

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

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA
QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA
MICROBACIA DO CÓRREGO ALEGRIA APÓS
ACIDENTE FERROVIÁRIO DE JUNHO DE 2003
EM UBERABA/MG E SUA RELAÇÃO COM OS
MEIOS FÍSICO E ANTRÓPICO**

Maurício Ferreira Guimarães

Belo Horizonte

2014

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA QUALIDADE
DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA MICROBACIA DO
CÓRREGO ALEGRIA APÓS ACIDENTE
FERROVIÁRIO DE JUNHO DE 2003 EM
UBERABA/MG E SUA RELAÇÃO COM OS MEIOS
FÍSICO E ANTRÓPICO**

Maurício Ferreira Guimarães

Maurício Ferreira Guimarães

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA QUALIDADE
DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA MICROBACIA DO
CÓRREGO ALEGRIA APÓS ACIDENTE
FERROVIÁRIO DE JUNHO DE 2003 EM
UBERABA/MG E SUA RELAÇÃO COM OS MEIOS
FÍSICO E ANTRÓPICO**

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

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Caracterização, prevenção e controle da poluição.

Orientador: Eduardo von Sperling

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2014

G963a

Guimarães, Maurício Ferreira.

Avaliação espaço-temporal da qualidade das águas superficiais da microbacia do Córrego Alegria após incidente ferroviário de junho de 2003 em Uberaba/MG e sua relação com os meios físico e antrópico[manuscrito]/ Maurício Ferreira Guimarães.– 2014.
xv, 110 f.: il.

Orientador: Eduardo von Sperling.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 104-110.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Meio ambiente - Teses. 3. Recursos hídricos - Desenvolvimento - Teses. 4. Água - Qualidade - Teses. 5. Produtos químicos - Medidas de segurança - Teses. 6. Ferrovias – Acidentes - Teses. I. Von Sperling, Eduardo. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia

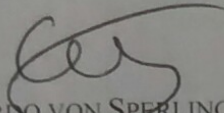
Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte - BRASIL
Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br
<http://www.smarh.eng.ufmg.br>

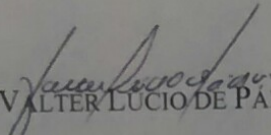
FOLHA DE APROVAÇÃO

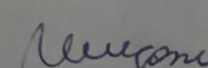
Avaliação espaço-temporal da qualidade das águas superficiais da microbacia do córrego Alegria (Uberaba/MG) e suas relações com os meios físico e antrópico

MAURÍCIO FERREIRA GUIMARÃES

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:


Prof. EDUARDO VON SPERLING - Orientador


Prof. VALTER LUCIO DE PADUA

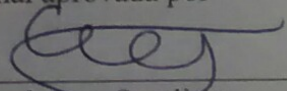

Prof.ª LEILA NUNES MENEGASSE VELÁSQUEZ


WANDERLENE FERREIRA MACIF

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Profa. Juliana Calábria de Araújo
Coordenadora

Versão Final aprovada por



Prof. Eduardo von Sperling
Orientador

Belo Horizonte, 03 de junho de 2014.

AGRADECIMENTOS

2011 certamente foi um ano que me marcou e a decisão pelo ingresso neste Mestrado não foi nada fácil, assim como os anos que se seguiram até eu poder, finalmente, concluir mais esta etapa da minha vida. Uma série de transformações profissionais e pessoais que mudariam o rumo da minha vida ocorreram como uma avalanche que me sacudiu e me tirou da minha zona de conforto mostrando o quanto eu seria capaz de assumir o comando de minhas ações e enfrentar as consequências.

Para tanto, tive a felicidade de contar com pessoas que me ajudaram a ser um homem mais confiante e seguro. Agradeço a estes amigos, como Guilherme Andrade, Carmen Lucariny e Yaico Albuquerque que acreditaram em mim e contribuíram de forma decisiva na conclusão deste documento. Sem dúvida, um agradecimento especial a minha amiga Crystal Nicole Caban que teve participação decisiva, sempre acreditando no meu potencial... por vezes mais do que eu mesmo.

Não seria nem preciso dizer, mas não posso deixar de dedicar mais esta conquista ao meu filho e companheiro, Jorge D. Guimarães que amo tanto e pelo qual tento sempre me superar como pai e amigo, assim como a minha mãe e irmã que sempre estiveram presente, ainda que distante daqui, me apoiando durante esta jornada.

Agradeço, também, à Ferrovia Centro-Atlântica S/A pela oportunidade dada que me possibilitou ir às aulas na UFMG e participar de algumas poucas saídas de campo e reuniões presenciais, além, é claro, da disponibilidade de dados e ferramentas que subsidiaram o tratamento e interpretação dos dados.

Por fim, mas não menos importante, agradeço ao meu orientador por me encorajar a continuar trabalhando arduamente neste projeto, acreditando sempre na sua importância e contribuição para o meio acadêmico.

A verdade está lá fora.
The X-Files

RESUMO

O estudo baseia-se na avaliação dos resultados analíticos de parâmetros de interesse em amostras de águas coletadas no córrego Alegria e rio Uberaba, no período de 2003 a 2013, em estações de monitoramento próximas à cidade de Uberaba, estado de Minas Gerais. As campanhas conduzidas na localidade situada na Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Uberaba foram iniciadas após o descarrilamento de parte de composição Ferroviária e consequente vazamento de produtos químicos perigosos (alcoóis e Cloreto de Potássio) sobre solo e águas do córrego Alegria que ocasionou a suspensão do abastecimento de água da cidade por 07 dias e tiveram sua origem atribuídas a um Termo de Ajustamento de Conduta assinado entre Ferrovia Centro-Atlântica S/A e Ministério Público, dentre outros signatários objetivando, portanto, avaliar a qualidade da água de acordo com os produtos derramados pelo acidente. Mesmo após eliminados os riscos de novo desabastecimento em consequência das baixas concentrações dos alcoóis monitorados, os monitoramentos não foram interrompidos, originando extenso banco de dados com intervalo quinzenal de coleta de amostras que permitiu uma avaliação espaço-temporal detalhada do comportamento de Cloreto, Potássio dissolvido, Ferro dissolvido, pH e Condutividade Elétrica nas águas do córrego Alegria de acordo com o arcabouço físico e antrópico da microbacia e, de forma secundária, das águas do rio Uberaba. De acordo com a metodologia utilizada e os resultados alcançados, foi possível obter evidências de variações composicionais da qualidade das águas do córrego Alegria (e rio Uberaba) atribuídas a: 1) variação pluviométrica; 2) morfometria da bacia; 3) constituição litológica; 4) cobertura vegetal; e 5) uso e ocupação do solo. O estudo apontou, ainda, para a necessidade de levantamentos de campo adicionais, os quais, compreendendo toda a microbacia do córrego Alegria, envolvessem a caracterização do seu uso e ocupação através do levantamento das atividades agropecuárias desenvolvidas, assim como o mapeamento geológico e pedológico de detalhe para verificação da correlação de diferentes fácies litológicas com variações composicionais das águas superficiais. Análises complementares de Nitrogênio Amoniacal e Turbidez também são desejáveis no sentido de avaliar a influência de efluentes animais na qualidade do curso d'água.

Palavras-Chave: Qualidade de Água; Acidente Ferroviário; Produtos Químicos Perigosos; Córrego Alegria; Rio Uberaba.

ABSTRACT

On June 10, 2003, a train crash occurred in Uberaba/MG involving the derailment of eighteen wagons spilling dangerous chemicals products (methanol, octanol, isobutanol and potassium chloride) directly on the ground, affecting water of Alegria Stream, an important tributary of the Uberaba River. This paper describes the implementation of an intensive monitoring program and the results from a space-time evaluation of surface water quality in the Alegria stream's micro-basin, using environmental and anthropic variables.

The study was based on the evaluation of analytical results from 292 monitoring campaigns in 9 sampling stations with a fortnightly average frequency during two periods: June 16 to August 8, 2003; and April 10, 2005 to July 4, 2012. The main parameters analyzed were: electrical conductivity, pH, chloride, soluble potassium and soluble iron. Concentrations of chloride, total iron and total potassium were also taken from the analyses of 153 samples in 51 points distributed over the area of the accident in three distinct horizons (surface, intermediate and deep), plus 10 samples (surface) collected near both banks of the Alegria stream in an area less anthropized (agriculture).

Soil results from samples collected in the area of the accident show a low variability in depth for chloride, while the results from soil samples collected along the Alegria stream banks suggests a relative enrichment over the years through the use of fertilizers. An increase in concentration with depth for total potassium and total iron reflects the effect caused by the proximity with a basaltic bedrock.

Variations of chloride and soluble Potassium in surface water presented a strong correspondence with rainfall periods, with concentration peaks often associated during the first rains and input of sediments to the river bed. The lithology composition seems to affect the availability of soluble potassium in surface water and, in a lesser extent, it is also relates to the adoption of potash fertilizers used in the Alegria and Uberaba basins. Comparisons between chloride and soluble potassium concentrations from water samples collected downstream and upstream from the point of the accident suggest that it did not compromise the water quality of the Alegria stream.

Concentrations of soluble iron in water samples seem to be related not only as a consequence of morphometric differences between the two basins, but also as a response from different

levels of environmental degradation and characteristics for use and occupation. The turbidity in the Uberaba river tends to remain high for a period greater than in the Alegria stream. Close intervals between medians were checked during rainy seasons in both rivers, while during dry seasons lower medians were observed in Uberaba river, tending to be higher than the Alegria stream.

According to the selected methodology and results acquired it is correct to believe that the variations in the water quality of Alegria stream, in time and space, are associated to the following main factors: 1) rainfall (rain rate and total rain); 2) watershed form (morphometric parameters); 3) lithologic constitution; 4) vegetation cover; and 5) uses and occupation of the area (basin).

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS.....	XI
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	XIII
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	6
2.1 OBJETIVO GERAL.....	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
3 CARACTERIZAÇÃO DO ENTORNO E ÁREA DE ESTUDO.....	7
3.1 O MUNICÍPIO DE UBERABA E O ABASTECIMENTO DE ÁGUA	7
3.1.1 <i>A cidade de Uberaba</i>	7
3.1.2 <i>O abastecimento de água em Uberaba</i>	7
3.2 ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA) DA BACIA HIDROGRÁFICA RIO UBERABA.....	8
3.2.1 <i>Sobre a Área de Proteção Ambiental</i>	8
3.2.2 <i>Arcabouço Ambiental</i>	9
3.2.3 <i>Clima</i>	10
3.2.4 <i>Geologia Regional</i>	10
3.2.5 <i>Geomorfologia e Pedologia</i>	13
3.2.6 <i>Hidrografia</i>	14
3.2.7 <i>Uso e ocupação do solo</i>	16
3.3 A MICROBACIA DO CÓRREGO ALEGRIA	17
3.3.1 <i>Localização e caracterização</i>	17
3.3.2 <i>Meio Físico</i>	19
3.3.3 <i>Uso e ocupação do solo</i>	20
4 REVISÃO DA LITERATURA	23
4.1 ESPÉCIES QUÍMICAS DE INTERESSE E COMPORTAMENTOS NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS.....	23
4.1.1 <i>Cloreto (Cl⁻)</i>	23
4.1.2 <i>Potássio (K⁺)</i>	26
4.1.3 <i>Ferro Dissolvido</i>	29
4.2 MANEJO DE FERTILIZANTES E OS IMPACTOS DA IRRIGAÇÃO NA QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS	32
4.3 EFLUENTES ANIMAIS E O IMPACTO AMBIENTAL EM FONTES NATURAIS DE ÁGUAS	34
4.4 O ENQUADRAMENTO DE CORPOS D'ÁGUA	35
5 METODOLOGIA.....	38
5.1 AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE CHUVAS NA ÁREA DA APA DO RIO UBERABA	38
5.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO UBERABA NA APA	39
5.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO DE TRECHO DA MICROBACIA DO CÓRREGO ALEGRIA.....	40
5.4 PLANO DE AMOSTRAGEM DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	42
5.5 COLETA E ANÁLISES LABORATORIAIS	47
5.6 BANCO DE DADOS.....	49
5.7 ANÁLISE PRELIMINAR DOS PARÂMETROS MONITORADOS NAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM.....	50
5.8 VERIFICAÇÃO DE POSSÍVEL ALTERAÇÃO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO CÓRREGO ALEGRIA DEVIDO AO DERRAMAMENTO DE KCL EM JUNHO DE 2003	51
5.9 DESCRIÇÃO DAS VARIAÇÕES ESPAÇO-TEMPORAIS DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE INTERESSE NAS ÁGUAS DO CÓRREGO ALEGRIA E RIO UBERABA	52
5.10 AVALIAÇÃO TEMPORAL E COMPARATIVA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO CÓRREGO ALEGRIA COM AS DO RIO UBERABA.....	54
5.11 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO CÓRREGO ALEGRIA DE ACORDO COM VALORES DE REFERÊNCIA E VMPS ESTABELECIDOS EM ESTUDOS E REGULAMENTAÇÕES NACIONAIS E INTERNACIONAIS.....	55
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
6.1 AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE CHUVAS NA ÁREA DA APA DO RIO UBERABA	58

6.2	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO UBERABA NA APA	60
6.3	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO DE TRECHO DA MICROBACIA DO Córrego Alegria.....	62
6.4	ANÁLISE PRELIMINAR DOS PARÂMETROS MONITORADOS NAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DE ÁGUAS DO Córrego Alegria e Rio Uberaba	65
6.5	VERIFICAÇÃO DE POSSÍVEL ALTERAÇÃO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO Córrego Alegria APÓS DERRAMAMENTO DE KCl EM JUNHO DE 2003	69
6.6	DESCRIÇÃO DAS VARIAÇÕES ESPAÇO-TEMPORAL DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE INTERESSE NAS ÁGUAS DO Córrego Alegria e Rio Uberaba	73
6.7	AVALIAÇÃO TEMPORAL E COMPARATIVA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO Córrego Alegria COM AS DO RIO UBERABA.....	89
6.8	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO Córrego Alegria DE ACORDO COM VALORES DE REFERÊNCIA E VMPs ESTABELECIDOS EM ESTUDOS E REGULAMENTAÇÕES NACIONAIS E INTERNACIONAIS.....	98
7	CONCLUSÕES	101
8	RECOMENDAÇÕES.....	103
9	REFERÊNCIAS	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Mapa de situação do local do acidente e ponto de captação de água do CODAU (esquerda) e detalhe da área afetada às margens do córrego Alegria (direita).....	2
Figura 1.2 - Combate ao fogo ocasionado pela queima de alcoóis após acidente.....	4
Figura 1.3 - Vagões-tanque empilhados sobre linha férrea após acidente ferroviário.....	4
Figura 1.4 - Vazamento de alcoóis proveniente de vagão-tanque tombado próximo ao leito ferroviário.....	4
Figura 1.5 - Imagem aérea da disposição dos vagões e movimentações iniciais durante atendimento à emergência.....	4
Figura 1.6 - Imagem aérea. Detalhe da disposição dos vagões situados logo após ponte sobre o córrego Alegria.....	4
Figura 1.7 - Vista aérea do desvio do córrego Alegria a partir do ponto do local do acidente até desaguar no rio Uberaba.....	4
Figura 3.1 - Localização do município de Uberaba.....	7
Figura 3.2 - Área do município e da Área de Proteção Ambiental - APA de Uberaba.....	9
Figura 3.3 - Mapa geológico da região do triângulo mineiro e adjacências.....	13
Figura 3.4 - APA do rio Uberaba demonstrando a distribuição e participação das microbacias que compõem o alto do rio Uberaba (APA do rio Uberaba).....	15
Figura 3.5 - Mapa geológico da APA do rio Uberaba.....	19
Figura 3.6 - Foz do córrego Alegria mostrando eventos distintos de derramamento de lava basáltica da Fm. Serra Geral. 19°39'21,76"S / 47°54'39,15"O.....	20
Figura 3.7 - Afloramento de basalto da Fm Serra Geral na margem direita do rio Uberaba em frente a estação de monitoramento P-10. 19°39'22,41"S / 47°54'40,07"O.....	20
Figura 3.8 - Leito rochoso (basalto da Fm. Serra Geral) em trecho do córrego Alegria próximo a estação P-06. 19°39'26,89"S/ 47°54'26,12"O.....	20
Figura 3.9 - Arenito cinerítico da Fm. Uberaba. 19°39'42,46"S / 47°53'45,03"O.....	20
Figura 3.10 - Mapa de uso do solo do alto curso do rio Uberaba.....	21
Figura 3.11 - Pesque-Pague (Pesqueiro Vida Boa). 19°39'44,73"S / 47°53'45,94"O.....	22
Figura 3.12 - Criação de gado leiteiro. 19°40'23,72"S / 47°52'21,06"O.....	22
Figura 3.13 - Terra sendo preparada para o plantio de milho. 19°41'07,10"S / 47°51'42,39"O.....	22
Figura 3.14 - Plantação de soja. 19°40'32,20"S / 47°52'26,23"O.....	22
Figura 5.1 - Localização e distribuição das estações meteorológicas utilizadas no estudo para determinação do volume diário de precipitação no período de 2003 a 2012.....	38
Figura 5.2 - Mapa da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Grande no segundo trimestre de 2013 – UPGRHs GD6, GD7 e GD8.....	39
Figura 5.3 - Distribuição dos pontos de coleta de amostras superficiais nas proximidades do leito do córrego Alegria.....	41

Figura 5.4 - Imagem aérea contemplando posicionamento dos pontos de coleta de águas superficiais, à exceção do ponto 9 (CODAU).	44
Figura 5.5 - Coleta na estação P-02 do córrego Alegria.	45
Figura 5.6 - Coleta na estação P-03 do córrego Alegria.	45
Figura 5.7 - Coleta na estação P-04 do córrego Alegria.	45
Figura 5.8 - Coleta na estação P-05 do córrego Alegria.	45
Figura 5.9 - Coleta na estação P-06 do córrego Alegria.	45
Figura 5.10 - Coleta na estação P-07 do córrego Alegria.	45
Figura 5.11 - Coleta na estação P-08 no rio Uberaba, montante da foz do córrego Alegria....	46
Figura 5.12 - Coleta na estação P-09 na captação de água do CODAU - rio Uberaba.....	46
Figura 5.13 - Coleta na estação P-10 no rio Uberaba, jusante da foz do córrego Alegria..	46
Figura 5.14 - Mapa de localização das estações de monitoramento P-01 e P-07 (círculos amarelos) e limites da área afetada diretamente pelo acidente.....	52
Figura 5.15 - Detalhe da foz do córrego Alegria no rio Uberaba e as estações de amostragem de água P-07, P-08 e P-10.	54
Figura 6.1 - Gráfico de variação do volume mensal de chuvas no período de 2003 a 2012....	58
Figura 6.2 - Volume de precipitação anual conforme períodos de estiagem e de chuvas entre 2003 e 2012.	59
Figura 6.3 - Distribuição média mensal do volumes de chuvas calculados no período de 2003 a 2012 para a área-alvo.	59
Figura 6.4 - Variação temporal dos parâmetros físico-químicos das amostras coletadas na estação BG058 (IGAM).	61
Figura 6.5 - Variação temporal de Ferro dissolvido e Turbidez a partir de amostras coletadas e analisadas pelo IGAM a partir da estação BG058 e respectivos Valores Máximos Permitidos - VMP (DN COPAM/CERH 01/08)*	62
Figura 6.6 - Distribuição estatística das concentrações de Cloreto no solo.	63
Figura 6.7 - Distribuição estatística das concentrações de Potássio total no solo.	64
Figura 6.8 - Distribuição estatística das concentrações de Ferro total no solo.....	65
Figura 6.9 - Distribuição temporal do somatório do número de ocorrências de valores extremos (Potássio dissolvido, Cloreto e Ferro dissolvido) por campanha de monitoramento nas estações P-01 a P-09.	67
Figura 6.10 - Distribuição da ocorrência de valores extremos ao longo dos meses.	67
Figura 6.11 - Gráfico dos registros de precipitação diárias e acumulada nos dias seguintes ao acidente Ferroviário (11/06/2003).	69
Figura 6.12 - Variação temporal das concentrações diárias de Cloreto nas estações de monitoramento P-01 e P-07 imediatamente após o acidente Ferroviário.	70
Figura 6.13 - Distribuição estatística das concentrações de Cloreto nas estações de monitoramento P-01 e P-07 no período de 11/06 a 05/08/2003.....	71

Figura 6.14 - Variação temporal das concentrações diárias de Potássio dissolvido nas estações de monitoramento P-01 e P-07 imediatamente após o acidente Ferroviário.....	72
Figura 6.15 - Distribuição estatística das concentrações de Potássio dissolvido nas estações de monitoramento P-01 e P-07 no período de 11/06 a 05/08/2003.....	72
Figura 6.16 - Variação temporal das concentrações de Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido em amostras de águas superficiais coletadas nas estações de monitoramento P-02 a P-04 do córrego Alegria (2005 a 2012).....	74
Figura 6.17 - Variação temporal das concentrações de Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido em amostras de águas coletadas nas estações de monitoramento P-05 a P-07 do córrego Alegria (2005 a 2012).....	75
Figura 6.18 - Variação temporal da Condutividade Elétrica em amostras de águas coletadas nas estações de monitoramento do córrego Alegria P-02 a P-07 (2005 a 2012).....	76
Figura 6.19 - Variação temporal do pH em amostras de águas coletadas nas estações de monitoramento do córrego Alegria P-02 a P-07 (2005 a 2012).	77
Figura 6.20 - Distribuição estatística (<i>box-and-whisker</i>) das concentrações de Cloreto nas estações P-02 a P-07 do córrego Alegria nos períodos de estiagem e chuvas (2005 - 2012). .	79
Figura 6.21 - Distribuição estatística (<i>box-and-whisker</i>) das concentrações de Potássio (K) Dissolvido nas estações P-02 a P-07 do córrego Alegria nos períodos de estiagem e chuvas (2005 - 2012).	80
Figura 6.22 - Distribuição estatística (<i>box-and-whisker</i>) das concentrações de Ferro dissolvido nas estações P-02 a P-07 do córrego Alegria nos períodos de estiagem e chuvas (2005 - 2012).	81
Figura 6.23 – Exemplo da variação temporal da precipitação diária e percentual da razão da concentração média de Cloreto nas águas do córrego Alegria pela concentração no rio Uberaba no período de 01/07/05 a 02/08/06.	83
Figura 6.24 – Exemplo da variação temporal da precipitação diária e percentual da razão da concentração média de Potássio dissolvido nas águas do córrego Alegria pela concentração no rio Uberaba no período de 01/07/05 a 02/08/06.	83
Figura 6.25 – Exemplo da variação temporal da precipitação diária e percentual da razão da concentração média de Ferro dissolvido nas águas do córrego Alegria pela concentração no rio Uberaba no período de 01/07/05 a 02/08/06.	84
Figura 6.26 - Trecho do córrego Alegria utilizado para travessia e dessedentação de gado. 19°39'24,77"S / 47°54'30,95"O.	85
Figura 6.27 - Detalhe da área de travessia de gado com aumento da turbidez.....	85
Figura 6.28 - Trecho do córrego Alegria (P-07) a jusante do ponto de travessia do gado.	85
Figura 6.29 - Trecho do córrego Alegria (P-07), a jusante do ponto de travessia do gado, com aumento da turbidez.	85
Figura 6.30 - Distribuição estatística (<i>box-and-whisker</i>) dos resultados analíticos do parâmetros de interesse por estação de monitoramento e sazonalidade (chuva e estiagem). ..	87
Figura 6.31 - Variação temporal das concentrações de Cloreto nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08 e P-10).....	89

Figura 6.32 - Distribuição estatística das concentrações de Cloreto nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08, P-9 e P-10).	90
Figura 6.33 - Variação temporal das concentrações de Potássio dissolvido nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08 e P-10).....	90
Figura 6.34 - Distribuição estatística das concentrações de Potássio dissolvido nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08, P-9 e P-10).	91
Figura 6.35 - Variação temporal do pH nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08 e P-10).....	91
Figura 6.36 - Distribuição estatística do valores de pH nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08, P-9 e P-10).	92
Figura 6.37 - Variação temporal dos valores de Condutividade Elétrica nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08 e P-10).....	92
Figura 6.38 - Distribuição estatística dos valores de Condutividade Elétrica nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08, P-9 e P-10).	93
Figura 6.39 - Variação temporal das concentrações de Ferro dissolvido nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08 e P-10).....	94
Figura 6.40 - Distribuição estatística das concentrações de Ferro dissolvido nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08, P-9 e P-10).	95
Figura 6.41 - Distribuição estatística das concentrações de Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido nas estações P-07 (córrego Alegria) e P-08 (rio Uberaba) durante períodos de chuva e estiagem.	98
Figura 6.42 - Uso e ocupação da porção final do córrego Alegria e localização das suas estações de monitoramento.	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Características das principais microbacias que compõem a região delimitada pela APA do rio Uberaba.....	16
Tabela 3.2 - Índices morfométricos da microbacia do córrego Alegria.....	18
Tabela 4.1 - Concentrações esperadas para Cloreto nas águas superficiais e respectivas classificações quanto ao seu uso humano.	26
Tabela 4.2 - Concentrações esperadas para Ferro nas águas superficiais e respectivas classificações quanto ao seu uso humano.	32
Tabela 4.3 - Composição química dos principais fertilizantes potássicos comercializados no Brasil.	32
Tabela 5.1 - Estações meteorológicas utilizadas para a determinação da precipitação diária na área de estudo.	38
Tabela 5.2 - Dados das estações de monitoramento das águas no córrego Alegria e rio Uberaba utilizadas no estudo.....	43
Tabela 5.3 - Parâmetros de interesse e respectivas características de acondicionamento e preservação.....	48
Tabela 5.4 - Parâmetros analisados e respectivos métodos analíticos utilizados.	49
Tabela 5.5 - Sumário do banco de dados utilizados de acordo com as estações de monitoramento e parâmetros de interesse.	50
Tabela 6.1 - Resumo da distribuição estatística calculada a partir de dados da estação BG058 no período de 03/2000 a 03/2013.	60
Tabela 6.2 - Distribuição estatística dos resultados analíticos de Cloreto em amostras de solo coletadas na área diretamente afetada pelo acidente Ferroviário e adjacências do córrego Alegria (referência).	63
Tabela 6.3- Distribuição estatística dos resultados analíticos de Potássio total a partir de amostras de solo coletadas na área diretamente afetada pelo acidente Ferroviário e adjacências do córrego Alegria (referência).	64
Tabela 6.4 - Distribuição estatística dos resultados analíticos de Ferro total a partir de amostras de solo coletadas na área diretamente afetada pelo acidente Ferroviário e adjacências do córrego Alegria (referência).	65
Tabela 6.5 - Estatística descritiva dos resultados analíticos dos parâmetros físico-químicos durante os diferentes períodos de monitoramento.	66
Tabela 6.6 - Definição dos valores extremos a partir da distribuição estatística das concentrações dos parâmetros de interesse das águas superficiais nas estações de monitoramento.....	68
Tabela 6.7 - Maiores e menores medianas a partir de concentrações no córrego Alegria e rio Uberaba nos períodos chuvosos e de estiagem considerando os parâmetros Potássio dissolvido, Cloreto e Ferro dissolvido (2005 - 2012).	78
Tabela 6.8 - Coeficiente ρ de Spearman resultantes da verificação das possíveis correlações entre parâmetros de interesse e sazonalidade (precipitação) no período de 2005 a 2012.....	88

Tabela 6.9 - Dados de coleta e distribuição estatística a partir das concentrações dos parâmetros de interesse em estações de monitoramento no córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08, P-09 e P-10) em 2013.	96
Tabela 6.10 - Variação das concentrações de Ferro dissolvido detectadas nas estações P-02 a P-07 no córrego Alegria e violações do VMP para potabilidade.	99

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

APA – Área de Proteção Ambiental

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CODAU – Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba

CPQ – Crítico Para Qualidade

COMIG – Companhia Mineradora de Minas Gerais

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental

CV – Coeficiente de Variação

CT - Contaminação por Tóxicos

Dd – Densidade de drenagem

DP - Desvio Padrão

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ENS – Ensaio Não Solicitado

FAP – Falta de Acesso ao Ponto

FCA – Ferrovia Centro-Atlântica S/A

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEF - Instituto Estadual de Florestas

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IQA – Índice de Qualidade de Água

KCl – Cloreto de Potássio

Kf – Fator forma

LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite

LQ – Limite de Quantificação do Método

MCL – *Maximum Contaminant Level*

N – Norte

NHMRC – *National Health and Medical Research Council*

O – Oeste

OMM - Organização Meteorológica Mundial

PA – Perda de Amostra

PERH - Política Estadual de Recursos Hídricos

PIB – Produto Interno Bruto

PNC – Ponto Não Coletado

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

PSA – Ponto Não Coletado Por Falta de Água

Q_{7,10} - Vazão Mínima de 7 dias com um Período de Recorrência de 10 anos

RADAM - Projeto Radam (Radar na Amazônia)

S – Sul

SAD - *South American Datum*

SAP - Soerguimento do Alto Paranaíba

SEMAD – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SEMEA – Secretaria Municipal de Meio Ambiente

SEMAT – Secretaria de Meio Ambiente e Turismo

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação

SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SMCL - *Secondary Maximum Contaminant Levels*

UC – Unidade de Conservação

UTM – *Coordinated Universal Time* (Tempo Universal Coordenado)

USEPA - *United States Environmental Protection Agency*

VMP – Valor Máximo Permitido

Unidades

°C – Graus Celsius

d – Dias

min - Minuto

m – Metro

mm - Milímetro

g – Grama

ha – Hectares

kg - Quilograma

km – Quilômetro

km² – Quilômetros quadrados

mg - Miligrama

L – Litro

L/s – Litros por segundo

mL - Mililitro

µL - Microlitro

1 INTRODUÇÃO

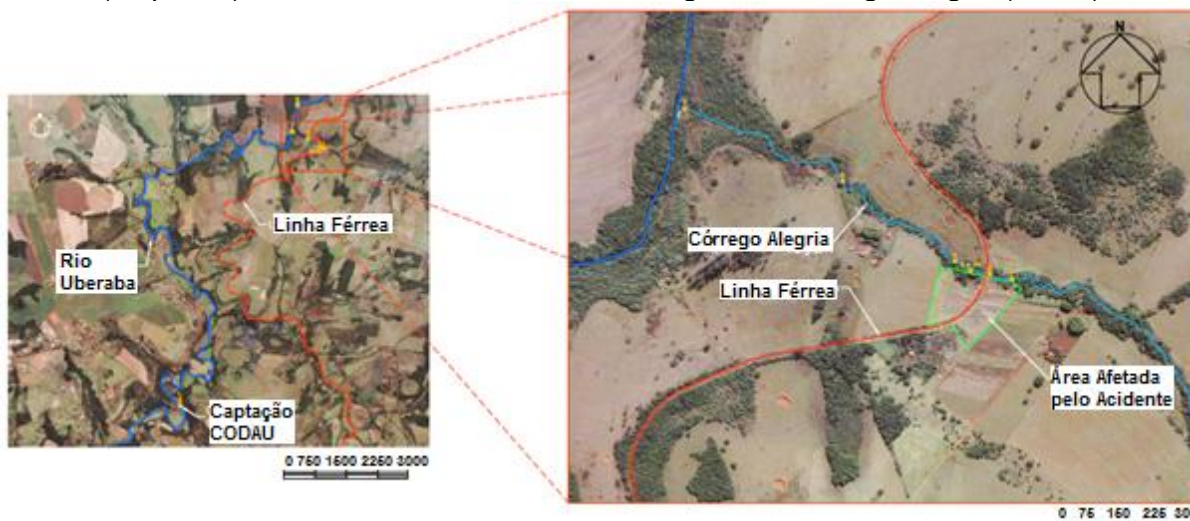
No dia 10 de junho de 2003, um trem da Ferrovia Centro-Atlântica (FCA) partiu do polo petroquímico de Camaçari, na Bahia, em direção a Paulínia, em São Paulo. Ao passar pela ponte sobre o córrego Alegria, importante afluente do Rio Uberaba, no quilômetro Ferroviário 1.033+345 (trecho Ibiá-Uberaba, entre as estações de Batira e Uberaba) ocorreu o descarrilamento de parte da composição do trem, ocasionando o tombamento de 18 vagões, dos quais oito carregavam Metanol, cinco continham Octanol, dois Isobutanol e três Cloreto de Potássio. O vazamento ocorreu em 14 dos 18 vagões tombados, sendo oito carregados com Metanol, dois com Isobutanol, três com Octanol e um de Cloreto de Potássio.

Do total vazado de alcoóis, parte foi consumida pelo incêndio, parte infiltrou no solo e parte se deslocou até o córrego Alegria. Em relação ao Cloreto de Potássio vazado, este permaneceu no solo ao lado do vagão. Na operação de baldeamento foram recuperados 150.000 litros de Octanol e 90.000 litros de Metanol. A partir destes valores, pode-se estimar o volume de produto vazado e queimado em 390.000 litros de Metanol, 120.000 litros de Isobutanol e 150.000 litros de Octanol. Foram recuperadas 149 toneladas de Cloreto de Potássio. Conforme consta nos registros das ações conduzidas pela FCA e contratadas, em nenhum momento houve o vazamento de Cloreto de Potássio para o córrego Alegria. Os trabalhos de baldeio foram encerrados em 14/06/2003, tendo sido removidos todos os vagões no dia 17/06/2003.

Como consequência, a prefeitura de Uberaba (Minas Gerais) decretou estado de calamidade pública e o abastecimento de água tratada foi interrompido por sete dias (11 a 17/06/2003).

Na Figura 1.1, a seguir, é apresentada a localização do acidente Ferroviário e sua situação em relação ao ponto de captação do Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba (CODAU) no rio Uberaba, a cerca de 15 km do ponto de desaguamento do córrego Alegria.

Figura 1.1 - Mapa de situação do local do acidente e ponto de captação de água do CODAU (esquerda) e detalhe da área afetada às margens do córrego Alegria (direita).



Legenda: A linha vermelha representa o leito Ferroviário; as linhas em azul o leito do rio Uberaba (escura) e córrego Alegria (clara) e o polígono verde claro, a área sob responsabilidade da FCA.

Fonte: Imagem Google Earth ®.

Entre as principais ações adotadas voltadas à contenção e remoção dos produtos químicos derramados, destacam-se: a aplicação de barreiras de absorção; o desvio de trecho do córrego Alegria visando a interrupção da continuidade do carreamento do produto presente no seu leito; remoção (transbordo) dos produtos químicos que estavam sobre o solo e dentro dos vagões tombados; remoção dos vagões tombados; aeração do solo com arado e grade a fim de intensificar o processo de vaporização e volatilização dos alcoóis; movimentação do solo com sucador para remover o material mais profundo, trazendo-o à superfície a fim de com o processo de gradeamento, acelerar a volatilização e oxidação dos alcoóis; e construção de curvas de nível para evitar arraste de solo e sedimentos para o leito do córrego Alegria.

Como passivo ambiental decorrente do acidente ferroviário, a área diretamente afetada pelo descarrilamento dos vagões, assim como pelas movimentações posteriores ocorridas durante o atendimento à emergência, possui acesso restrito e encontra-se sob gerenciamento da companhia ferroviária que tem conduzido frequentes monitoramentos da qualidade do solo e águas subterrâneas a fim de se certificar do cenário atual caracterizado pela ausência de riscos à saúde humana e ecossistemas de áreas adjacentes. Contudo, por motivos de precaução e em decorrência de acordos firmados com órgãos ambientais fiscalizadores do estado e demais *stakeholders*, as águas do córrego Alegria e rio Uberaba continuam sob constante monitoramento, sendo coletadas amostras quinzenalmente.

A partir de então, com o intuito de se avaliar a evolução da qualidade ambiental da área-alvo e adjacências imediatas, uma série de campanhas de monitoramento foram conduzidas por empresas de consultoria ambiental através da coleta de amostras de solo e águas subterrâneas, assim como amostras de águas superficiais do rio Uberaba e córrego Alegria.

Todas as ações foram adotadas em acordo com orientações dos órgãos ambientais para acelerar o processo de autodepuração e degradação dos alcoóis no solo e subsolo.

Para dar continuidade aos trabalhos de recuperação e reabilitação da área afetada pelo acidente a FCA contratou, dentre diversas empresas, a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) para a realização de coletas, ensaios e análises físico-químicas de amostras de águas do córrego Alegria e rio Uberaba.

Em 2003 as coletas das amostras ocorreram diariamente, sendo realizadas todas as análises recomendadas pelos órgãos ambientais competentes e, após a análise técnica dos resultados, houve a liberação do rio Uberaba e córrego Alegria por entender que os padrões das diretrizes ambientais acordadas apresentavam-se dentro da normalidade de qualidade dos cursos d'água.

Em 10 de abril de 2005, em decorrência de matéria publicada em jornal da região questionando a qualidade das águas do córrego Alegria, a FCA retomou o monitoramento da qualidade das águas deste e do rio Uberaba numa frequência quinzenal que perdura até a presente data.

A seguir, da Figura 1.2 à Figura 1.7 são apresentadas fotos da área-alvo imediatamente após a ocorrência do acidente.

Figura 1.2 - Combate ao fogo ocasionado pela queima de alcoóis após acidente.



Fonte: Acervo FCA (Junho de 2003).

Figura 1.3 - Vagões-tanque empilhados sobre linha férrea após acidente ferroviário.



Fonte: Acervo FCA (Junho de 2003).

Figura 1.4 - Vazamento de alcoóis proveniente de vagão-tanque tombado próximo ao leito ferroviário.



Fonte: Acervo FCA (Junho de 2003).

Figura 1.5 - Imagem aérea da disposição dos vagões e movimentações iniciais durante atendimento à emergência.



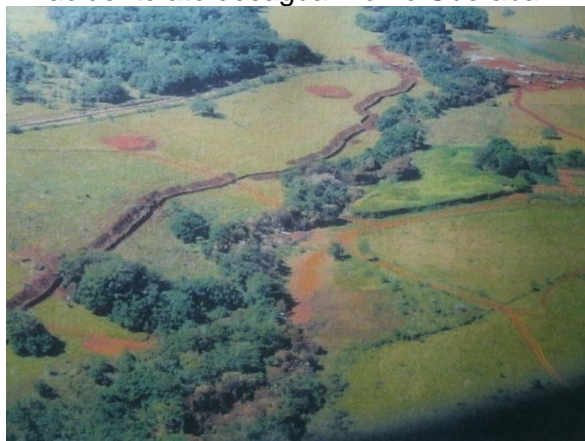
Fonte: Acervo FCA (Junho de 2003).

Figura 1.6 - Imagem aérea. Detalhe da disposição dos vagões situados logo após ponte sobre o córrego Alegria.



Fonte: Acervo FCA (Junho de 2003).

Figura 1.7 - Vista aérea do desvio do córrego Alegria a partir do ponto do local do acidente até desaguar no rio Uberaba.



Fonte: Acervo FCA (Junho de 2003).

Ao longo do período de 2003 a 2013, foi possível elaborar um consistente banco de dados com resultados analíticos que permitiram conduzir um estudo detalhado sobre a evolução da qualidade ambiental das águas do córrego Alegria e a verificação da influência dos meios físico e antrópico. Baseado na adoção de recursos gráficos e ferramentas estatísticas, o presente trabalho se propõe, desta forma, a expor estes resultados, além das metodologias utilizadas, discussões e considerações em torno dos mesmos.

Por fim, torna-se oportuno destacar que o autor desta dissertação ocupa a função de Analista de Meio Ambiente da Ferrovia Centro-Atlântica S/A, sendo responsável pelo cumprimento do Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) assinado entre a ferrovia, Ministério Público Estadual e demais órgãos e entidades interessadas considerando, o qual, dentre as obrigações do referido termo, inserem-se as campanhas de monitoramento da qualidade das águas do córrego Alegria e rio Uberaba, a fim de assegurar a qualidade da água que abastece o município de Uberaba.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar, a partir de dados da precipitação local e caracterização evolutiva da hidrogeoquímica do córrego Alegria, provenientes da coleta de dados no intervalo de 2003 a 2012, após acidente ferroviário, a forma como características dos meios físico e antrópico influenciam na qualidade de suas águas e, de maneira secundária, nas águas do rio Uberaba.

2.2 Objetivos específicos

- i.** Verificar os possíveis efeitos do derramamento de carga de Cloreto de Potássio, após acidente Ferroviário de junho de 2003, nas concentrações de Cloreto e Potássio dissolvido nas águas do córrego Alegria;
- ii.** Descrever as variações espaço-temporais dos parâmetros físico-químicos de interesse nas águas do córrego Alegria e avaliar alterações no comportamento ao longo de ciclos hidrológicos (chuva e seca);
- iii.** Avaliar temporal e comparativamente a qualidade das águas do córrego Alegria com as do rio Uberaba e de que forma o primeiro pode influenciar na qualidade do segundo;
- iv.** Verificar os possíveis efeitos do derramamento de carga de Cloreto de Potássio, após acidente Ferroviário de junho de 2003, nas concentrações de Cloreto e Potássio dissolvido nas águas do córrego Alegria;
- v.** Avaliar a qualidade das águas do córrego Alegria em função de valores de referência e VMPs (Valores Máximos Permitidos) estabelecidos em estudos e regulamentações nacionais e internacionais.

3 CARACTERIZAÇÃO DO ENTORNO E ÁREA DE ESTUDO

3.1 O município de Uberaba e o abastecimento de água

3.1.1 A cidade de Uberaba

O Município de Uberaba situa-se na microrregião do Triângulo Mineiro, ao sul 19°45'27" e a oeste a 47°55'36", ocupando uma área de 4.523,957 km², dos quais 256 km² são ocupados pelo perímetro urbano, e uma população de 295.988 habitantes (IBGE, 2010), sendo a 8^a cidade mais populosa de Minas Gerais.

Na Figura 3.1 é apresentada a localização do município de Uberaba.

Figura 3.1 - Localização do município de Uberaba.



3.1.2 O abastecimento de água em Uberaba

Os rios que compõem a malha hidrográfica do município pertencem às bacias dos rios Grande e Paranaíba destacando, como cursos d'água de maior extensão e volume, os rios Araguari, Cabaçal, Claro, Estiva, Grande, Tijuco, Uberaba e Uberabinha.

A sub-bacia do rio Uberaba drena o município, sendo o rio Uberaba o principal corpo hídrico, atravessando-o no sentido de leste para oeste. O rio Uberaba nasce numa região de planalto a uma altitude de 1.012 m, próximo ao trevo de Ponte Alta na BR-262 e percorre 140 km até sua foz no rio Grande, ocupando uma área total de 2.374,5 km² (UBERABA, 2004). Este rio constitui-se na principal fonte de água para o abastecimento humano da cidade com uma

retirada de vazão diária legal de 0,9 m³/s (CODAU, 2005), apresentando o sério agravante de não suprir a cota de abastecimento necessária no período de seca.

No período de estiagem, a vazão do Rio Uberaba cai a ponto da captação do rio e dos poços não serem suficientes para atender à demanda, sendo necessário um incremento de vazão por meio da transposição do Rio Claro. Em 28/09/2007, foi publicada na Imprensa Oficial do Estado de Minas Gerais a Portaria Única de Outorga nº 01592/2007 (MINAS GERAIS, 2007) autorizando os usuários de água da bacia do rio Claro a fazerem suas intervenções no recurso hídrico. A captação localizada no Rio Claro de onde bombeia água através de um canal de adução até o Córrego da Saudade, afluente do Rio Uberaba aumenta, assim, a vazão do mesmo. Atualmente, a contribuição do rio Claro é de 800 L/s e está projetada para ser acionada em período de emergência, ou seja, somente quando a quantidade das águas do Rio Uberaba for insuficiente para o abastecimento de toda a população.

A bacia do rio Uberaba destaca-se por sua importância econômica ligada às atividades agrícolas.

A montante do ponto de captação de água do rio Uberaba para a cidade de Uberaba, a bacia ocupa uma área de 529,4 km² e concentra, atualmente, cerca de 75% da população urbana do município, tendo sido legalmente declarada como Área de Proteção Ambiental (APA) da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba (CODAU, 2005).

3.2 Área de Proteção Ambiental (APA) da Bacia Hidrográfica Rio Uberaba

3.2.1 Sobre a Área de Proteção Ambiental

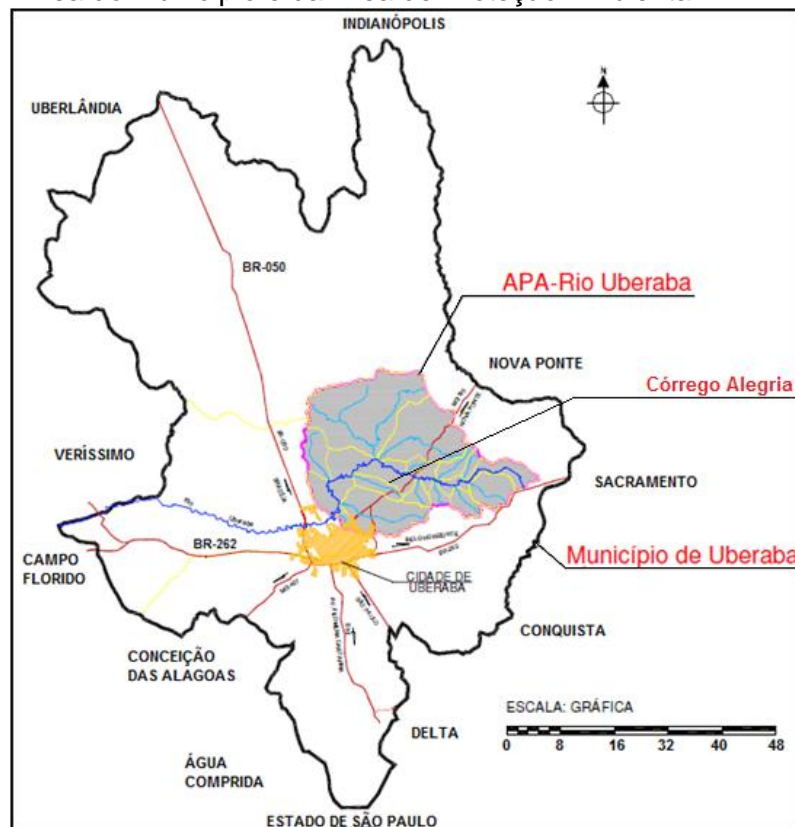
A APA Rio Uberaba, criada pela Lei Estadual nº 12.183 de 21 de Janeiro de 1999 (MINAS GERAIS, 1999), constitui importante instrumento para a garantia da qualidade e quantidade de água para abastecimento público do município de Uberaba, cidade que, nos últimos anos, encontra-se sujeita a processos indicadores de escassez elevada a elevadíssima (UBERABA, 2012).

Localizada no Estado de Minas Gerais, a APA Rio Uberaba situa-se na porção mineira denominada Mesorregião do Triângulo Mineiro (Alto Parnaíba), na Microrregião de Uberaba, encontrando-se completamente inserida no município de Uberaba. A APA vai desde o divisor

de águas da bacia do rio Uberaba até o ponto de captação da água para o abastecimento do município. O Rio Uberaba nasce no município e a APA se localiza apenas neste.

Na Figura 3.2 é apresentado um mapa de localização da APA do rio Uberaba no contexto do município de Uberaba e seus vizinhos.

Figura 3.2 - Área do município e da Área de Proteção Ambiental - APA de Uberaba.



Fonte: Adaptado de Abdala (2005).

3.2.2 Arcabouço Ambiental

APA é um tipo de Unidade de Conservação de Uso Direto, reconhecida pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), destinada à conservação da biodiversidade, onde se permite utilizar os recursos naturais de forma sustentável, estabelecendo modelos de desenvolvimento. De acordo com o SNUC (BRASIL, 2000), criado pela lei 9.985, de 18 de julho de 2000, uma APA refere-se a uma área extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.

De acordo com o Plano de Manejo Emergencial elaborado pela Prefeitura de Uberaba, através da Secretaria de Meio Ambiente e Turismo (UBERABA, 2012), a biodiversidade é bastante expressiva em Minas Gerais e devido a grande diversidade do relevo, formam-se grandes e importantes bacias hidrográficas, das quais podem ser citadas as bacias dos rios Doce, São Francisco e Paranaíba, em Minas Gerais. Os ecossistemas formados abrigam uma grande variedade de espécies da flora e fauna de extremo interesse para a conservação.

A região onde está inserida a APA Rio Uberaba caracteriza-se pela cultura do café, cultura de soja e cana-de-açúcar. Ainda observa-se a presença da pecuária e da extração mineral.

3.2.3 Clima

Algumas áreas do Triângulo Mineiro apresentam temperatura média anual entre 20°C e 22°C e nos meses mais frios em torno de 18°C, com média das máximas de 29,0°C e das mínimas de 16,9°C, e insolação em torno de 360,4 horas (ABDALA, 2005).

Segundo EMBRAPA (1982), o regime pluviométrico da região do Triângulo Mineiro caracteriza-se por um período chuvoso de outubro até março ou abril com precipitação anual variando entre 1.300 mm e 1.700 mm. A média anual da umidade relativa fica entre 65 e 75%, com valor máximo de 81% em dezembro e mínimo de 52% em agosto.

3.2.4 Geologia Regional

O arcabouço geológico do Triângulo Mineiro pode ser dividido em duas grandes unidades: a leste, no domínio da Bacia São Franciscana, ocorrem rochas sedimentares e vulcânicas que se assentam sobre rochas metassedimentares neoproterozóicas do Grupo Bambuí e a oeste rochas magmáticas e sedimentares fanerozóicas da Bacia do Paraná. Estas unidades são separadas pelo Soerguimento do Alto Paranaíba (SAP), que afetou, principalmente a porção sul da Faixa de Dobramentos Brasília, que é constituída por rochas metamórficas proterozóicas cortadas por intrusões alcalinas mesozóicas e orientadas grosseiramente na direção NW-SE (HASUI e HARALYI, 1991 *apud* FERREIRA JÚNIOR e GOMES, 1999).

Regionalmente, o município de Uberaba/MG está inserido no contexto geotectônico da Bacia Bauru. Esta sequência ocupa cerca de 370.000 km² da porção centro-sul da plataforma sul-americana (FERNANDES e COIMBRA, 2000).

A Bacia Bauru tem como substrato a Formação Serra Geral e é preenchida por rochas siliciclásticas sendo composta pelos grupos Caiuá e Bauru. O Grupo Caiuá não apresenta ocorrência no Triângulo Mineiro, já o Grupo Bauru possui ampla distribuição nesta região.

O Grupo Bauru, designação formalizada por Almeida e Barbosa (1953), se sobrepõe em discordância erosiva à Formação Serra Geral. Subdivide-se nas formações Uberaba, na base, e Marília, no topo.

A Formação Uberaba é constituída por leques aluviais conglomeráticos depositados de leste para oeste, contendo fragmentos de rochas ígneas alcalinas e detritos do embasamento pré-cambriano. Restrita ao Triângulo Mineiro, consiste de rochas epiclásticas de derivação vulcânica, dispostas em estratos tabulares e lenticulares amalgamados (FERNANDES, 1998). Os tipos petrográficos compreendem arenito vulcânico, siltito, argilito, conglomerado fino e paraconglomerado intraformacional. A idade da Formação Uberaba é Senoniana, o que pode ser observado nas áreas de contato com a Formação Adamantina e Marília. Há também registros de sedimentos silto-argilosos avermelhados da era cenozóica depositados pós-Bauru, na região de Ponte Alta, (BARCELOS, 1984). Segundo este autor, o contato inferior da Formação Uberaba se dá por discordância paralela com a Formação Serra Geral ou angular com os arenitos da Formação Botucatu e micaxistos do Grupo Araxá no Alto Paranaíba. A oeste, na região de Veríssimo, interdigita-se, possivelmente, com a Formação Adamantina. O contato superior é transicional e se faz com o Membro Ponte Alta, da Formação Marília (ALVES, 1995). Os componentes detríticos derivam de basaltos da Formação Serra Geral, rochas alcalinas e metamorfitos precambrianos, provenientes de leste (SILVA *et al.*, 1994). De acordo com Ferreira Júnior (1996), a depressão Uberaba instalou-se na segunda metade do Neocretáceo (<80 m.a), aproveitando-se das zonas de fraquezas NW preexistentes no embasamento.

A Formação Marília é caracterizada por facies de calcário lacustrinos e calcretes, na base, com arenitos e conglomerados calcíferos na porção superior. A deposição da Formação Marília ocorreu em ambiente de clima semiárido. A espessura da Formação Marília é da ordem de 200 m e suas áreas de exposição apresentam relevo com escarpas íngremes e bem delineadas (PETRI e FÚLFARO, 1983). Estes autores consideram as relações de contato entre as formações Marília e Uberaba como interdigitações laterais.

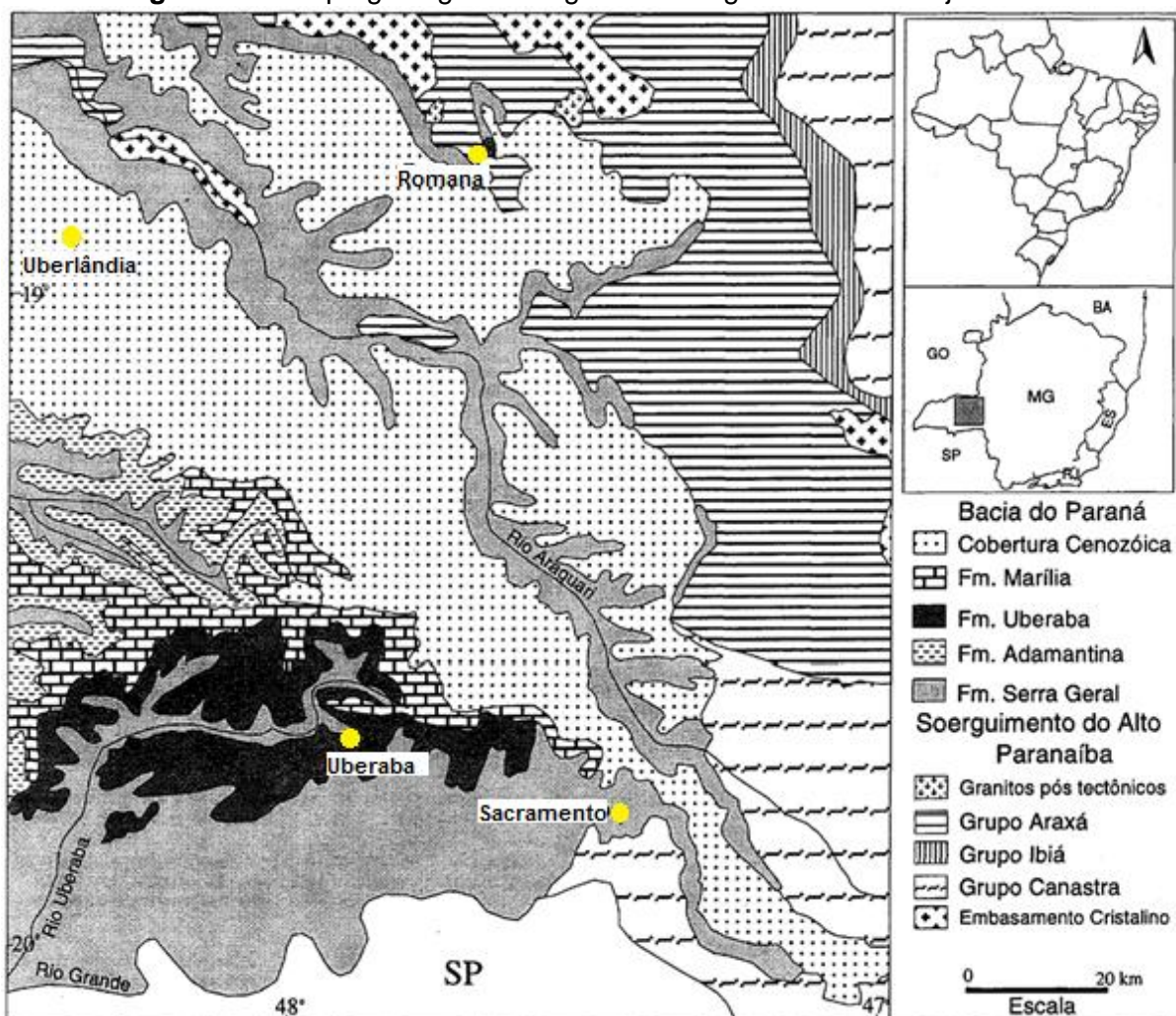
O ambiente de sedimentação do Grupo Bauru, em Minas Gerais, compreende sistemas fluviais indicados pelos depósitos de leques aluviais da Formação Uberaba e sistemas lacustrinos, em clima semiárido, com formação de pavimentos detríticos com cimentação carbonática tipo caliche, evidenciados pelos sedimentos da Formação Marília.

A Formação Serra Geral, pertencente ao Grupo São Bento, se situa logo abaixo da Formação Uberaba. É predominantemente constituída por derrames basálticos que, via de regra, estão sobrepostos aos arenitos da Formação Botucatu. A maior parte desse vulcanismo de bacia intracontinental apresenta idade entre 140 e 100 Ma, situando-o desde o limiar Jurássico Superior/Cretáceo Inferior até o final do Cretáceo. Ferreira (1985) descreve estrutura almofadada (*pillow lava*) em derrame sobrejacente a sedimentos, nas vizinhanças de Araguari, indicando ambiente subaquático, provavelmente lacustre, de expressão localizada. Petrograficamente os basaltos das Formação Serra Geral apresentam composição mineralógica muito simples, essencialmente constituídos de labradorita zonada associada a clinopiroxênios (augita e às vezes também pigeonita).

De maneira geral, conforme observado por Ferreira Júnior e Gomes (1999), os primeiros sedimentos a preencherem a Depressão de Uberaba foram fragmentos de basalto oriundos de altos da Formação Serra Geral à leste, que foram soerguidos, juntamente com rochas dos Grupos Araxá e Canastra, durante a evolução do Soerguimento do Alto Paranaíba. Como os basaltos são quimicamente instáveis, dificilmente suportam o transporte por longas distâncias. Por isso, a diminuição lateral para oeste e vertical do teor em fragmentos de basalto e o aumento do teor em fragmentos de quartzito e xistos, é interpretada como uma mistura de rochas na áreas-fonte, responsável por um aporte mais efetivo de sedimentos oriundos do Soerguimento do Alto Paranaíba, mais resistentes ao transporte. Em direção a oeste, ocorre uma diminuição generalizada da porcentagem dos fragmentos de basalto, o que reflete um distanciamento da área fonte leste, tida aqui, como altos da Formação Serra Geral próximos ao Soerguimento do Alto Paranaíba.

Na Figura 3.3 é apresentado o mapa geológico da região da Bacia Bauru e seu arcabouço geológico.

Figura 3.3 - Mapa geológico da região do triângulo mineiro e adjacências



Fonte: FERNANDES e GOMES (1999) adaptado de COMIG (1994).

3.2.5 Geomorfologia e Pedologia

De acordo com o diagnóstico do Projeto Água Viva 1 e 2 (CODAU, 2005), a morfologia dos terrenos no município de Uberaba é marcada pela incidência de áreas caracterizadas por elevada declividade e grandes desníveis locais que potencializa a ação do escoamento superficial gerado a partir das intensas precipitações ocorrentes favorecendo a formação de voçorocas em alguns pontos da cidade.

O município de Uberaba possui relevo medianamente dissecado e apresenta topos nivelados entre 750 e 900 m, com formas convexas e vertentes entre 3° e 15° de declividade. O alto curso do rio Uberaba faz parte das áreas de “Planaltos e chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná”, inserida na subunidade “Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná” (BRASIL, 1983).

Segundo Nishiyama (1989), o município de Uberaba faz parte da unidade de relevo do Planalto Arenítico Basáltico da Bacia do Paraná. Os solos são muito variados, a maioria apresentando textura média, sendo classificados, de uma forma geral, como Latossolos de diferentes graus de fertilidade. Segundo a EMBRAPA (1982), os solos predominantes na região do Triângulo Mineiro são os Latossolos Vermelho Escuro (66,79% da área total), e Latossolo Roxo (17,71%).

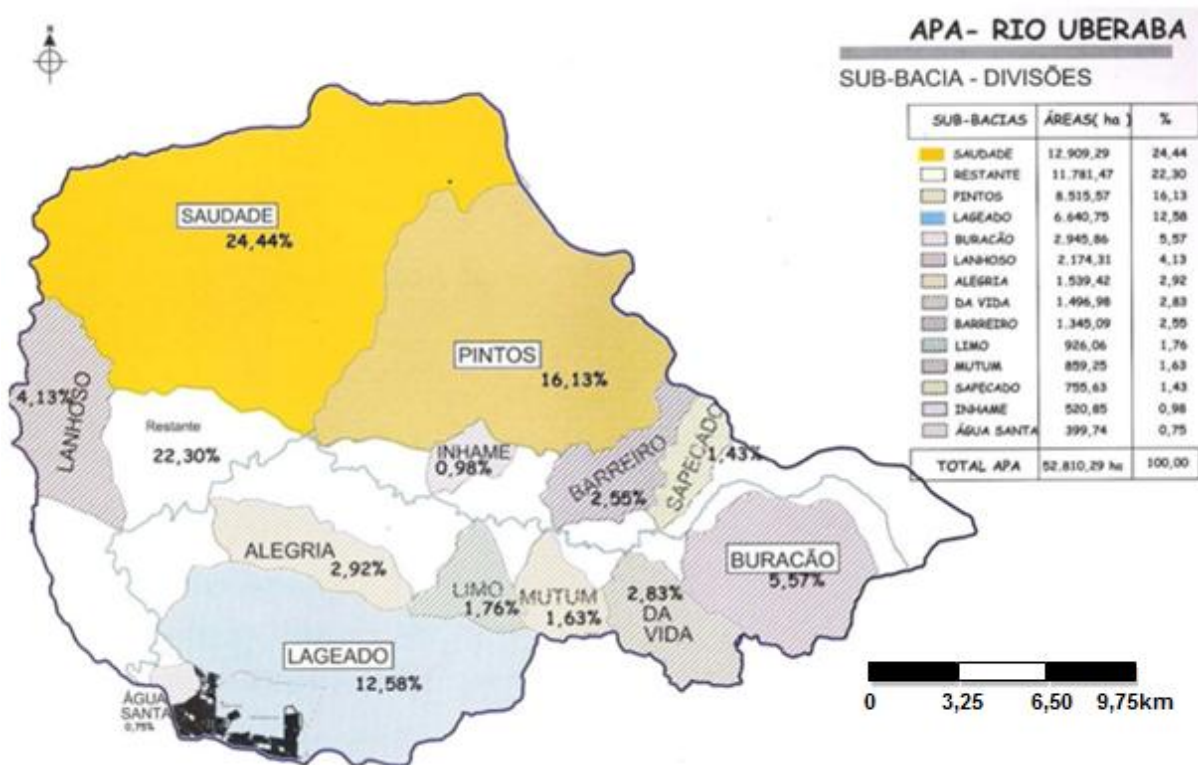
De acordo com o Plano de Manejo Emergencial da Área de Proteção do Rio Uberaba (UBERABA, 2012), a aceleração dos processos erosivos e o surgimento de novos focos no município estão diretamente relacionados, na maioria das vezes, aos novos parcelamentos, tanto na periferia da cidade quanto em lugares ainda mais afastados, bem como em áreas de utilização intensiva de pastagens. Dentre as características determinantes para a ocorrência de erosões em Uberaba, destacam-se: 1) declividade >20%; 2) solos arenosos (podzólicos); e 3) uso e ocupação do solo pastagens e áreas agrícolas.

A ocupação do solo da nascente por pastagens acelera o processo erosivo, visto que o pisoteio do gado forma trilhas dificultando o crescimento da cobertura vegetal. Nestas trilhas o escoamento das águas de chuva torna-se concentrado.

3.2.6 Hidrografia

No Diagnóstico Ambiental da APA do Rio Uberaba, documento elaborado pela Secretaria de Meio Ambiente do Município (UBERABA, 2004), a referida APA foi dividida em 13 microbacias maiores do que 4 km². As microbacias inferiores a 1% e diretamente ligadas ao rio Uberaba foram relacionadas na área com o título: Restantes. Esta divisão permitiu um estudo específico de cada microbacia juntamente com a imagem de satélite LANDSAT-7 de outubro de 2003. Foram relacionadas, dentro de cada microbacia, suas características básicas, tais como: área, desníveis, comprimento dos cursos d'água, área da vegetação nativa, área dos pastos, culturas, nascentes, vazão, construções existentes, estradas, dentre outros. Na Figura 3.4 é apresentado mapa com distribuição das microbacias no âmbito da APA do Rio Uberaba.

Figura 3.4 - APA do rio Uberaba demonstrando a distribuição e participação das microbacias que compõem o alto do rio Uberaba (APA do rio Uberaba).



Fonte: UBERABA, 2004.

Na Tabela 3.1 são apresentadas algumas características das microbacias que compõem a área da APA do rio Uberaba, sendo dado destaque à microbacia do córrego Alegria, alvo do presente estudo e que ocupa a 6ª posição dentre as demais em termos de área total e vazão.

Tabela 3.1 - Características das principais microbacias que compõem a região delimitada pela APA do rio Uberaba.

Nº	Microbacia	Área (km ²)	%	Q7/10 (L/s)	Cobertura Vegetal	Nascentes Perenes	Cursos d'Água Principais
1	Ribeirão Saudade	129,1	24,44%	464	26,82%	117	Ribeirões Saudade e Borá
2	Córrego dos Pintos	85,2	16,13%	306	31,60%	79	Córrego dos Pintos
3	Córrego Lageado	66,4	12,57%	238	17,28%	33	Córrego Lageado
4	Córrego Buracão	29,5	5,58%	105	41,34%	33	Córrego Buracão
5	Córrego Lanhoso	21,7	4,11%	78	30,90%	15	Córrego Lanhoso
6	Córrego Alegria	15,4	2,92%	55	20,00%	13	Córrego Alegria
7	Córrego da Vida	15,0	2,84%	53	37,04%	26	Córrego da Vida
8	Córrego Barreiro	13,5	2,56%	48	50,25%	30	Córrego Barreiro
9	Córrego do Limo	9,3	1,76%	33	17,45%	6	Córrego do Limo
10	Córrego Mutum	8,6	1,63%	30	14,68%	7	Córrego Mutum
11	Córrego Sapocado	7,6	1,44%	27	47,00%	14	Córrego Sapocado
12	Córrego do Inhame	5,2	0,98%	18	19,00%	8	Córrego do Inhame
13	Córrego Água Santa	4,0	0,76%	14	7,50%	2	Córrego Água Santa
14	Restantes	117,8	22,30%	423	15,00%	74	
-	RIO UBERABA	528,3	100%	1990	25,13%	457	-

Dados: Secretaria de Meio Ambiente de Uberaba Diagnóstico Ambiental APA – Rio Uberaba (Uberaba, 2004).

3.2.7 Uso e ocupação do solo

O uso do solo existente na APA do Rio Uberaba é um misto de pastagem e culturas, localizadas de acordo com as atividades agrícolas desenvolvidas em cada propriedade. Cruz (2003), ao analisar mapas referentes ao uso dos solos de 1964 (dados fotométricos) e 1998 (Imagem Landsat), verificou uma sensível alteração na paisagem da bacia hidrográfica do rio Uberaba. A vegetação nativa que cobria mais de 40% da bacia foi substituída principalmente por pastagens. A maior parte das áreas ocupadas por pastagens na década de 60, entre os municípios de Veríssimo e Conceição das Alagoas, foi substituída pela agricultura. Nas regiões de nascente, no município de Uberaba, a vegetação nativa foi substituída pela agricultura e por pastagens, agravando os impactos ambientais oriundos do modelo pelos quais foram exploradas essas terras. As áreas agrícolas, compostas predominantemente por culturas de cana-de-açúcar, sorgo, milho e soja, representaram na década de 90 aproximadamente 19,6% da área da bacia.

Conforme Abdala *et al.*, (2011), sobre a vegetação do alto curso da bacia do rio Uberaba, é dado destaque às áreas de fitofisionomias de cerrado e de mata semidecidual com 15.972,30 ha, ocupando 30% da área total. A fitofisionomia de campo sujo, composto por vegetação arbustiva e arbórea de pequeno porte é de 14.391,27 ha, perfazendo 27% do total, enquanto

que as pastagens nativas e/ou cultivadas espalham-se por 13.325,25 ha (25%), as culturas em desenvolvimento inicial localizam-se numa extensão de 6.929,13 ha (13%) e as culturas avançadas com 2.665,05 ha, 5% do total da área. Conforme os autores, mesmo com a pobreza de nutrientes do solo, estas áreas são consideradas produtivas, devido à utilização de insumos em grande quantidade para correção ou ao uso de fertilizantes incorporados a essas áreas no processo produtivo.

3.3 A microbacia do córrego Alegria

3.3.1 Localização e caracterização

A microbacia do córrego Alegria situa-se na região central da área de proteção ambiental do rio Uberaba (APA) e possui uma área total de 1.539,42 ha, correspondendo a 2,92 % da área total da APA.

O ponto de menor cota está localizado na foz com o rio Uberaba (800 m) e o de maior, 900 m apresentando, portanto, uma amplitude de 100m. A soma total de todos os seus cursos d'água atinge 17.104 m de comprimento medidos no talvegue sendo que o curso principal, da nascente à foz, mede 8.520 m. O número de nascentes perenes totaliza 13, o que representa 2,8% das nascentes contidas em toda APA (UBERABA, 2004). O ponto de confluência situa-se a cerca de 15 km a montante do ponto de captação de água do município.

Na Tabela 3.2 são apresentados os principais índices morfométricos da bacia do córrego Alegria calculados por Torres *et al.* (2007).

Tabela 3.2 - Índices morfométricos da microbacia do córrego Alegria.

Índices Morfométricos	Unidade	Valores
Área	km ²	15,39
Perímetro	km	13,90
Comprimento rede de drenagem principal	km	8,52
Comprimento 1 ^a . ordem	km	8,58
Comprimento 2 ^a . ordem	km	8,52
Comprimento total	km	17,10
Comprimentos dos cursos (somatório)	km	37,93
Maior largura	km	2,50
Largura média	km	1,22
Amplitude altimétrica	m	100,00
Coefficiente de compacidade (Kc)	-	0,98
Fator forma (Kf)	-	0,15
Densidade de drenagem	km ² /km	1,10
Sinuosidade do curso principal	-	1,30
Declividade da bacia	%	1,20
Declividade média da bacia	%	1,95
Declividade do curso principal	%	1,17
Índice de circularidade (Ic)	-	0,60
Coefficiente de rugosidade (Rn)	-	2,41

Fonte: TORRES *et al.* (2007).

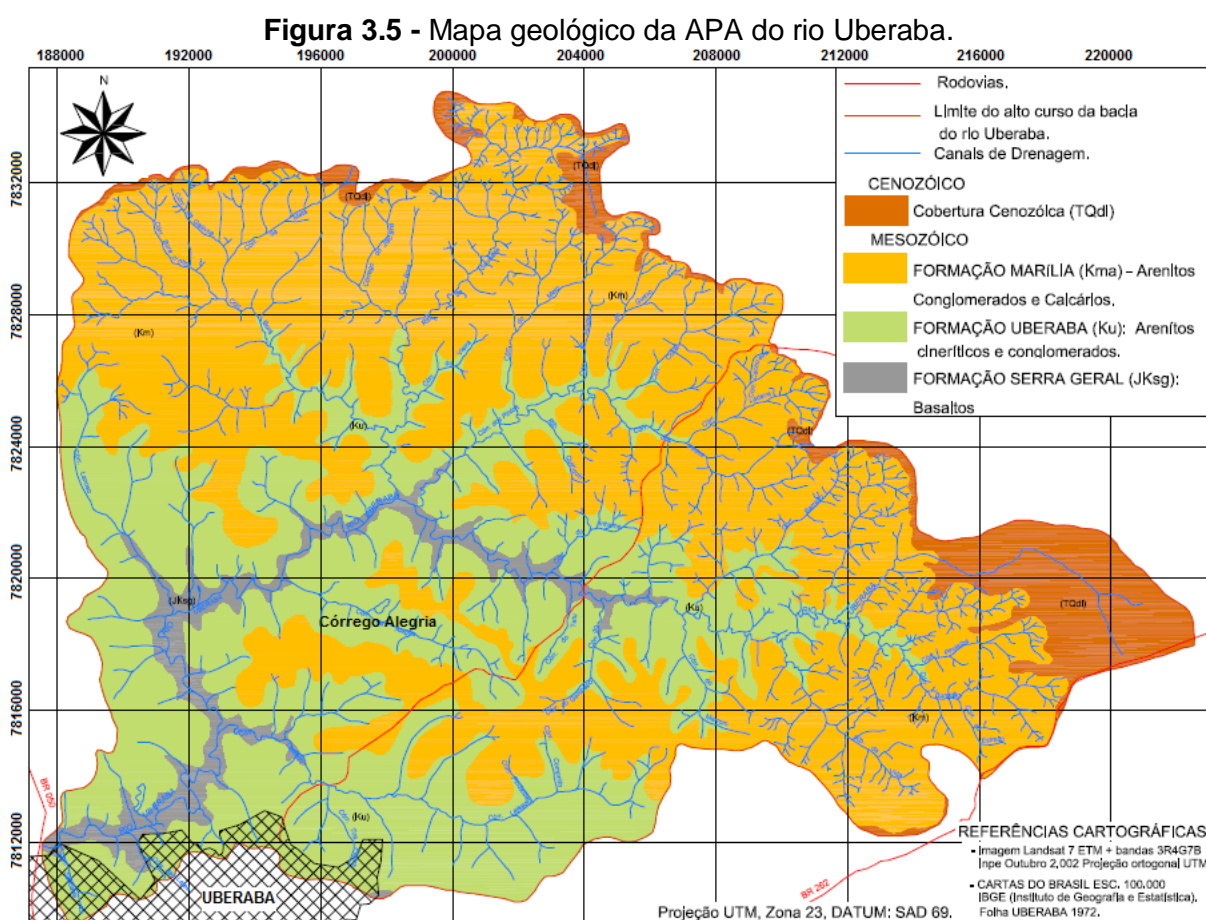
A análise dos índices físicos e morfométricos da microbacia mostra que o Córrego Alegria possui um curso de água pequeno, sendo considerado de 3^a. ordem. A sinuosidade do curso é baixa, possibilitando maior velocidade na dispersão de poluentes, embora possua baixa declividade do curso d'água principal e da bacia.

De acordo com Torres *et al.* (2007), após conduzido minucioso levantamento dos índices morfométricos da microbacia do córrego Alegria, o fator forma (Kf) indica uma microbacia alongada, o que facilitaria o escoamento de água. Este fator associado à densidade de drenagem (Dd) repercute na eficiência da drenagem na bacia que é definida como a relação entre o comprimento total dos cursos de água e a área de drenagem e é expressa em km/km². Com um fator Kf pequeno (0,15) associado a uma densidade de drenagem de 1,10 km/km², que é um índice considerado baixo. Pode-se portanto afirmar que o formato alongado da microbacia diminui o risco de ocorrer enchentes na área. Por sua vez, a associação entre a densidade de drenagem à baixa declividade da microbacia causa poucos problemas com erosão ao longo e no leito do córrego.

3.3.2 Meio Físico

Na área em estudo observa-se claramente a presença de basalto da Formação Serra Geral na calha do córrego Alegria, onde o mesmo corre sobre rochas formando diversas pequenas corredeiras e quedas d'água ao longo do trecho até a foz com o rio Uberaba. Trechos de coberturas cenozóicas também são notadas constituindo eluviões e coluviões associados a sedimentos aluvionares de canais suspensos que se apresentam de grau variado de laterização.

Na Figura 3.5 é apresentado um arcabouço geológico simplificado da APA do rio Uberaba segundo Abdala (2005), no qual, entretanto, não é indicada a presença dos basaltos identificados ao longo do córrego Uberaba, especialmente, no seu trecho final, a partir do local da área afetada pelo acidente.



Nas fotos é apresentado um registro das principais litologias presentes na área-alvo como os basaltos da foz do córrego Alegria da Formação Serra Geral (Figura 3.6 a Figura 3.8) e arenitos cineríticos da Formação Uberaba (Figura 3.9).

Figura 3.6 - Foz do córrego Alegria mostrando eventos distintos de derramamento de lava basáltica da Fm. Serra Geral. 19°39'21,76"S / 47°54'39,15"O.



Fonte: Acervo FCA (2012).

Figura 3.8 - Leito rochoso (basalto da Fm. Serra Geral) em trecho do córrego Alegria próximo a estação P-06. 19°39'26,89"S / 47°54'26,12"O.



Fonte: Acervo FCA (2012).

Figura 3.7 - Afloramento de basalto da Fm. Serra Geral na margem direita do rio Uberaba em frente a estação de monitoramento P-10. 19°39'22,41"S / 47°54'40,07"O.



Fonte: Acervo FCA (2012).

Figura 3.9 - Arenito cinerítico da Fm. Uberaba. 19°39'42,46"S / 47°53'45,03"O.



Fonte: Acervo FCA (2012).

A microbacia do córrego Alegria encontra-se inserida no planalto arenítico basáltico da Bacia do Paraná (NISHIYAMA, 1989), e possui solos de textura média sendo classificados, de uma forma geral, como Latossolos Vermelho-Escuro (EMBRAPA, 1982).

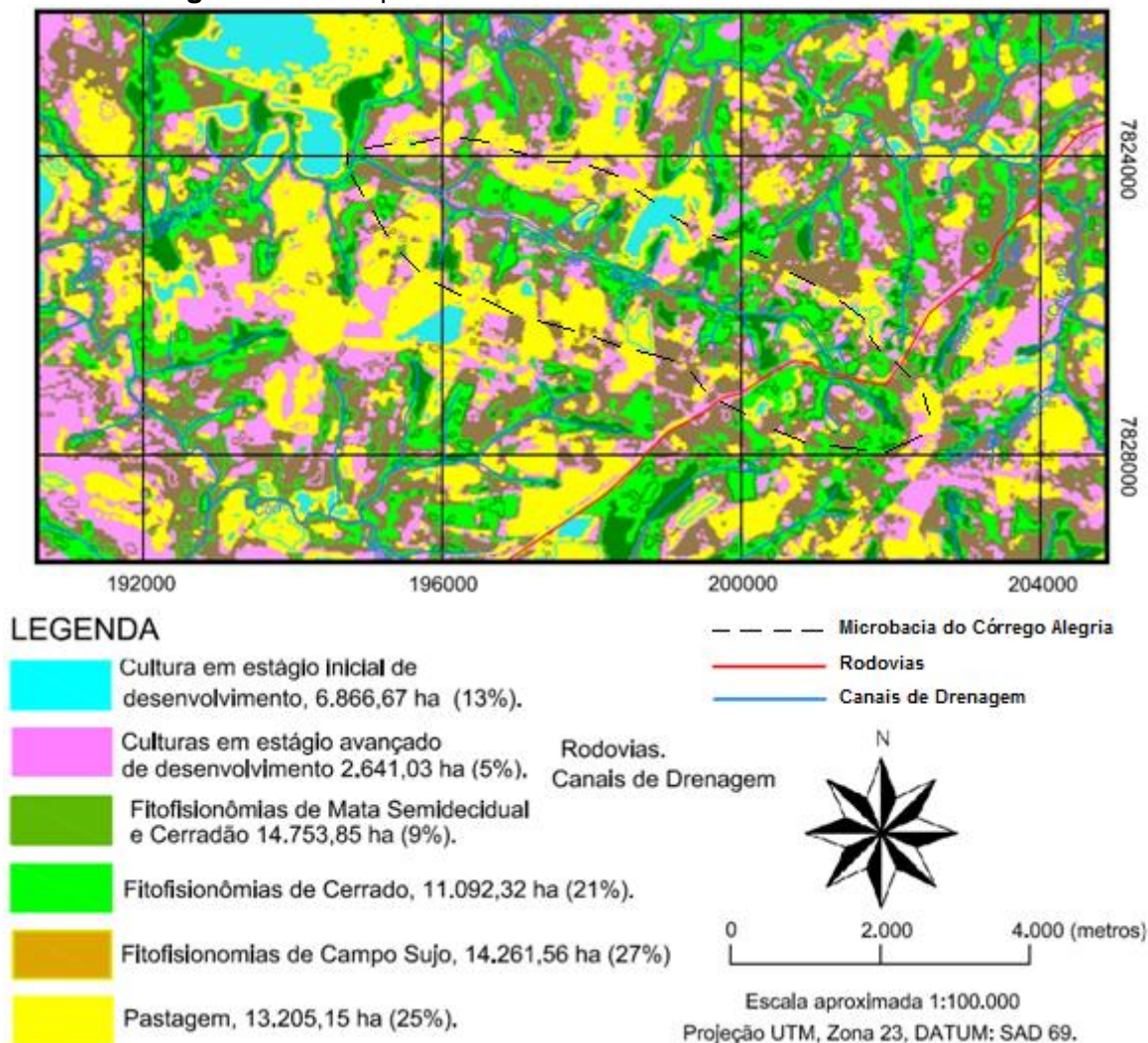
3.3.3 Uso e ocupação do solo

No que se refere à cobertura vegetal na microbacia do córrego Alegria, existem 554,59 ha de área coberta com vegetação nativa, significando 37,04% da área desta microbacia. Destes, 202,78 ha são consideradas área de preservação permanente (APP), sendo que a atividade produtiva predominante é a bovinocultura leiteira (UBERABA, 2004). As pastagens são

formadas, rotacionadas e cavalos são utilizados para o trabalho com bovinos. Também existem áreas mecanizadas na produção de grãos (milho e soja).

Segundo Abdala (2005), o uso do solo existentes na bacia do alto curso do rio Uberaba é um misto de cerrado, pastagem e culturas localizadas de acordo com atividades agrícolas desenvolvidas em cada propriedade. Na Figura 3.10 é apresentado o mapa de uso desta região, com o córrego Alegria centralizado na imagem, sentido SE-NW.

Figura 3.10 - Mapa de uso do solo do alto curso do rio Uberaba.



Fonte: Adaptado de Abdala (2005).

Conforme apontado nos estudos de Fraga e Salcedo (2004 *apud* TORRES *et al.* 2009) os processos erosivos observados são decorrentes da alta pressão de pastejo a que estas áreas são submetidas, o que deixa o solo exposto e vulnerável a erosão. Cruz (2003) destaca que nas áreas de cerrado é comum encontrar focos de processo erosivo devido ao trilheiro formado pelo pisoteio do gado em locais sem cobertura vegetal e compactados.

Torres *et al.*, (2009), ao conduzirem estudos voltados ao diagnóstico socioeconômico e ambiental da APA do Rio Uberaba na microbacia do córrego Jacaré (microbacia do ribeirão Saudade), observaram que a maioria das erosões nas pastagens ocorrem devido aos trilheiros formados pelo gado, causando o assoreamento do córrego em alguns pontos. Somadas a esta situação problema, foram identificadas áreas desmatadas para implantação de culturas perenes, principalmente para cana-de-açúcar, sem obedecer à legislação nas APAs. Com isso, a tendência é aumentar a suscetibilidade aos processos erosivos. De maneira análoga, Torres *et al.*, (2007), em estudo realizado na microbacia do córrego Alegria destacaram estes mesmos problemas, os quais estariam ocorrendo com frequência em outras regiões da APA.

No registro fotográfico compreendido entre a Figura 3.11 e Figura 3.14 são apresentados exemplos dos usos preponderantes na microbacia do córrego Alegria.

Figura 3.11 - Pesque-Pague (Pesqueiro Vida Boa). 19°39'44,73"S / 47°53'45,94"O.



Fonte: Acervo FCA.

Figura 3.12 - Criação de gado leiteiro. 19°40'23,72"S / 47°52'21,06"O.



Fonte: Acervo FCA.

Figura 3.13 - Terra sendo preparada para o plantio de milho. 19°41'07,10"S / 47°51'42,39"O.



Fonte: Acervo FCA.

Figura 3.14 - Plantação de soja. 19°40'32,20"S / 47°52'26,23"O.



Fonte: Acervo FCA.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 *Espécies químicas de interesse e comportamentos nas águas superficiais*

4.1.1 Cloreto (Cl⁻)

A espécie do íon Cloreto está presente em todas as águas naturais em diferentes concentrações. Nas águas superficiais as fontes importantes são as descargas de esgotos sanitários, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca 6 g de Cloreto por dia, o que faz com que os esgotos apresentem concentrações de Cloreto que ultrapassam a 15 mg.L⁻¹ (CETESB, 2014). Diversos são os efluentes industriais que apresentam concentrações de Cloreto elevadas como os da indústria do petróleo, algumas indústrias farmacêuticas e curtumes. Nas regiões costeiras, através da chamada intrusão da cunha salina, são encontradas águas com níveis altos de Cloreto. Nas águas tratadas, a adição de cloro puro (Cl₂) ou em solução eleva o nível de Cloreto, resultante das reações de desproporcionamento do Cloro na água.

Os íons Cloreto não são degradados no ambiente e tendem, portanto, a permanecer em solução, uma vez dissolvido. Nas águas subterrâneas, em última instância, alcançam corpos d'água superficiais influenciando ambientes aquáticos e seres humanos. Entre as espécies testadas, plantas aquáticas e invertebrados de água doce tendem a ser mais sensíveis a variações nas concentrações de Cloreto, por provocar alterações na pressão osmótica em células de microrganismos.

A presença dessa espécie é fundamental para o funcionamento do metabolismo humano podendo, porém, causar danos a saúde quando em altas concentrações como problemas renais e cardiovasculares, além de ter efeito laxativo (diarreia).

O Cloreto provoca sabor “salgado” na água, sendo o Cloreto de Sódio o mais restritivo por provocar sabor em concentrações da ordem de 250 mg.L⁻¹, valor este que é adotado como padrão de potabilidade por grande maioria dos órgãos regulatórios, nacionais ou internacionais. No caso do Cloreto de Cálcio, o sabor só é perceptível em concentrações de Cloreto superiores a 1000 mg.L⁻¹.

De acordo com Bright e Addison (2002), após extenso estudo realizado nas águas superficiais da Província canadense de British Columbia para auxiliar no estabelecimento de padrões de

gerenciamento de áreas contaminadas, verificou-se que nas águas doces, concentrações naturais (*background*) de Cloreto eram da ordem de 1 a 100 mg.L⁻¹.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2013), através de regulamentos nacionais primários para a água potável (*National Primary Drinking Water Regulations*), estabelece padrões obrigatórios de qualidade da água para contaminantes. Estes padrões exigíveis, denominados de "níveis máximos de contaminantes" ou "MCLs" (*maximum contaminant levels*), são estabelecidos para proteger o público contra o consumo de água com contaminantes em concentrações que representam risco para a saúde humana. O MCL, portanto, representa a quantidade máxima permitida de um contaminante em água potável a ser entregue ao consumidor.

Além disso, a USEPA também estabeleceu regulamentos nacionais secundários para a água potável (*National Secondary Drinking Water Regulations*) que definem os padrões de qualidade da água não obrigatórios para 15 contaminantes. Neste caso a USEPA não obriga o cumprimento destes "níveis máximos de contaminantes secundários" ou "SMCLs (*secondary maximum contaminant levels*)" sendo, portanto, estabelecidos apenas como diretrizes para ajudar os sistemas públicos de água na gestão da sua água potável para as considerações estéticas, tais como cor, sabor e odor. Estes contaminantes, portanto, não são considerados como representando um risco para a saúde humana no SMCL. Como exemplo de parâmetros relacionados a presença de odor e sabor, têm-se os seguintes: Cloreto, Cobre, Ferro, Manganês, Sulfato e Zinco.

Para o Cloreto a USEPA define a concentração de 250 mg.L⁻¹ como nível máximo e atribui o sabor salgado como efeito notado quando presente na água em concentrações superiores à definida pelo seu SMCL.

Seguindo as orientações da USEPA, o Sistema Público de Abastecimento de Água Potável do Departamento de Saúde de Dakota do Norte (JOHNSON e SCHERER, 2012), estabeleceu o nível máximo aceitável de Cloreto para potabilidade de 250 mg.L⁻¹. De maneira análoga, o município de Suffolk (Nova Iorque), conforme consta no seu relatório de qualidade de água de 2013 (SCWA, 2013), adota o limite de 250 mg.L⁻¹ e associando, contudo, eventuais concentrações anômalas a ocorrência de cunhas salinas devido à proximidade com o mar.

A partir de Normas de Qualidade da Água a Província de British Columbia (BC), no Canadá, elaborou o documento intitulado Diretrizes Ambientais de Qualidade da Água para Cloreto (*Ambient Water Quality Guidelines for Chloride*), o qual faz parte de uma série que estabelece as diretrizes ambientais de qualidade da água para toda a Província. As orientações para o Cloreto estabelecidos neste documento destinam-se a proteger a água potável, recreação e estética, vida aquática marinha e em águas doces, água na agricultura (irrigação e dessedentação animal) e os usos da vida selvagem. De acordo com as diretrizes estabelecidas pela Província canadense, é apresentada uma concentração máxima permitida de 250 mg.L^{-1} para potabilidade, enquanto que para assegurar a preservação da vida aquática (águas doces) é permitida uma concentração máxima de até 600 mg.L^{-1} de Cloreto (instantânea) ou um valor médio de 150 mg.L^{-1} no decorrer de cinco medições semanais tomadas durante um período de 30 dias. Quando a concentração de Cloreto no ambiente já for superior ao valor estabelecido na diretriz, uma maior degradação da qualidade da água ou do próprio ambiente devem ser evitadas. Para a preservação da vida marinha, a diretriz menciona que as atividades humanas não devem causar variações superiores a 10% nas concentrações esperadas para o Cloreto nas águas marinhas e estuarinas, variando em função do tempo e profundidades destes ambientes. Para a dessedentação animal, tanto em criatórios, assim como na vida selvagem é estabelecido o valor máximo de 600 mg.L^{-1} , enquanto que para o uso na irrigação, é definida a concentração máxima de Cloreto nas águas de 100 mg.L^{-1} .

De acordo com as diretrizes para água potável estabelecidas pela Austrália (NHMRC, 2011), o valor de referência definido para o Cloreto é de 250 mg.L^{-1} e é estético dizendo respeito, portanto, à aceitabilidade do consumidor final de acordo com sua aparência, sabor e odor. Contudo, o citado no referido documento chama a atenção para a falta de dados conclusivos para a definição de um valor de referência baseado na proteção à saúde humana.

O Departamento de Saúde Pública do Estado Norte Americano de Illinois (ILLINOIS, 2014), além de manter a premissa de que concentrações de Cloreto acima de 250 mg.L^{-1} podem produzir um gosto distinto na água, estabelece, através de sua Divisão de Saúde Ambiental do estado, 3 faixas adicionais de concentrações para este parâmetro, atribuindo as seguintes classificações quanto a aceitabilidade dos consumidores, conforme apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Concentrações esperadas para Cloreto nas águas superficiais e respectivas classificações quanto ao seu uso humano.

Concentração de Cloreto (mg.L ⁻¹)	Classificação da Água
0 - 250	Aceitável
250 - 500	Menos desejável
500 - 1.000	Indesejável
> 1.000	Insatisfatória

Fonte: ILLINOIS (2014).

Para as águas de abastecimento público no Brasil, a concentração de Cloreto constitui-se em padrão de potabilidade, sendo fixado o valor limite 250 mg.L⁻¹ conforme Portaria no. 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011a).

4.1.2 Potássio (K⁺)

A abundância média de K na crosta da Terra é de 1,84%; em solos tem uma faixa de 0,1 a 2,6%; em córregos sua concentração é em torno de 2,3 mg.L⁻¹, em águas subterrâneas tem uma faixa de 0,5 a 10 mg.L⁻¹.

O Potássio é comumente associado com minerais de alumínio, como os feldspatos (ex.: Ortoclásio - KAlSi₃O₈). Embora o Potássio ocorra em numerosos minerais, apenas dois deles são largamente utilizados como minerais de minério: a silvita (KCl) e a carnalita (KMgCl₃.6H₂O). Os outros minerais de minério são os sulfatos: langbainita (KMg₂(SO₄)₃), polyhalita (K₂MgCa₂(SO₄)₄.2H₂O) e kainita (4KCl.4MgSO₄.11H₂O). Rochas ígneas, como os granitos, os sienitos e rochas sedimentares, como os arcósios, apresentam, via de regra, teores elevados de Potássio. Segundo Manson (1971 *apud* LAPIDO-LOUREIRO E NASCIMENTO, 2004), a distribuição de Potássio nas rochas é irregular. Enquanto nos granitos o teor médio é de 4,5%, em diabásios é de apenas 0,53% e nos basaltos dos fundos oceânicos é sempre inferior a 0,3%.

Uma vez que o Potássio é um elemento particularmente móvel, a análise do comportamento geoquímico é fundamental e de grande interesse para a compreensão da distribuição nos minerais e nas rochas, bem como possibilita avaliar seus mecanismos de assimilação na nutrição dos vegetais. Assim como Li, Na, Rb, Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Si, P dentre outros, o Potássio é classificado como um elemento litófilo correspondendo, assim, à fase silicatada.

Desta forma, entra na composição de mais de três centenas de minerais e, sob a forma de elemento menor, em muitos outros.

Segundo Manson (1971 *apud* LAPIDO-LOUREIRO E NASCIMENTO, 2004), o teor de Potássio na litosfera é da ordem de 1,58%, com variações acentuadas em função da variedade litológica. É, pois, importante conhecer-se bem a geoquímica e mineralogia / cristalquímica do Potássio para uma correta avaliação da capacidade agrícola dos solos e como ela deve ser complementada por uma fertilização racional. O conteúdo de K total no solo não é, portanto, apenas por si só, um índice de fertilidade. Nos solos, o Potássio existe, essencialmente, sob três formas: i) Potássio mineral, fortemente ligado à fase sólida mineral, dito como reserva ou de reposição dos solos ("K fixado" e "K estrutural" - minerais primários e secundários); ii) Potássio trocável (sob a forma iônica, unido eletrostaticamente aos materiais que constituem a parte sólida); e iii) Potássio da solução existindo sob diferentes formas favorecendo, através de índices de liberação, a reposição de Potássio retirado da solução do solo pelas plantas.

Resultados obtidos por meio de estudos conduzidos por Marconato *et al.* (2006), sobre a hidrólise de cátions metálicos no contexto da fertilidade do solo levam a concluir que as soluções contendo íons Fe^{3+} são mais ácidas, hidrolizam-se mais que as soluções de Al^{3+} e estas, por sua vez, mais que as de Mn^{2+} . Segundo os autores a interação entre íons metálicos e os dipolos da água que dão origem a esse comportamento ácido é feita com base na estrutura dos cátions metálicos, baseando-se na relação carga/raio e eletronegatividade. Esta interação é muito mais forte com o íon menor e de maior carga, fazendo com que o íon hidratado seja mais ácido. Segundo Raij (1991 *apud* ROSOLEM *et al.*, 2006), a energia de ligação dos cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ aos colóides do solo depende da valência e do tamanho do íon hidratado, de modo que, em solos bem drenados, as quantidades de K lixiviadas são relativamente maiores do que as dos cátions bivalentes. Sendo assim, nos manuais de adubação, recomenda-se o parcelamento da adubação potássica para minimizar perdas por lixiviação, principalmente em solos arenosos (RAIJ *et al.*, 1996). Desta forma, K^+ é mais fortemente adsorvido no solo do que Na^+ porque o raio iônico do íon K^+ hidratado é menor que o do Na^+ hidratado.

Embora as concentrações de Potássio normalmente encontradas em água potável sejam geralmente baixas e não apresentem problemas de saúde, a alta solubilidade do Cloreto de Potássio e seu uso em dispositivos de tratamento, tais como na redução da dureza das águas

podem resultar em um aumento significativo da exposição. Apesar de não usual no Brasil, um exemplo é a ocorrência de Potássio na água potável, como uma consequência da utilização de Permanganato de Potássio como um oxidante no tratamento da água. Neste caso, as concentrações de Potássio adicionado na água podem alcançar níveis superiores a 10 mg.L^{-1} , mas normalmente as concentrações são inferiores (WHO, 2009).

No Reino Unido, uma pesquisa realizada para o Estudo Regional do Coração (POWELL; BAILEY; JOLLY, 1987) encontraram uma concentração de Potássio médio de $2,5 \text{ mg.L}^{-1}$ em água potável, com uma concentração superior ao percentil 90 de $5,2 \text{ mg.L}^{-1}$. Os dados provenientes do Canadá indicam que as concentrações médias de Potássio na água potável bruta e tratada, em diferentes zonas, variam entre 1 e 8 mg.L^{-1} . Na Província de Saskatchewan que possui um dos maiores depósitos de potássio do mundo e é, portanto, a maior área de produção de Cloreto de Potássio no Canadá, as concentrações na água bruta e potável estão acima de 51 mg.L^{-1} (CANADÁ, 2008).

Em julho de 1980, a Diretiva 80/778/EEC do Conselho Europeu (COUNCIL DIRECTIVE, 1980), relacionada à qualidade da água destinada ao consumo humano, estabeleceu a concentração de 10 mg.L^{-1} de Potássio como nível de referência e 12 mg.L^{-1} como concentração máxima admissível. Entretanto, conforme citado por Baert (1996), estudos posteriores chegaram à conclusão de que estas concentrações encontravam-se obsoletas e em 1992, após revisão das diretrizes estabelecidas pela Organização Mundial de Saúde, o Potássio foi eliminado, tendo sido alegado que o parâmetro não teria relevância para a qualidade da água, bem como para o consumidor.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2009), a tendência no uso mais frequente do Potássio no cotidiano é impulsionada por preocupações sobre a ingestão total de sódio, particularmente nos países desenvolvidos, onde há a alta ingestão de sal proveniente de alimentos processados. Por outro lado, também não é recomendada dietas fracas em Potássio. O aumento da exposição ao Potássio pode resultar em efeitos significativos para a saúde em pessoas com doença renal ou outras condições, tais como doença cardíaca, doença na artéria coronariana, hipertensão arterial, diabetes, insuficiência adrenal e preexistente hipercaliemia. Do mesmo modo, os indivíduos mais velhos, que têm reduzidas as reservas fisiológicas na sua função renal e/ou indivíduos que estão a tomar medicamentos que interferem com o manuseio

normal de Potássio no corpo. Os bebês têm reserva renal limitada e função renal imatura e podem, portanto, serem mais vulneráveis.

Sendo assim, como exposto anteriormente, o Potássio é um elemento essencial para a nutrição humana e os requisitos são geralmente medidos em gramas por dia. Potássio e sódio são responsáveis pela manutenção de uma pressão osmótica normal nas células. O Potássio é um cofator para muitas enzimas e é necessário para a secreção de insulina, assim como para a fosforilação da creatinina, metabolismo de carboidratos e síntese proteica.

A perda excessiva de sais, tais como por meio de diarreia grave ou transpiração intensa e prolongada, pode resultar na perda de Potássio, o que pode resultar em hipocalcemia se a perda é suficiente. Isto pode causar uma série de efeitos, incluindo arritmias cardíacas, fraqueza muscular, náuseas e vômitos, e baixo tônus muscular no intestino. Hipocalcemia de longo prazo é acreditado como causadora de predisposição à hipertensão (EVM, 2003).

Efeitos adversos à saúde devido ao consumo de Potássio a partir de água potável não são susceptíveis de ocorrer em indivíduos saudáveis. Intoxicação por ingestão de Potássio é rara, porque o Potássio é rapidamente excretado na ausência de dano renal pré-existente e porque grandes doses únicas normalmente induzem ao vômito (GOSSELIN; SMITH; HODGE, 1984).

4.1.3 Ferro Dissolvido

O Ferro está presente no solo e em minerais, principalmente como óxido férrico insolúvel, sendo que formas de carbonatos insolúveis como siderita (FeCO_3) também são frequentes (WALDE, 1985).

O Ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água. O carbonato Ferroso é solúvel e frequentemente encontrado em águas de poços contendo elevados níveis de concentração de Ferro.

Conforme esclarece a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo no seu relatório sobre a qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo (CETESB, 2009), o nível de Ferro nas águas superficiais aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens. Também poderá ser importante a contribuição devida a efluentes industriais, pois muitas indústrias metalúrgicas desenvolvem atividades de

remoção da camada oxidada (ferrugem) das peças antes de seu uso, processo conhecido por decapagem, que normalmente é procedida através da passagem da peça em banho ácido.

O caminho percorrido pelas águas na natureza condiciona as impurezas que elas adquirem. Às vezes, além de compostos de ferro, ocorrem também impurezas de manganês. Segundo Richter e Azevedo Netto (1991), teores elevados de ferro são encontrados, com maior frequência nos seguintes casos:

- águas superficiais, com matéria orgânica, nas quais o ferro se apresenta ligado ou combinado com a matéria orgânica e, frequentemente, em estado coloidal;
- águas subterrâneas (poços, fontes e galerias de infiltração), agressivas (pH baixo, ricas em gás carbônico e sem oxigênio dissolvido), sob a forma de bicarbonato ferroso dissolvido;
- águas poluídas por certos resíduos industriais ou algumas atividades de mineração.

Conforme citado por Moruzzi e Reali (2012), o ferro e o manganês quando encontrados em águas naturais de baixo pH e na ausência de oxigênio, estão sob as formas quimicamente reduzidas (Fe^{+2}), solúveis, as quais são invisíveis. Quando o material é oxidado pela aeração ou pela aplicação de cloro, os minerais são precipitados conferindo à água uma aparência de vermelho a preto no caso de presença de ferro, e de púrpura a preto no caso de concentrações de manganês.

Segundo Michalakos *et al.*, (1997 *apud* MORUZZI & REALI, 2012), o ferro nas águas superficiais é geralmente presente na forma Fe(III) . Ele está presente no estado dissolvido em camadas profundas de alguns reservatórios com pouco oxigênio dissolvido ou em águas subterrâneas, na forma de Fe(II) , Fe(OH)^+ ou na forma de quelatos. As formas dissolvidas do ferro podem ser precipitadas pelo incremento do potencial de oxidação, do pH ou de ambos.

O Ferro, apesar de não se constituir em um tóxico, traz diversos problemas para o abastecimento público de água. Confere cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. Também traz o problema do desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferrobactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição. Por estes motivos, portanto, o Ferro constitui-se como padrão de

potabilidade, tendo sido estabelecida a concentração limite de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ na Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011a). Entretanto, de acordo com o § 4º do Art. 39 que trata dos padrões organolépticos de potabilidade, são permitidos valores superiores ao Valor Máximo Permitido estabelecido para o Ferro dissolvido, desde que, dentre outros critérios, não seja superior a $2,4 \text{ mg.L}^{-1}$.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2003), a partir de informações compiladas no documento de referência para o desenvolvimento das diretrizes para a qualidade de água potável, uma concentração de Ferro dissolvido (Fe^{2+}) em torno de $40 \text{ } \mu\text{g/L}$ já pode ser percebida através do gosto na água destilada. Em uma água mineralizada (na fonte), cujo conteúdo de Sólidos Dissolvidos Totais é de 500 mg.L^{-1} , o valor limiar do sabor sobe para $0,12 \text{ mg.L}^{-1}$, enquanto que nas águas subterrâneas, concentrações de $0,3$ a 3 mg.L^{-1} são consideradas aceitáveis. A concentração mediana de Ferro em rios tem sido relatada como sendo de $0,7 \text{ mg.L}^{-1}$. Em águas subterrâneas, em condições anaeróbicas, onde o Ferro está na forma de Ferro (II), as concentrações geralmente são de $0,5$ a 10 mg.L^{-1} . As concentrações de Ferro na água potável são, normalmente, inferiores a $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$, mas pode ser maior em países onde vários sais de Ferro são utilizados como agentes de coagulação em estações de tratamento de água e onde o tubulações de Ferro fundido, aço e Ferro galvanizado são utilizadas para a distribuição da água.

A resolução CONAMA no. 357/2005 (BRASIL, CONAMA, 2005), assim como o Estado de Minas, através da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008 (MINAS GERAIS, 2008), ao disporem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabeleceram as concentrações máximas de Ferro de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ para rios Classes 1 e 2, e $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ para Classe 3.

O Ferro, também, possui padrão para a emissão de esgotos e classificação das águas naturais. O CONAMA, através da resolução no. 430/2011 (BRASIL, 2011b) e o Estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2008) estabeleceram o limite de 15 mg.L^{-1} para concentração de Ferro dissolvido em efluentes descarregados na rede coletora de esgotos seguidas de tratamento.

A Agência de Proteção Ambiental Illinois (ILLINOIS, 2014) estabeleceu uma concentração máxima de Ferro na água potável de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$. De acordo com o Estado norte americano, a

classificação da água potável se dá de acordo com os seguintes níveis de concentração de Ferro (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Concentrações esperadas para Ferro nas águas superficiais e respectivas classificações quanto ao seu uso humano.

Concentração de Ferro (mg.L-1)	Classificação da Água
0 - 0,3	Aceitável
0,3 - 1,0	Satisfatória*
> 1,0	Insatisfatória

(*) Pode causar pigmentação e gosto censurável ao paladar.

Fonte: Commonly Found Substances in Drinking Water And Available Treatment Illinois Department of Public Health (ILLINOIS, 2014).

4.2 *Manejo de fertilizantes e os impactos da irrigação na qualidade dos recursos hídricos*

Sais de Potássio são largamente usados na indústria e em fertilizantes para agricultura, entrando nas águas doces através das descargas industriais e lixiviação das terras agrícolas. Em alguns países, o Cloreto de Potássio é utilizado na troca iônica para uso doméstico na redução da dureza da água, no lugar, ou misturado com Cloreto de Sódio, de forma que os íons de Potássio realizem troca com íons cálcio e magnésio. Também é sugerido o possível uso de sais de Potássio na substituição total ou parcial de sais de sódio para o condicionamento de água dessalinizada.

De acordo com Dias e Fernandes (2006), os principais fertilizantes potássicos comercializados no Brasil podem ser elencados, em ordem decrescente do teor de Potássio (K_2O), conforme Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Composição química dos principais fertilizantes potássicos comercializados no Brasil.

Produto	% K_2O	%S	%Mg	%Cloro	%N
Cloreto de Potássio	58		-	45	-
Sulfato de Potássio	48	15	0 - 1,2	0,5 - 2,5	-
Nitrato de Potássio	44		-	-	12
Sulfato de Potássio e Magnésio	20	20	10	1	-

Fonte: DIAS e FERNANDES (2006).

A irrigação, aliada ao uso de fertilizantes e inadequado da água, é uma atividade com alto potencial degradador, capaz de contribuir significativamente para a contaminação dos

mananciais, deteriorando a qualidade da água, devido ao aumento dos nutrientes, agroquímicos e metais pesados (SANTOS, 2006).

A ocupação e uso do solo pelas atividades agrícolas alteram sensivelmente os processos biológicos, físicos e químicos dos rios, uma vez que as chuvas precipitadas sobre as vertentes irão formar o deflúvio (escoamento) superficial que irá carrear sedimentos e poluentes para o curso d'água. Desta forma, o rio é um integralizador dos fenômenos ocorrentes nas vertentes da bacia, sendo que essas alterações podem ser avaliadas pelos parâmetros da qualidade da água (MERTEN & MINELLA, 2002).

Rodrigues e Irias (2004) afirmam que uma medida direta do impacto da agricultura irrigada pode ser obtida pela simples avaliação da alteração nas concentrações de substâncias dissolvidas na água, prévia e posteriormente à sua aplicação em campos cultivados. Em um estudo realizado na região de Guaíra (SP), Rodrigues *et al.*, (1998 *apud* RODRIGUES & IRIAS, 2004) apontaram importantes aumentos nas concentrações de várias substâncias dissolvidas em águas utilizadas para irrigação, o que possibilitou compor um índice de qualidade ambiental que expressa o impacto da agricultura irrigada na microbacia estudada. Dentre os parâmetros de maior relevância destacaram-se a Condutividade Elétrica, Nitrato, Amônia, Sódio e Sólidos em Suspensão.

Alcântara e Camargo (2005) destacam que em regiões tropicais úmidas, com baixos teores de matéria orgânica e em estágio avançado de intemperismo, a presença de cargas positivas no solo é muito maior do que em solos de regiões temperadas, assim a lixiviação do Nitrato poderá ser dificultada, embora não totalmente impedida. Em regiões de Latossolos e Cambissolos, devido à composição mineralógica destes, ocorre adsorção de Cloreto e Nitrato, retardando a lixiviação destes nutrientes para os cursos d'água.

Resende *et al.*, (2002) ainda destacam que sob determinadas condições de solo e clima e o uso excessivo ou o manejo inadequado de fertilizantes minerais ou orgânicos, podem acarretar o enriquecimento das fontes hídricas em nutrientes (p. ex.: Fósforo e Nitrato), promovendo a eutrofização das águas superficiais, com sérios prejuízos ao ambiente e à própria saúde humana. Brito *et al.* (2005) observaram que nas áreas sob influência da irrigação na bacia hidrográfica do Rio Salitre, situada na porção norte da Bahia, ocorreram aumentos significativos no pH, na condutividade elétrica da água e do extrato de saturação do solo.

4.3 Efluentes animais e o impacto ambiental em fontes naturais de águas

Veschi *et al.* (2010) mencionam que devido ao fato de que algumas substâncias presentes nos efluentes dos animais estarem, também, presentes nas suas dietas, as concentrações de agentes tóxicos provenientes das dietas dos animais, as quais devem ser consideradas para se estabelecer medidas que minimizem os impactos das excretas no meio ambiente. A intensidade do fluxo de nutrientes através do animal no sistema solo-planta-animal excede, frequentemente, a capacidade dos outros componentes do sistema utilizarem, de maneira eficiente, os elementos C, N, P e K. As quantidades requeridas desses elementos nos sistemas intensivos de produção animal diferem daquelas que podem ser aproveitadas pelo solo e pelas plantas de maneira eficiente. Dentre alguns aspectos da contaminação, Veschi *et al.* (2010) chamam atenção para a adição de efluentes animais ao solo para disponibilizar nutrientes para a planta visando incrementar seu crescimento alertando, contudo, para os efeitos indesejados ou mesmo nocivos, pois estes níveis diferem segundo a espécie da planta.

Em busca de um desenvolvimento agrícola sustentável, cada vez mais o agricultor familiar distancia-se dos insumos sintéticos e passa a fazer uso de insumos orgânicos demandado, assim, pesquisas científicas mais aprofundadas capazes de levantar informações sobre indicadores de fertilidade, controle de pragas e doenças cada vez mais precisas. Existem materiais com potencial para uso como os biofertilizantes, que figuram entre os principais insumos utilizados em sistemas agroecológicos, porém, a falta de testes e informações na busca de uma padronização limitam a sua exploração (TESSEROLI NETO, 2006).

Para Ferreira (1995), a urina de vaca é um biofertilizante rico em nutrientes, principalmente nitrogênio e Potássio, e pode ser usada como adubo e defensivo natural na agricultura, podendo ser capaz de proporcionar rendimentos satisfatórios nas hortaliças. De acordo com a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO-RIO, 1999) e Gadelha *et al.* (2003), os elementos K, N, Cl, S, Na e as substâncias fenóis e ácido indolacético são encontrados na urina de vaca e têm efeitos sobre as plantas.

A composição da urina varia com a alimentação e o estado de hidratação do animal. Os rins são responsáveis pela composição química final dos líquidos corporais, removendo não apenas resíduos metabólicos, mas desempenhando funções homeostáticas (HARPER *et al.*,

1982). Buckman e Brady (1976) encontraram, na composição da urina de vaca, água (92%), N (1,00%), P₂O₅ (traços) e K₂O (1,35%).

A urina de vaca fornece nutrientes e substâncias benéficas às plantas a baixo custo, sem causar risco à saúde dos produtores e consumidores, estando pronta para uso, bastando apenas acrescentar água (PESAGRO-RIO, 2002). Além disso, permite a integração de atividades da pecuária e olericultura, favorecendo a diminuição do custo de implantação das culturas devido à redução do uso de adubos minerais.

De acordo com Veschi *et al.*, (2010), estima-se que, em média, uma única excreção bovina seja equivalente a 1.200 g de esterco e 200 mL de urina. Dessa forma, a excreção aumenta o aporte de Carbono para o solo, principalmente por meio das fezes. A baixa relação C:N permite rápida mineralização e disponibilização dos nutrientes no solo. Por outro lado, Mielniczuk (1999) destaca que matérias com alta relação C:N, geralmente, são lentamente mineralizadas e induzem deficiência de nitrogênio às plantas, uma vez que os microorganismos absorvem grande parte do N disponível, o qual só volta a ser disponibilizado após a decomposição do material adicionado.

O esterco e a urina de bovinos apresentam uma relação Carbono - Nitrogênio (C:N) da ordem de 20:1 e 3,9:1, respectivamente. Além do Carbono, os bovinos também contribuem significativamente para a ciclagem de nutrientes nas pastagens pelo aporte de aproximadamente 65%, 11%, 78%, 80% e 29% de Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Sódio, respectivamente que retornam ao solo pelas fezes.

4.4 O Enquadramento de corpos d'água

O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes, é um dos instrumentos das Políticas Nacional e Estadual de Recursos Hídricos visando estabelecer metas de qualidade para os corpos de água, a fim de assegurar os usos preponderantes estabelecidos. Esse instrumento está relacionado com as metas de qualidade de água pretendidas para um corpo hídrico e não necessariamente com as condições atuais do mesmo. O enquadramento visa, conforme Art. 9, da Lei nº 9.433, de 1997 que Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), “assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais

exigentes a que forem destinadas” e a “diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes” (BRASIL, 1997).

A classe do enquadramento de um corpo d’água deve ser, portanto, definida em um pacto acordado pela sociedade, levando em conta as prioridades de uso da água. A discussão e o estabelecimento desse pacto ocorrem no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). O enquadramento é referência para os outros instrumentos de gestão de recursos hídricos (outorga e cobrança) e instrumentos de gestão ambiental (licenciamento e monitoramento), sendo, portanto, um importante elo entre o SINGREH, criado pela Lei no. 9.433, de 1997 (BRASIL, 1997) e o Sistema Nacional de Meio Ambiente, Criado pela Lei no. 6.938, de 1981 (BRASIL, 1981).

O enquadramento é realizado para trechos dos rios onde o comitê de bacia estabelece como meta a sua qualidade da água. O critério fundamental para definição do enquadramento é a resolução CONAMA no. 357 de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos d’água e define as diretrizes para o seu enquadramento. Nesta Resolução as classes vão de especial e classes 1 a 4, sendo as classes especial 1 até 2 como melhor qualidade e as demais com indicadores piores. Os indicadores para o enquadramento nas classes são de parâmetros de qualidade da água que caracterizam diferentes fontes de contaminação.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), no âmbito Federal, assim como na esfera do Estado de Minas Gerais, por intermédio da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 2008 (MINAS GERAIS, 2008), nos artigos 42 e 37, respectivamente, enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, sendo que o Estado complementa o texto: "exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente".

No Estado de Minas Gerais, a Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999, dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos – PERH (regulamentada pelo Decreto nº 41.578, de 8 de março de 2001) e estabelece o enquadramento dos cursos d’água como um dos instrumentos da PERH (MINAS GERAIS, 1999).

Em Minas Gerais é a Agência de Bacia que deve efetuar os estudos técnicos e propor o enquadramento dos corpos de água da bacia para posterior deliberação do Comitê de Bacia

Hidrográfica e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Até a implantação do comitê e da Agência da Bacia Hidrográfica, o enquadramento das águas nas classes de qualidade deve ser definido pelo COPAM-MG, com apoio técnico e operacional das entidades vinculadas à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD.

5 METODOLOGIA

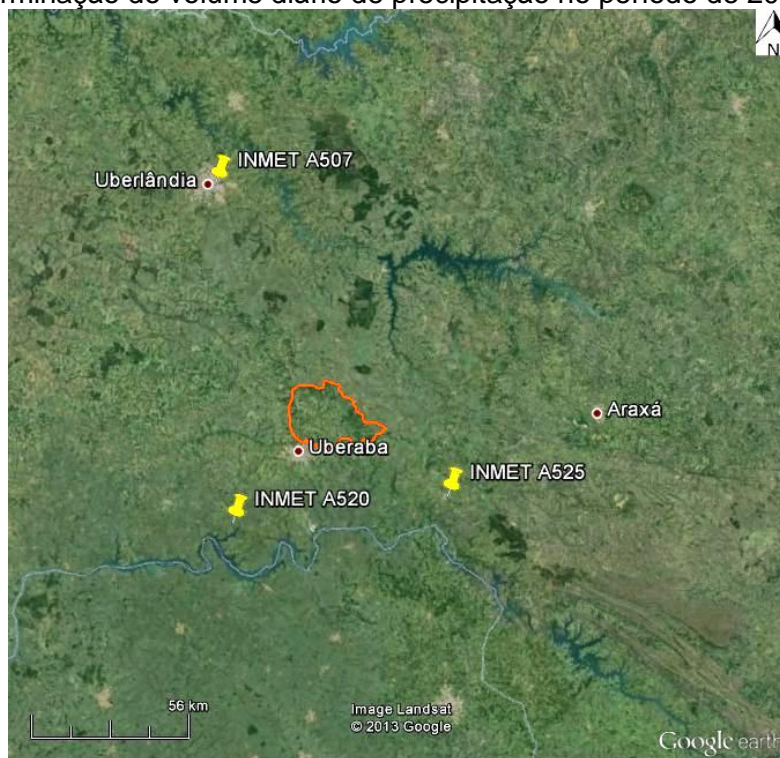
5.1 Avaliação da distribuição de chuvas na área da APA do rio Uberaba

Para a área de interesse foram interpolados dados diários de precipitação no período de 01/01/2003 a 31/12/2012 a partir de três estações meteorológicas operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cujas informações são apresentadas na Tabela 5.1, enquanto que na Figura 5.1 é possível observar a localização das estações em relação à área de interesse.

Tabela 5.1 - Estações meteorológicas utilizadas para a determinação da precipitação diária na área de estudo.

Estação	A507	A520	A525
Operador:	INMET	INMET	INMET
Código INMET:	A507	A520	A525
Código OMM:	86776	86794	86795
Aberta em:	14/12/2002	16/07/2006	18/08/2006
Coordenadas Geográficas:	Lat.: -18°91'66" Long.: -48°25'00"	Lat.: -19°98'58" Long.: -48°15'25"	Lat.: -19°87'53" Long.: -47°43'42"
Altitude (metros):	869	568	912

Figura 5.1 - Localização e distribuição das estações meteorológicas utilizadas no estudo para determinação do volume diário de precipitação no período de 2003 a 2012.



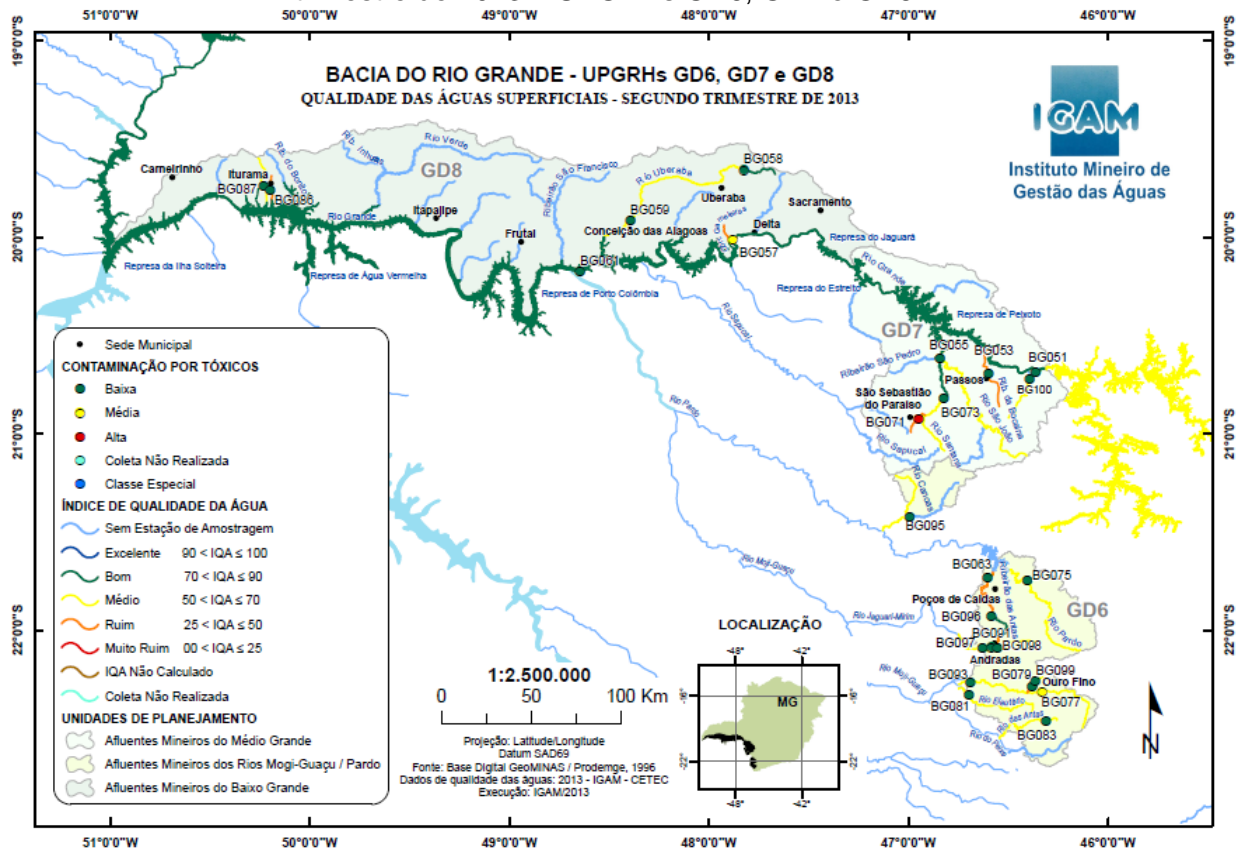
Legenda: Os marcadores amarelos representam as estações do INMET. Os pontos vermelhos, as principais cidades no entorno e o contorno em vermelho, a APA do rio Uberaba. (Fonte: Imagem Google Earth ©).

5.2 Avaliação da qualidade das águas do rio Uberaba na APA

O Projeto Águas de Minas, desenvolvido pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) em 1997 e conduzido pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) desde 2001, tem o objetivo de monitorar a qualidade das águas superficiais do Estado, através de informações sobre o Índice de Qualidade de Água (IQA) e Contaminação por Tóxicos (CT).

Para a bacia do rio Grande o monitoramento é realizado em 72 pontos, dos quais apenas dois estão localizados na bacia do rio Uberaba (Figura 5.2) recebendo as denominações de BG058 (rio Uberaba, a montante da cidade de Uberaba) e BG059 (rio Uberaba, na cidade de Conceição das Alagoas e a montante do reservatório de Porto Colômbia).

Figura 5.2 - Mapa da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Grande no segundo trimestre de 2013 – UPGRHs GD6, GD7 e GD8.



Fonte: IGAM (2013).

A única estação de monitoramento da qualidade das águas do rio Uberaba dentro dos limites da APA é a BG058 (implantada em 02/03/2000), situada a cerca de 16 km a montante da foz do córrego Alegria e cujas coordenadas geográficas são: 19°39'29,585" (latitude) e 47°49'35,404" (longitude).

A partir do conjunto de dados disponibilizados para esta a estação BG058 no período de 17/03/2000 a 19/03/2013, foram compilados e analisados os resultados analíticos de 53 campanhas para os parâmetros: Cloreto, Potássio dissolvido, Ferro dissolvido, pH, Condutividade Elétrica e Turbidez. As análises de Cloreto, pH, Condutividade Elétrica e Turbidez foram realizadas trimestralmente, enquanto que Potássio dissolvido e Ferro dissolvido, semestralmente. Destaca-se, contudo, que até março de 2001 e a partir de setembro de 2010, as análises de Ferro dissolvido foram trimestrais.

Foram elaborados gráficos lineares para a avaliação temporal dos parâmetros de interesse, além de um quadro referente à estatística descritiva, tendo sido determinados a média aritmética (média), mediana, desvio padrão, coeficiente de variação (CV), valores máximos e mínimos e intervalos interquartis.

5.3 Avaliação da qualidade do solo de trecho da microbacia do córrego Alegria

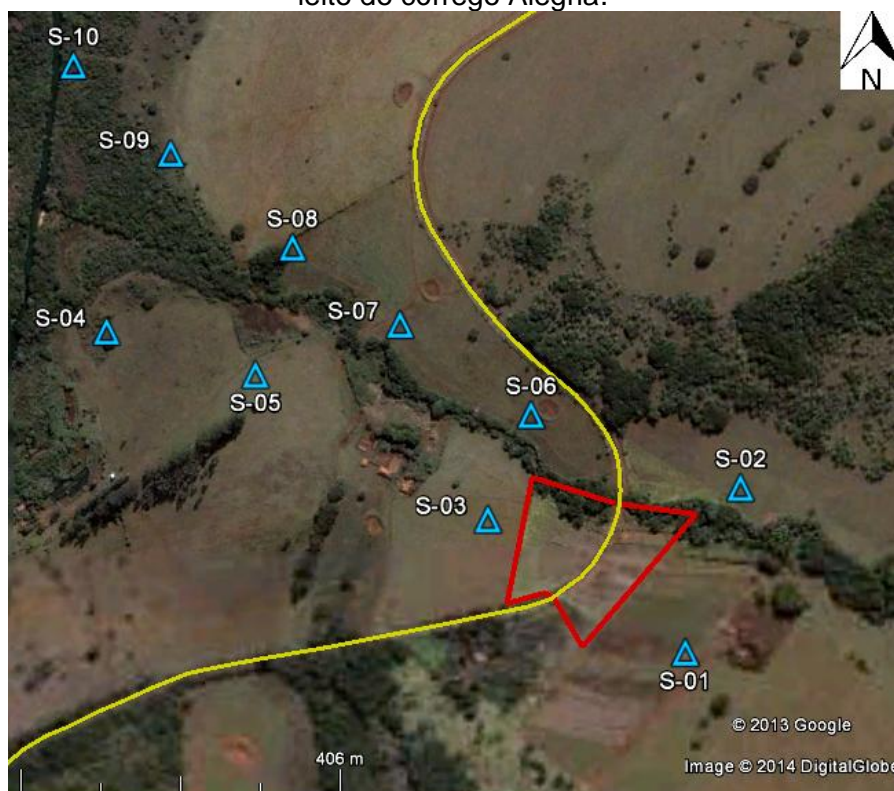
Em outubro de 2012 a Ferrovia Centro-Atlântica S/A, como parte do programa de monitoramento acordado com o Ministério Público, visando a avaliação da qualidade ambiental após o acidente Ferroviário, conduziu coletas de amostras do solo, tanto na área diretamente afetada, bem como ao longo das margens do leito do córrego Alegria e do rio Uberaba.

Foram definidos 61 pontos de coleta, sendo 51 na área gerenciada pela companhia, na qual era desenvolvido um plantio extensivo e consequente uso de fertilizantes antes do acidente ferroviário, 09 ao longo das margens do córrego Alegria e apenas 01 na margem esquerda do rio Uberaba, situado a montante da confluência com o córrego Alegria. As áreas onde houve a coleta de solo ao longo dos citados corpos d'água foram consideradas como não antropizadas e, portanto, áreas de referência. À exceção das amostras ao longo do córrego Alegria e rio Uberaba, cuja profundidade de coleta foi em torno de 0,5 m (meio metro), para as demais adotou-se uma malha regular com coletas segundo 03 (três) profundidades distintas (superficial, intermediária e profunda) para cada ponto. Todas as amostras superficiais foram coletadas a 0,5 m de profundidade, enquanto que as intermediárias variaram de 1,0 m a 3,5 m e as profundas de 2,0 m a 8,5 m, sendo que estas duas últimas tiveram como propósito avaliar a variação das concentrações das espécies de interesse levando-se em conta a zona de

flutuação da franja capilar. A mediana calculada para as amostras intermediárias e profundas foi de 2,5 m e 5,0 m, respectivamente.

Na Figura 5.3 é apresentado um mapa com a localização da área gerenciada e monitorada pela FCA, onde foram coletadas 51 amostras, e a localização das 10 amostras coletadas ao longo dos corpos d'água.

Figura 5.3 - Distribuição dos pontos de coleta de amostras superficiais nas proximidades do leito do córrego Alegria.



Legenda: Os marcadores em azul representam os pontos de coleta de amostras de solo superficial; O polígono vermelho delimita a área gerenciada pela FCA; e a linha a amarela, o traçado da ferrovia.

Fonte: Imagem Google Earth®.

As espécies de interesse foram: Cloreto; Potássio total e Ferro total. A partir dos resultados analíticos obtidos, foi conduzida a elaboração de um quadro referente à estatística descritiva do conjunto de dados, tendo sido determinados a média aritmética (média), mediana, desvio padrão, coeficiente de variação (CV), valores máximos e mínimos e intervalos interquartis. Também foram elaborados gráficos de distribuição tipo *box-and-whisker* para avaliar as diferenças e tendências no conjunto de dados avaliados.

5.4 Plano de amostragem das águas superficiais

Motivado pelo acidente Ferroviário de junho de 2003, o presente estudo baseou-se na avaliação de resultados analíticos de 03 (três) intervalos de amostragens totalizando 308 campanhas de monitoramento. O primeiro, considerando 03 (três) estações de monitoramento e coletas diárias de amostras no córrego Alegria e rio Uberaba, ocorreu no período de 11/06 a 05/08/2003, ou seja, logo após o acidente Ferroviário, compreendendo 56 campanhas. O segundo intervalo refere-se ao período de 10/04/05 a 04/07/2012, totalizando resultados provenientes de 236 campanhas com uma frequência média de coleta a cada 15 dias e a partir do qual houve a exclusão da estação P-01; e, por fim, o terceiro, também proveniente de coletas quinzenais, no período de 06/03 a 02/10/2013, com resultados de 16 campanhas. Neste último caso, além de mantidas as estações originais do estudo, foi incluída a estação P-10, situada a jusante da foz do córrego Alegria.

Até a presente data, a Ferrovia Centro-Atlântica, a pedido do Ministério Público Estadual de Minas Gerais, conduz análises quinzenais das águas do córrego Alegria e rio Uberaba quanto a eventual presença dos principais parâmetros direta ou indiretamente relacionados ao acidente ferroviário. Vale destacar, desta forma, que os trabalhos conduzidos pela FCA não têm, portanto, o propósito de avaliar ou caracterizar a qualidade d'água dos corpos d'água ora considerados no âmbito da potabilidade ou seu enquadramento.

Considerando, ainda, que concentrações dos álcoois analisados foram detectados pela última vez em maio de 2006 resultando, assim, em uma grande quantidade de resultados censurados, foram definidos os seguintes parâmetros de interesse, alvos deste estudo e objetivando a avaliação da evolução da qualidade dos corpos d'água amostrados no citado período: Condutividade Elétrica, pH, Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido.

A rede de amostragem das águas superficiais, a cargo da CETEC, encontra-se estabelecida e descrita conforme distribuição em relação ao ponto do acidente (ponte Ferroviária) e confluência do córrego Alegria e Uberaba, de acordo com a Tabela 5.2, a seguir.

Tabela 5.2 - Dados das estações de monitoramento das águas no córrego Alegria e rio Uberaba utilizadas no estudo.

Estação	Descrição	Coordenadas			Distância Relativa ao Ponto (m)	
		Sul	Oeste	Elevação (m)	Confluência (m)	Ponte Ferroviária (m)
1	Córrego Alegria ± 250 m a montante da ponte Ferroviária	19°39'35,96"	47°54'6,05"	780	1.165	-255
2	Córrego Alegria ± 100 m a montante da ponte Ferroviária	19°39'34,87"	47°54'10,68"	778	1.020	-110
3	Córrego Alegria ± 15 m a montante da ponte Ferroviária	19°39'34,30"	47°54'13,73"	777	925	-15
4	Córrego Alegria na margem ± 35 m a jusante da ponte Ferroviária	19°39'34,08"	47°54'15,35"	776	875	35
5	Córrego Alegria ± 150 m a jusante da ponte Ferroviária	19°39'31,98"	47°54'18,37"	775	765	145
6	Córrego Alegria imediatamente a jusante da ponte de concreto	19°39'27,33"	47°54'25,87"	772	475	435
7	Córrego Alegria ± 10 m a montante da confluência com rio Uberaba	19°39'21,89"	47°54'38,70"	762	20	890
8	Rio Uberaba a montante da confluência do córrego Alegria	19°39'20,81"	47°54'39,28"	763	-25	-
9	Rio Uberaba na captação do CODAU	19°42'52,68"	47°56'13,60"	714	15.370	-
10*	Rio Uberaba ± 20 m a jusante da confluência do córrego Alegria	19°39'22,49"	47°56'12,73"	763	20	-

Obs.: Valores negativos significam a montante do ponto de referência.

(*) O ponto P-10 somente foi adicionado a rede de monitoramento a partir de março de 2013.

A ponte ferroviária, relativizada como o ponto do acidente, localiza-se a cerca de 950 m a montante da foz córrego Alegria junto ao rio Uberaba.

O ponto mais a montante da ponte ferroviária situa-se a cerca de 1165 m da confluência do córrego Alegria representando, desta forma, 1/7 do comprimento total do córrego.

Na imagem apresentada na Figura 5.4, à exceção da estação 9 (captação do CODAU), é possível visualizar a distribuição espacial das demais estações que constituem a rede de monitoramento das águas do córrego Alegria e rio Uberaba, além do ponto onde ocorreu o acidente Ferroviário de 2003.

Figura 5.4 - Imagem aérea contemplando posicionamento dos pontos de coleta de águas superficiais, à exceção do ponto 9 (CODAU).



Legenda: A linha azul clara representa o leito do córrego Alegria. Os círculos amarelos representam as estações de coleta das amostras de águas superficiais. A linha amarela, o leito Ferroviário. O polígono vermelho a área sob responsabilidade da FCA.

Fonte: Imagem Google Earth®.

A seguir é apresentado um registro fotográfico das estações de coleta do córrego Alegria e rio Uberaba (Figura 5.5 a Figura 5.13), à exceção da estação P-01.

Figura 5.5 - Coleta na estação P-02 do córrego Alegria.



Fonte: Acervo FCA (Novembro de 2013).

Figura 5.6 - Coleta na estação P-03 do córrego Alegria.



Fonte: Acervo FCA (Novembro de 2013).

Figura 5.7 - Coleta na estação P-04 do córrego Alegria.



Fonte: Acervo FCA (Novembro de 2013).

Figura 5.8 - Coleta na estação P-05 do córrego Alegria.



Fonte: Acervo FCA (Novembro de 2013).

Figura 5.9 - Coleta na estação P-06 do córrego Alegria.



Fonte: Acervo FCA (Novembro de 2013).

Figura 5.10 - Coleta na estação P-07 do córrego Alegria.



Fonte: Acervo FCA (Novembro de 2013).

Figura 5.11 - Coleta na estação P-08 no rio Uberaba, montante da foz do córrego Alegria.



Fonte: Acervo FCA (Novembro de 2013).

Figura 5.12 - Coleta na estação P-09 na captação de água do CODAU - rio Uberaba



Fonte: Acervo FCA (Novembro de 2013).

Figura 5.13 - Coleta na estação P-10 no rio Uberaba, jusante da foz do córrego Alegria..



Fonte: Acervo FCA (Novembro de 2013).

Ocasionalmente, devido a eventos ocorridos durante campanhas de campo, ou por orientação da Ferrovia Centro-Atlântica S/A, em determinados pontos não foram feitas coletas. Destacam-se suas justificativas descritas e apresentadas nos laudos analíticos laboratoriais, a seguir, com base na nomenclatura definida pela própria fundação: ENS – Ensaio Não Solicitado; FAP – Falta de Acesso ao Ponto; PA – Perda de Amostra; PNC – Ponto Não Coletado; e PSA – Ponto Não Coletado Por Falta de Água.

Destaca-se que os LQs, conforme poderá ser evidenciado mais a frente, são inferiores aos limites estabelecidos como Valores Máximos Permitido (VMPs) para prevenção do risco à saúde humana quanto à ingestão de águas, de forma a não comprometer esta análise quantitativa e qualitativa.

5.5 Coleta e análises laboratoriais

Para assegurar o mínimo de deslocamento das estações de monitoramento definidas para o estudo durante as campanhas de coleta, os pontos foram minuciosamente descritos para facilitar o reconhecimento em campo. Os pontos também foram georreferenciados e fotografados.

Em geral, a amostra das águas superficiais coletada se deu mergulhando-se um frasco com a boca voltada contra a corrente. Quando necessária a coleta de um grande volume da amostra para ser distribuído nos diferentes frascos a serem submetidos a diferentes tipos de preservação, foi utilizada a garrafa de Van Dorn ou recipiente apropriado para o tipo de amostragem como baldes de material quimicamente inerte.

A fim de garantir a representatividade da amostra coletada e evitar possível contaminação cruzada, sempre que fora empregado um mesmo recipiente em pontos diferentes, fazia-se a lavagem do recipiente com as águas do próprio local (ambiente) antes da nova amostragem.

Nos casos de amostragem a partir de margem, locais de difícil acesso, utilizou-se um recipiente de coleta provido de peso, arremessando-o até o local o mais distante possível da margem. Como cuidados adicionais, a amostragem nas margens eram feitas em local onde não havia influência de correntezas proporcionando, assim, a aeração e represamentos repentinos ou ocasionais, formando depósitos de detritos. Sempre tomou-se o cuidado para evitar arraste de material sólido de fundo ou de margem, como sementes ou ramos, que pudessem contaminar a amostra.

Para a amostragem sob a ponte evitou-se contaminações da amostra protegendo a corda utilizada do contato direto com detritos e lançando o recipiente de coleta distante dos pilares ou encostas procurando-se sempre a coleta a jusante e no meio da calha principal do curso d'água.

Devido à dificuldade em realizar a análise da amostra imediatamente após a sua coleta, foram adotadas técnicas de preservação, tais como controle de pH, adição de reagentes químicos e refrigeração, que mantêm a amostra praticamente inalterada até o momento de ser analisada no laboratório; estas técnicas se restringem apenas a retardar a ação biológica e a hidrólise de compostos químicos, bem como reduzir a volatilidade dos constituintes.

A Tabela 5.3 estabelece, por fração de amostra, os tipos de frasco acondicionadores, de preservação, a necessidade ou não de filtração e os prazos para ensaio.

Tabela 5.3 - Parâmetros de interesse e respectivas características de acondicionamento e preservação.

Ensaio	Frasco	Preservação	Prazo para ensaio	Observação
Condutividade elétrica	P / V	Refrigeração	28 d	-
Cloreto	P / V	-	28 d	-
Metais dissolvidos (Ferro, Potássio)	P	HNO ₃ conc. até pH < 2	180 d	A
pH	P / V	-	15 min	B

Legenda: P = polietileno ou equivalente; V = vidro; d = dia; min = minuto; A - Amostra deve ser filtrada em filtro de membrana com porosidade 0,45 micrômetros e então acidificada; B – Sempre que possível analisar imediatamente.

Fonte: CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais / *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SM) 22 ed. Washington: APHA, AWWA, WEF, 2012. 1v.

Os dados de amostragem eram sempre anotados no formulário próprio; observando ocorrências anormais relacionadas à coleta que pudessem fornecer dados de importância para a interpretação dos resultados, tais como, chuva nas últimas 24h, assoreamento dentre outros.

Uma vez coletada a amostra e fracionada, os frascos eram acondicionados em caixa térmica e enviados ao laboratório.

Para o correto acondicionamento, foram levados em conta os seguintes critérios:

- o tipo de frasco e tampa, de forma a se evitar vazamento e o contato direto entre frascos de vidro;
- a necessidade de refrigeração, de forma a garantir o contato integral entre o(s) frasco(s) e o gelo.

Na Tabela 5.4, a seguir, são apresentados os parâmetros analisados e seus respectivos métodos de ensaio, limites de quantificação e referências.

Tabela 5.4 - Parâmetros analisados e respectivos métodos analíticos utilizados.

Parâmetro	Método	Limite de Quantificação		Referência
		Valor	Unidade	
Cloreto	Colorimétrico	0,5	mg.L ⁻¹	USGS-I-1187 78/1979
Condutividade elétrica	Condutimetria	-	µS.cm ⁻¹	SM 2510 B
Ferro	ICP OES	0,03	mg.L ⁻¹	SM 3120 B
Potássio	ICP OES*	0,1	mg.L ⁻¹	SM 3120 B

1) ICP OES – Espectrometria de emissão atômica por plasma

2) USGS-I-1187 78/1979 (USGS, 1985; SM)

3) SM 2510B: Conductivity - Laboratory Method (SM, 2012)

4) SM 3120B: Metals in Water by Plasma Emission Spectroscopy (SM, 2012)

SM - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*

USGS - *United State Geological Survey*

Fonte: CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (relatório interno FCA).

5.6 Banco de dados

Inicialmente, foi necessário a construção de um banco de dados consistente, considerando-se:

- Foram avaliados os resultados analíticos obtidos durante os 03 (três) intervalos selecionados conforme detalhado no Plano de Amostragem das Águas Superficiais;
- Os parâmetros químicos analisados foram: Condutividade Elétrica (CE). pH, Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido;
- Todos os resultados analíticos foram de amostras coletadas e analisadas pela CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais;
- Para o cálculo da precipitação de chuva diário-local foram considerados dados provenientes de 3 estações do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (INMET A507 / OMM 86776; INMET A520 / OMM 86794; e INMET A525 / OMM 86795). Foram utilizados resultados de precipitação no período de 01/01/2003 a 20/09/2012;
- Para efeito de comparação, foram, também, construídos bancos de dados a partir dos da compilação dos resultados analíticos das águas coletadas pelo IGAM na estação BG-058 (rio Uberaba) e resultados analíticos das amostras de solo coletadas na área-alvo;

Após a elaboração do banco de dados foi utilizado o software Microsoft® Office Excel (MICROSOFT, 2007) que auxiliou no cálculo e elaboração da Estatística Descritiva, assim como na construção de gráficos temáticos diversos, a fim de subsidiar o estudo evolutivo do cenário ambiental e obter relações que permitissem uma avaliação preliminar dos dados.

Na Tabela 5.5 são apresentadas informações em torno do conjunto de dados utilizado e interpretado no presente estudo.

Tabela 5.5 - Sumário do banco de dados utilizados de acordo com as estações de monitoramento e parâmetros de interesse.

Estação	Períodos de Monitoramento	Número de Campanhas	Resultados Válidos				
			Cloreto	Potássio dissolvido	Ferro dissolvido	Condutividade de Elétrica	pH
P-01*	11/06 a 05/08/2003	56	56	56	*	56	56
P-02	10/04/05 a 04/07/2012	236	231	235	213	235	235
P-03	10/04/05 a 04/07/2012	236	229	235	210	235	235
P-04	10/04/05 a 04/07/2012	236	223	235	216	235	235
P-05	10/04/05 a 04/07/2012	236	227	236	214	236	236
P-06	10/04/05 a 04/07/2012	236	224	231	212	231	231
P-07*	11/06 a 05/08/2003 10/04/05 a 04/07/2012	292	277	287	216	287	287
P-08	10/04/05 a 04/07/2012 06/03 a 02/10/2013	252	186	215	206	215	215
P-09*	11/06 a 05/08/2003 06/03 a 02/10/2013	308	304	307	237	307	307
P-10**	06/03 a 02/10/2013	16	16	16	16	16	16

(*) No período de 11/06 a 05/08/2003 o Ferro dissolvido não configura na lista de parâmetros químicos de interesse.

(**) Ponto adicionado a partir de março de 2013.

5.7 Análise preliminar dos parâmetros monitorados nas estações de amostragem

Os dados referentes aos parâmetros físico-químicos estudados especificamente nas amostras de águas do córrego Alegria foram inicialmente analisados para verificação da presença de observações substancialmente diferentes das outras, que apresentam valores suspeitos. A ocorrência desses valores, tidos como *outliers*, pode indicar, tanto características reais da população em estudo, como erros de medição que, neste caso, podem distorcer seriamente os resultados dos testes estatísticos.

Existem vários métodos de identificação de *outliers* e, dentre eles, um amplamente utilizado é a detecção por meio da amplitude interquartis, representada por AIQ , que é dada pela diferença entre Q_3 e Q_1 , respectivamente, o terceiro e o primeiro quartis. Foi considerado *outlier* superior todo dado superior a $(Q_3 + 1,5AIQ)$ e, analogamente, *outlier* inferior todo valor menor que $(Q_1 - 1,5AIQ)$ (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

Entretanto, ainda que suspeitos, os *outliers* foram considerados sem restrições. Entretanto, a fim de evitar distorções nos resultados, todas as ocorrências tidas como *valores extremos* foram individualmente analisadas, referindo-se ao conjunto de dados inferiores a $(Q_1-3,0AIQ)$ ou superiores a $(Q_3+3,0AIQ)$. Tal análise possibilitou a decisão sobre a necessidade de exclusão ou não dos mesmos.

Em seguida, foi calculada a estatística descritiva para cada ponto de monitoramento, considerando número de dados, média aritmética (média), mediana, desvio padrão, coeficiente de variação (CV), valores máximos e mínimos, intervalos interquartis e os resultados apresentados na forma de tabelas, permitindo uma visualização da variabilidade em cada ponto.

5.8 Verificação de possível alteração na qualidade das águas do córrego Alegria devido ao derramamento de KCl em junho de 2003

Para verificar o eventual impacto na qualidade das águas do córrego Alegria em decorrência do acidente Ferroviário de 10 de junho de 2003 com conseqüente derramamento de carga de Cloreto de Potássio foram considerados os resultados analíticos provenientes das 56 campanhas conduzidas no período de 11/06 a 05/08/2003 nas estações de monitoramento P-01 e P-07 (Figura 5.14).

Em decorrência da estratégia definida, à época, pela empresa Ferroviária e alinhamentos técnico-gerenciais com órgãos ambientais e demais instituições fiscalizadoras, não foram monitorados pontos adicionais no intervalo entre as estações P-01 e P-07.

Figura 5.14 - Mapa de localização das estações de monitoramento P-01 e P-07 (círculos amarelos) e limites da área afetada diretamente pelo acidente.



Fonte: Imagem Google Earth ©.

Para efeitos de comparação das variações temporais das concentrações de Cloreto e Potássio dissolvido nestas 2 estações, foi elaborado um gráfico linear, assim como comparadas as distribuições estatísticas através de gráfico *box-and-whisker*.

A fim de avaliar o potencial de carreamento do produto químico derramado pelas águas de chuvas, foi construído um gráfico de variação temporal da precipitação diária (e acumulada) na área até um intervalo de 3 meses após o acidente.

Destaca-se, conforme informações obtidas em relatórios de atendimento à emergência encaminhados aos órgãos ambientais e Ministério Público que, do total da carga presente nos vagões acidentados (145 toneladas de KCl), apenas 11 toneladas encontravam-se dispostas sobre a área, tendo sido este volume completamente removido no dia 14/06/2003.

5.9 Descrição das variações espaço-temporais dos parâmetros físico-químicos de interesse nas águas do córrego Alegria e rio Uberaba

A partir do conjunto de resultados analíticos de Cloreto, Potássio dissolvido, Ferro dissolvido, pH e Condutividade Elétrica em amostras coletadas nas estações de monitoramento ao longo do córrego Alegria (P-02, P-03, P-04, P-05, P-06 e P-07) no período de 10/04/2005 a 04/07/2012, assim como baseado nas medidas de dispersão consideradas pela estatística descritiva, foram elaborados gráficos de distribuição linear e estatística (gráficos *box-and-whisker*) que permitiram caracterizar as variações espaço-temporais no trecho do córrego Alegria.

Aliados aos dados de precipitação diários, considerando-se como período chuvoso o intervalo entre os meses de outubro a abril e de seca, entre maio a setembro, os dados anteriores auxiliaram na verificação do comportamento dos parâmetros físico-químicos de interesse durante ciclos hidrológicos.

Utilizando-se software estatístico e gerenciador de banco de dados, foram realizados testes estatísticos não paramétricos, a fim de verificar a similaridade entre as concentrações de Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido, obtidos nas amostras coletadas através de 6 das 7 estações no córrego Alegria (P-02 a P-07), considerando-se os períodos de chuva e estiagem no intervalo de abril de 2005 a julho de 2012. A estação P-01 não foi aqui considerada por apresentar resultados apenas das campanhas de 2003.

Com o objetivo de verificar o efeito da sazonalidade sobre a variação das concentrações dos parâmetros analisados (Cloreto, Potássio dissolvido, Ferro dissolvido) foi utilizado o Teste U Mann Whitney (MANN & WHITNEY, 1947 *apud* Zar, 2009), a um nível de significância de 5%, comparando-se as medianas das concentrações calculadas para os períodos de chuva e estiagem com os resultados obtidos em cada uma das estações no córrego Alegria.

A fim de verificar a similaridade das medianas das concentrações de Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido entre os resultados obtidos em amostras coletadas realizando-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, a um nível de significância de 5% (KRUSKAL & WALLIS, 1952 *apud* Zar, 2009), nos períodos de chuva e estiagem separadamente. Pretendeu-se verificar se as concentrações dos parâmetros apresentariam oscilações sazonais ao longo do trecho monitorado no córrego Alegria que pudessem ser significativamente distintas espacialmente, fosse nos períodos de chuva ou estiagem.

Objetivando avaliar a relação entre os parâmetros analisados (Cloreto, Potássio dissolvido, Ferro dissolvido, pH e Condutividade Elétrica), a partir das estações de monitoramento P-02 a P-07 (córrego Alegria) no período de abril de 2005 a julho de 2012, assim como com os índices pluviométricos considerados nas datas de coleta, foram calculados o coeficiente de correlação de Spearman (SPEARMAN, 1904 *apud* Pasquali, 1997). A partir dos resultados obtidos para cada uma das estações foi elaborada uma tabela com intervalos dos coeficiente ρ de Spearman possibilitando, assim, avaliar a existência de correlações positivas ou negativas entre os parâmetros analisados e precipitação, assim como sua abrangência, ou seja, se o comportamento é ou não observado para todas as estações do córrego Alegria.

De forma a obter uma avaliação comparativa entre os resultados obtidos para o córrego Alegria e rio Uberaba, também foram considerados os dados obtidos a partir das estações P-08 e P-09. Entretanto, não foram gerados gráficos de variação temporal ou de distribuição estatística parâmetro a parâmetro sendo, contudo, elaborados para o ano hidrológico de 2005/2006, gráficos das razões entre concentrações Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido (córrego Alegria / rio Uberaba), cujos resultados foram avaliados mediante a variação pluviométrica.

5.10 Avaliação temporal e comparativa da qualidade das águas do córrego Alegria com as do rio Uberaba

A fim de se avaliar comparativamente a qualidade das águas do córrego Alegria com as do rio Uberaba foram verificados os resultados de Cloreto, Potássio dissolvido, Ferro dissolvido, pH e Condutividade Elétrica, nos períodos de abril de 2005 a julho de 2012 e de março a dezembro de 2013, nas estações P-07, situada no leito do córrego Alegria, a cerca de 10 m da confluência com o rio Uberaba, e P-08 e P-10, ambas situadas na margem esquerda do rio Uberaba, a cerca de 20 m a montante e jusante, respectivamente, da mesma confluência. Adicionalmente, foram avaliadas as concentrações obtidas a partir da estação P-09, dedicada ao ponto de captação do CODAU, a fim de avaliar a qualidade da água destinada ao abastecimento do município de Uberaba. À exceção da estação P-09, a Figura 5.15, a seguir, apresenta a localização das estações de coleta utilizadas para o atendimento deste objetivo.

Figura 5.15 - Detalhe da foz do córrego Alegria no rio Uberaba e as estações de amostragem de água P-07, P-08 e P-10.



Fonte: Imagem Google Earth ®.

Para a verificação da influência da descarga das águas do córrego Alegria no rio Uberaba, foram avaliados os resultados de pH, Condutividade, Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido em 2013, ano em que a estação P-10 foi inserida na rede de monitoramento. Desta forma, foram avaliados os resultados de 21 campanhas quinzenais no período de 06/03/2013 a 11/12/2013 a partir das estações P-07, P-08 e P-10.

Adicionalmente, além de calculadas as medianas, valores máximos e mínimos, foram confeccionados gráficos lineares de série temporal e das razões entre as concentrações de jusante (P-08) e montante (P-10) no rio Uberaba.

Destaca-se que, para efeitos de representação gráfica, assim como da determinação dos parâmetros estatísticos calculados, os valores abaixo dos limites de quantificação do método (LQ) foram substituídos por seus respectivos valores. Para a estação P-08, devido a inviabilidade de acesso decorrente da elevação do nível d'água no córrego Alegria, não foram coletadas amostras nos dias 20/03/2013 e 29/05/2013.

Com o objetivo de verificar, estatisticamente, se há diferenças significativas entre medianas das concentrações de Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido nas águas coletadas no rio Uberaba (P-08), a montante da foz do córrego Alegria, com as águas provenientes deste (P-07), foram conduzidos Testes U de Mann-Whitney (MANN & WHITNEY, 1947 *apud* Zar, 2009) nos períodos de chuvas e estiagem. Foram, ainda, construídos gráficos *box-and-whisker* para visualização da distribuição dos dados. Foram considerados os resultados a partir das campanhas de amostragem no período de abril de 2005 a julho de 2012. O mesmo ocorreu para as estações P-08 e P-10, visando avaliar se as águas do córrego Alegria alteram, significativamente, a qualidade das águas do rio Uberaba através do aporte de concentrações dos referidos parâmetros de interesse. Neste último caso, foram considerados apenas os resultados das campanhas de março a dezembro de 2013, uma vez que a estação P-10 foi incluída apenas em 2013. Os testes estatísticos foram realizados através de um software estatístico e gerenciador de banco de dados, a um nível de significância de 5%.

5.11 Avaliação da qualidade das águas do córrego Alegria de acordo com valores de referência e VMPs estabelecidos em estudos e regulamentações nacionais e internacionais

A partir dos dados compilados, pretendeu-se elaborar um arcabouço ambiental da qualidade das águas no córrego Alegria com base nos modelos conceituais construídos ao longo do

desenvolvimento do estudo. A análise levou em consideração a qualidade das águas superficiais do trecho estudado quanto aos parâmetros físico-químicos que apresentassem, no contexto de legislações e estudos no âmbito nacional e internacional, valores de referência ou VMPs, ou seja, pH, Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido. Análises compartmentadas de acordo com aspectos controladores como a sazonalidade inerente ao ciclo hidrológico local também foram realizadas.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), no âmbito Federal, assim como na esfera do Estado de Minas Gerais, através da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 2008 (MINAS GERAIS, 2008), nos artigos 42 e 37, respectivamente, enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, sendo que o Estado complementa o texto: "exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente". O córrego Alegria se encaixa na situação descrita e é, portanto, enquadrado na Classe 2. Ainda de acordo com a Resolução, são definidos para os rios de água doce enquadrados nesta classe, os seguintes usos (atual ou pretendido): abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário; irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, onde o público possa vir a ter contato direto com a água; aquicultura e atividade de pesca.

Considerando-se a legislação estadual (MINAS GERAIS, 2008) e os parâmetros físico-químicos de interesse utilizados no presente estudo, seguem os respectivos valores máximos ou intervalos que serão utilizados como comparação:

- **pH:** 6 a 9
- **Cloreto total:** 250 mg.L⁻¹ Cl
- **Ferro dissolvido:** 0,3 mg.L⁻¹ Fe

Uma vez que não há padrões atuais de qualidade de águas estabelecidos para o Potássio dissolvido, tanto na legislação brasileira como internacional, os resultados de Potássio dissolvido serão comparados com o limite teórico de 10 mg.L⁻¹, baseado nos estudos e referências apresentados no documento da Organização Mundial da Saúde intitulado *Potassium in drinking-water* (WHO, 2009).

Os resultados dos parâmetros físico-químicos considerados foram aqueles obtidos a partir dos resultados da série temporal para períodos de chuva e estiagem nas estações de monitoramento P-02, P-03, P-04, P-05, P-06 e P-07 nos anos de outubro de 2005 a abril de 2012, bem como provenientes da estatística descritiva. Foram, portanto, contados os números de violações dos valores de referência ou máximos permitidos e conduzida análise quanto a sua distribuição e frequência.

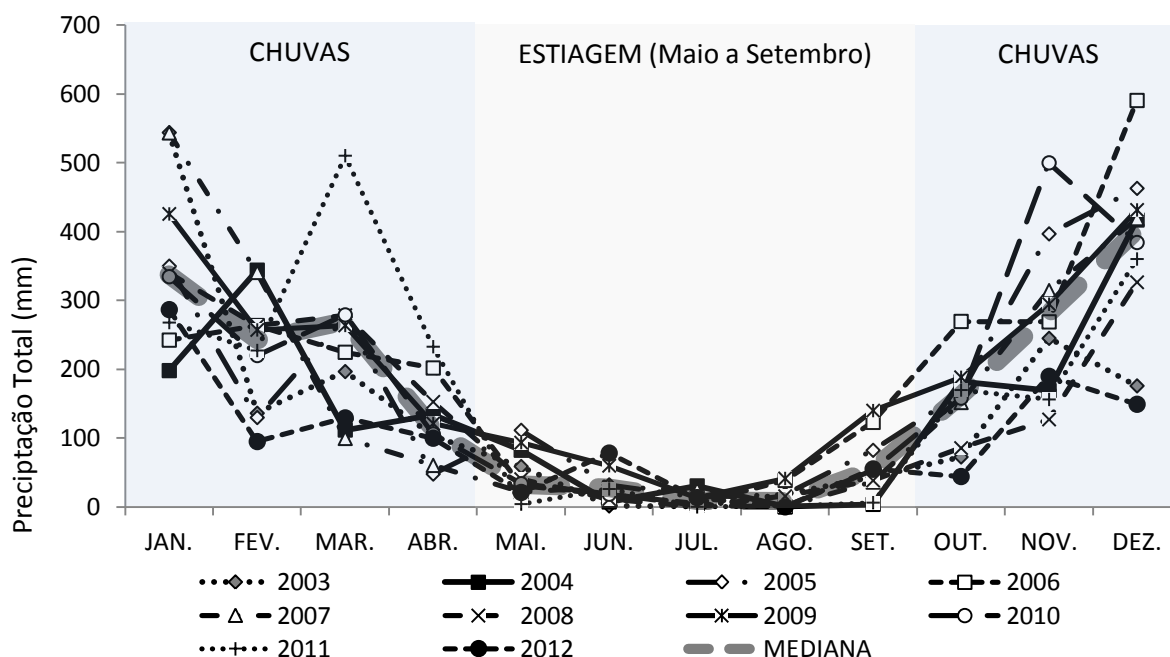
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Avaliação da distribuição de chuvas na área da APA do rio Uberaba

A fim de se fazer a comparação das variações dos parâmetros físico-químicos analisados a partir das estações de coleta de águas superficiais do CETEC com as variações sazonais, foi definido o período de estiagem como compreendido entre os meses de maio a setembro, enquanto que o período de chuvas, entre os meses de outubro a abril.

Na Figura 6.1, é apresentada a distribuição mensal de chuvas para os anos de 2003 a 2012.

Figura 6.1 - Gráfico de variação do volume mensal de chuvas no período de 2003 a 2012

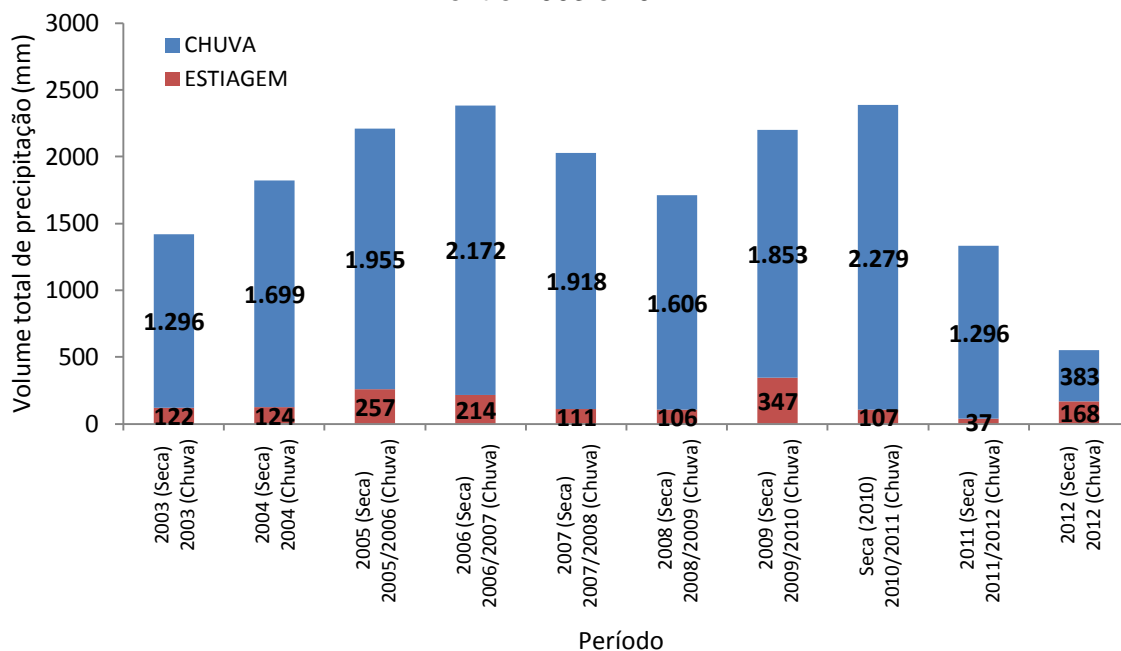


Obs.: Os pontos foram ligados apenas para se obter um efeito didático (visualização).

Fonte: Dados da Pesquisa - Interpolação dos dados das estações da INMET A507, A520 e A525.

A partir dos dados de precipitação observados no período de 2003 a 2012 foi calculada uma média anual de 1.888 mm, uma média de 1.645,5 mm para os períodos chuvosos, enquanto, para os períodos de estiagens, uma média de cerca de 159,1 mm. Destacam-se, conforme Figura 6.2, as chuvas de 2006/2007 e 2010/2011 quando, então, foram registrados os maiores volumes sendo, respectivamente, iguais a 2.172 mm e 2.279 mm. Por outro lado, as estiagens mais rigorosas ocorreram nos anos de 2008, 2010 e 2011, com precipitações totais de 106 mm, 107 mm e 37 mm, respectivamente.

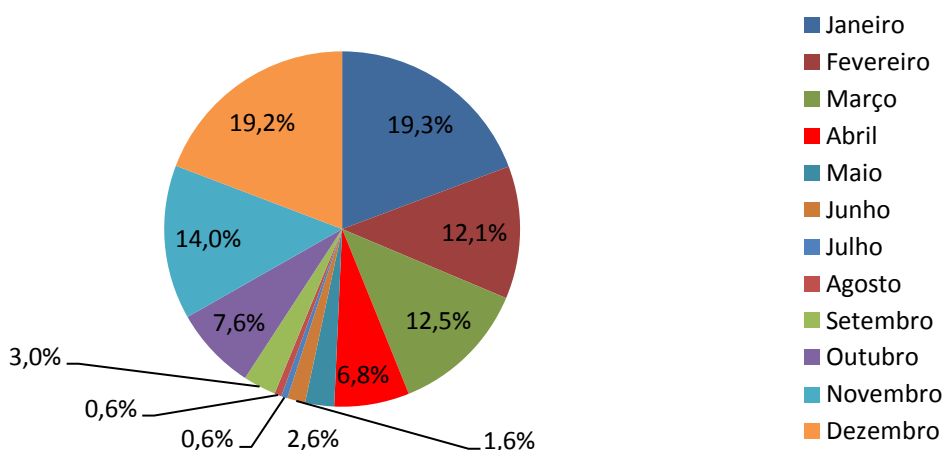
Figura 6.2 - Volume de precipitação anual conforme períodos de estiagem e de chuvas entre 2003 e 2012.



Fonte: Dados da Pesquisa - Interpolação dos dados das estações da INMET A507, A520 e A525.

De acordo com o intervalo de dados analisado, dezembro e janeiro costumam ser os meses que mais chovem respondendo, respectivamente, por 19,2% e 19,3% de todo volume de chuva no ano, seguido pelos meses novembro (14,0%), fevereiro (12,1%) e março (12,5%). Para o período das chuvas (outubro a abril), conforme adotado neste estudo, foi calculado um percentual de 91,5% de todo volume anual de chuva. A Figura 6.3, a seguir, ilustra a distribuição média da chuva para cada mês do ano no período de 2003 a 2012.

Figura 6.3 - Distribuição média mensal dos volumes de chuvas calculados no período de 2003 a 2012 para a área-alvo.



Fonte: Dados da Pesquisa - Interpolação dos dados das estações da INMET A507, A520 e A525.

6.2 Avaliação da qualidade das águas do rio Uberaba na APA

Na Tabela 6.1 é apresentado o resultado da distribuição estatística dos parâmetros de interesse considerados para a estação BG058 (IGAM), assim como o número de análises realizadas.

Tabela 6.1 - Resumo da distribuição estatística calculada a partir de dados da estação BG058 no período de 03/2000 a 03/2013.

Distribuição Estatística	Parâmetros de Interesse					
	Cloreto (mg.L ⁻¹)	Potássio dissolvido (mg.L ⁻¹)	Ferro dissolvido (mg.L ⁻¹)	pH	Condutividade Elétrica (µS.cm ⁻¹)	Turbidez (NTU)
Q _{1/4}	0,810	1,116	0,157	6,700	67,500	4,420
Mínimo	0,410	0,900	0,088	6,100	59,500	1,730
Mediana	0,970	1,230	0,210	7,100	71,500	7,650
Máximo	2,160	2,264	0,390	7,800	92,400	172,000
Q _{3/4}	1,140	1,444	0,258	7,500	77,800	16,100
Desvio Padrão	0,368	0,330	0,077	0,461	8,071	41,740
Número de Análises	53	27	34	53	53	53
VMP COPAM/CERH N ^o .01/08*	250	-	0,3	6 a 9	-	100

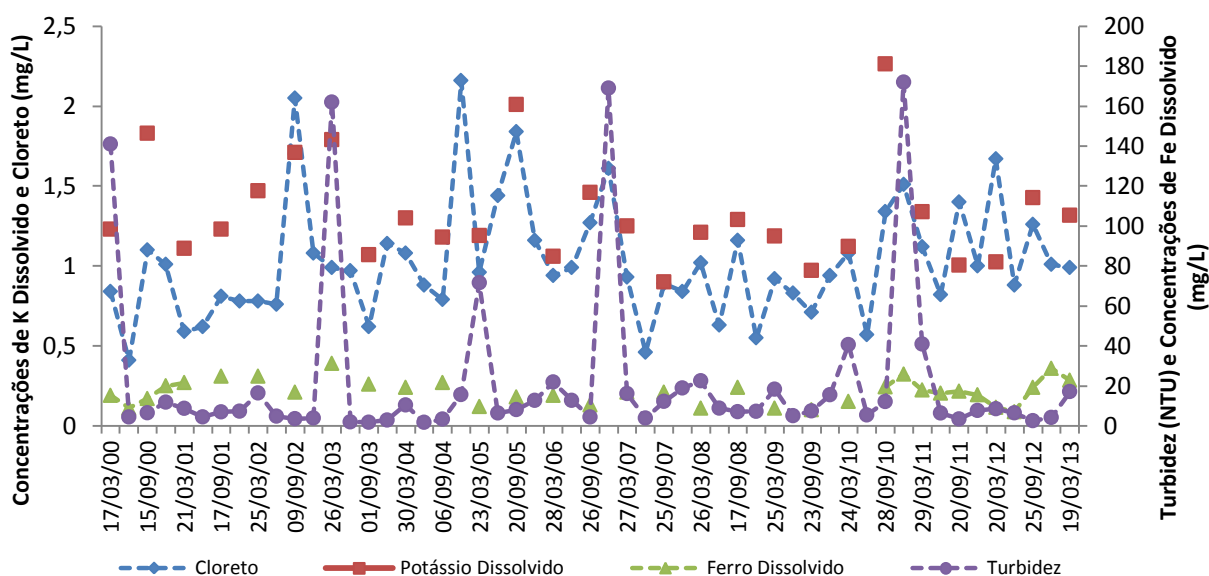
Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; Q_{3/4} - Terceiro quartil; e VMP – Valor Máximo Permitido.

(*) VMP: Valores Máximos Permitidos - Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n^o 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Fonte: Dados fornecidos pelo IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas.

Na gráfico da Figura 6.4 foram plotados os resultados dos parâmetros físico-químicos, à exceção da Condutividade Elétrica. Apesar do intervalo entre as coletas e algumas análises específicas, é possível notar uma aparente correspondência positiva entre os períodos chuvosos e as concentrações de Cloreto, Potássio dissolvido, Ferro dissolvido e Turbidez.

Figura 6.4 - Variação temporal dos parâmetros físico-químicos das amostras coletadas na estação BG058 (IGAM).



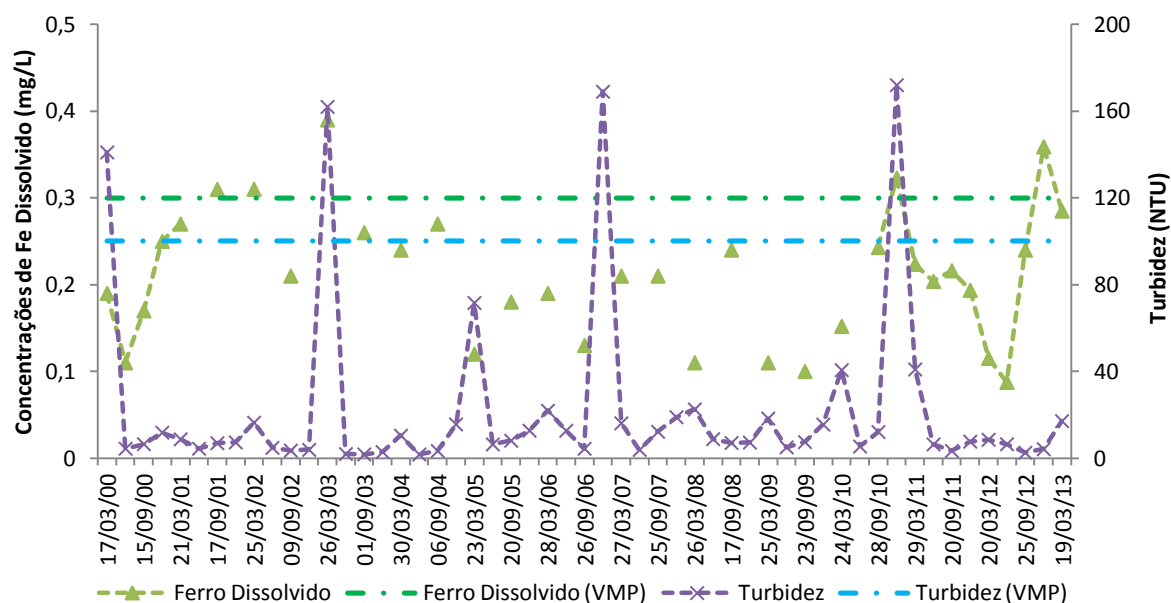
Obs.: Os pontos foram ligados apenas para se obter um efeito didático (visualização).

Fonte: Dados fornecidos pelo IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas.

Na Figura 6.5, onde foram representadas as variações temporais de Turbidez e Ferro dissolvido torna-se mais evidente a relação das concentrações de Ferro dissolvido com a Turbidez e, conseqüentemente, com períodos chuvosos.

Destaca-se que, dentre os parâmetros selecionados para esta análise, apenas estes excederam os limites (VMPs - Valores Máximos Permitidos) estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 2008 (MINAS GERAIS, 2008), sendo que cerca de 15% dos resultados de Ferro dissolvido (5 campanhas) acima do respectivo VMP situaram-se entre setembro e março, enquanto, que cerca de 8% (4 campanhas) dos resultados para Turbidez foram acima do respectivo VMP, distribuídos entre os meses de março e dezembro.

Figura 6.5 - Variação temporal de Ferro dissolvido e Turbidez a partir de amostras coletadas e analisadas pelo IGAM a partir da estação BG058 e respectivos Valores Máximos Permitidos - VMP (DN COPAM/CERH 01/08)*



(* VMP: Valores Máximos Permitidos - Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Obs.: Os pontos foram ligados apenas para se obter um efeito didático (visualização).

Fonte: Dados fornecidos pelo IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas.

De acordo com o relatório de qualidade das águas superficiais no Estado de Minas Gerais (IGAM, 2007), a estação BG058 enquadrava-se na Classe 2, cujos fatores de pressão eram a poluição difusa causada pela atividade agropecuária na região. Os indicadores de degradação relatados na época foram a Clorofila-a e Coliformes Termotolerantes. Os indicadores com maior número de resultados fora dos limites da DN COPAM/CERH 01/08 foram: Coliformes termotolerantes, Clorofila-a, Fósforo total, Ferro dissolvido e Manganês total.

A área rural de Uberaba interfere na qualidade da água em especial pelo uso de fertilizantes no cultivo de cana-de-açúcar.

6.3 Avaliação da qualidade do solo de trecho da microbacia do córrego Alegria

De forma preliminar, conforme observa-se na Tabela 6.2, assim como de forma ilustrativa no gráfico *box-and-whisker* da Figura 6.6 pode-se sugerir que as concentrações de Cloreto no solo apresentaram baixa variabilidade nas 03 profundidades avaliadas, com medianas variando entre 111,5 mg.kg⁻¹ e 133,0 mg.kg⁻¹, enquanto que as amostras ao longo do córrego

Alegria, tidas como obtidas em áreas não antropizadas e, assim, não influenciadas pelo plantio e consequente uso de fertilizantes, resultaram numa mediana de 64,05 mg.kg⁻¹, o que sugere o enriquecimento relativo no solo da área gerenciada pela FCA ao longo dos anos através do uso de fertilizantes. Tal fato pôde ser visualmente comprovado pela equipe da FCA durante o atendimento à emergência química pós-acidente, onde verificou-se a existência de área agricultada através do plantio de milho.

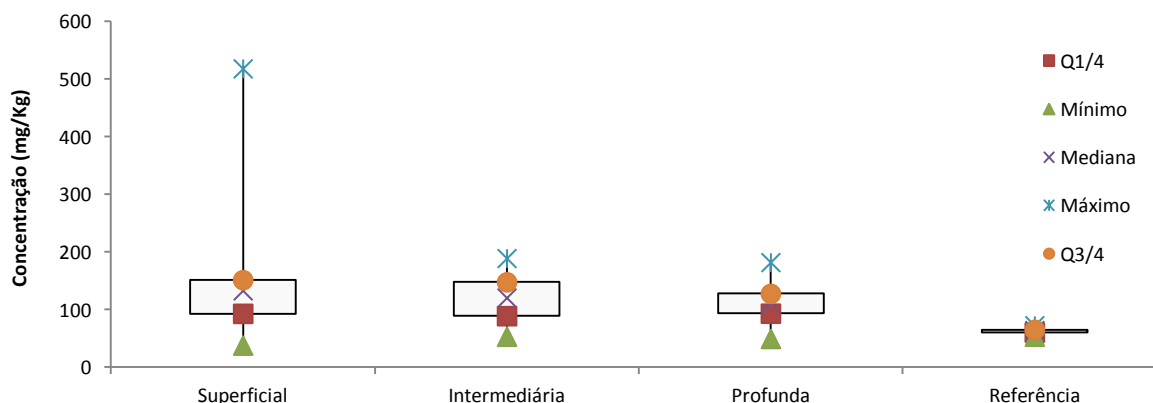
Tabela 6.2 - Distribuição estatística dos resultados analíticos de Cloreto em amostras de solo coletadas na área diretamente afetada pelo acidente Ferroviário e adjacências do córrego Alegria (referência).

Parâmetro de Interesse	Estatística Descritiva	Profundidade			Referência
		Superficial	Intermediária	Profunda	
Cloreto (mg.kg ⁻¹)	Q _{1/4}	93,10	89,05	93,35	60,55
	Mínimo	38,00	53,40	49,60	53,50
	Mediana	133,00	120,50	111,50	64,05
	Máximo	518,00	189,00	182,00	72,60
	Q _{3/4}	151,50	147,75	127,75	65,27
	Média	130,93	116,51	111,07	63,46
	Desvio P.	70,78	38,10	29,67	5,25
	CV	0,54	0,33	0,27	0,09

Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; e Q_{3/4} - Terceiro quartil.

Fonte: Relatório interno (acervo FCA).

Figura 6.6 - Distribuição estatística das concentrações de Cloreto no solo.



Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; e Q_{3/4} - Terceiro quartil.

Já quanto às concentrações de Potássio total, de acordo com a Tabela 6.3 e Figura 6.7, além de se notar um incremento das concentrações em profundidade, com medianas de 329,0 mg.kg⁻¹ (superficial), 565,0 mg.kg⁻¹ (intermediária) e 872,0 mg.kg⁻¹ (profunda), são observadas maiores variações (intervalo interquartil) no mesmo sentido. Os resultados refletem o efeito da proximidade da amostra coletada com o topo rochoso de composição

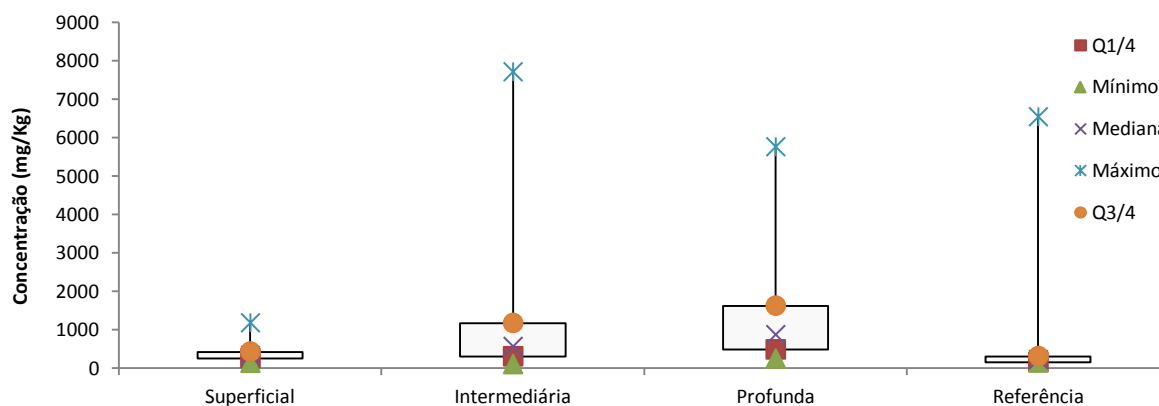
basáltica. Quanto mais próximo da rocha menor é a perda por lixiviação e maior a concentração de Potássio dissolvido no solo. Por outro lado, também pode-se atribuir o enriquecimento relativo a mobilidade do íon K^+ . As amostras coletadas ao longo do córrego Alegria tendem a apresentar concentrações semelhantes às das amostras superficiais na área gerenciada pela FCA.

Tabela 6.3- Distribuição estatística dos resultados analíticos de Potássio total a partir de amostras de solo coletadas na área diretamente afetada pelo acidente Ferroviário e adjacências do córrego Alegria (referência).

Parâmetro de Interesse	Estatística Descritiva	Profundidade			
		Superficial	Intermediária	Profunda	Referência
Potássio total (mg.kg ⁻¹)	Q _{1/4}	258,5	308,5	487,5	161,2
	Mínimo	139,0	105,0	249,0	149,0
	Mediana	329,0	565,0	872,0	223,5
	Máximo	1.180,0	7.710,0	5.760,0	6.540,0
	Q _{3/4}	431,5	1.175,0	1.625,0	313,5
	Média	350,0	1.132,6	1.263,14	960,8
	DP	162,4	1.595,6	1.155,0	1.996,6
	CV	0,46	1,41	0,91	2,08

Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; Q_{3/4} - Terceiro quartil; DP - Desvio padrão; e CV - Coeficiente de Variação.
Fonte: Relatório interno (acervo FCA).

Figura 6.7 - Distribuição estatística das concentrações de Potássio total no solo.



Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; e Q_{3/4} - Terceiro quartil.

De acordo com os resultados da estatística descritiva a partir das concentrações de Ferro total na Tabela 6.4, bem como sua representação gráfica através do gráfico *box-and-whisker* na Figura 6.8, não são observadas variações nas três profundidades investigadas. Neste caso, não se verificou os efeitos da solubilidade, uma vez que nos minerais do solo o Ferro encontra-se ligado covalentemente ao Oxigênio na forma de óxidos pouco solúveis em água. Apesar de superiores aos teores de Potássio nos basaltos, o íon Ferro encontra-se na forma de óxidos, comumente magnetita (Fe_3O_4), enquanto que o Potássio encontra-se como um silicato

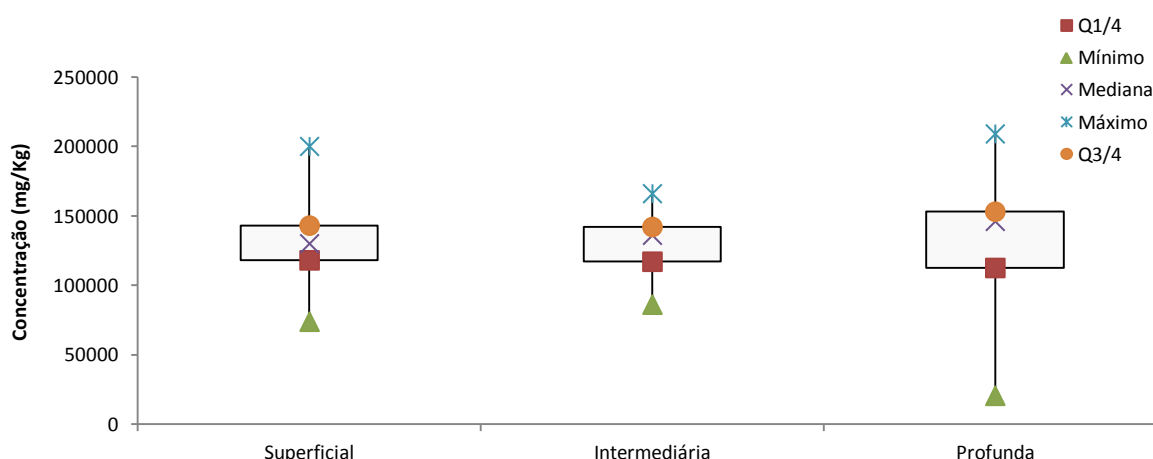
denominado ortoclásio, que corresponde a um feldspato potássico ($KAlSi_3O_8$) que se encontra como mineral não essencial nos basaltos.

Tabela 6.4 - Distribuição estatística dos resultados analíticos de Ferro total a partir de amostras de solo coletadas na área diretamente afetada pelo acidente Ferroviário e adjacências do córrego Alegria (referência).

Parâmetro de Interesse	Estatística Descritiva	Profundidade			Referência
		Superficial	Intermediária	Profunda	
Ferro total ($mg.kg^{-1}$)	Q _{1/4}	118.000	117.000	112.500	-
	Mínimo	73.800	86.100	20.500	-
	Mediana	130.000	136.000	146.000	-
	Máximo	200.000	166.000	209.000	-
	Q _{3/4}	143.000	142.000	153.000	-
	Média	130.733	130.206	127.610	-
	DP	21.462	21.007	44.116	-
	CV	0,164	0,161	0,346	-

Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; Q_{3/4} - Terceiro quartil; DP - Desvio padrão; e CV - Coeficiente de Variação.
Fonte: Relatório interno (acervo FCA).

Figura 6.8 - Distribuição estatística das concentrações de Ferro total no solo.



Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; e Q_{3/4} - Terceiro quartil.

6.4 *Análise Preliminar dos parâmetros monitorados nas estações de amostragem de águas do córrego Alegria e rio Uberaba*

Na Tabela 6.5 são apresentados os resultados da estatística descritiva a partir do banco de dados construído no presente estudo.

Tabela 6.5 - Estatística descritiva dos resultados analíticos dos parâmetros físico-químicos durante os diferentes períodos de monitoramento.

Parâmetro	Estatística Descritiva	Estações										
		P-01*	P-02**	P-03**	P-04**	P-05**	P-06**	P-07*	P-07**	P-08**	P-09*	P-09**
Cloreto (mg.L ⁻¹)	Q _{1/4}	1,120	0,780	0,720	0,710	0,675	0,770	0,895	0,730	0,510	1,045	0,838
	Mínimo	0,650	0,300	0,300	0,300	0,300	0,320	0,460	0,310	0,309	0,630	0,350
	Mediana	1,365	1,110	0,960	0,950	0,910	1,020	1,135	0,950	0,736	1,290	1,120
	Máximo	2,960	9,850	7,200	8,750	7,710	24,700	4,260	6,640	5,470	2,270	5,100
	Q _{3/4}	1,820	1,505	1,280	1,440	1,300	1,444	1,320	1,360	1,103	1,563	1,530
	Média	1,471	1,288	1,156	1,196	1,110	1,337	1,213	1,135	0,933	1,323	1,310
	DP	0,510	0,988	0,777	0,859	0,752	1,784	0,573	0,698	0,707	0,357	0,725
	CV	0,347	0,767	0,672	0,718	0,678	1,334	0,473	0,615	0,757	0,270	0,553
Potássio dissolvido (mg.L ⁻¹)	Q _{1/4}	1,170	1,129	1,114	1,143	1,119	1,204	1,638	1,160	0,790	1,088	1,000
	Mínimo	1,030	0,650	0,681	0,658	0,380	0,776	1,220	0,779	0,517	0,990	0,700
	Mediana	1,335	1,310	1,270	1,300	1,280	1,318	1,745	1,290	0,932	1,170	1,180
	Máximo	2,560	5,343	10,000	4,901	4,930	6,110	2,620	4,742	2,800	1,650	3,281
	Q _{3/4}	1,600	1,645	1,585	1,620	1,599	1,621	1,883	1,653	1,180	1,233	1,366
	Média	1,416	1,438	1,465	1,459	1,429	1,493	1,777	1,454	1,015	1,181	1,246
	DP	0,307	0,546	0,782	0,592	0,560	0,579	0,243	0,540	0,351	0,134	0,365
	CV	0,217	0,379	0,534	0,406	0,392	0,388	0,137	0,372	0,346	0,114	0,293
Ferro dissolvido (mg.L ⁻¹)	Q _{1/4}	-	0,160	0,150	0,160	0,150	0,147	-	0,140	0,160	-	0,170
	Mínimo	-	0,040	0,039	0,031	0,050	0,044	-	0,054	0,060	-	0,038
	Mediana	-	0,298	0,277	0,320	0,264	0,268	-	0,261	0,224	-	0,241
	Máximo	-	1,650	1,547	1,840	1,274	1,237	-	1,320	3,153	-	3,200
	Q _{3/4}	-	0,520	0,508	0,530	0,508	0,444	-	0,465	0,347	-	0,380
	Média	-	0,371	0,359	0,381	0,357	0,345	-	0,336	0,314	-	0,372
	DP	-	0,288	0,272	0,273	0,266	0,256	-	0,242	0,334	-	0,413
	CV	-	0,778	0,759	0,718	0,745	0,743	-	0,720	1,065	-	1,110
pH	Q _{1/4}	6,390	6,800	6,900	6,815	6,900	7,000	6,375	7,200	7,500	7,100	7,300
	Mínimo	5,900	6,300	6,300	5,720	6,460	6,400	6,100	6,400	6,700	6,600	6,600
	Mediana	6,740	7,000	7,000	7,000	7,100	7,200	6,870	7,400	7,600	7,200	7,400
	Máximo	7,960	8,000	7,770	7,700	8,100	8,100	7,910	8,000	8,400	7,940	8,000
	Q _{3/4}	7,483	7,210	7,200	7,300	7,300	7,370	7,505	7,600	7,800	7,590	7,600
	Média	6,900	7,029	7,039	7,042	7,144	7,173	6,924	7,405	7,611	7,315	7,423
	DP	0,576	0,301	0,261	0,282	0,268	0,277	0,578	0,268	0,246	0,328	0,254
	CV	0,083	0,043	0,037	0,040	0,037	0,039	0,084	0,036	0,032	0,045	0,034
Cond. Elétrica (mS/cm)	Q _{1/4}	53,550	49,250	49,450	48,500	49,250	48,900	40,100	48,150	59,500	60,475	59,600
	Mínimo	47,800	36,400	35,700	34,700	24,200	35,700	37,100	34,500	36,900	51,200	30,200
	Mediana	56,650	52,900	52,600	52,000	52,100	52,100	42,400	51,100	63,600	62,950	62,700
	Máximo	62,200	91,600	92,200	91,200	81,200	246,000	68,200	69,700	84,000	71,200	76,200
	Q _{3/4}	59,125	57,250	57,300	57,150	56,700	56,100	48,975	56,100	67,500	64,825	65,850
	Média	56,046	53,702	53,587	53,266	52,877	53,757	44,902	52,090	63,165	62,868	61,930
	DP	3,467	6,982	6,795	7,456	6,435	14,331	6,641	6,162	7,261	3,722	6,099
	CV	0,062	0,130	0,127	0,140	0,122	0,267	0,148	0,118	0,115	0,059	0,098

Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; Q_{3/4} - Segundo quartil; DP - Desvio padrão; CV - Coeficiente de Variação.

(*) Resultados provenientes das campanhas conduzidas no ano de 2003 logo após o acidente Ferroviário. (**) Inclui os resultados de 2003 e os resultados das campanhas de 2005 a 2012.

Uma vez calculados os limites (OL1 - Limite Inferior de *Outlier* e OL3 - Limite Superior de *Outlier*), a partir dos quais se obteriam os valores extremos na série temporal analisada (Tabela 6.6), foram inicialmente identificados 104 possíveis valores anômalos, distribuídos

em 37 dias específicos. Deste total de ocorrências, 33 foram associados a Cloreto, 51 a Potássio dissolvido e 20 a Ferro dissolvido.

Na Figura 6.9, se encontram distribuídos, indistintamente, o número total de valores extremos, considerando os resultados de Potássio dissolvido, Cloreto e Ferro dissolvido nas estações de monitoramento P-01 a P-09. À exceção do mês de julho (Figura 6.10) quando, então, não foram obtidos valores extremos para nenhum dos parâmetros de interesse, foram detectados valores extremos em todos os demais meses, sendo que cerca de 95% (99 ocorrências) concentram-se no período de chuvas (setembro a abril) o que sugere uma correlação positiva dos citados parâmetros com a precipitação.

Figura 6.9 - Distribuição temporal do somatório do número de ocorrências de valores extremos (Potássio dissolvido, Cloreto e Ferro dissolvido) por campanha de monitoramento nas estações P-01 a P-09.

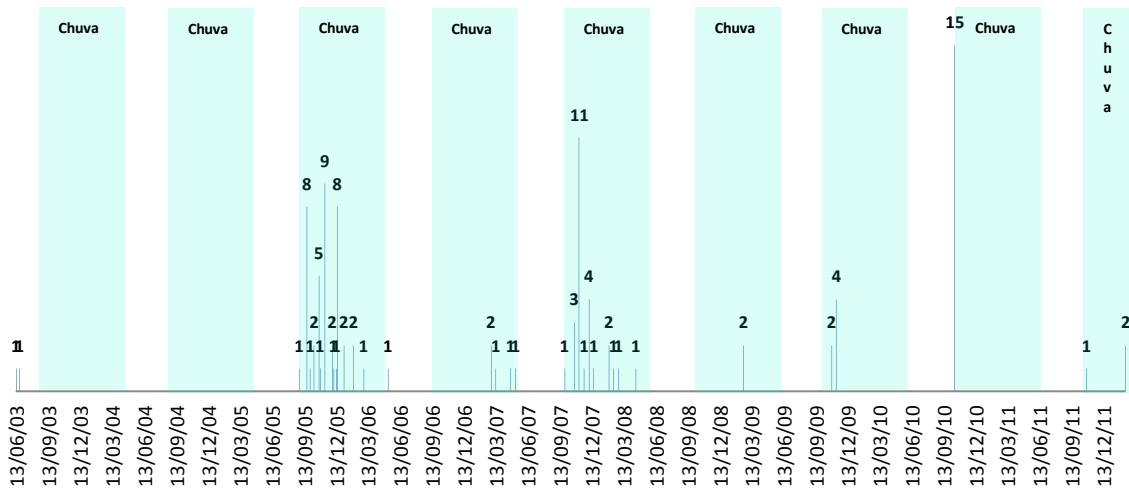
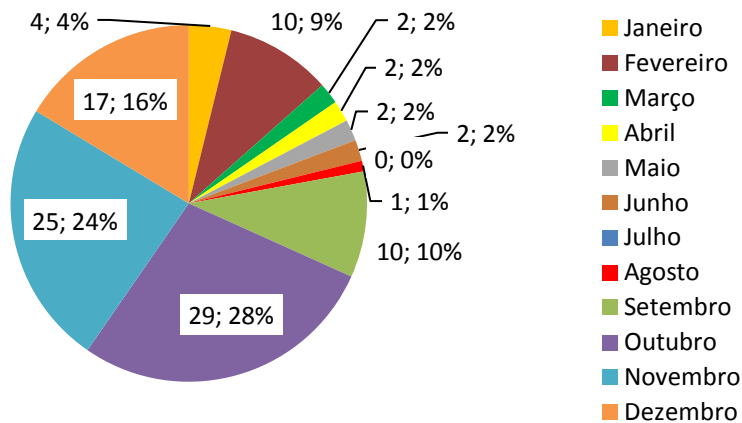


Figura 6.10 - Distribuição da ocorrência de valores extremos ao longo dos meses.



Nota: O número de valores extremos no gráfico pizza está separado do seu respectivo percentual por um ponto-e-vírgula.

Em média, os valores extremos para as espécies de interesse encontram-se igualmente distribuídos entre todas as estações de monitoramento (cerca de 11%). O menor número de valores extremos está associado às estações P-01 (2%) e P-02 (5%), ambas situadas a montante da ponte Ferroviária, enquanto que o maior número de valores extremos foi encontrado na estação P-09 (21%), localizado no ponto de captação do CODAU.

Visto o exposto, decidiu-se por não se eliminar os valores extremos, uma vez que há uma aparente homogeneidade entre estações e parâmetros de interesse, assim como correspondência com períodos de chuva e estiagem.

Na Tabela 6.6 é apresentada a memória de cálculo para definição dos limites superior e inferior para determinação de valores extremos e sua frequência por estação de monitoramento.

Tabela 6.6 - Definição dos valores extremos a partir da distribuição estatística das concentrações dos parâmetros de interesse das águas superficiais nas estações de monitoramento.

Parâmetros	Estatística Descritiva	Estações										
		P-01*	P-02**	P-03**	P-04**	P-05**	P-06**	P-07*	P-07**	P-08**	P-09*	P-09**
Cloreto (mg.L ⁻¹)	Q _{1/4}	1,120	0,780	0,720	0,710	0,675	0,770	0,895	0,730	0,510	1,045	0,838
	Q _{3/4}	1,820	1,505	1,280	1,440	1,300	1,444	1,320	1,360	1,103	1,563	1,530
	IIQ (Q ₃ -Q ₁)	0,700	0,725	0,560	0,730	0,625	0,674	0,425	0,630	0,593	0,518	0,693
	OL1	-0,980	-1,395	-0,960	-1,480	-1,200	-1,252	-0,380	-1,160	-1,268	-0,508	-1,240
	OL3	3,920	3,680	2,960	3,630	3,175	3,465	2,595	3,250	2,880	3,115	3,608
	Nº de VE	0	3	8	3	2	5	1	2	5	0	4
Potássio dissolvido (mg.L ⁻¹)	Q _{1/4}	1,170	1,129	1,114	1,143	1,119	1,204	1,638	1,160	0,790	1,088	1,000
	Q _{3/4}	1,600	1,645	1,585	1,620	1,599	1,621	1,883	1,653	1,180	1,233	1,366
	IIQ (Q ₃ -Q ₁)	0,430	0,517	0,471	0,477	0,480	0,417	0,245	0,493	0,390	0,145	0,366
	OL1	-0,120	-0,421	-0,299	-0,288	-0,320	-0,046	0,903	-0,318	-0,381	0,653	-0,097
	OL3	2,890	3,195	2,998	3,051	3,038	2,871	2,618	3,130	2,351	1,668	2,463
	Nº de VE	0	3	8	9	8	7	1	6	4	0	5
Ferro dissolvido (mg.L ⁻¹)	Q _{1/4}	-	0,160	0,150	0,160	0,150	0,147	-	0,140	0,160	-	0,170
	Q _{3/4}	-	0,520	0,508	0,530	0,508	0,444	-	0,465	0,347	-	0,380
	IIQ (Q ₃ -Q ₁)	-	0,360	0,358	0,370	0,358	0,297	-	0,325	0,187	-	0,210
	OL1	-	-0,920	-0,925	-0,950	-0,923	-0,745	-	-0,834	-0,400	-	-0,460
	OL3	-	1,600	1,583	1,640	1,580	1,336	-	1,439	0,906	-	1,010
	Nº de VE	-	1	0	1	0	0	-	0	5	-	13

Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; Q_{3/4} - Segundo quartil; IIQ - Intervalo interquartil; OL1 - Limite de *outlier* inferior; OL3 - Limite de *outlier* superior; No. de VE - Número de valores extremos.

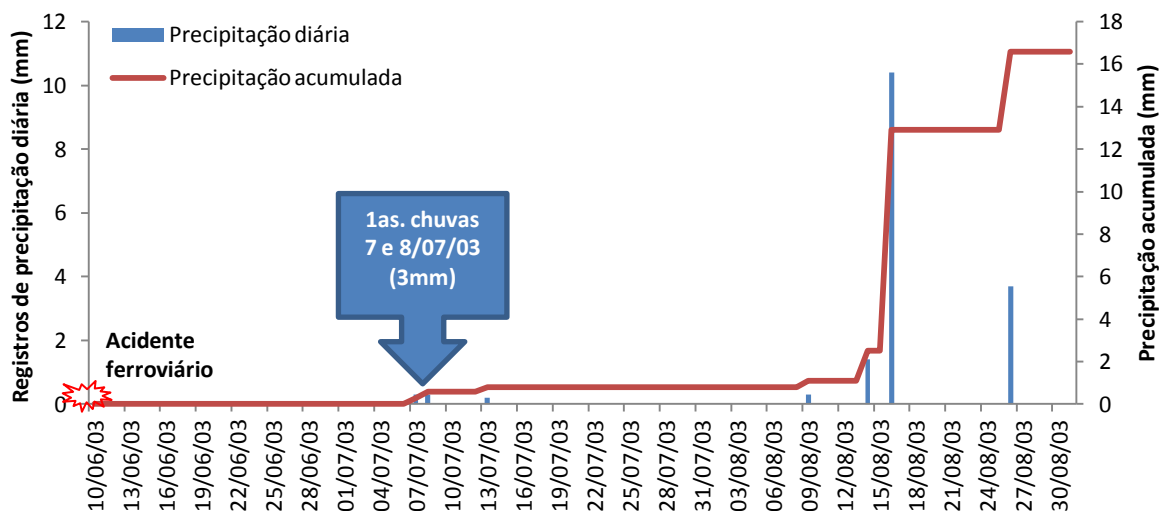
(*) Resultados provenientes das campanhas conduzidas no ano de 2003 logo após o acidente Ferroviário. (**) Inclui os resultados de 2003 e os resultados das campanhas de 2005 a 2012.

6.5 Verificação de possível alteração na qualidade das águas do córrego Alegria após derramamento de KCl em junho de 2003

Por meio da verificação dos índices pluviométricos para a região, especificamente, nos primeiros meses após o acidente Ferroviário, nota-se que as primeiras chuvas, ainda de baixa intensidade, ocorreram 27 dias após o acidente (07 e 08 de julho - 0,6 mm acumulado), sendo somente no dia 14 de agosto, ou seja, 65 dias após o acidente, é que foram medidas as chuvas mais volumosas (14 de agosto - 1,4mm e 16 de agosto - 10,4 mm). Conforme o gráfico ilustrado na Figura 6.11, a seguir, decorridos 3 meses após o acidente, foram registrados cerca de 92 mm de chuva acumulada.

Conforme mencionado no início deste trabalho e baseado em registros da companhia Ferroviária, as operações de baldeio e remoção do resíduo de Cloreto de Potássio disposto diretamente sobre o solo foram encerradas em 14/06/2003 de forma, portanto, a evitar o carreamento da carga por escoamento superficial para o córrego Alegria.

Figura 6.11 - Gráfico dos registros de precipitação diárias e acumulada nos dias seguintes ao acidente Ferroviário (11/06/2003).



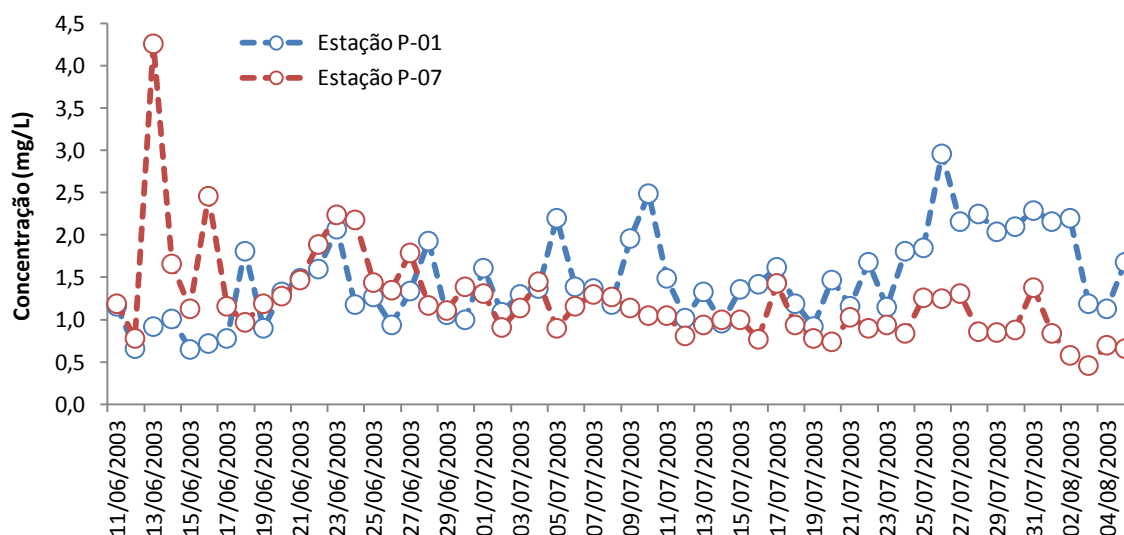
Especificamente em relação aos resultados analíticos de Cloreto e Potássio dissolvido a partir de amostras de águas coletadas no córrego Alegria a jusante do ponto do acidente (P-07) no período de 11/06 a 11/05/2003, quando comparados com os de montante (P-01), sugerem que o acidente não alterou de forma significativa a qualidade das águas do córrego Alegria.

Através dos registros diários das concentrações de Cloreto em ambas as estações (Figura 6.12) no período de junho a agosto de 2003, nota-se que as concentrações em P-01 tendem a

ser inferiores do que em P-07, invertendo este cenário a partir das chuvas no início de julho, com um aumento deste gradiente já no final do período do monitoramento, quando se intensificam as chuvas, em agosto. Na Figura 6.13 é apresentada, através do gráfico *box-and-whisker*, a distribuição estatística destas concentrações

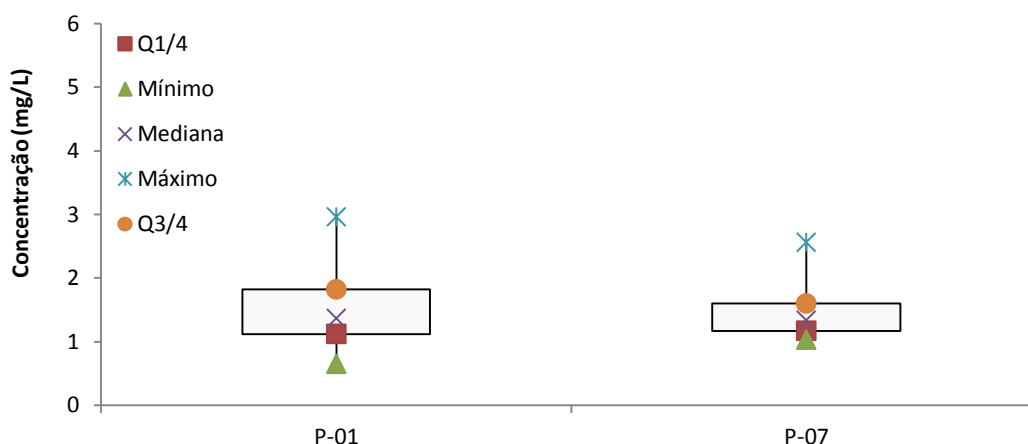
Comportamento análogo é observado para as concentrações de Potássio dissolvido (Figura 6.14) que, no entanto, responde de forma mais lenta, com uma tendência de inversão apenas na última semana de julho. Tal aspecto se deve, provavelmente, à lenta e baixa disponibilidade do Potássio para o meio aquoso durante a lixiviação do solo ocasionada pelas águas da chuva que tende a aumentar com maior área de contribuição da microbacia. Já o Cloreto é mais facilmente disponibilizado devido à sua menor tendência em ser retido no solo e, portanto, apresenta um comportamento temporal mais "sensível" à ocorrência de chuvas.

Figura 6.12 - Variação temporal das concentrações diárias de Cloreto nas estações de monitoramento P-01 e P-07 imediatamente após o acidente Ferroviário.



Obs.: Os pontos foram ligados apenas para se obter um efeito didático (visualização).

Figura 6.13 - Distribuição estatística das concentrações de Cloreto nas estações de monitoramento P-01 e P-07 no período de 11/06 a 05/08/2003.

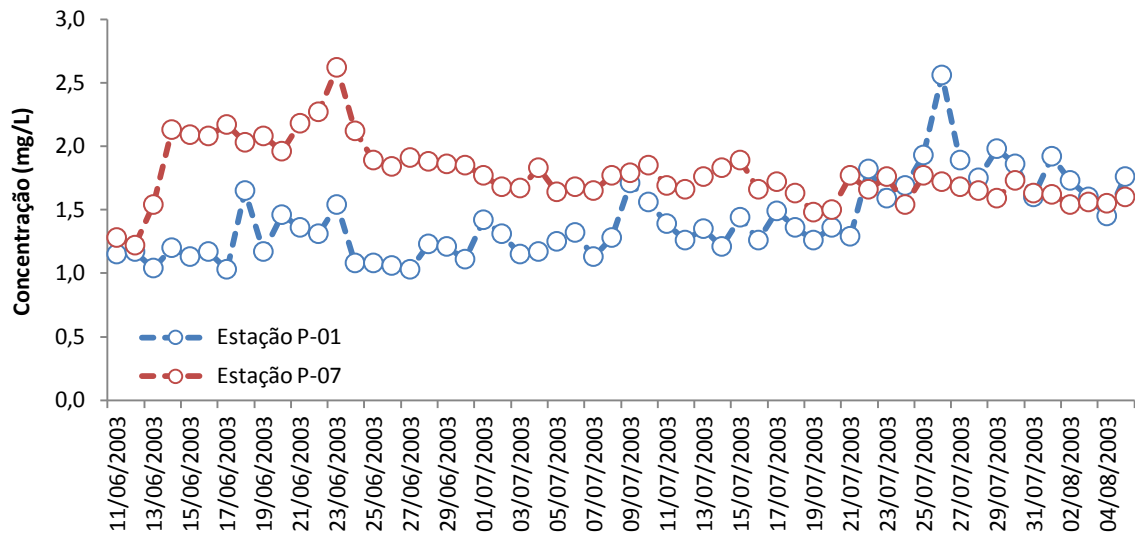


Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; e Q_{3/4} - Terceiro quartil.

Verificando-se o gráfico de distribuição estatística (*box-and-whisker*) para estes dois parâmetros, torna-se mais evidente a diferença do comportamento, uma vez que as concentrações de Potássio dissolvido (Figura 6.15) na estação P-07 tendem a permanecer superiores às encontradas na estação P-01, devido à lenta liberação e aspecto conservativo. No que se refere às concentrações de Cloreto (Figura 6.13), não é verificado este comportamento.

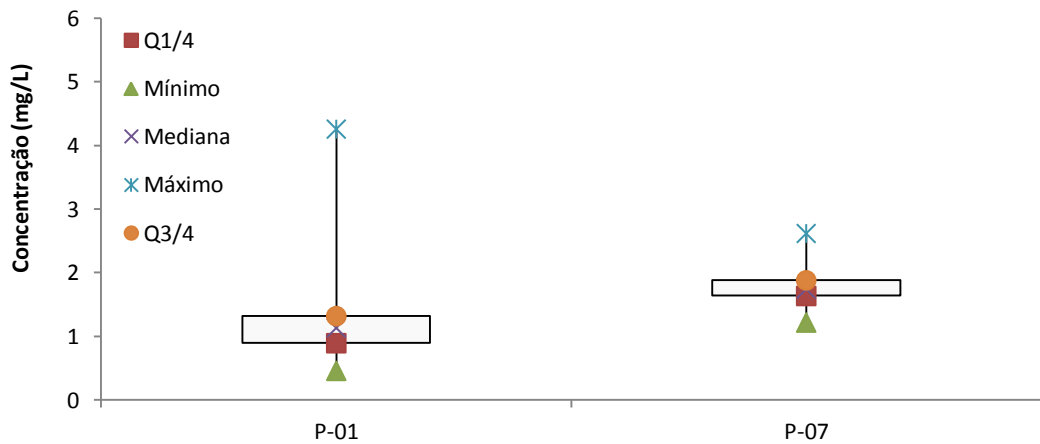
Apesar de não apresentarem, entre si, medianas significativamente distintas durante períodos de chuva e estiagem, conforme oportunamente relatado neste estudo, percebe-se que os resultados de ambos parâmetros tendem a ser mais regulares e estáveis na estação P-07, provavelmente devido à redução da atividade agropecuária que atua como fonte de contribuição, tanto de Cloreto como de Potássio. Já nos arredores e porção montante da estação P-01, esta atividade parece ser mais intensa e extensiva.

Figura 6.14 - Variação temporal das concentrações diárias de Potássio dissolvido nas estações de monitoramento P-01 e P-07 imediatamente após o acidente Ferroviário.



Obs.: Os pontos foram ligados apenas para se obter um efeito didático (visualização).

Figura 6.15 - Distribuição estatística das concentrações de Potássio dissolvido nas estações de monitoramento P-01 e P-07 no período de 11/06 a 05/08/2003.



Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; e Q_{3/4} - Terceiro quartil.

6.6 Descrição das variações espaço-temporal dos parâmetros físico-químicos de interesse nas águas do córrego Alegria e rio Uberaba

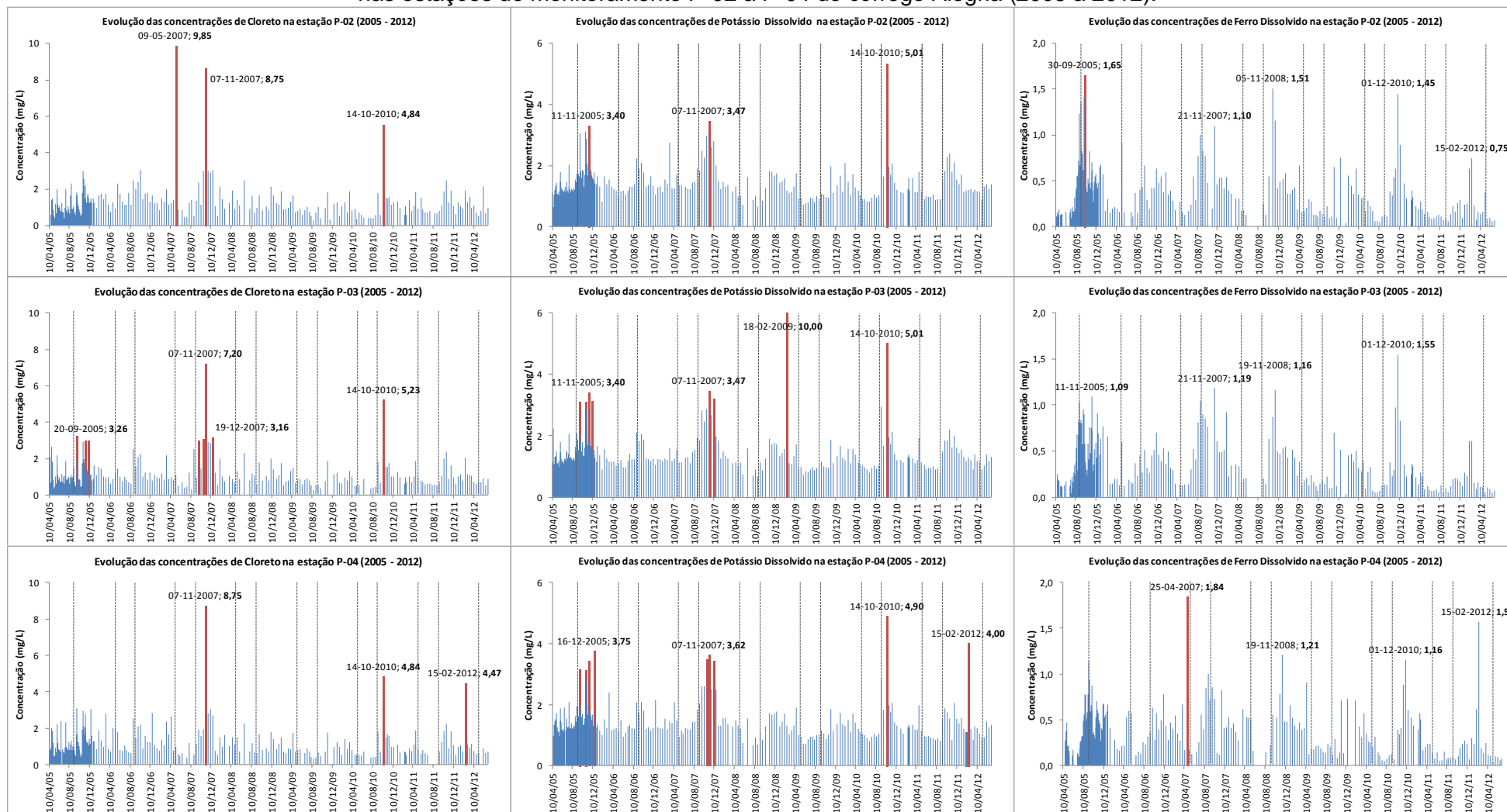
Tomando-se como base os valores das medianas obtidas para o conjunto de dados agrupados por estações e seus respectivos corpos d'água (C. Alegria: Estações P-02 a P-07; R. Uberaba: Estações P-07 a P-09) foram calculadas, para período de estiagem, medianas das concentrações de Potássio dissolvido no córrego Alegria e rio Uberaba variando entre 0,882 mg.L⁻¹ a 1,405 mg.L⁻¹ e 0,684 mg.L⁻¹ a 1,210 mg.L⁻¹, respectivamente, enquanto que no período de chuvas as concentrações foram superiores, com medianas variando entre 1,221 mg.L⁻¹ a 1,660 mg.L⁻¹ no córrego Alegria e 0,994 mg.L⁻¹ a 1,450 mg.L⁻¹ no rio Uberaba.

Comportamento semelhante é observado para as concentrações de Cloreto em ambos os corpos d'água. No córrego Alegria, durante o período de estiagem, as medianas variaram entre 0,500 mg.L⁻¹ a 1,730 mg.L⁻¹, enquanto que no rio Uberaba, de 0,430 mg.L⁻¹ a 1,290 mg.L⁻¹. No período de chuvas as medianas variam de 0,760 mg.L⁻¹ a 1,675 mg.L⁻¹ no córrego Alegria e de 0,620 mg.L⁻¹ a 1,759 mg.L⁻¹ no rio Uberaba.

No caso do monitoramento de Ferro dissolvido, as medianas das concentrações no córrego Alegria e rio Uberaba no período de chuvas tendem à proximidade sendo, respectivamente, 0,176 mg.L⁻¹ a 0,500 mg.L⁻¹ e 0,175 mg.L⁻¹ a 0,460 mg.L⁻¹. No período de estiagem, contudo, as medianas obtidas para as estações localizadas no córrego Alegria tendem a ser inferiores que as calculadas a partir das estações do rio Uberaba, ocorrendo o mesmo para as medianas máximas, sendo superiores no córrego Alegria quando comparadas com o rio Uberaba. Neste caso, observa-se o intervalo de 0,069 mg.L⁻¹ a 0,475 mg.L⁻¹ para o córrego Alegria e 0,102 mg.L⁻¹ a 0,248 mg.L⁻¹ no rio Uberaba.

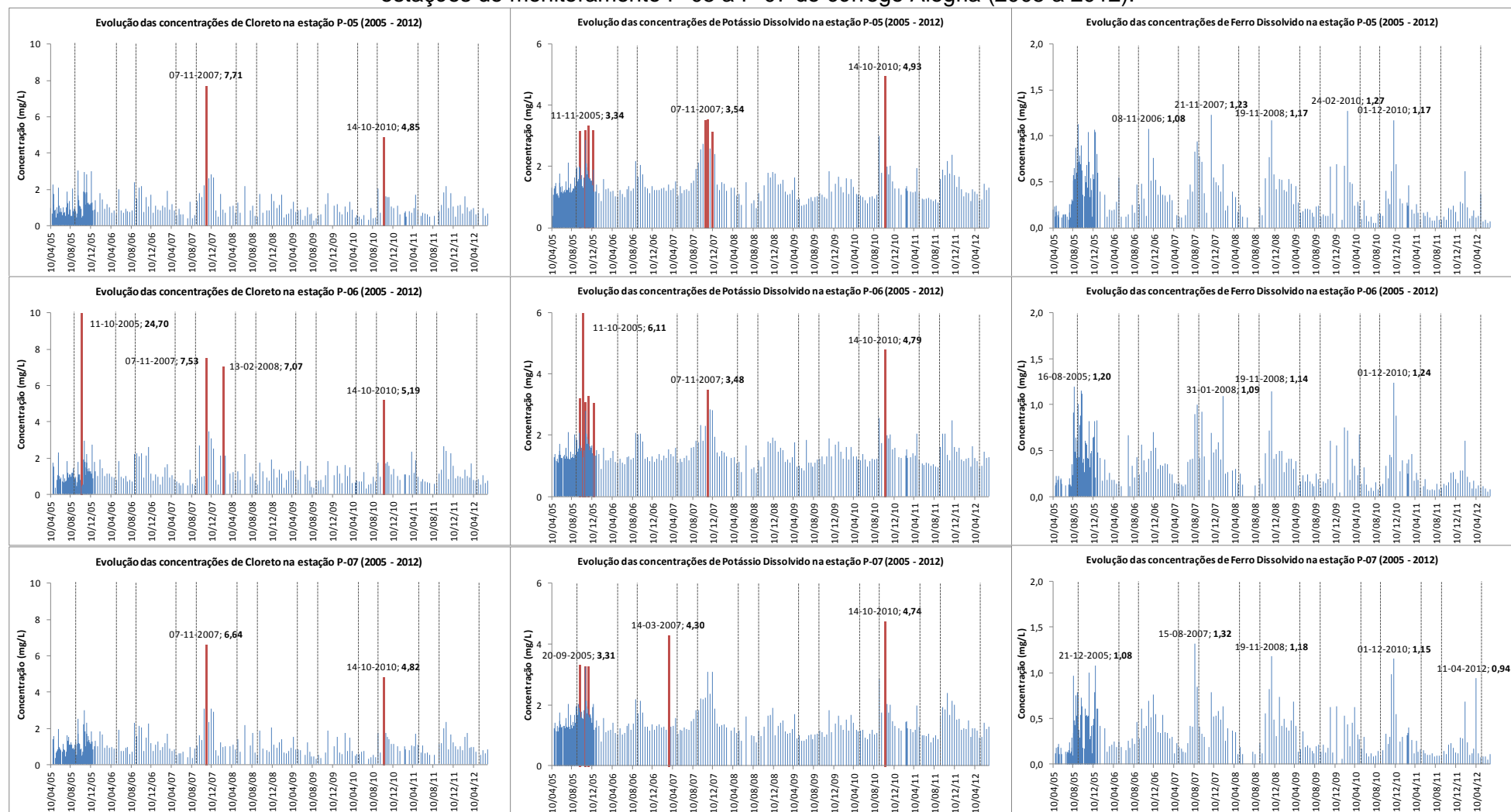
A seguir, da Figura 6.16 a Figura 6.19, são apresentados gráficos de variação temporal dos resultados analíticos dos parâmetros de interesse obtidos no período de 2005 a 2012 a partir de amostras de águas coletadas na estações P-02 a P-07 no córrego Alegria.

Figura 6.16 - Variação temporal das concentrações de Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido em amostras de águas superficiais coletadas nas estações de monitoramento P-02 a P-04 do córrego Alegria (2005 a 2012).



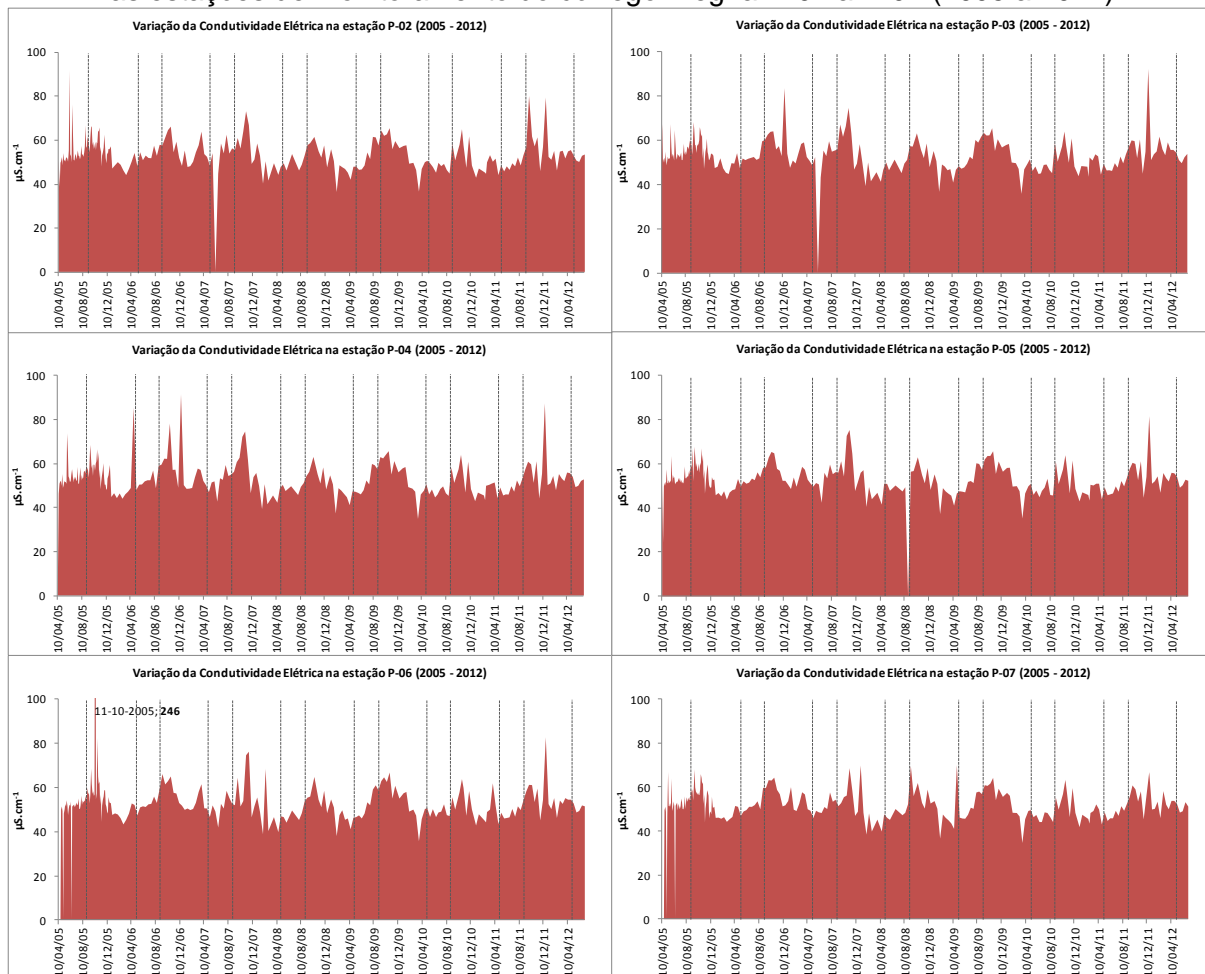
Nota: Os valores e respectivas datas de ocorrências indicados nas barras vermelhas correspondem aos valores tidos como "extremos" após avaliação estatística. As barras pontilhadas demarcam a sazonalidade local de acordo com períodos de chuva (intervalos maiores) e estiagem (intervalos menores).

Figura 6.17 - Variação temporal das concentrações de Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido em amostras de águas coletadas nas estações de monitoramento P-05 a P-07 do córrego Alegria (2005 a 2012).



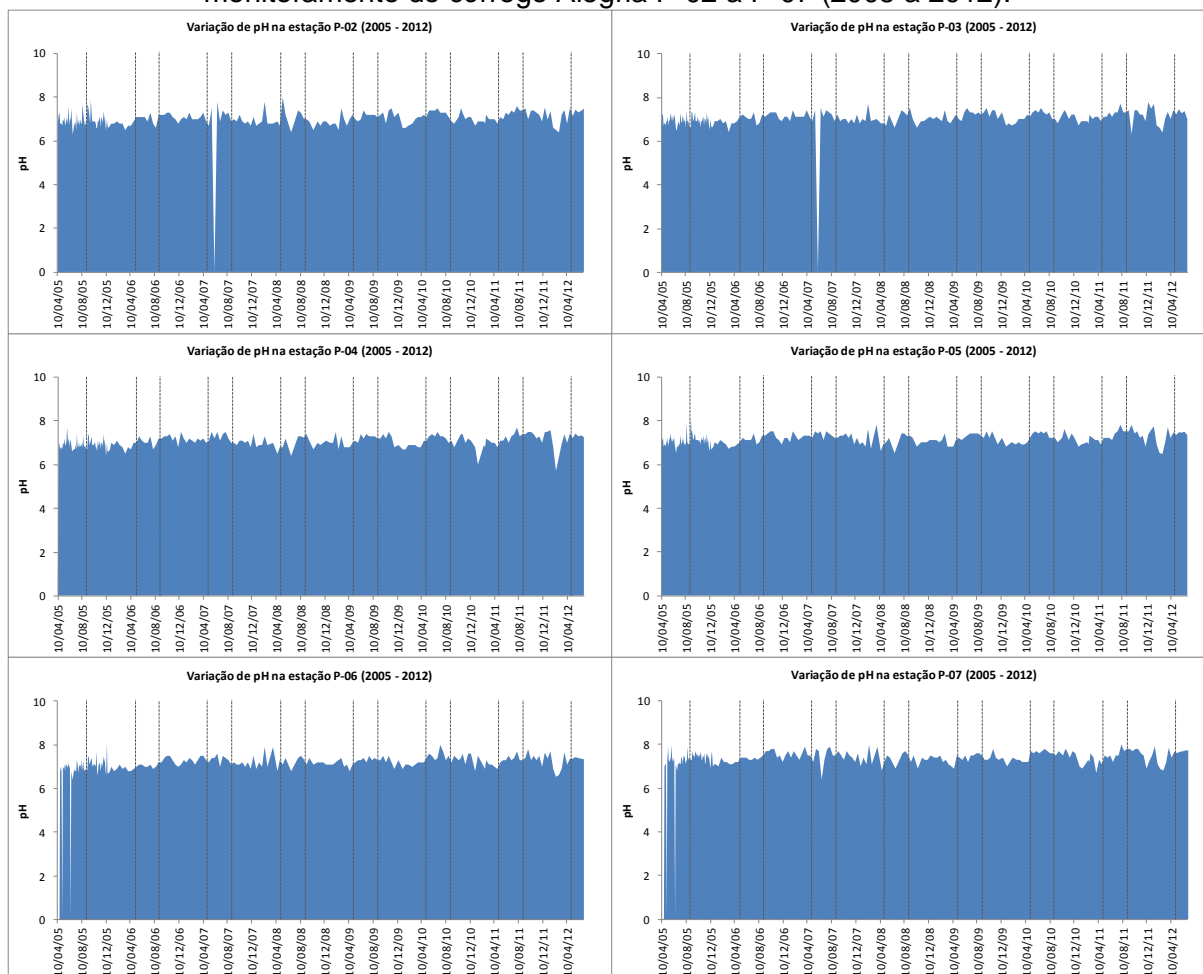
Nota: Os valores e respectivas datas de ocorrências indicados nas barras vermelhas correspondem aos valores tidos como "extremos" após avaliação estatística. As barras pontilhadas demarcam a sazonalidade local de acordo com períodos de chuva (intervalos maiores) e estiagem (intervalos menores).

Figura 6.18 - Variação temporal da Condutividade Elétrica em amostras de águas coletadas nas estações de monitoramento do córrego Alegria P-02 a P-07 (2005 a 2012).



Nota: Os valor na estação P-06 corresponde a um valor "extremos" identificado após avaliação estatística. As barras pontilhadas demarcam a sazonalidade local de acordo com períodos de chuva (intervalos maiores) e estiagem (intervalos menores).

Figura 6.19 - Variação temporal do pH em amostras de águas coletadas nas estações de monitoramento do córrego Alegria P-02 a P-07 (2005 a 2012).



Nota: As barras pontilhadas demarcam a sazonalidade local de acordo com períodos de chuva (intervalos maiores) e estiagem (intervalos menores).

Na Tabela 6.7 é apresentado um resumo da variação das medianas das concentrações de Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido nas águas do córrego Alegria e rio Uberaba nos períodos de chuva e estiagem.

Tabela 6.7 - Maiores e menores medianas a partir de concentrações no córrego Alegria e rio Uberaba nos períodos chuvosos e de estiagem considerando os parâmetros Potássio dissolvido, Cloreto e Ferro dissolvido (2005 - 2012).

Parâmetro	Corpo D'Água	Período Chuvoso		Período de Estiagem	
		Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Potássio dissolvido (mg.L ⁻¹)	Córrego Alegria	1,221	1,66	0,882	1,405
	Rio Uberaba	0,994	1,45	0,684	1,21
Cloreto (mg.L ⁻¹)	Córrego Alegria	0,76	1,675	0,5	1,73
	Rio Uberaba	0,62	1,759	0,43	1,29
Ferro dissolvido (mg.L ⁻¹)	Córrego Alegria	0,176	0,5	0,069	0,475
	Rio Uberaba	0,175	0,46	0,102	0,248

Concentrações de Cloreto e Potássio dissolvido apresentaram forte correlação com a variação pluviométrica, sendo que picos de concentrações destes parâmetros estão frequentemente associados às primeiras chuvas do período chuvoso, o que reflete uma provável influência do aporte de sedimentos para o leito destes corpos d'água. Percebe-se, ainda, que a intensidade dos picos das concentrações tendem a serem maiores quanto maior for o intervalo de tempo entre a última chuva e a seguinte. Não se observa incrementos adicionais nas concentrações monitoradas com a continuidade de chuvas ininterruptas, alcançando um patamar de equilíbrio em ambos os casos. Desta forma, o aporte de sedimentos aos corpos d'água decorrente do carreamento de partículas (escoamento superficial) alcançaria o seu limite.

Além do aporte de sedimentos aos corpos d'água, as maiores concentrações de Cloreto e Potássio observadas no período chuvoso podem ser também decorrentes da fração destas espécies que não foram retidas pelas partículas minerais do solo, ou seja, que se encontravam dissolvidas na solução e que permaneceram na forma de sais de Potássio e de Cloreto no solo, no estado sólido, após a evaporação da água. Estes sais foram dissolvidos pelas águas de chuva e transportados para as águas do córrego Alegria e rio Uberaba aumentando as concentrações de Potássio e de Cloreto nesses corpos d'água.

A seguir, são apresentados conjunto de gráficos de distribuição estatística (*box-and-whisker*) a partir dos resultados analíticos de Cloreto (Figura 6.20), Potássio dissolvido (Figura 6.21) e Ferro dissolvido (Figura 6.22), a partir de amostras de águas coletadas nas estações P-02 a P-07 do córrego Alegria entre 2005 e 2012, separados por períodos de chuva e estiagem.

Figura 6.20 - Distribuição estatística (*box-and-whisker*) das concentrações de Cloreto nas estações P-02 a P-07 do córrego Alegria nos períodos de estiagem e chuvas (2005 - 2012).

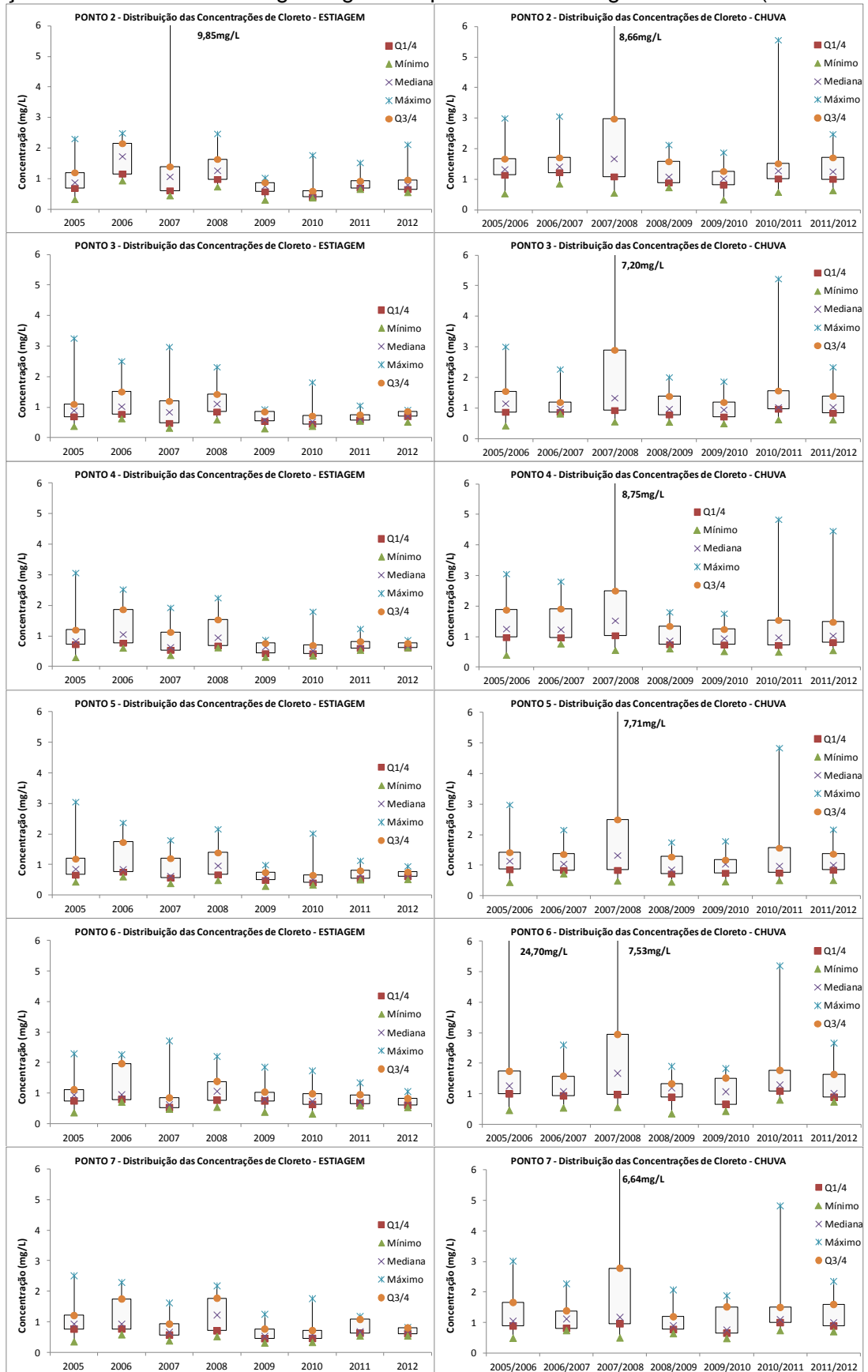


Figura 6.21 - Distribuição estatística (box-and-whisker) das concentrações de Potássio (K) Dissolvido nas estações P-02 a P-07 do córrego Alegria nos períodos de estiagem e chuvas (2005 - 2012).

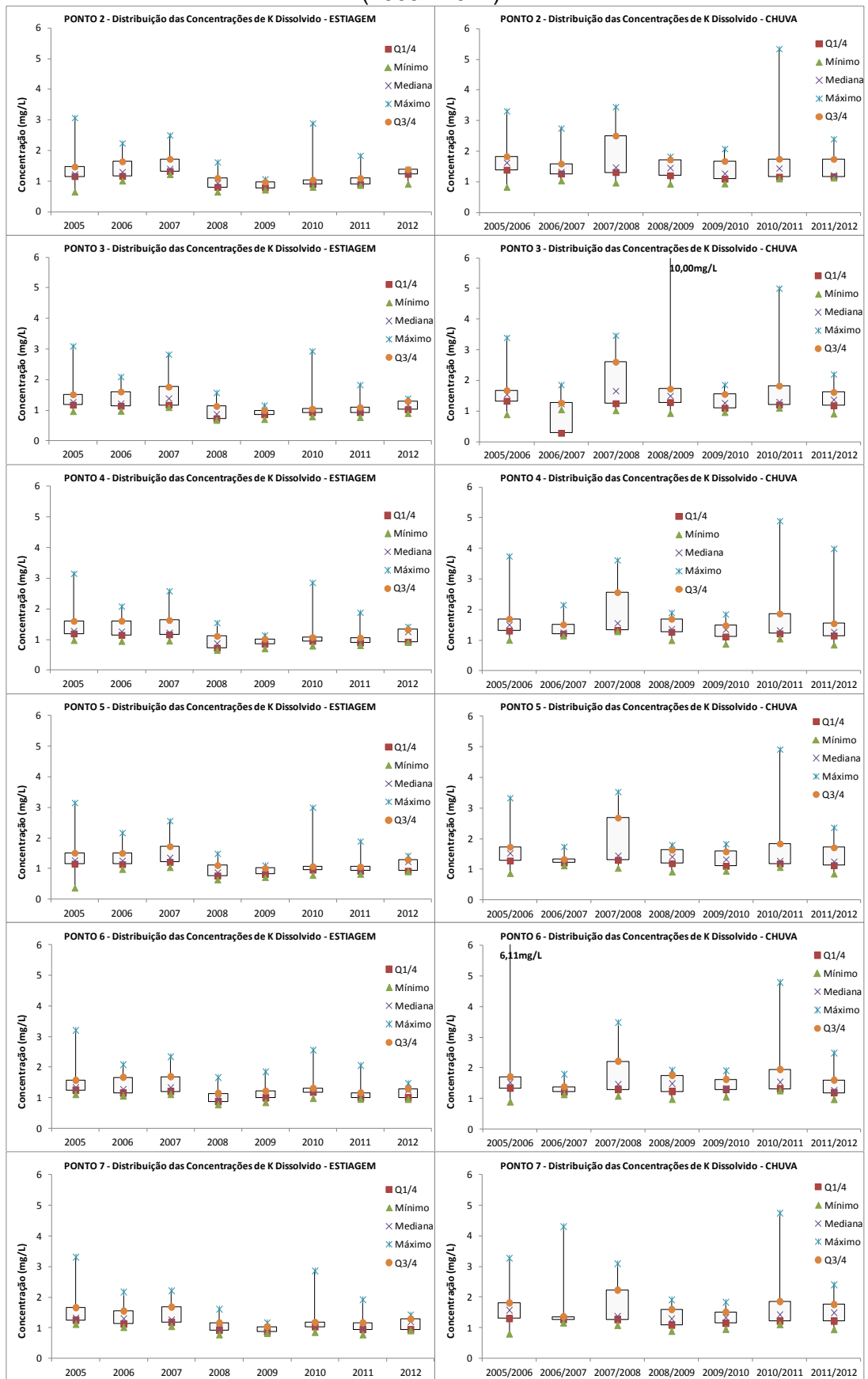
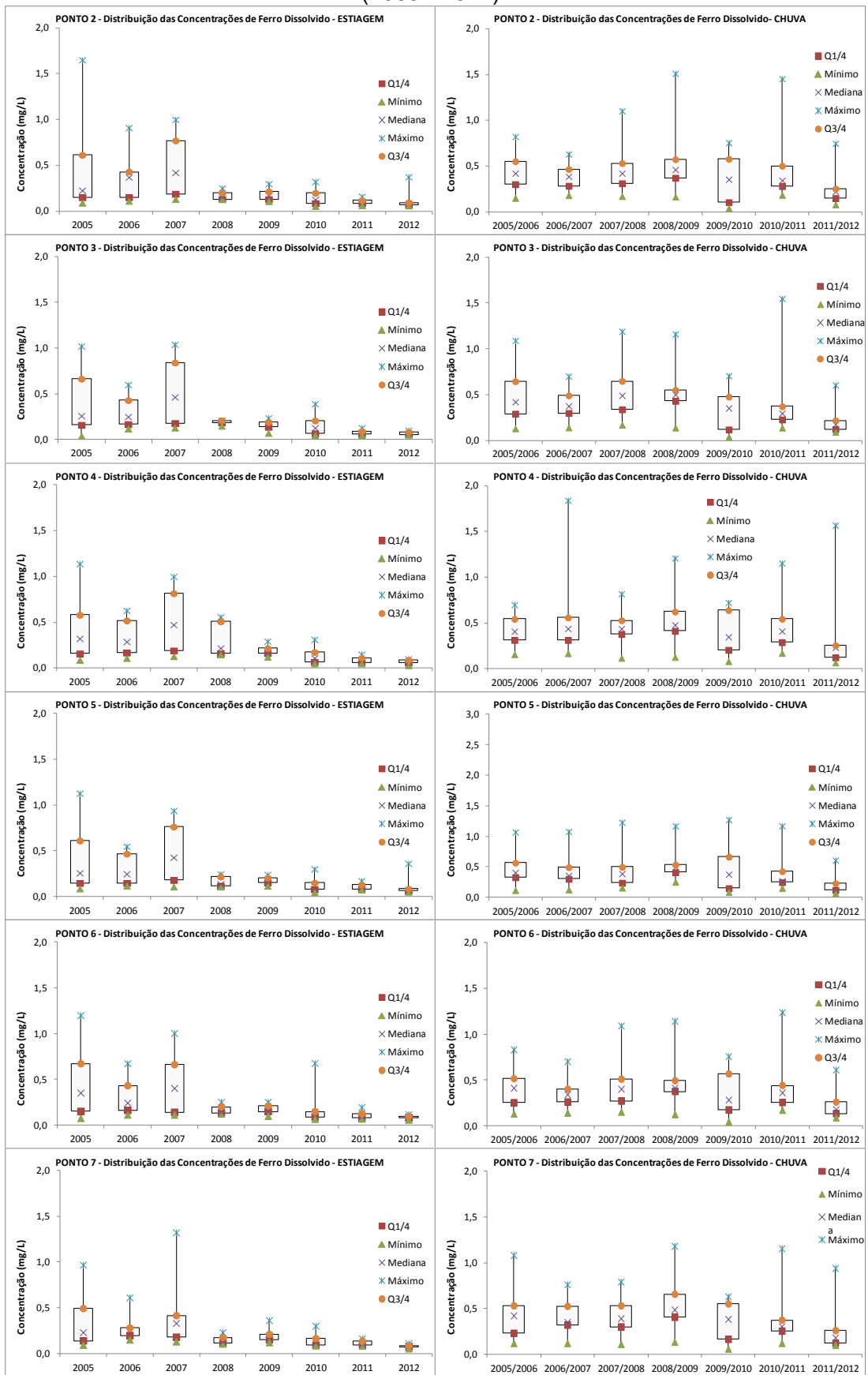


Figura 6.22 - Distribuição estatística (box-and-whisker) das concentrações de Ferro dissolvido nas estações P-02 a P-07 do córrego Alegria nos períodos de estiagem e chuvas (2005 - 2012).



De maneira geral, as concentrações de Cloreto nas águas do córrego Alegria são superiores às concentrações no rio Uberaba. No caso do Potássio dissolvido e Ferro dissolvido, as concentrações tendem a aumentar a diferença entre estas médias assim que se iniciam os períodos chuvosos. Entretanto, após os primeiros meses do citado período, geralmente a partir de dezembro, observa-se uma inversão deste comportamento, onde as concentrações nas águas do rio Uberaba ultrapassam as concentrações no córrego Alegria e assim permanecem até o término do período de chuvas (abril). Tal fato decorre, nos casos de Cloreto e Potássio, provavelmente, da lixiviação da carga proveniente do uso de fertilizantes ao longo da bacia do alto rio Uberaba, nitidamente superior a utilizada na microbacia no córrego Alegria, enquanto que o Ferro resultaria do superior aporte de sedimentos na bacia do alto rio Uberaba em decorrência da sua maior área de drenagem.

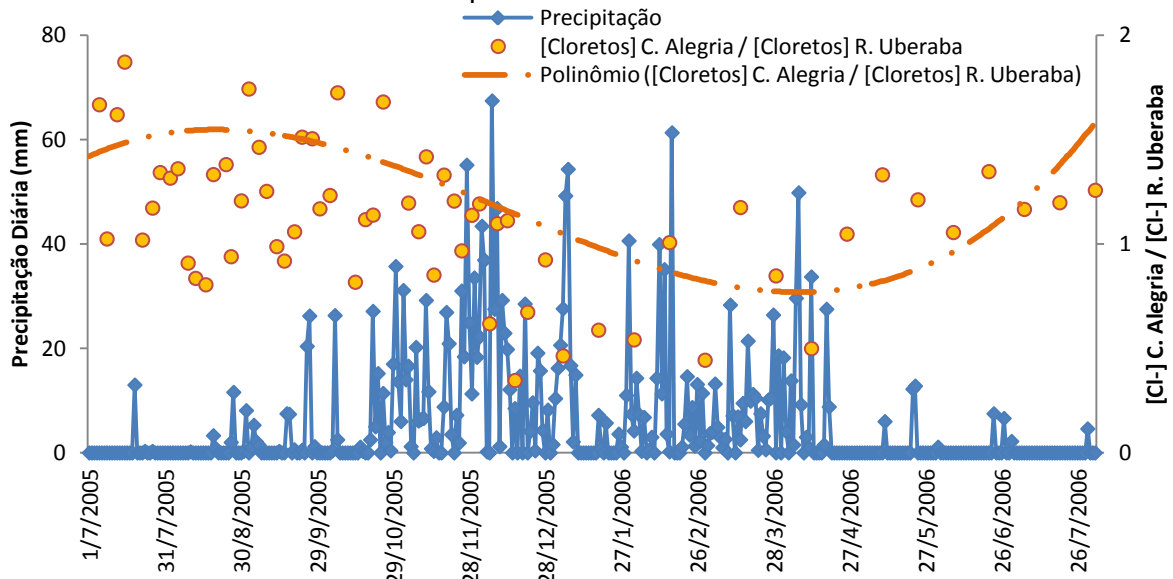
As concentrações de Cloreto nas águas do córrego Alegria são, em geral, superiores às do rio Uberaba durante os períodos de estiagem, estendendo-se até meados de outubro, ocorrendo o inverso durante o período de chuvoso. Uma tendência semelhante pode ser verificada para o Potássio dissolvido, sendo que, neste caso, as maiores concentrações no córrego Alegria são observadas ao longo de um período ligeiramente maior, verificando-se menores concentrações que as do Rio Uberaba de novembro a março. Sugere-se que as concentrações de Ferro dissolvido seguem um comportamento muito próximo ao de Potássio dissolvido. Para ilustrar, uma vez que tal comportamento ocorre ao longo de todos anos hidrológicos compreendidos pelo período de monitoramento do presente estudo, são apresentados gráficos de dispersão e linha para o período de 15/07/2005 a 14/07/2006 da variação pluviométrica e a razão entre as concentrações médias para Cloreto (Figura 6.23), Potássio dissolvido (Figura 6.24) e Ferro dissolvido (Figura 6.25) no córrego Alegria pelas concentrações das respectivas espécies no rio Uberaba.

Conforme as Figura 6.20 e Figura 6.21, respectivamente, são notadas variações sensíveis nas concentrações de Cloreto e Potássio dissolvido nas águas do córrego Alegria durante os períodos de estiagem dos anos de 2005 a 2008. O mesmo padrão é observado para o Ferro dissolvido (Figura 6.22) só que apenas nos anos de 2005 a 2007.

Aparentemente, de acordo com os dados disponibilizados pelo INMET, durante estes períodos de estiagem as chuvas ocorreram de forma mal distribuídas, concentradas em curtos períodos de tempo, o que resultaria no aporte imediato de sedimentos ao leito do córrego e consequente

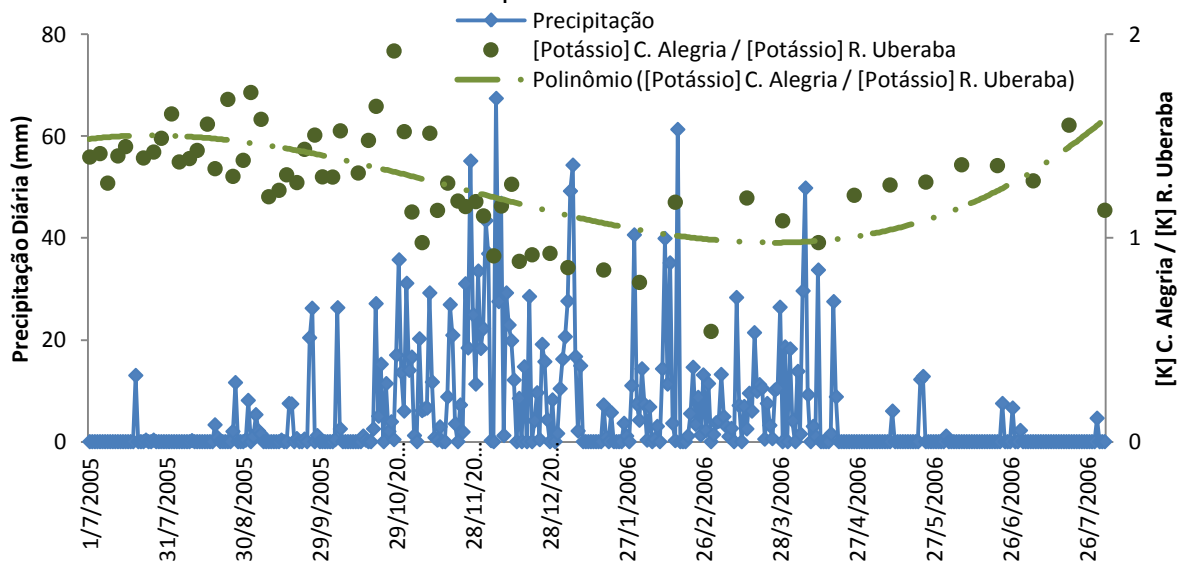
aumento das concentrações destes parâmetros. Em seguida, períodos de baixa precipitação ocasionariam baixas concentrações dos mesmos. Destaca-se, ainda, que a antecipação dos períodos de chuva ou seu prolongamento também acarretariam no mesmo efeito, produzindo altas concentrações nos períodos de estiagem, com conseqüente elevadas variações detectadas nos citados gráficos de distribuição estatística (*box-and-whisker*).

Figura 6.23 – Exemplo da variação temporal da precipitação diária e percentual da razão da concentração média de Cloreto nas águas do córrego Alegria pela concentração no rio Uberaba no período de 01/07/05 a 02/08/06.



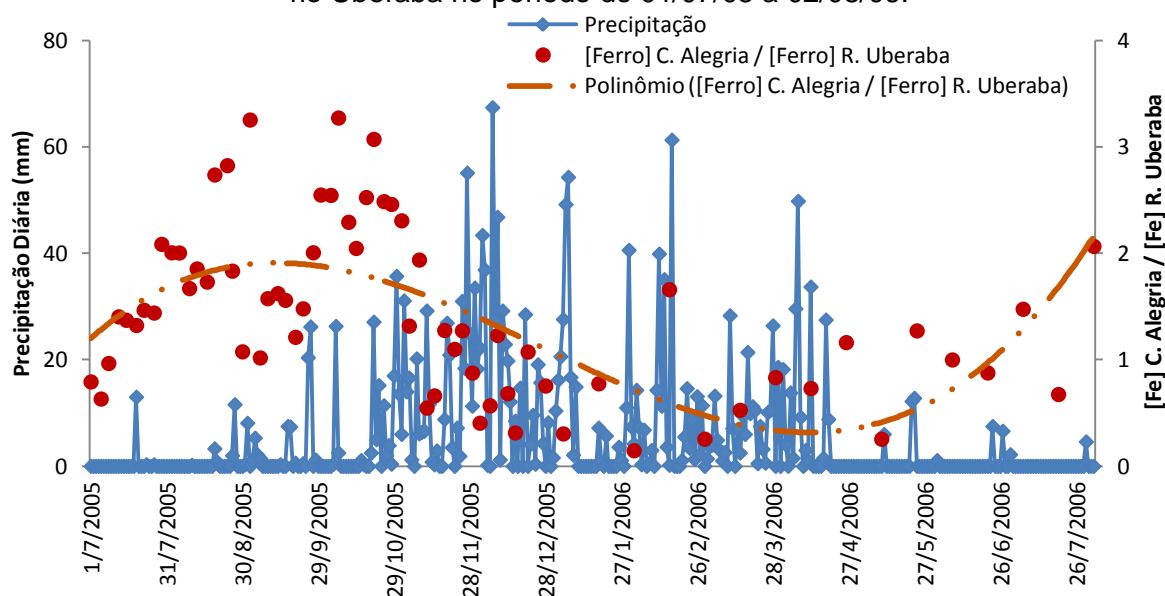
Legenda: [Cloreto] e [Cl⁻] - Concentração de Cloreto.

Figura 6.24 – Exemplo da variação temporal da precipitação diária e percentual da razão da concentração média de Potássio dissolvido nas águas do córrego Alegria pela concentração no rio Uberaba no período de 01/07/05 a 02/08/06.



Legenda: [Potássio] e [K] - Concentração de Potássio dissolvido.

Figura 6.25 – Exemplo da variação temporal da precipitação diária e percentual da razão da concentração média de Ferro dissolvido nas águas do córrego Alegria pela concentração no rio Uberaba no período de 01/07/05 a 02/08/06.



Legenda: [Ferro] e [Fe] - Concentração de Ferro dissolvido.

Enquanto as concentrações médias de Cloreto nas águas do córrego Alegria, variam de 0,70 mg.L⁻¹ a 4,96 mg.L⁻¹, no rio Uberaba este intervalo é de 0,64 mg.L⁻¹ a 2,92 mg.L⁻¹. Em termos percentuais, a razão das concentrações diárias de Cloreto no córrego Alegria pelas concentrações no rio Uberaba variam de -46% a 217%. Para o Potássio dissolvido foram calculadas médias de 0,30 mg.L⁻¹ a 7,75 mg.L⁻¹ no córrego Alegria e 0,30 mg.L⁻¹ a 5,29 mg.L⁻¹ no rio Uberaba, com razões percentuais variando de -76% a 796%. Para o Ferro dissolvido, foram obtidas concentrações no córrego Alegria de 0,03 mg.L⁻¹ a 1,28 mg.L⁻¹ e 0,05 mg.L⁻¹ a 2,41 mg.L⁻¹ no rio Uberaba, com percentuais variando entre -88% a 398%.

Conforme mostra o registro fotográfico apresentado nas Figuras 6.26 e 6.27, alguns trechos do córrego Alegria são utilizados para travessia e dessedentação do gado criado na região. Além do intenso pisoteio que acarreta na instalação de processos erosivos e consequente aumento na contribuição de sedimentos ao córrego durante períodos de chuva, destaca-se os dejetos destes animais (urinas e fezes) que ocasionam, ainda que temporariamente, a alteração da qualidade da água, especialmente nas concentrações de Cloreto e Potássio dissolvido. Destaca-se, entretanto, que tal efeito não foi possível de ser notado no comportamento espaço-temporal dos parâmetros considerados neste estudo podendo, entretanto, justificar valores tidos como “extremos”. No caso das fotos a seguir, o local situa-se a cerca de 150 metros jusante da estação P-06 e 300 metros a montante da estação P-07.

Figura 6.26 - Trecho do córrego Alegria utilizado para travessia e dessedentação de gado. 19°39'24,77"S / 47°54'30,95"O.



Fonte: Acervo FCA (2011).

Figura 6.27 - Detalhe da área de travessia de gado com aumento da turbidez.



Fonte: Acervo FCA (2011).

Nas Figuras 6.28 e 6.29, pode-se observar o efeito da presença do gado no trecho das fotos anteriores. Na segunda foto, tirada no mesmo dia, poucos minutos após a primeira, nota-se a elevada turbidez das águas superficiais. Isso explicaria um aumento significativo de Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido na estação P-07, quando comparados os resultados com aqueles obtidos na estação P-06 durante uma mesma campanha de amostragem.

Figura 6.28 - Trecho do córrego Alegria (P-07) a jusante do ponto de travessia do gado.



Fonte: Acervo FCA (2011).

Figura 6.29 - Trecho do córrego Alegria (P-07), a jusante do ponto de travessia do gado, com aumento da turbidez.



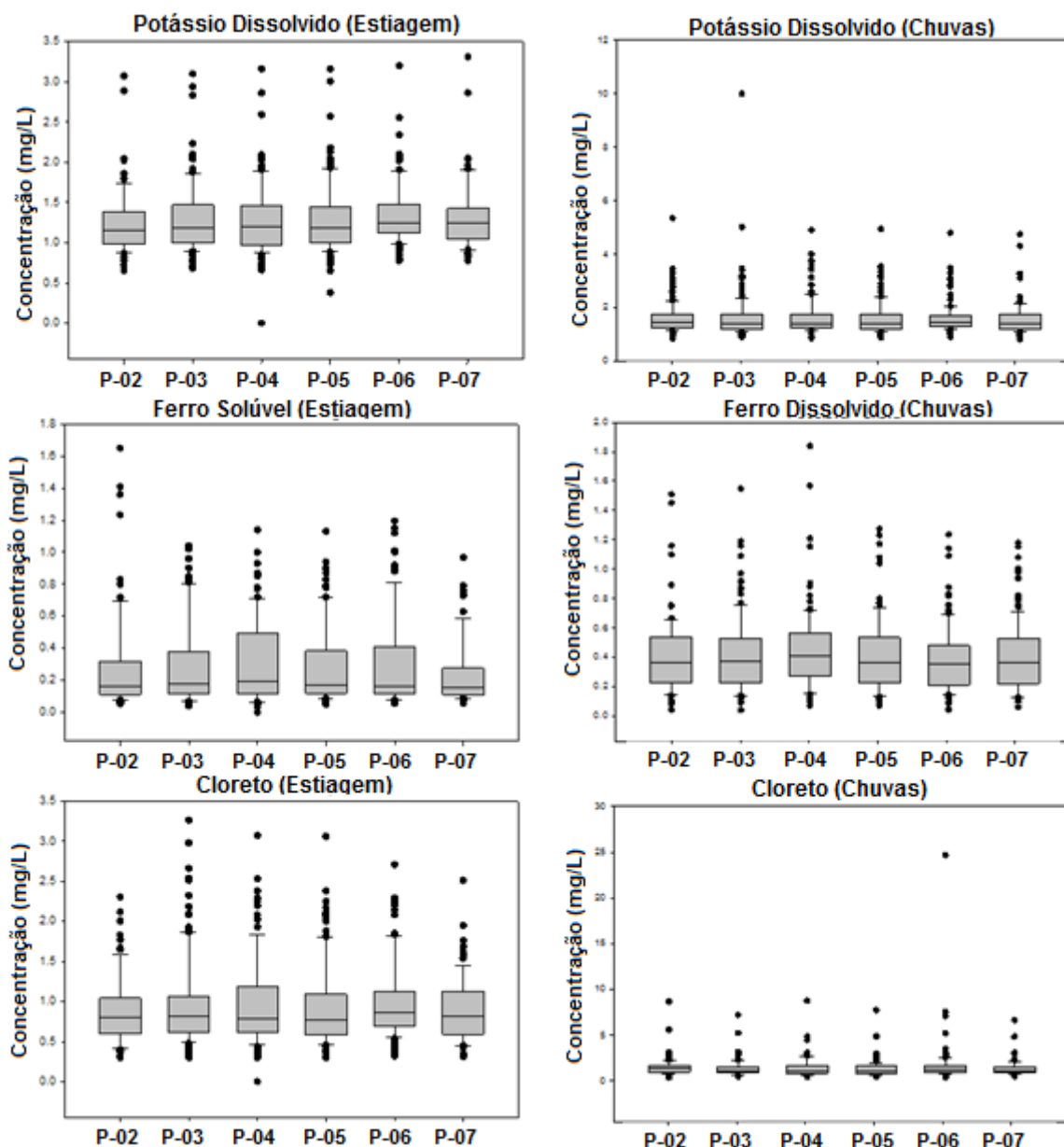
Fonte: Acervo FCA (2011).

O Teste U Mann Whitney indicou, a um nível de significância de 5%, que as medianas das concentrações de Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido nas estações P-02 a P-07 no córrego Alegria, são significativamente distintas nos períodos de chuvas e estiagem, sendo que todos os parâmetros retornaram concentrações mais elevadas no período das chuvas.

Ao se comparar as concentrações dos parâmetros de interesse (Potássio dissolvido, Cloreto e Ferro dissolvido) através do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis entre as estações de monitoramento consideradas no córrego Alegria (P-02 a P-07) verificou-se que, mesmo havendo distinção entre as medianas nos períodos de chuvas e estiagem, durante um mesmo período sazonal, não há diferenças significativas. Desta forma, mesmo havendo notadas flutuações das concentrações monitoradas ao longo do leito do córrego Alegria durante o período de chuvas ou estiagem (ao nível de significância de 5%), pode-se considerar que, estatisticamente, estas permanecem constantes durante todo trajeto até a sua foz.

Na Figura 6.30 são apresentados gráficos *box-and-whisker* representando a distribuição estatística das concentrações dos parâmetros de interesse nas estações consideradas e períodos de chuva e estiagem demonstrando, claramente, a similaridade entre os valores monitorados ao longo de períodos distintos evidenciado pelos testes de Kruskal-Wallis.

Figura 6.30 - Distribuição estatística (*box-and-whisker*) dos resultados analíticos dos parâmetros de interesse por estação de monitoramento e sazonalidade (chuva e estiagem).



Considerando-se todos os resultados dos períodos de estiagem, a mediana das concentrações de Cloreto para estação P-02 é de $0,877 \text{ mg.L}^{-1}$, enquanto que nos períodos de chuvas este valor sobe para $1,270 \text{ mg.L}^{-1}$ (aumento de cerca de 45%). Este incremento é o maior entre as estações no córrego Alegria sendo, para as demais estações, os seguintes percentuais aproximados: 26% (P-03); 42% (P-04); 43% (P-05); 38% (P-06); e 33% (P-07). Vale observar que ao contrário dos demais pontos, a estação P-02 é a única que situa-se a jusante de uma área de agricultura e, portanto, seria esperado tal comportamento devido ao aumento da disponibilidade de íons Cloreto através da lixiviação do solo.

Com o objetivo de avaliar a relação entre os parâmetros físico-químicos (Cloreto, Potássio dissolvido, Ferro dissolvido, pH e Condutividade Elétrica), das estações de monitoramento P-02 a P-07 localizadas no córrego Alegria, com os índices pluviométricos das datas de coleta, foram calculados o coeficiente de correlação de postos de Spearman (SPEARMAN, 1904 *apud* Pasquali, 1997).

Após calculados os coeficientes de correlação de Spearman, considerando-se os resultados analíticos provenientes das amostras coletadas nas estações de monitoramento distribuídas ao longo do córrego Alegria (P-02 a P-07), assim como os registros de pluviosidade no período de 2005 a 2012, foi elaborada a Tabela 6.8, a seguir, na qual são apresentados intervalos provenientes da compilação dos índices calculados individualmente para cada estação a fim de avaliar o comportamento para as águas do córrego Alegria. Os valores em negrito indicam valores de $p < 0,05$, índice que atesta a existência, portanto, da correlação entre parâmetros.

Tabela 6.8 - Coeficiente ρ de Spearman resultantes da verificação das possíveis correlações entre parâmetros de interesse e sazonalidade (precipitação) no período de 2005 a 2012.

Parâmetro	Coeficiente de Correlação de Spearman				
	Cloreto	Condutividade elétrica	Ferro dissolvido	pH	Potássio dissolvido
Precipitação	0,39 a 0,44	-0,14 a -0,07	0,25 a 0,31	-0,12 a -0,04	0,35 a 0,38
Cloreto		0,10 a 0,16	0,19 a 0,37	-0,17 a 0,10	0,54 a 0,61
Condutividade elétrica			0,11 a 0,18	0,04 a 0,25	0,33 a 0,39
Ferro dissolvido				-0,30 a -0,10	0,44 a 0,55
pH					-0,23 a 0,02

De acordo com a Tabela 6.8, as concentrações de Potássio dissolvido em todas as estações de monitoramento, correlacionaram-se positivamente (diretamente proporcional) com a precipitação e a Condutividade Elétrica, assim como com as concentrações de Ferro dissolvido e Cloreto. No caso do pH essa correlação não ocorre em todas as estações de monitoramento.

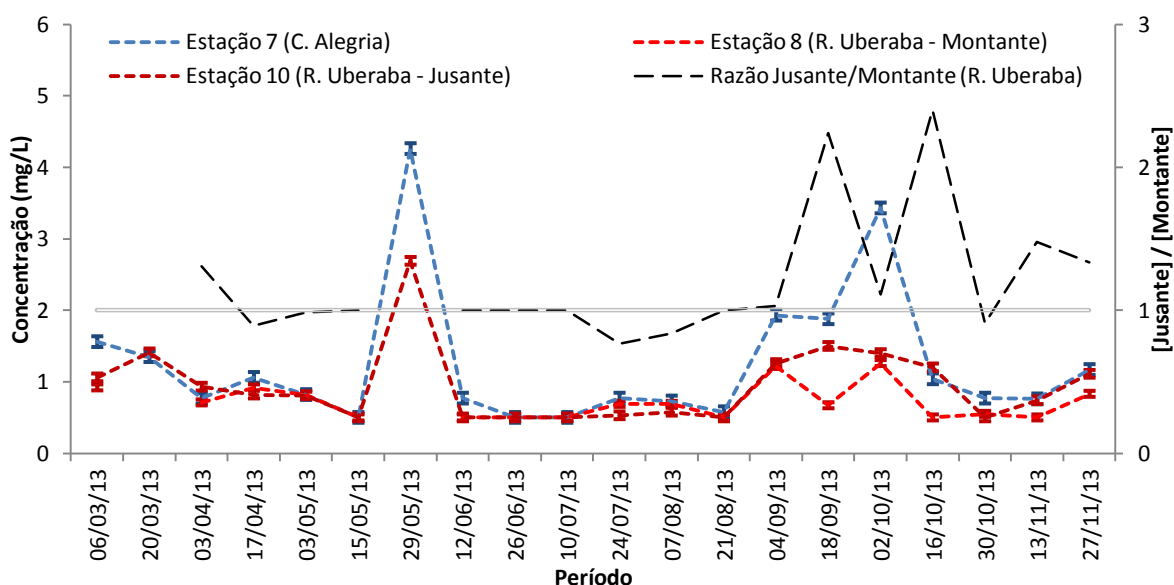
Já as concentrações de Cloreto nas águas do córrego Alegria apresentaram correlações positivas com a precipitação, Ferro dissolvido e o Potássio dissolvido, enquanto que a Condutividade Elétrica e pH não resultaram em boas correlações havendo, contudo, indícios de uma correlação negativa (inversamente proporcional) com o segundo e positiva com o primeiro.

Como oportunamente mencionado, as concentrações de Ferro dissolvido tendem a aumentar a medida que há o aumento nas concentrações de Potássio dissolvido e Cloreto. Já com o pH a correlação é negativa, observando-se o aumento das concentrações de Ferro Dissolvido a medida que o pH diminui demonstrando, como já esperado, a maior disponibilidade de Fe^{2+} sobre Fe^{3+} a medida que as águas tornam-se mais ácidas, provavelmente relacionado à maior concentração de matéria orgânica aportada ao córrego na ocasião das chuvas, com as quais as concentrações de Ferro Dissolvido apresentam correlação positiva. Destaca-se, ainda, a acidez da água da chuva decorrente de componentes atmosféricos, tais como o próprio CO_2 .

6.7 Avaliação temporal e comparativa da qualidade das águas do córrego Alegria com as do rio Uberaba

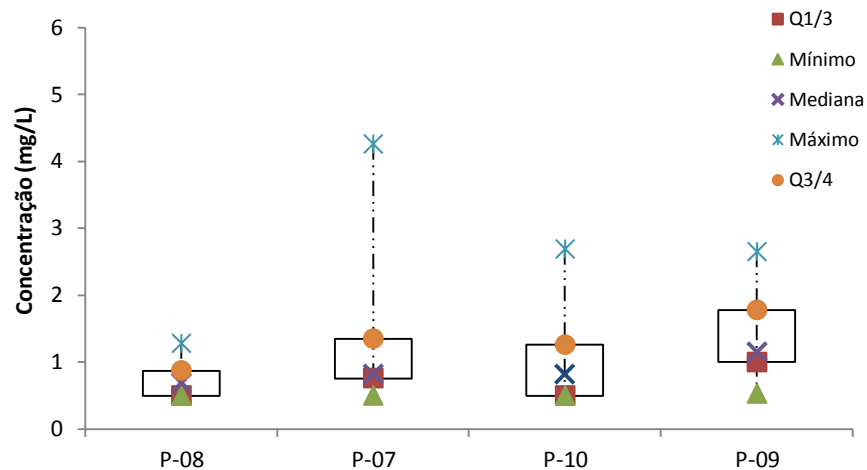
Observando-se as variações dos parâmetros físico-químicos de interesse no período de 06/03/2013 a 11/12/2013 através dos gráficos de série temporal (Figura 6.31 e Figura 6.33) e de forma mais evidente nos gráficos *box-and-whisker* (Figura 6.32 e Figura 6.34), nota-se que as concentrações de Cloreto e Potássio dissolvido nas águas do córrego Alegria (P-07), tendem a ser ligeiramente superiores do que no rio Uberaba, tanto a montante (P-08), quanto a jusante (P-10) da confluência com o córrego Alegria.

Figura 6.31 - Variação temporal das concentrações de Cloreto nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08 e P-10).



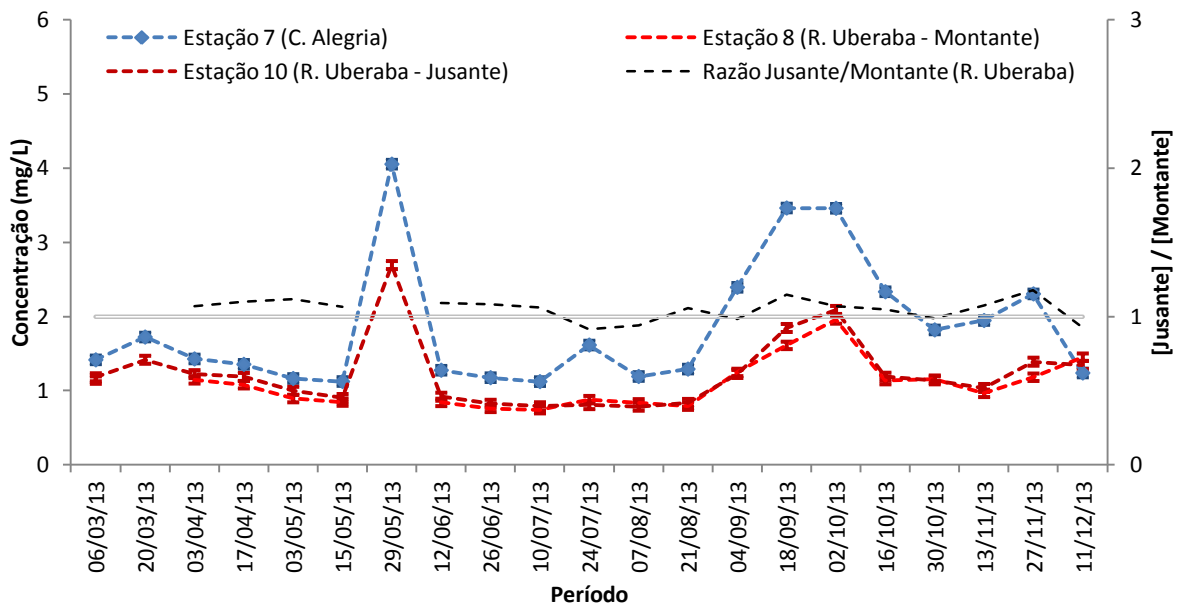
Obs.: A linhas cinza contínua serve para balizar as razões calculadas em torno do índice 1 quando tratam-se de valores iguais. A linha tracejada preta indica a variação temporal desta razão. Os pontos foram ligados apenas para se obter um efeito didático (visualização).

Figura 6.32 - Distribuição estatística das concentrações de Cloreto nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08, P-9 e P-10).



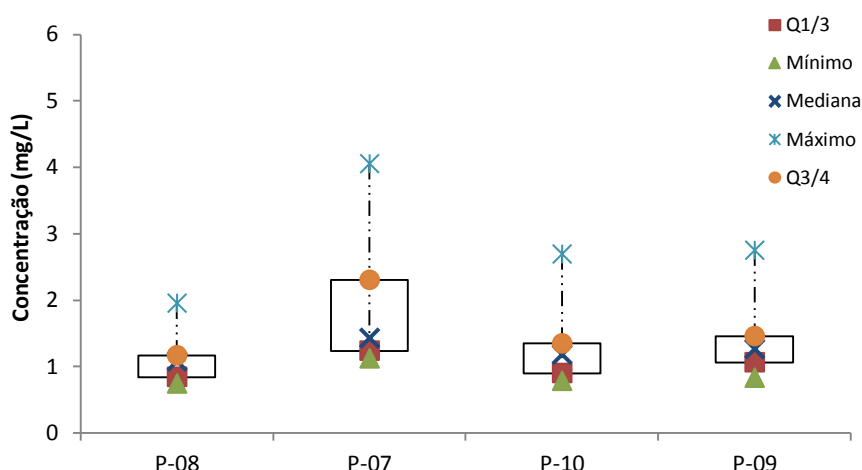
Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; e Q_{3/4} - Terceiro quartil.

Figura 6.33 - Variação temporal das concentrações de Potássio dissolvido nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08 e P-10).



Obs.: A linhas cinza contínua serve para balizar as razões calculadas em torno do índice 1 quando tratam-se de valores iguais. A linha tracejada preta indica a variação temporal desta razão. Os pontos foram ligados apenas para se obter um efeito didático (visualização).

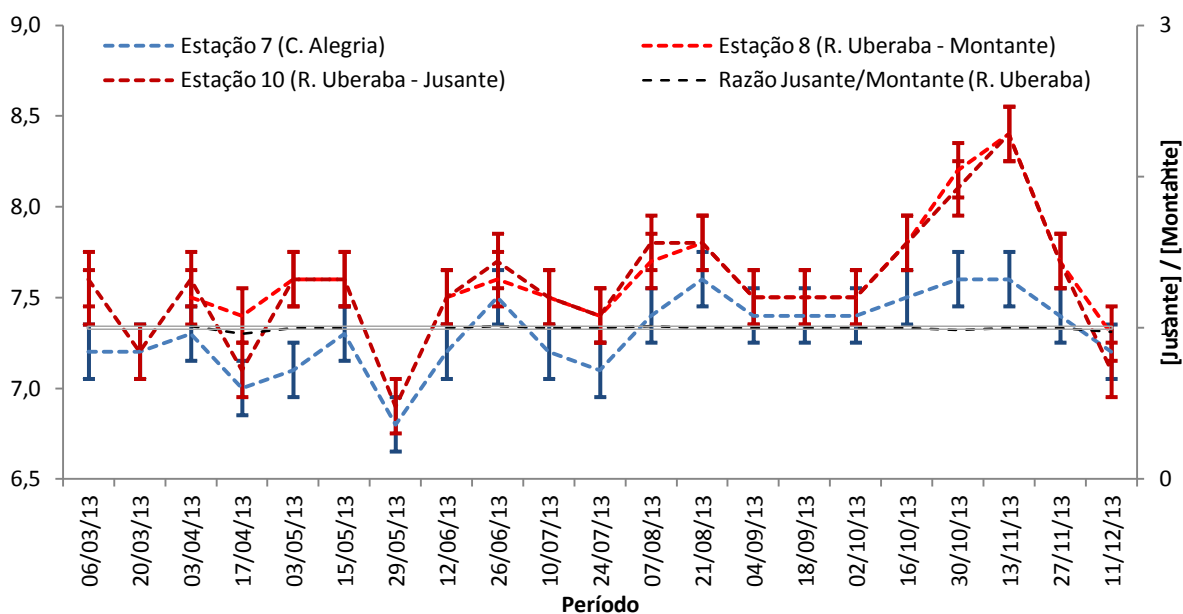
Figura 6.34 - Distribuição estatística das concentrações de Potássio dissolvido nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08, P-9 e P-10).



Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; e Q_{3/4} - Terceiro quartil.

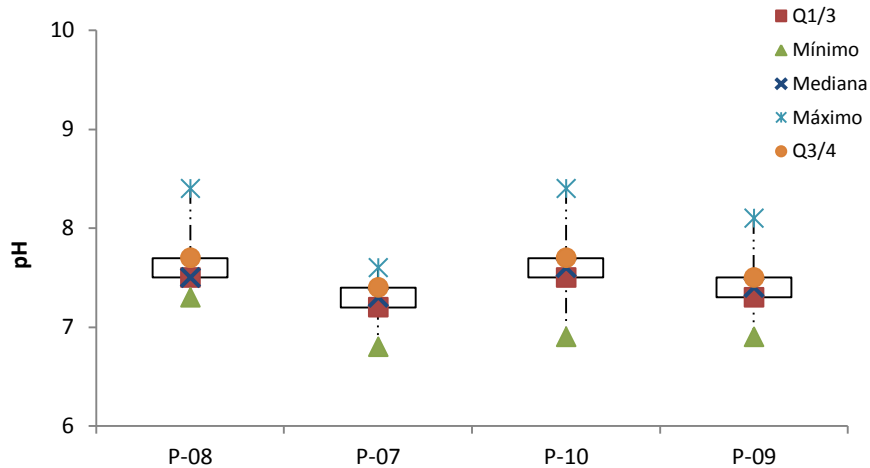
Já os parâmetros pH e Condutividade Elétrica, cujas variações podem ser observadas nos gráficos de série temporal (Figura 6.35 e Figura 6.37) e *box-and-whisker* (Figura 6.36 e Figura 6.38, apresentam comportamento inverso, portanto, os valores são inferiores nas águas do córrego Alegria.

Figura 6.35 - Variação temporal do pH nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08 e P-10).



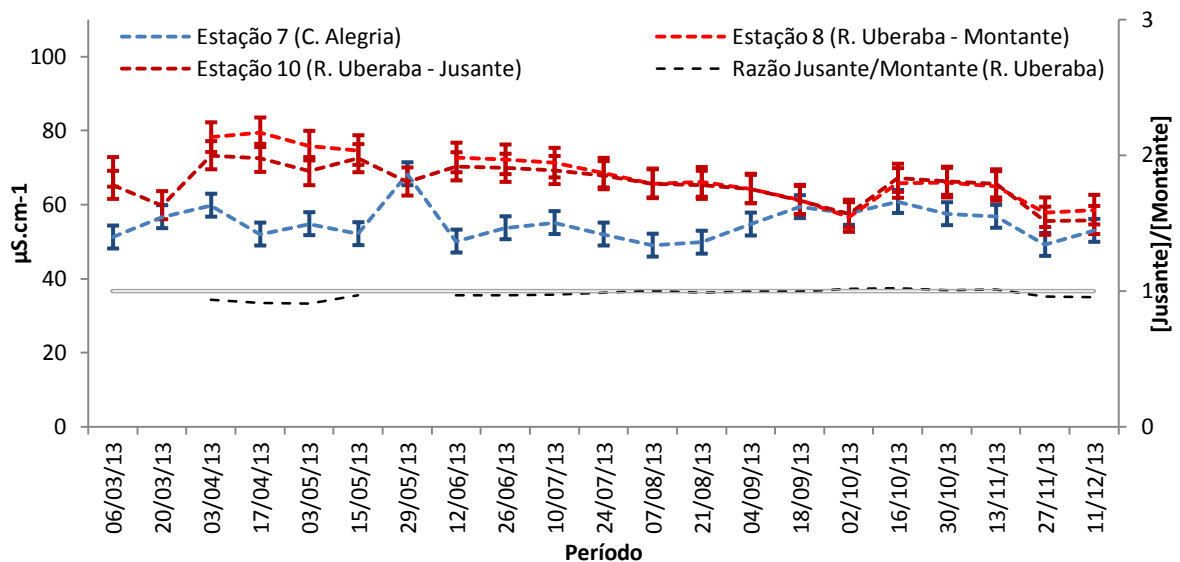
Obs.: A linhas cinza contínua serve para balizar as razões calculadas em torno do índice 1 quando tratam-se de valores iguais. A linha tracejada preta indica a variação temporal desta razão. Os pontos foram ligados apenas para se obter um efeito didático (visualização).

Figura 6.36 - Distribuição estatística dos valores de pH nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08, P-9 e P-10).



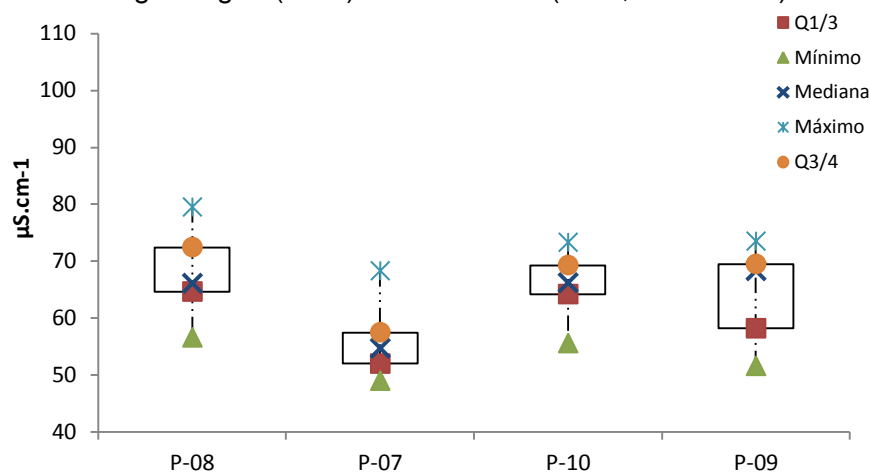
Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; e Q_{3/4} - Terceiro quartil.

Figura 6.37 - Variação temporal dos valores de Condutividade Elétrica nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08 e P-10).



Obs.: A linhas cinza contínua serve para balizar as razões calculadas em torno do índice 1 quando tratam-se de valores iguais. A linha tracejada preta indica a variação temporal desta razão. Os pontos foram ligados apenas para se obter um efeito didático (visualização).

Figura 6.38 - Distribuição estatística dos valores de Condutividade Elétrica nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08, P-9 e P-10).



Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; e Q_{3/4} - Terceiro quartil.

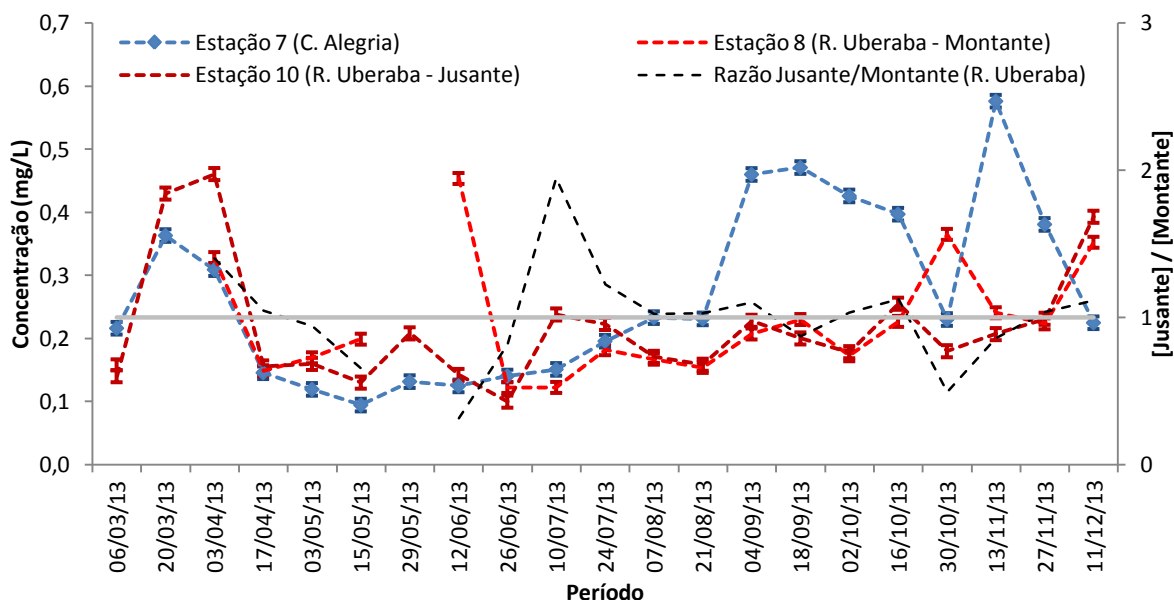
Através do cálculo da razão entre os resultados de jusante e montante obtidos no rio Uberaba, nota-se que os valores de pH e Condutividade Elétrica permanecem praticamente inalterados, enquanto que as concentrações de Potássio dissolvido oscilam em torno de 1, indicando a ausência de interferência na qualidade das águas do rio Uberaba a partir do aporte das águas do córrego Alegria. Porém, quanto às razões de Cloreto, observa-se uma tendência de aumento das concentrações de Cloreto a jusante no rio Uberaba em relação às observadas a montante no período chuvoso, indicando o aporte desta espécie por meio das águas do córrego Alegria, cujas concentrações tendem a ser superiores do que as do rio Uberaba.

Destaque para as leituras obtidas no dia 29/05/2013, quando observa-se uma abrupta elevação nas concentrações de Cloreto e Potássio, e queda no pH, nas águas do rio Uberaba e córrego Alegria, bem como um ligeiro incremento na Condutividade Elétrica das águas do córrego Alegria, enquanto observa-se uma tendência de queda na Condutividade Elétrica das águas do rio Uberaba. Registros obtidos a partir das estações da INMET consideradas neste trabalho apontam para a ocorrência de chuvas tidas como "fora de época" na região a partir de 27/05 (2 mm) ocorrendo, também, nos dias 28/05 (7,5mm) e no próprio dia 29/07 (33 mm), até o dia 30/07 (44,4mm). Desta forma, o resultado acima reflete o enriquecimento relativo de Cloreto e Potássio devido ao aporte de sedimentos a estes corpos d'água aumentando, em decorrência da maior concentração de sais, no aumento da Condutividade Elétrica e queda do pH em função do maior aporte de matéria orgânica.

Com o início do período de chuvas a partir de setembro, as concentrações de Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido tendem a se elevarem, enquanto que apenas na segunda quinzena de outubro é que se observa o aumento dos valores de pH e Condutividade Elétrica, sendo o incremento mais discreto no caso da Condutividade Elétrica. Tanto no caso das concentrações de Cloreto, como para Potássio dissolvido e Ferro dissolvido, é observado um decréscimo nas curvas demonstrando uma clara estabilização após as primeiras chuvas e a queda no aporte de sedimentos no leito dos corpos d'água.

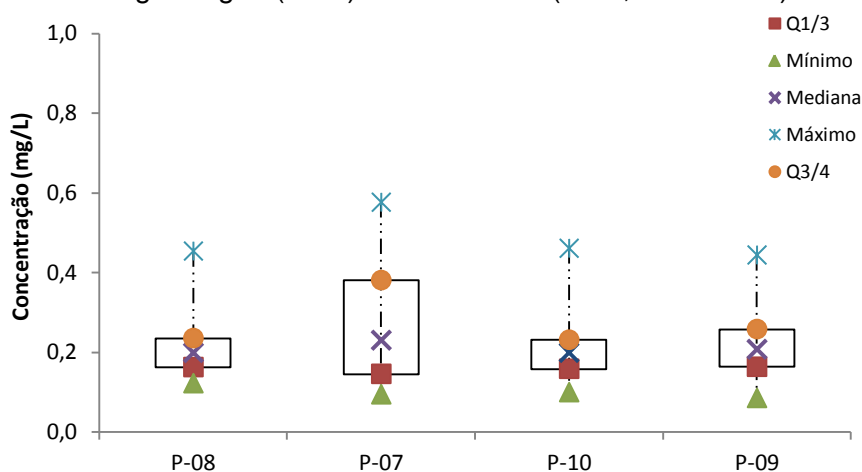
No caso do Ferro dissolvido (Figura 6.39 e Figura 6.40), as concentrações no córrego Alegria ultrapassam as concentrações no rio Uberaba após o início das chuvas, demonstrando a rápida resposta a partir do aporte de sedimentos na microbacia.

Figura 6.39 - Variação temporal das concentrações de Ferro dissolvido nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08 e P-10).



Obs.: A linha cinza contínua serve para balizar as razões calculadas em torno do índice 1 quando tratam-se de valores iguais. A linha tracejada preta indica a variação temporal desta razão. Os pontos foram ligados apenas para se obter um efeito didático (visualização).

Figura 6.40 - Distribuição estatística das concentrações de Ferro dissolvido nas estações do córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08, P-9 e P-10).



Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; e Q_{3/4} - Terceiro quartil.

Na Tabela 6.9 é apresentada a estatística descritiva levando-se em conta os resultados de 21 campanhas de monitoramento conduzidas no período.

Tabela 6.9 - Dados de coleta e distribuição estatística a partir das concentrações dos parâmetros de interesse em estações de monitoramento no córrego Alegria (P-07) e rio Uberaba (P-08, P-09 e P-10) em 2013.

Estatística Descritiva	Parâmetros de Interesse e Resultados											
	Cloreto (mg.L ⁻¹)				Ferro dissolvido (mg.L ⁻¹)				Potássio dissolvido (mg.L ⁻¹)			
	P-08	P-07	P-10	P-09	P-08	P-07	P-10	P-09	P-08	P-07	P-10	P-09
Q _{1/4}	0,50	0,76	0,50	1,00	0,16	0,15	0,16	0,16	0,84	1,24	0,90	1,06
Mínimo	0,50	0,50	0,50	0,53	0,12	0,09	0,10	0,09	0,74	1,12	0,78	0,83
Mediana	0,69	0,82	0,82	1,15	0,20	0,23	0,20	0,21	1,08	1,43	1,18	1,26
Máximo	1,28	4,26	2,69	2,65	0,45	0,58	0,46	0,44	1,95	4,05	2,69	2,75
Q _{3/4}	0,88	1,35	1,26	1,78	0,24	0,38	0,23	0,26	1,17	2,30	1,35	1,46
Erro Analítico (±)	0,041	0,070	0,054	0,079	0,010	0,012	0,010	0,010	0,050	0,059	0,053	0,053
< LQ	7	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Campanhas sem coleta	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0
LQ	0,50				0,11				0,05			
Estatística Descritiva	Condutividade (µS.cm ⁻¹)				pH							
	P-08	P-07	P-10	P-09	P-08	P-07	P-10	P-09				
Q _{1/4}	64,65	52,00	64,20	58,20	7,50	7,20	7,50	7,30				
Mínimo	56,60	49,00	55,60	51,60	7,30	6,80	6,90	6,90				
Mediana	66,10	54,70	66,20	68,30	7,50	7,30	7,60	7,40				
Máximo	79,50	68,30	73,30	73,50	8,40	7,60	8,40	8,10				
Q _{3/4}	72,45	57,50	69,30	69,50	7,70	7,40	7,70	7,50				
Erro Analítico (±)	3,889	3,148	3,771	3,743	0,159	0,151	0,158	0,154				
< LQ	0	0	0	0	0	0	0	0				
Campanhas sem coleta	2	0	0	0	2	0	0	0				
LQ	-	-	-	-	-	-	-	-				

Legenda: Q_{1/4} - Primeiro quartil; Q_{3/4} - Terceiro quartil; <LQ - Número de amostras cujas concentrações foram inferiores aos Limites de Quantificação do Método (Laboratório); LQ - Limite de Quantificação do Método; (-) - Não se aplica.

As concentrações de Cloreto e Potássio dissolvido detectadas no córrego Alegria, ainda que de origem natural ou antrópica, estão longe de representar um impacto negativo na qualidade das águas do rio Uberaba.

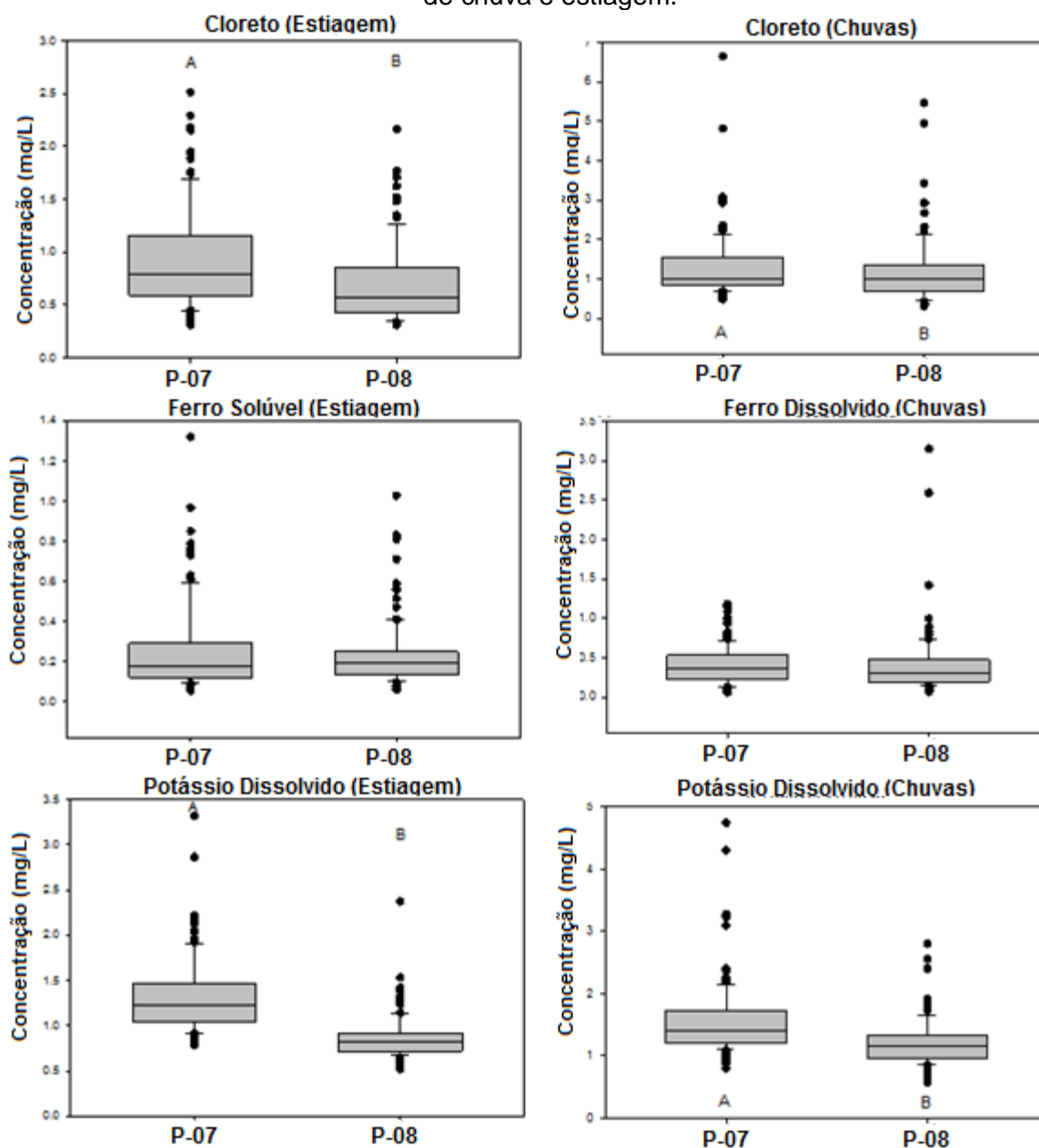
Resultados obtidos através do Teste U de Mann-Whitney para avaliar, comparativamente, as concentrações de Potássio dissolvido e Cloreto entre os pontos P-07 e P-08 no período de abril de 2005 a julho de 2013 confirmaram a existência de diferenças significativas entre essas estações no período de estiagem, quando as concentrações destas espécies são superiores no córrego Alegria. Para as concentrações de Ferro dissolvido, contudo, os pontos P-07 e P-08 não são significativamente diferentes. O mesmo padrão foi encontrado para o período de chuva, quando os pontos P-07 e P-08 diferiram significativamente com relação aos níveis de

Cloreto e de Potássio dissolvido, não havendo diferenças significativas entre as medianas das concentrações de Ferro dissolvido entre as estações P-07 e P-08. Para melhor visualização, são apresentados a seguir, na Figura 6.41, gráficos *box-and-whisker* para os parâmetros avaliados e suas concentrações respectivas nos períodos de chuva e estiagem.

Já os Testes U de Mann-Whitney, realizados a partir dos resultados analíticos de Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido obtidos nas estações P-08 e P-10 no ano de 2013, apontaram para a ausência de diferenças significativas entre as medianas. Desta forma, ainda que superiores às concentrações dos parâmetros de interesse nas águas do córrego Alegria, a chegada de suas águas ao rio Uberaba, não alteram significativamente sua qualidade.

A título de ilustração, apenas, assim como apresentado na Tabela 6.9, nos gráficos *box-and-whisker* apresentados neste capítulo, além da representação gráfica da distribuição estatística dos resultados obtidos nas estações P-07, P-08 e P-10, também estão presentes os resultados da estação P-09 (ponto de captação do CODAU). O intuito foi apenas apresentar as condições das águas que abastecem o município de Uberaba/MG sem, entretanto, discorrer sobre hipóteses e causas das eventuais alterações no cenário do meio físico ou antrópico, responsáveis pelas alterações na qualidade do rio Uberaba desde a foz do córrego Alegria.

Figura 6.41 - Distribuição estatística das concentrações de Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido nas estações P-07 (córrego Alegria) e P-08 (rio Uberaba) durante períodos de chuva e estiagem.



6.8 Avaliação da qualidade das águas do córrego Alegria de acordo com valores de referência e VMPs estabelecidos em estudos e regulamentações nacionais e internacionais

Conforme apresentado ao longo deste estudo, não foram obtidas concentrações de Cloreto acima do Valor Máximo Permitido (250 mg.L^{-1}), de acordo com a legislação do Estado de Minas Gerais, assim como também não foram detectadas concentrações de Potássio dissolvido nas águas do córrego Alegria que superassem o limite teórico estabelecido aqui com base nos estudos da Organização Mundial de Saúde de 10 mg.L^{-1} .

Adicionalmente, baseado nos valores da estatística descritiva para o pH, todos os resultados obtidos encontraram-se dentro do intervalo de 6 a 9, conforme preconizado pela legislação estadual de acordo com o enquadramento na Classe 2 para as águas do córrego Alegria.

Já quanto às concentrações de Ferro dissolvido, de maneira análoga às concentrações obtidas deste parâmetro nas águas do rio Uberaba e reportadas pelo IGAM, valores acima de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ são frequentes durante o ano, com maior frequência nos períodos de chuva.

De acordo com a Tabela 6.10, houve um percentual de violação de 24,5% das concentrações de Ferro dissolvido nos períodos de estiagem, enquanto que nos períodos de chuva este percentual foi de 59,2%, em média. As maiores concentrações de Ferro dissolvido nos períodos de estiagens variaram de $1,040 \text{ mg.L}^{-1}$ a $1,650 \text{ mg.L}^{-1}$, enquanto que no período de chuvas este intervalo foi de $1,180$ a $1,840 \text{ mg.L}^{-1}$. Em média, portanto, as maiores concentrações de Ferro dissolvido foram 417% superiores ao VMP no período de estiagem e 477% no período de chuvas.

Vale destacar, entretanto e conforme oportunamente mencionado, que a Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011a), conforme seu § 4º do Art. 39 que trata dos padrões organoléptico de potabilidade, permite valores de até $2,4 \text{ mg.L}^{-1}$ de Ferro dissolvido. Sendo assim, resguardando premissas estabelecidas pela citada legislação, as concentrações de Ferro dissolvido nas águas do córrego Alegria não representariam risco a dessedentação humana.

Tabela 6.10 - Variação das concentrações de Ferro dissolvido detectadas nas estações P-02 a P-07 no córrego Alegria e violações do VMP para potabilidade.

Período	Número de Amostras	Estações de Monitoramento					
		P-02	P-03	P-04	P-05	P-06	P-07
Estiagem	No. de Amostras Válidas	118	118	117	118	118	118
	Mediana (mg.L^{-1})	0,150	0,150	0,160	0,150	0,142	0,159
	Máxima (mg.L^{-1})	1,650	1,040	1,140	1,130	1,195	1,32
	No. de Violações	29	28	34	29	30	23
	% de Violações	24,6	23,7	29,1	24,6	25,4	19,5
Chuvas	No. de Amostras Válidas	119	119	119	119	119	119
	Mediana (mg.L^{-1})	0,389	0,350	0,410	0,360	0,340	0,350
	Máxima (mg.L^{-1})	1,51	1,547	1,84	1,274	1,237	1,18
	No. de Violações	74	67	78	68	65	71
	% de Violações	62,2	56,3	65,5	57,1	54,6	59,7

Legenda: No. - Número

Analisando-se as respectivas séries temporais (chuva e estiagem) e o número de violações ao longo dos períodos, verifica-se uma aparente correspondência entre as estações de monitoramento ao longo do Córrego Alegria onde, sempre que registrada a violação em uma, as demais também acompanhariam. Coincidentemente, uma vez ordenadas as estações em termos de percentuais de violações, da menor para a maior, a ordem se repete, tanto nos períodos de chuva, como estiagem: P-06; P-03; P-05; P-07; P-02; P-04. De fato, observando-se a Figura 6.42, a seguir, o aporte de sedimentos capaz de alterar as concentrações de Ferro dissolvido seria proveniente, especialmente, de áreas desprovidas de vegetação natural (mata ciliar), mas também o carreamento estaria associado às áreas onde ocorrem o manejo para plantio e, particularmente, trechos onde ocorrem passagem de gado que elevam, ainda que momentaneamente, a turbidez das águas superficiais.

Figura 6.42 - Uso e ocupação da porção final do córrego Alegria e localização das suas estações de monitoramento.



Fonte: Imagem Google Earth ®.

7 CONCLUSÕES

Pode-se destacar, como ganho principal deste projeto, o importante banco de dados disponibilizado para um período de cerca de 08 (oito) anos distribuídos em 03 (três) campanhas de amostragem de águas superficiais (2003; 2005 a 2012; e 2013). O conjunto de dados analíticos e estatísticos, assim como os produtos gráficos de série temporal e interpretações espaciais, permitiram a compreensão, em pequena escala, do comportamento de parâmetros físico-químicos nas águas superficiais do córrego Alegria e rio Uberaba na área da APA do rio Uberaba, bem como permitiram estabelecer relações preliminares de causa e efeito no arcabouço ambiental e antrópico da microbacia do córrego Alegria.

Nas águas superficiais os resultados indicaram que as concentrações de Cloreto, Potássio dissolvido e Ferro dissolvido apresentam evidências de variações atribuídas a: 1) variação pluviométrica; 2) vazão do corpo d'água superficial; 3) dimensões das bacias hidrográficas; 4) constituição litológica; e 5) uso e ocupação do solo com foco na adoção de fertilizantes potássicos e atividade agropecuária. qual o veredicto

Diante da pouca abrangência da rede de monitoramento no que se refere a sua distribuição no trecho estudado do córrego Alegria, a aparente homogeneidade litológica identificada, marcadamente caracterizada pelo basaltos da Formação Serra Geral, além de uma cobertura vegetal homogênea, os resultados obtidos neste trabalho não permitiram, de forma conclusiva, apontar a forma como estes dois fatores influenciam na qualidade das águas da microbacia.

Pode-se sugerir que as variações de Cloreto encontram-se associadas ao uso de fertilizantes, enquanto que a disponibilidade do Potássio dissolvido nas águas superficiais reflete, principalmente, as características litológicas da área, bem como, em menor escala, a adoção de fertilizantes potássicos nas agriculturas desenvolvidas às margens do córrego Alegria e rio Uberaba. Em ambos os casos, contudo, foram encontradas evidências em campo e nos resultados analíticos do impacto, ainda que pontual e temporário, da atividade pecuária desenvolvida na área ou, simplesmente, decorrente da passagem do gado pelo leito do córrego Alegria.

Já quanto às concentrações de Ferro dissolvido, especificamente no período de chuvas, nota-se o provável efeito causado pelas evidentes diferenças morfométricas entre as duas bacias, assim como em decorrência do nível de degradação de cada uma e suas características de uso

e ocupação. Acredita-se que devido ao grande volume de água do rio Uberaba e um processo maior de degradação das suas margens, a turbidez tende a permanecer elevada (sólidos em suspensão) por um período superior que nas águas do córrego Alegria. Também, como já esperado, a correlação positiva observada entre as concentrações de Ferro Dissolvido e negativa com os valores de pH, sugerem que o carreamento de matéria orgânica para o leito do córrego Alegria aumenta a acidez das águas, aumentando a razão Fe^{2+} sobre Fe^{3+} .

As concentrações de Cloreto e Potássio Dissolvido nas águas do córrego Alegria no trecho próximo ao local do acidente ferroviário de junho de 2003 e seus respectivos produtos gráficos de série temporal e resultados obtidos através do uso de ferramentas estatísticas permitem concluir que em nenhum momento o derramamento de Cloreto de Potássio alterou significativamente a qualidade do corpo d'água.

A respeito da qualidade das águas monitoradas no córrego Alegria e rio Uberaba, não foram verificadas concentrações acima dos valores de referência ou máximos permitidos definidos para o presente estudo para os parâmetros a que fossem aplicados.

Os resultados deste estudo podem, por fim, vir a representar importante contribuição para aspectos relacionados ao gerenciamento do recurso hídrico e saúde pública, uma vez que seus resultados podem fazer menção e servir de indicadores para outras eventuais anomalias a serem mapeadas na área-alvo.

8 RECOMENDAÇÕES

Sugere-se o monitoramento de Amônia (Nitrogênio Amoniacal) nas águas do rio Uberaba e córrego Alegria, a fim de verificar a influência da presença de currais e criação extensiva de gado nas concentrações de Potássio dissolvido e Cloreto, assim como turbidez para avaliar a influência de sólidos em suspensão nas concentrações deste parâmetros e Ferro dissolvido.

A fim de compreender o efeito hidrológico sobre a variação temporal dos parâmetros de interesse, também, é recomendada a implantação de um programa de medições da vazão do córrego Alegria. Através destes dados, será possível uma caracterização mais aprofundada dos efeitos de meio físico e antrópico na qualidade do recurso na microbacia do córrego Alegria.

Apesar da aparente homogeneidade litológica constatada para a microbacia do córrego Alegria, seria válida a confecção de lâminas delgadas para a caracterização mineralógica das rochas presentes, assim como análises geoquímicas para avaliação da contribuição para o meio aquoso a partir do intemperismo destas.

Por fim, de forma a contribuir com uma análise mais completa da qualidade dos recursos hídricos superficiais na microbacia do córrego Alegria frente ao seus usos e ocupação, especialmente referente ao impacto ocasionado pelas áreas irrigadas, sugere-se a implantação de novas estações de monitoramento ao longo do leito principal e o mapeamento da área agricultada na microbacia, contemplando a identificação das culturas e fertilizantes utilizados.

9 REFERÊNCIAS

- ABDALA, V. L. *Zoneamento Ambiental da Bacia do Alto Curso do Rio Uberaba-MG como Subsídio para a Gestão do Recurso Hídrico Superficial*. 2005. 73 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais. 2005.
- ABDALA, V. L.; NISHIYAMA, L.; MACHADO, M. F.; VALLE JUNIOR, R. F.; GUIDOLINI, J. F. Zoneamento da área de proteção ambiental da bacia do Rio Uberaba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. 2011, Curitiba. *Anais eletrônicos...* São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.13.17.35/doc/p1152.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2014.
- ALCÂNTARA, M. K; CAMARGO, O. A. Adsorção de nitrato em solos com cargas variáveis. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 40, n. 4, p. 369-376, 2005.
- ALMEIDA, F.F.M. de & BARBOSA, O. Geologia das Quadrículas de Piracicaba e Rio Claro. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia de Minas, Boletim, n. 143, p. 1-96, 1953.
- ALVES, J. M. P. *Petrologia e diagênese do Membro Ponte Alta, Formação Marília, Cretáceo da Bacia do Paraná, na região do Triângulo Mineiro*. 1995. 102 f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais. 1995.
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF – WATER ENVIRONMENT FEDERATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21 ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 1998. 1.220 p.
- _____. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22 ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2002. 1.496 p.
- BAERT R.; LOONTIENS R.; DEVOS M. Potassium and nitrate pollution of surface water in the catchment area of the “Blankaert” water production centre in Flanders (Belgium), In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL COMPLIANCE AND ENFORCEMENT, 4, Chiang Mai, Thailand, *Proceedings...* Chiang Mai: INECE, 1996.
- BARCELOS, J. H. *Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do Grupo Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do Estado de São Paulo*. 1984. 190 f. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências, UNESP, Rio Claro. 1984.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*: Brasília-DF, 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 10 out. 2013.
- _____. Ministério das Minas e Energia. DNPH. *Projeto RADAMBRASIL: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, 1983. 768p.
- _____. Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº

- 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*: Brasília-DF, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 10 out. 2013.
- _____. Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000. Regulamenta o artigo 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sbf/dap/doc/snuc.pdf>>. Acesso em: 15 de junho de 2014.
- _____. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*: Brasília-DF, 2005.
- _____. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*: Brasília-DF, seção 1, p. 39, 2011a.
- _____. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*: Brasília-DF, 2011b.
- BRIGHT, D.A.; ADDISON J. *Derivation of matrix soil standards for salt under the British Columbia Contaminated Sites Regulation*. Report to the British Columbia Ministry of Water, land, and Air Protection, Ministry of Transportation and Highways, British Columbia Buildings Corporation, and the Canadian Association of Petroleum Producers. Victoria: Royal Roads University, 2002
- BRITO, L. T. L.; SRINIVASAN, V. S.; SILVA, A. S.; GHEY, H. R.; GALVÃO, C. O; HERMES, L. C. Influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Salitre. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 596-602, 2005.
- BUCKMAN H.O.; BRADY N.C. *Natureza e propriedade dos solos*: compêndio universitário edafologia. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1976. 558 p.
- CANADÁ. Health Canada. *Guidance for potassium from water softeners*. Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Water, Air and Climate Change Bureau Disponível em: <<http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/potassium/index-eng.php>>. Ottawa, Ontario, 2008. 21 p.
- _____. British Columbia. *Water Quality Guidelines (Criteria) Reports, Ambient Water Quality Guidelines for Chloride*. 2012. Disponível em: <<http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/chloride/chloride.html>>. Acesso em: 02 jun. 2013.
- CETESB – COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos*. 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/125-variaveis-de-qualidade-das-aguas-e-dos-sedimentos>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

- CODAU – CENTRO OPERACIONAL DE DESENVOLVIMENTO E SANEAMENTO DE UBERABA. Projeto Água Viva - Relatório de Avaliação Ambiental. Uberaba, 2005. Disponível em: <http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/acervo/agua_viva/arquivos/avaliacao_ambiental/Relatorio%20Ambiental%20202.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2014.
- COMIG – COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS. *Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte, 1994. Escala: 1: 1.000.000.
- COUNCIL DIRECTIVE. Council Directive of 15 July 1980 relating to the quality of water intended for human consumption. EEC, 1980. 11 p.
- CRUZ, L.B.S. *Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do Rio Uberaba -MG*. 2003. 182 f. Tese (Doutorado em Água e Solo) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- DIAS, V. G.; FERNANDES, E. *Fertilizantes: Uma Visão Global Sintética*. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 24, p. 97-138, set. 2006.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Levantamento de reconhecimento de meia intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro*. Rio de Janeiro, 1982. 562 p.
- EVM – EXPERT GROUP ON VITAMINS AND MINERALS. *Risk assessments: Potassium*. In: Safe upper levels for vitamins and minerals. London: Food Standards Agency, EVM, 2003. p. 299-305. Disponível em: <<http://cot.food.gov.uk/pdfs/vitmin2003.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2013.
- _____. *Risk assessments: Potassium*. In: Safe upper levels for vitamins and minerals. London: Food Standards Agency, EVM, 2003. p. 299-305. Disponível em: <<http://cot.food.gov.uk/pdfs/vitmin2003.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2013.
- FERNANDES L. A. *Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)*. 1998. 216 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.
- FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão Estratigráfica da Parte Oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Revista Brasileira de Geociências*, Brasília, v. 30, n. 4, p. 717-728, 2000.
- FERREIRA, C. M. Ocorrência de pillow lava em vulcanitos da Formação Serra Geral em Araguari, MG. In: SIMP. GEOL. MINAS GERAIS, 3. 1985. *Anais...* Belo Horizonte, SBG, 1985.
- FERREIRA JÚNIOR, P. D. *Modelo Depositional e Evolução Diagenética da Formação Uberaba, Cretáceo Superior da Bacia do Paraná, na Região do Triângulo Mineiro*. 1996. Vol. 1 e 2; 248 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais. 1996.
- FERREIRA, E. *A excreção de bovinos e as perdas de nitrogênio nas pastagens tropicais. Seropédica*. 1995. 114 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1995.
- FERREIRA JÚNIOR, P. D.; GOMES, N. S. Petrografia e diagênese da Formação Uberaba, Cretáceo Superior da Bacia do Paraná no Triângulo Mineiro. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, n. 2, p.16-172, 1999.

- FRAGA, V. S.; SALCEDO, I. H. Declines of organic nutrient pools in tropical semiarid soils under subsystems farming. *Soil Science Society of America Journal*, v. 68, n. 1, p. 215-224, 2004.
- GADELHA, R. S. S.; CELESTINO, R.C.A; SHIMOYA, A. Efeito da utilização de urina de vaca na produção do alface. *Pesquisa Agropecuária & Desenvolvimento Sustentável*. v. 1, n. 2, p. 179-182, 2003.
- GOSSELIN, R.E.; SMITH, R.P.; HODGE, H.C. *Clinical toxicology of commercial products*, Baltimore, MD: Williams & Wilkins. 5. ed. 1984. 2012 p.
- HARPER, H.A.; RODWELL, V.W.; MAYES, P.A. *Manual de química fisiológica*. São Paulo: Atheneu Editora. 1982. 736 p.
- HASUI, Y.; HARALYI, N. L. E. Aspectos litoestruturais e geofísicos do Soerguimento do Alto do Paranaíba. *Geociências*, v. 10, p. 57-77, 1991.
- ILLINOIS. Department of Public Health. Division of Environmental Health. *Commonly Found Substances in Drinking Water And Available Treatment*. Illinois, USA: Division of Environmental Health, 2014. Disponível em: <<http://www.idph.state.il.us/envhealth/pdf/DrinkingWater.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2014.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Contém tabelas e gráficos com diversas informações sobre todas os municípios brasileiros, 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 25 jun. 2012.
- IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. *Monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Grande: relatório anual 2013*. Belo Horizonte: IGAM, 2013. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=173>. Acesso em: 02 mar. 2014.
- JOHNSON, R.; SCHERER, T. *Drinking Water Quality: Testing and Interpreting Your Results - WQ1341*. Fargo: North Dakota State University, 2012. Disponível em: <<http://www.ag.ndsu.edu/pubs/h2oqual/watsys/wq1341.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2013.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; NASCIMENTO, M. *Fertilizantes e sustentabilidade: o Potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas*. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. Série Estudos e Documentos - SED. n. 61. Rio de Janeiro, 2004.
- MANSON, B. H. *Princípios de Geoquímica*. Tradução de Rui Ribeiro Franco. São Paulo: Editora Polígono, 1971. 473 p.
- MARCONATO, J. C.; FRANCHETTI, S. M. M.; PEDRO, R. J. Hidrólise de cátions metálicos no contexto da fertilidade dos solos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 29, 2006, Águas de Lindóia, SP. *Resumos...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Química (SBQ), 2006. Disponível em: <<http://sec.sbq.org.br/cd29ra/resumos/T0072-1.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2014.
- MERTEN, G. H; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, Porto Alegre, v. 3, n. 4, out/dez. 2002.
- MICROSOFT Professional Plus 2007, versão 14. [S.I.]: Microsoft Corporation, 2007. Conjunto de programas.

- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A; CAMARGO, F.A.O. (ed.), Fundamentos da matéria orgânica do solo - Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 1-8.
- MINAS GERAIS. Lei n.13.199, de 29 de Janeiro de 1999. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309>>. Acesso em: 21 abr. 2014.
- _____. Lei nº 13.183, de 20 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba - APA do Rio Uberaba - e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=796>>. Acesso em 03 jul. 2014.
- _____. Portaria Única de Outorga nº 01592/2007, de 28 de setembro de 2007. Imprensa Oficial do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
- _____. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário do Executivo do Estado de Minas Gerais, Minas Gerais, 13 mai. 2008 (publicação) e 20 mai. 2008 (retificação).
- _____. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário do Executivo, Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, MG, 05 mai. 2005.
- MICHALAKOS, G. D.; NIEVA J. M.; VAYNES D. V.; LYBERTOS G. Removal of iron from potable water using trickling filter. *J. Water Res*, v. 31, n. 5, p. 991-995, 1997.
- MORUZZI, R. B.; REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial - Uma abordagem geral. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 4, p. 29-43, 2012.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.
- NHMRC - National Health and Medical Research Council; NRMCC - Natural Resource Management Ministerial Council. *Australian Drinking Water Guidelines 6. Version 2.0*. Canberra: NHMRC, NRMCC, 2011 (atualizado em dez. 2013). Disponível em: <<https://www.nhmrc.gov.au/guidelines/publications/eh52>>. Acesso em: 23 jan. 2014.
- NISHIYAMA, L. Geologia do Município de Uberlândia e áreas adjacentes. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 9-15, 1989.
- PASQUALI, Luiz. *Psicometria: Teoria e Aplicação. A Teoria clássica dos testes psicológicos*. Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1997
- PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. *Geologia do Brasil: Fanerozóico*. São Paulo: T.A. Queiroz/ Editora da Universidade de São Paulo, 1983. 631 p.
- PESAGRO-RIO – PESQUISA AGROPECUÁRIA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. *Urina de vaca: utilização em vegetais*. Rio de Janeiro. 1999. 1 folder.

- _____. Urina de vaca: Alternativa Eficiente e Barata, 2002. N. 96. 8 p. Documentos. Disponível em: <<http://www.pesagro.rj.gov.br/downloads/publicacao/Urina%20de%20Vaca.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2013.
- POWELL, P.; BAILEY, R. J.; JOLLY, P. K. *Trace elements in British tap-water supplies*. WRc Environment, Swindon, 1987 (Report PRD 706-M/1). Disponível em: <<http://dwi.defra.gov.uk/research/completed-research/reports/dwi0007.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2014.
- RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba, Ceres, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A. M. C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, Fundação IAC, 1996. 285p.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. *Pedologia - Base para Distinção de Ambientes*. Lavras: UFLA, 2002. 338p.
- RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. de. *Tratamento de água: tecnologia atualizada*. São Paulo: Edgard Blücher, 1991.
- RODRIGUES, G. S.; BUSCHINELLI, C. C. A.; IRIAS, L. J. M.; LIGO, M. A. V. *Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisa - Fundamentos, princípios e introdução à metodologia*. Jaguariúna : Embrapa Meio Ambiente, 1998. 66 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 14).
- RODRIGUES, G. S.; IRIAS, L. J. M. Considerações sobre os impactos ambientais da agricultura irrigada. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 7 p. (Circular técnica). Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/circular_7ID-cKH03Ez46o.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2013.
- ROSOLEM, C. A.; GARCIA, R. A.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Lixiviação de Potássio no solo de acordo com suas doses aplicadas sobre palha de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n. 5, p. 813-819, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v30n5/07.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2014.
- SANTOS, A. F. *Práticas da agricultura familiar, O uso e ocupação do solo e qualidade da água: A bacia hidrográfica do rio pequeno - São José dos Pinhais – PR*. 2006. 213 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- SILVA R. B.; ETCHEBEHERE L. C.; SAAD A. R. Groundwater Calcretes: uma interpretação alternativa para os calcários da Fm. Marília no Triângulo Mineiro. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 3, 1994, Rio Claro. *Boletim...* Rio Claro: p. 85-89.
- SCWA - Suffolk County Water Authority. 2013 *Drinking Water Quality Report*. Suffolk: SCWA, 2013. Disponível em: <<http://www.ag.ndsu.edu/pubs/h2oqual/watsys/wq1341.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2013.
- TESSEROLI NETO, E.A.T. *Biofertilizantes: Caracterização Química, Qualidade Sanitária e Eficiência em Diferentes Concentrações na Cultura do alface*. 2006. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.
- TORRES, J. L. R.; SILVA, T. R.; OLIVEIRA, F. G; ARAÚJO, G S.; FABIAN, A. J. Diagnóstico socioeconômico, ambiental e avaliação das características morfométricas

- da microbacia do Córrego Alegria em Uberaba – MG. *Sociedade & Natureza*, v. 19, n. 2, p. 89-102, dez. 2007.
- TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; AMARAL, F. S.; SILVA SOBRINHO, J. B. F.; LOES, L. F. C. A deterioração da ambiência numa microbacia da área de proteção ambiental do Rio Uberaba. *Global Science Technology*, v. 2, p. 7-21, 2009.
- UBERABA. Prefeitura Municipal. *Diagnóstico Ambiental da Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Uberaba*. Uberaba: Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMEA), 2004. 127 p. Disponível em: <http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/acervo/meio_ambiente/arquivos/agenda_branca/diagnostico_apaf.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2013.
- UBERABA. Prefeitura Municipal. *Plano de Manejo Emergencial - Área de Proteção Ambiental Municipal do Rio Uberaba*. Uberaba: Secretaria de Meio Ambiente e Turismo (SEMAT), 2012. 153 p. Disponível em: <http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/acervo//meio_ambiente/APA/Plano%20de%20Manejo%20Emergencial%20-%20APA%20Rio%20Uberaba%20-%202013.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2014.
- USGS - United State Geological Survey. *Standard Test Methods for Chloride Ion In Water*. USGS I-1187, 1985. In: EPA/40 CFR 136.3(a) — ASTM D512-04. Washington, 1987. 13 p.
- USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Secondary Drinking Water Regulations: Guidance for Nuisance Chemicals*. Disponível em: <<http://water.epa.gov/drink/contaminants/secondarystandards.cfm>>. Acesso em: 02 jun. 2013.
- USGS - United State Geological Survey. *Standard Test Methods for Chloride Ion In Water*. USGS I-1187, 1985. In: EPA/40 CFR 136.3(a) - ASTM D512-04. Washington, 1987. 13 p.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for Drinking Water Quality*. Iron in drinking-water. Geneva: WHO; SDE; WSH, 2003.
- _____. *Guidelines for Drinking Water Quality*. Potassium in drinking-water. Geneva: WHO; SDE; WSH, 2009.
- VESCHI, J. L. A.; BARROS, L. S. S.; RAMOS, E. M. Impacto ambiental da pecuária. In: BRITO, L. T. L.; MELO, R. F.; GIONGO, V. (Ed). *Impactos ambientais causados pela agricultura no Semiárido brasileiro*. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. Cap. 6, p. 171-187.
- ZAR, H. J. *Biostatistical Analysis*. 2009. 947f, p. 72-74, 103, 220-224, 277-280. 5ª ed. Pearson, New Jersey.