



# Monitoramento das Águas Subterrâneas de Minas Gerais 2015 a 2017

Rede Norte de Minas, Rede Bacia do Rio das Velhas, Rede Guarani e Rede Bauru

**Outubro de 2018**

Belo Horizonte

---

**SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável**

---

**Secretário**

Germano Luiz Gomes Vieira

**Secretário Adjunto**

Anderson Silva de Aguilar

---

**IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas**

---

**Diretora geral**

Marília Carvalho de Melo

**Diretor de Operações e Eventos Críticos**

Heitor Soares Moreira

**Gerente de Monitoramento de Qualidade das Águas**

Katiane Cristina de Brito Almeida, Bióloga

I59m Instituto Mineiro de Gestão das Águas.

Monitoramento das águas subterrâneas de Minas Gerais -

2015 a 2017: Rede Norte de Minas, Rede Bacia do Rio das Velhas,

Rede Guarani e Rede Bauru. / Instituto Mineiro de Gestão das

Águas. --- Belo Horizonte: IGAM, 2018.

62p.: il.

1. Monitoramento ambiental. 2. Águas subterrâneas-  
Minas Gerais. 3. Qualidade da água. I. Título

CDU: 556.38(815.1)

Ficha catalográfica elaborada por Mara Lúcia P. N. Pinto – CRB6/1203

## **REALIZAÇÃO:**

---

**IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas**

---

### **Diretor de Operações e Eventos Críticos**

Heitor Soares Moreira

### **Gerência de Monitoramento de Qualidade das Águas**

Katiane Cristina de Brito Almeida

### **Equipe Técnica**

Carolina Cristiane Pinto, Engenheira Química

Charles Douglas Coelho, Técnico

Jean Lucca Gonzaga de Carvalho, Graduando em Geologia

Luana Duarte Prates, Graduando em Geologia

Mariana Elissa Vieira de Souza, Geógrafa

Maricene Menezes de Oliveira Mattos Paixão, Geóloga

Matheus Duarte Santos, Geógrafo

Regina Márcia Pimenta Assunção, Bióloga

Sérgio Pimenta Costa, Biólogo

Vanessa Kelly Saraiva, Química

**APOIO:**

---

**Coletas de Amostras e Análises**

---

**Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial SENAI**

**Centro de Inovação e Tecnologia SENAI – Campus CETEC**

**Instituto Senai de Tecnologia em Meio Ambiente**

Marcos Bartasson Tannús - Diretor

Cláudia Lauria Fróes Siúves - Bióloga, Responsável Laboratório

Cláudia Márcia Perrout Cerqueira - Bióloga, Responsável Laboratório

Hanna Duarte Almeida Ferraz - Bióloga, Responsável Laboratório

Marina Miranda Marques Viana - Química, Responsável Qualidade

Mônica de Cassia Souza Campos - Bióloga, Responsável Laboratório

Nathália Mara Pedrosa Chedid - Bióloga, Responsável Laboratório

Patrícia Neres dos Santos - Química, Responsável Coleta

Patrícia Pedrosa Marques Guimarães - Química, Coordenadora do Projeto

Samuel Rodrigues Castro – Químico, Responsável Laboratório

Zenilde Das Graças Guimarães Viola - Química, Responsável Laboratório

**Instituto Senai de Tecnologia em Química**

Olguita G. Ferreira Rocha, Química e Bioquímica Farmacêutica - Diretora

Zenilde Das Graças Guimarães Viola - Química, Responsável Laboratório

Elisangela Dias Gomes - Eng. Química, Responsável Qualidade

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Redes de monitoramento operadas do período de 2015 a 2017. ....   | 2  |
| Figura 2. Mapa com os poços de monitoramento da Rede Norte de Minas sobre os domínios geológicos aflorantes.....  | 4  |
| Figura 3. Mapa com os poços de monitoramento da Rede Bacia do Rio das Velhas sobre os domínios geológicos aflorantes. ....  | 8  |
| Figura 4. Mapa com os poços de monitoramento da Rede Guarani sobre os domínios geológicos aflorantes. ....  | 12 |
| Figura 5. Mapa com os poços de monitoramento da Rede Bauru sobre os domínios geológicos aflorantes. ....  | 14 |
| Figura 6. Principais parâmetros selecionados para as águas subterrâneas monitoradas no Estado.....  | 17 |
| Figura 7. Percentuais das águas classificadas de acordo com o grau relativo de dureza para a Rede de Monitoramento Norte de Minas (Sub-bacias SF6, SF9 e SF10).....   | 26 |
| Figura 8 Diagrama trilinear de Piper para as medianas das concentrações iônicas nos poços monitorados nas sub-bacias SF6, SF9 e SF10, no período de 2015 à 2017. ....   | 27 |
| Figura 9. Frequência percentual de violação aos padrões para diferentes usos, para a Rede de Monitoramento Norte de Minas (Sub-bacias SF6, SF9 e SF10). ....  | 28 |
| Figura 10. Percentuais de ocorrência de violação em relação ao total de medições realizadas, para cada poço da Rede Norte de Minas, frente aos parâmetros da água para consumo humano: (a) padrões associados a risco à saúde e (b) padrões organolépticos (que alteram sabor ou odor da água).....   | 29 |
| Figura 11. Ocorrência de violação de padrões legais associados a risco à saúde, especificados os padrões, por poço da atual configuração da Rede Norte de Minas. .  | 32 |
| Figura 12. Percentuais das águas classificadas de acordo com o grau relativo de dureza para a Rede de Monitoramento Bacia do Rio das Velhas.....  | 33 |
| Figura 13 Diagrama trilinear de Piper para as medianas das concentrações iônicas nos poços monitorados na sub-bacia SF5, no período de 2015 a 2017. ....  | 34 |
| Figura 14. Frequência percentual de violação aos padrões para diferentes usos, para a Rede Bacia do Rio das Velhas. ....  | 36 |
| Figura 15. Percentuais de ocorrência de violação em relação ao total de medições realizadas, para cada poço da Rede Bacia do Rio das Velhas, frente aos parâmetros da água para consumo humano: (a) padrões associados a risco à saúde e (b) padrões organolépticos (que alteram sabor ou odor). .... | 37 |
| Figura 16. Ocorrência de violação de padrões legais associados a risco à saúde, especificados os padrões, por poço da atual configuração da Rede da Bacia do Rio das Velhas.....  | 39 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 17 Diagrama trilinear de Piper para as medianas das concentrações iônicas nos poços monitorados no Aquífero Guarani no período de 2015 à 2017.....  | 42 |
| Figura 18 - Frequência percentual de violação aos padrões para diferentes usos, para a Rede Guarani.....   | 43 |
| Figura 19. Percentuais de ocorrências de violação em relação ao total de medições realizadas, para cada poço da Rede Guarani frente aos parâmetros da água para consumo humano: (a) padrões associados a risco à saúde e (b) padrões organolépticos (que alteram sabor ou odor)..... | 44 |
| Figura 20. Ocorrência de violação de padrões legais associados a risco à saúde, especificados os padrões, por poço da atual configuração da Rede Guarani.....  | 46 |
| Figura 21. Percentuais das águas classificadas de acordo com o grau relativo de dureza para a Rede de Monitoramento Bauru.....   | 47 |
| Figura 22 Diagrama trilinear de Piper para as medianas das concentrações iônicas nos poços monitorados no Aquífero Guarani no período de 2011 à 2017.....  | 49 |
| Figura 23. Frequência percentual de violação aos padrões para diferentes usos, para a Rede de Monitoramento Bauru.....   | 50 |
| Figura 24 - Percentuais de ocorrências de violação em relação ao total de medições realizadas, para cada poço da Rede Bauru, frente aos parâmetros da água para consumo humano: (a) padrões associados a risco à saúde e (b) padrões organolépticos (que alteram sabor ou odor)..... | 51 |
| Figura 25. Ocorrência de violação de padrões legais associados a risco à saúde, especificados os padrões, por poço da atual configuração da Rede Bauru.....  | 53 |

## Lista de Tabelas

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1. Principais características do monitoramento por região/aquífero monitorado: ano de início do monitoramento, número de poços que compõem cada rede, número de parâmetros analisados, total de resultados válidos, e frequência das amostragens. | 3  |
| Tabela 2. Principais características dos poços da atual configuração da Rede de Monitoramento Norte de Minas (UPGRH's SF6, SF9 e SF10).  | 5  |
| Tabela 3. Principais características dos poços da atual configuração da Rede de Monitoramento Bacia do Rio das Velhas.   | 9  |
| Tabela 4. Principais características dos poços da atual configuração da Rede de Monitoramento Guarani.   | 12 |
| Tabela 5. Principais características dos poços da atual configuração da Rede de Monitoramento Bauru.   | 15 |
| Tabela 6. Método analítico – nome do método e respectiva norma de referência – e os limites de quantificação aplicados no decorrer do monitoramento, para cada parâmetro monitorado nas águas subterrâneas de Minas Gerais.                              | 19 |
| Tabela 7. Valores Máximos Permitidos para os parâmetros de acordo com a Resolução Conama 396/2008 e com a Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde nº 2914/2011.  | 22 |
| Tabela 8. Síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas – estatística descritiva – para a Rede de Monitoramento Norte de Minas (Sub-bacias SF6, SF9 e SF10).  | 25 |
| Tabela 9. Distribuição das classes de águas obtidas pelo diagrama trilinear de Piper nos poços monitorados nas sub-bacias SF6, SF9 e SF10.   | 27 |
| Tabela 10. Relação de pontos que apresentaram violações em relação aos padrões, para consumo humano, para a Rede Norte de Minas (continuação).   | 31 |
| Tabela 11. Distribuição das classes de águas obtidas pelo diagrama trilinear de Piper nos poços monitorados na sub-bacia SF5.  | 34 |
| Tabela 12. Síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas – estatística descritiva – para a Rede de Monitoramento Bacia do Rio das Velhas.   | 35 |
| Tabela 13. Relação de pontos que apresentaram violações em relação aos padrões, para consumo humano, para a Rede da Bacia do Rio das Velhas.   | 38 |
| Tabela 14. Síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas – estatística descritiva – para a Rede de Monitoramento Guarani.   | 41 |
| Tabela 15. Distribuição das classes de águas obtidas pelo diagrama trilinear de Piper nos poços monitorados no Aquífero Guarani.   | 42 |
| Tabela 16. Relação de pontos que apresentaram violações em relação aos padrões, para consumo humano, para a Rede Guarani.  | 45 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela 17. Síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas – estatística descritiva – para a Rede de Monitoramento Bauru. ....                   | 48 |
| Tabela 18. Distribuição das classes de águas obtidas pelo diagrama trilinear de Piper nos poços monitorados no Aquífero Bauru. ....                         | 49 |
| Tabela 19. Relação de pontos que apresentaram violações em relação aos padrões de consumo humano para a Rede Bauru. ....                                    | 52 |
| Tabela 20. Comparação dos parâmetros violados para os períodos de 2014 a 2015 e de 2015 a 2017 para a Rede de Monitoramento Norte de Minas. ....            | 54 |
| Tabela 21. Comparação dos parâmetros violados para os períodos de 2015 a 2016 e de 2015 a 2017 para a Rede de Monitoramento da Bacia do Rio das Velhas..... | 56 |
| Tabela 22. Comparação dos parâmetros violados para os períodos de 2014 a 2015 e de 2015 a 2017 para a Rede de Monitoramento Guarani. ....                   | 57 |



## Sumário

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Principais Características das Redes de Monitoramento do Estado .....  | 1  |
| 2   | Principais Características das Redes de Monitoramento do Estado .....  | 3  |
| 2.1 | Rede Norte de Minas (Sub-bacias SF6, SF9 e SF10) .....   | 3  |
| 2.2 | Rede Bacia do Rio das Velhas .....   | 8  |
| 2.3 | Rede Guarani .....   | 11 |
| 2.4 | Rede Bauru .....   | 13 |
| 3   | Parâmetros e Padrões .....   | 16 |
| 3.1 | Parâmetros Monitorados .....   | 16 |
| 3.2 | Padrões .....  | 22 |
| 4   | Qualidade das Águas Subterrâneas .....   | 23 |
| 4.1 | Qualidade nas Sub-Bacias SF6, SF9 e SF10 (Rede de Monitoramento Norte de Minas) .....  | 23 |
| 4.2 | Atendimento a Limites estabelecidos para Diferentes Usos das Águas Subterrâneas nas Sub-Bacias SF6, SF9 e S10 .....                      | 28 |
| 4.3 | Qualidade na Sub-Bacia SF5 (Rede da Bacia do Rio das Velhas) .....   | 32 |
| 4.4 | Atendimento a Limites estabelecidos para Diferentes Usos das Águas Subterrâneas na Sub-Bacia SF5 (Rede da Bacia do Rio das Velhas) ..... | 36 |
| 4.5 | Qualidade do Aquífero Guarani .....  | 39 |
| 4.6 | Atendimento a Limites estabelecidos para Diferentes Usos das Águas Subterrâneas no Aquífero Guarani .....                                | 43 |
| 4.7 | Qualidade do Aquífero Bauru .....  | 46 |
| 4.8 | Atendimento a Limites estabelecidos para Diferentes Usos das Águas Subterrâneas no Aquífero Bauru .....                                  | 50 |
| 4.9 | Evolução da qualidade das Redes de Monitoramento do Estado .....   | 53 |
| 5   | Considerações Finais .....   | 57 |
| 6   | Referencial Bibliográfico .....  | 62 |

## 1 • Introdução

A gestão das águas subterrâneas no Estado de Minas Gerais, visando à manutenção da sua qualidade, perpassa por diversas ações desenvolvidas pelo Sistema Estadual do Meio Ambiente (Sisema), as quais são de responsabilidade do IGAM e dos demais órgãos que compõem o Sistema, e que incluem:

- Licenciamento ambiental.
- Fiscalização de fontes potenciais de poluição.
- Monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas.
- Planos de recursos hídricos.
- Outorga de uso de recursos hídricos.
- Cobrança pelo uso da água.
- Zoneamento ecológico-econômico.
- Projetos de caracterização de aquíferos.

O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas vem sendo executado pelo IGAM desde 2005, por meio da Rede Estadual de Monitoramento de Qualidade de Águas Subterrâneas. Este se iniciou no âmbito das sub-bacias SF6 – rios Jequitaí e Pacuí, SF9 – rio Pandeiros e SF10 – rio Verde Grande, inseridas na mesorregião do Norte de Minas Gerais (bacia do rio São Francisco), a qual está inserida no domínio hidrogeológico do aquífero Bambuí. Em 2015 deu-se início ao monitoramento da bacia do Rio das Velhas com a implantação de 40 pontos de monitoramento em diferentes aquíferos da bacia. O monitoramento realizado pelo IGAM compreende ainda 5 pontos localizados no Aquífero Guarani, em sua parte confinada que ocorre no Triângulo Mineiro. Com ensejo de ampliar o monitoramento no Estado, com o uso de poços de monitoramento dedicados, o IGAM vem, ao longo dos últimos anos, procurando estabelecer parcerias com outras instituições dentre as quais se destacam a CPRM e COPASA.

Os pontos que compõem as redes de monitoramento são, na sua grande maioria, poços tubulares de produção. São também monitorados poços rasos na rede do Norte de Minas e 5 nascentes na rede da bacia do rio das Velhas. Poços dedicados ao monitoramento são aqueles que constituem a rede Rimas da CPRM no aquífero Bauru.

O monitoramento realizado pelo órgão permite a caracterização e a avaliação das condições de qualidade, de forma a assegurar o uso adequado dessas águas e

também fornece subsídios para ações de prevenção e controle da poluição, assim como permite a implementação de outros instrumentos de gestão de recursos hídricos, tal como o estabelecimento de background (valores de origem naturais) e o enquadramento para as águas subterrâneas.

O presente relatório apresenta os resultados das redes Norte de Minas, Bacia do Rio das Velhas, Guarani, para o período dos anos hidrológicos de 2015 a 2017, e da rede Bauru, para o período de 2011 a 2017.(Figura 1).

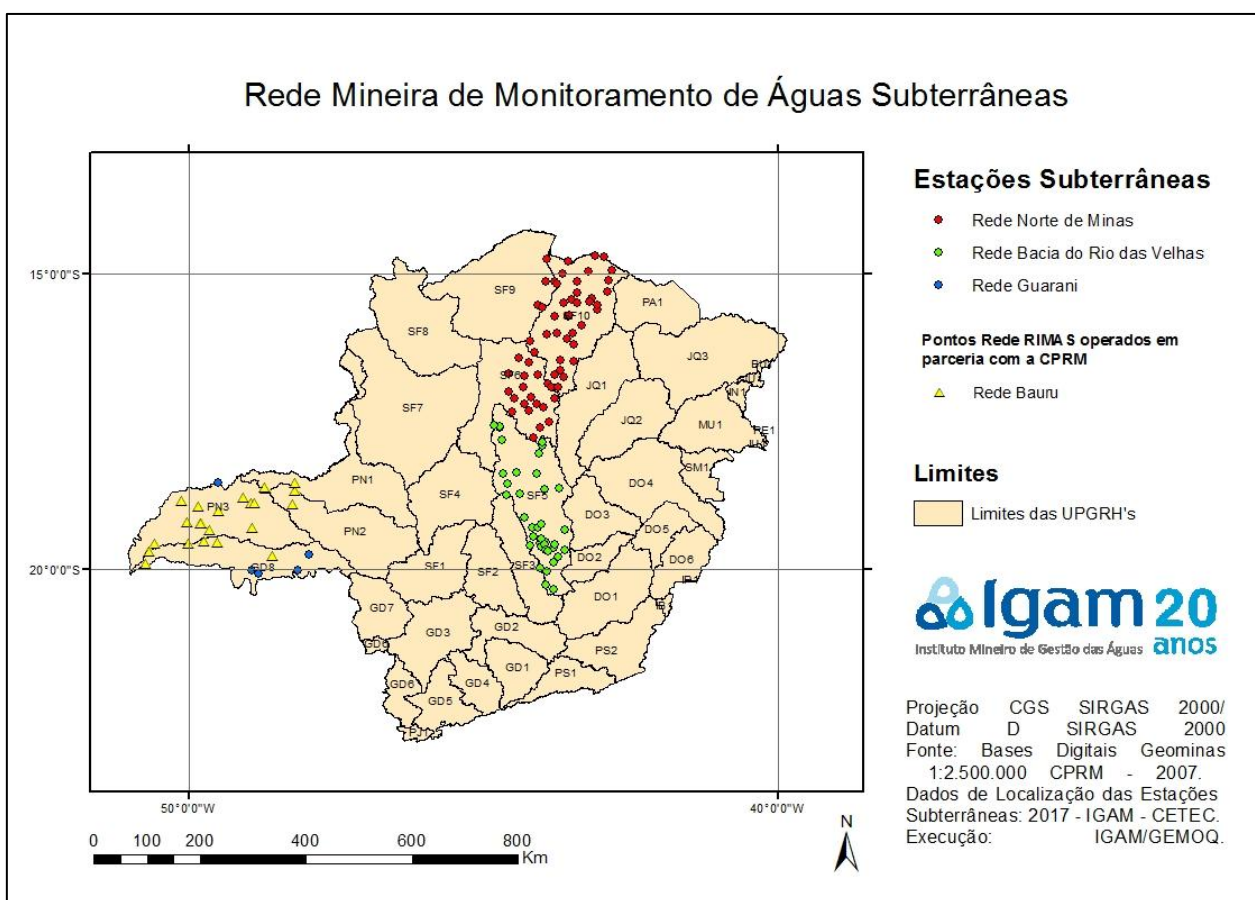


Figura 1. Redes de monitoramento operadas do período de 2015 a 2017.

Um breve resumo com as características do monitoramento realizado no período considerado, nas redes citadas, é apresentado abaixo (Tabela 1).

Considera-se o número de resultados válidos correspondente àqueles para os quais foram obtidos valores exatos de medição, sendo desconsiderados os resultados que apresentaram valores abaixo do limite de quantificação do método analítico.

Tabela 1. Principais características do monitoramento por região/aquífero monitorado: ano de início do monitoramento, número de poços que compõem cada rede, número de parâmetros analisados, total de resultados válidos, e frequência das amostragens.

| Características                    | Norte de Minas | Bacia do Rio das Velhas | Guarani | Bauru    |
|------------------------------------|----------------|-------------------------|---------|----------|
| Início do período do monitoramento | 2005           | 2015                    | 2009    | 2011     |
| Nº de pontos                       | 60             | 38                      | 5       | 16*/23** |
| Nº de parâmetros analisados        | 70             | 72                      | 72      | 90       |
| Nº de resultados válidos           | 21200          | 6213                    | 803     | 581      |
| Periodicidade de coleta Semestral  | Semestral      | Semestral               | Anual   | Anual    |

\*Número de poços monitorados durante o período.

\*\*Número de poços projetados para a rede.

## 2 • Principais Características das Redes de Monitoramento do Estado de MG

### 2.1 Rede Norte de Minas (UPGRH's SF6, SF9 e SF10)

O monitoramento da Rede Norte de Minas teve início no ano 2005 e desde então foram realizadas 23 campanhas na região com um intervalo de monitoramento semestral. A rede é composta por 60 poços dispostos em 25 municípios, dentre os quais estão Montes Claros, Janaúba, Jequitai, Varzelândia e Verdelândia (Figura 2). Apresenta uma série histórica mais representativa, visto que foi priorizada, historicamente, em função de:

- Relativa fragilidade ambiental da região, motivada pela baixa disponibilidade hídrica;
- Vulnerabilidade natural dos sistemas aquíferos cársticos;
- Falta de esgotamento sanitário adequado nas áreas urbanizadas;
- E conflitos de usos d'água.

As UPGRH's em que é feito o monitoramento das águas subterrâneas, na mesorregião, correspondem a 83.433 km<sup>2</sup>, dos quais: 27.219 km<sup>2</sup> de área de drenagem da porção mineira da SF10 – sub-bacia do rio Verde Grande, 31.258 km<sup>2</sup> da porção mineira da SF9 – sub-bacia do rio Pandeiros e 24.956 km<sup>2</sup> da SF6 – sub-bacia dos rios Jequitai e Pacuí, esta última integralmente em Minas Gerais (IGAM, 2012 – a e b).

Em relação à geologia, a área monitorada situa-se na Província do Cráton do São Francisco e apresenta domínios geológicos extensos, com comportamento geocronológico marcado por processos plutônicos, vulcânicos e sedimentares.

As sequências da plataforma carbonática do supergrupo São Francisco, representadas pelo grupo Bambuí, compõem as principais unidades estratigráficas. O grupo é constituído por duas sucessões: na base, uma sucessão marinha da base para o topo composta pelas formações Sete Lagoas (carbonática), Serra de Santa Helena (pelítico-carbonática), Lagoa do Jacaré (carbonática) e Serra da Saudade (pelítica) – as quais compõem o subgrupo Paraopeba; e a sucessão de topo que é marinho continental e está representada pela formação Três Marias, predominantemente psamítica.

Nas UPGRH's SF6, SF9 e SF10 podem ser diferenciadas quatro tipologias de sistemas aquíferos: sistema aquífero granular, representado por sedimentos fanerozóicos; sistema aquífero cárstico; sistema aquífero cárstico-fissurado das rochas pelítico-carbonáticas do Grupo Bambuí; e sistema aquífero fissurado formado por rochas metapelíticas e xistosas dos grupos Bambuí, Macaúbas e da Formação Jequitáia.

O uso da água subterrânea é muito difundido na mesorregião Norte de Minas devido aos fatores climáticos, alto índice de evaporação e às condições propícias à infiltração e circulação de água, principalmente nas áreas de domínio dos aquíferos cársticos e cárstico fissurado formado por rochas do grupo Bambuí.

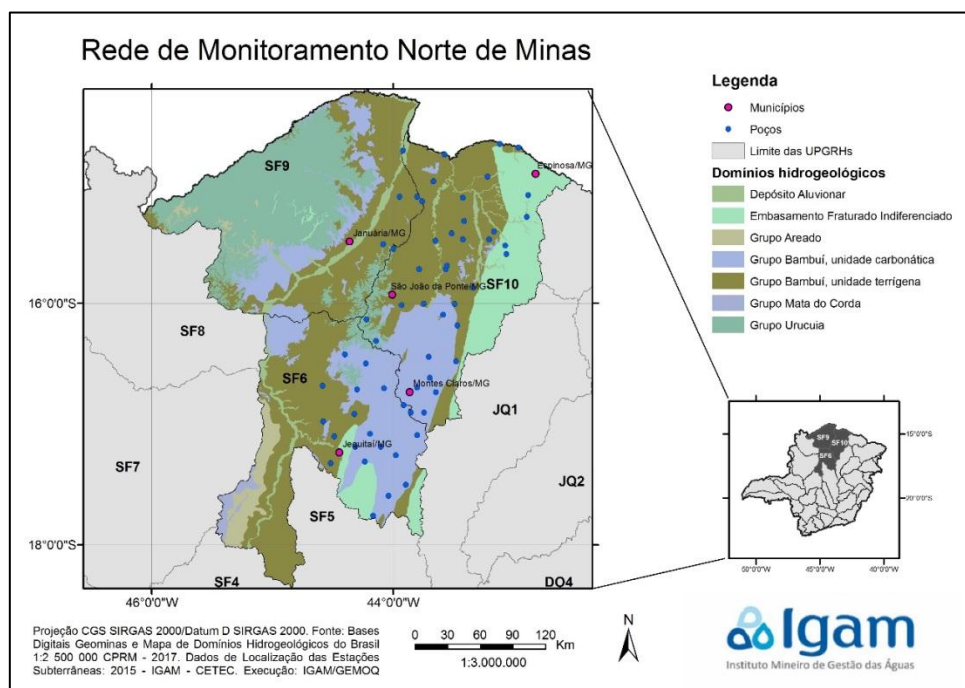


Figura 2. Mapa com os poços de monitoramento da Rede Norte de Minas sobre os domínios geológicos aflorantes

Tabela 2. Principais características dos poços da atual configuração da Rede de Monitoramento Norte de Minas (UPGRH's SF6, SF9 e SF10).

| Ponto | Latitude   | Longitude  | Município          | Localidade                        | Aquífero (principal)        | Profundidade do poço (m) | Usos da água do poço                             |
|-------|------------|------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--|
| BC001 | -17,094319 | -43,802453 | Bocaiúva           | RIMA                              | Bambuú                      | 96                       | Industrial                                       |
| BC003 | -17,504503 | -43,896206 | Bocaiúva           | Fazenda Santa Helena              | Bambuú                      | 41                       | Consumo humano e dessedentação animal            |
| CE001 | -16,096842 | -43,587267 | Capitão Enéias     | Virgilândia                       | Bambuú                      | 80                       | Dessedentação animal                             |
| CJ002 | -16,423911 | -44,399625 | Coração de Jesus   | Comunidade Pequeno                | Bambuú                      | 72                       | Consumo humano                                   |
| CJ004 | -16,685056 | -44,585164 | Coração de Jesus   | Comunidade São Geraldo            | Bambuú                      | 120                      | Abastecimento público                            |
| CJ005 | -16,714081 | -44,300414 | Coração de Jesus   | Comunidade Retiro                 | Bambuú                      | 93                       | Consumo humano                                   |
| CJ006 | -16,499964 | -44,227497 | Coração de Jesus   | Comunidade Mato Verde             | Bambuú                      | 57                       | Consumo humano                                   |
| CP001 | -17,082411 | -44,192744 | Claro dos Poções   | COPASA                            | Bambuú                      | 90                       | Abastecimento público                            |
| EN001 | -17,261322 | -43,976761 | Engenheiro Navarro | Comunidade Mandacaru              | Bambuú                      | 66                       | Abastecimento público                            |
| EP001 | -14,921147 | -42,821125 | Espinosa           | Duarte Balieiro Confecções - LTDA | Bambuú                      | 57                       | Consumo industrial                               |
| EP004 | -14,680222 | -43,115747 | Espinosa           | Comunidade Juremil                | Bambuú                      | 84                       | Consumo humano                                   |
| EP006 | -14,708172 | -42,960717 | Espinosa           | COPASA                            | Bambuú                      | 80                       | Consumo humano                                   |
| FD001 | -17,313758 | -44,234875 | Francisco Dumont   | Bairro Esplanada - COPASA         | Bambuú                      | 74                       | Consumo humano                                   |
| FD002 | -17,189689 | -44,104200 | Francisco Dumont   | Comunidade Santo Antônio          | Bambuú                      | 90                       | Consumo humano                                   |
| FS002 | -16,618953 | -43,696564 | Francisco Sá       | Fazenda Cascabulho                | Bambuú                      | 100                      | Irrigação, consumo humano e dessedentação animal |
| FS003 | -16,481475 | -43,480503 | Francisco Sá       | Sítio Corgão                      | Bambuú                      | DI                       | Consumo humano e dessedentação animal            |
| FS004 | -16,185772 | -43,468036 | Francisco Sá       | Fazenda Santa Maria               | Bambuú                      | 82                       | Consumo humano e dessedentação animal            |
| FS007 | -16,444444 | -43,706117 | Francisco Sá       | Fazenda São Paulo                 | Bambuú                      | DI                       | Consumo humano e dessedentação animal            |
| GM001 | -14,950844 | -43,217978 | Gameleiras         | Com. Jacú das Piranhas            | Bambuú                      | 68                       | Abastecimento público                            |
| JB003 | -15,118542 | -43,947183 | Jaíba              | Projeto Jaíba NH1                 | Bambuú - Cárstico-Fissurado | DI                       | Abastecimento público                            |
| JB007 | -15,118675 | -43,801686 | Jaíba              | Fazenda Lagoa do Meio             | Bambuú - Cárstico-Fissurado | 80                       | Consumo humano e dessedentação animal            |
| JB008 | -15,157606 | -43,759542 | Jaíba              | Fazenda Pioneira                  | Bambuú - Cárstico           | 80                       | Consumo humano e dessedentação animal            |

Tabela 2. Principais características dos poços da atual configuração da Rede de Monitoramento Norte de Minas (UPGRH's SF6, SF9 e SF10) (continuação).

| Ponto  | Latitude   | Longitude  | Município       | Localidade                           | Aquífero (principal) | Profundidade do poço (m) | Usos da água do poço                  |
|--------|------------|------------|-----------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| JB020  | -15,126897 | -43,421642 | Jaíba           | Fazenda Terra Boa                    | Bambuú               | 90                       | Consumo humano                        |
| JB021  | -15,318394 | -43,413856 | Jaíba           | Fazenda Terra Morena                 | Bambuú               | DI                       | Irrigação                             |
| JF001  | -17,760886 | -44,166400 | Joaquim Felício | COPASA                               | Bambuú               | 89                       | Abastecimento público                 |
| JF002  | -17,596772 | -44,038792 | Joaquim Felício | Curtume Catoni                       | Bambuú               | 43                       | Abastecimento público                 |
| JN001  | -15,871800 | -43,337458 | Janaúba         | Fazenda Baixa da Colônia             | Bambuú               | DI                       | Irrigação                             |
| JQ001  | -17,189678 | -44,316322 | Jequitaiá       | Barrocão                             | Bambuú               | 90                       | Abastecimento público                 |
| JQ002  | -17,103761 | -44,490394 | Jequitaiá       | Fazenda Chapada                      | Bambuú               | 80                       | Dessedentação animal                  |
| JQ003  | -17,326608 | -44,519247 | Jequitaiá       | Fazenda Porco Morto                  | Bambuú               | 74                       | Abastecimento público                 |
| JR001  | -16,737164 | -43,646867 | Juramento       | Comunidade Tira Chapéu               | Bambuú               | 47                       | Dessedentação animal                  |
| LP001  | -16,980592 | -44,581553 | Lagoa dos Patos | COPASA                               | Bambuú               | 190                      | Abastecimento público                 |
| MA001  | -15,284725 | -42,892189 | Monte Azul      | Comunidade Sipuai                    | Bambuú               | DI                       | Abastecimento público                 |
| MA003  | -15,104158 | -42,879900 | Monte Azul      | Comunidade Marinho (Tamboril)        | Bambuú               | DI                       | Abastecimento público                 |
| MC002  | -16,845089 | -43,912536 | Montes Claros   | Sítio Pradinho                       | Bambuú               | 80                       | Consumo humano e dessedentação animal |
| MC003  | -16,698656 | -43,802603 | Montes Claros   | Posto Novo Rio                       | Bambuú               | 66                       | Consumo humano                        |
| MC004  | -16,907669 | -43,854767 | Montes Claros   | Barrocão -Água Santa                 | Bambuú               | 84                       | Consumo humano                        |
| MC005  | -16,705681 | -44,076017 | Montes Claros   | Fazenda Buritys                      | Bambuú               | 82                       | Consumo humano                        |
| MC006  | -16,906614 | -43,745569 | Montes Claros   | Rio do Sítio                         | Bambuú               | DI                       | Consumo humano e dessedentação animal |
| MR001  | -16,313058 | -44,141108 | Mirabela        | Posto da Polícia Rodoviária Estadual | Bambuú               | DI                       | Consumo humano                        |
| MR002  | -16,134222 | -44,222600 | Mirabela        | Comunidade São Bento                 | Bambuú               | 84                       | Consumo humano                        |
| MTC001 | -14,990558 | -43,666392 | Matias Cardoso  | Fazenda Brasão                       | Bambuú               | 97                       | Consumo humano e dessedentação animal |
| MTC002 | -14,733336 | -43,918886 | Matias Cardoso  | Fazenda Vila Bela                    | Bambuú               | 120                      | Consumo humano                        |
| MTC006 | -14,769069 | -43,573892 | Matias Cardoso  | Fazenda Betânia                      | Bambuú               | 81                       | Consumo humano e dessedentação animal |
| PP001  | -15,592278 | -43,062044 | Pai Pedro       | Comunidade Mirante                   | Aquífero Fissurado   | DI                       | Consumo humano                        |

Tabela 2. Principais características dos poços da atual configuração da Rede de Monitoramento Norte de Minas (UPGRH's SF6, SF9 e SF10) (continuação).

| Ponto | Latitude   | Longitude  | Município           | Localidade                          | Aquífero (principal)        | Profundidade do poço (m) | Usos da água do poço                                  |
|-------|------------|------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---|
| PP002 | -15,406058 | -43,163211 | Pai Pedro           | Fazenda Angicos                     | Aquífero Fissurado          | 80                       | Consumo humano  |
| PP004 | -15,523006 | -43,070233 | Pai Pedro           | COPASA                              | Aquífero Fissurado          | DI                       | Abastecimento público                                 |
| RM001 | -16,005717 | -43,490003 | Riacho dos Machados | COPASA                              | Bambuú                      | DI                       | Abastecimento público                                 |
| SL001 | -16,919136 | -44,322517 | São João da Lagoa   | Riacho da Areia                     | Bambuú                      | 66                       | Dessedentação animal                                  |
| SP001 | -16,919136 | -44,322517 | São João da Ponte   | Brejo Grande                        | Bambuú                      | 60                       | Dessedentação animal, urbano                          |
| SP002 | -16,004728 | -43,747681 | São João da Ponte   | Fazenda Santa Mônica                | Bambuú                      | DI                       | Consumo humano e dessedentação animal                 |
| SP003 | -16,016236 | -43,932056 | São João da Ponte   | Fazenda Sementes Tolentino          | Bambuú                      | 64                       | Abastecimento público e lavagem de veículos           |
| VD001 | -15,719172 | -43,786544 | Verdelândia         | Comunidade Sebo                     | Bambuú - Cárstico-Fissurado | 52                       | Abastecimento público                                 |
| VD003 | -15,717833 | -43,565894 | Verdelândia         | Fazenda Sapé                        | Bambuú - Cárstico           | 60                       | Dessedentação animal e, eventualmente, consumo humano |
| VD013 | -15,421681 | -43,516981 | Verdelândia         | Fazenda Colonial                    | Bambuú - Cárstico-Fissurado | 140                      | Dessedentação animal                                  |
| VD014 | -15,689117 | -43,554647 | Verdelândia         | Fazenda Oriente                     | Bambuú - Cárstico           | 34                       | Irrigação   |
| VD020 | -15,471261 | -43,204186 | Verdelândia         | Fazenda Serra Colonial              | Bambuú                      | 114                      | Consumo humano e dessedentação animal                 |
| VD022 | -15,472922 | -43,422236 | Verdelândia         | Fazenda Santo Antônio do Bom Jardim | Bambuú                      | 100                      | Dessedentação animal                                  |
| VZ001 | -15,511303 | -44,082572 | Varzelândia         | Comunidade Bebedouro                | Bambuú -Cárstico            | 100                      | Abastecimento público                                 |
| VZ006 | -15,549183 | -43,998689 | Varzelândia         | Brejo do Mutambal                   | Bambuú                      | 84                       | Consumo humano  |

Obs: DI – Dado Indisponível.



## 2.2 Rede Bacia do Rio das Velhas

A bacia do Rio das Velhas engloba total ou parcialmente 51 municípios sendo que 15 desses pertencem à região metropolitana de Belo Horizonte. A bacia situa-se na região central do estado tendo uma forma alongada na direção Norte-Sul. O Rio das Velhas nasce na Serra do Jorge (Cachoeira das Andorinhas) no município de Ouro Preto e deságua no Rio São Francisco na localidade de Barra do Guaicuí, no município de Várzea da Palma.

Os principais domínios hidrogeológicos da bacia estão representados principalmente por: Embasamento Fraturado Indiferenciado (metassedimentos/metavulcânicas); Grupo Bambuí (Unidade Carbonática e Unidade Terrígena); Formação Gandarela (dolomitos, formações ferríferas, marga, filito dolomítico e filito) e Depósitos Aluvionares (aluviões Quaternários e as coberturas detríticas Terciário-Quaternárias).

A Rede de Monitoramento Bacia do Rio das Velhas foi implantada no ano de 2015, com um intervalo de monitoramento semestral, e é composta por 38 pontos de amostragem, constituídos por poços tubulares (33 pontos) e nascentes (5 pontos). Os pontos de monitoramento foram selecionados a partir de bancos de dados existentes, tendo sido implantados com base em levantamentos de campo. A figura 3 ilustra a distribuição dos poços.

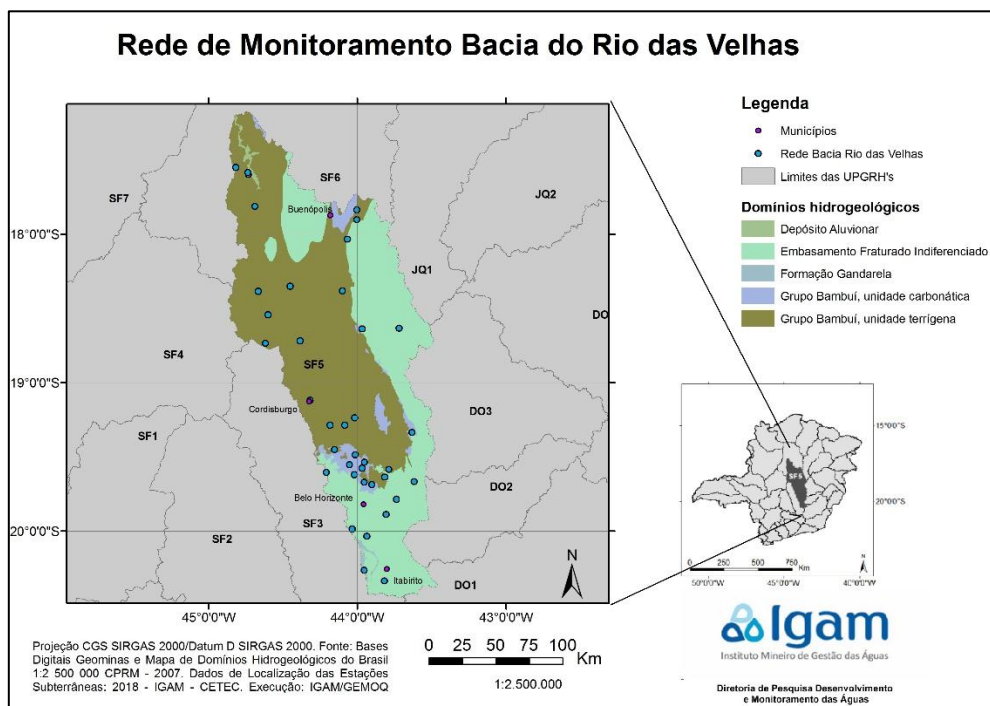


Figura 3. Mapa com os poços de monitoramento da Rede Bacia do Rio das Velhas sobre os domínios geológicos aflorantes.

Tabela 3. Principais características dos poços da atual configuração da Rede de Monitoramento Bacia do Rio das Velhas.

| Ponto  | Latitude   | Longitude  | Município       | Localidade                        | Aquífero             | Profundidade do poço (m) | Usos da água do poço                  |
|--------|------------|------------|-----------------|-----------------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| ALASB  | -18,035278 | -44,067778 | Augusto de Lima | Aguas de Santa Bárbara            | Cárstico - fissurado | DI                       | DI                                    |
| ARAPJ  | -19,284722 | -44,183611 | Araçai          | Assentamento Pai José             | Cárstico - fissurado | 100                      | Consumo humano e irrigação            |
| BUCGO  | -17,835833 | -44,002222 | Buenópolis      | Comunidade Goiabal                | Cárstico - fissurado | 48                       | Abastecimento público                 |
| CBCSL  | -19,602500 | -44,206944 | Capim Branco    | Cond Sete Lagos                   | Cárstico             | 58                       | Consumo humano e dessedentação animal |
| CFNGR  | -19,669167 | -43,952222 | Confins         | Fazenda Nova Granja_Retiro        | Cárstico - fissurado | 93                       | Abastecimento público                 |
| COBMC  | -18,351389 | -44,451944 | Corinto         | Bairro Maria do Carmo             | Cárstico - fissurado | 105                      | Consumo humano                        |
| COFBM  | -18,385278 | -44,667500 | Corinto         | Fazenda Barra da Manga            | Cárstico - fissurado | 114                      | Consumo humano e dessedentação animal |
| CORSM  | -19,116944 | -44,317222 | Cordisburgo     | COPASA Sede municipal             | Cárstico - fissurado | 80                       | Abastecimento público                 |
| CUCC13 | -18,717222 | -44,384167 | Curvelo         | Copasa poço azul c13              | Cárstico - fissurado | 94                       | Abastecimento público                 |
| DATOM  | -18,633889 | -43,719167 | Datas           | Tombadouro                        | Fissurado            | 102                      | Consumo humano                        |
| FUGSJT | -19,285833 | -44,084444 | Funilândia      | Granja São Judas Tadeu            | Cárstico             | 82                       | Consumo humano e dessedentação animal |
| GOUPA  | -18,637475 | -43,968470 | Gouveia         | Usina Parauna                     | Fissurado            | DI                       | Consumo humano                        |
| ITAAS  | -20,262020 | -43,953640 | Itabirito       | Condominio Aconchego da Serra     | Fissurado            | 18,7                     | Abastecimento público                 |
| ITASGB | -20,333889 | -43,817222 | Itabirito       | São Gonçalo do Baçõ               | Fissurado            | 105                      | Abastecimento público                 |
| JABRA  | -19,583611 | -43,787222 | Jabuticatubas   | Recanto das Arara                 | Cárstico - fissurado | 145                      | Consumo humano                        |
| JQCVQ  | -19,235000 | -44,017500 | Jequitiba       | Campo de Vaquejada - COPASA       | Cárstico - fissurado | 150                      | Consumo humano                        |
| LSCBA  | -17,902500 | -44,002500 | Lassance        | Comunidade Barreiras              | Cárstico - fissurado | 72                       | Abastecimento público                 |
| LSCBR  | -17,814070 | -44,686970 | Lassance        | Comunidade do Brejo               | Cárstico - fissurado | 80                       | Abastecimento público                 |
| LSPVD  | -19,635833 | -43,816444 | Lagoa Santa     | Lagoa Mansões_Nascente Poço Verde | Cárstico - fissurado | -                        | -                                     |
| LSQSU  | -19,574722 | -43,967778 | Lagoa Santa     | Quinta do Sumidouro_nascente      | Cárstico - fissurado | -                        | -                                     |
| MGCC02 | -18,542650 | -44,600060 | Morro da Garça  | Centro Copasa-c02                 | Cárstico - fissurado | 76                       | Abastecimento público                 |

Tabela 3. Principais características dos poços da atual configuração da Rede de Monitoramento Bacia do Rio das Velhas (continuação).

| Ponto | Latitude   | Longitude  | Município           | Localidade                       | Aquífero             | Profundidade do poço (m) | Usos da água do poço                  |
|-------|------------|------------|---------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| MGNOA | -18,735833 | -44,617778 | Morro da Garça      | Nascente Olhos d'Água            | Cárstico - fissurado | -                        | -                                     |
| MONOA | -18,383889 | -44,100278 | Monjolo             | Comunidade Olhos d'Água          | Cárstico - fissurado | 50                       | Abastecimento público                 |
| MTBSP | -19,551944 | -44,051944 | Matozinhos          | Bairro São Paulo                 | Cárstico             | 140                      | Abastecimento público                 |
| NLMEG | -20,033611 | -43,934722 | Nova Lima           | Mata do Engenho                  | Fissurado            | 70                       | Consumo humano                        |
| PLFEX | -19,485278 | -44,014444 | Pedro Leopoldo      | Fazenda Experiência Nascente     | Cárstico- fissurado  | -                        | -                                     |
| PLFID | -19,534722 | -43,951111 | Pedro Leopoldo      | Fidalgo                          | Cárstico             | 33,1                     | Abastecimento público                 |
| PLMMC | -19,619167 | -44,019167 | Pedro Leopoldo      | Mina Manuel Carlos Cauê Nascente | Cárstico - fissurado | -                        | -                                     |
| PMFSR | -19,451111 | -44,151944 | Prudente de Moraes  | Fazenda Santa Rita EPAMIG        | Cárstico - fissurado | 150                      | Consumo humano                        |
| SABCP | -19,886390 | -43,806670 | Sabará              | Comunidade Pompéu                | Fissurado            | 98,5                     | Consumo humano                        |
| SABRC | -19,784722 | -43,735833 | Sabará              | Ravena Cotoches                  | Fissurado            | 80                       | Consumo humano e industrial           |
| SJLRM | -19,666944 | -43,618611 | São José da Lapa    | Nova Granja Rio Minas            | Cárstico             | 120                      | Consumo humano e dessedentação animal |
| SPPEX | -19,984722 | -44,034167 | Santana do Pirapama | Parque de exposição              | Cárstico - fissurado | 57                       | Consumo humano                        |
| VPBGU | -17,598060 | -44,730830 | Várzea Da Palma     | Barra do Guaicui                 | Cárstico - fissurado | 90                       | Abastecimento público                 |
| VPCEM | -17,585278 | -44,735278 | Várzea Da Palma     | CEMIG                            | Cárstico - fissurado | 108                      | Consumo humano                        |
| VPCRD | -17,551389 | -44,817222 | Várzea Da Palma     | Riacho doce                      | Cárstico - fissurado | 94                       | Abastecimento público                 |
| VPCLV | -19,685833 | -43,902222 | Vespasiano          | Linha Verde COPASA               | Fissurado            | 120                      | Abastecimento público                 |
| SRCM  | -19,334683 | -43,631208 | Santana do Riacho   | Pousada                          | Cárstico             | 50                       | Consumo humano                        |

Obs: DI – Dado Indisponível.

### **2.3 Rede Guarani**

O Sistema Aquífero Guarani – SAG é um aquífero transfronteiriço, que se localiza na região centro-leste da América do Sul compreendendo o Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina. É formado por rochas sedimentares da Bacia do Paraná e Chaco-Paraná, que compreendem arenitos eólicos e depósitos flúvio-lacustres, sendo que o primeiro de idade Jurássica e o último de idade Triássica

Devido a importância desse sistema aquífero, o mesmo vem sendo objeto de estudos e ações visando à construção da gestão integrada e sustentável de recursos hídricos, realizadas pelos países que o abrigam.

A Rede de Monitoramento do Aquífero Guarani no Estado de Minas Gerais está restrita à parte confinada do aquífero e teve o início das operações em 2009. A periodicidade do monitoramento é anual e, desde seu início de sua operação, foram realizadas 9 campanhas. Até 2014 apenas 4 poços eram monitorados, nos anos seguintes outro poço passou a ser monitorado, aumentando o número de poços para 5 (Figura 4).

A rede localiza-se no Triângulo Mineiro e os poços se encontram nas cidades: Conceição das Alagoas, Frutal, Cachoeira Dourada e Uberaba. Essas cidades, assim como a rede, estão inseridas nas UPGRHs Baixo Rio Paranaíba-PN3- e Baixo Rio Grande- GD8. Quatro dos poços foram instalados na unidade aflorante Formação Serra Geral, que sobrepõe a Formação Botucatu, principal unidade do Aquífero Guarani. O outro poço foi instalado na Formação Adamantina e atravessa todas as unidades supracitadas.

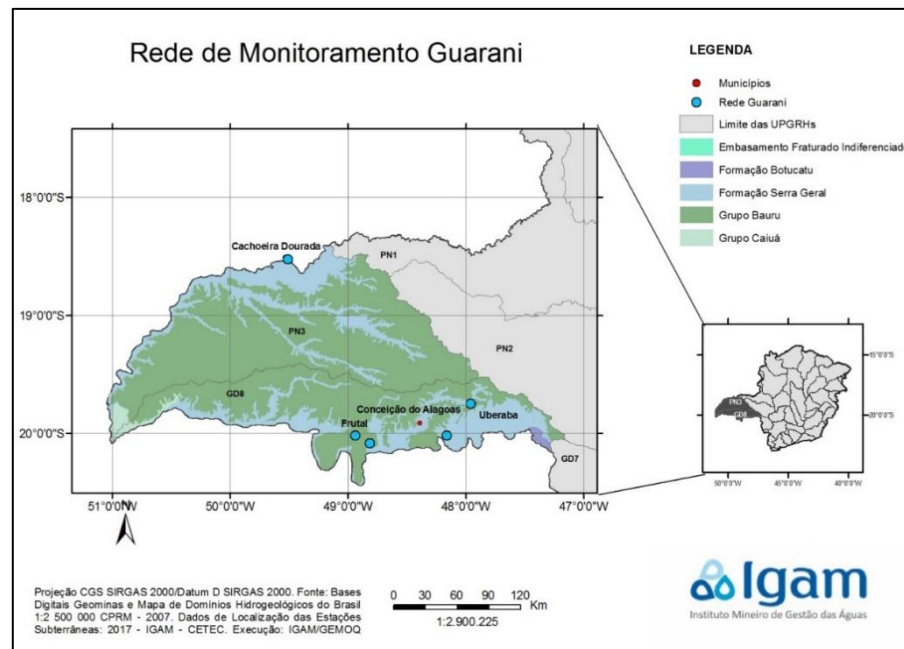


Figura 4. Mapa com os poços de monitoramento da Rede Guarani sobre os domínios geológicos aflorantes.

Tabela 4. Principais características dos poços da atual configuração da Rede de Monitoramento Guarani.

| Ponto | Latitude   | Longitude  | Município             | Localidade                 | Aquífero (principal) | Profundidade do poço (m) | Usos da água do poço  |
|-------|------------|------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|
| CAL1  | -20,018611 | -48,166111 | Conceição das Alagoas | Estância Recanto das Águas | Guarani              | 341,4                    | Balneabilidade        |
| CD3   | -18,517500 | -49,498667 | Cachoeira Dourada     | Yquara Termas              | Guarani              | 470,0                    | Balneabilidade        |
| FRT1  | -20,081389 | -48,819444 | Frutal                | Faz. São Bento da Ressaca  | Guarani              | 1156,5                   | Industrial            |
| FRT2  | -20,019306 | -48,942833 | Frutal                | Frutal                     | Guarani              | 1163,4                   | Abastecimento público |
| UBR3  | -19,750583 | -47,964250 | Uberaba               | Área urbana de Uberaba     | Guarani              | 602,1                    | Abastecimento público |

## 2.4 Rede Bauru

O Aquífero Bauru pertence à Bacia Sedimentar do Paraná e abrange os Estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com área aflorante total de 353.420 km<sup>2</sup>. É constituído por rochas sedimentares dos Grupos Bauru e Caiuá. No estado de Minas Gerais está localizado na região do Triângulo Mineiro, divisa com os estados de Goiás e São Paulo.

O Grupo Bauru compreende as Formações Marília, Uberaba e Vale do rio do Peixe e o Grupo Caiuá é representado pela Formação Santo Anastácio que ocorre em pequenas áreas nos municípios de Carneirinho e Iturama no vértice oeste do Triângulo Mineiro.

A Rede de Monitoramento Bauru é constituída por poços da Rede Integrada de Monitoramento de Água Subterrânea – RIMAS implantada pela CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Essa rede foi instalada em 2011 e incorporada à rede de monitoramento de qualidade das águas subterrâneas do Estado em 2012. A operação se dá por meio de campanhas conjuntas realizadas pelas instituições, com previsão de realização de campanhas semestrais de coleta. A rede foi iniciada com 16 pontos e atualmente é composta por 23 poços de monitoramento localizados em 16 cidades diferentes do estado de Minas Gerais, dentre as mais importantes estão Ituiutaba, Uberlândia, Prata e Tupaciguara, porém durante o período considerado no presente relatório não se conseguiu estabelecer o monitoramento com regularidade.

A rede abrange 4 Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – UPGRH's- são elas: Alto Rio Paranaíba-PN1-, Rio Araguari –PN2-, Baixo Rio Paranaíba-PN3- e Baixo Rio Grande- GD8. Todos os poços se encontram em locais em que a litologia aflorante é o Grupo Bauru. A figura 5 ilustra a distribuição dos poços.

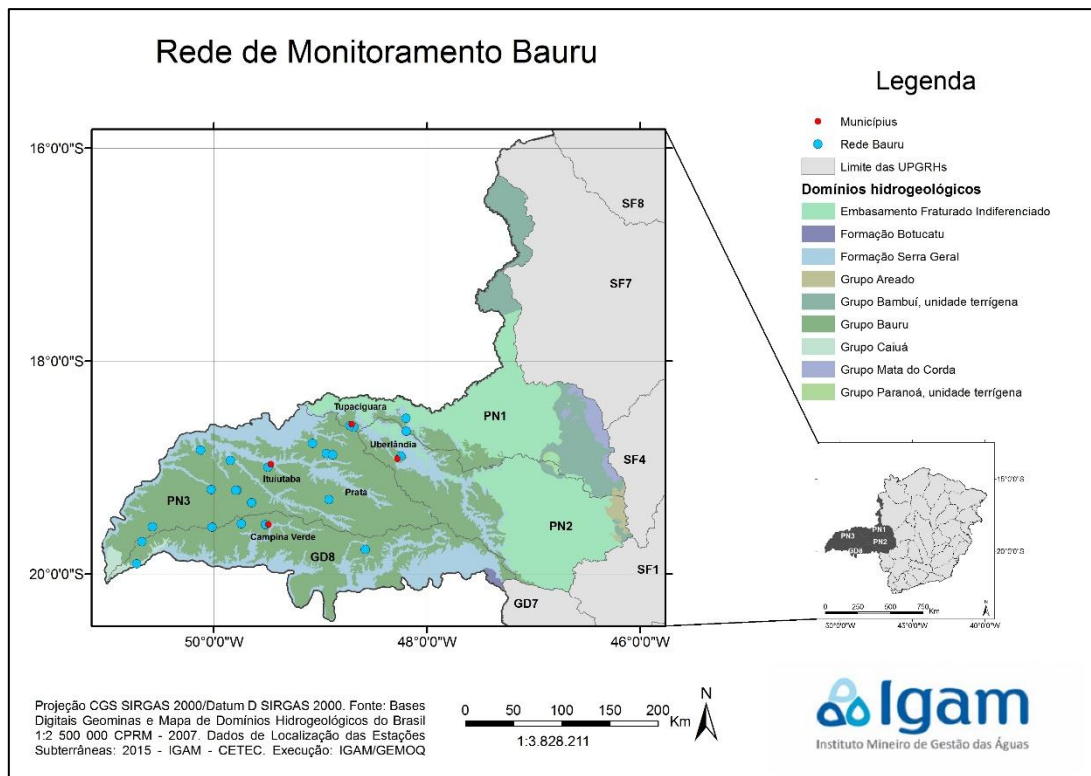


Figura 5. Mapa com os poços de monitoramento da Rede Bauru sobre os domínios geológicos aflorantes.

Tabela 5. Principais características dos poços da atual configuração da Rede de Monitoramento Bauru.

| Ponto   | Latitude   | Longitude  | Município        | Localidade                       | Aquífero (principal) | Profundidade do poço (m) | Usos da água do poço |
|---------|------------|------------|------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|
| ARG-04  | -18,659722 | -48,191667 | Araguari Centro  | Sede - Av. Minas Gerais          | Bauru                | 58                       | Monitoramento        |
| ARG-05  | -18,535000 | -48,197222 | Araguari         | Distrito de Amanhece             | Bauru                | 42                       | Monitoramento        |
| CF-01   | -19,770278 | -48,578611 | Campo Florido    | Rua Iturama, 54                  | Bauru                | 54                       | Monitoramento        |
| CNP-06  | -18.772844 | -49.072947 | Canápolis        | Vilarejo de Avantiguara          | Bauru                | 50                       | Monitoramento        |
| CV-07   | -19,537236 | -49,512336 | Campina Verde    | Escola Agrícola Adolfo Rezende   | Bauru                | 60                       | Monitoramento        |
| CV-08   | -19,560000 | -50,015667 | Campina Verde    | Honóropolis                      | Bauru                | 70                       | Monitoramento        |
| GRNT-09 | -19,211292 | -49,780514 | Gurinhata        | Praça Paulo Santos               | Bauru                | 60                       | Monitoramento        |
| GRNT-15 | -19.212466 | -49.793538 | Gurinhata        | Pista de Pouso                   | Bauru                | 66                       | Monitoramento        |
| ITB-10  | -18.998744 | -49.490331 | Ituiutaba        | Av. Jandiro Vilela de Freitas    | Bauru                | 35                       | Monitoramento        |
| LO-03   | -19,555278 | -50,574058 | Limeira do Oeste | Av. Saudade, 200 Sede APAE       | Bauru                | 53                       | Monitoramento        |
| MA11    | -18,869528 | -48,941317 | Monte Alegre     | Monumento Retirantes da Laguna   | Bauru                | 36                       | Monitoramento        |
| MA-16   | -18,881042 | -48,885217 | Monte Alegre     | Rua Ebrantina Rosa Freitas s/nr. | Bauru                | 54                       | Monitoramento        |
| PT-02   | -19,300858 | -48,917889 | Prata            | Rua Santa Catarina 949           | Bauru                | 48                       | Monitoramento        |
| TPCG-12 | -18,621703 | -48,685219 | Tupaciguara      | Estação de Tratamento de Água    | Bauru                | 101                      | Monitoramento        |
| TPCG-15 | -18.607173 | -48.719838 | Tupaciguara      | Distrito Industrial              | Bauru                | 52                       | Monitoramento        |
| UBL-13  | -18.892607 | -48.241487 | Uberlândia       | Praça da República               | Bauru                | 82                       | Monitoramento        |



A rede Bauru é constituída por poços de monitoramento dedicados. As coletas de água subterrânea dessa rede foram realizadas pelo método de purga de baixa vazão utilizando-se equipamento de bombeamento apropriado que permite o acompanhamento da medição de parâmetros físico-químicos de forma concomitante. Por esse método a extração de água das formações geológicas se dá nos intervalos onde há a entrada de água no poço (intervalos da seção filtrante) com uma taxa fluxo constante, de forma a não propiciar que haja a perturbação da coluna d'água estagnada acima do ponto onde ocorre a coleta. Assim, procura-se minimizar o rebaixamento, a agitação e a mistura da água existente no interior do poço, reduzindo e controlando a turbidez da amostra. Para isso os parâmetros indicadores - pH, temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido, ORP ou Eh, OD e condutividade elétrica - são monitorados durante o bombeamento e a purga estará completa quando a medição de concentração desses parâmetros se estabiliza. A estabilização da concentração desses parâmetros indica que a água que entra no equipamento é representativa da formação, podendo-se então, proceder a coleta

### **3 • Parâmetros e Padrões**

#### **3.1 Parâmetros Monitorados**

São monitorados mais de 70 parâmetros físico-químicos e biológicos nas águas subterrâneas. Para o tratamento dos dados obtidos, é feita uma seleção com base no seguinte: parâmetros usados para comparações com padrões legais, parâmetros utilizados no balanço iônico e, por fim, os parâmetros utilizados no tratamento estatístico dos resultados. Os principais parâmetros monitorados são listados abaixo.

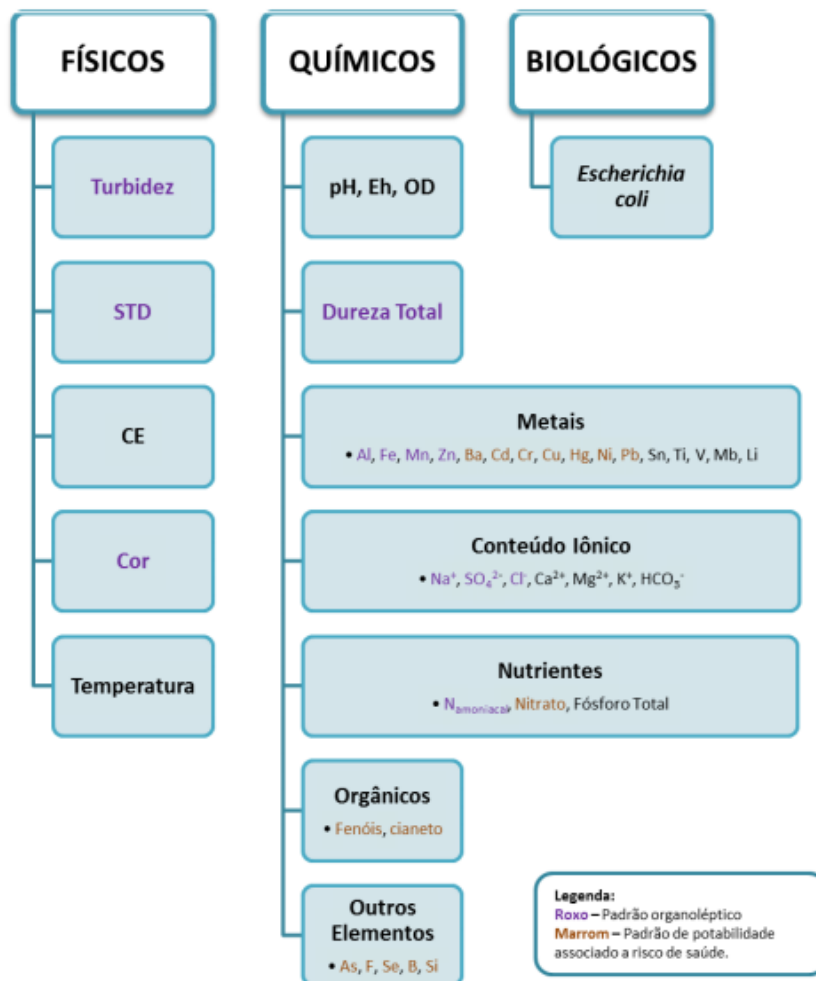


Figura 6. Principais parâmetros selecionados para as águas subterrâneas monitoradas no Estado.

Os parâmetros pH, Eh, CE (Condutividade Elétrica), STD (Sólidos Totais Dissolvidos), temperatura e OD (oxigênio dissolvido) são determinados em campo, imediatamente após a amostragem, em vista de sua alteração durante armazenamento. O restante dos parâmetros é determinado por meio de análises laboratoriais, que são executadas por laboratório terceirizado (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC).

Os métodos de análise e limites de quantificação estão descritos na Tabela 6, de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

Para o tratamento estatístico dos resultados, os critérios de seleção de parâmetros utilizados foram:

- Importância do parâmetro para a avaliação da qualidade geral da água subterrânea (considerando que o monitoramento é, predominantemente, de

caráter regional, por rede de monitoramento secundária, visando às tendências resultantes de modificações no uso do solo, variações climáticas, processos de recarga, fluxos e contaminação difusa).

- Seleção dos parâmetros essenciais ao balanço iônico –  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ .
- Retirada de parâmetro com percentual elevado de dados faltantes (> 60%).
- Retirada de parâmetro constante da legislação e cujo percentual de violação em relação aos limites da legislação Resolução Conama nº 396/2008 e Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011 foi relativamente baixo (< 0,5%). Exceção para o pH, que se pretendeu analisar independentemente do atendimento à legislação.
- Retirada de parâmetro que apresenta alto nível de correlação, previamente conhecido, com outro parâmetro selecionado, confirmada por matriz de correlação de Spearman aplicadas aos respectivos resultados. Exceção para a CE – condutividade elétrica – e os STD – sólidos totais dissolvidos, para os quais se buscou verificar, por meio dos resultados, comportamentos similares.
- Havendo medição de um mesmo elemento/composto total e dissolvido, com exceção dos íons usados no balanço iônico, foram selecionadas as frações constantes da legislação ambiental.
- Viabilidade de comparação dos resultados obtidos com os limites estabelecidos.

Tabela 6. Método analítico – nome do método e respectiva norma de referência – e os limites de quantificação aplicados no decorrer do monitoramento, para cada parâmetro monitorado nas águas subterrâneas de Minas Gerais.

| PARÂMETRO                            | MÉTODO ANALÍTICO                             |                     | LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO |   |
|--------------------------------------|--|---------------------|-------------------------|---|
|                                      | IDENTIFICAÇÃO                                | REFERÊNCIA          | ATUAL                   | UNIDADE DE MEDIDA                               |
| Temperatura da água (campo)          | Termometria                                  | SM 2550 B           | NA                      | °C  |
| pH (campo)                           | Potenciometria                               | SM 5520 B           | NA                      | adimensional                                    |
| Condutividade elétrica (campo)       | Condutimetria                                | SM 2510 B           | NA                      | 2005 e 2006: µmho/cm                            |
|                                      |  |                     |                         | a partir de 2007: µS/cm                         |
| STD (campo)                          | Gravimetria                                  | ABNT NBR 10664/1989 | 1                       | mg/L  |
| Eh (campo)                           | Potenciometria                               | #                   | 0,1                     | mV  |
| Coliformes totais                    | Tubos Múltiplos                              | SM 9221 B           | <2                      | NMP/100 mL                                      |
|                                      |  |                     | >160.000                | NMP/100 mL                                      |
| Coliformes termotolerantes           | Tubos Múltiplos                              | SM 9221 E           | <2                      | NMP/100 mL                                      |
|                                      |  |                     | >160.000                | NMP/100 mL                                      |
| Alcalinidade bicarbonato             | Potenciometria                               | SM 2320 B           | 1,0                     | mg/L  |
| Alcalinidade carbonato               | Potenciometria                               | SM 2320 B           | 1,0                     | mg/L  |
| Cloreto total                        | Espectrofotometria                           | USGS –I–1187 85     | a partir de 2011: 0,50  | mg/L  |
| Condutividade elétrica - laboratório | Condutimetria                                | SM 2510 B           | NA                      | 2005 e 2006: µmho/cm, e a partir de 2007: µS/cm |
| Cor verdadeira                       | Colorimetria                                 | SM 2120 B           | a partir de 2011: 10    | Upt   |
| Dureza total                         | Titulometria                                 | SM 2340 C           | 1,0                     | mg/L  |
| Dureza Ca                            | Titulometria                                 | SM 3500-Ca B        | 1,0                     | mg/L  |
| Dureza Mg                            | Titulometria                                 | SM 3500-Mg B        | 1,0                     | mg/L  |
| Fenóis totais                        | Espectrofotometria                           | ABNT NBR 10740/1989 | a partir de 2011: 0,002 | mg/L  |
| Fluoreto ionizado                    | Eletrometria – Eletrodo seletivo             | SM 4500-F C         | a partir de 2007: 0,10  | mg/L  |
| Fósforo total                        | Espectrofotometria                           | SM 4500-P B e E     | a partir de 2011: 0,02  | mg/L  |
| Magnésio dissolvido                  | Espectrometria de emissão atômica por plasma | SM 3120 B           | 0,002                   | mg/L  |
| Magnésio total                       | Espectrometria de emissão atômica por plasma | SM 3120 B           | 0,002                   | mg/L  |
| Nitrato                              | Eletrometria – Eletrodo seletivo             | SM 4500-NO3- D      | a partir de 2011: 0,10  | mg/L  |

Tabela 6. Método analítico – nome do método e respectiva norma de referência – e os limites de quantificação aplicados no decorrer do monitoramento, para cada parâmetro monitorado nas águas subterrâneas de Minas Gerais (continuação).

| PARÂMETRO                      | MÉTODO ANALÍTICO   |                     | LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO |                   |
|--------------------------------|--|---------------------|-------------------------|-------------------|
|                                | IDENTIFICAÇÃO  | REFERÊNCIA          | ATUAL                   | UNIDADE DE MEDIDA |
| Nitrito                        | Espectrofotometria   | SM 4500-NO2- B      | 0,001                   | mg/L              |
| Nitrogênio amoniacal total     |  | ABNT NBR 10560/1988 | 0,10                    | mg/L              |
| Nitrogênio orgânico            |  | SM 4500-Norg B      | 0,10                    | mg/L              |
| Óleos e graxas                 | Gravimetria  | SM 5520 B           | 15                      | mg/L              |
| pH laboratório                 | Potenciometria   | SM 4500 H+ B        | NA                      | adimensional      |
| Sólidos dissolvidos a 180°C    | Gravimetria  | ABNT NBR 10664/1989 | 2                       | mg/L              |
| Sulfato total                  | Turbidimetria  | SM 4500-SO42- E     | a partir de 2011: 5,0   | mg/L              |
| Sulfeto                        | Titulometria   | SM 4500-S2- F       | a partir de 2007: 0,5   | mg/L              |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio | Eletrométrico  | SM 5210 B           | 2                       | mg/L              |
| Demanda Química de Oxigênio    | Titulometria   | ABNT NBR 10357/1988 | 5                       | mg/L              |
| Turbidez                       | Turbidimetria  | SM 2130 B           | a partir de 2010: 0,5   | NTU               |
| Alumínio dissolvido            | Espectrometria de emissão atômica por plasma               | SM 3120 B           | 0,10                    | mg/L              |
| Alumínio total                 |  | SM 3120 B           | 0,10                    | mg/L              |
| Arsênio total                  | Espectrometria de absorção atômica com gerador de hidretos | SM 3114 B           | 0,0003                  | mg/L              |
| Bário total                    | Espectrometria de emissão atômica por plasma               | SM 3120 B           | 0,005                   | mg/L              |
| Boro total                     |  | SM 3120 B           | 0,07                    | mg/L              |
| Cádmio total                   |  | SM 3125 B           | 0,0005                  | mg/L              |
| Cálcio dissolvido              |  | SM 3120 B           | 0,03                    | mg/L              |
| Cálcio total                   |  | SM 3120 B           | 0,03                    | mg/L              |

Tabela 6. Método analítico – nome do método e respectiva norma de referência – e os limites de quantificação aplicados no decorrer do monitoramento, para cada parâmetro monitorado nas águas subterrâneas de Minas Gerais (continuação).

| PARÂMETRO   | MÉTODO ANALÍTICO   |            | LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO |                   |
|---|--|------------|-------------------------|-------------------|
|   | IDENTIFICAÇÃO  | REFERÊNCIA | ATUAL                   | UNIDADE DE MEDIDA |
| Chumbo total  | Espectrometria de emissão atômica por plasma               | SM 3125 B  | 0,005                   | mg/L              |
| Cobre dissolvido  |  | SM 3120 B  | 0,004                   | mg/L              |
| Cobre total   |  | SM 3120 B  | 0,004                   | mg/L              |
| Cromo total   |  | SM 3120 B  | 0,04                    | mg/L              |
| Estrôncio   |  | SM 3120 B  | 0,005                   | mg/L              |
| Ferro dissolvido  |  | SM 3120 B  | 0,03                    | mg/L              |
| Ferro total   |  | SM 3120 B  | 0,03                    | mg/L              |
| Lítio   |  | SM 3120 B  | 0,005                   | mg/L              |
| Manganês dissolvido   |  | SM 3120 B  | 0,003                   | mg/L              |
| Manganês total  |  | SM 3120 B  | 0,003                   | mg/L              |
| Mercúrio total  |  | SM 3112 B  | 0,0002                  | µg/L              |
| Níquel total  |  | SM 3125 B  | 0,004                   | mg/L              |
| Potássio dissolvido   |  | SM 3120 B  | 0,09                    | mg/L              |
| Potássio Total  |  | SM 3120 B  | 0,09                    | mg/L              |
| Selênio total   | Espectrometria de absorção atômica com gerador de hidretos | SM 3114 B  | 0,0005                  | mg/L              |
| Silício dissolvido  | Espectrometria de emissão atômica por plasma               | SM 3120 B  | 0,05                    | mg/L              |
| Sódio dissolvido  |  | SM 3120 B  | 0,50                    | mg/L              |
| Sódio total   |  | SM 3120 B  | 0,50                    | mg/L              |
| Zinco total   |  | SM 3120 B  | 0,02                    | mg/L              |
| <b>Agrotóxicos: Aldrin + Dieldrin, Atrazina, Clordano(cis + trans), DDT, Endossulfan(alfa + beta), Endrin, Heptacloro + heptacloroepóxido, Hexaclorobenzeno, Lindano, Metoxicloro, Molinato, Pentaclorofenol, Permetrina(cis + trans), Simazina, 2,4,6 triclorofenol, Trifluoralina</b> | Cromatografia a gás  | SM 6410    | 0,01                    | µg/L              |

### 3.2 Padrões

Em relação aos padrões ou limites estabelecidos, foram adotados os valores da Resolução Conama 396/2008 e da Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde – nº 2914/2011, conjuntamente, considerando assim os limites para consumo humano, dessedentação animal, irrigação e recreação.

A Resolução Conama 396/2008 dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências, enquanto a Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde – nº 2914/2011 dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Os limites para cada parâmetro disposto na Resolução e na Portaria são expressos na Tabela 7.

Tabela 7. Valores Máximos Permitidos para os parâmetros de acordo com a Resolução Conama 396/2008 e com a Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde nº 2914/2011.

| PADRÕES                                  |                           |                      |           |           |                    |
|--|---------------------------|----------------------|-----------|-----------|--------------------|
|  | Resolução Conama 396-2008 |                      |           |           | Portaria 2914-2011 |
|  | Consumo humano            | Dessedentação animal | Irrigação | Recreação | Consumo humano     |
|  | mg/L                      |                      |           |           |                    |
| pH (campo)                               |                           |                      |           |           | 6 a 9,5            |
| Sólidos Totais Dissolvidos - STD (campo) | 1000                      |                      |           |           | 1000               |
| Coliformes totais                        |                           |                      |           |           | Ausência em 100mL  |
| Coliformes termotolerantes               | Ausência em 100mL         |                      |           |           |                    |
| Cloreto total                            | 250                       |                      | 700       | 400       | 250                |
| Cor verdadeira                           |                           |                      |           |           | 15                 |
| Dureza total                             |                           |                      |           |           | 500                |
| Fenóis totais                            | 0,003                     | 0,002                |           | 0,002     |                    |
| Fluoreto ionizado                        | 1,5                       | 2                    | 1         |           | 1,5                |
| Nitrato                                  | 10                        | 90                   |           | 10        | 10                 |
| Nitrito                                  | 1                         | 10                   | 1         | 1         | 1                  |
| Nitrogênio amoniacal total               |                           |                      |           |           | 1,5                |
| Sulfato total                            | 250                       | 1000                 |           | 400       | 250                |
| Sulfeto                                  |                           |                      |           |           | 0,1                |
| Turbidez                                 |                           |                      |           |           | 5                  |
| Alumínio total                           | 0,2                       | 5                    | 5         | 0,2       | 0,2                |
| Arsênio total                            | 0,01                      | 0,2                  |           | 0,05      | 0,01               |
| Bário total                              | 0,7                       |                      |           | 1         | 0,7                |
| Boro total                               | 0,5                       | 5                    | 0,5       | 1         |                    |
| Cádmio total                             | 0,005                     | 0,05                 | 0,01      | 0,005     | 0,005              |
| Chumbo total                             | 0,01                      | 0,1                  | 5         | 0,05      | 0,01               |
| Cobre total                              | 2                         | 0,5                  | 0,2       | 1         | 2                  |
| Cromo total                              | 0,05                      | 1                    | 0,1       | 0,05      | 0,05               |
| Ferro total                              | 0,3                       |                      | 5         | 0,3       | 0,3                |
| Lítio                                    |                           |                      | 2,5       |           |                    |
| Manganês total                           | 0,1                       | 0,05                 | 0,2       | 0,1       | 0,1                |
| Mercurio total                           | 1                         | 10                   | 2         | 1         | 1                  |
| Níquel total                             | 0,02                      | 1                    | 0,2       | 0,1       | 0,07               |
| Selênio total                            | 0,01                      | 0,05                 | 0,02      | 0,01      | 0,01               |
| Sódio total                              | 200                       |                      |           | 300       | 200                |
| Zinco total                              | 5                         | 24                   | 2         | 5         | 5                  |
| Vanádio Total                            | 0,05                      | 0,1                  | 0,1       |           |                    |

**Tabela 7.** Valores Máximos Permitidos para os parâmetros de acordo com a Resolução Conama 396/2008 e com a Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde nº 2914/2011 (continuação).

| PADRÕES                         |                           |                      |           |           |                    |
|---------------------------------|---------------------------|----------------------|-----------|-----------|--------------------|
|                                 | Resolução Conama 396-2008 |                      |           |           | Portaria 2914-2011 |
|                                 | Consumo humano            | Dessedentação animal | Irrigação | Recreação | Consumo humano     |
|                                 | mg/L<br>µg.L-1            |                      |           |           |                    |
| <b>Agrotóxicos</b>              |                           |                      |           |           |                    |
| 2,4-D                           | 30                        |                      |           | 100       |                    |
| Alaclor                         | 20                        |                      |           | 3         |                    |
| Aldicarb                        | 10                        | 11                   | 54,9      |           |                    |
| Aldicarb Sulfona                | 10                        | 11                   | 54,9      |           |                    |
| Audicarb Sulfóxido              | 10                        | 11                   | 54,9      |           |                    |
| Aldrin + Dieldrin               | 0                         |                      |           | 1         |                    |
| Atrazina                        | 2                         | 5                    | 10        |           |                    |
| Bentazona                       | 300                       |                      |           | 400       |                    |
| Carbófurano                     | 7                         | 45                   |           | 30        |                    |
| Clordano (cis e trans)          | 0                         |                      |           | 6         |                    |
| Clorotalonil                    | 30                        | 170                  | 5,8       |           |                    |
| Clorpirifós                     | 30                        | 24                   |           | 2         |                    |
| Endrin                          | 1                         |                      |           | 1         |                    |
| Glifosato + AMPA                | 500                       | 200                  |           | 200       |                    |
| Heptacloro e Heptacloro Epóxido |                           |                      | 3         |           |                    |
| Hexaclorobenzeno                | 1                         | 1                    |           |           |                    |
| Lindano (g-HCH)                 | 2                         | 4                    |           | 10        |                    |
| Malation                        | 190                       |                      |           |           |                    |
| Metolacloro                     | 10                        | 50                   | 28        | 800       |                    |
| Metoxicloro                     | 20                        |                      |           |           |                    |
| Molinato                        | 6                         |                      |           | 1         |                    |
| p,p'-DDT + p,p'-DDD + p,p'-DDE  | 2                         |                      |           | 3         |                    |
| Pendimetalina                   | 20                        |                      |           | 600       |                    |
| Pentaclorofenol                 | 9                         |                      |           | 10        |                    |
| Permetrina                      | 20                        |                      |           | 300       |                    |
| Propanil                        | 20                        |                      |           | 1000      |                    |
| Simazina                        | 2                         |                      |           |           |                    |
| Trifluralina                    | 20                        |                      |           | 500       |                    |

#### 4 • Avaliação da Qualidade das Águas Subterrâneas

##### 4.1 Qualidade nas Sub-Bacias SF6, SF9 e SF10 (Rede de Monitoramento Norte de Minas)

O presente relatório apresenta os resultados do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas para o período dos anos hidrológicos de 2015 a 2017, realizado em 60 poços de monitoramentos, sendo 19 na SF6, 4 na SF9 e 37 na SF10. Para o monitoramento da mesorregião Norte de Minas, no período em questão, foram executadas 7 campanhas semestrais, totalizando mais de 21.000 resultados.

Um resumo da qualidade hidroquímica das águas subterrâneas nesta região é mostrado a partir da estatística descritiva aplicada aos resultados do monitoramento (Tabela 8). São apresentados, para cada parâmetro selecionado previamente



(conforme item “Parâmetros Monitorados”): as concentrações mínimas e máximas, a mediana, além da média aritmética, desvio padrão, percentual de dados faltantes e de dados<sup>1</sup> censurados<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Correspondem às medições que apresentaram valores abaixo do limite de detecção do instrumento analítico utilizado.

Tabela 8. Síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas – estatística descritiva – para a Rede de Monitoramento Norte de Minas (Sub-bacias SF6, SF9 e SF10).

| Variável  | Nº de Dados | Mínimo | Mediana | Máximo | Média  | Desvio Padrão | % dados faltantes | % dados censurados |
|---|-------------|--------|---------|--------|--------|---------------|-------------------|--------------------|
| pH  | 385         | 4,9    | 7,2     | 9,6    | 7,2    | 0,6           | 8,3               | 0                  |
| Condutividade Elétrica - CE ( $\mu\text{S/cm}$ )    | 385         | 21,5   | 671     | 4050   | 802    | 541           | 8,3               | 0                  |
| Sólidos Totais Dissolvidos in loco-STD (mg/L)       | 385         | 0      | 347     | 2000   | 451    | 395           | 8,3               | 0                  |
| Alcalinidade de bicarbonato (mg/L $\text{CaCO}_3$ ) | 385         | 11,1   | 272,0   | 477,0  | 261,4  | 90,5          | 8,3               | 0                  |
| Arsênio (mg/L As)                                   | 165         | 0,0011 | 0,0023  | 0,0202 | 0,0030 | 0,0026        | 8,3               | 52,4               |
| Boro (mg/L B)                                       | 35          | 0,08   | 0,19    | 1,05   | 0,42   | 0,35          | 8,3               | 83,3               |
| Cloreto Total (mg/L Cl-)                            | 353         | 0,50   | 29,70   | 716,00 | 70,16  | 107,69        | 8,3               | 7,6                |
| Dureza Total (mg/L $\text{CaCO}_3$ )                | 385         | 7,1    | 300,0   | 1179,0 | 328,5  | 208,9         | 8,3               | 0                  |
| Fenóis (mg/L)                                       | 3           | 0,003  | 0,004   | 0,004  | 0,004  | 0,001         | 8,3               | 91                 |
| Fluoreto (mg/L F-)                                  | 274         | 0,10   | 0,21    | 6,15   | 0,44   | 0,84          | 8,3               | 26,4               |
| Fósforo Total (mg/L P)                              | 115         | 0,02   | 0,04    | 0,20   | 0,06   | 0,04          | 8,3               | 64,3               |
| Magnésio dissolvido (mg/L $\text{Mg}^{2+}$ )        | 385         | 0,440  | 10,200  | 65,000 | 15,420 | 13,890        | 8,3               | 0                  |
| Nitrato (mg/L $\text{NO}_3^-$ )                     | 375         | 0,07   | 1,26    | 61,10  | 2,79   | 4,70          | 8,3               | 2,4                |
| Sulfato total (mg/L $\text{SO}_4^{2-}$ )            | 268         | 5,0    | 26,2    | 701,0  | 66,4   | 97,6          | 8,3               | 27,9               |
| Turbidez (NTU)                                      | 193         | 0,5    | 1,2     | 85,8   | 4,4    | 9,6           | 8,3               | 45,7               |
| Alumínio Total (mg/L Al)                            | 193         | 0,04   | 0,13    | 1,85   | 0,16   | 0,17          | 8,3               | 45,7               |
| Bário (mg/L Ba)                                     | 365         | 0,006  | 0,051   | 1,580  | 0,096  | 0,181         | 8,3               | 4,8                |
| Cálcio Dissolvido (mg/L $\text{Ca}^{2+}$ )          | 385         | 0,71   | 103,00  | 362,68 | 105,67 | 65,31         | 8,3               | 0                  |
| Cobre Total (mg/L Cu)                               | 19          | 0,005  | 0,006   | 0,046  | 0,014  | 0,012         | 8,3               | 87,1               |
| Ferro Total (mg/L Fe)                               | 345         | 0,03   | 0,14    | 6,64   | 0,39   | 0,80          | 8,3               | 9,5                |
| Manganês Total (mg/L Mn)                            | 265         | 0,003  | 0,040   | 0,660  | 0,090  | 0,117         | 8,3               | 28,6               |
| Níquel (mg/L Ni)                                    | 218         | 0,004  | 0,010   | 0,069  | 0,014  | 0,012         | 8,3               | 39,8               |
| Potássio dissolvido (mg/L $\text{K}^+$ )            | 385         | 0,42   | 1,90    | 25,45  | 3,33   | 4,40          | 8,3               | 0                  |
| Selênio (mg/L Se)                                   | 95          | 0,0020 | 0,0046  | 0,0183 | 0,0058 | 0,0038        | 8,3               | 69                 |
| Sódio total (mg/L Na)                               | 385         | 0,41   | 20,90   | 379,00 | 40,69  | 49,74         | 8,3               | 0                  |
| Zinco (mg/L)  | 181         | 0,02   | 0,06    | 5,99   | 0,18   | 0,53          | 8,3               | 48,6               |

As principais características observadas e que predominam para as águas subterrâneas da rede são:

- Dureza elevada, com 43% das amostras sendo classificadas como águas muito duras e 42% como águas duras. Considerando-se um dos critérios de classificação mais utilizados, em que as águas muito duras são aquelas com concentrações superiores a 300 mg/L de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), as águas duras estão compreendidas na faixa entre 150 e 300 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, as águas moderadamente duras estão abaixo de 150 e acima de 50 mg/L CaCO<sub>3</sub> e em que as águas brandas são aquelas com concentração de CaCO<sub>3</sub> inferior ou igual a 50 mg/L.

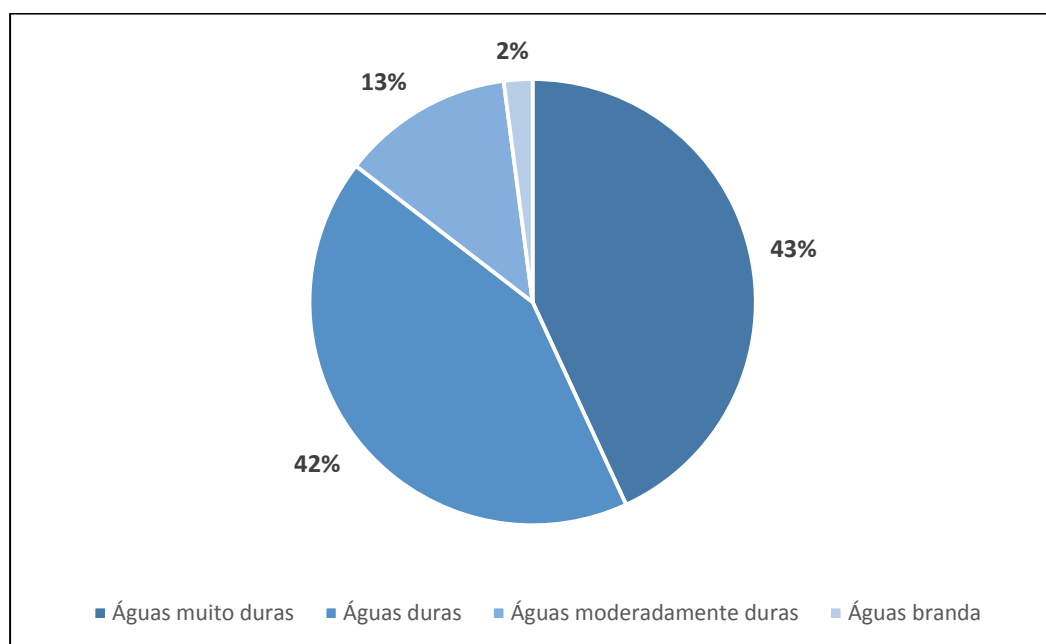


Figura 7. Percentuais das águas classificadas de acordo com o grau relativo de dureza para a Rede de Monitoramento Norte de Minas (Sub-bacias SF6, SF9 e SF10).

- Águas variando de ácidas a alcalinas, com predominância de águas com caráter neutro (pH entre 6,5 e 7,5), que representam 69,87% das medições realizadas.
- E salinidade, em geral, tolerável, com um valor médio de condutividade elétrica de 802  $\mu\text{S/cm}$ , a mediana correspondendo a 671  $\mu\text{S/cm}$  e 90% das medições apresentando valores abaixo de 15007  $\mu\text{S/cm}$ .

Os valores calculados para a Razão de adsorção de Sódio (RAS), que avalia a concentração de sódio em relação ao cálcio e magnésio, apresentaram-se todos abaixo de 13,0 sendo classificados como uma razão baixa.

A classificação das águas, em relação aos íons dominantes, foi feita a partir de diagrama de Piper, apresentado na Figura 8, e os resultados dessa classificação são apresentados na Tabela 9. O diagrama mostra que a maioria das águas são do tipo bicarbonatadas cálcicas (83% dos poços) seguidas das bicarbonatadas sódicas (8%) e das bicarbonatadas mistas (6%). As águas cálcicas mistas (1%) e cloretadas mistas (1%) completam a classificação. A sequência mais frequente é  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Mg}^{2+}$ .

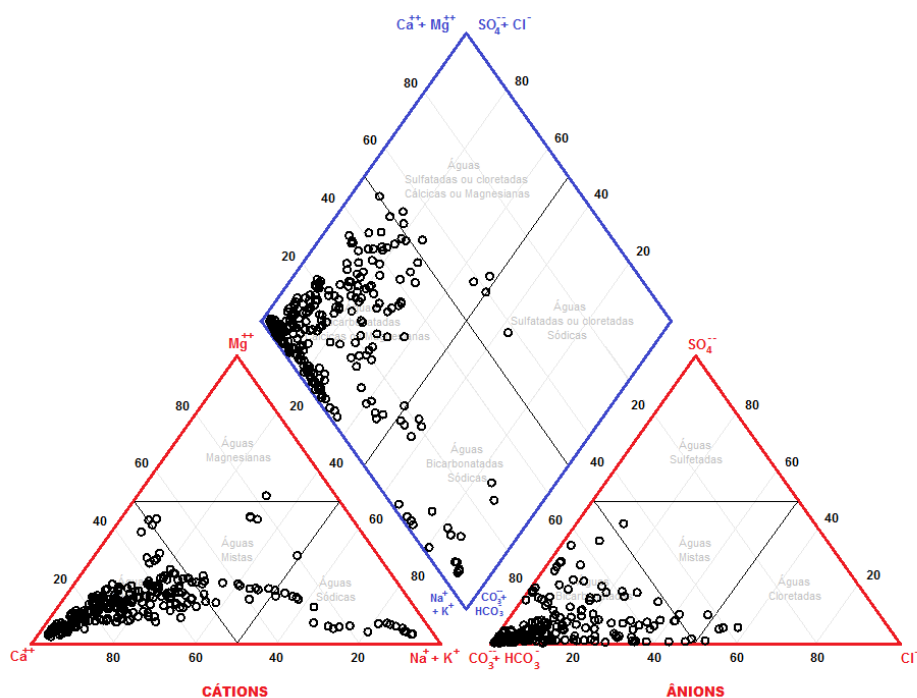


Figura 8 Diagrama trilinear de Piper para as medianas das concentrações iônicas nos poços monitorados nas sub-bacias SF6, SF9 e SF10, no período de 2015 à 2017.

Tabela 9. Distribuição das classes de águas obtidas pelo diagrama trilinear de Piper nos poços monitorados nas sub-bacias SF6, SF9 e SF10.

| Classe das Águas | Nº  | %    | Classes das Águas | Nº  | %    |
|------------------|-----|------|-------------------|-----|------|
| Sódicas          | 22  | 8,2  | Cloretadas        | 4   | 1,5  |
| Cálcicas         | 225 | 84,0 | Bicarbonatadas    | 261 | 97,4 |
| Magnesianas      | 1   | 0,4  | Sulfatadas        | 0   | 0,0  |
| Mistas (Cátions) | 20  | 7,4  | Mistas (ânions)   | 3   | 1,1  |

| Classe das Águas        | Nº  | %    | Classes das Águas          | Nº | %   |
|-------------------------|-----|------|----------------------------|----|-----|
| Sódicas Cloretadas      | 0   | 0,0  | Magnesianas Cloretadas     | 0  | 0,0 |
| Sódicas Bicarbonatadas  | 21  | 7,8  | Magnesianas Bicarbonatadas | 1  | 0,4 |
| Sódicas Sulfatadas      | 0   | 0,0  | Magnesianas Sulfatadas     | 0  | 0,0 |
| Sódicas Mistas          | 1   | 0,4  | Magnesianas Mistas         | 0  | 0,0 |
| Cálcicas Cloretadas     | 1   | 0,4  | Cloretadas Mistas          | 3  | 1,1 |
| Cálcicas Bicarbonatadas | 222 | 82,8 | Bicarbonatadas Mistas      | 17 | 6,3 |
| Cálcicas Sulfatadas     | 0   | 0,0  | Sulfatadas Mistas          | 0  | 0,0 |
| Cálcicas Mistas         | 2   | 0,8  | Mistas                     | 0  | 0,0 |

## 4.2 Atendimento a Limites estabelecidos para Diferentes Usos das Águas Subterrâneas nas Sub-Bacias SF6, SF9 e S10

Considerando os valores adotados da Resolução Conama 396/2008 e da Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde – nº 2914/2011, são apresentados, no gráfico abaixo, as frequências percentuais de violações aos padrões, por parâmetro, para cada tipo de uso (Figura 9).

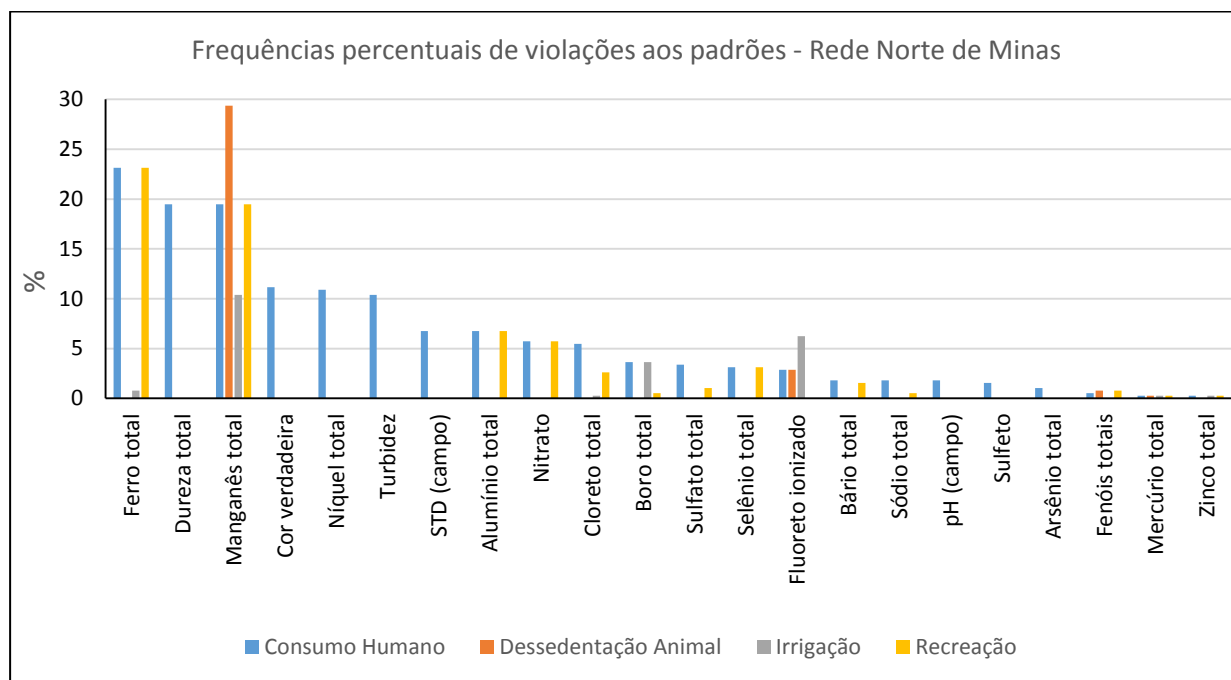


Figura 9. Frequência percentual de violação aos padrões para diferentes usos, para a Rede de Monitoramento Norte de Minas (Sub-bacias SF6, SF9 e SF10).

Dentre os padrões organolépticos, apresentaram violações aos limites estabelecidos: Ferro, Dureza Total, Manganês, Cor, Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Alumínio, Cloreto, Sódio e Zinco. Em relação aos parâmetros associados a risco à saúde humana os parâmetros que apresentaram violações foram: Níquel, Boro, Bário, Arsênio, Fenóis e Mercúrio.

Na Figura 10, são mostrados os percentuais de violação aos padrões de consumo humano, em relação ao total de medições realizadas para cada poço, tanto em relação aos padrões associados a risco à saúde humana, quanto para os padrões organolépticos, associados a gosto e odor.

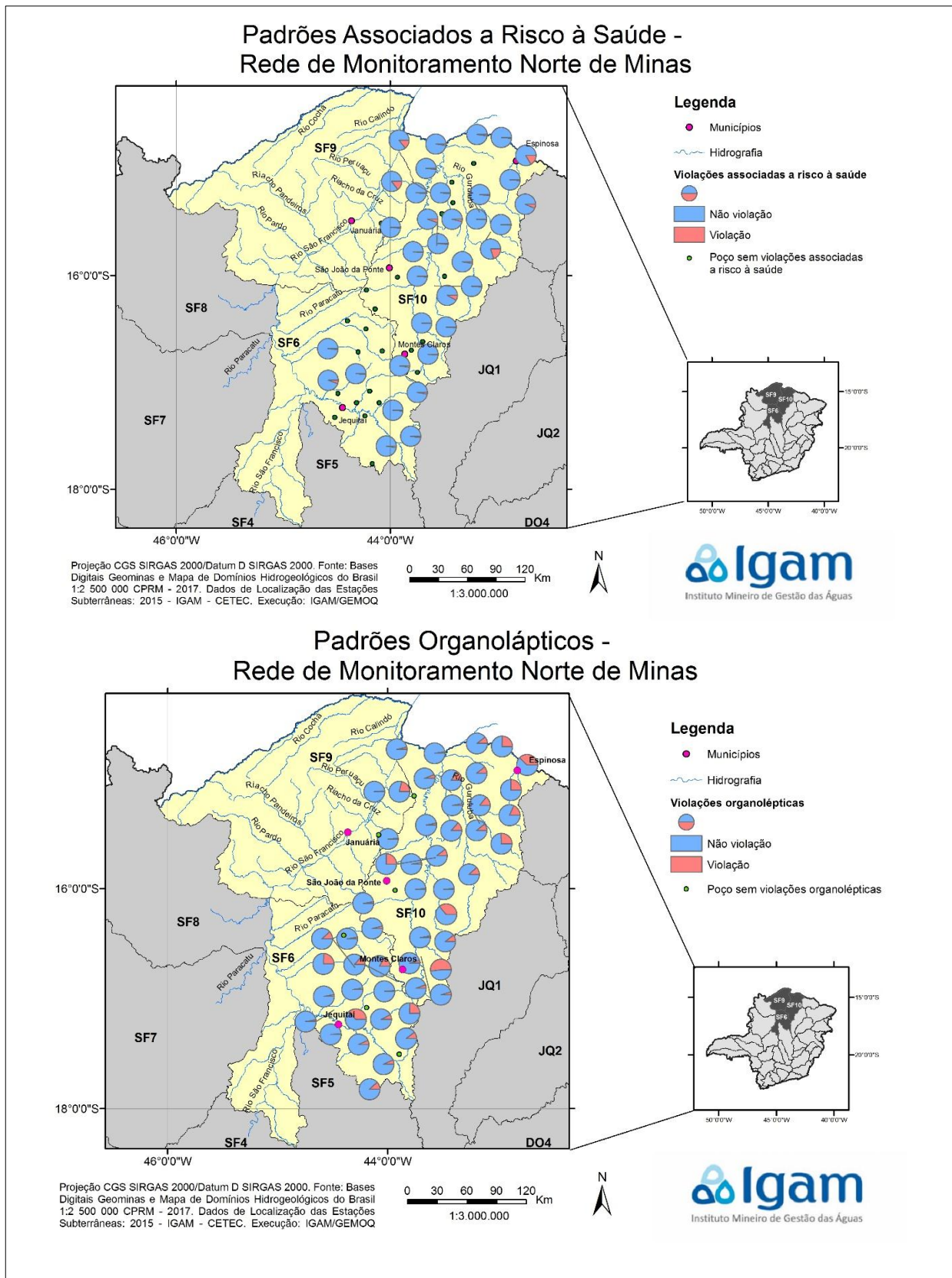


Figura 10. Percentuais de ocorrência de violação em relação ao total de medições realizadas, para cada poço da Rede Norte de Minas, frente aos parâmetros da água para consumo humano: (a) padrões associados a risco à saúde e (b) padrões organolépticos (que alteram sabor ou odor da água).

É observado que, apesar de grande parte dos poços apresentarem violações aos limites estabelecidos (35 dos 60 poços da rede), na maior parte desses a porcentagem de ocorrência de violações dos padrões associados ao risco à saúde é relativamente baixa em comparação com o número total de análises realizadas nas águas de cada poço, chegando a no máximo a 19,8% (Figura 10-a). Porém como grande parte desses poços são utilizados para consumo humano, e apenas uma parcela é submetida a tratamentos nas estações (ETA's) dos municípios, é exigível, nos casos em que não haja o tratamento prévio das águas, algumas restrições de uso ou mesmo vedação do consumo das mesmas.

Já em relação aos padrões organolépticos, é observado que um maior número de poços apresenta violações (51 dos 60 poços da rede) e que a porcentagem de ocorrência de violações destes padrões em comparação com o número total de análises realizadas nas águas de cada poço, é também, em geral, mais elevada, chegando a 51,9% para o poço JR001, por exemplo (Figura 10-b).

Na tabela e na figura abaixo são especificados os parâmetros que apresentaram violações em cada um dos poços, para o consumo humano.

*Tabela 10. Relação de pontos que apresentaram violações em relação aos padrões, para consumo humano, para a Rede Norte de Minas.*

| Município          | Estação      | Parâmetros Violados  | Município       | Estação      | Parâmetros Violados  |
|--------------------|--------------|--|-----------------|--------------|--|
| Bocaiúva           | <b>BC001</b> | Cloreto, Cor Verdadeira, Dureza total, Ferro total, Níquel total, STD, Turbidez                      | Jequitaiá       | <b>JQ003</b> | Alumínio total   |
| Bocaiúva           | <b>BC003</b> | Níquel total   | Juramento       | <b>JR001</b> | Alumínio total, Cor verdadeira, Dureza total, Ferro total, Manganês total, Níquel total, Sulfato, Turbidez |
| Capitão Enéias     | <b>CE001</b> | Níquel total   | Lagoa dos Patos | <b>LP001</b> | Alumínio, Ferro total, Nitrato   |
| Coração de Jesus   | <b>CJ004</b> | Alumínio total, Dureza total, Ferro total, Manganês total, Níquel total, Sulfato, Turbidez           | Monte Azul      | <b>MA001</b> | Cloreto, Dureza total, Manganês total, Níquel Nitrato, STD   |
| Coração de Jesus   | <b>CJ005</b> | Alumínio total, Ferro total, Manganês total, Turbidez  | Monte Azul      | <b>MA003</b> | Alumínio total, Cor verdadeira, Dureza total, Ferro total, Manganês total, Níquel total                    |
| Coração de Jesus   | <b>CJ006</b> | Alumínio total, Ferro total  | Montes Claros   | <b>MC002</b> | Alumínio total, Cloreto, Cor verdadeira, Ferro total, Mercúrio, Nitrato, Turbidez                          |
| Engenheiro Navarro | <b>EN001</b> | Cor verdadeira, Ferro Total  | Montes Claros   | <b>MC003</b> | Cloreto, Ferro total, Turbidez   |
| Espinosa           | <b>EP001</b> | Cloreto, Cor verdadeira, Dureza total, Ferro total, Níquel total, Nitrato, Selênio, Sódio total, STD | Montes Claros   | <b>MC004</b> | Ferro total  |
| Espinosa           | <b>EP004</b> | Cloreto, Dureza total, Níquel total, Nitrato   | Montes Claros   | <b>MC005</b> | Alumínio total, Cloreto, Cor verdadeira, , Ferro total, Turbidez   |

Tabela 10. Relação de pontos que apresentaram violações em relação aos padrões, para consumo humano, para a Rede Norte de Minas (continuação).

|                  |              |  |                     |               |  |
|------------------|--------------|--|---------------------|---------------|--|
| Espínosa         | <b>EP006</b> | Cloreto, Cor verdadeira, Dureza total, Ferro total, Manganês total, Níquel total, STD                                    | Montes Claros       | <b>MC006</b>  | Ferro total, Turbidez  |
| Francisco Dumont | <b>FD001</b> | Ferro total, Turbidez  | Mirabela            | <b>MR001</b>  | Alumínio total, Cloreto, Ferro total   |
| Francisco Dumont | <b>FD002</b> | Ferro total, Manganês total  | Mirabela            | <b>MR002</b>  | Alumínio total, Turbidez   |
| Francisco Sá     | <b>FS002</b> | Cor verdadeira, Manganês total, Turbidez   | Matias Cardoso      | <b>MTC001</b> | Cor verdadeira, Ferro total, Níquel total, Turbidez  |
| Francisco Sá     | <b>FS003</b> | Dureza total, Manganês total, Níquel total   | Matias Cardoso      | <b>MTC002</b> | Alumínio total, Boro total, Fluoreto, Sódio total  |
| Francisco Sá     | <b>FS004</b> | Alumínio total, Cor verdadeira, Dureza total, Ferro total, Manganês total, Níquel total, Selênio, STD, Sulfato, Turbidez | Matias Cardoso      | <b>MTC006</b> | Ferro total, Níquel total  |
| Francisco Sá     | <b>FS007</b> | Dureza total, Níquel total   | Pai Pedro           | <b>PP001</b>  | Alumínio total, Bário total, Cloreto, Dureza total, Ferro total, Manganês total, Níquel total, Nitrato, Selênio total, STD |
| Gameleiras       | <b>GM001</b> | Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total, Turbidez  | Pai Pedro           | <b>PP002</b>  | Alumínio total, Ferro total, Manganês total, Níquel total, Turbidez  |
| Jaíba            | <b>JB003</b> | Boro, Cor verdadeira, Fluoreto, Níquel total   | Riacho dos Machados | <b>RM001</b>  | Ferro total  |
| Jaíba            | <b>JB007</b> | Cor verdadeira, Ferro total, Níquel total, Turbidez  | São João da Ponte   | <b>SP001</b>  | Alumínio total, Ferro total, Níquel total  |
| Jaíba            | <b>JB008</b> | Níquel total   | São João da Ponte   | <b>SP002</b>  | Dureza total, Níquel total   |
| Jaíba            | <b>JB020</b> | Cor verdadeira, Ferro total, manganês total, Turbidez  | Verdelândia         | <b>VD001</b>  | Alumínio total, Níquel total, Turbidez   |
| Jaíba            | <b>JB021</b> | Turbidez   | Verdelândia         | <b>VD003</b>  | Cloreto, Dureza total, Manganês total, Níquel total, Nitrato, Selênio, STD, Sulfato  |
| Joaquim Felício  | <b>JF001</b> | Ferro total, Manganês total  | Verdelândia         | <b>VD013</b>  | Dureza total, Ferro total  |
| Joaquim Felício  | <b>JF002</b> | Alumínio total, Ferro total, Níquel total, Turbidez  | Verdelândia         | <b>VD014</b>  | Cor verdadeira, Dureza total, Níquel total, STD  |
| Janaúba          | <b>JN001</b> | Dureza total, Manganês total, Níquel total, Sulfato  | Verdelândia         | <b>VD020</b>  | Alumínio total, Cloreto, Dureza total, Ferro total, Níquel total, STD, Zinco total   |
| Jequitai         | <b>JQ001</b> | Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total, Turbidez  | Verdelândia         | <b>VD022</b>  | Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total, Nitrato   |
| Jequitai         | <b>JQ002</b> | Alumínio total e Manganês total  | Varzelândia         | <b>VZ006</b>  | Alumínio total, Níquel total   |



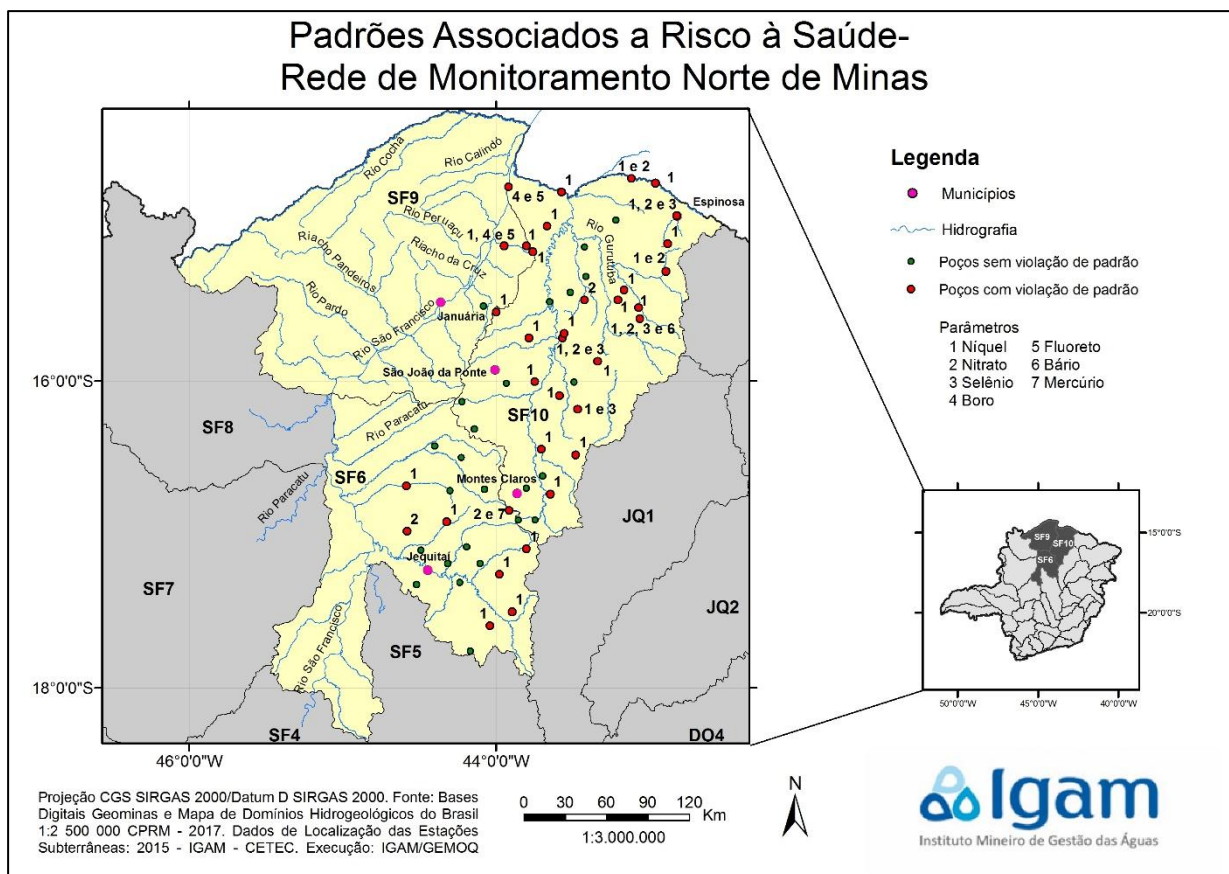


Figura 11. Ocorrência de violação de padrões legais associados a risco à saúde, especificados os padrões, por poço da atual configuração da Rede Norte de Minas.

### 4.3 Qualidade na Sub-Bacia SF5 (Rede da Bacia do Rio das Velhas)

Para o período de amostragem considerado no presente relatório, foram realizadas, para a Rede da Bacia do Rio das Velhas, 4 campanhas semestrais, com início no segundo semestre de 2015, que totalizaram mais de 6.000 resultados.

Os resultados de qualidade das águas subterrâneas obtidos nos 38 pontos monitorados nessa bacia apontam como principais características:

- Águas, em geral, duras, com valores para Alcalinidade de Bicarbonato (mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) apresentando uma média de 160,6 mg/L e com 53% sendo classificadas como duras.

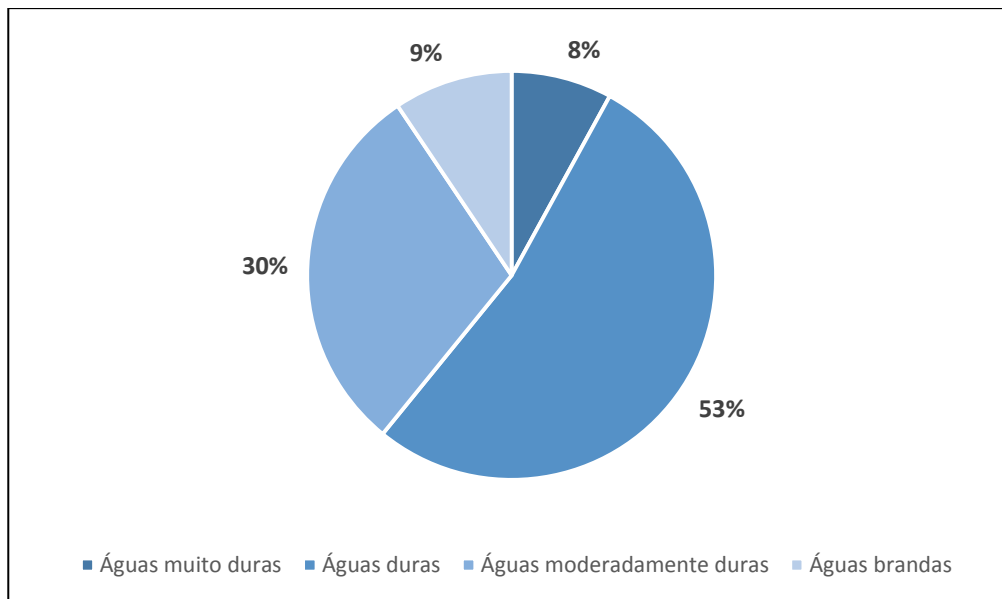


Figura 12. Percentuais das águas classificadas de acordo com o grau relativo de dureza para a Rede de Monitoramento Bacia do Rio das Velhas.

- Valores de pH medidos em campo variando de 5,9 a 8,9, ou seja, com águas variando de alcalinas a ácidas, mas com um valor médio de 7,32 e com maioria sendo classificadas como neutras (69,57% dos valores entre 6,5 e 7,5).
- E salinidade tolerável, com 100% dos poços monitorados apresentando valores de condutividade elétrica menores 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

A classificação das águas, com relação aos íons dominantes, foi feita a partir de diagrama de Piper, apresentado na Figura 13 e os resultados dessa classificação são apresentados na Tabela 11. O diagrama mostra que a maioria das águas são do tipo bicarbonatadas cálcicas (75% dos poços) seguidas das bicarbonatadas mistas (14%) e das bicarbonatadas sódicas (10%). A sequência mais frequente de distribuição dos íons é:  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ .

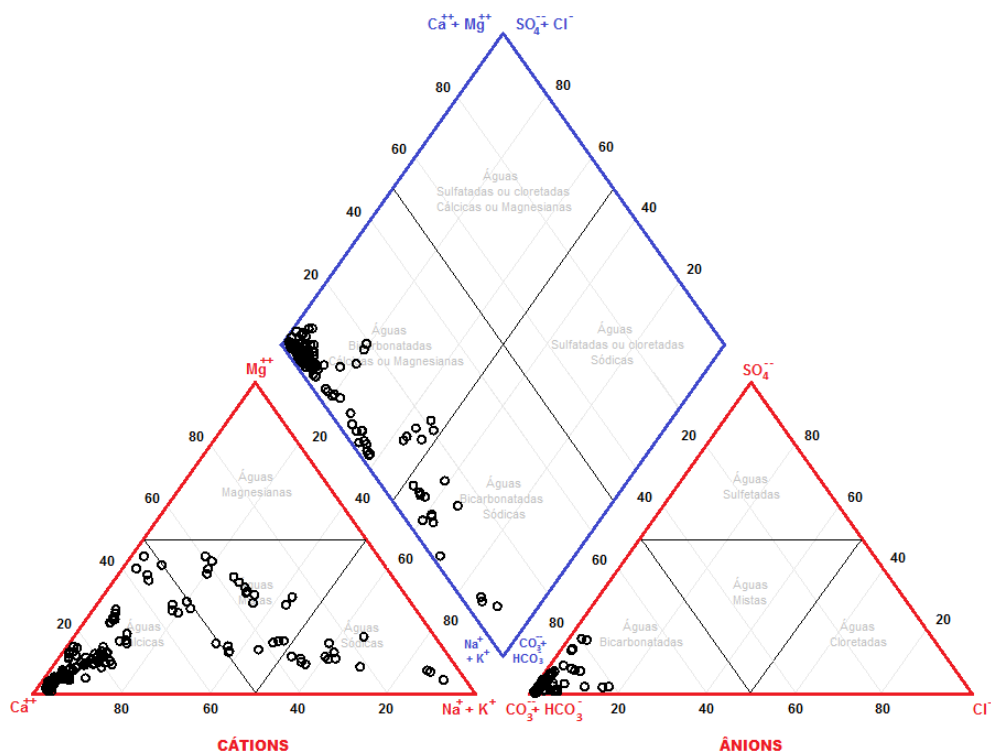


Figura 13 Diagrama trilinear de Piper para as medianas das concentrações iônicas nos poços monitorados na sub-bacia SF5, no período de 2015 a 2017.

Tabela 11. Distribuição das classes de águas obtidas pelo diagrama trilinear de Piper nos poços monitorados na sub-bacia SF5.

| Classe das Águas | Nº  | %    | Classes das Águas | Nº  | %     |
|------------------|-----|------|-------------------|-----|-------|
| Sódicas          | 14  | 10,1 | Cloretadas        | 0   | 0,0   |
| Cálcicas         | 104 | 75,4 | Bicarbonatadas    | 138 | 100,0 |
| Magnesianas      | 0   | 0    | Sulfatadas        | 0   | 0,0   |
| Mistas (Cátions) | 20  | 14,5 | Mistas (ânions)   | 0   | 0,0   |

| Classe das Águas        | Nº  | %    | Classes das Águas          | Nº | %    |
|-------------------------|-----|------|----------------------------|----|------|
| Sódicas Cloretadas      | 0   | 0,0  | Magnesianas Cloretadas     | 0  | 0,0  |
| Sódicas Bicarbonatadas  | 14  | 10,1 | Magnesianas Bicarbonatadas | 0  | 0,0  |
| Sódicas Sulfatadas      | 0   | 0,0  | Magnesianas Sulfatadas     | 0  | 0,0  |
| Sódicas Mistas          | 0   | 0,0  | Magnesianas Mistas         | 0  | 0,0  |
| Cálcicas Cloretadas     | 0   | 0,0  | Cloretadas Mistas          | 0  | 0,0  |
| Cálcicas Bicarbonatadas | 104 | 75,4 | Bicarbonatadas Mistas      | 20 | 14,5 |
| Cálcicas Sulfatadas     | 0   | 0,0  | Sulfatadas Mistas          | 0  | 0,0  |
| Cálcicas Mistas         | 0   | 0,0  | Mistas                     | 0  | 0,0  |

A tabela abaixo apresenta um resumo estatístico contendo os parâmetros utilizados para avaliar a qualidade das águas subterrâneas (Tabela 12).

Tabela 12. Síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas – estatística descritiva – para a Rede de Monitoramento Bacia do Rio das Velhas.

| Variável  | Nº de Dados | Mínimo | Mediana | Máximo | Média  | Desvio Padrão | % dados faltantes | % dados censurados |
|---|-------------|--------|---------|--------|--------|---------------|-------------------|--------------------|
| pH  | 138         | 5,9    | 7,3     | 8,9    | 7,3    | 0,5           | 8,0               | 0,0                |
| Condutividade Elétrica - CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | 138         | 29     | 339     | 712    | 328    | 155           | 8,0               | 0,0                |
| Sólidos Totais Dissolvidos in loco -STD (mg/L)          | 33          | 0      | 300     | 600    | 297    | 149           | 78,0              | 0,0                |
| Alcalinidade de bicarbonato (mg/L $\text{CaCO}_3$ )     | 138         | 10,5   | 165,0   | 412,0  | 160,6  | 79,3          | 8,0               | 0,0                |
| Arsênio (mg/L As)                                       | 33          | 0,0011 | 0,0016  | 0,0241 | 0,0032 | 0,0045        | 8,0               | 70,0               |
| Boro (mg/L B)   | 6           | 0,19   | 0,30    | 0,58   | 0,34   | 0,17          | 8,0               | 88,0               |
| Cloreto Total (mg/L Cl-)                                | 80          | 0,53   | 2,72    | 34,00  | 5,09   | 6,30          | 8,0               | 38,7               |
| Dureza Total (mg/L $\text{CaCO}_3$ )                    | 138         | 6,4    | 155,0   | 393,0  | 142,3  | 79,8          | 8,0               | 0,0                |
| Fenóis (mg/L)   | 2           | 0,002  | 0,003   | 0,003  | 0,003  | 0,001         | 9,3               | 90,0               |
| Fluoreto (mg/L F-)                                      | 71          | 0,10   | 0,20    | 1,29   | 0,36   | 0,32          | 8,0               | 44,7               |
| Fósforo Total (mg/L P)                                  | 92          | 0,02   | 0,05    | 0,65   | 0,07   | 0,08          | 8,0               | 46,0               |
| Magnésio dissolvido (mg/L $\text{Mg}^{2+}$ )            | 138         | 0,426  | 4,300   | 17,410 | 5,000  | 3,443         | 8,0               | 0,0                |
| Nitrato (mg/L $\text{NO}_3^-$ )                         | 114         | 0,10   | 0,47    | 4,53   | 0,77   | 0,87          | 8,0               | 16,0               |
| Sulfato total (mg/L $\text{SO}_4^{2-}$ )                | 36          | 5,0    | 18,1    | 34,8   | 17,0   | 10,3          | 8,0               | 68,0               |
| Turbidez (NTU)  | 49          | 0,5    | 2,1     | 35,8   | 4,3    | 6,6           | 8,0               | 59,3               |
| Alumínio Total (mg/L Al)                                | 44          | 0,02   | 0,09    | 0,79   | 0,12   | 0,12          | 8,0               | 62,7               |
| Bário (mg/L Ba)   | 118         | 0,006  | 0,021   | 0,211  | 0,032  | 0,036         | 8,0               | 13,3               |
| Cálcio Dissolvido (mg/L $\text{Ca}^{2+}$ )              | 138         | 1,85   | 55,10   | 134,49 | 50,61  | 32,30         | 8,0               | 0,0                |
| Cobre Total (mg/L Cu)                                   | 12          | 0,005  | 0,021   | 0,107  | 0,029  | 0,030         | 8,0               | 84,0               |
| Ferro Total (mg/L Fe)                                   | 114         | 0,03   | 0,10    | 4,58   | 0,29   | 0,62          | 8,0               | 16,0               |
| Manganês Total (mg/L Mn)                                | 49          | 0,003  | 0,041   | 4,146  | 0,221  | 0,627         | 8,0               | 59,3               |
| Níquel (mg/L Ni)  | 52          | 0,005  | 0,011   | 0,027  | 0,011  | 0,005         | 8,0               | 57,3               |
| Potássio dissolvido (mg/L $\text{K}^+$ )                | 138         | 0,16   | 0,70    | 3,63   | 0,94   | 0,72          | 8,0               | 0,0                |
| Sódio total (mg/L Na)                                   | 138         | 0,14   | 4,00    | 126,33 | 11,03  | 21,77         | 8,0               | 0,0                |
| Zinco (mg/L)  | 35          | 0,23   | 0,06    | 0,63   | 0,12   | 0,14          | 8,0               | 68,7               |

#### 4.4 Atendimento a Limites estabelecidos para Diferentes Usos das Águas Subterrâneas na Sub-Bacia SF5 (Rede da Bacia do Rio das Velhas)

Para a Rede da Bacia do Rio das Velhas, as frequências percentuais de violações aos padrões, por parâmetro, para os diferentes usos são apresentadas no gráfico abaixo (Figura 14).

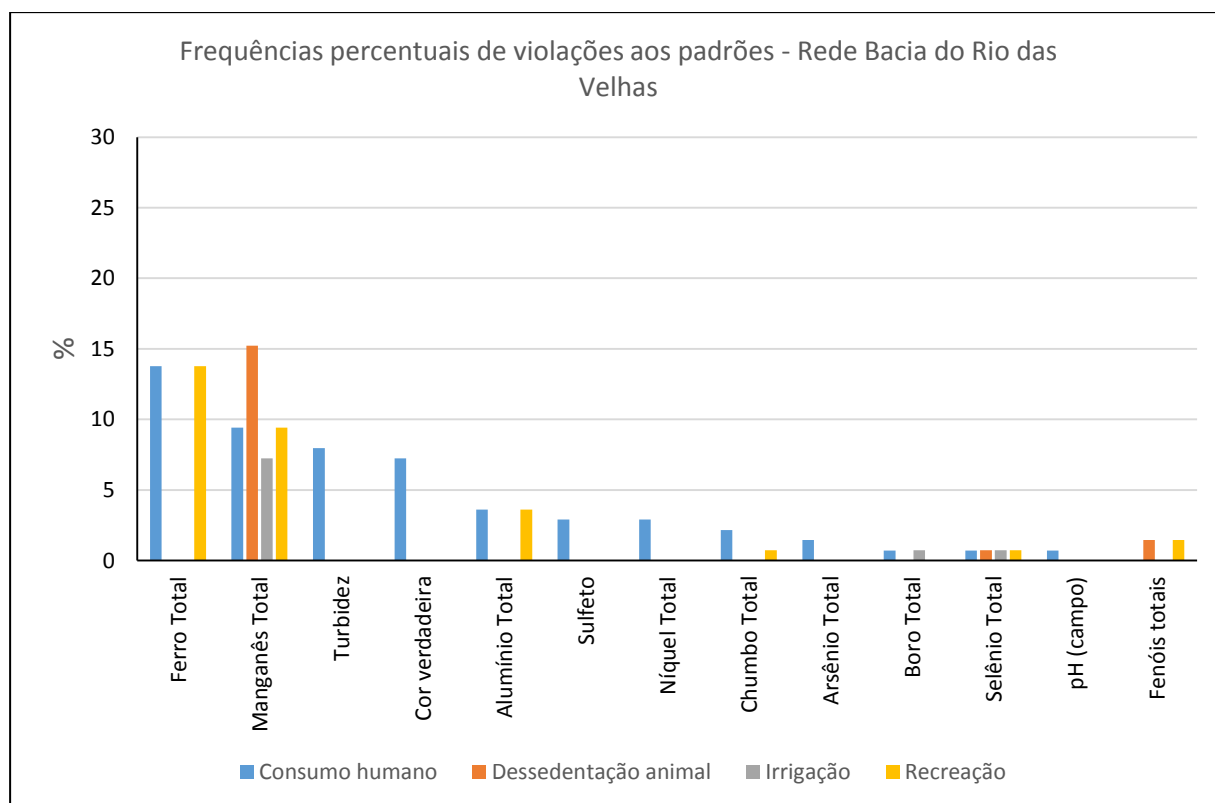


Figura 14. Frequência percentual de violação aos padrões para diferentes usos, para a Rede Bacia do Rio das Velhas.

Os padrões organolépticos que apresentaram violações aos limites estabelecidos foram: Ferro, Turbidez, Cor, Manganês e Alumínio. Em relação aos parâmetros associados ao risco à saúde humana os parâmetros que apresentaram violações foram: Chumbo, Arsênio, Boro, Níquel e Selênio.

Na Figura 15 são mostrados os percentuais de violação aos padrões de consumo humano, em relação ao total de medições realizadas em cada poço, tanto em relação aos padrões associados a risco à saúde humana, quanto para os padrões organolépticos.

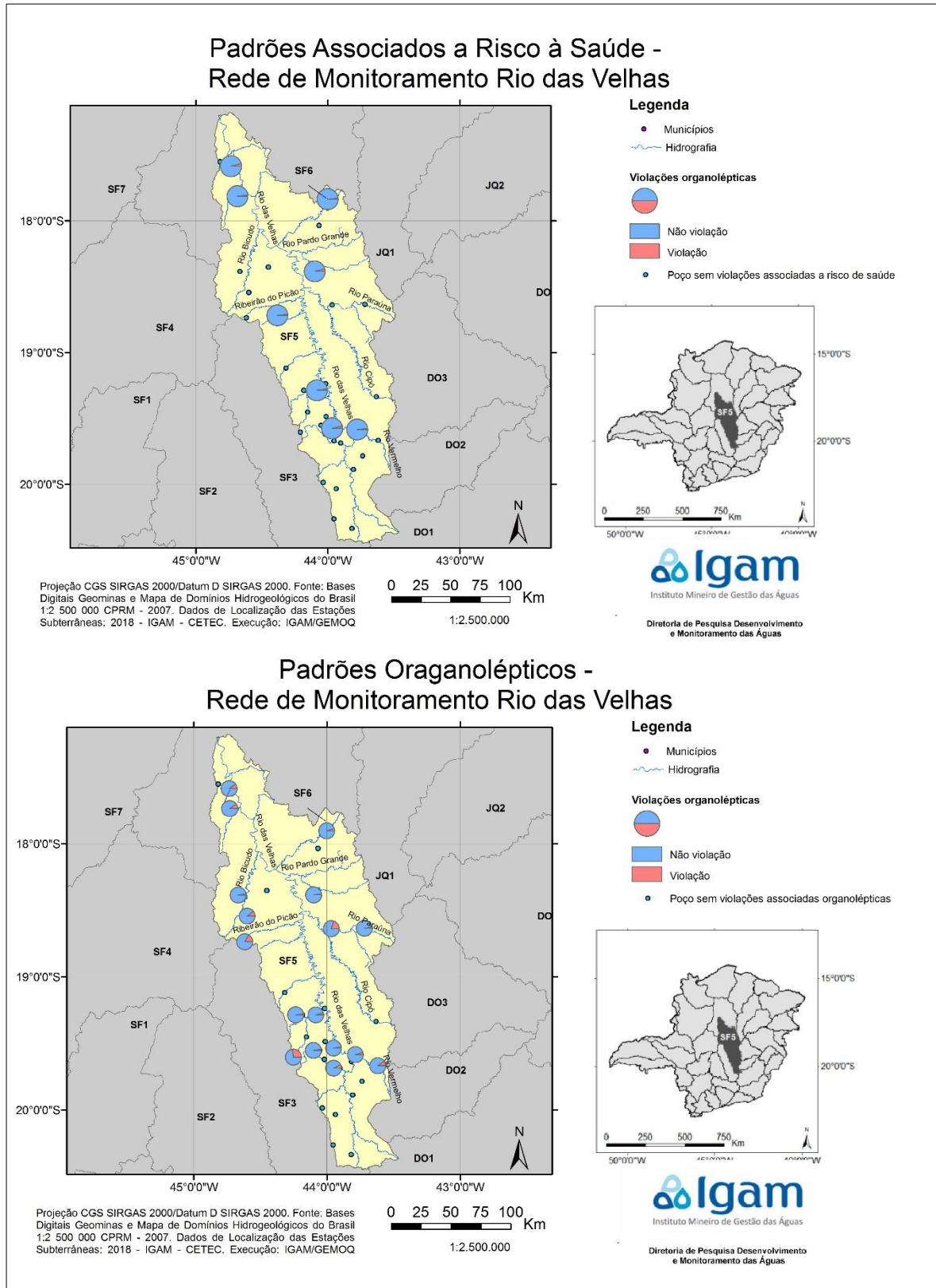


Figura 15. Percentuais de ocorrência de violação em relação ao total de medições realizadas, para cada poço da Rede Bacia do Rio das Velhas, frente aos parâmetros da água para consumo humano: (a) padrões associados a risco à saúde e (b) padrões organolépticos (que alteram sabor ou odor).

Observa-se que apenas 8 dos 38 poços da rede apresentaram violações aos padrões associados a risco à saúde, e mesmo nestes a frequência de violações é muito baixa, chegando no máximo a 4%. Em relação aos padrões organolépticos, uma maior parcela dos poços apresenta violações aos limites estabelecidos, mas também com frequências percentuais baixas, o poço CBCSL apresentou um percentual mais elevado que os outros com 11 violações e um percentual de 26,8%.

Ressalta-se que mesmo com os baixos percentuais é necessário um rigoroso acompanhamento e verificação de que haja um tratamento adequado para essas águas visto que muitas dessas são utilizadas para consumo humano.

Na Tabela 13 e na Figura 16 são especificados os parâmetros que apresentaram violações em cada um dos poços.

*Tabela 13. Relação de pontos que apresentaram violações em relação aos padrões, para consumo humano, para a Rede da Bacia do Rio das Velhas*

| <b>Município</b> | <b>Estação</b> | <b>Parâmetros Violados</b>                             |
|------------------|----------------|--|
| Araçai           | <b>ARAPJ</b>   | Ferro total  |
| Buenópolis       | <b>BUCGO</b>   | Níquel total   |
| Capim Branco     | <b>CBCSL</b>   | Alumínio total, Ferro, total, Turbidez                 |
| Corinto          | <b>COFBM</b>   | Ferro total  |
| Curvelo          | <b>CUCC13</b>  | Níquel total   |
| Datas            | <b>DATOM</b>   | Turbidez   |
| Funilândia       | <b>FUGSJT</b>  | Ferro total, Selênio total                             |
| Gouveia          | <b>GOUPA</b>   | Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total, Turbidez, |
| Jabuticatubas    | <b>JABRA</b>   | Chumbo total, Cor verdadeira, Ferro total              |
| Lassance         | <b>LSCBA</b>   | Cor verdadeira, Turbidez                               |
| Lassance         | <b>LSCBR</b>   | Boro total   |
| Lagoa Santa      | <b>LSQSU</b>   | Alumínio total, Arsênio total, Turbidez                |
| Morro da Garça   | <b>MGCC02</b>  | Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total            |
| Morro da Garça   | <b>MGNOA</b>   | Cor verdadeira, Ferro total, Turbidez                  |
| Monjolo          | <b>MONOA</b>   | Cor verdadeira, Níquel total                           |
| Matozinhos       | <b>MTBSP</b>   | Cor verdadeira   |
| Pedro Leopoldo   | <b>PLFID</b>   | Cor verdadeira   |
| São José da Lapa | <b>SJLRM</b>   | Cor verdadeira, Ferro total, Turbidez                  |
| Várzea Da Palma  | <b>VPBGU</b>   | Manganês total   |
| Várzea Da Palma  | <b>VPCEM</b>   | Chumbo total, Ferro total, Manganês total              |

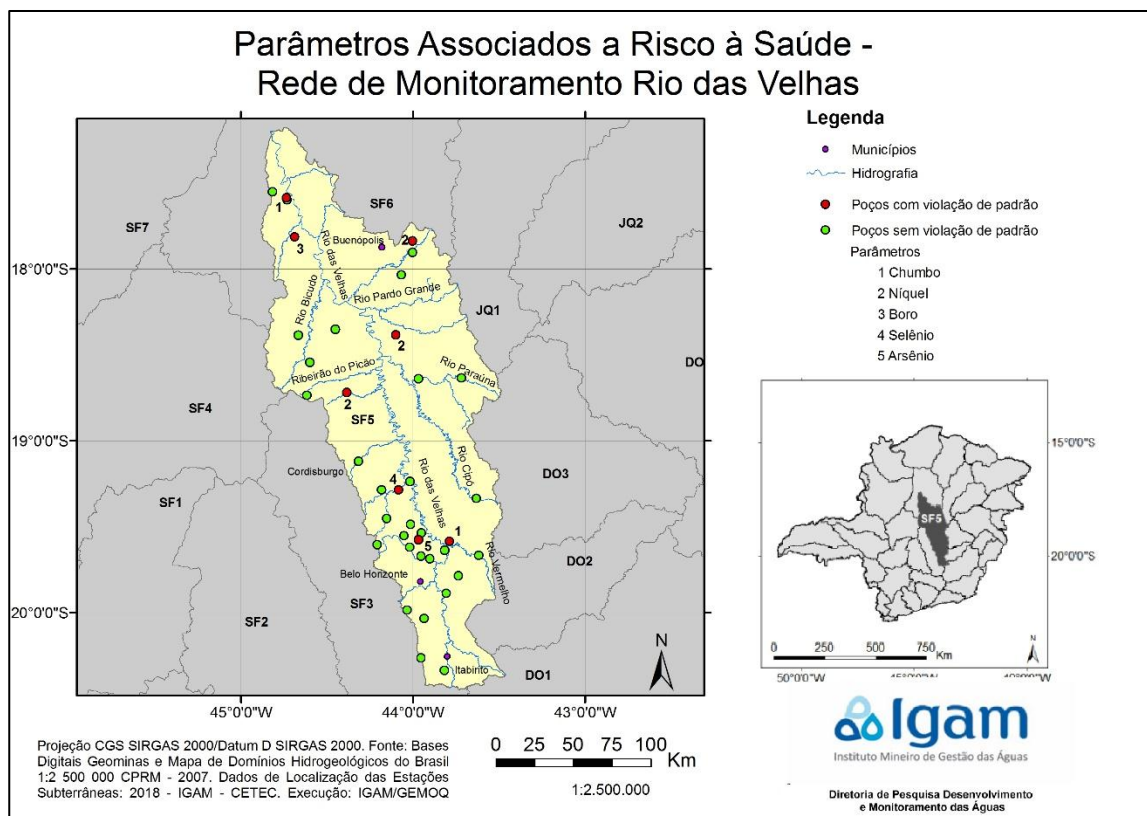


Figura 16. Ocorrência de violação de padrões legais associados a risco à saúde, especificados os padrões, por poço da atual configuração da Rede da Bacia do Rio das Velhas.

#### 4.5 Qualidade do Aquífero Guarani

Para o Aquífero Guarani, durante o período de monitoramento de 2015 a 2017 foram realizadas 3 campanhas, visto que a periodicidade de amostragem para a rede é anual, todas no último semestre de cada ano. Com isso, foram obtidos mais de 800 resultados de análises para os 5 poços monitorados.

A qualidade hidroquímica das águas subterrâneas da Rede Guarani é apresentada resumidamente por meio do tratamento estatístico dos parâmetros na Tabela 14.

As principais características observadas para as águas subterrâneas da região são:

- Águas variando de brandas a duras, com 3 dos 5 poços monitorados durante o período sendo classificadas como apresentando águas moderadamente duras (CAL1, FRT1 e UBR3), ou seja, com valores de mg/L de  $\text{CaCO}_3$  abaixo de 150 e acima de 50 mg/L.
- Em relação aos valores de pH e condutividade elétrica, foram feitas análises somente no ano de 2017. Todos os 5 poços apresentaram valores de pH acima de 7,5, o que



faz com que todas sejam classificadas como águas alcalinas. Para o parâmetro de condutividade elétrica, apenas um dos poços (CD3) apresentou resultado muito acima de 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com um valor de 13380  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando salinidade acima da tolerável.

- E características hidrotermais observadas nos poços monitorados, cuja temperatura das águas variou entre 28°C e 58,9°C. O aquecimento natural dessas fontes ocorre em grandes profundidades e é dado em função do grau geotérmico presente na região. Essa característica faz com que o uso para recreação seja observado na região.

Tabela 14. Síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas – estatística descritiva – para a Rede de Monitoramento Guarani.

| Variável  | Nº de Dados | Mínimo | Mediana | Máximo  | Média  | Desvio Padrão | % dados faltantes | % dados censurados |
|---|-------------|--------|---------|---------|--------|---------------|-------------------|--------------------|
| pH  | 5           | 7,5    | 8,4     | 9,8     | 8,7    | 1,1           | 66,7              | 0                  |
| Condutividade Elétrica - CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | 5           | 130    | 258     | 13380   | 2843   | 5890          | 66,7              | 0                  |
| Alcalinidade de bicarbonato (mg/L $\text{CaCO}_3$ )     | 14          | 38,0   | 67,5    | 210,0   | 94,5   | 62,2          | 6,7               | 0                  |
| Arsênio (mg/L As)                                       | 7           | 0,0013 | 0,0019  | 0,0348  | 0,0114 | 0,0133        | 6,7               | 46,7               |
| Boro (mg/L B)   | 3           | 7,94   | 8,16    | 19,62   | 11,91  | 6,68          | 6,7               | 73,3               |
| Cloreto Total (mg/L $\text{Cl}^-$ )                     | 9           | 1,12   | 4,58    | 1505,00 | 364,20 | 583,33        | 33,3              | 6,7                |
| Dureza Total (mg/L $\text{CaCO}_3$ )                    | 14          | 2,3    | 40,9    | 506,0   | 125,6  | 196,7         | 6,7               | 0                  |
| Fluoreto (mg/L F <sup>-</sup> )                         | 14          | 0,110  | 0,220   | 2,330   | 0,606  | 0,816         | 6,7               | 0                  |
| Fósforo Total (mg/L P)                                  | 10          | 0,02   | 0,06    | 0,18    | 0,06   | 0,05          | 6,7               | 26,7               |
| Magnésio dissolvido (mg/L $\text{Mg}^{2+}$ )            | 14          | 0,012  | 1,650   | 41,720  | 8,620  | 14,023        | 6,7               | 0                  |
| Nitrato (mg/L $\text{NO}_3^-$ )                         | 11          | 0,10   | 0,25    | 35,80   | 3,92   | 10,61         | 6,7               | 20,0               |
| Sulfato total (mg/L $\text{SO}_4^{2-}$ )                | 9           | 5,2    | 41,2    | 11267,0 | 2715,8 | 4361,7        | 6,7               | 33,3               |
| Alumínio Total (mg/L Al)                                | 11          | 0,02   | 0,19    | 0,36    | 0,19   | 0,10          | 6,7               | 20,0               |
| Bário (mg/L Ba)   | 7           | 0,007  | 0,020   | 0,074   | 0,034  | 0,027         | 6,7               | 46,7               |
| Cálcio Dissolvido (mg/L $\text{Ca}^{2+}$ )              | 14          | 0,95   | 13,81   | 157,70  | 35,15  | 54,34         | 6,7               | 0                  |
| Ferro Total (mg/L Fe)                                   | 10          | 0,05   | 0,14    | 0,60    | 0,18   | 0,16          | 6,7               | 26,7               |
| Manganês Total (mg/L Mn)                                | 3           | 0,063  | 0,072   | 0,222   | 0,119  | 0,089         | 6,7               | 73,3               |
| Níquel (mg/L Ni)  | 2           | 0,008  | 0,008   | 0,008   | 0,008  | 0,008         | 6,7               | 80,0               |
| Potássio dissolvido (mg/L $\text{K}^+$ )                | 14          | 0,49   | 2,94    | 48,14   | 9,20   | 14,48         | 6,7               | 0                  |
| Selênio (mg/L Se)                                       | 4           | 0,0026 | 0,0107  | 0,0132  | 0,0093 | 0,0047        | 6,7               | 66,7               |
| Sódio total (mg/L Na)                                   | 14          | 1,85   | 49,00   | 6091,10 | 906,76 | 1866,59       | 6,7               | 0                  |
| Zinco (mg/L)  | 4           | 0,02   | 0,03    | 0,04    | 0,03   | 0,01          | 6,7               | 66,7               |

A classificação das águas, com relação aos íons dominantes, foi feita a partir de diagrama de Piper, apresentado na Figura 17 e os resultados dessa classificação são apresentados na Tabela 15. O diagrama mostra que a maioria das águas é bicarbonatada sódica (43% dos poços), seguido das bicarbonatadas cálcicas (21%) e bicarbonatadas mistas (14%). A distribuição de íons segue comumente a sequência  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^-$ . As águas classificadas com sódicas sulfatadas tem a seguinte sequência de distribuição de íons:  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ .

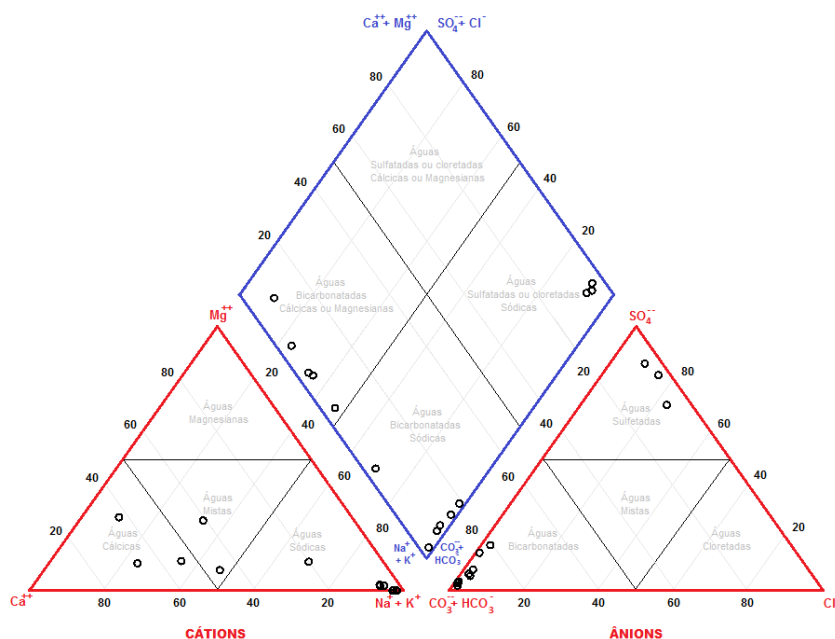


Figura 17 Diagrama trilinear de Piper para as medianas das concentrações iônicas nos poços monitorados no Aquífero Guarani no período de 2015 à 2017.

Tabela 15. Distribuição das classes de águas obtidas pelo diagrama trilinear de Piper nos poços monitorados no Aquífero Guarani.

| Classe das Águas        | Nº | %    | Classes das Águas      | Nº | %    |
|-------------------------|----|------|------------------------|----|------|
| <b>Sódicas</b>          | 9  | 64,3 | <b>Cloretadas</b>      | 0  | 0,0  |
| <b>Cálcicas</b>         | 3  | 21,4 | <b>Bicarbonatadas</b>  | 11 | 78,6 |
| <b>Magnesianas</b>      | 0  | 0,0  | <b>Sulfatadas</b>      | 3  | 21,4 |
| <b>Mistas (Cátions)</b> | 2  | 14,3 | <b>Mistas (ânions)</b> | 0  | 0,0  |

| Classe das Águas               | Nº | %    | Classes das Águas          | Nº | %    |
|--------------------------------|----|------|----------------------------|----|------|
| <b>Sódicas Cloretadas</b>      | 0  | 0,0  | Magnesianas Cloretadas     | 0  | 0,0  |
| <b>Sódicas Bicarbonatadas</b>  | 6  | 42,9 | Magnesianas Bicarbonatadas | 0  | 0,0  |
| <b>Sódicas Sulfatadas</b>      | 3  | 21,4 | Magnesianas Sulfatadas     | 0  | 0,0  |
| <b>Sódicas Mistas</b>          | 0  | 0,0  | Magnesianas Mistas         | 0  | 0,0  |
| <b>Cálcicas Cloretadas</b>     | 0  | 0,0  | Cloretadas Mistas          | 0  | 0,0  |
| <b>Cálcicas Bicarbonatadas</b> | 3  | 21,4 | Bicarbonatadas Mistas      | 2  | 14,3 |
| <b>Cálcicas Sulfatadas</b>     | 0  | 0,0  | Sulfatadas Mistas          | 0  | 0,0  |
| <b>Cálcicas Mistas</b>         | 0  | 0,0  | Mistas                     | 0  | 0,0  |

#### 4.6 Atendimento a Limites estabelecidos para Diferentes Usos das Águas Subterrâneas no Aquífero Guarani

Em relação às frequências percentuais de violações aos padrões, por parâmetro, para os diferentes usos, considerando a Resolução Conama 396/2008 e a Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde – nº 2914/2011, essas são apresentadas no gráfico abaixo (Figura 18).

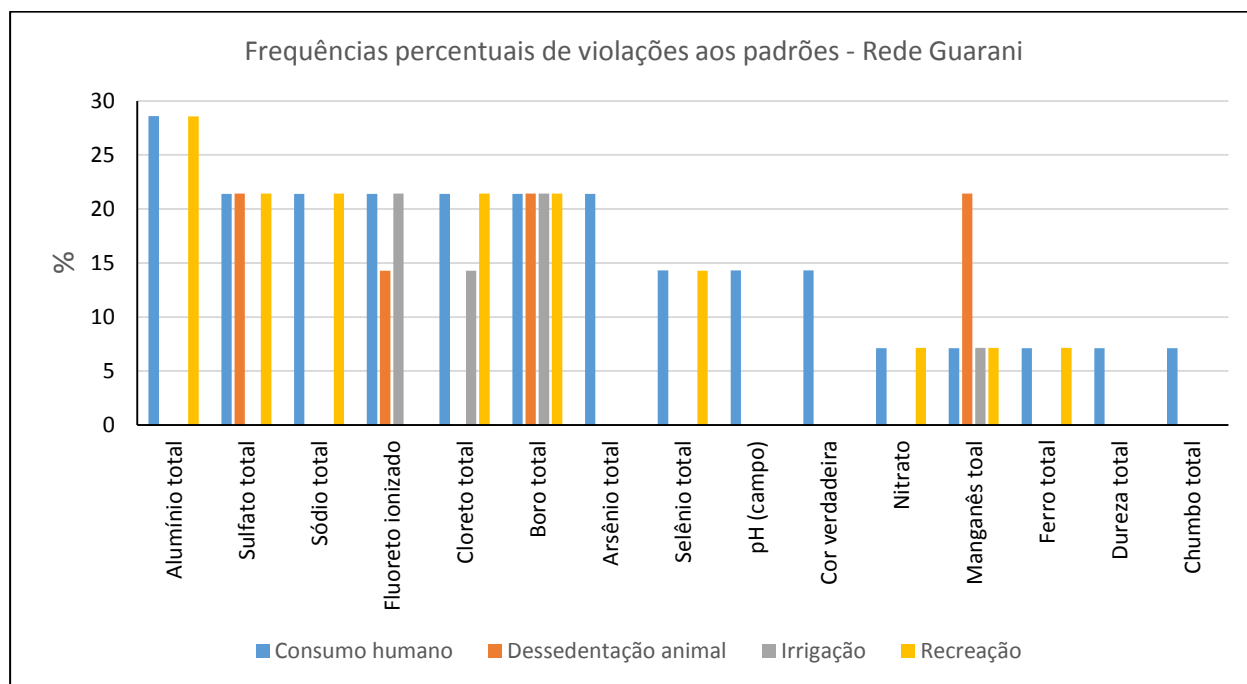
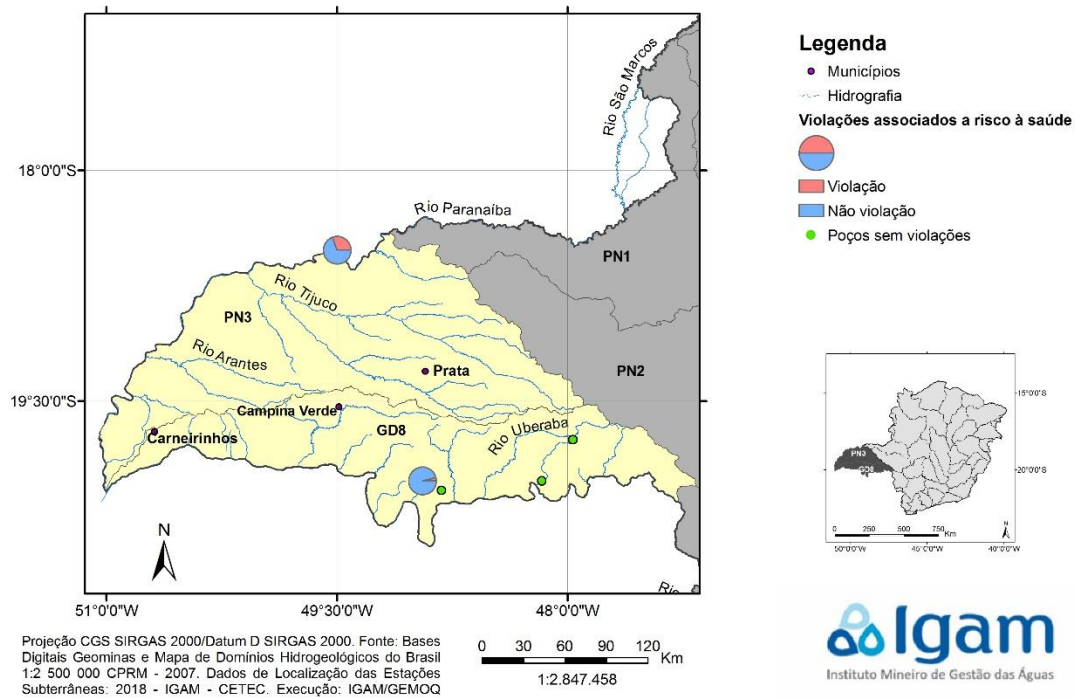


Figura 18 - Frequência percentual de violação aos padrões para diferentes usos, para a Rede Guarani.

Dentre os padrões organolépticos, apresentaram violações aos limites estabelecidos: Alumínio, Sulfato, Sódio, Cloreto, Cor, Manganês, Ferro e Dureza Total. Em relação aos parâmetros associados a risco à saúde humana os parâmetros que apresentaram violações foram: Fluoreto, Boro, Arsênio, Selênio, Nitrato e Chumbo.

Na Figura 19 são mostrados os percentuais de violação aos padrões de consumo humano, em relação ao total de medições realizadas para cada poço, tanto em relação aos padrões associados a risco à saúde humana, quanto para os padrões associados a gosto e odor.

## Parâmetros Associados a Risco à Saúde- Rede de Monitoramento Guarani



## Padrões Organolépticos- Rede de Monitoramento Guarani

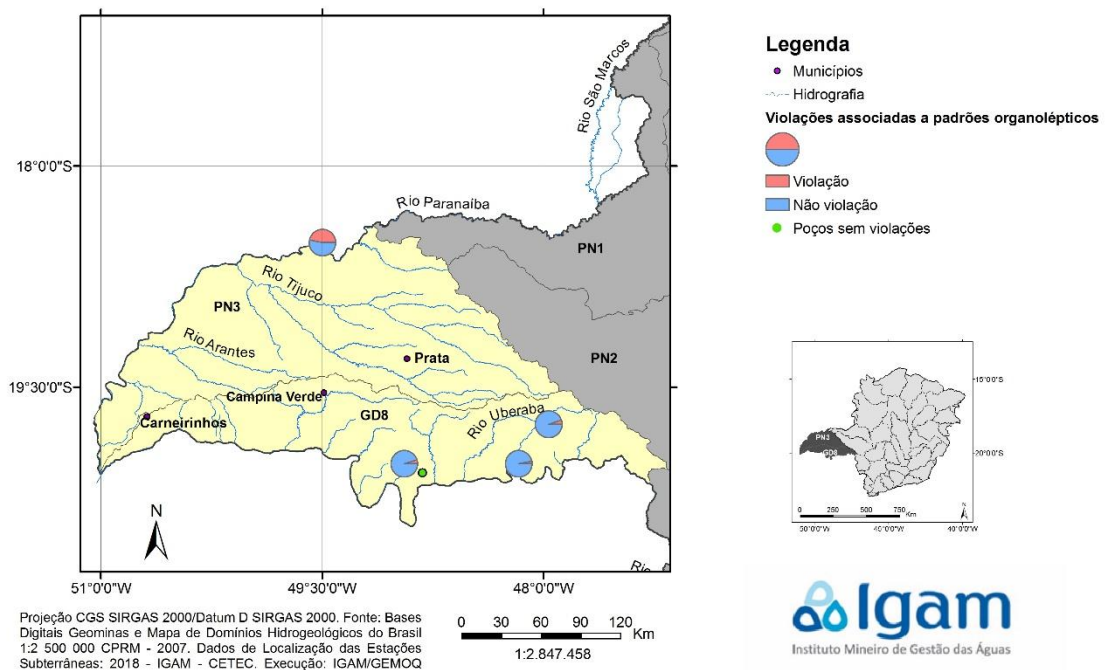


Figura 19. Percentuais de ocorrências de violação em relação ao total de medições realizadas, para cada poço da Rede Guarani frente aos parâmetros da água para consumo humano: (a) padrões associados a risco à saúde e (b) padrões organolépticos (que alteram sabor ou odor).

Observa-se que 2 dos 5 poços apresentaram violações aos limites estabelecidos para parâmetros associados a risco à saúde humana, sendo estes os poços FTR2 e CD3. O poço CD3 apresentou 12 violações, o que representa 46,2% do total de parâmetros.

Em relação aos padrões organolépticos, 4 dos 5 poços da rede apresentaram violações, mas, em geral, com uma porcentagem de ultrapassagem relativamente baixa em comparação com o número total de análises, exceto para o poço CD3 que apresentou novamente um percentual elevado de 46,7%.

Na Tabela 16 e na Figura 20 são especificados os parâmetros que apresentaram violações em cada um dos poços. Observa-se que, como já citado anteriormente, o poço CD3 é o que apresenta a maior quantidade de parâmetros associados a risco à saúde e organolépticos violando os limites estabelecidos durante o período de monitoramento.

*Tabela 16. Relação de pontos que apresentaram violações em relação aos padrões, para consumo humano, para a Rede Guarani.*

| <b>Município</b>      | <b>Estação</b> | <b>Parâmetros Violados</b>   |
|-----------------------|----------------|--|
| Conceição das Alagoas | <b>CAL1</b>    | Cor verdadeira   |
| Cachoeira Dourada     | <b>CD3</b>     | Alumínio total, Arsênio total, Boro total, Cloreto, Dureza total, Ferro total, Fluoreto, Manganês total, Nitrato, Sódio total, Sulfato |
| Frutal                | <b>FRT2</b>    | Alumínio total, Chumbo total   |
| Uberaba               | <b>UBR3</b>    | Cor verdadeira   |

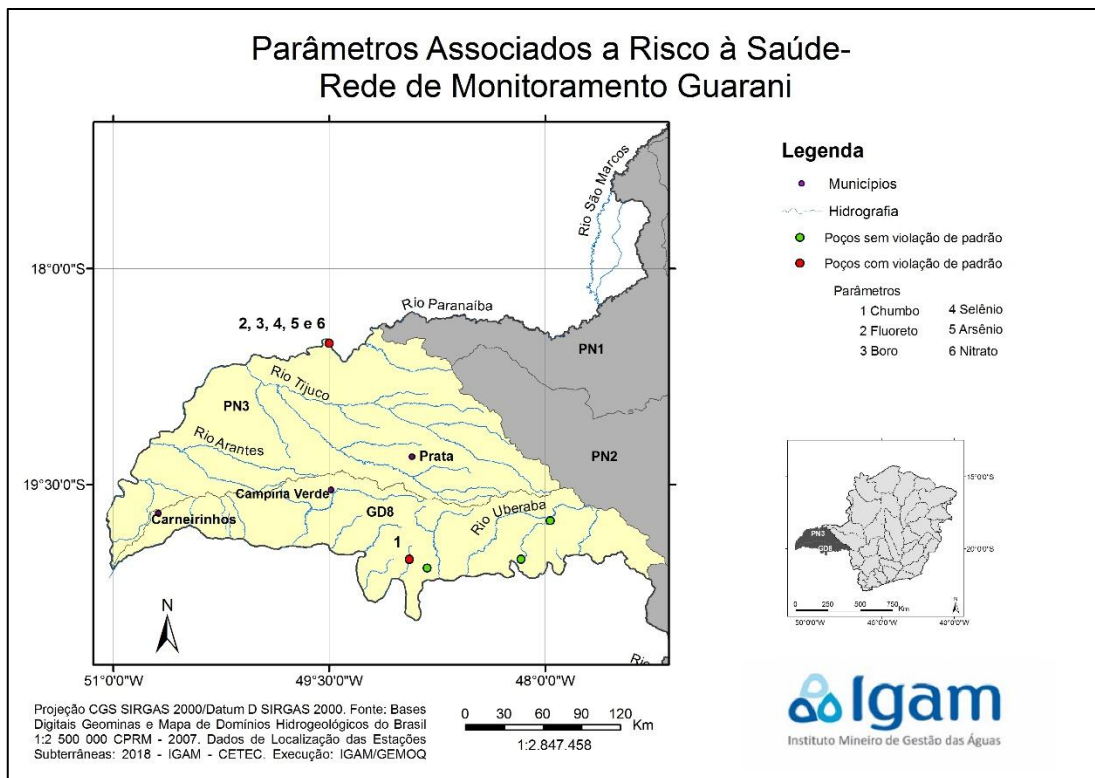


Figura 20. Ocorrência de violação de padrões legais associados a risco à saúde, especificados os padrões, por poço da atual configuração da Rede Guarani.

#### 4.7 Qualidade do Aquífero Bauru

Excepcionalmente para a Rede de Monitoramento Bauru foi considerado neste relatório o período de monitoramento de 2011 a 2017, durante o qual foram realizadas 5 campanhas de amostragem, sendo 3 durante o período chuvoso (dezembro de 2011, março de 2013 e dezembro de 2017) e duas durante o período seco (agosto de 2012 e setembro de 2014). Foram obtidos um total de 3094 resultados de análise para os 16 poços da rede.

A rede apresenta como diferencial o monitoramento dos teores de agrotóxicos presentes na água, correspondente a 29 parâmetros adicionais de monitoramento.

As principais características observadas através da avaliação dos resultados obtidos para o aquífero são:

- Águas, em geral, brandas, com 73% das amostras apresentando valores de Alcalinidade de Bicarbonato ( $\text{mg/L CaCO}_3$ ) inferiores à 50mg/L.

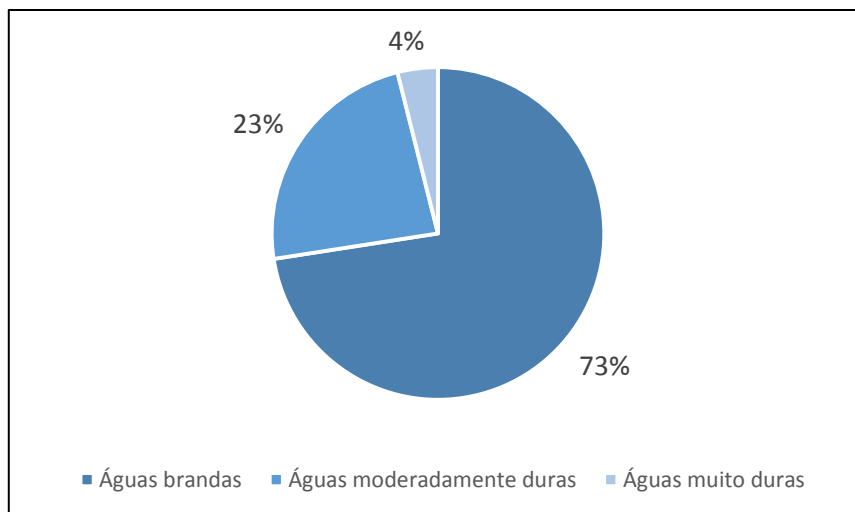


Figura 21. Percentuais das águas classificadas de acordo com o grau relativo de dureza para a Rede de Monitoramento Bauru.

- Águas pouco salinas, com o valor médio para Condutividade Elétrica de 119  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e com 100% das amostras apresentando um valor inferior a 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- E águas variando de ácidas a alcalinas, porém com predominância de amostras classificadas com ácidas (valores de pH abaixo de 6,5), sendo essas correspondentes a 66,7% das amostras analisadas.

Em relação à Razão de Adsorção de Sódio, os valores obtidos para as águas da rede em questão apresentaram uma média de 0,41, com um valor máximo de 8,14. Um resumo estatístico contendo os parâmetros utilizados para avaliar a qualidade das águas subterrâneas é apresentado na tabela abaixo (Tabela 17).



Tabela 17. Síntese dos resultados de qualidade das águas subterrâneas – estatística descritiva – para a Rede de Monitoramento Bauru.

| Variável  | Nº de Dados | Mínimo | Mediana | Máximo | Média | Desvio Padrão | % dados faltantes | % dados censurados |
|---|-------------|--------|---------|--------|-------|---------------|-------------------|--------------------|
| pH  | 50          | 4,2    | 6,2     | 7,7    | 6,1   | 0,8           | 55,7              | 0                  |
| Condutividade Elétrica - CE ( $\mu\text{S/cm}$ )    | 49          | 0      | 36      | 1452   | 119   | 283           | 57,4              | 0                  |
| Sólidos Totais Dissolvidos in loco -STD (mg/L)      | 44          | 3      | 45      | 856    | 97    | 175           | 61,7              | 0                  |
| Alcalinidade de bicarbonato (mg/L $\text{CaCO}_3$ ) | 43          | 1      | 15      | 409    | 45    | 76            | 61,7              | 0,9                |
| Cloreto Total (mg/L Cl-)                            | 23          | 0,50   | 1,51    | 178,00 | 20,27 | 47,55         | 55,7              | 24,3               |
| Dureza Total (mg/L $\text{CaCO}_3$ )                | 44          | 1,1    | 31,0    | 593,0  | 64,8  | 117,4         | 55,7              | 6,1                |
| Fluoreto (mg/L F-)                                  | 9           | 0,10   | 0,13    | 0,27   | 0,16  | 0,06          | 55,7              | 36,5               |
| Fósforo Total (mg/L P)                              | 23          | 0,02   | 0,06    | 0,11   | 0,06  | 0,03          | 55,7              | 24,3               |
| Magnésio dissolvido (mg/L $\text{Mg}^{2+}$ )        | 50          | 0,012  | 1,010   | 46,200 | 3,860 | 9,127         | 55,7              | 0,9                |
| Nitrato (mg/L $\text{NO}_3^-$ )                     | 37          | 0,02   | 0,47    | 5,41   | 1,03  | 1,39          | 55,7              | 12,2               |
| Sulfato total (mg/L $\text{SO}_4^{2-}$ )            | 7           | 5,1    | 7,8     | 146,0  | 31,3  | 51,2          | 55,7              | 38,3               |
| Turbidez (NTU)                                      | 42          | 0,6    | 2,4     | 230,0  | 21,1  | 42,2          | 55,7              | 7,8                |
| Alumínio Total (mg/L Al)                            | 27          | 0,04   | 0,22    | 1,83   | 0,42  | 0,43          | 55,7              | 20,9               |
| Bário (mg/L Ba)                                     | 46          | 0,007  | 0,037   | 0,258  | 0,061 | 0,061         | 55,7              | 4,3                |
| Cálcio Dissolvido (mg/L $\text{Ca}^{2+}$ )          | 51          | 0,06   | 4,18    | 152,20 | 14,05 | 28,37         | 55,7              | 0                  |
| Cobre Total (mg/L Cu)                               | 29          | 0,005  | 0,019   | 0,055  | 0,019 | 0,011         | 55,7              | 19,1               |
| Ferro Total (mg/L Fe)                               | 42          | 0,04   | 0,22    | 1,77   | 0,46  | 0,49          | 55,7              | 7,8                |
| Manganês Total (mg/L Mn)                            | 43          | 0,004  | 0,028   | 0,651  | 0,077 | 0,144         | 55,7              | 7                  |
| Níquel (mg/L Ni)                                    | 5           | 0,005  | 0,006   | 0,024  | 0,010 | 0,008         | 55,7              | 40                 |
| Potássio dissolvido (mg/L $\text{K}^+$ )            | 38          | 0,16   | 1,06    | 18,95  | 1,81  | 3,35          | 55,7              | 11,3               |
| Sódio total (mg/L Na)                               | 51          | 0,06   | 1,00    | 85,90  | 5,69  | 15,81         | 55,7              | 0                  |
| Zinco (mg/L)  | 31          | 0,02   | 0,05    | 1,57   | 0,14  | 0,33          | 55,7              | 17,4               |

A classificação das águas, com relação aos íons dominantes, foram feitas a partir de diagrama de Piper, apresentado na Figura 22 e os resultados dessa classificação são apresentados na Tabela 18. O diagrama mostra que a maioria das águas é do tipo bicarbonatadas cálcicas (51% dos poços), seguido das bicarbonatadas mistas (24%) e as bicarbonatadas sódicas (10%). Ocorrem ainda, subordinadamente, cloretadas sódicas (2%), sulfatadas sódicas (6%), sódicas mistas (2%), sulfatadas cálcicas (2%) e cálcicas mistas (4%). A distribuição total dos íons segue geralmente a sequência:  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+}$ .

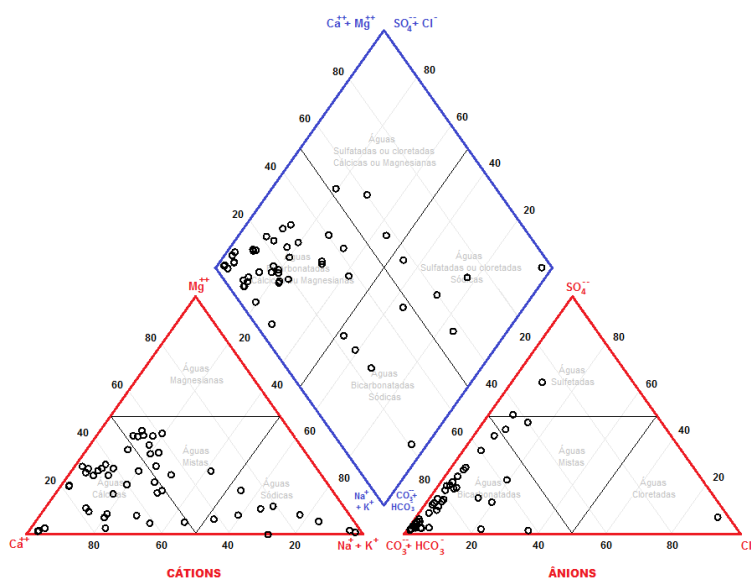


Figura 22 Diagrama trilinear de Piper para as medianas das concentrações iônicas nos poços monitorados no Aquífero Guarani no período de 2011 à 2017.

Tabela 18. Distribuição das classes de águas obtidas pelo diagrama trilinear de Piper nos poços monitorados no Aquífero Bauru.

| Classe das Águas | Nº | %    | Classes das Águas | Nº | %    |
|------------------|----|------|-------------------|----|------|
| Sódicas          | 10 | 19,6 | Cloretadas        | 1  | 2,0  |
| Cálcicas         | 29 | 56,9 | Bicarbonatadas    | 43 | 84,3 |
| Magnesianas      | 0  | 0,0  | Sulfatadas        | 4  | 7,8  |
| Mistas (Cátions) | 12 | 23,5 | Mistas (ânions)   | 3  | 5,9  |

| Classe das Águas        | Nº | %    | Classes das Águas          | Nº | %    |
|-------------------------|----|------|----------------------------|----|------|
| Sódicas Cloretadas      | 1  | 2,0  | Magnesianas Cloretadas     | 0  | 0,0  |
| Sódicas Bicarbonatadas  | 5  | 9,8  | Magnesianas Bicarbonatadas | 0  | 0,0  |
| Sódicas Sulfatadas      | 3  | 5,9  | Magnesianas Sulfatadas     | 0  | 0,0  |
| Sódicas Mistas          | 1  | 2,0  | Magnesianas Mistas         | 0  | 0,0  |
| Cálcicas Cloretadas     | 0  | 0,0  | Cloretadas Mistas          | 0  | 0,0  |
| Cálcicas Bicarbonatadas | 26 | 50,9 | Bicarbonatadas Mistas      | 12 | 23,5 |
| Cálcicas Sulfatadas     | 1  | 2,0  | Sulfatadas Mistas          | 0  | 0,0  |
| Cálcicas Mistas         | 2  | 3,9  | Mistas                     | 0  | 0,0  |

#### 4.8 Atendimento a Limites estabelecidos para Diferentes Usos das Águas Subterrâneas no Aquífero Bauru

Para a Rede Bauru, as frequências percentuais de violações aos padrões, por parâmetro, para os diferentes usos são apresentadas no gráfico abaixo (Figura 23).

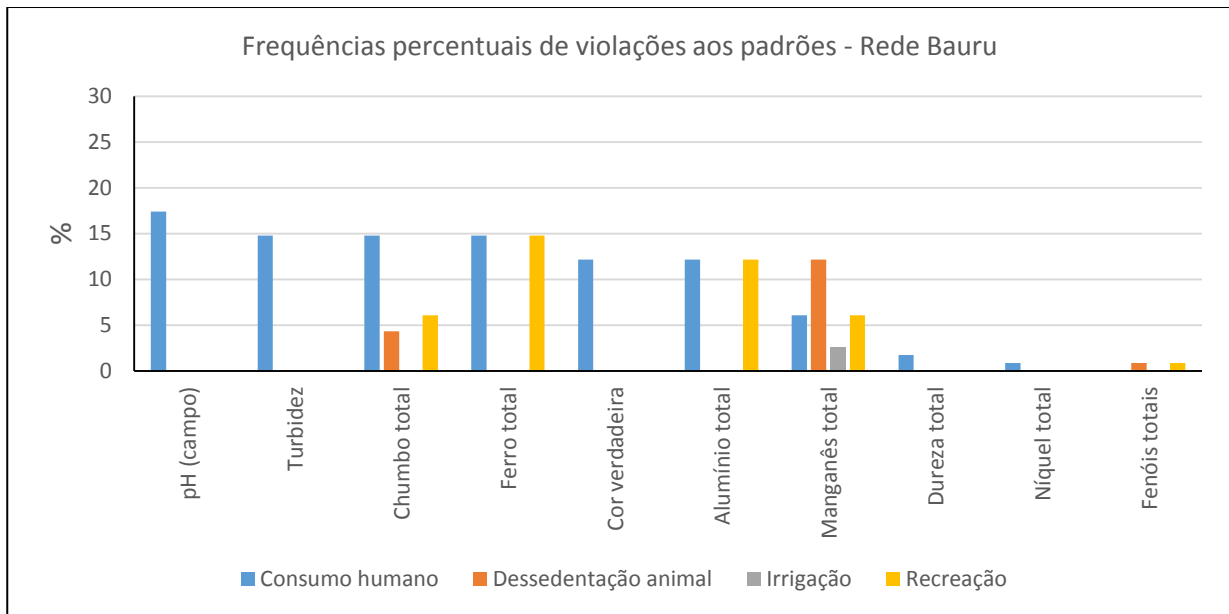
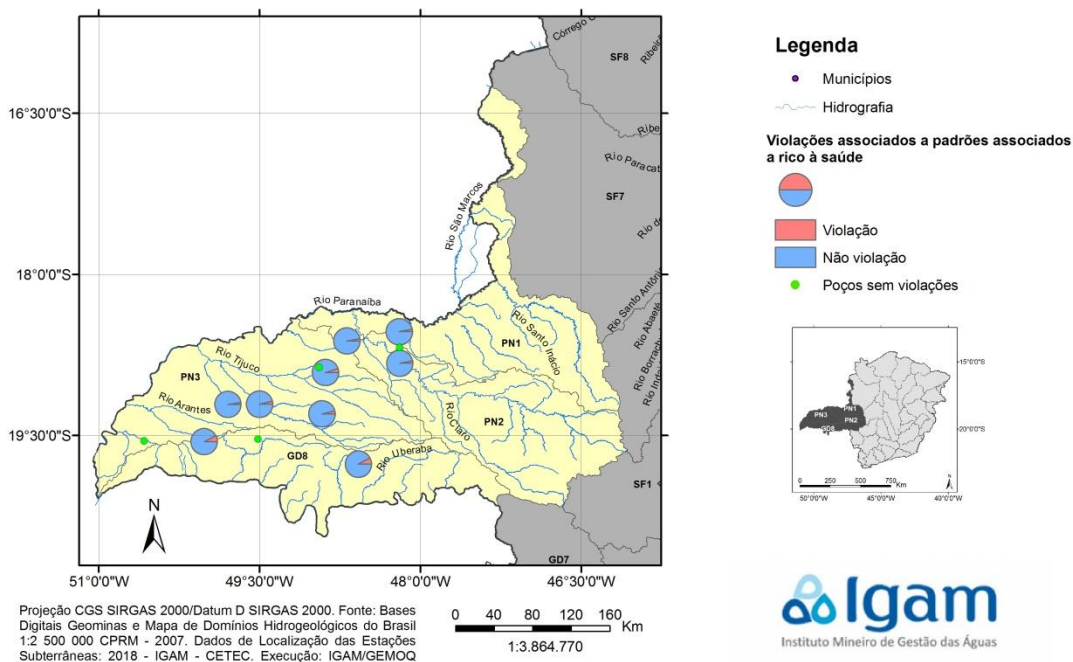


Figura 23. Frequência percentual de violação aos padrões para diferentes usos, para a Rede de Monitoramento Bauru.

O parâmetro que apresentou a maior porcentagem de violação em relação aos limites estabelecidos foi o pH. Dentre os padrões organolépticos, aqueles que apresentaram violações foram: Turbidez, Ferro, Cor, Alumínio, Manganês e Dureza total. Em relação aos parâmetros associados a risco à saúde humana o Chumbo e o Níquel apresentaram violações no período considerado.

Na Figura 24 são mostrados as ocorrências de violação aos padrões de consumo humano, em relação ao total de medições realizadas em cada poço, tanto em relação aos padrões associados a risco à saúde humana, quanto para os padrões organolépticos.

## Padrões Associados a Risco à Saúde- Rede de Monitoramento Bauru



## Padrões Organolépticos- Rede de Monitoramento Bauru

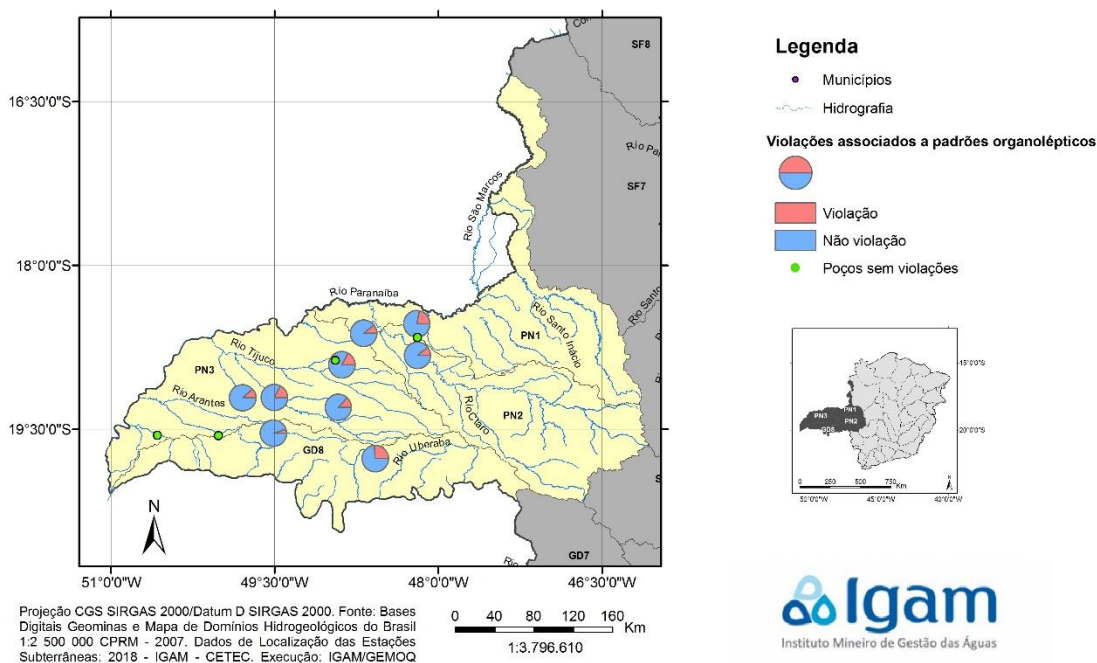


Figura 24 - Percentuais de ocorrências de violação em relação ao total de medições realizadas, para cada poço da Rede Bauru, frente aos parâmetros da água para consumo humano: (a) padrões associados a risco à saúde e (b) padrões organolépticos (que alteram sabor ou odor).

Observa-se que grande parte dos poços apresentam violações em relação aos padrões associados a risco à saúde e em relação aos padrões organolépticos.

Observa-se que apenas 3 poços não apresentaram violações aos limites estabelecidos para parâmetros associados a risco à saúde humana. Os poços com maior porcentagem de violações são CV-08 e CF-01, com cerca de 8% de parâmetros violados.

Em relação aos padrões organolépticos o poço ARG-05 apresentou 12 violações, o que representa 21,8% do total de parâmetros, já o poço CF-01 teve 6 violações, porem como o numero de parâmetros avaliados foi menor esse valor representa 26% do total.

Na Tabela 19 e na Figura 25 são especificados os parâmetros que apresentaram violações em cada um dos poços.

*Tabela 19. Relação de pontos que apresentaram violações em relação aos padrões de consumo humano para a Rede Bauru.*

| <b>Município</b> | <b>Estação</b> | <b>Parâmetros Violados</b>  |
|------------------|----------------|---|
| Araguari Centro  | <b>ARG-04</b>  | Alumínio total, Chumbo total, Cor verdadeira, Ferro total, Níquel total, Turbidez   |
| Araguari         | <b>ARG-05</b>  | Alumínio total, Chumbo total, Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total, Turbidez |
| Campo Florido    | <b>CF-01</b>   | Alumínio total, Chumbo total, Ferro total, Manganês total, Turbidez                 |
| Canápolis        | <b>CNP-06</b>  | Chumbo total, Cor verdadeira  |
| Campina Verde    | <b>CV-07</b>   | Turbidez  |
| Campina Verde    | <b>CV-08</b>   | Chumbo total  |
| Gurinhata        | <b>GRNT-09</b> | Alumínio total, Chumbo total, Ferro total, Manganês total, Turbidez                 |
| Gurinhata        | <b>GRNT-15</b> | Alumínio total, Chumbo total, Ferro total, Manganês total, Turbidez                 |
| Ituiutaba        | <b>ITB-10</b>  | Cor verdadeira  |
| Monte Alegre     | <b>MA-16</b>   | Alumínio total, Chumbo total, Cor verdadeira, Ferro total, Turbidez                 |
| Prata            | <b>PT-02</b>   | Alumínio total, Chumbo total, Ferro total, Turbidez,                                |
| Tupaciguara      | <b>TPCG-12</b> | Alumínio total, Chumbo total, Cor verdadeira, Ferro total, Turbidez                 |
| Tupaciguara      | <b>TPCG-15</b> | Alumínio total, Chumbo total, Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total, Turbidez |
| Uberlândia       | <b>UBL-13</b>  | Alumínio total, Chumbo total, Cor verdadeira, Ferro total, Turbidez,                |

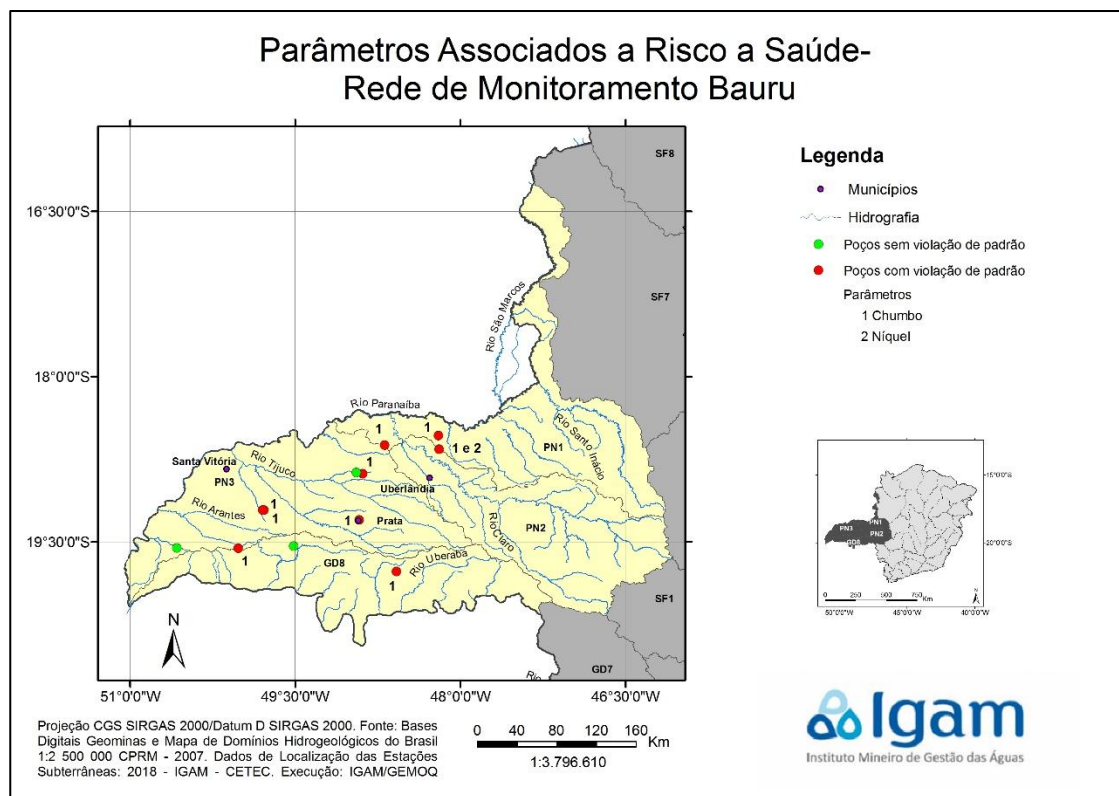


Figura 25. Ocorrência de violação de padrões legais associados a risco à saúde, especificados os padrões, por poço da atual configuração da Rede Bauru.

#### 4.9 Evolução da qualidade das águas subterrâneas monitoradas no Estado

A evolução da qualidade das águas subterrâneas monitoradas no Estado e consideradas neste relatório é feita a partir da comparação com resultados obtidos em campanhas anteriores disponíveis para cada rede.

A Rede de Monitoramento Norte de Minas (Sub-Bacias SF6, SF9 e SF10) é a que apresenta uma série histórica mais representativa e, para análise da evolução da qualidade das águas subterrâneas dessa rede, foram considerados os resultados apresentados no Resumo Executivo de 2016, para o período de 2014/2015 (ano hidrológico de 2015), e no Resumo Executivo de 2014 que apresenta resultados para o período de 2005 a 2013.

Os resultados apresentados em ambos os resumos executivos e no presente relatório apresentam-se, em sua maioria, semelhantes, com águas variando de ácidas a alcalinas, porém com predominância de águas de caráter neutro; salinidade, em geral tolerável; dureza elevada; e predominância de águas classificadas como bicarbonatadas cálcicas a partir do Diagrama de Piper. Em relação às violações aos limites estabelecidos para consumo humano, os parâmetros que apresentaram violações no Resumo Executivo de 2016

continuaram apresentando até o período considerado, porém observa-se uma diminuição do percentual de ultrapassagens para os parâmetros Cor e Dureza Total, e um aumento do percentual para o parâmetro Níquel, além da ocorrência de extrapolação de limites para os parâmetros pH, Mercúrio e Zinco, que no Resumo Executivo de 2016 não apareciam.

Tabela 20. Comparação dos parâmetros violados para os períodos de 2014 a 2015 e de 2015 a 2017 para a Rede de Monitoramento Norte de Minas.

| <b>Estação</b> | <b>Parâmetros violados – Período de 2014 a 2015</b>                                   | <b>Parâmetros violados – Período de 2015 a 2017</b>   |
|----------------|---|---|
| BC001          | <i>Cloreto, Dureza total, Ferro total, STD</i>  | <i>Cloreto, Cor Verdadeira, Dureza total, Ferro total, Níquel total, STD, Turbidez</i>  |
| BC003          | -   | Níquel total  |
| CE001          | -   | Níquel total  |
| CJ002          | Cloreto   | -   |
| CJ004          | <i>Dureza total, Ferro total, Manganês total, Sulfato,</i>                            | <i>Alumínio total, Dureza total, Ferro total, Manganês total, Níquel total, Sulfato, Turbidez</i>                               |
| CJ005          | <i>Alumínio total, Cloreto, Ferro total, Manganês total, Turbidez</i>                 | <i>Alumínio total, Ferro total, Manganês total, Turbidez</i>  |
| CJ006          | <i>Alumínio total, Ferro total</i>  | <i>Alumínio total, Ferro total</i>  |
| EN001          | <i>Cor verdadeira, Ferro total</i>  | <i>Cor verdadeira, Ferro Total</i>  |
| EP001          | <i>Arsênio total, Cloreto, Dureza total, Nitrato, Selênio total, Sódio total, STD</i> | <i>Cloreto, Cor verdadeira, Dureza total, Ferro total, Níquel total, Nitrato, Selênio total, Sódio total, STD</i>               |
| EP004          | <i>Dureza total, Nitrato</i>  | <i>Cloreto, Dureza total, Níquel total, Nitrato</i>   |
| EP006          | <i>Manganês total</i>   | <i>Cloreto, Cor verdadeira, Dureza total, Ferro total, Manganês total, Níquel total, STD</i>                                    |
| FD001          | <i>Ferro total, Turbidez</i>  | <i>Ferro total, Turbidez</i>  |
| FD002          | -   | Ferro total, Manganês total   |
| FS002          | Fenóis  | Cor verdadeira, Manganês total, Turbidez  |
| FS003          | <i>Manganês total</i>   | <i>Dureza total, Manganês total, Níquel total</i>   |
| FS004          | <i>Dureza total, Ferro total, Manganês total, Selênio total, STD, Sulfato</i>         | <i>Alumínio total, Cor verdadeira, Dureza total, Ferro total, Manganês total, Níquel total, Selênio, STD, Sulfato, Turbidez</i> |
| FS007          | <i>Dureza total</i>   | <i>Dureza total, Níquel total</i>   |
| GM001          | <i>Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total</i>                                    | <i>Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total, Turbidez</i>  |
| JB003          | <i>Cor verdadeira</i>   | <i>Boro, Cor verdadeira, Fluoreto, Níquel total</i>   |
| JB007          | <i>Cor verdadeira, Ferro total, Turbidez</i>  | <i>Cor verdadeira, Ferro total, Níquel total, Turbidez</i>  |
| JB008          | -   | Níquel total  |
| JB020          | <i>Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total</i>                                    | <i>Cor verdadeira, Ferro total, manganês total, Turbidez</i>  |
| JB021          | <i>Fenóis, Turbidez</i>   | <i>Turbidez</i>   |
| JF001          | <i>Manganês total</i>   | <i>Ferro total, Manganês total</i>  |
| JF002          | -   | <i>Alumínio total, Ferro total, Níquel total, Turbidez</i>  |

Tabela 20. Comparação dos parâmetros violados para os períodos de 2014 a 2015 e de 2015 a 2017 para a Rede de Monitoramento Norte de Minas (continuação).

|        |  |  |
|--------|--|--|
| JN001  | Dureza total   | Dureza total, Manganês total, Níquel total, Sulfato  |
| JQ001  | Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total, Turbidez                        | Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total, Turbidez  |
| JQ002  | -  | Alumínio total e Manganês total  |
| JQ003  | Turbidez   | Alumínio total   |
| JR001  | Cor verdadeira, Dureza total, Ferro total, Manganês total, Sulfato, Turbidez | Alumínio total, Cor verdadeira, Dureza total, Ferro total, Manganês total, Níquel total, Sulfato, Turbidez                 |
| LP001  | Ferro total, Nitrato   | Alumínio, Ferro total, Nitrato   |
| MA001  | Dureza total, Manganês total, Nitrato  | Cloreto, Dureza total, Manganês total, Níquel, Nitrato, STD  |
| MA003  | Dureza total, Ferro total, Manganês total                                    | Alumínio total, Cor verdadeira, Dureza total, Ferro total, Manganês total, Níquel total                                    |
| MC002  | Cor verdadeira, Ferro total  | Alumínio total, Cloreto, Cor verdadeira, Ferro total, Mercúrio, Nitrato, Turbidez  |
| MC003  | -  | Cloreto, Ferro total, Turbidez   |
| MC004  | -  | Ferro total  |
| MC005  | Cor verdadeira, Ferro total, Turbidez  | Alumínio total, Cloreto, Cor verdadeira, , Ferro total, Turbidez   |
| MC006  | Turbidez   | Ferro total, Turbidez  |
| MR001  | Cloreto  | Alumínio total, Cloreto, Ferro total   |
| MR002  | -  | Alumínio total, Turbidez   |
| MTC001 | Cor verdadeira, Ferro total, Turbidez  | Cor verdadeira, Ferro total, Níquel total, Turbidez  |
| MTC002 | Fluoreto, Sódio total  | Alumínio total, Boro total, Fluoreto, Sódio total  |
| MTC006 | -  | Ferro total, Níquel total  |
| PP001  | Bário total, Manganês total, Nitrato   | Alumínio total, Bário total, Cloreto, Dureza total, Ferro total, Manganês total, Níquel total, Nitrato, Selênio total, STD |
| PP002  | Manganês total   | Alumínio total, Ferro total, Manganês total, Níquel total, Turbidez  |
| RM001  | Ferro total  | Ferro total  |
| SP001  | -  | Alumínio total, Ferro total, Níquel total  |
| SP002  | -  | Dureza total, Níquel total   |
| VD001  | -  | Alumínio total, Níquel total, Turbidez   |
| VD003  | Cloreto, Dureza total, Manganês total, Nitrato, STD, Sulfato                 | Cloreto, Dureza total, Manganês total, Níquel total, Nitrato, Selênio, STD, Sulfato  |
| VD013  | Ferro total  | Dureza total, Ferro total  |
| VD014  | Dureza total   | Cor verdadeira, Dureza total, Níquel total, STD  |
| VD020  | Selênio total  | Alumínio total, Cloreto, Dureza total, Ferro total, Níquel total, STD, Zinco total   |
| VD022  | Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total, Nitrato, Selênio total          | Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total, Nitrato   |
| VZ001  | Selênio total  | -  |
| VZ006  | Selênio total  | Alumínio total, Níquel total   |



Para a Rede de Monitoramento da Bacia do Rio das Velhas, a avaliação da evolução da qualidade das águas foi realizada em comparação com os resultados apresentados no Resumo Executivo de 2017, para o período de 2015/2016, visto que o monitoramento foi iniciado em 2015 e dessa forma há somente este estudo disponível em relação à rede.

Os resultados obtidos no presente relatório apresentam-se concordantes com aqueles do Resumo Executivo, com a maioria dos poços apresentando pH neutro, dureza elevada, salinidade tolerável e classificação em relação aos íons predominantes indicando uma maioria bicarbonatada cálcica. Em relação às violações aos limites estabelecidos para o consumo humano, os padrões que apresentaram violações no Relatório Executivo de 2017 continuaram apresentando violações para o período considerado no presente relatório, sendo esses: Ferro, Manganês, Alumínio, Arsênio, Boro, Chumbo e Níquel. Além desses, durante o período considerado neste relatório apresentaram também ultrapassagens aos limites estabelecidos ao consumo humano os parâmetros: Turbidez, Cor, Sulfeto, Selênio e pH.

*Tabela 21. Comparação dos parâmetros violados para os períodos de 2015 a 2016 e de 2015 a 2017 para a Rede de Monitoramento da Bacia do Rio das Velhas.*

| <b>Estação</b> | <b>Parâmetros violados – Período 2015 a 2016</b> | <b>Parâmetros violados – Período de 2015 a 2017</b>           |
|----------------|--|---|
| <b>ARAPJ</b>   | -  | Ferro total   |
| <b>BUCGO</b>   | -  | Níquel total  |
| <b>CBCSL</b>   | <i>Alumínio total, Ferro total</i>               | <i>Alumínio total, Ferro, total, Turbidez</i>                 |
| <b>COFBM</b>   | -  | Ferro total   |
| <b>CUCC13</b>  | -  | Níquel total  |
| <b>DATOM</b>   | -  | Turbidez  |
| <b>FUGSJT</b>  | <i>Ferro total</i>                               | <i>Ferro total, Selênio total</i>                             |
| <b>GOUPA</b>   | <i>Ferro total, Manganês total</i>               | <i>Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total, Turbidez,</i> |
| <b>JABRA</b>   | <i>Chumbo total</i>                              | <i>Chumbo total, Cor verdadeira, Ferro total</i>              |
| <b>LSCBA</b>   | -  | Cor verdadeira, Turbidez                                      |
| <b>LSCBR</b>   | <i>Boro total</i>                                | <i>Boro total</i>   |
| <b>LSQSU</b>   | <i>Alumínio total, Arsênio total</i>             | <i>Alumínio total, Arsênio total, Turbidez</i>                |
| <b>MGCC02</b>  | <i>Manganês total</i>                            | <i>Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total</i>            |
| <b>MGNOA</b>   | <i>Ferro total</i>                               | <i>Cor verdadeira, Ferro total, Turbidez</i>                  |
| <b>MONOA</b>   | <i>Níquel total</i>                              | <i>Cor verdadeira, Níquel total</i>                           |

Tabela 21. Comparação dos parâmetros violados para os períodos de 2015 a 2016 e de 2015 a 2017 para a Rede de Monitoramento da Bacia do Rio das Velhas (continuação).

|              |                                     |  |
|--------------|-------------------------------------|--|
| <b>MTBSP</b> | -                                   | Cor verdadeira                                   |
| <b>PLFID</b> | -                                   | Cor verdadeira                                   |
| <b>SJLRM</b> | <i>Ferro total</i>                  | Cor verdadeira, <i>Ferro total</i> , Turbidez    |
| <b>VPBGU</b> | <i>Manganês total</i>               | <i>Manganês total</i>                            |
| <b>VPCEM</b> | <i>Chumbo total, Manganês total</i> | <i>Chumbo total, Ferro total, Manganês total</i> |

Para a Rede de Monitoramento Guarani foram considerados os mesmos estudos utilizados para avaliar a evolução da Rede de Monitoramento do Norte de Minas, sendo esses o Resumo Executivo de 2016 e o Resumo Executivo de 2014, já citados acima. Para os parâmetros mencionados nesses, percebe-se que prevalecem ainda: a ocorrência de águas do tipo bicarbonatadas sódicas, bicarbonatadas cálcicas e mistas; pH, em geral, alcalino; salinidade tolerável para a maioria dos poços, porém com o poço CD3 apresentando valores elevados recorrentes para a condutividade elétrica; e caráter hidrotermal, com elevada temperatura das águas.

Tabela 22. Comparação dos parâmetros violados para os períodos de 2014 a 2015 e de 2015 a 2017 para a Rede de Monitoramento Guarani.

| <b>Estação</b> | <b>Parâmetros violados – Período de 2014 a 2015</b>   | <b>Parâmetros violados – Período de 2015 a 2017</b>   |
|----------------|---|---|
| <b>CAL1</b>    | -   | Cor verdadeira  |
| <b>CD3</b>     | <i>Alumínio total, Arsênio total, Cloreto, Dureza total, Ferro total, Fluoreto, Manganês total, Nitrato, Nitrogênio amoniacal, Selênio total, Sódio total, STD, Sulfato</i> | <i>Alumínio total, Arsênio total, Boro total, Cloreto, Dureza total, Ferro total, Fluoreto, Manganês total, Nitrato, Sódio total, Sulfato</i> |
| <b>FRT2</b>    | <i>Alumínio total, Chumbo total</i>   | <i>Alumínio total, Chumbo total</i>   |
| <b>UBR3</b>    | Alumínio total  | Cor verdadeira  |

Em relação ao Aquífero Bauru não existem relatórios que apresentem resultados pretéritos para a rede, dessa forma, para possibilitar uma avaliação da qualidade das águas da rede, o período de monitoramento considerado no presente relatório foi dividido entre o período de 2011 a 2014 e o período correspondente ao ano de 2017. A tabela abaixo apresenta o resumo dos parâmetros violados para cada um dos períodos considerados.

Tabela 23. Comparação dos parâmetros violados para os períodos de 2011 a 2014 e do ano de 2017 Rede de Monitoramento Bauru.

| <b>Estação</b> | <b>Parâmetros violados – Período de 2011 a 2014</b>  | <b>Parâmetros violados – Período de 2017</b>                               |
|----------------|--|--|
| <b>ARG-04</b>  | <i>Cor verdadeira, Ferro Total, Níquel total</i>   | <i>Alumínio Total, Cor verdadeira, Ferro Total, Chumbo total, Turbidez</i> |
| <b>ARG-05</b>  | <i>Alumínio Total, Chumbo total, Cor verdadeira, Ferro Total, Manganês Total, Turbidez</i> | <i>Alumínio Total, Chumbo total, Cor verdadeira, Ferro Total, Turbidez</i> |
| <b>CF-01</b>   | Alumínio total, Chumbo total, Ferro total, Manganês total, Turbidez                        | *Não foi realizada coleta  |
| <b>CNP-06</b>  | Chumbo total, Cor verdadeira   | *Não foi realizada coleta  |
| <b>CV-07</b>   | --   | Turbidez   |
| <b>CV-08</b>   | Chumbo total   | *Não foi realizada coleta  |
| <b>GRNT-09</b> | Alumínio total, Chumbo total, Ferro total, Manganês total, Turbidez                        | *Não foi realizada coleta  |
| <b>GRNT-15</b> | Alumínio total, Chumbo total, Ferro total, Manganês total, Turbidez                        | *Não foi realizada coleta  |
| <b>ITB-10</b>  | Cor verdadeira   | -  |
| <b>MA-16</b>   | Chumbo total   | *Não foi realizada coleta  |
| <b>PT-02</b>   | Alumínio total, Chumbo total, Ferro total, Turbidez,                                       | *Não foi realizada coleta  |
| <b>TPCG-12</b> | <i>Alumínio Total, Chumbo total, Cor verdadeira, Ferro Total, Turbidez</i>                 | <i>Alumínio Total, Ferro Total</i>   |
| <b>TPCG-15</b> | Alumínio total, Chumbo total, Cor verdadeira, Ferro total, Manganês total, Turbidez        | *Não foi realizada coleta  |
| <b>UBL-13</b>  | <i>Alumínio total, Cor verdadeira, Turbidez</i>  | <i>Alumínio total, Chumbo total, Cor verdadeira, Ferro total, Turbidez</i> |

## 5 • Considerações Finais

Considerando-se as campanhas realizadas e todas as redes monitoradas abrangidas nesse relatório, os parâmetros cujos resultados apresentaram-se em desconformidade com o limite estabelecido pela Portaria de Consolidação nº5 do Ministério da Saúde para potabilidade foram: Turbidez, Cor real, Sólidos totais dissolvidos, Dureza total, Cloretos, Sulfato, Sulfeto, Fluoreto, Nitrato, Alumínio total, Arsênio total, Boro total, Chumbo total, Ferro total, Manganês total, Níquel total, Selênio total, Zinco total e Escherichia coli. A alteração desses parâmetros tem se mostrado constante na série histórica do monitoramento.

As inconformidades observadas para os parâmetros condutividade elétrica e dureza total das águas subterrâneas em poços monitorados nas redes Norte de Minas e Bacia do Velhas são devidas à predominância das rochas carbonárias do sistema cárstico e cárstico fissurado do Grupo Bambuí.

As concentrações excessivas de cor real, turbidez, e ferro total e manganês total podem, a princípio, ser atribuídas a falhas construtivas dos poços, bem como ausência de manutenção dos mesmos. Estes fatos são comuns na maior parte dos poços tubulares, uma vez que o usuário muitas vezes não entende que essa obra de captação carece de manutenção. A ocorrência desses elementos é comum em minerais que formam as rochas e solos lateríticos.

A ocorrência de nitrato em poços da rede Norte de Minas indica a provável contaminação por compostos orgânicos, como resultado de lixiviação de efluentes orgânicos por meio do solo, ou mesmo interceptação de corpos de água superficiais contaminados pelo bombeamento dos poços. Não se pode deixar de considerar ainda a origem devida ao uso de fertirrigação ou no uso de fertilizantes nas áreas de contribuição dos poços.

Os metais como o Alumínio, Arsênio, Boro, Chumbo, Níquel, Selênio e Zinco ocorrem normalmente na água subterrânea em baixas concentrações, como elementos secundários, estando associados normalmente ao ambiente geológico, mas podem também estar associados à proximidade de atividades que propiciam a criação de focos de contaminação, como depósitos de efluentes ou rejeitos.

Em relação aos resultados obtidos para a violação aos parâmetros de consumo humano associados ao risco à saúde, observa-se que cerca de 38% dos pontos analisados, consideradas todas as redes, tiveram, em pelo menos uma das medições, concentração superior ao limite estabelecido, com destaque para: arsênio total, bário total, boro total, fluoreto e níquel total. Nestes casos é recomendável a restrição/vedação do consumo destas águas.

É importante que o usuário seja informado quanto a restrição de uso das águas que apresentam esse tipo de alteração, que muitas vezes são naturais, próprias da água e do ambiente onde circula. Esta ação deve ser desenvolvida em conjunto com a Secretária Estadual de Saúde e é desejável o envolvimento dos respectivos Comitês de Bacias Hidrográficas.

A pesquisa da presença de agroquímicos na água foi realizada na região do aquífero Bauru, no Triângulo Mineiro, e em nenhum dos resultados observou-se concentração dessas substâncias acima do limite de detecção do método analítico utilizado. Muito embora não seja comprovada, deve-se ainda estudar a possibilidade de contaminação pela ação antrópica, em especial pela aplicação de agroquímicos, sobretudo nas áreas de Jaíba, Verdelândia e Varzelândia, no norte de Minas e de ocorrência do aquífero Bauru, no Triângulo Mineiro, que apresentam extensas áreas de irrigação.

A qualidade das águas subterrâneas é diretamente influenciada pelo tipo de rocha onde está armazenada, como também pela qualidade da água de recarga, tempo de contato no aquífero, a ocorrência de fontes potencialmente poluidoras, vulnerabilidade natural dos aquíferos, dentre outros. A comparação dos resultados obtidos com os valores de potabilidade não é o mais apropriado e nem sempre a água subterrânea irá atender os padrões estabelecidos, uma vez os esses padrões foram estabelecidos para condição de água tratada, não de água bruta, que é o caso. O monitoramento é a ferramenta que poderá propiciar o estabelecimento de faixas de variação para os diferentes parâmetros, estabelecendo assim padrões mais coerentes para a qualidade das águas subterrâneas. É ainda essencial para o acompanhamento da evolução da condição de qualidade das águas ao longo do tempo. O conhecimento da condição de qualidade das águas subterrâneas do Estado permite que ações, com vistas ao uso adequado, bem como para a proteção e a conservação, sejam adotadas.

O monitoramento realizado pelo IGAM deve ser aprimorado visando o aumento do número de medições, mantida a atual configuração dos poços, bem como a ampliação das redes existentes, buscando aumentar a cobertura no Estado. Mesmo com as atuais limitações, o IGAM vem atingindo alguns dos objetivos propostos, dentre os quais se destaca a ampliação do conhecimento das características e da qualidade das águas dos aquíferos, para subsidiar ações preventivas relacionadas ao uso adequado do recurso hídrico, e para nortear o futuro estabelecimento de valores de referência.

Deve ser destacado a importância de se propiciar as parcerias entre as diferentes instituições que realizam o monitoramento de água subterrânea no Estado, a exemplo do que se

estabeleceu entre o IGAM e a CPRM-Serviço Geológico do Brasil para a rede Bauru. Mesmo que se tenha verificado diversos problemas de ordem logística, técnica e financeira, que impossibilitaram a realização de operações conjuntas de monitoramento conforme planejado pelas instituições, a formalização dessa parceria é de grande relevância para que essa ação seja impulsionada e a abrangência do monitoramento possa ser ampliada no território e a condição de qualidade da água subterrânea melhor conhecida.

## 6 • Referencia Bibliográfica

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 2008. Resolução Conama N° 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de consolidação nº5, de 28 de setembro de 2017. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. DOU de 04/01/2012, Seção 1, p. 43 - 49. Brasília: Diário Oficial da União, 2012.

CETESB (São Paulo) Qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2013-2015 [recurso eletrônico] / CETESB; Execução Rosângela Pacini Modesto [et al.]; Colaboração Blas Marçal Sanchez [et al.] - São Paulo: CETESB, 2016.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Domínios Hidrogeológicos do Brasil. Escala: 1:2.500.000. Brasília, 2007.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Bases Digitais Geominas. Escala: 1:2.500.000. 2007.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas de Minas Gerais: Guarani e Bambuí. Relatório Guarani 2009-2011 e Bambuí 2005-2011. Belo Horizonte: IGAM, 2013.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas de Minas Gerais: Guarani 2009-2013 e Bambuí 2005-2013. Resumo Executivo 2013. Belo Horizonte: IGAM, 2014.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Monitoramento da Água subterrânea: Período 2014/2015. Resumo Executivo 2016. Belo Horizonte: IGAM, 2016.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Monitoramento da Água subterrânea: Rede Bacia do Rio das Velhas - Período 2015/2016. Resumo Executivo 2017. Belo Horizonte: IGAM, 2017.