelho-vinho para azul (Figura 9C).

Para a determinação dos cátions e ânions analisados foi utilizado o Cromatógrafo Iônico, modelo 761 Compact IC, Methrohm (Figura 9D). A cromatografia iônica é uma técnica

cromatográfica que aplica princípios da troca iônica, de modo que a condutividade elétrica é utilizada para a detecção e determinação quantitativa dos íons em solução (Frankenberger-Jr. et al., 1990; Eith, et al., 2001). Para análise de cátions foi utilizada uma coluna de troca iônica Metrosep C2 e como eluente uma solução tampão de 4,0 mM de Ácido Tartárico, e 0,75 mM de Ácido Dipicolínico (ácido 2,6-piridinodicarboxílico). Na análise de ânions foi utilizada uma coluna Metrosep Asup5 e solução tampão de 3,2 mM de bicarbonato de sódio e 1,0 mM de hidrogenocarbonato de sódio e ainda uma solução supressora de 100 mM de ácido sulfúrico utilizada no ramal da supressão iônica, paralelamente à água bidestilada, com um gradiente pré-fixado em 50% (água/ácido).

Para análise de fósforo total foi utilizado o método ácido ascórbico/colorimétrico (APHA, 2005). O método baseia-se na reação de molibdato de amônio e o antimoniltartarato de potássio em meio ácido com o fósforo (na forma de ortofosfato) presente na amostra, com a formação do ácido fosfomolibdico que é reduzido a molibdeno azul através do ácido ascórbico. A absorbância medida em espectrofotômetro UV/Vis a 882 nm é proporcional à concentração de ortofosfato na amostra. Para leitura do fósforo total foi utilizado um Espectrofotômetro duplo feixe, com cubeta de 1 cm, modelo UV-210, Shimadzu.

A razão de adsorção de sódio (RAS) foi obtida por meio da fórmula proposta por Richards (1954). Usualmente, a RAS não é uma medida adotada nos programas de monitoramento da qualidade da água, porém, é um importante parâmetro na determinação da qualidade da água de irrigação, por se tratar de um índice que expressa a possibilidade de que a água utilizada para tal finalidade provoque a sodificação do solo, que depende da proporção do sódio em relação ao cálcio e magnésio (Maia et al., 1998).

As análises de coliformes totais e termotolerantes foram realizadas em laboratório utilizando o método cromogênico (Colilert, Idexx) (APHA, 2005). Esse método utiliza a tecnologia de substrato definido “*Defined Substrate Technology*” (DST) para detecção de coliformes totais e *E. coli* em água. Para as bactérias do grupo coliformes totais, foi utilizado o substrato cromogênico, *ortho-nitrophenyl-β-D-galactopyranoside* (ONPG), que detecta a enzima β-D-galactosidase. Esta hidrolisa o substrato e produz a mudança de cor, que indica

positividade para coliformes totais em 24 horas. Já para as bactérias termotolerantes (*E. coli*), foi utilizado o substrato fluorogênico, 4-methylumbelliferyl-  $\beta$ -D-glucuronide (MUG), que detecta a enzima  $\beta$ -glucuronidase. Essa enzima hidrolisa o substrato e produz um produto fluorescente quando visualizado em luz ultravioleta (UV) com comprimento de onda longo (366 nm). A presença da fluorescência indica positividade para *E. coli* (Figura 9E). Esse método é recomendado para análise de coliformes somente em águas doce, mineral, de abastecimento e afluentes domésticos (IDEXX, 2014; Ribeiro et al., 2010).

Os procedimentos de análises das amostras de água foram realizados nos Laboratórios de Química de Água e Ecotoxicologia da Embrapa Cerrados, em conformidade com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW) (ABNT, 1992; APHA, 2005).



**Figura 9.** Métodos e equipamentos utilizados nas análises.

## 2.4. Balanço Iônico

O cálculo do balanço iônico foi realizado em todas as amostras para os três corpos hídricos com o objetivo de verificar erros de análises antes da aplicação dos testes estatísticos. Esse método consiste em verificar se a concentração total em miliequivalentes (meq/L) dos

cátions é aproximadamente igual à de ânions. O desvio percentual dessa igualdade é determinado pelo coeficiente de erro da análise.

Percentuais de erro elevados podem indicar erro analítico, erro nos cálculos, presença de íons não analisados em concentrações apreciáveis ou águas pouco mineralizadas (Simões, 2008). O erro do balanço iônico (%) é definido pela equação 1:

$$\text{Erro do balanço iônico (\%)} = \frac{|\Sigma \text{ cátions} - \Sigma \text{ ânions}|}{|\Sigma \text{ cátions} + \Sigma \text{ ânions}|} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$$\Sigma \text{ cátions} = [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{NH}_4^+] \quad (2)$$

$$\Sigma \text{ ânions} = [\text{F}^-] + [\text{Cl}^-] + [\text{NO}_2^-] + [\text{NO}_3^-] + [\text{PO}_4^{2-}] + [\text{SO}_4^{2-}] \quad (3)$$

Neste trabalho, para que uma amostra fosse considerada válida, foram admitidos erros percentuais de no máximo 15% para cada amostra, levando em consideração que os valores dos somatórios dos cátions ou ânions fosse  $< 1$ , conforme descrito abaixo (Logan, 1965). Todos os valores dos erros estiveram dentro do percentual aceitável.

$\Sigma \text{ cátions ou } \Sigma \text{ ânions (meq/L)}$	<b>&lt;1</b>	1	2	6	10	30	>30
<i>Erro máximo permitido (%)</i>	<b>15</b>	10	6	4	3	2	1

## 2.5. Tratamento dos dados

Os resultados das análises de cada corpo hídrico foram organizados em matrizes, uma para cada período: seco (maio a outubro de 2012) e chuvoso (novembro de 2012 a abril de 2013), a fim evidenciar diferenças provocadas pela sazonalidade.

As variáveis analisadas apresentaram três diferentes tipos de resultado: um valor real, um valor nulo ou um valor abaixo do limite de detecção. Algumas técnicas estatísticas como,

por exemplo, a Análise das Componentes Principais, podem excluir totalmente uma observação, caso exista um valor irreal (zero ou símbolo).

Nesse estudo optou-se pela exclusão das variáveis que apresentaram valores nulos ou abaixo do limite de detecção em mais de 80% do período analisado (n =12). Para os demais casos, foi feita a substituição de valores nulos (zero) pela metade do menor valor encontrado para o parâmetro analisado no ponto de amostragem e para os valores abaixo do limite de detecção (<LD), foram substituídos pela metade do limite de detecção para o parâmetro (Petersen et al., 2001; Zeng e Rasmussen, 2005; Scopel et al., 2005; Moura, 2008).

## **2.6. Estatística Descritiva e Análise de Variância**

As matrizes de dados foram submetidas à estatística descritiva. Tais medidas descritivas objetivam sintetizar uma série de valores de mesma natureza, permitindo uma visão geral da variação desses valores.

A análise descritiva das variáveis analisadas levou em consideração os períodos seco e chuvoso, para cada ponto de amostragem de cada corpo hídrico. A média aritmética, mediana, o desvio padrão e os valores máximos e mínimos foram atribuídos aos parâmetros aferidos, de acordo com o teste de normalidade.

Foi aplicado o teste de normalidade de *Kolmogorov-Smirnov* a um nível de significância de 5%, a fim de selecionar a estatística descritiva a ser empregada. Para o conjunto de dados que exibiram distribuição normal, a média e o desvio padrão foram empregados, enquanto que para o conjunto de dados com distribuição não normal, a mediana e os valores mínimo e máximo foram apresentados.

Para as variáveis com distribuição normal foi aplicado o teste T, para as variáveis com distribuição não normal foi aplicado o teste *Wilcoxon-Mann-Whitney* (U), para observar se houve diferença estatisticamente significativa entre os dados.

Além disso, visando analisar a variabilidade dos dados em função dos pontos amostrados e da sazonalidade representada no estudo, foi realizada a Análise de Variância

através do teste de *Kruskal-Wallis*, para as variáveis com distribuição não paramétrica, e os testes *One-Way ANOVA* e *Post hoc* para os parâmetros com distribuição paramétrica, corrigido pelo índice de *Bonferroni*. Esse índice altera o nível de significância a fim de evitar erros derivados da múltipla comparação.

Todos os tratamentos estatísticos dos dados foram realizados com o software R versão 3.1.0 (R Development Core Team, 2014), com o auxílio do pacote ‘*vegan*’ (Oksanen, et al. 2012).

## **2.7. Análise das Componentes Principais (PCA)**

A Análise de Componentes Principais (*Principal Component Analysis* PCA) é uma técnica estatística de análise multivariada que visa reduzir a dimensão de uma matriz com um grande número de variáveis inter-relacionados, mantendo tanto quanto possível, a variabilidade presente no conjunto de dados (Kebede; Kebedee, 2012). A PCA é um método para reescrever os dados multivariados, já que ela permite que o pesquisador reorganize os dados de modo que as primeiras dimensões expliquem o maior número possível de informações disponíveis (Lattin et al., 2011). Ela converte as variáveis originais em novas variáveis não relacionadas (eixos), chamadas de Componentes Principais (CP), que são combinações lineares das variáveis originais (Kazi et al., 2009). A medida relativa da importância de cada variável em relação às componentes principais e os respectivos sinais (matriz de carregamento), ao ser multiplicada pela matriz original de dados fornece a matriz de contagens (scores) (Bernardi et al., 2009).

A principal vantagem da PCA na análise de qualidade da água é a remoção da multicolinearidade nas análises devido ao grande número de variáveis (Mostafaei, 2014). A PCA software *Statistica* versão 7 (Statsoft, 2005).

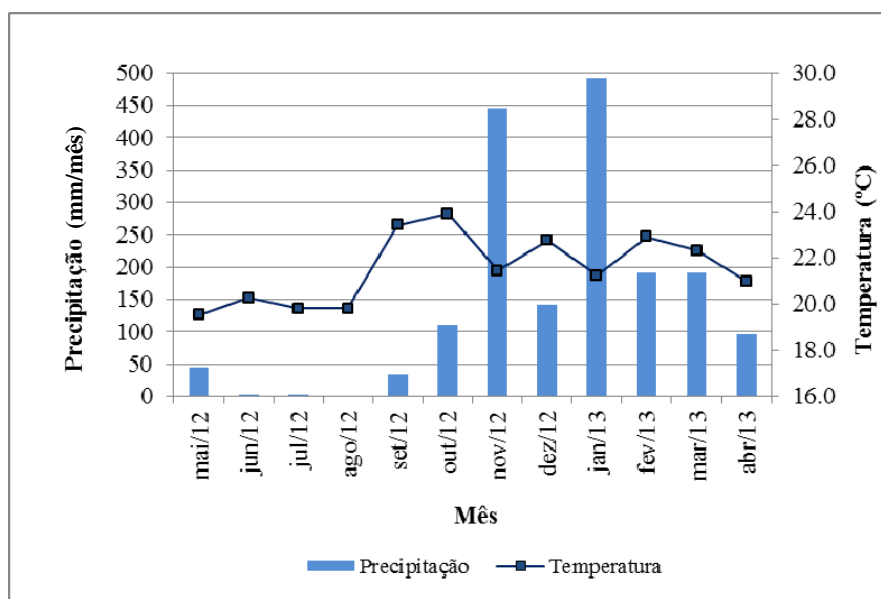
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Dados de temperatura e precipitação do período de estudo

De acordo com a classificação climática de *Köppen*, no DF podem ocorrer climas do tipo: Tropical Aw, Tropical de Altitude Cwa e Tropical de Altitude Cwb, em função de variações de temperaturas médias (dos meses mais frios e mais quentes) e de altitude.

A temperatura média anual fica em torno de 22-23°C. Os valores máximos absolutos mensais não variam muito ao longo dos meses. Já as mínimas absolutas mensais variam bastante, atingindo valores próximos ou até abaixo de zero, nos meses de maio, junho e julho (Marcuzzo et al, 2012).

O clima do DF tem como característica principal a forte sazonalidade, com dois períodos hidrológicos bem distintos. O período entre maio e setembro é evidenciado pela baixa precipitação, baixa nebulosidade, alta taxa de evaporação, denominado período seco. O período entre outubro e abril apresenta padrões contrastantes, sendo que os meses de dezembro a março concentram 47% da precipitação anual, podendo ocorrer veranicos de intensidades variadas (Campos, 2004; Lima, 2011).



**Figura 10.** Valores mensais de precipitação total acumulada (mm) de Maio de 2012 a Abril de 2013. Fonte: INMET, 2014.

Conforme mostrado na Figura 10, entre os meses de maio de 2012 a outubro de 2012 (denominado período seco) a temperatura média foi de 21,11 °C, com uma máxima de 23,89°C e mínima de 19,52°C. Já no período chuvoso, que compreendeu os meses de novembro de 2012 a abril de 2013 a média foi de 22,02 °C, com máxima de 22,90 °C e mínima de 20,96°C. A precipitação média no período seco foi de 31,62 mm e no período chuvoso 259,02mm.

### 3.2. Tratamento dos dados e diferença de sazonalidade

A análise estatística foi aplicada a três matrizes de dados (36 observações por 16 parâmetros), para cada corpo hídrico. As variáveis fluoreto (F<sup>-</sup>), nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e fósforo total (PT) foram retiradas das três matrizes originais por apresentarem valores abaixo do limite de detecção em mais de 80% dos meses de coleta.

No Córrego Capão Comprido para os parâmetros COND, TDS, K<sup>+</sup> e CTERMO, os quais apresentaram distribuição ordinária ( $p < 0,05$ ), foi aplicado o teste *Wilcoxon-Mann-Whitney* (U), após a aplicação do teste de normalidade de *Kolmogorov-Smirnov* (K-S). Para o Rio Jardim o teste foi aplicado nas variáveis RAS, Cl<sup>-</sup>, CT e CTERMO e no Rio Sarandi para TDS, K<sup>+</sup>, CT e CTERMO. Para os demais parâmetros foi aplicado o teste T, ambos com a finalidade de avaliar diferença estatística significativa entre os períodos seco e chuvoso.

As variáveis TEMP, TURB e CTERMO apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os períodos hidrológicos para o Córrego Capão Comprido, enquanto que no Rio Jardim TEMP, pH, RAS e Ca<sup>2+</sup> apresentaram diferença. No Córrego Sarandi a diferença foi evidenciada para as variáveis TEMP, pH, OD e CT. Os valores de  $p$  para o teste de normalidade K-S e dos testes T e U estão representados na Tabela 1.



**Tabela 1.** Valores de *p* para os testes de normalidade e comparação entre os períodos hidrológicos por meio dos testes T e U.

Variáveis (n=36)	Capão Comprido		Jardim		Sarandi	
	Teste K-S <sup>1</sup>	Teste T/U <sup>2</sup>	Teste K-S <sup>1</sup>	Teste T/U <sup>2</sup>	Teste K-S <sup>1</sup>	Teste T/U <sup>2</sup>
TEMP (°C)	0,492	<0,001 <sup>T</sup>	0,687	<0,001 <sup>T</sup>	0,821	<0,001 <sup>T</sup>
pH	0,086	0,410 <sup>T</sup>	0,940	<0,001 <sup>T</sup>	0,821	0,045 <sup>T</sup>
COND (µS/cm)	0,030*	0,055 <sup>U</sup>	0,051	0,050 <sup>T</sup>	0,330	0,982 <sup>T</sup>
TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	0,003*	0,307 <sup>U</sup>	0,016*	0,063 <sup>U</sup>	0,011*	0,151 <sup>U</sup>
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	0,636	0,442 <sup>T</sup>	0,572	0,858 <sup>T</sup>	0,915	<0,001 <sup>T</sup>
DUR (mg.L <sup>-1</sup> )	0,294	0,398 <sup>T</sup>	0,310	0,056 <sup>T</sup>	0,752	0,073 <sup>T</sup>
TURB (UNT)	0,074	0,003 <sup>T</sup>	0,134	0,083 <sup>T</sup>	0,401	0,275 <sup>T</sup>
RAS	0,548	0,113 <sup>T</sup>	<0,001*	0,005 <sup>U</sup>	0,086	0,172 <sup>T</sup>
Na <sup>+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,869	0,051 <sup>T</sup>	0,883	0,458 <sup>T</sup>	0,322	0,708 <sup>T</sup>
K <sup>+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,002*	0,152 <sup>U</sup>	0,169	0,465 <sup>T</sup>	0,009*	0,417 <sup>U</sup>
Ca <sup>2+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,757	0,824 <sup>T</sup>	0,323	0,044 <sup>T</sup>	0,918	0,060 <sup>T</sup>
Mg <sup>2+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,327	0,074 <sup>T</sup>	0,089	0,176 <sup>T</sup>	0,571	0,933 <sup>T</sup>
Cl <sup>-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,103	0,273 <sup>T</sup>	<0,001*	0,786 <sup>U</sup>	0,165	0,052 <sup>T</sup>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,051	0,644 <sup>T</sup>	0,090	0,855 <sup>T</sup>	0,385	0,689 <sup>T</sup>
CT (NMP)	0,202	0,947 <sup>T</sup>	0,003*	0,588 <sup>U</sup>	0,002*	0,029 <sup>U</sup>
CTERMO (NMP)	0,032*	0,034 <sup>U</sup>	0,010*	0,717 <sup>U</sup>	0,007*	0,076 <sup>U</sup>

<sup>1</sup>Teste de Kolmogorov-Smirnov / <sup>2</sup>T (variáveis com distribuição normal – Teste T), U (variáveis com distribuição ordinária – Teste Wilcoxon-Mann-Whitney) / TEMP = Temperatura / OD = Oxigênio Dissolvido / COND = Condutividade / TDS = Total de Sais Dissolvidos / DUR = Dureza Total / TURB = Turbidez / RAS = Razão de Adsorção de Sódio / CT = Coliformes Totais / CTERMO = Coliformes Termotolerantes / (\*) p <0,05 / n=36.

Nas Tabelas 2 e 3 estão descritos os valores médios (M) para as variáveis que apresentaram distribuição normal, e a mediana (M) para os parâmetros que apresentaram distribuição ordinária, seguidos dos valores de desvio padrão (DP), além dos valores mínimo (Min) e máximo (Max) para cada parâmetro dos três corpos hídricos nos períodos seco e chuvoso, respectivamente.

**Tabela 2.** Estatística descritiva para o período seco (maio a outubro de 2012).

Variáveis (n=18)	Capão Comprido		Jardim		Sarandi	
	<i>M ± DP</i>	<i>Min-Max</i>	<i>M ± DP</i>	<i>Min-Max</i>	<i>M ± DP</i>	<i>Min-Max</i>
TEMP (°C)	20,31±1,07	18,64-22,35	19,82±1,69	17,03-22,16	20,09±1,35	17,71-22,72
pH	5,92±0,39	5,16-7,01	6,59±0,57	5,71-7,85	6,29±0,33	5,78-6,85
COND (µS/cm)	<b>5,00</b> ±1,14	3,00-7,00	6,06±2,44	3,00-12,00	6,00±1,14	4,00-8,00
TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>2,00</b> ±0,67	1,00-3,00	<b>3,00</b> ±1,39	1,00-6,00	<b>3,00</b> ±0,58	2,00-4,00
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	6,38±1,57	3,76-9,13	6,97±1,61	4,18-9,80	7,92±0,75	6,54-9,50
DUR (mg.L <sup>-1</sup> )	1,72±0,67	1,00-3,00	1,56±0,86	0,50-3,00	3,93±1,02	2,00-7,00
TURB (UNT)	2,75±2,44	0,01-9,70	7,47±6,26	1,23-19,04	6,14±5,35	1,18-17,58
RAS	0,62±0,23	0,29-1,07	<b>0,41</b> ±2,56	0,31-8,2	0,55±0,30	0,34-1,30
Na <sup>+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,56±0,16	0,37-0,93	0,51±0,27	0,20-1,42	0,57±0,19	0,32-1,03
K <sup>+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>0,09</b> ±0,29	0,001-1,10	0,24±0,21	0,001-0,66	0,19±0,32	0,001-1,38
Ca <sup>2+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,88±0,39	0,21-2,09	1,09±0,86	0,001-2,59	1,17±0,40	0,001-1,68
Mg <sup>2+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,18±0,14	0,001-0,62	0,20±0,13	0,001-0,46	0,24±0,04	0,17-0,32
Cl <sup>-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,26±0,10	0,08-0,47	<b>0,28</b> ±0,14	0,12-0,58	0,29±0,11	0,001-0,47
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,18±0,12	0,001-0,31	0,14±0,11	0,001-0,36	0,17±0,12	0,001-0,37
CT (NMP)	1336,1±834,4	103,1-2419,6	<b>1986,3</b> ±667,2	298,7-2419,6	<b>1378,2</b> ±767,7	365,4-2419,6
CTERMO (NMP)	<b>154,5</b> ±125,3	45,0-410,6	<b>275,5</b> ±734,7	14,6-2419,6	<b>113,65</b> ±386,3	21,6-1732,9

M = Para distribuição normal refere-se a média, para distribuição ordinária refere-se a mediana (em destaque) / DP = Desvio Padrão / Max = Máximo / Min = Mínimo / TEMP = Temperatura / OD = Oxigênio Dissolvido / COND = Condutividade / TDS = Total de Sais Dissolvidos / TURB = Turbidez / DUR = Dureza Total / CT = Coliformes Totais / CTERMO = Coliformes Termotolerantes / n=18.

**Tabela 3.** Estatística descritiva no período chuvoso (novembro de 2012 a abril de 2013).

Variáveis (n=18)	Capão Comprido		Jardim		Sarandi	
	<i>M ± DP</i>	<i>Min-Max</i>	<i>M ± DP</i>	<i>Min-Max</i>	<i>M ± DP</i>	<i>Min-Max</i>
TEMP (°C)	22,61±1,53	21,12-26,44	22,15±1,44	18,79-24,03	22,52±1,76	20,54-27,04
pH	5,80±0,47	4,85-6,80	5,92±0,49	5,08-6,90	6,05±0,30	5,48-6,56
COND (µS/cm)	<b>5,00</b> ±0,94	3,00-6,00	4,59±1,70	1,00-6,00	5,99±1,83	4,00-11,00
TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>3,00</b> ±0,61	1,00-3,00	<b>2,00</b> ±0,83	1,00-3,00	<b>2,75</b> ±1,01	1,60-6,00
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	6,74±1,15	5,07-8,66	6,88±1,23	3,98-8,48	6,42±1,02	4,78-8,11
DUR (mg.L <sup>-1</sup> )	2,56±1,12	1,00-5,00	1,59±0,96	0,50-3,00	4,62±1,22	2,63-7,24
TURB (UNT)	6,67±4,44	2,10-15,97	14,85±15,53	0,60-47,88	8,54±7,27	0,67-30,83
RAS	0,75±0,26	0,42-1,45	<b>1,02</b> ±3,38	0,50-9,35	0,44±0,13	0,31-0,82
Na <sup>+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,66±0,17	0,42-0,99	0,58±0,22	0,25-0,89	0,54±0,17	0,32-1,086
K <sup>+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>0,001</b> ±0,11	0,001-0,30	0,19±0,18	0,001-0,49	0,11±0,13	0,001-0,38
Ca <sup>2+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,85±0,31	0,21-1,26	0,58±0,50	0,001-1,24	1,46±0,46	0,71-2,34
Mg <sup>2+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,11±0,10	0,001-0,26	0,13±0,13	0,001-0,32	0,24±0,04	0,18-0,34
Cl <sup>-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,54±0,69	0,11-2,65	<b>0,39</b> ±0,86	0,12-2,98	0,41±0,21	0,22-1,06
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,16±0,11	0,001-0,28	0,15±0,09	0,001-0,28	0,18±0,18	0,001-0,61
CT (NMP)	1352,7±670,9	488,4-2419,6	<b>2419,6</b> ±654,9	517,2-2419,6	<b>2419,6</b> ±482,0	517,2-2419,6
CTERMO (NMP)	<b>47,1</b> ±187,6	3,1-648,8	<b>325,5</b> ±393,9	57,3-1413,6	<b>226,3</b> ±573,7	48,9-2419,6

M = Para distribuição normal refere-se a média, para distribuição ordinária refere-se a mediana (em destaque) / DP = Desvio Padrão / Max = Máximo / Min = Mínimo / TEMP = Temperatura / OD = Oxigênio Dissolvido / COND = Condutividade / TDS = Total de Sais Dissolvidos / TURB = Turbidez / DUR = Dureza Total / CT = Coliformes Totais / CTERMO = Coliformes Termotolerantes / n=18.

A temperatura das águas (TEMP) dos três corpos hídricos apresentou diferença estatística entre os períodos hidrológicos, de acordo com a variação da temperatura do ar, com menores valores na seca, com média de 21,11 °C e no período chuvoso com uma média de 22,02 °C (INMET, 2014). Segundo Angelocci e Villa-Nova (1995), o regime térmico dos corpos hídricos depende fundamentalmente do regime de energia radiante disponível, com influência direta na temperatura do ar.

No córrego Capão Comprido foi evidenciada diferença entre os períodos seco e chuvoso para a variável turbidez (TURB). Isso se deve ao fato de que as maiores concentrações de sedimentos (que possuem forte relação com a turbidez) são normalmente observadas durante o período chuvoso que, na maioria dos rios, corresponde a cerca de 70 a 90% da carga de material sólido escoado no decorrer de todo o ano hidrológico (Lima et al., 2011). No período seco a média encontrada no córrego foi de 2,75 UNT enquanto que no período chuvoso a média foi de 6,67 UNT.

O pH médio do Rio Jardim foi de 6,59 na época seca e 5,92 na época chuvosa. No Córrego Sarandi essa média foi de 6,29 no período seco e 6,05 para o período chuvoso. Ambos apresentaram diferença estatística significativa. No Distrito Federal o pH das águas varia em torno de 5,6 a 6,85, tendendo naturalmente a um pH ácido, refletindo a acidez natural dos solos do Cerrado (Carmo et al., 2005). Estes resultados são devidos, possivelmente, ao incremento de nutrientes nos ecossistemas em épocas chuvosas, por meio do escoamento superficial, acarretando a diminuição do pH das águas.

O Rio Jardim apresentou teor médio de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) maior no período seco (1,09  $\text{mg.L}^{-1}$ ) do que no período chuvoso (0,58  $\text{mg.L}^{-1}$ ). Os elevados valores de cálcio registrados no rio durante o período seco são devido à maior concentração de sais na água, já que as chuvas nesses meses são escassas. Além de apresentarem diferença entre períodos hidrológicos, as baixas concentrações de cálcio e magnésio são umas das características principais do rio Jardim conforme observado em estudo anterior (Muniz et.al, 2011).

No Córrego Sarandi foram encontrados teores médios de oxigênio dissolvido (OD), menores no período chuvoso do que no período seco. Este fato pode estar relacionado à

temperatura da água no período seco, compreendendo meses de outono e inverno, que apresentam temperaturas médias mais baixas. Um fator importante que controla a solubilidade do O<sub>2</sub> na água é a temperatura, a solubilidade dos gases em água aumenta com a diminuição da temperatura (Fiorucci e Benedetti Filho, 2005). Apesar da variável ter apresentado valores estatisticamente diferentes entre os períodos hidrológicos, ambos estão acima do limite aceitável para manutenção da vida aquática, que é de 5,0 mg.L<sup>-1</sup> de O<sub>2</sub> (Brasil, 2005).

O parâmetro CTERMO (coliformes termotolerantes), demonstrou diferença significativa entre os períodos hidrológicos no Córrego Capão Comprido (154,5 NMP na estação seca e 47,1 NMP na chuvosa). Segundo Branco (1996), vazões mais baixas, em geral, favorecem a incidência de microrganismos patogênicos por se relacionarem diretamente com as precipitações pluviométricas, podendo possivelmente significar uma menor diluição desses organismos e consequente aumento das colônias no período seco.

### **3.3. Análise de variância para os pontos amostrais**

Com o intuito de analisar se houve diferença entre os pontos amostrais para cada corpo d'água, uma análise de variância foi realizada para cada parâmetro em relação aos diferentes pontos de coleta, observando a correspondência dos locais de coleta com os parâmetros de qualidade da água por período hidrológico. Para identificar os grupos (C1, C2 e C3 para Capão Comprido; J1, J2 e J3 para Jardim e S1, S2 e S3 para Sarandi) que se diferem, foram utilizados os testes *One-Way* ANOVA e *Post hoc* para os parâmetros com distribuição normal e o teste *Kruskal–Wallis*, corrigidos pelo índice de *Bonferroni* para as variáveis com distribuição não paramétrica.

Nas Tabelas 4, 7 e 10 estão apresentadas a estatística descritiva e análise de variância entre os pontos amostrais, para as variáveis que não apresentaram diferença estatística significativa entre os períodos hidrológicos, para o período seco, no Córrego Capão Comprido, Rio Jardim e Córrego Sarandi, respectivamente. Já as Tabelas 5, 8 e 11 são apresentados os mesmos dados para o período chuvoso. Para as variáveis que apresentaram distribuição normal

a estatística descritiva é representada com as médias e o desvio padrão. Para as demais variáveis (com distribuição não paramétrica) a representação é feita por medianas, valores máximos e mínimos para cada ponto.

As variáveis, para período seco e chuvoso, que apresentam diferenças estatisticamente significativas entre os períodos hidrológicos são apresentadas nas Tabelas 6 (Capão Comprido), 9 (Jardim) e 12 (Sarandi).

**Tabela 4.** Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas para período seco no Córrego Capão Comprido.

Variáveis	C1	C2	C3	p
<i>Variáveis Paramétricas (One Way ANOVA)</i>				
	Média±DP	Média±DP	Média±DP	
pH	6,40±0,41 <sup>a</sup>	6,43±0,17 <sup>a</sup>	6,04±0,22 <sup>a</sup>	0,836
OD	8,40±0,82 <sup>a</sup>	7,60±0,66 <sup>b</sup>	7,77±0,62 <sup>bc</sup>	<b>0,001</b>
DUR	2,50±0,55 <sup>a</sup>	3,50±1,87 <sup>a</sup>	2,83±0,41 <sup>a</sup>	0,731
RAS	0,616±0,369 <sup>a</sup>	0,606±0,360 <sup>a</sup>	0,439±0,105 <sup>a</sup>	0,388
Na <sup>+</sup>	0,601±0,262 <sup>a</sup>	0,542±0,160 <sup>a</sup>	0,562±0,142 <sup>a</sup>	0,057
Ca <sup>2+</sup>	0,971±0,269 <sup>a</sup>	1,037±0,511 <sup>a</sup>	1,513±0,109 <sup>a</sup>	0,598
Mg <sup>2+</sup>	0,221±0,037 <sup>a</sup>	0,274±0,043 <sup>a</sup>	0,232±0,029 <sup>a</sup>	0,919
Cl <sup>-</sup>	0,302±0,172 <sup>a</sup>	0,291±0,089 <sup>a</sup>	0,273±0,064 <sup>a</sup>	0,482
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,101±0,089 <sup>a</sup>	0,149±0,081 <sup>b</sup>	0,262±0,135 <sup>bc</sup>	<b>&lt;0,001</b>
CT	765,0±271,1 <sup>a</sup>	1567,0±535,7 <sup>b</sup>	2419,6±0,0 <sup>bc</sup>	<b>0,011</b>
<i>Variáveis Não-Paramétricas (Kruskal Wallis)</i>				
	Mediana (Max-Min)	Mediana (Max-Min)	Mediana (Max-Min)	
COND	3,50(22,35-19,31) <sup>a</sup>	5,00(7,00-4,00) <sup>b</sup>	5,00(7,00-4,00) <sup>bc</sup>	<b>0,005</b>
TDS	2,00(2,00-1,00) <sup>a</sup>	3,00(3,00-2,00) <sup>b</sup>	2,50(3,00-2,00) <sup>bc</sup>	<b>0,024</b>
K <sup>+</sup>	0,001(0,715-0,001) <sup>a</sup>	0,218(1,102-0,001) <sup>a</sup>	0,126(0,341-0,001) <sup>a</sup>	0,283

DP = Desvio Padrão / Max = Máximo / Min = Mínimo / \*médias e medianas com letras diferentes sobrescritas apresentaram diferença significativa após o ajuste *Post hoc* (Bonferroni p <0,05).

**Tabela 5.** Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas para período chuvoso no Córrego Capão Comprido.

Variáveis	C1	C2	C3	p
<i>Variáveis Paramétricas (One Way ANOVA)</i>				
	Média±DP	Média±DP	Média±DP	
pH	6,18±0,54 <sup>a</sup>	5,65±0,24 <sup>a</sup>	5,58±0,44 <sup>a</sup>	0,051
OD	5,58±0,50 <sup>a</sup>	7,35±1,03 <sup>b</sup>	7,31±0,97 <sup>bc</sup>	<b>0,004</b>
DUR	2,33±0,92 <sup>a</sup>	2,92±1,12 <sup>a</sup>	2,47±1,11 <sup>a</sup>	0,608
RAS	0,630±0,184 <sup>a</sup>	0,785±0,352 <sup>a</sup>	0,833±0,222 <sup>a</sup>	0,398
Na <sup>+</sup>	0,540±0,089 <sup>a</sup>	0,726±0,162 <sup>a</sup>	0,729±0,177 <sup>a</sup>	0,068
Ca <sup>2+</sup>	0,749±0,236 <sup>a</sup>	0,988±0,355 <sup>a</sup>	0,814±0,366 <sup>a</sup>	0,440
Mg <sup>2+</sup>	0,112±0,091 <sup>a</sup>	0,111±0,123 <sup>a</sup>	0,107±0,091 <sup>a</sup>	0,996
Cl <sup>-</sup>	0,264±0,215 <sup>a</sup>	0,296±0,105 <sup>a</sup>	0,392±0,272 <sup>a</sup>	0,558
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,043±0,051 <sup>a</sup>	0,201±0,102 <sup>b</sup>	0,249±0,036 <sup>bc</sup>	<b>&lt;0,001</b>
CT	1029,6±248,2 <sup>a</sup>	1491,8±772,9 <sup>a</sup>	1536,65±746,0 <sup>a</sup>	0,338
<i>Variáveis Não-Paramétricas (Kruskal Wallis)</i>				
	Mediana (Max-Min)	Mediana (Max-Min)	Mediana (Max-Min)	
COND	4,50(6,00-3,00) <sup>a</sup>	2,50(6,00-5,00) <sup>a</sup>	2,50(6,00-5,00) <sup>a</sup>	0,298
TDS	2,50(3,00-1,00) <sup>a</sup>	3,00(3,00-2,00) <sup>a</sup>	2,50(3,00-2,00) <sup>a</sup>	0,734
K <sup>+</sup>	0,001(0,199-0,001) <sup>a</sup>	0,001(0,245-0,001) <sup>a</sup>	0,001(0,298-0,001) <sup>a</sup>	0,967

DP = Desvio Padrão / Max = Máximo / Min = Mínimo / \* médias e medianas com letras diferentes sobrescritas apresentaram diferença significativa após o ajuste *Post hoc* (Bonferroni p <0,05).

**Tabela 6.** Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas, para período seco e chuvoso, que apresentam diferenças estatisticamente significativas entre os períodos hidrológicos no Córrego Capão Comprido.

Variáveis	C1	C2	C3	p
<i>Variáveis Paramétricas (One Way ANOVA)</i>				
	Média±DP	Média±DP	Média±DP	
TEMP SECA	20,91±1,17 <sup>a</sup>	20,00±0,97 <sup>a</sup>	20,02±0,97 <sup>a</sup>	0,249
TEMP CHUVA	24,17±1,72 <sup>a</sup>	21,72±0,40 <sup>b</sup>	21,94±0,76 <sup>bc</sup>	<b>0,003</b>
TURB SECA	1,19±0,83 <sup>a</sup>	2,54±1,79 <sup>ab</sup>	4,52±3,10 <sup>bc</sup>	<b>0,048</b>
TURB CHUVA	2,96±0,48 <sup>a</sup>	8,57±4,74 <sup>a</sup>	8,48±4,78 <sup>a</sup>	<b>0,038</b>
<i>Variáveis Não-Paramétricas (Kruskal Wallis)</i>				
	Mediana (Max-Min)	Mediana (Max-Min)	Mediana (Max-Min)	
CTERMO SECA	38,4(387,3-8,5) <sup>a</sup>	172,0(410,6-38,4) <sup>a</sup>	183,6(228,2-48,0) <sup>a</sup>	0,414
CTERMO CHUVA	17,0(22,6-3,1) <sup>a</sup>	52,9(648,8-27,5) <sup>a</sup>	65,7(613,1-47,1) <sup>a</sup>	<b>0,003</b>

DP = Desvio Padrão / Max = Máximo / Min = Mínimo / \* médias e medianas com letras diferentes sobrescritas apresentaram diferença significativa após o ajuste *Post hoc* (Bonferroni p <0,05).

De acordo com os resultados mostrados nas Tabelas 4, as variáveis OD,  $\text{NO}_3^-$ , CT, COND e TDS apresentaram diferenças significativas entre os pontos amostrais no período seco para o Córrego Capão Comprido. Todos os parâmetros mencionados demonstraram uma diferença (após o ajuste de  $p$  pelo índice de *Bonferroni*) para C1-C2 e C1-C3. A média de OD no ponto C1 foi de  $8,40 \text{ mg.L}^{-1}$  enquanto que para C2 e C3 os valores foram próximos,  $7,60$  e  $7,77 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente. Tal fato pode ser observado para os demais parâmetros que apresentaram diferença entre os pontos amostrais na análise de variância.

No período chuvoso somente as variáveis OD e  $\text{NO}_3^-$  apresentaram diferenças significativas entre os pontos de coleta, demonstrando, assim como no período seco, diferença para os pontos C1-C2 e C1-C3 (Tabela 5).

Entre as variáveis que apresentaram diferença significativa entre os períodos hidrológicos e entre os pontos de amostragem estão TURB para o período seco e TEMP, TURB e CTERMO para o período chuvoso. O parâmetro TEMP CHUVA novamente apresentou diferença para os pontos C1-C2 e C1-C3, e para a variável TURB SECA houve diferença somente entre C1-C3 (Tabela 6).

O ponto C1, por se tratar de um escoamento de um olho d'água no solo, encontra-se em local preservado e com bom estado de conservação, contribuindo para o maior valor de OD no período seco e menores valores de  $\text{NO}_3^-$ , CT e CTERMO para os dois períodos. C2 e C3 não apresentaram diferença significativa entre eles, para todos os parâmetros, nos dois períodos, possivelmente devido a proximidade entre os dois pontos de coleta como observado na Figura 2.

Nos estudos de monitoramento da qualidade da água, a escolha dos pontos de coleta deve ser apropriada para cada corpo d'água e para as características de uso e ocupação da bacia hidrográfica (Oliveira et al.,2000). Ocasionalmente, os locais de amostragem são escolhidos erroneamente levando-se em conta principalmente à conveniência, e não a adaptação a uma amostragem representativa. Alguns locais são selecionados devido a sua acessibilidade, porém nem sempre são os locais mais apropriados. Quando o local de amostragem for de difícil acesso como é o caso em questão admite-se a escolha (CETESB e ANA, 2011).

**Tabela 7.** Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas para período seco no Rio Jardim.

Variáveis	J1	J2	J3	p
<i>Variáveis Paramétricas (One Way ANOVA)</i>				
	Média±DP	Média±DP	Média±DP	
COND	6,40±4,671 <sup>a</sup>	6,00±0,89 <sup>a</sup>	5,83±0,75 <sup>a</sup>	0,894
OD	6,89±1,99 <sup>a</sup>	7,08±1,55 <sup>a</sup>	6,94±1,63 <sup>a</sup>	0,971
DUR	0,10±0,17 <sup>a</sup>	6,05±1,56 <sup>b</sup>	3,86±0,63 <sup>c</sup>	<0,001
TURB	2,16±1,22 <sup>a</sup>	8,68±6,99 <sup>a</sup>	10,67±5,73 <sup>a</sup>	0,084
Na <sup>+</sup>	0,520±0,512 <sup>a</sup>	0,540±0,059 <sup>a</sup>	0,465±0,110 <sup>a</sup>	0,943
K <sup>+</sup>	0,121±0,185 <sup>a</sup>	0,286±0,216 <sup>a</sup>	0,298±0,202 <sup>a</sup>	0,378
Mg <sup>2+</sup>	0,012±0,015 <sup>a</sup>	0,292±0,088 <sup>b</sup>	0,252±0,024 <sup>bc</sup>	<0,001
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,044±0,096 <sup>a</sup>	0,200±0,116 <sup>a</sup>	0,164±0,082 <sup>a</sup>	0,069
<i>Variáveis Não-Paramétricas (Kruskal Wallis)</i>				
	Mediana (Max-Min)	Mediana (Max-Min)	Mediana (Max-Min)	
TDS	2,00(6,00-1,00) <sup>a</sup>	3,00(4,00-2,00) <sup>a</sup>	3,00(4,00-2,00) <sup>a</sup>	0,810
Cl <sup>-</sup>	0,438(0,565-0,120) <sup>a</sup>	0,247(0,582-0,208) <sup>a</sup>	0,263(0,491-0,16) <sup>a</sup>	0,491
CT	1986,3(2419,6-298,7) <sup>a</sup>	2419,6(2419,6-1413,6) <sup>a</sup>	1732,9(2419,6-1046,2) <sup>a</sup>	0,301
CTERMO	78,0(727,0-14,6) <sup>a</sup>	387,3(2419,6-224,7) <sup>a</sup>	238,5(1732,9-172,2) <sup>a</sup>	<b>0,035</b>

DP = Desvio Padrão / Max = Máximo / Min = Mínimo / \* médias e medianas com letras diferentes sobrescritas apresentaram diferença significativa após o ajuste *Post hoc* (Bonferroni p <0,05).

**Tabela 8.** Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas para período chuvoso no Rio Jardim.

Variáveis	J1	J2	J3	p
<i>Variáveis Paramétricas (One Way ANOVA)</i>				
	Média±DP	Média±DP	Média±DP	
COND	2,40±0,89 <sup>a</sup>	5,33±1,21 <sup>b</sup>	5,67±0,52 <sup>bc</sup>	<0,001
OD	5,85±1,71 <sup>a</sup>	7,31±0,46 <sup>a</sup>	7,32±0,52 <sup>a</sup>	0,073
DUR	0,01±0,00 <sup>a</sup>	2,50±1,73 <sup>b</sup>	3,12±1,21 <sup>bc</sup>	<b>0,003</b>
TURB	2,13±1,13 <sup>a</sup>	21,11±18,61 <sup>a</sup>	19,21±13,87 <sup>a</sup>	0,082
Na <sup>+</sup>	0,295±0,056 <sup>a</sup>	0,644±0,172 <sup>b</sup>	0,729±0,124 <sup>bc</sup>	<0,001
K <sup>+</sup>	0,001±0,000 <sup>a</sup>	0,265±0,177 <sup>b</sup>	0,280±0,160 <sup>bc</sup>	<b>0,017</b>
Mg <sup>2+</sup>	0,001±0,000 <sup>a</sup>	0,163±0,136 <sup>ab</sup>	0,210±0,120 <sup>bc</sup>	<b>0,018</b>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,067±0,091 <sup>a</sup>	0,161±0,088 <sup>ab</sup>	0,203±0,053 <sup>bc</sup>	<b>0,036</b>
<i>Variáveis Não-Paramétricas (Kruskal Wallis)</i>				
	Mediana (Max-Min)	Mediana (Max-Min)	Mediana (Max-Min)	
TDS	1,00(2,00-1,00) <sup>a</sup>	3,00(3,00-2,00) <sup>b</sup>	3,00(3,00-2,00) <sup>bc</sup>	<b>0,006</b>
Cl <sup>-</sup>	0,145(0,267-0,123) <sup>a</sup>	0,396(2,767-0,115) <sup>a</sup>	0,403(2,982-0,389) <sup>a</sup>	<b>0,025</b>
CT	1986,3(2419,6-517,2) <sup>a</sup>	2419,6(2419,6-913,9) <sup>a</sup>	2419,6(2419,6-1203,3) <sup>a</sup>	0,533
CTERMO	178,5(920,8-57,3) <sup>a</sup>	326,2(1046,2-122,3) <sup>a</sup>	479,1(1413,6-275,5) <sup>a</sup>	0,174

DP = Desvio Padrão / Max = Máximo / Min = Mínimo / \* médias e medianas com letras diferentes sobrescritas apresentaram diferença significativa após o ajuste *Post hoc* (Bonferroni p <0,05).



**Tabela 9.** Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas, para período seco e chuvoso, que apresentam diferenças estatisticamente significativas entre os períodos hidrológicos no Rio Jardim.

Variáveis	J1 (Nascente)	J2 (Montante)	J3 (Jusante)	P
<i>Variáveis Paramétricas (One Way ANOVA)</i>				
	<b>Média±DP</b>	<b>Média±DP</b>	<b>Média±DP</b>	
TEMP SECA	18,15±1,58 <sup>ac</sup>	20,59±1,23 <sup>b</sup>	20,44±1,28 <sup>bc</sup>	<b>0,026</b>
TEMP CHUVA	20,28±0,90 <sup>a</sup>	22,92±0,79 <sup>b</sup>	22,96±0,59 <sup>bc</sup>	<b>&lt;0,001</b>
pH SECA	6,94±0,90 <sup>a</sup>	6,35±0,15 <sup>a</sup>	6,53±0,43 <sup>a</sup>	0,251
pH CHUVA	6,02±0,57 <sup>a</sup>	5,81±0,48 <sup>a</sup>	5,93±0,51 <sup>a</sup>	0,784
Ca <sup>2+</sup> SECA	0,022±0,047 <sup>a</sup>	1,941±0,560 <sup>b</sup>	1,130±0,224 <sup>c</sup>	<b>&lt;0,001</b>
Ca <sup>2+</sup> CHUVA	0,001±0,001 <sup>a</sup>	0,734±0,478 <sup>b</sup>	0,904±0,301 <sup>bc</sup>	<b>0,001</b>
<i>Variáveis Não-Paramétricas (Kruskal Wallis)</i>				
	<b>Mediana (Max-Min)</b>	<b>Mediana (Max-Min)</b>	<b>Mediana (Max-Min)</b>	
RAS SECA	5,19(8,20-3,60) <sup>a</sup>	0,38(0,40-0,30) <sup>b</sup>	0,40(0,60-0,30) <sup>bc</sup>	<b>0,004</b>
RAS CHUVA	6,82(9,35-6,43) <sup>a</sup>	0,84(8,13-0,53) <sup>b</sup>	0,702(1,03-0,50) <sup>bc</sup>	<b>0,015</b>

DP = Desvio Padrão / Max = Máximo / Min = Mínimo / \* médias e medianas com letras diferentes sobrescritas apresentaram diferença significativa após o ajuste *Post hoc* (Bonferroni p <0,05).

Para o Rio Jardim no período seco, as variáveis DUR, Mg<sup>2+</sup> e CTERMO apresentaram diferenças entre os pontos. A variável dureza total (DUR) demonstrou diferença entre todos os pontos, ou seja, para J1-J2, J1-J3 e J2-J3 (Tabela 7). A média da dureza para o ponto J1 foi extremamente menor (0,10 mg.L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>) em relação aos demais pontos (6,05 mg.L<sup>-1</sup> para J2 e 3,86 para J3). Um comportamento similar foi observado para variável Mg<sup>2+</sup> (0,012 mg.L<sup>-1</sup> J1, 0,292 mg.L<sup>-1</sup> J2 e 0,252 mg.L<sup>-1</sup> para J3) porém não houve diferença significativa entre os pontos J2 e J3. O comportamento análogo entre essas duas variáveis é aceitável, pois a dureza total é predominantemente causada pela presença de sais de cálcio e magnésio.

Para o período chuvoso as variáveis COND, TDS, DUR, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> apresentaram diferenças significativas entre os pontos de coleta, sendo que COND, TDS, DUR, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>, demonstraram diferença para os pontos J1-J2 e J1-J3. Para Mg<sup>2+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a diferença foi encontrada somente entre J1-J3 (Tabela 8).

As variáveis que apresentaram diferença significativa entre os períodos hidrológicos e entre os pontos de amostragem no rio Jardim foram: TEMP (seca e chuva), Ca<sup>2+</sup> (seca e chuva) e RAS (seca e chuva). Foi constatada diferença entre os pontos J1-J2 para o parâmetro TEMP

SECA e para TEMP CHUVA, Ca<sup>2+</sup> CHUVA e RAS SECA/CHUVA a diferença foi entre J1-J2 e J1-J3. O parâmetro Ca<sup>2+</sup> SECA assim como DUR SECA demonstrou diferença entre todos os pontos, ou seja, para J1-J2, J1-J3 e J2-J3 (Tabela 9).

Assim como no Córrego Capão Comprido, o ponto J1 no Rio Jardim trata-se de uma área de nascente. Estudos anteriores evidenciaram uma significativa diferença entre a nascente e as demais análises realizadas no Rio. Essa nascente caracteriza-se pelos baixos teores de cálcio e magnésio, que influenciam diretamente na dureza total (DUR) e na razão de adsorção de sódio (RAS) da água, refletindo mais uma vez as características do solo do Cerrado, que em sua composição apresenta baixos teores desses minerais (Muniz et al., 2011; Miranda e Miranda, 2003). No período chuvoso houve diferenças entre os pontos para um maior número de variáveis. Esse fato pode estar relacionado à variabilidade da precipitação entre os meses de novembro de 2012 e abril de 2013. Nos meses de novembro e janeiro os valores médios acumulados de chuva foram mais que o dobro para o restante dos meses (Figura 7).

**Tabela 10.** Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas para período seco no Córrego Sarandi.

Variáveis	S1	S2	S3	p
<i>Variáveis Paramétricas (One Way ANOVA)</i>				
	Média±DP	Média±DP	Média±DP	
COND	5,17±1,17 <sup>a</sup>	6,50±0,55 <sup>a</sup>	6,33±1,21 <sup>a</sup>	0,078
DUR	3,34±0,77 <sup>a</sup>	3,72±1,26 <sup>ab</sup>	4,73±0,29 <sup>bc</sup>	<b>0,037</b>
TURB	4,53±6,63 <sup>a</sup>	4,36±3,58 <sup>a</sup>	9,53±4,46 <sup>a</sup>	0,166
RAS	0,62±0,37 <sup>a</sup>	0,61±0,36 <sup>a</sup>	0,44±0,10 <sup>a</sup>	0,539
Na <sup>+</sup>	0,601±0,262 <sup>a</sup>	0,542±0,160 <sup>a</sup>	0,562±0,142 <sup>a</sup>	0,869
Ca <sup>2+</sup>	0,971±0,269 <sup>a</sup>	1,037±0,511 <sup>ab</sup>	1,513±0,109 <sup>bc</sup>	<b>0,029</b>
Mg <sup>2+</sup>	0,221±0,037 <sup>a</sup>	0,274±0,043 <sup>a</sup>	0,232±0,029 <sup>a</sup>	0,060
Cl <sup>-</sup>	0,302±0,172 <sup>a</sup>	0,291±0,089 <sup>a</sup>	0,273±0,064 <sup>a</sup>	0,911
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,149±0,089 <sup>a</sup>	0,101±0,081 <sup>a</sup>	0,262±0,135 <sup>a</sup>	<b>0,047</b>
<i>Variáveis Não-Paramétricas (Kruskal Wallis)</i>				
	Mediana (Max-Min)	Mediana (Max-Min)	Mediana (Max-Min)	
TDS	2,50(3,00-2,00) <sup>a</sup>	3,00(3,00-3,00) <sup>a</sup>	3,00(4,00-2,00) <sup>a</sup>	0,119
K <sup>+</sup>	0,122(0,308-0,001) <sup>a</sup>	0,144(1,377-0,001) <sup>a</sup>	0,079(0,306-0,001) <sup>a</sup>	0,933
CTERMO	113,1(204,6-68,9) <sup>a</sup>	81,9(131,4-21,6) <sup>a</sup>	291,6(1732,9-95,9) <sup>a</sup>	<b>0,009</b>

DP = Desvio Padrão / Max = Máximo / Min = Mínimo / \* médias e medianas com letras diferentes sobrescritas apresentaram diferença significativa após o ajuste *Post hoc* (Bonferroni p <0,05).

**Tabela 11.** Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas para período chuvoso no Córrego Sarandi.

Variáveis	S1	S2	S3	p
<i>Variáveis Paramétricas (One Way ANOVA)</i>				
	Média±DP	Média±DP	Média±DP	
COND	5,09±1,96 <sup>a</sup>	5,78±1,17 <sup>a</sup>	7,13±2,05 <sup>a</sup>	0,157
DUR	4,28±1,67 <sup>a</sup>	4,58±1,35 <sup>a</sup>	5,04±0,66 <sup>a</sup>	0,608
TURB	3,71±2,29 <sup>a</sup>	6,59±5,10 <sup>ab</sup>	15,35±8,43 <sup>c</sup>	<b>0,009</b>
RAS	0,43±0,11 <sup>a</sup>	0,44±0,13 <sup>a</sup>	0,46±0,18 <sup>a</sup>	0,908
Na <sup>+</sup>	0,494±0,122 <sup>a</sup>	0,530±0,102 <sup>a</sup>	0,612±0,250 <sup>a</sup>	0,491
Ca <sup>2+</sup>	1,323±0,592 <sup>a</sup>	1,423±0,539 <sup>a</sup>	1,629±0,230 <sup>a</sup>	0,547
Mg <sup>2+</sup>	0,238±0,053 <sup>a</sup>	0,250±0,036 <sup>a</sup>	0,236±0,038 <sup>a</sup>	0,828
Cl <sup>-</sup>	0,344±0,079 <sup>a</sup>	0,440±0,235 <sup>a</sup>	0,441±0,308 <sup>a</sup>	0,705
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,120±0,043 <sup>a</sup>	0,034±0,036 <sup>ab</sup>	0,420±0,112 <sup>c</sup>	<b>&lt;0,001</b>
<i>Variáveis Não-Paramétricas (Kruskal Wallis)</i>				
	Mediana (Max-Min)	Mediana (Max-Min)	Mediana (Max-Min)	
TDS	2,00(4,00-1,60) <sup>a</sup>	2,50(3,10-1,90) <sup>a</sup>	3,00(6,00-2,60) <sup>a</sup>	0,110
K <sup>+</sup>	0,001(0,259-0,001) <sup>a</sup>	0,001(0,383-0,001) <sup>a</sup>	0,158(0,358-0,001) <sup>a</sup>	0,527
CTERMO	265,4(870,4-66,3) <sup>a</sup>	123,1(770,1-48,9) <sup>a</sup>	349,7(2419,6-157,6) <sup>a</sup>	0,181

DP = Desvio Padrão / Max = Máximo / Min = Mínimo / \* médias e medianas com letras diferentes sobrescritas apresentaram diferença significativa após o ajuste *Post hoc* (Bonferroni p <0,05).

**Tabela 12.** Estatística descritiva e análise de variância dos pontos amostrais para variáveis paramétricas e não paramétricas, para período seco e chuvoso, que apresentam diferenças estatisticamente significativas entre os períodos hidrológicos no Córrego Sarandi.

Variáveis	S1	S2	S3	p
<i>Variáveis Paramétricas (One Way ANOVA)</i>				
	Média±DP	Média±DP	Média±DP	
TEMP SECA	19,38±1,43 <sup>a</sup>	20,58±1,32 <sup>a</sup>	20,31±1,21 <sup>a</sup>	0,289
TEMP CHUVA	21,21±1,01 <sup>a</sup>	24,36±1,34 <sup>b</sup>	22,38±1,06 <sup>ac</sup>	<b>&lt;0,001</b>
pH SECA	6,40±0,41 <sup>a</sup>	6,43±0,17 <sup>a</sup>	6,04±0,22 <sup>a</sup>	0,061
pH CHUVA	6,23±0,14 <sup>a</sup>	6,23±0,27 <sup>ab</sup>	5,74±0,17 <sup>c</sup>	<b>&lt;0,001</b>
OD SECA	8,40±0,82 <sup>a</sup>	7,60±0,66 <sup>a</sup>	7,77±0,62 <sup>a</sup>	0,152
OD CHUVA	6,75±1,18 <sup>a</sup>	6,20±0,71 <sup>a</sup>	5,99±0,80 <sup>a</sup>	0,360
<i>Variáveis Não-Paramétricas (Kruskal Wallis)</i>				
	Mediana (Max-Min)	Mediana (Max-Min)	Mediana (Max-Min)	
CT SECA	818,3(1119,9-365,4) <sup>a</sup>	1378,2(2419,6-1119,9) <sup>b</sup>	2419,6(2419,6-2419,6) <sup>c</sup>	<b>&lt;0,001</b>
CT CHUVA	2076,3(2419,6-517,2) <sup>a</sup>	2203,0(2419,6-1732,9) <sup>a</sup>	2419,6(2419,6-2419,6) <sup>a</sup>	0,118

DP = Desvio Padrão / Max = Máximo / Min = Mínimo / \* médias e medianas com letras diferentes sobrescritas apresentaram diferença significativa após o ajuste *Post hoc* (Bonferroni p <0,05).

Conforme mostrado na Tabela 10, os parâmetros que apresentaram diferenças significativas entre os pontos amostrais no período seco para o Córrego Sarandi, após o teste estatístico, foram DUR,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  e CTERMO. As duas primeiras variáveis (DUR e  $\text{Ca}^{2+}$ ) mostraram diferença para S1-S3. Para DUR a média em S1 foi de  $3,34 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  enquanto que para S3 foi de  $4,73 \text{ mg.L}^{-1}$ . Para  $\text{Ca}^{2+}$  a média na nascente (S1) foi de  $0,971 \text{ mg.L}^{-1}$  e para área agrícola (S3) o valor médio foi de  $1,513 \text{ mg.L}^{-1}$ . Em ambos os casos a diferença entre as médias dos pontos foi de aproximadamente 1,5 vezes.

Para o período chuvoso apenas os parâmetros TURB e  $\text{NO}_3^-$  apresentaram diferença, ambos para S1-S2 e S1-S3 (Tabela 11). A média de turbidez no ponto S3 foi de 15,35 UNT enquanto que para S1 essa média foi de 3,71 UNT e para S2 6,59 UNT. O nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) apresentou um comportamento diferente com um valor médio para S2 ( $0,034 \text{ mg.L}^{-1}$ ) inferior a S1 ( $0,120 \text{ mg.L}^{-1}$ ). No ponto abaixo da área experimental da Embrapa Cerrados (S3) o valor médio encontrado foi de  $0,420 \text{ mg.L}^{-1}$ . Sonoda (2010), em estudo sobre comunidades aquáticas no Córrego Sarandi, avaliou dois trechos do corpo hídrico (nascente e abaixo da área experimental) e também constatou um aumento considerável no valor de nitrato de um trecho para o outro ( $0,00 \text{ mg.L}^{-1}$  na nascente e  $0,24 \text{ mg.L}^{-1}$  na área experimental).

As variáveis TEMP CHUVA, pH CHUVA e CT SECA foram as que acusaram diferença significativa entre os períodos hidrológicos e entre os pontos de amostragem. Houve diferença entre os três pontos para a variável Coliformes Totais no período seco (CT SECA), sendo que no ponto S3 os valores encontrados foram acima do limite de detecção do método em todos os meses de análise conforme mediana e valores máximo e mínimo (Tabela 12).

### **3.4. Análise das Componentes Principais (PCA)**

A PCA foi aplicada primeiramente a cada matriz de dados completa, com análise de todos os pontos em todos os meses para cada corpo hídrico, incluindo as variáveis TEMP (temperatura), OD (oxigênio dissolvido), COND (condutividade), TDS (total de sais dissolvidos), DUR (dureza total), TURB (turbidez), RAS (razão de adsorção de sódio), CT

(coliformes totais), CTERMO (coliformes termotolerantes), Na<sup>+</sup> (sódio), K<sup>+</sup> (potássio), Ca<sup>2+</sup> (cálcio), Mg<sup>2+</sup> (magnésio), Cl<sup>-</sup> (cloreto) e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (nitrato), com o intuito de avaliar a correlação dos parâmetros analisados.

Conforme mostra a Tabela 13 a porcentagem de explicação da PCA para o Córrego Capão Comprido foi de 84,19% da variância acumulada nas três primeiras componentes. Para o rio Jardim a porcentagem foi de 83,26% e no Córrego Sarandi de 74,40%.

**Tabela 13.** Autovalores, porcentagem da variância explicada e porcentagem de variância cumulativa para as quatro componentes principais para os três corpos hídricos.

Componentes Principais	Capão Comprido			Jardim			Sarandi		
	AV	%VE	%VC	AV	%VE	%VC	AV	%VE	%VC
CP1	3,8798	48,49	48,49	4,9495	54,99	54,99	3,9814	36,19	36,19
CP2	1,9511	24,39	72,88	1,7033	18,92	73,92	3,0577	27,79	63,99
CP3	0,9048	11,31	<b>84,19</b>	0,8410	9,34	<b>83,26</b>	1,1453	10,41	<b>74,40</b>

AV = Autovalores / %VE = Porcentagem de variância explicada / %VC = Porcentagem de variância cumulativa.

De acordo com Meireles et al. (2010), Helena et al. (2000) e Simeonov et al. (2003), em estudos que utilizam a PCA na avaliação da qualidade da água, as duas ou três primeiras componentes principais geradas explicam boa parte da variação dos dados originais (60 a 90%), na maioria dos casos essas componentes são suficientes para descrever as matrizes de dados inteira sem perda significativa de informação. Os três corpos d'água mostraram porcentagens acumuladas acima de 70% nas três primeiras CPs.

Pela PCA foi possível determinar as variáveis como ativas e suplementares. Primeiramente foi rodada a PCA com todas as variáveis e após a interpretação das cargas das variáveis estabeleceu-se determinar como suplementares as variáveis com cargas inferiores a 0,6. O valor da matriz de fatores é representado pela carga de cada variável sobre a componente principal (CP) correspondente, ou seja, cargas acima de  $\pm 0,60$  indicam que as variáveis contribuem apropriadamente para a variação dos dados, podendo esta contribuição ser positiva ou negativa (Hair, 2005).

As Tabelas 14, 15 e 16 apresentam as cargas das três primeiras componentes principais, os percentuais de variação para cada componente e a percentagem total explicada para o Córrego Capão Comprido, Rio Jardim e Córrego Sarandi, respectivamente.

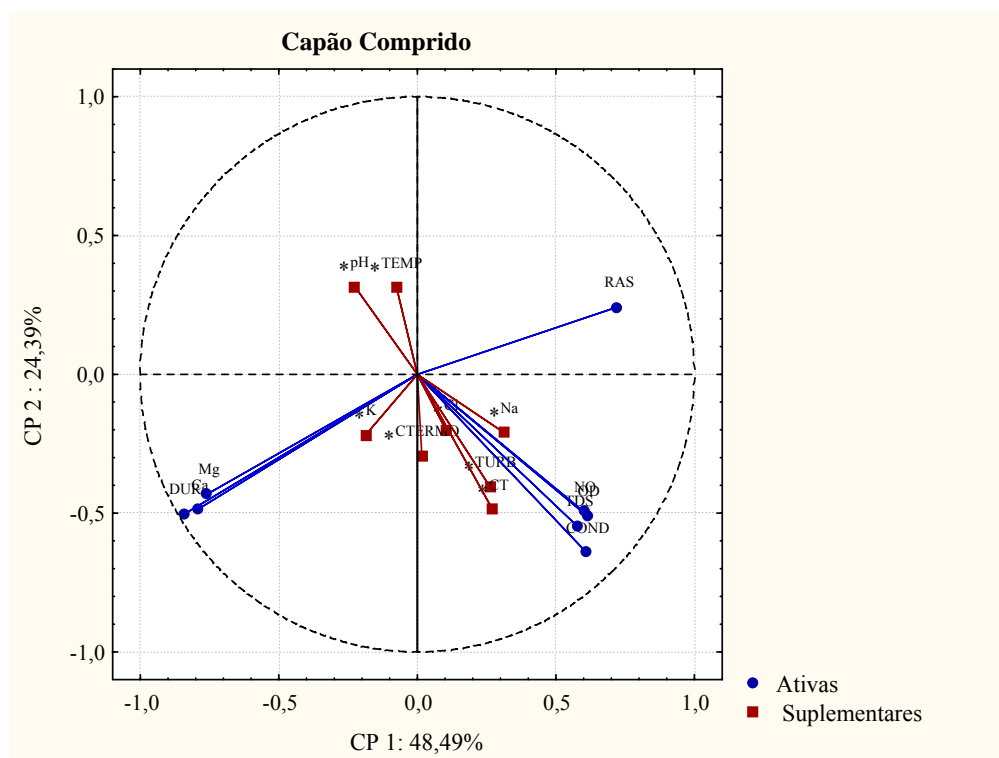
**Tabela 14.** Cargas das componentes principais, porcentagens de variação e percentagem total explicada para o Córrego Capão Comprido.

Variáveis	Capão Comprido		
	CP1	CP2	CP3
COND	<b>0,610926</b>	<b>-0,641821</b>	0,315074
TDS	0,575231	-0,545278	0,502234
OD	<b>0,613508</b>	-0,510654	-0,325296
DUR	<b>-0,843342</b>	-0,504430	-0,138135
RAS	<b>0,722335</b>	0,242682	-0,423630
Ca	<b>-0,793010</b>	-0,487018	-0,147714
Mg	<b>-0,759597</b>	-0,432232	-0,093375
NO <sub>3</sub>	0,599841	-0,493767	-0,467415
*TEMP	-0,074432	0,310693	0,144812
*pH	-0,225662	0,315888	-0,079031
*TURB	0,261672	-0,404704	0,076611
*Na	0,313077	-0,210116	-0,558927
*K	-0,186212	-0,218416	0,052030
*Cl	0,103045	-0,200664	-0,171785
*CT	0,271530	-0,486931	0,188254
*CTERMO	0,016478	-0,292508	-0,036987
<b>% de variação</b>	48,49	24,39	11,31
<b>% total explicada</b>		84,19	

\*variáveis suplementares.

As variáveis ativas com as cargas mais elevadas na primeira componente (CP1) no Córrego Capão Comprido foram: COND, OD, DUR, RAS, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>. Conforme mostrado na Figura 11, a projeção das variáveis para o Córrego Capão Comprido nas duas primeiras componentes ordenou as mais representativas no quadrante 3 com o grupo de variáveis DUR, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> e no quadrante 4 com o grupo COND, TDS, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e OD. As variáveis que estão sobrepostas (DUR, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>) possuem a mesma representatividade no gráfico, demonstrando forte correlação entre si. A razão de adsorção de sódio (RAS) foi ordenada no primeiro quadrante, com forte correlação negativa às variáveis Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>. Pela PCA é possível constatar que as variáveis TEMP, pH, TURB, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, CT e CTERMO tiveram pouca

representatividade na projeção, ou seja, não contribuem para os pesos das duas primeiras componentes principais.



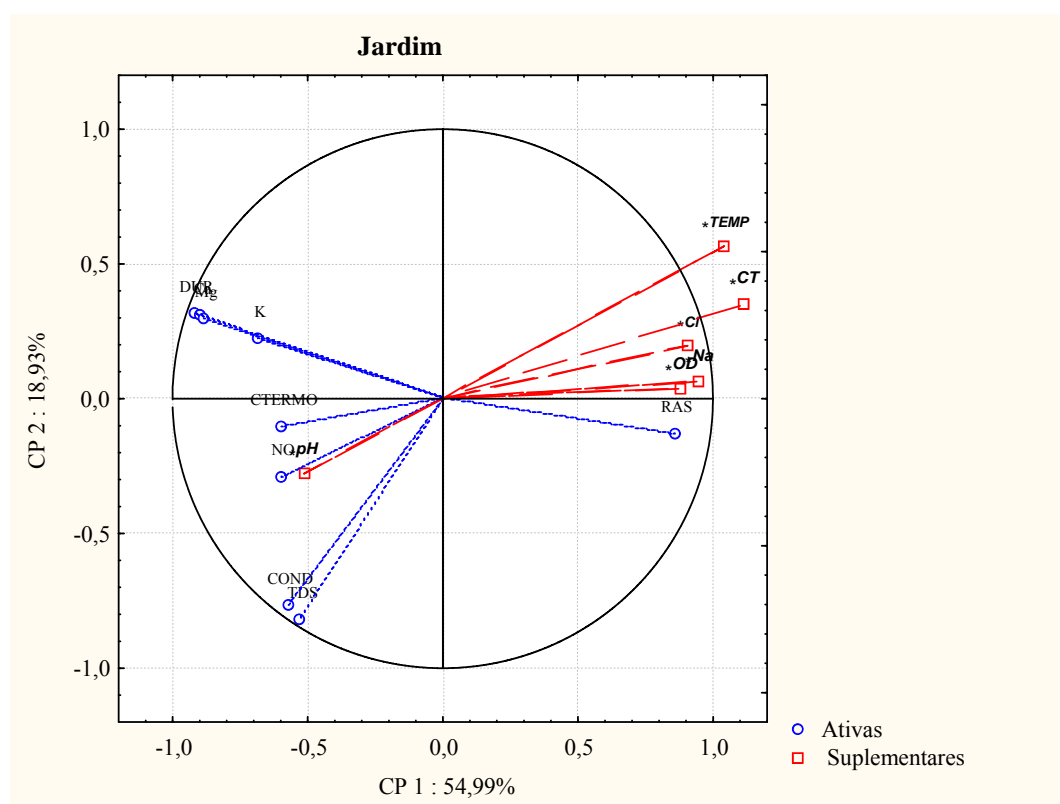
**Figura 11.** Projeção espacial da ordenação das variáveis ativas e suplementares nas componentes 1 e 2 para o Córrego Capão Comprido.

Para o Rio Jardim as variáveis ativas com carga acima de 0,6 na CP 1 foram DUR, RAS,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  e as suplementares foram TEMP, OD, TURB,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  e CT. Na CP 2 foram COND E TDS, ambas ativas (Tabela 15). De acordo com a projeção espacial para o Rio Jardim (Figura 12), as duas primeiras componentes ordenaram as mais representativas no quadrante 2, novamente com o grupo de variáveis DUR,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  e no quadrante 3 com o grupo COND e TDS. Assim como no Córrego Capão Comprido a RAS apresentou correlação negativa às variáveis  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ . A RAS é uma medida que leva em consideração os teores de cálcio e magnésio na água. Quando a água apresenta alta concentração de sódio em relação ao cálcio e magnésio, ocorre o solo sódico, pois o  $Na^+$  desloca o  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  adsorvidos aos colóides do solo (Cordeiro, 2001). As variáveis TEMP e CT foram consideradas suplementares, porém obtiveram alta representatividade, conforme mostrado no quadrante 1. As demais variáveis tiveram pouca representatividade na projeção, especialmente pH e CTERMO.

**Tabela 15.** Cargas das componentes principais, porcentagens de variação e porcentagem total explicada para o Rio Jardim.

Variáveis	Jardim		
	CP1	CP2	CP3
COND	-0,569145	<b>-0,765489</b>	0,057883
TDS	-0,528160	<b>-0,817607</b>	-0,060238
DUR	<b>-0,917398</b>	0,316974	0,044138
RAS	<b>0,858519</b>	-0,127974	-0,297019
K	<b>-0,684175</b>	0,225958	-0,393299
Ca	<b>-0,898565</b>	0,312046	-0,003993
Mg	<b>-0,883709</b>	0,300117	0,198483
NO <sub>3</sub>	-0,597825	-0,288206	0,328303
CTERMO	-0,595073	-0,102619	-0,664814
*TEMP	<b>1,041497</b>	0,566358	0,906563
*pH	-0,514376	-0,278516	-0,252325
*OD	<b>0,881618</b>	0,035523	0,925260
*TURB	<b>1,718756</b>	0,739251	1,239663
*Na	<b>0,948304</b>	0,065421	1,084924
*Cl	<b>0,905936</b>	0,196378	0,608717
*CT	<b>1,115962</b>	0,354308	0,874153
<b>% de variação</b>	54,99	18,92	9,34
<b>% total explicada</b>		83,26	

\*variáveis suplementares.



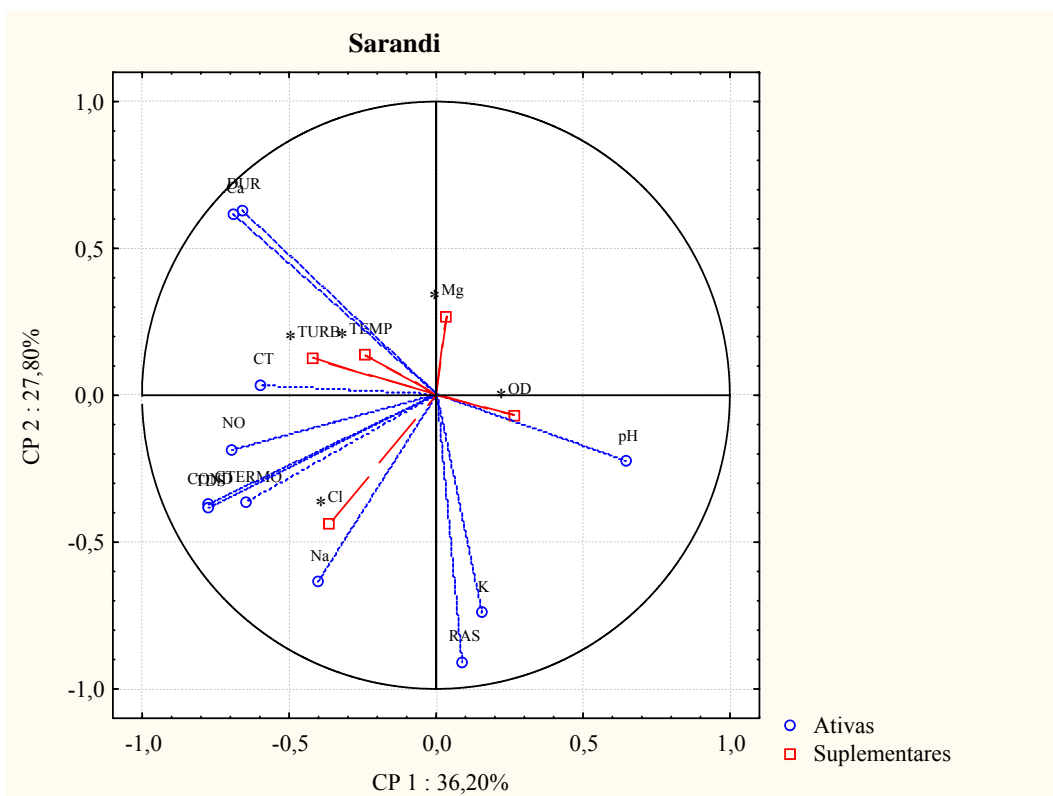
**Figura 12.** Projeção espacial da ordenação das variáveis nas componentes 1 e 2 para o Rio Jardim.



**Tabela 16.** Cargas das componentes principais, porcentagens de variação e porcentagem total explicada para o Córrego Sarandi.

Variáveis	Sarandi		
	CP1	CP2	CP3
pH	<b>0,648522</b>	-0,226046	0,476155
COND	<b>-0,772337</b>	-0,372913	0,077906
TDS	<b>-0,776105</b>	-0,382233	0,143018
DUR	<b>-0,659397</b>	<b>0,630368</b>	0,260454
RAS	0,089864	<b>-0,907173</b>	0,217224
Na	-0,402807	<b>-0,634866</b>	0,501115
K	0,154022	<b>-0,740847</b>	-0,424362
Ca	<b>-0,691195</b>	<b>0,616173</b>	0,267679
NO <sub>3</sub>	<b>-0,694120</b>	-0,183598	-0,096242
CT	-0,597532	0,034918	-0,485912
CTERMO	<b>-0,645435</b>	-0,366903	-0,169919
*TEMP	-0,240803	0,135414	-0,238297
*OD	0,266046	-0,067054	0,275681
*TURB	-0,419477	0,128049	-0,320254
*Mg	0,036592	0,269173	0,021938
*Cl	-0,362309	-0,435040	0,052044
<b>% de variação</b>	36,20	27,80	10,41
<b>% total explicada</b>	70,40		

\*variáveis suplementares



**Figura 13.** Projeção espacial da ordenação das variáveis nas componentes 1 e 2 para o Córrego Sarandi.

No Córrego Sarandi, na CP1 as variáveis ativas que indicaram as cargas mais elevadas foram: pH, COND, TDS, DUR,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  e CTERMO. Para CP2: DUR, RAS,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$ .

De acordo com a Figura 13, no quadrante 3 foram ordenadas as variáveis mais representativas para o Córrego Sarandi com o grupo de variáveis CTERMO,  $\text{NO}_3^-$ , COND, TDS, DUR e  $\text{Ca}^{2+}$  foram agrupados no quadrante 2, sendo que o magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), para esse córrego, não demonstrou grande correlação com o grupo, porém apresentou correlação negativa com a RAS. As variáveis TEMP, OD, TURB,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Cl}^-$  não contribuíram para os pesos da CP1 e CP2, sendo consideradas como variáveis suplementares.

#### 4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, foi evidenciado que parâmetros importantes, indicativos de carga oriunda da agricultura, como  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e PT obtiveram valores abaixo do limite de detecção para todo período analisado nos três corpos hídricos. Dos 22 parâmetros analisados inicialmente, 16 apresentaram valores acima do limite de detecção da análise ou do equipamento nos 12 meses de estudo, sendo que essas variáveis não demonstraram grande variação para períodos hidrológicos (seca e chuva) nos três corpos hídricos.

Na análise de variância pôde-se apreender que houve uma diferença significativa na qualidade da água entre os pontos amostrais. Os pontos considerados como olho d'água no Córrego Capão Comprido (C1) e nascentes do Rio Jardim (J1) e Córrego Sarandi (S1) apresentaram características diferentes aos demais locais de coleta. A nascente do Rio Jardim apresentou baixa dureza e teores de cálcio e magnésio, como já observado em estudos anteriores na área. A qualidade da água nos pontos C2 e C3 no Córrego Capão Comprido, durante todo estudo, apresentou semelhanças entre os parâmetros analisados, constatada pela ausência de variação entre os pontos. Isso ocorreu devido à localização próxima entre os pontos de coleta.

A técnica estatística multivariada, por meio da aplicação da análise das componentes principais (PCA), mostrou que foi possível reduzir o número de variáveis de 16 para 7 variáveis consideradas principais, em comum nos três locais de estudo (condutividade, sólidos dissolvidos totais, dureza total, razão de adsorção de sódio, cálcio, magnésio e nitrato). Os resultados obtidos na PCA poderão subsidiar a escolha de parâmetros de maior interesse, considerados mais representativos no monitoramento da qualidade da água e composição de índices de qualidade da água para, por exemplo, fins de irrigação, na região.

## 5. REFERÊNCIAS

- ABNT, 1992. Água - Determinação da dureza total - Método titulométrico do EDTA-Na  
Método de ensaio. NBR 12621. Rio de Janeiro.
- ADASA, 2005. Plano de gerenciamento integrado de recursos hídricos do Distrito Federal.  
Caderno distrital de recursos hídricos. ADASA, Brasília, 101pp.
- ADASA, 2012. Plano de gerenciamento integrado de recursos hídricos do Distrito Federal:  
relatório síntese. ADASA, Brasília, 98pp.
- ANA, 2013. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2013. ANA, Brasília, 434pp.
- APHA, 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22 ed.  
Washington, DC.
- Angelocci, L.R., Vila-Nova, N.A., 1995. Variações da temperatura da água de um pequeno lago  
artificial ao longo de um ano em Piracicaba, SP. *Sci. Agric.*, 52, 431-438.
- Aquino, F.G., Aguiar, L.M. S., Camargo, A.J.A., Duboc, E., Oliveira-Filho, E.C., Parron, L.M.,  
2008. Sustentabilidade no Bioma Cerrado: visão geral e desafios. In: Parron, L. M., Aguiar,  
L. M. S., Duboc, E., Oliveira-Filho, E.C., Camargo, A. J.A., Aquino, F. G. (Org.). *Cerrado:  
Desafios e Oportunidades para o Desenvolvimento Sustentável*, Embrapa Cerrados,  
Planaltina, 23-32.
- Assis, T., Couto-Junior, A.F., Neves, G., Reatto, A., Martins, E.S., Gomes, M.P., Sena-Souza,  
J.P., Reis, A.M., Ramalho, L.S., Claudino, V.C.M., 2013. Evolução temporal da cobertura da  
terra de uma bacia experimental do Cerrado utilizando sensoriamento remoto multisensor e  
multitemporal. *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Foz do  
Iguaçu, PR, 7739-7745.
- Ávila, V.B., 2005. Relação entre o uso e manejo do solo em uma bacia rural e a contribuição do  
nitrogênio, fósforo e sedimentos a corpo hídricos. Dissertação (mestrado), *Tecnologia  
Ambiental e Recursos Hídricos*, ENC-FT-UNB, Brasília, 114p.
- Bernardi, J.V.E., Lacerda, L.D., Dórea, J.G., Landim, P.M.B., Gomes, J.P.O., Almeida, R.,  
Manzatto, A.G., Bastos, W.R., 2009. Aplicação da análise das componentes principais na  
ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio Madeira e afluentes, Amazônia  
Occidental, *Geochimica Brasiliensis*, 23, 79-90.
- Bilich, M.R., 2007. Ocupação das terras e a qualidade da água na microbacia do Ribeirão  
Mestre d'Armas, Distrito Federal, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Agronomia e  
Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 134p.

- Branco, S.M., 1996. Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária, CETESB/ASCETESB, São Paulo.
- Brasil, 2005, Resolução CONAMA nº357 de 17 de março de 2005, Brasília.
- Campos, J.E.G., 2004. Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para gestão dos recursos hídricos subterrâneos, Rev, Bras, Geo., 34, 41-48.
- Carmo, M.S., Boaventura, G.R., Oliveira, E.C., 2005. Geoquímica das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto, Brasília/DF – Brasil. Química Nova, 28, 565 -574.
- Carvalho, P.R.S., 2005. A expansão urbana na bacia do Ribeirão Mestre d'Armas (DF) e a qualidade da água. Estudos Geográficos, 3, 71-91.
- CETESB, ANA, 2011. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. CETESB, São Paulo, ANA, Brasília. 326pp.
- Chaves, A.A.A.; Lacerda, M.P.C.; Kato, E.; Goedert, W.J.; Ramos, M.L.G., 2010. Uso das terras da parte norte da bacia do Rio Descoberto, Distrito Federal, Brasil, Bragantia, 69, 711-718.
- Cordeiro, G.G., 2001. Qualidade de água para fins de irrigação (conceitos básicos e práticos). Documentos nº 167. Embrapa Semi-Árido, Petrolina, PE, 34pp.
- Cosgrove, E.C., Cosgrove, W.J., 2012. The Dynamics of Global Water Futures driving forces 2011-2050, UNESCO, Paris, 100pp.
- Fernandes, S. C., 2005. Avaliação de imagens de satélite de alta e muito alta resolução espacial para a discriminação de classes de uso e ocupação do solo: aplicação ao caso da sub-bacia do córrego Capão Comprido no Distrito Federal. Dissertação (mestrado), Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, ENC-FT-UNB, Brasília, 106pp.
- Ferreira, C.S., 2006. Avaliação temporal do uso e ocupação das terras na bacia do Rio São Bartolomeu, DF, Dissertação (mestrado), Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UnB, Brasília, 115pp.
- Figueirêdo, M.C.B., Vieira, V.P. P.B., Mota, S., Rosa, M.F., Araújo, L.F.P., Girão, E., Ducan, B.L., 2008. Monitoramento comunitário da qualidade da água: uma ferramenta para a gestão participativa dos recursos hídricos no semi-árido. REGA, 5, 51-60.
- Fiorucci, A.R., Benedetti-Filho, E., 2005. A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. Química Nova na Escola, 22, 10-16.
- Fragoso, M.M.A., 2008. Estudo hidrológico e de transporte de sedimentos em uma bacia do bioma Cerrado: bacia do córrego Capão Comprido. Dissertação (mestrado), Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, ENC-FT-UNB, Brasília, 102pp.

- Frankenberger Jr, W.F., Mehra, H.C., Gjerd, D.T., 1990. Environmental applications of ion chromatography. *J. Chrom.*, 504, 211-245.
- Frota, P.V., 2006. Propostas para gestão integrada dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Jardim,DF. Dissertação (mestrado), Desenvolvimento Sustentável, CDS-UNB, Brasília, 145pp.
- FUNASA, 2006. Manual prático de análise de água. FNS, Brasília, 146pp.
- GDF, 2007. Plano diretor de ordenamento territorial do Distrito Federal PDOT/DF. GDF, Brasília.
- Gonçalves, T.D., 2012. Recursos hídricos no Distrito Federal: modelagem hidrológica para subsidiar a gestão sustentável na bacia do Ribeirão Pípiripau. Tese ( doutorado), Programa de Pós-graduação em Geociências Aplicadas, IG-UNB, Brasília, 148pp.
- Guedes, H.A.S., Silva, D.D., Elesbon, A.A.A., Ribeiro, C.B.M., Matos, A.T., Soares, J.H.P., 2012. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 16, 558-563.
- Hair, J. J. F.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L.; Black, W. C., 2005. *Análise multivariada de dados*. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 593pp.
- Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Fernandez, J.M., Fernandez, L., 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. *Water Res.* 34, 807–816.
- IDEXX, 2014. One idexx drive. Disponível em: <<http://www.idexx.com>>. Acesso em: 15 julho 2014.
- INMET, 2014. BDMEP Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Aceso em Maio de 2014.
- Iscen, C.F., Altin, A., Senoglu, B., Yavuz, H.S., 2009. Evaluation of surface water quality characteristics by using multivariate statistical techniques: A case study of the Euphrates river basin, Turkey. *Environ. Monit. Assess*, 151, 259-264.
- Kazi, T.G., Arain, M.B., Jamali, M.K., Jalbani, N., Afridi, H.I., Sarfraz, R.A., Baig, J.A., Shah, A.Q., 2009. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study, *Ecotox. Environ. Safety*, 72, 301-309.
- Kebede, Y.K., Kebedee, T., 2012. Application of Principal Component Analysis in Surface Water Quality Monitoring. *Engineering Applications*, Sanguansat, P. (Ed.), Available from: <http://www.intechopen.com/books/principal-component-analysis-engineering->

- applications/application-of-principal-component-analysis-in-surface-water-quality-monitoring, 83-100.
- Lanna, A.E., 2009. Gestão dos recursos hídricos. Tucci, C.E.M. (Ed.), Hidrologia: ciência e aplicação, ABRH, Porto Alegre, 943pp.
- Lattin, J., Carroll, J.D., Green, P.E., 2011. Analyzing multivariate data. Pacific Grove, Brooks/Cole, Thomson Learning, CA.
- Lima, J.E.F.W., 2001. Recursos hídricos no Brasil e no mundo. Embrapa Cerrados, Planaltina. 46pp.
- Lima, J.E.F.W., 2010. Modelagem numérica do fluxo da água no solo e do escoamento de base em uma bacia experimental em área agrícola do Cerrado. Tese (doutorado), Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, ENC-FT-UNB, Brasília, 312pp.
- Lima, J.E.F.W., 2011. Situação e perspectivas sobre as águas do cerrado. Cienc. Cult., 63, 27-29.
- Lima, J.E.F.W., Lopes, W.T.A., Oliveira-Filho, E.C., Muniz, D.H.F., 2011. Relação entre a turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão em uma bacia agrícola típica do Cerrado: o caso da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim, DF. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió. ABRH, Porto Alegre. 13pp.
- Logan, J., 1965, Interpretação de Análises Químicas da Água, US, Agency for International Development, Recife.
- Lopes, G.R., 2010. Estudos hidrológicos e hidrossedimentológicos na bacia do córrego do Capão Comprido, DF. Dissertação (mestrado), Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, PTARH.DM 079/05, ENC-FT-UNB, Brasília, 123pp.
- Maia, C.E., Morais, E.R.C., Oliveira, M., 1998. Classificação da água de irrigação utilizando quatro metodologias de cálculo para a razão de adsorção de sódio – I, Região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte, Revista Caatinga, 11, 41-46.
- Marcuzzo, F.F.N., Cardoso, M.R.D., Faria, T.G., 2012. Chuvas no Cerrado da região Centro-Oeste do Brasil: análise histórica e tendência futura, Ateliê Geográfico, 6, 112-130.
- Meireles, A.C.M., Andrade, E.M., Chaves, L.C.G., Frischkorn, H., Crisostomo, L.A. A new proposal of the classification of irrigation water. Revista Ciência Agronômica, 41, 349-357.
- Miranda, J.C.C., Miranda, L.N., 2003. Contribuição da micorriza arbuscular na resposta das culturas à calagem e adubação fosfatada em solos do cerrado, Comunicado Técnico, Embrapa Cerrados, 89, 4pp.

- Mostafaei, A., 2014. Application of multivariate statistical methods and water-quality index to evaluation of water quality in the Kashkan River, *Environ. Manage.*, 53, 865-881.
- Moura, L.H.A., 2008. Estudo geoquímico da Bacia do Gama e avaliação da qualidade da água, Dissertação (mestrado), IG/UNB, Brasília, 129pp.
- Moura, L.H.A., Boaventura, G.R., Pinelli, M.P., 2010. A qualidade da água como indicador de uso e ocupação do solo: Bacia do Gama - Distrito Federal, *Quím. Nova*, 33, 97-103.
- Muniz, D.H.F., Moraes, A.S., Freire, I.S., Cruz, C.J.D., Lima, J.E.F.W., Oliveira-Filho, E.C., 2011. Evaluation of water quality parameters for monitoring natural, urban, and agricultural areas in Brazilian Cerrado, *Acta Limno. Brasil.*, 23, 307-317.
- Oketola, A.A., Adekolurejo, S.M., Osibanjo, O., 2013. Water Quality Assessment of River Ogun Using Multivariate Statistical Techniques, *Jour. Environ. Prot.*, 4, 466-479.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H., Wagner, H., 2012. *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.0-4. Available from: <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Oliveira, K.W., Morais, P.B. Serzedelo, J.L., 2000. Qualidade e conservação da água, o paradigma de um futuro imediato, *Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, ABES, Porto Alegre, RS, 1-9.
- Oliveira-Filho, E.C., Parron, L.M., 2007. Avaliação de qualidade das águas no Brasil: o Rio Preto examinado, *Espaço & Geografia*, 10, 1-16.
- Parron, L.M., Lima, J.E.F.W., Cruz, C.J.D., Franciscon, L., 2009a. Geologia, uso da terra e qualidade dos recursos hídricos superficiais na bacia hidrográfica do Rio Preto, MG. *Revista de Estudos Ambientais*, 12, 59-70.
- Parron, L.M., Lima, J.E.F.W., Cruz, C.J.D., Franciscon, L., 2009b. Qualidade da água subterrânea como indicador ambiental de mudanças no uso do solo na bacia experimental do alto rio Jardim-DF. *Anais do Congresso Iberoamericano e do Caribe sobre Restauração Ecológica*, SOBRADE, Curitiba, PR, 1-5.
- Parron, L.M., Muniz, D.H.F., Pereira, M.C., 2011. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Documentos n° 232, Embrapa Florestas, Colombo, 69pp.
- Petersen, W., Bertino, L., Callies, U., Zorita, E., 2001. Process identification by principal component analysis of river water-quality data. *Ecol. Model.*, 138, 193-213.



- Portela, J.F., 2013. Avaliação da qualidade da água na área de influência direta da Estação Ecológica de Águas Emendadas, Dissertação (mestrado), Instituto de Química, IQ UnB, Brasília, 70pp.
- R Development Core Team, 2014. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: the R Foundation for Statistical Computing. ISBN: 3-900051-07-0. Available online at <http://www.R-project.org/>.
- Ramos, M., Formiga-Johnsson, R.M., 2012. Água, gestão e transição para uma economia verde no Brasil - propostas para o setor público. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável - FBDS, 52pp.
- Rebouças, A. da C., 2001. Água e desenvolvimento rural. Estudos Avançados. 15, 327-344.
- Ribeiro, M.R., Sousa, S.R., Muniz, D.H.F., Silva, M.C., Oliveira-Filho, E.C., 2010. Caracterização microbiológica e físico-química de águas superficiais em parques urbanos no Distrito Federal, Universitas: Ciências da Saúde, 8, 15-34pp.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook 60, 160pp.
- Rocha, A.L.A., Parron, L.M., Cruz, C.J.D., 2008. Monitoramento da qualidade da água de nascentes na bacia hidrográfica do Rio Preto, sub bacia do médio Rio São Francisco, Anais do IX Simpósio Nacional do Cerrado e II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais, Brasília, DF, 6pp.
- Sano, E.E., Lima, J.E.F.W., Silva, E.M., Oliveira, E.C., 2005, Estimativa da variação na demanda de água para irrigação por pivô-central no Distrito Federal entre 1992 e 2002, Eng. Agríc, 25, 508-515,
- Sano, E.E., Lima, J.E.F.W., Silva, E.M., Oliveira, E.C., 2005. Estimativa da variação na demanda de água para irrigação por pivô-central no Distrito Federal entre 1992 e 2002. Eng. Agríc. 25, 508-515.
- Sano, E.E., Rosa, R., Brito, J.L.S., Ferreira, L.G. 2008. Mapeamento semi-detalhado do uso da terra do bioma Cerrado. Pesq. Agro. Bras.. 43, 153-156.
- Sarbu, C., Pop, H.F., 2005. Principal component analysis versus fuzzy principal component analysis a case study:the quality of Danube water. Talanta, 65, 1215-1220.
- Scopel, R.M., Teixeira, E.C., Binotto, R.B., 2005. Caracterização hidrogeoquímica de água subterrânea em área de influência de futuras instalações de usinas hidrelétricas - bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas/RS, Brasil. Quím. Nova, 28, 383-392.
- Sena-Souza, J.P., Martins, E.S., Couto Junior, A.F., Reatto, A., Vasconcelos, V., Gomes, M.P., Carvalho Junior, O.A.; Reis, A.M., 2013. Mapeamento Geomorfológico da Bacia

- Hydrográfica do Rio São Bartolomeu, escala 1:100,000, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, CPAC, Planaltina, DF, 314, 39p.
- Setti, A.A., Lima, J.E.F.W., Chaves, A.G.M., Pereira, I.C., 2001. Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos. ANEEL/SIH, Brasília, 207pp.
- Shrestha, S., Kazama, F., 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of the Fuji river basin, Japan. *Env. Model. Soft.*, 22, 464-475.
- Shiklomanov, A., 1998. Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world: assessment of water resources and water availability in the world. WMO, Geneva, 88pp.
- Silva, L.R., Costa-Neto, J.F., 2008. A sustentabilidade dos recursos hídricos no Distrito Federal. *Univ. Hum.* 5, 77-107.
- Simeonov, V., Stratis, J.A., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsas, D., Anthemidis, A., Sofoniou, M., Kouimtzis, T., 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Res.*, 37, 4119–4124.
- Simões, M., 2008. Métodos cromatográficos, volumétricos e potenciométricos para análise química quantitativa de água subterrânea e sua aplicação no aquífero cenozoico da Bacia do Baixo Tejo, Portugal. *Geociências*, 27, 161-169.
- Singh, K.P., Malik, A., Mohan, D., Sinha, S., 2005. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques - a case study. *Analy. Chim. Acta*, 538, 355-374.
- Skoog, D.A., West, D.M., Holler, F.J., Crouch, S.R., 2006. Fundamentos de química analítica. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 1124pp.
- Spera, S.T., Reatto, A., Martins, E.S., Correia, J.R., Bloise, G.L.F., Silva, A.V., 2003. Aptidão agrícola das terras da Bacia do Rio Jardim, DF, Embrapa Cerrados, Comunicado Técnico, 6pp.
- Sonoda, K.C., 2010. Comunidades de insetos aquáticos em dois trechos do Córrego Sarandi, Distrito Federal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento nº 280, Embrapa Cerrados, Planaltina. 20pp.
- Sousa, S.R., Aquino, F.G., Oliveira-Filho, E.C., Muniz, D.H.F., Cruz, C.J.D., Parron, L.M. Caracterização da qualidade da água na área de proteção de manancial Mestre D'Armas, Distrito Federal. Anais do IV Encontro de Jovens Talentos da Embrapa Cerrados – CPAC, Palantina, DF, 144-145.
- STATSOFT, 2005. STATISTICA 7.0, Inc. Tulsa, USA.
- Zeng, X., Rasmussen, T.,C., 2005. Multivariate statistical characterization of water quality in lake Lanier, Georgia, USA. *J. Environ. Qual.*, 34, 1980-1991.

**UTILIZAÇÃO DE DADOS DE MONITORAMENTO PARA  
DEFINIÇÃO DE ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA FINS  
DE IRRIGAÇÃO**

## 1. INTRODUÇÃO

A qualidade da água pode ser impactada por diversas fontes antrópicas, todavia algumas atividades típicas da agricultura ocasionam, direta ou indiretamente, alterações nos padrões de qualidade, modificando sensivelmente os processos biológicos, físicos e químicos dos sistemas aquáticos.

Os impactos da agricultura sobre a qualidade da água são diversos. Dentre as principais atividades que contribuem para a degradação da qualidade da água pode-se destacar o corte raso, confinamento/currais de animais, aplicação de pesticidas, fertilizantes orgânicos e minerais e a irrigação (Ongley, 1996; USEPA, 2006).

O setor agrícola é o maior consumidor de água. Em todo o mundo, a agricultura consome aproximadamente 70% de toda a água derivada de rios, lagos e aquíferos. Desde os anos 1950, a agricultura irrigada tem se expandido mundialmente (aumento de 174%), sendo atualmente responsável pela produção de cerca de 40% dos alimentos no mundo. Estima-se que para os próximos 25 anos, 80% dos alimentos necessários para satisfazer as necessidades da população mundial serão providos pelos cultivos irrigados (Cardoso et al., 1998; Scanlon, 2007; Cosgrove e Cosgrove, 2012; Paulino et al., 2011).

No Brasil, quase metade da água consumida é empregada na irrigação, porém, apenas 5% da área colhida é irrigada e corresponde a 16% do total da produção de alimentos. Estima-se, contudo, que existam cerca de 29,564,000 hectares de solos aptos para o desenvolvimento da agricultura irrigada de forma sustentável (Paz et al., 2000; MI e IICA, 2008; Christophidis, 2013).

No Distrito Federal (DF), a irrigação é um dos principais responsáveis pela demanda total de recursos hídricos. A agricultura é uma importante atividade econômica no DF, sendo que até 2006 existiam 14,508,36 hectares de área irrigada (Christophidis, 2013).

A expansão da agricultura irrigada tem se tornado uma questão preocupante, devido ao elevado consumo e aos impactos ambientais que essa prática pode ocasionar sobre os recursos hídricos, entretanto, existe um aspecto importante inerente à irrigação: a qualidade da água.

O tema qualidade da água sempre foi negligenciado quando se tratava de agricultura irrigada, devido à abundância, boa qualidade e fácil acesso às fontes de água no passado (Krause e Rodrigues, 1998). Porém, nas últimas décadas, a qualidade da água para irrigação tem sido estudada, devido a sua importância na implantação de sistemas de irrigação economicamente viáveis (Bernardo, 2002).

As águas utilizadas na irrigação são usualmente derivadas de nascentes, desviadas de córregos, ou bombeadas de poços e barragens, que podem conter quantidades apreciáveis de substâncias químicas em solução, contribuindo para a redução da produtividade das culturas e deterioração da fertilidade do solo (Ayers e Westcost, 1999; Simsek e Gunduz, 2007).

A qualidade da água para irrigação pode ser definida principalmente pelos aspectos químicos: por meio da quantidade total de sais dissolvidos e sua composição iônica a qual depende da fonte de água, local e época de amostragem (Maia e Rodrigues, 2012). Contudo aspectos físicos como, por exemplo, sólidos em suspensão e sólidos totais dissolvidos; e biológicos, como a presença de microrganismos patogênicos e fitopatogênicos, também podem ser considerados na avaliação da qualidade da água para irrigação (Dotto, 1993; Phocaidis, 2007).

Segundo Enderlain et al, (2005), a água de má qualidade pode afetar as lavouras irrigadas, fazendo com que ocorra o acúmulo de sais na zona radicular, causando perda de permeabilidade do solo devido ao excesso de sódio ou de lixiviação de cálcio, ou que contenham patógenos ou contaminantes que são diretamente tóxicos para as plantas ou para aqueles que as consome.

Diversos países estabelecem critérios de qualidade somente para o consumo humano, e alguns poucos apresentam normas para a qualidade da água de irrigação (Bhavan et al., 1987; Ayers e Westcost, 1999; CCME, 1999; Wriedt et al., 2008).

Existem hoje diretrizes internacionais de qualidade da água relacionadas com a agricultura irrigada. Diversos países adotam, com sucesso, as orientações de qualidade da água para irrigação proposta pela FAO (Ayers e Westcost, 1999). Como mencionado pelos autores, essas diretrizes são uma ferramenta para o auxílio na gestão e são baseadas em certas

suposições. Estes pressupostos devem ser claramente compreendidos, mas não devem se tornar pré-requisitos rígidos.

No Brasil, devido a ausência de legislação que apresente parâmetros de qualidade da água para agricultura irrigada, alguns órgãos gestores têm utilizado a Resolução CONAMA nº 357 de 2005, como critério para qualidade da água para irrigação. Essa resolução dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, e assim como as diretrizes da FAO, visa subsidiar a gestão dos recursos hídricos superficiais e não definir valores máximos permitidos para cada um dos usos previstos (Brasil, 2005; Valente-Campos et al., 2008).

Um método eficaz para a avaliação da qualidade da água para fins de irrigação é o monitoramento da água. Existem hoje diversas ferramentas que auxiliam os programas de monitoramento dos recursos hídricos, e que na maioria das vezes geram uma grande quantidade de dados, que muitas vezes são difíceis de serem analisados e interpretados.

Uma forma de se organizar os dados em um formato sintético é o uso de indicadores ou índices de qualidade de água, os chamados IQAs. Os IQAs objetivam dar um valor único para a qualidade da água de uma determinada fonte com base em um ou outro sistema que traduz os constituintes e as respectivas concentrações, presentes em uma amostra (Abbasi e Abbasi, 2012).

Os IQAs ganharam força principalmente durante as últimas quatro décadas, com a criação do IQA/ NSF (*National Sanitation Foundation*, EUA), mas o conceito em sua forma rudimentar foi introduzido pela primeira vez há mais de 150 anos atrás - em 1848 - na Alemanha, onde a presença ou ausência de certos organismos na água foi usada como indicador da aptidão ou não de uma fonte de água (Zagatto et al., 1999; Abbasi e Abbasi, 2012).

No Brasil, esse índice foi adaptado em 1977 pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo (CETESB), e é composto atualmente por nove parâmetros de qualidade: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduo total (Zagatto et al., 1999; ANA, 2012; CETESB, 2014).

Apesar de ser uma ferramenta simples e de fácil entendimento, o IQA/CETESB é específico para abastecimento público. Além disso, os parâmetros que compõem esse IQA refletem, principalmente, a poluição causada pelo lançamento de esgotos domésticos, contudo, atividades agrícolas e industriais também contribuem com poluentes que não são analisados por esse índice (Dotto et al., 1996; Silva et al, 2012).

Embora, inicialmente, formuladas para avaliar a qualidade da água potável, considerando a contaminação urbana, acredita-se que uma lógica similar possa ser facilmente aplicada para avaliar a qualidade das águas para irrigação, levando em consideração fontes de contaminação e uso específicos. Qualquer sistema de classificação de água para irrigação deve levar em consideração o efeito da água nas plantas e no solo. Portanto, a adoção de uma classificação genérica de qualidade da água será inadequada para outros diversos usos (Simsek e Gunduz, 2007; Maia e Rodrigues, 2012).

Com isso, pretende-se, neste trabalho, a partir dos dados de monitoramento de três corpos hídricos rurais no DF, propor um índice de qualidade de água superficial (IQA), visando utilização da água para fins de irrigação no Cerrado brasileiro.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Área de estudo, coleta das amostras e métodos de análises**

Dentre as áreas estudadas no Capítulo 1, o Córrego Sarandi foi o corpo hídrico escolhido para proposição do IQAI por apresentar os três pontos amostrais com características bem definidas. A descrição completa da área de estudo, dos pontos amostrais, procedimentos de coleta, preservação de amostras e metodologias analíticas são apresentados no Capítulo 1.

### **2.2. Análise das Componentes Principais e Análise Fatorial (PCA/AF), seleção dos parâmetros para o Córrego Sarandi e etapas de desenvolvimento do Índice de Qualidade de Água (IQA)**

Para composição do índice de qualidade da água para irrigação (IQAI) neste estudo, duas etapas foram consideradas, Para isso foi utilizada a metodologia proposta por Meireles et al, (2010).

A primeira etapa consistiu na seleção dos parâmetros, levando em consideração o uso preponderante da água, neste caso a irrigação. A escolha foi feita a partir da identificação dos parâmetros que contribuíram com uma maior carga fatorial na Análise das Componentes Principais e Análise Fatorial (PCA/AF) da matriz de dados dos três pontos do Córrego Sarandi. Segundo Bollman e Marques (2000), a utilização de cálculos estatísticos visa reduzir incertezas e ampliar a aplicabilidade dos indicadores.

Na segunda etapa foram estabelecidas as medidas de qualidade individuais de cada variável ( $q_i$ ) e a agregação dos pesos ou variabilidade total da qualidade da água ( $w_i$ ) (Meireles et al., 2010; Abassi e Abassi, 2012).

As medidas de qualidade individual ( $q_i$ ) foram divididas em quatro classes (I, II, III e IV) atribuindo-se a cada uma delas os limites máximo e mínimo para cada parâmetro. Esses valores limites foram obtidos com base em diretrizes de qualidade de água para irrigação propostos por



Meireles et al, (2010), Ayers e Westcot (1999), e ainda pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005 (Brasil, 2005).

Os parâmetros que compõe os IQAs possuem unidades e grandezas diferentes bem como podem provocar impactos diferentes no corpo hídrico. Desta maneira, os dados são transformados em uma única escala, que varia usualmente de 0 a 100, variando dos valores não aceitáveis para os aceitáveis (Marcone, 2006).

Os valores de ( $q_i$ ) foram calculados utilizando a Equação 1 e foram baseados, nos limites toleráveis para cada classe (I, II, III ou IV) de cada parâmetro e nos resultados analíticos obtidos em laboratório.

$$q_i = q_{\text{imax}} - [(x_{ij} - x_{\text{inf}}) * q_{\text{iamp}}] / x_{\text{amp}} \quad (1)$$

Onde:

$q_{\text{imax}}$  : representa o valor máximo de  $q_i$  para a classe (I, II, III ou IV) no qual o parâmetro está inserido;

$x_{ij}$  : valor médio observado na análise laboratorial para cada parâmetro;

$x_{\text{inf}}$  : valor correspondente ao menor limite da classe (I, II, III ou IV) no o qual o parâmetro está inserido;

$q_{\text{iamp}}$ : amplitude da classe para o qual o parâmetro está inserido;

$x_{\text{amp}}$  : amplitude da classe para o qual o parâmetro pertence.

Para obtenção do valor de  $x_{\text{amp}}$  da ultima classe de cada parâmetro, o limite superior foi considerado como sendo o valor mais alto determinado nas análises das amostras.

Os valores dos pesos ( $w_i$ ) foram obtidos a partir do somatório de todos os fatores multiplicados pela explicabilidade de cada parâmetro, retirados da análise estatística (PCA). Posteriormente, os valores de  $w_i$  foram normalizados, de tal forma que a sua soma fosse igual a 1, conforme Equação 2:

$$w_i = \sum_{j=1}^k F_j A_{ij} / \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n F_j A_{ij} \quad (2)$$

Onde  $F$  é o autovalor da componente escolhida,  $A_{ij}$  é a explicabilidade do parâmetro  $i$  pelo fator  $j$  (autovetor),  $i$  é o número de parâmetros selecionados para compor o índice, variando de 1 a  $n$  e  $j$  é o número de fatores selecionados no modelo, variando de 1 a  $k$ .

O índice de qualidade de água para irrigação (IQAI) foi calculado pelo somatório da qualidade individual de cada variável ( $q_i$ ) ponderado pelo peso desta variável na avaliação da variabilidade total da qualidade da água ( $w_i$ ) para irrigação, calculado da seguinte forma:

$$\text{IQAI} = \sum_{i=1}^n q_i w_i \quad (3)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Análise das Componentes Principais e Análise Fatorial (PCA/AF) para o Córrego Sarandi e critérios para seleção dos parâmetros

A extração dos fatores na Análise das Componentes Principais foi definida pela variância da combinação linear das variáveis observadas. O primeiro fator extraído representa a combinação linear que explica a variância máxima existente na amostra; o segundo, a combinação linear com a máxima explicação da variância remanescente e assim sucessivamente (Lopes et al., 2009). Uma rotação da matriz foi realizada e as cargas fatoriais (autovetores), os autovalores de cada fator, porcentagem de variação e porcentagem total explicada, para as quatro primeiras componentes, são apresentados na Tabela 1.

A rotação da matriz tem por finalidade minimizar a contribuição das variáveis com menor significância no fator (Hair et al., 2005). O autovalor ( $F$ ) é utilizado como termo de ponderação para o cálculo de  $w_i$  por expressar a capacidade dos fatores de captar em níveis diferentes as variâncias das variáveis (Palácio, 2004).

Conforme mostrado na Tabela 1, os parâmetros apresentaram a maior carga fatorial ( $>0,6$ ) nas duas primeiras CPs foram pH, COND, TDS, DUR, RAS,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , CT e CTERMO porém entre as variáveis referidas, pH COND, DUR, RAS,  $\text{NO}_3^-$  e CTERMO foram selecionadas para compor o Índice de Qualidade da Água para Irrigação (IQAI). A seleção do número de fatores ( $k$ ) para o cálculo do  $w_i$  levou em consideração o critério adotado por Jolliffe (2002), em que considera a porcentagem acumulada da variância total entre 70 e 90%, mantendo uma representação razoável da variância original.

A Condutividade Elétrica (COND) é a medida da capacidade da solução de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro depende dos tipos e das concentrações de íons presentes na água e está relacionada ao total de sólidos dissolvidos (TDS) (Parron et al., 2011). É a variável mais empregada para avaliar a qualidade da água de irrigação quanto à salinidade, sendo um dos principais considerados na interpretação de uma análise de água para fins de irrigação.

**Tabela 1.** Cargas fatoriais (autovetores), porcentagem de variação e porcentagem total explicada para o Córrego Sarandi.

Variáveis	Sarandi			
	F1	F2	F3	F4
<i>Autovalor (F)</i>	<b>3,9814</b>	<b>3,0577</b>	<b>1,1453</b>	<b>0,8241</b>
TEMP	-0,398915	0,186696	0,748687	0,273149
pH	<b>0,675959</b>	-0,271009	-0,157230	0,330002
COND	<b>-0,738557</b>	-0,329610	-0,243407	0,059612
TDS	<b>-0,722317</b>	-0,342222	-0,362043	0,051928
OD	0,421284	-0,128610	-0,665505	-0,012106
DUR	-0,593760	<b>0,649787</b>	-0,246907	0,328102
TURB	-0,485130	0,237123	0,061592	-0,599428
RAS	0,039837	<b>-0,893123</b>	0,056067	0,081531
Na <sup>+</sup>	-0,408503	<b>-0,653692</b>	-0,191577	0,338529
K <sup>+</sup>	0,070864	<b>-0,662231</b>	0,354359	-0,192128
Ca <sup>2+</sup>	<b>-0,628143</b>	<b>0,621263</b>	-0,261620	0,286700
Mg <sup>2+</sup>	0,072171	0,372213	0,032847	0,372098
Cl	-0,462381	-0,516706	0,218228	0,408193
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>-0,673420</b>	-0,124281	-0,257235	-0,441681
CT	<b>-0,667873</b>	0,111725	0,382305	-0,061310
CTERMO	<b>-0,666803</b>	-0,379324	-0,056998	-0,043177
<b>% de variação</b>	<b>36,20</b>	<b>27,80</b>	<b>10,41</b>	<b>7,50</b>
<b>% total explicada</b>	<b>81,91</b>			

A determinação da condutividade permite avaliar o perigo que a água oferece, em termos de salinização do solo (Cordeiro, 2001; Andrade et al., 2012). A medida de condutividade é mais útil que a medida de TDS devido à sua rápida e precisa determinação, podendo ser feita instantaneamente pelo agricultor em campo (Grattan, 2002). Devido à facilidade na obtenção da medida de condutividade e pela forte relação entre COND e TDS, optou-se pela exclusão da variável TDS na composição do índice.

A dureza total (DUR) é a propriedade decorrente da presença de metais alcalino-terrosos, principalmente cálcio e magnésio, que são os principais encontrados em águas naturais. A dureza da água resulta da dissolução de minerais dos solos e rochas ou provém da poluição direta de resíduos de diferentes fontes antrópicas (APHA, 1998). O principal problema de qualidade de água para a irrigação em relação à dureza total é a precipitação dos carbonatos

de cálcio e magnésio, que pode ocorrer, principalmente, se a água apresentar elevada dureza e valores de pH acima de 7,5, Segundo Ayers e Westcot (1999). Os valores normais de cálcio e magnésio na água de irrigação, devem ser de 400 mg,L<sup>-1</sup> de Ca<sup>2+</sup> e 60 mg,L<sup>-1</sup> para Mg<sup>2+</sup>. Para Vanzela (2004), a alta dureza da água também pode ser limitante para a fertirrigação. Segundo o autor valores acima de 100 mg,L<sup>-1</sup> de Ca<sup>2+</sup> e de 43 mg,L<sup>-1</sup> de Mg<sup>2+</sup> aumentam consideravelmente o risco de precipitação de fertilizantes fosfatados no interior das tubulações. A dureza total da água possui forte relação com os íons cálcio e magnésio, anteriormente discutida nos resultados e discussão do Capítulo 1, e por esse motivo optou-se pela exclusão dos parâmetros Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> na composição do IQA. A medida de dureza total pode ser facilmente realizada por meio de titulação em laboratório, não sendo necessária, para tal finalidade, a utilização de instrumentos analíticos.

A Razão de Adsorção de Sódio ou RAS indica a porcentagem de sódio contido na água que pode ser adsorvido pelo solo, e leva em consideração os teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Na<sup>+</sup>. A toxicidade do sódio é frequentemente modificada e reduzida se o cálcio e magnésio também estiverem presentes. Quantidades moderadas de cálcio podem reduzir os danos e quantidades maiores podem preveni-los. Uma vez que o efeito do sódio é dependente de sódio e de cálcio, uma avaliação razoável do potencial de toxicidade da água de irrigação é possível usando o valor da RAS (Ayers e Westcot, 1999; Phocaidés, 2007). A análise do risco de adsorção de sódio é de grande importância, pois concentrações excessivas de sódio podem causar o endurecimento e impermeabilização do solo, podendo prejudicar o desenvolvimento das plantas (Nakai et al., 2013). Valores de RAS <40 podem causar problemas de infiltração da água no solo (Ayers e Westcot, 1999).

O nitrogênio é um dos principais nutrientes para a planta sendo responsável pelo seu crescimento. As formas mais comuns do nitrogênio (nitrato e amônia) estão presentes naturalmente no solo ou quando fertilizantes são adicionados. O nitrato ocorre mais frequentemente em água de irrigação, e tem o mesmo efeito como fertilizante nitrogenado aplicado ao solo, sendo que o excesso pode causar problemas tais como redução da qualidade do produto ou retardar a maturação. Culturas sensíveis podem ser afetadas por concentrações de

nitrito acima de 5 mg,L<sup>-1</sup>. A maioria das outras culturas são relativamente pouco afetadas até 30 mg,L<sup>-1</sup> de nitrito (Ayers e Westcot, 1999; Dotto, 1993). Além disso, o nitrito é muito solúvel na água e sendo adsorvido pelo solo, é facilmente lixiviado pelas águas de percolação até à zona saturada, podendo causar acréscimo de concentração em nitratos nas águas subterrâneas (Paralta e Ribeiro, 2000).

O pH é um indicador de acidez ou basicidade de água, mas é raramente um problema por si só. O principal uso do pH em uma análise de água para fins de irrigação é para a detecção de uma água anormal (Ayers e Westcot, 1999). O intervalo de pH normal para a água de irrigação é 6,5-8,4, sendo que um valor fora do intervalo normal pode provocar um desequilíbrio nutricional, fitoxidez, e principalmente, corrosão (água com baixo teor de sais) ou incrustação (água com elevado teor de sais) dos equipamentos de irrigação (Dotto, 1993).

O parâmetro coliforme termotolerante (CTERMO), usualmente denominado “coliforme fecal”, é um parâmetro biológico importante, visto que algumas culturas irrigadas com água contendo tais organismos conferem risco à saúde humana quando esses produtos são consumidos crus (Dotto, 1993). O consumo de produtos frescos ou crus é um fator importante que contribui para a maioria das doenças gastrointestinais humanas, devido ao potencial para a contaminação com água de irrigação contendo organismos potogênicos (Pachepsky et al., 2011).

Além disso, a avaliação microbiológica da qualidade da água de irrigação é justificada também sob o aspecto econômico, pois muitos alimentos são veículo adequado para o transporte de microrganismos patogênicos que irão resultar na alteração do produto (Rigolin-Sá e Pereira, 2005). Seu uso como indicador de possíveis presenças de seres patogênicos é de fácil identificação e contagem em laboratório com poucos recursos (Branco et al., 2006). O parâmetro coliforme termotolerante é previsto pela Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, de 17 de março de 2005, esta resolução estabelece as classes de águas, incluindo aquelas destinadas à irrigação, e os teores máximos permitidos de substâncias químicas potencialmente prejudiciais, além de valores relativos a parâmetros físico-químicos (Brasil, 2005).

### 3.2. Valores determinados na análise laboratorial para cada parâmetro, medidas de qualidade ( $q_i$ ) e pesos dos parâmetros ( $w_i$ )

Na Tabela 2 estão descritos os valores médios, máximo e mínimo para os parâmetros de interesse, obtidos nas análises físico-químicas e microbiológicas para o Córrego Sarandi, nos três pontos de amostragem, que irão compor as medidas de qualidade ( $q_i$ ).

**Tabela 2.** Resultados obtidos nas análises físico-químicas e microbiológicas para o Córrego Sarandi, nos três pontos de amostragem.

Variáveis	Córrego Sarandi								
	S1			S2			S3		
	<i>Média</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Média</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Média</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>
pH	6,41	6,85	5,85	6,13	6,49	5,78	5,98	6,56	5,48
COND	5,83	7,00	4,00	5,70	9,00	4,00	6,45	11,00	5,00
DUR	3,53	4,63	1,18	4,51	7,24	2,63	4,81	6,68	2,90
RAS	0,611	1,302	0,348	0,433	0,631	0,314	0,454	0,823	0,319
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,12	0,27	0,001	0,19	0,37	0,001	0,23	0,62	0,001
CTERMO	99,66	204,60	21,60	440,74	1732,90	66,30	508,07	2419,60	48,90

Na Tabela 3 estão apresentados os valores limites para compor as medidas de qualidade ( $q_i$ ) para as variáveis selecionadas no estudo. Esses valores foram adaptados das diretrizes de qualidade de água para irrigação propostos por Meireles et al. (2010) para os parâmetros COND e RAS, Ayers e Westcot (1999) para as variáveis pH, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e DUR, e ainda pela Resolução CONAMA n° 357 de 2005 (Brasil, 2005) para o parâmetro CTERMO.

**Tabela 3.** Valores limites de cada classe para o cálculo da medida de qualidade ( $q_i$ ) para os parâmetros selecionados.

Classe	$q_i$	pH <sup>I</sup> -	COND <sup>II</sup> ( $\mu\text{S/cm}$ )	DUR <sup>I</sup> ( $\text{mg,L}^{-1}$ )	RAS <sup>II</sup> -	NO <sub>3</sub> <sup>-I</sup> ( $\text{mg,L}^{-1}$ )	CTERMO <sup>III</sup> (NMP)
I	85-100	4,0 - 5,0	0,0 - 10,0	0,0 - 10,0	2,0 - 3,0	0,0 - 5,0	0 - 200
II	60-85	5,0 - 6,5	10,0 - 50,0	10,0 - 25,0	3,0 - 6,0	5,0 - 15,0	200 - 1200
III	35-60	6,5 - 8,4	50,0 - 100,0	25,0 - 45,0	6,0 - 12,0	15,0 - 30,0	1200 - 2400
IV	0-35	4,0 - 8,4	0,0 - 100,0	0,0 - 45,0	2,0 - 12,0	0,0 - 30,0	0 - 2400

I. Valores limites de pH, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e DUR com base em Ayers e Westcost (1985) / II. Valores limites de COND e RAS com base em Meireles et al. (2010) / III. Valores limites para CTERMO com base na Resolução CONAMA n° 357/05.

### 3.3. Índice de Qualidade da Água para Irrigação (IQAI)

A partir dos cálculos efetuados foram determinados os valores das medidas de qualidade ( $q_i$ ) para cada parâmetro em cada ponto amostral, levando em consideração as análises laboratoriais realizadas. Os valores dos pesos ( $w_i$ ) foram calculados a partir da Equação 2, levando em consideração os Autovalores e Cargas Fatoriais (Autovetores) dos três corpos hídricos, de forma que o somatório dos pesos fosse igual a 1. O IQA foi obtido por meio da Equação 3, a partir do somatório da qualidade individual de cada variável ( $q_i$ ) ponderado pelo peso desta variável na avaliação da variabilidade total da qualidade da água ( $w_i$ ) para irrigação.

**Tabela 4.** Medidas de qualidade  $q_i$ , valores dos pesos  $w_i$  calculados para cada parâmetro e valor do IQAI calculado para os pontos S1, S2 e S3.

Ponto	$q_i$ pH	$q_i$ COND	$q_i$ DUR	$q_i$ RAS	$q_i$ NO <sub>3</sub>	$q_i$ CTERMO	IQAI
S1	62	91	95	97	91	93	<b>98</b>
S2	66	91	93	98	86	79	<b>92</b>
S3	69	90	93	98	83	77	<b>90</b>
$w_i$	-0,176	0,347	0,053	0,224	0,204	0,348	$\sum w_i = 1$

Como pode ser observado na Tabela 4, os maiores pesos para o IQA foram atribuídos às variáveis COND e CTERMO, sendo que a variabilidade desses parâmetros é a principal responsável pela sensibilidade do índice. Já as variáveis pH e DUR obtiveram os menores pesos, o que confere ao índice menor suscetibilidade ao pH e às concentrações de Ca e Mg, representados no índice pela dureza total da água (DUR).



O fato da variável CTERMO ter apresentado o maior peso para composição do IQA (0,348) pode estar associado ao uso e ocupação da bacia do Córrego Sarandi, onde a pastagem é a classe de maior cobertura da bacia, contribuindo com 33,96% de superfície, além da presença de loteamentos circunvizinhos na área bacia (Assis, 2013). Atividades típicas da região como a criação de gado e o lançamento de efluentes das moradias rurais podem contribuir com o incremento de *E. coli* (CTERMO) nas águas do rio do índice.

Metodologia semelhante foi adotada por Andrade et al. (2005), Meireles et al. (2010) e Mutasher (2013). Esses autores utilizaram um IQA para avaliar a qualidade das águas para irrigação nos rios Trussu (Ceará, Brasil), Acaraú (Ceará, Brasil) e Al- Husseinieh (Karbala, Iraque), respectivamente. Na elaboração dos índices descritos nesses trabalhos, os maiores pesos encontrados foram para a variável condutividade elétrica (COND), refletindo as características da água de regiões áridas e semi-áridas, onde problemas de salinidade ocorrem com mais frequência, com a lixiviação e carreamento de sais solúveis com baixas precipitações e às altas taxas de evaporação, sendo acelerado pelas irrigações sem estudo prévio e pela drenagem deficiente (Silva et al., 2011).

Com base nos valores limites adaptados de diretrizes de qualidade de água para irrigação (Tabela 3), foi feita uma divisão do IQAI em classes, levando em consideração o risco de problemas de salinidade, redução da infiltração de água no solo, bem como risco de contaminação por patógenos. A adaptação dos valores limites foi imprescindível, uma vez que as águas da região possuem características distintas.

As restrições para as classes de uso, bem como recomendações para utilização da água em solo e planta estão sumarizados na Tabela 5, Com base nos resultados obtidos de IQAI (Tabela 4) e comparação com as Classes propostas, foi possível constatar que as águas dos três pontos de amostragem não evidenciaram restrições para fins de irrigação (SR), durante o período de estudo, obtendo IQAIs de 98 para S1, 92 para S2 e 90 para S3. Esses resultados estão de acordo com estudo realizado por Azevedo et al. (2002), que analisaram a qualidade da água para irrigação em 12 núcleos rurais do Distrito Federal e evidenciaram que, em geral, as águas superficiais são de boa qualidade para irrigação na região.

**Tabela 5.** Classes de IQAI e recomendações para utilização da água para irrigação.

IQAI	Restrições de Uso	Recomendações	
		<i>Solo</i>	<i>Planta</i>
85 ≤ 100	Sem Restrição (SR)	Pode ser usado para a maioria dos solos com baixa probabilidade de causar salinidade e problemas de sodicidade, sendo recomendada lixiviação dentro das práticas de irrigação, com exceção em solos com extremamente baixa permeabilidade.	Sem risco de toxicidade para a maioria das plantas e sem risco de contaminação por <i>E. coli</i> .
70 ≤ 85	Baixa Restrição (BR)	Recomendado para uso em solos irrigados com textura leve ou moderada permeabilidade, sendo recomendada a lixiviação de sal. Sodicidade do solo em solos de textura pesados podem ocorrer, sendo recomendado evitar o seu uso em solos com altos níveis de argila 2:1.	Evitar em plantas sensíveis à salinidade, Imprópria para hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película.
55 ≤ 70	Média Restrição (MR)	Pode ser usado em solos com valores de moderados a altos de permeabilidade, sendo sugerido lixiviação moderada de sais.	As plantas com tolerância moderada a sais podem ser cultivadas, Imprópria para hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película e para hortaliças em geral e plantas frutíferas.
40 ≤ 55	Alta Restrição (AR)	Pode ser usado em solos com alta permeabilidade, sem camadas compactas, Cronograma de irrigação de alta requência deve ser adotado para água com COND acima 2000 dS/m e RAS acima de 7,0.	Deve ser usado para a irrigação de plantas com moderada a alta tolerância a sais, Imprópria para hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, para hortaliças em geral e plantas frutíferas, culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras.
0 ≤ 40	Rigorosa Restrição (RR)	Deve ser evitada a sua utilização para a irrigação, em condições normais, Em casos especiais, pode ser usado ocasionalmente, Para águas com alto teor salino, o solo deve ter elevada permeabilidade, e o excesso de água deve ser aplicada para evitar a acumulação de sais.	Apenas para irrigação de plantas com tolerância elevada de sais, Alto risco de contaminação por <i>E. coli</i> .

Adaptado de Meireles et al. (2010).

#### 4. CONCLUSÕES

Neste estudo, a Análise de Componentes Principais permitiu a seleção dos parâmetros envolvidos na determinação da qualidade da água no Córrego Sarandi, através da seleção de quatro fatores, que explicaram 81,91% da variância total dos dados, Os parâmetros adotados no índice (pH, COND, DUR, RAS, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e CTERMO) refletiram adequadamente a qualidade da água do córrego, apresentando maior carga fatorial entre outros critérios relevantes.

O ajuste realizado nos limites aceitáveis, para o cálculo das medidas de qualidade individuais, foi de suma importância, uma vez que considerou as características da água da região. O maior peso conferido ao parâmetro coliforme termotolerante na composição do índice está relacionado à cobertura do solo, composto em sua maioria por pastagens.

O índice desenvolvido demonstrou pequena diferença para os pontos amostrais, sendo que o S1 (nascente do Córrego Sarandi) obteve o maior índice de qualidade de água para irrigação IQAI, As águas superficiais, nos três pontos de amostragem, foram consideradas apropriadas, sem restrições (SR), à prática de irrigação ao longo de todo o período.

O IQAI apresentou uma boa adequação para medir a qualidade das águas do Córrego Sarandi, podendo ser perfeitamente empregado na avaliação da qualidade da água superficial de corpos hídricos com características semelhantes.

## 5. REFERÊNCIAS

- Abbasi, T., Abbasi, S.A., 2012, Water quality indices. Elsevier, UK, 384pp.
- ANA, 2012. Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil 2012. Agência Nacional de Águas, Brasília, 264pp.
- Andrade, E. M., Palácio, H.A.Q., Crisóstomo, L.A., Souza, I.H., Teixeira, A.D., 2005. Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, 36, 135-142.
- Andrade, T.S., Montenegro, S.M.G.L., Montenegro, A.A.A., Rodrigues, D.F.B., 2012. Variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica da água subterrânea na região semiárida de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16, 496–504.
- APHA, 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater, 22 ed, Washington, DC.
- Assis, T., 2013. Dinâmica da Cobertura da Terra da Bacia do Sarandi (DF) através de análise multitemporal e multisensor. Monografia (Gestão Ambiental), FUP/UNB, Brasília, 35pp.
- Ayers, R. S., Westcot, D. W, 1999. A qualidade da água na agricultura, Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29, UFPB, Campina Grande, 153 pp.
- Azevedo, J.A., Shibano, K., Gomes, A.C., 2002. Análise da qualidade da água utilizada para irrigação em algumas localidades no Distrito Federal. Comunicado Técnico 82, Embrapa Cerrados, Planaltina, 4pp.
- Bernardo, S., 2002. Manual de irrigação, Imprensa Universitária, Viçosa, 656pp.
- Bhavan, M., Shah, B., Marg, Z., 1987. Indian standard guidelines for the quality of irrigation water, Bureau of Indian Standards, Nova Delhi, 12pp.
- Bollman, H. A., Marques, D.M., 2000. Bases para Estruturação de Indicadores de Qualidade de Águas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 5, 37-60.
- Branco, S.M., Azevedo, S.M.F.O., Tundisi, J.G., 2006. Água e saúde humana, In: Rebouças, A.C., Braga, B.; Tundisi, J.G. (Eds). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. Escrituras Editora, São Paulo, 748pp.
- Brasil, 2005. Resolução CONAMA nº357 de 17 de março de 2005, Brasília.
- Cardoso, H.E.A., Mantovani, E.C., Costa, L.C., 1998. As águas da agricultura, *Agroanalysis*, 12, 27-28.

- CCME, 1999. Canadian Environmental Quality Guidelines for Irrigation Water, CCME Documents, Winnipeg, MB.
- CETESB, 2014. IQA Índice de qualidade das águas, Disponível em <[http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guasSuperficiais/42-%C3%8Dndice-de-Qualidade-das%C3%81guas-\(iqa\)>](http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guasSuperficiais/42-%C3%8Dndice-de-Qualidade-das%C3%81guas-(iqa)>).
- Christophodis, D., 2013. Água, irrigação e agropecuária sustentável, Revista de Política Agrícola, 1, 2013, 115-127.
- Cordeiro, G.G., 2001. Qualidade de água para fins de irrigação (conceitos básicos e práticos), Documentos n° 167, Embrapa Semi-Árido, Petrolina, PE, 34pp.
- Cosgrove, E.C., Cosgrove, W.J., 2012. The Dynamics of Global Water Futures driving forces 2011-2050. UNESCO, Paris, 100pp.
- Dotto, S.E., 1993. Índice de qualidade de água para culturas irrigadas, Dissertação (mestrado), FEC/ÚNICA, Campinas, 229pp.
- Dotto, S.E., Santos, R.F., Singer, E.M., 1996. Determinação de um índice de qualidade de água para algumas culturas irrigadas em São Paulo, Bragantia, 55, 193-200.
- Enderlain, U.S., Enderlain, R.E., Williams, W.P., 2005. Water quality requirements. In Helmer, R., Hespanhol, I, (Eds.). Water pollution control - a guide to the use of water quality management principles, St Edmundsbury Press, Great Britain.
- Grattan, S.R., 2002. Irrigation water salinity and crop production, Water quality fact sheet, Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, UC/DANR, 9pp.
- Hair, J.J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L., Black, W.C., 2005. Análise multivariada de dados, 5,ed. Porto Alegre: Bookman, 593pp.
- Jolliffe, L.T., 2002. Principal component analysis, 2,ed. New York: Springer, 487pp.
- Krause, G., Rodrigues, A.F., 1998. Recursos hídricos do Brasil, MMA/SRH, Brasília, 33pp.
- Lima, J.E.F.W., Ferreira, R.S.A., Christophodis, D. 1999. O Uso da Irrigação no Brasil. In: Estado das Águas no Brasil -1999: Perspectivas de Gestão e Informação de Recursos Hídricos, SIH/ANEEL/MME; SRH/MMA, 73-82.
- Lopes, F.B., Andrade, E.M., Aquino, D.N., Lopes, J.F.B., 2009. Proposta de um índice de sustentabilidade do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará, Brasil. Revista Ciência Agronômica, 40, 185-193.

- Maia, C.E., Rodrigues, K.K.R.P., 2012. Proposal for an Index to Classify Irrigation Water Quality: A Case Study in Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36, 23-830.
- Marcone, G.P.S., 2006. Implementação de ponderação baseada em IQAs na análise exploratória (HCA e PCA) para estudos de qualidade de água. Dissertação (mestrado), Programa de Pós-Graduação em Química, UFPB, João Pessoa, 61pp.
- Meireles, A.C.M., Andrade, E.M., Chaves, L.C.G., Frischkorn, H., Crisostomo, L.A., 2010. A new proposal of the classification of irrigation water. *Revista Ciência Agronômica*, 41, 349-357.
- MI/IICA, 2008, A irrigação no Brasil: situação e diretrizes. Ministério da Integração Nacional/IICA, Brasília, 132pp.
- Mutasher, A.A., 2013. Assment of water quality of Al-Husseinieh River, Karbala Governorate, Iraq for irrigation purpose by using Water Quality Index. *AL-Taqani*, 26, 1-15.
- Nakai, E.H., Rosa, H.A., Moreira, C.R., Santos, R.F., 2013. Qualidade da água utilizada em irrigação no rio São Francisco falso braço sul- estado do Paraná. *Cultivando o Saber*, 6, 214-224.
- Ongley, E.D., 1996. Control of water pollution from agriculture - FAO irrigation and drainage paper 55. GEMS/WCCC, Canada, 1996.
- Pachepsky, Y.A., Shelton, D.R., McLain, J.E.T., Patel, J., Mandrell, R.E., 2011. Irrigation waters as a source of pathogenic microorganisms in produce: a review. *Advances in Agronomy*, 113, 73-138.
- Palácio, H.A.Q., 2004. Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 96pp.
- Paralta, E., Ribeiro, L., 2000. Análise variográfica e cartografia de risco da contaminação por nitratos na região de Beja. *Recursos Hídricos*, 21, 47-58.
- Parron, L.M., Muniz, D.H.F., Pereira, M.C., 2011. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Documentos nº 232, Embrapa Florestas, Colombo, 69pp.
- Paulino, J., Folegatti, M.V., Zolin, C.A., Román, R.M.S., José, J.V., 2011. Brazil agriculture irrigated status according to the agricultural census of 2006. *Brazilian Journal of Irrigation and Drainage*, 16, 163-176.
- Paz, V.P.S., Teodoro, R.E.F., Mendonça, F.C., 2000. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4, 465-473.

- Phocaides A., 2007. Technical handbook on pressurized irrigation techniques. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 195 pp.
- Rigolin-Sá, O., Pereira, K.C., 2005. Avaliação da qualidade de higiênico-sanitária de hortaliças e da água utilizada em hortas situadas na cidade de Passos-MG. *Revista Hispeci & Lema*, 8, 22-23.
- Scanlon, B.R., 2007. Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: quantity versus quality. *Water Resources Research*, 43, 18 pp.
- Silva, I.N., Fontes, L.O., Tavella, L.B., Oliveira, J.B., Oliveira, A.C., 2011. Qualidade de água para irrigação. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, 7, 1-15.
- Silva, G.L., Aureliano, J.T., Lucena, S.V.O., 2012. Proposição de um índice de qualidade de água bruta para abastecimento público. *REGA*, 9, 17-24.
- Simsek, C., Gunduz, O., 2007. IWQ Index: A GIS-integrated technique to assess irrigation water quality. *Environ. Monit. Assess.* 128, 277-300.
- USEPA, 2006. Global anthropogenic non-CO<sub>2</sub> greenhouse gas emission:1990-2020, USEPA, EPA 430-R-06-003, Washington, DC.
- Valente-Campos, S., Umbuzeiro, G.A., Nascimento, E.S., 2008. Subsídios e desafios para a definição de critérios de qualidade de água referente às substâncias químicas para água de irrigação, *J. Braz. Soc. Ecotoxicol.*, 3, 71-75.
- Vanzela, L.S., 2004. Qualidade de água para a irrigação na microbacia do Córrego Três Barras no município de Marinópolis. Dissertação (mestrado), UNESP, Ilha Solteira, 105pp.
- Wriedt, G., Van der Velde, M., Aloe, A., Bouraoui, F., 2008. Water requirements for irrigation in the European Union. European Commission/Joint Research Centre/Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg, 59pp.
- Zagatto, P.A., Lorenzetti, M.L., Lamparelli, M.C., Salvador, M.E.P., Menegon Jr, N., Bertolotti, E., 1999. Aperfeiçoamento de um índice de qualidade de águas. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 11, 111-126.