



ADRIANA MOREIRA DE CARVALHO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS TERMAIS  
SULFUROSAS DISTRIBUÍDAS NAS FONTES DA CIDADE DE  
POÇOS DE CALDAS-MG**

**CAMPINAS**

**2013**





**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,  
ARQUITETURA E URBANISMO**

**ADRIANA MOREIRA DE CARVALHO**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS TERMAIS SULFUROSAS  
DISTRIBUÍDAS NAS FONTES DA CIDADE DE POÇOS DE CALDAS-  
MG**

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Nunes Ponezi

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento e Ambiente.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA ADRIANA MOREIRA DE CARVALHO E ORIENTADA PELO PROF. DR. ALEXANDRE NUNES PONEZI.

Assinatura do Orientador

**CAMPINAS**

**2013**

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Elizangela Aparecida dos Santos Souza - CRB 8/8098

**Carvalho, Adriana Moreira de, 1971**

C253a Avaliação da qualidade das águas termais sulfurosas distribuídas nas fontes da cidade de Poços de Caldas-MG/ Adriana Moreira Carvalho. – Campinas,SP: [s.n], 2013.

**Orientador: Alexandre Nunes Ponezi**

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

1. Águas minerais sulfurosas 2. Águas termais 3. Água- Qualidade 4. Poços de Caldas (MG). I. Ponezi, Alexandre Nunes, 1964-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Quality evaluation of sulphurous thermal water sources distributed in the city Poços de Caldas-MG .

**Palavras-chave em inglês:**

Sulphurous mineral waters

Thermal waters

Water - Quality

Poços de Caldas (MG)

**Área de concentração:** Saneamento e Ambiente

**Titulação:** Mestra em Engenharia Civil

**Banca examinadora:**

Alexandre Nunes Ponezi [Orientador]

Sueli Yoshinaga Pereira

Adriana Maria Imperador

**Data de defesa:** 13-12-2013

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E  
URBANISMO

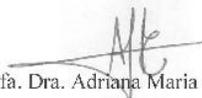
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS TERMAIS  
SULFUROSAS DISTRIBUÍDAS NAS FONTES DA CIDADE DE  
POÇOS DE CALDAS-MG

ADRIANA MOREIRA DE CARVALHO

Dissertação de Mestrado, aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Alexandre Nunes Ponezzi  
Presidente e Orientador Unicamp - Unicamp



Prof. Dra. Adriana Maria Imperador  
Unifal



Prof. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira  
Unicamp

Campinas, 13 de Dezembro de 2013

## RESUMO

CARVALHO, Adriana Moreira de. Avaliação da qualidade das águas termais sulfurosas distribuídas nas fontes da cidade de Poços de Caldas-MG. 92 f. Dissertação de Mestrado-Departamento de Saneamento e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

Atualmente a preocupação em relação à qualidade das águas consumidas, seja para hidropinia, recreação ou para usos terapêuticos é fato. As águas termais usadas para fins terapêuticos não poderiam deixar de estar nesse contexto. Na cidade de Poços de Caldas-MG, a população dispõe de dois Fontanários de águas termais sulfurosas de livre acesso para usos diversos, inclusive para ingerir. Desde que foram captadas em 1882, o sistema permanece com as mesmas características estruturais de quando foram implantadas. Além disso, a cidade cresceu e invadiu as áreas próximas às nascentes dessas águas, oferecendo riscos devido às ações antrópicas. Esse trabalho analisou a qualidade das águas termais sulfurosas distribuídas no Fontanário Pedro Botelho, localizado nas Thermas Antônio Carlos, e no Fontanário dos Macacos, situado no Balneário Mário Mourão, fazendo uma avaliação das águas segundo os padrões microbiológicos, bacteriológicos, físico-químicos, composição química e de radionuclídeos, durante um período de 12 meses e comparou com as legislações vigentes. Praticamente, todos os padrões estão dentro dos parâmetros de qualidade, exceto para os elementos denominados fluoreto e sódio que se encontram com valores acima do permitido pela legislação, que estipula limites para águas utilizadas para consumo humano, embora os usos a que se destinam as águas termais sulfurosas sejam para fins terapêuticos. Quanto aos valores altos de fluoreto foram detectados tanto no ponto do Fontanário Pedro Botelho quanto no Fontanário dos Macacos. Estas alterações no valor deste elemento estão relacionadas com uma incorporação natural do fluoreto às águas subterrâneas, devido à lixiviação das rochas fluoritas alcalinas, abundantes nessa região. O excesso de fluoreto nas águas consumidas podem causar fluorose dentária que se caracteriza por apresentar um escurecimento do esmalte dos dentes ou a fluorose óssea que se manifesta causando um enfraquecimento do esqueleto. Quanto ao valor de sódio, que ultrapassou os limites permissíveis pela legislação Portaria n. 2914/11 em média de 20 a 25%, nos dois Fontanários, pode-se relacionar a presença deste elemento nas águas termais sulfurosas à geologia do local. O sódio em excesso e se ingerido com frequência pode ser prejudicial para indivíduos hipertensos.

Palavras chave: Águas minerais sulfurosas, águas termais, água-qualidade, Poços de Caldas (MG).

## ABSTRACT

CARVALHO, Adriana Moreira de. Avaliação da qualidade das águas termais sulfurosas distribuídas nas fontes da cidade de Poços de Caldas-MG. 92 f. Dissertação de Mestrado-Departamento de Saneamento e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

Currently the concern about the quality of water consumed, either for hidropinia, recreation or a therapeutic use is fact. The thermal waters used for therapeutic purposes could not help but be in that context. In the city of Poços de Caldas, Minas Gerais, the population has two Fountains of sulphurous hot springs with free access for various uses, including drinking. Since they were captured in 1882, the system remains the same structural characteristics when implemented. In addition, the city grew and invaded the waters near the headwaters of these areas, offering risks due to human actions. This study examined the quality of the sulphurous hot springs distributed in Fountains Pedro Botelho, located in thermas Antônio Carlos, and Fountain of the Macacos, located in Balneario Mario Mourão, with an evaluation of the water according to the microbiological, bacteriological, physical and chemical composition standards chemicals and radionuclides for a period of 12 months and compared with the existing laws. Virtually all standards are within the quality parameters, except for the elements called fluoride and sodium which are values above those permitted by law, which stipulates limits for waters used for human consumption, although the uses for which the waters are intended thermal sulphurous be for therapeutic purposes. As for the high values of fluoride were detected in both point Fountain Pedro Botelho as the Fountain of the Macacos. These changes in the value of this element are related to a natural incorporation of fluoride to groundwater due to leaching of alkaline, abundant fluorite rocks in this region. Excess fluoride in water consumed can cause dental fluorosis which is characterized by having a darkening of tooth enamel or skeletal fluorosis which manifests a weakening of the skeleton. As for the sodium value that exceeded allowable limits by legislation Ordinance no. 2914/11 on average from 20 to 25 % in the two Fountains, one can relate the presence of sulfur element in the thermal water the local geology. The excess sodium ingested and often can be harmful for hypertensive patients.

Keywords: Sulphurous mineral waters, thermal waters, water-Quality, Poços de Caldas (MG).

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 Justificativa .....	5
1.2 Objetivo .....	5
1.2.1 <i>Objetivo Geral:</i> .....	5
1.2.2 <i>Objetivos Específicos:</i> .....	5
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Origem das águas termais.....	6
2.2 Composição química das águas termais .....	6
2.3 Histórico das análises efetuadas nas águas termais.....	7
2.4 Microbiologia das águas termais.....	9
2.5 Relatos de contaminações microbiológicas ou físico-químicas em águas termais .....	11
2.6 Riscos de contaminações das águas termais de Poços de Caldas .....	12
2.7 Medidas preventivas.....	14
2.8 Legislações pertinentes.....	16
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>18</b>
3.1 Áreas de estudo .....	18
3.2 Aspectos físicos da região de Poços de Caldas .....	21
3.3 Informações sobre a área de estudo.....	23
3.3.1 <i>Sistema de captação e distribuição das águas (Fontanário Pedro Botelho)</i> .....	24
3.3.2 <i>Sistema de captação e distribuição das águas (Fontanário dos Macacos)</i> .....	27
3.4 Plano experimental.....	30
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
4.1 Material .....	32
4.2 Método .....	32
4.2.1 <i>Análises microbiológicas</i> .....	32
4.2.2 <i>Análises biológicas</i> .....	33
4.2.3 <i>Análises físico-químicas</i> .....	33
4.2.4 <i>Análises de radionuclídeos</i> .....	33
4.2.5 <i>Análises da composição química</i> .....	34
<b>5 RESULTADOS/DISCUSSÕES</b> .....	<b>35</b>
5.1 <i>Análises microbiológicas</i> .....	35
5.1.1 <i>Histórico resultados das análises microbiológicas do Fontanário Pedro Botelho</i> .....	35
5.1.2 <i>Resultados atuais das análises microbiológicas do Fontanário Pedro Botelho</i> .....	35
5.1.3 <i>Histórico dos resultados das análises microbiológicas do Fontanário dos Macacos</i> ..	36
5.1.4 <i>Resultados atuais das análises microbiológicas do Fontanário dos Macacos</i> .....	37
5.1.5 <i>Discussão resultados do Fontanário Pedro Botelho e do Fontanário dos Macacos</i> ...	37
5.2 <i>Análises biológicas</i> .....	39
5.3 <i>Análises da composição química</i> .....	40
5.3.1 <i>Histórico das análises da composição química</i> .....	40
5.3.2 <i>Resultados atuais das análises da composição química dos fontanários</i> .....	41

<b>5.3.3 Discussão dos resultados da composição química dos fontanários.....</b>	<b>42</b>
5.3.3.1 Sulfeto.....	43
5.3.3.2 Sódio.....	45
5.3.3.3 Sulfato.....	46
5.3.3.4 Fluoreto.....	48
<b>5.4 Análises físicas .....</b>	<b>48</b>
<b>5.5 Análises físico-químicas .....</b>	<b>51</b>
<b>5.5.1 Resultados das análises físico-químicas do Fontanário Pedro Botelho.....</b>	<b>51</b>
<b>5.5.2 Resultados das análises físico-químicas do Fontanário dos Macacos .....</b>	<b>52</b>
<b>5.5.3 Discussão resultados análises físico-químicas Fontanários P. Botelho e Macacos... 53</b>	<b>53</b>
5.5.3.1 Odor.....	53
5.5.3.2 pH .....	53
5.5.3.3 Fluoreto.....	54
<b>5.6 Análises de radionuclídeos.....</b>	<b>60</b>
<b>5.6.1 Análise de <math>^{210}\text{Pb}</math> .....</b>	<b>61</b>
<b>5.6.2 Análise de <math>^{226}\text{Ra}</math> .....</b>	<b>64</b>
<b>5.6.3 Análise de urânio-natural .....</b>	<b>66</b>
<b>5.6.4 Discussão dos resultados análises dos radionuclídeos.....</b>	<b>67</b>
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>69</b>
<b>7 RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>71</b>
<b>8 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>72</b>

## DEDICATÓRIA

Esse trabalho é dedicado a  
meu pai **Francisco de Carvalho** (in memoriam).  
(25 jun. 1915 - 06 set. 2013)

## AGRADECIMENTOS

Ao DMAE, em especial ao setor de laboratório: Ana Maria Ferreira, Marcos Vinícius Rocha Miranda, Maria Lúcia Esperança, Minéia Fonseca Camargo, Renata Maria Eugenio Pereira, Rosemary Caetano Araújo, e toda equipe pela ajuda e pelo companheirismo nesses longos anos.

Ao L.A Teixeira & Filhos, à Ana Paula Teixeira extensivo aos técnicos do laboratório e funcionários, obrigada pela parceria.

À Indústria Nucleares Brasileiras (INB), especialmente ao setor de laboratório de análises físico-químicas e de radionuclídeos. À Cyntia Gonçalves, Rikelli Zanetti e Walter Scassiotti.

À CNEN- Poços de Caldas, à Maria Helena Tirolo Taddei, obrigada pelo apoio.

À PUC- Poços de Caldas, na pessoa de Rosiléia Valin Gonçalves Dias, sua ajuda foi muito valiosa.

Ao Departamento de Meio Ambiente de Poços de Caldas (DMA), especialmente ao Daniel Alcântara de Resende e Ângela M. Marques dos Santos.

À Direção das Thermas Antonio Carlos e Balneário Mário Mourão nas pessoas de Maria Theresa Alvisi, Rogéria Turatto, Paulo Sérgio Colombo e Carlos Antonio Silva.

À UNICAMP, aos funcionários da secretaria da pós-graduação, Eduardo e Diego e demais, aos professores da área de Saneamento e Meio Ambiente, especial à Eglê Novaes Teixeira, pelo apoio incondicional.

Ao orientador Prof. Alexandre Nunes Ponezi pela confiança, ousadia e amizade.

À Prof<sup>ª</sup> Miriam Gonçalves Miguel, pela oportunidade do mestrado.

À Sueli Yoshinaga Pereira, pelo companheirismo, força e amizade.

A minha família, principalmente à minha irmã, Luciana Moreira de Carvalho e a todos amigos por simplesmente estarem ao meu lado.

E, por fim, a tantas pessoas, aos anônimos e a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para que eu pudesse realizar meu objetivo.

*“No fundo da prática científica existe um discurso que diz: nem tudo é verdadeiro, mas em todo lugar e a todo momento existe uma verdade a ser dita e a ser vista, uma verdade talvez adormecida, mas que, no entanto, está à espera de nossa mão para ser desvelada”.*

Michel Foucault

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Manancial de águas sulfuradas .....	10
Figura 2: Localização da cidade de Poços de Caldas .....	18
Figura 3: Localização dos pontos de amostragem.....	19
Figura 4: Fontanário Pedro Botelho .....	21
Figura 5: Fontanário dos Macacos.....	21
Figura 6: Gráfico Pluviometria.....	22
Figura 7: Construção captação da fonte Pedro Botelho.....	24
Figura 8: Captação da Fonte Pedro Botelho.....	25
Figura 9: Captação da Fonte Mariquinha .....	25
Figura 10: Captação da Fonte Chiquinha .....	25
Figura 11: Sistema de tubulação da fonte Pedro Botelho.....	26
Figura 12: Sistema de bombeamentos por pistões fonte P.Botelho.....	26
Figura 13: Captação da Fonte dos Macacos .....	28
Figura 14: Sistema de tubulação que leva as águas para o Reservatório. ....	28
Figura 15: Reservatório do Fontanário dos Macacos.....	28
Figura 16: Vista superior do reservatório.....	28
Figura 17: Vista de dentro do reservatório.....	28
Figura 18: Sistema de tubulações .....	29
Figura 19: Análise de sulfeto.....	44
Figura 20: Análise de sódio .....	46
Figura 21: Análises de sulfato. ....	47
Figura 22: Análises de fluoreto (Composição química).....	48
Figura 23: Temperatura das águas termais. ....	50
Figura 24: Análise de pH .....	54
Figura 25: Análise do fluoreto dos Fontanários Pedro Botelho e dos Macacos.....	55
Figura 26: Análises de $^{210}\text{Pb}$ ( Chumbo). ....	62
Figura 27: Análises de $^{226}\text{Ra}$ (Radio). ....	65
Figura 28: Análises de urânio-natural .....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Legislações.....	16
Tabela 2 – Parâmetros das amostras, períodos e análises.....	19
Tabela 3 – Caracteres dos fontanários .....	23
Tabela 4 – Preservação e armazenamentos das amostras.....	30
Tabela 5 – Métodos e metodologias das análises microbiológicas .....	32
Tabela 6 – Método e metodologia das análises biológicas.....	33
Tabela 6 – Métodos e metodologia das análises físico-químicas.....	33
Tabela 8 – Método e metodologia das análises de radionuclídeos.....	34
Tabela 9 – Métodos e metodologias de análises da composição química.....	34
Tabela 10 – Histórico resultados das análises microbiológicas do Fontanário Pedro Botelho.....	35
Tabela 11 – Resultados das análises microbiológicas do Fontanário Pedro Botelho.....	36
Tabela 12 – Histórico resultados das análises microbiológicas do Fontanário dos Macacos ..	36
Tabela 13 – Resultados das análises microbiológicas do Fontanário dos Macacos.....	37
Tabela 14 - Estatística consolidada das análises microbiológicas.....	38
Tabela 15 – Resultados dos fitoplânctons .....	39
Tabela 16 – Histórico dos Fontanários P.Botelho e dos Macacos.....	41
Tabela 17 – Resultados da composição química dos Fontanários Pedro Botelho e Macacos..	42
Tabela 18 – Temperatura das águas termais.....	49
Tabela 19 – Resultado Análises físico-químicas do Fontanário Pedro Botelho.....	51
Tabela 20 – Resultados análises físico-químicas do Fontanário dos Macacos .....	52
Tabela 21 – Percentual de fluoreto nos Fontanários.....	55
Tabela 22 – Resultados das análises de radionuclídeos .....	61

## 1 INTRODUÇÃO

O Código de Água Mineral, Decreto-Lei n. 7.841 de 1945, artigo primeiro define águas minerais como sendo “aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuam composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes confirmam uma ação medicamentosa”.

Palhares (2004) definiu água mineral como sendo “a água que contém substâncias minerais e gasosas dissolvidas e, conforme o mineral dissolvido, a água pode ser, alcalina, sulfurosa, salobra, acídula ou magnésiana, decorrendo daí suas propriedades medicinais”.

Quanto às águas termais sulfurosas, por não haver uma legislação específica para as mesmas, essas se enquadram na definição das águas minerais e são regidas pelo mesmo código.

Portanto, água termal é uma “particularidade da água subterrânea, enriquecida com minerais contidos nas rochas e no solo, com características peculiares e que emergem a superfície sob a forma de fonte com temperatura acima da encontrada nas águas comuns” (MOURÃO, 1992).

As águas termais possuem composições distintas, sendo diferentes entre si, pois dependem do local onde surgem, do tipo de rocha, clima, relevo e outros. Por isto existem vários tipos de águas termais e são classificadas conforme suas propriedades minero-medicinais pelo Código de Água Mineral, Decreto-Lei, n. 7841 de 1945.

Classificar as águas significa identificar por meio de avaliação de resíduos solúveis e propriedades físico-químicas inerentes às fontes, respeitando os limites mínimos estabelecidos pelo decreto acima citado.

A classificação de águas termais sulfurosa é devida a temperatura alta e teor de enxofre, que as tornam com caracteres peculiares distintas de outras águas, sendo utilizadas como medicamento contribuindo para o bem estar, qualidade de vida e recuperação da saúde.

Caetano (2005, p.69) citou:

Que o conhecimento dos verdadeiros valores terapêuticos das águas minerais, está há muito tempo defasados, bem como suas possíveis contraindicações (radioatividade e íon iodeto em excesso). E, complementa que a Comissão de Crenologia responsável por classificar a ação terapêutica das águas medicinais, se encontra desativada, sendo seus trabalhos sem dúvidas relevantes, mas a melhoria da capacitação do laboratório oficial

do governo, Laboratório de Análises de Águas Minerais (LAMIM) é fundamental para a classificação das águas minerais.

As águas minero-medicinais são definidas por Mourão (1992) como sendo” soluções complexas energéticas, com conteúdo coloidal inorgânico, evidente atividade iônica, grande quantidade de componentes químicos, muitos deles em baixa concentração, porém não menos ativos e toda uma série de propriedades física, físico-química e biológica”.

“O uso medicinal das águas termais tem raízes profundas na história da humanidade, fez parte inclusive da mitologia e incorporou lendas das quais exaltava suas virtudes” (CARVALHO, s/d).

“No Brasil, as diversas fontes termais são utilizadas desde antes da colonização portuguesa quando indígenas já faziam uso das águas terapeuticamente “(MOURÃO, 1992).

“Há várias estâncias de águas termais famosas pelo mundo, sendo que a maior parte encontra-se na França, com destaque para Avène” (LAZZERINE, 2012). No entanto, no Brasil, também existem muitas estâncias hidrominerais reconhecidas internacionalmente, como é o caso de Poços de Caldas, Águas de São Pedro, Araxá, São Lourenço, Caldas Novas, dentre outras.

Conforme Mourão (1952) “as águas termais sulfurosas de Poços de Caldas são referências desde o século XIX na prática da balneoterapia (banhos de imersão, nebulização e hidropinia) e fisioterapia”.

Ainda, segundo Mourão (1992) a classificação crenquimioterápica das águas minerais com ação terapêutica é baseada “na concentração aniônica predominante, que formam as respectivas divisões terapêuticas, onde cada divisão apresenta características físico-químicas semelhantes ou próximas, com indicações clínicas também semelhantes ou próximas”.

A cidade de Poços de Caldas possui quatro fontes de águas sulfurosas, com caracteres minero-medicinais, situadas na área central da cidade. Sendo duas fontes de águas termais sulfurosas, uma localizada próxima a Thermas Antônio Carlos, denominada de Fontanário Pedro Botelho, e a outra próxima ao Balneário Mário Mourão, denominada de Fontanário dos Macacos, sendo essas objeto de pesquisa deste trabalho. Uma está distante da outra apenas em 574 metros. Na cidade também há uma fonte sulfurosa fria denominada de Fontanário Sinhazinha, localizada em frente à sede da Prefeitura de Poços de Caldas e outra fonte sulfurosa mesotermal,

denominado Quisisana Sulfurosa que fica dentro de um condomínio particular, localizado na zona central da cidade.

Grande parte dos balneários no Brasil está sob concessão do Estado. As Thermas Antônio Carlos e o Balneário Mário Mourão se encontram sob essas condições, sendo a Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) sua concessionária.

A CODEMIG presta diversos serviços na área da balneoterapia que são tarifados. No entanto, a prefeitura da cidade disponibilizou desde o ano de 1928, gratuitamente, dois Fontanários de águas termais sulfurosas e um Fontanário de água sulfurosa fria para uso da população.

A população utiliza destes Fontanários para diversos fins, inclusive ingerindo dessas águas, sem nenhuma cautela quanto às restrições ao seu uso, já que são águas com composição química e bacteriológica diferenciada das demais, não podendo ser considerada como um alimento e sim águas minero-medicinais.

Um fato importante é que estas águas não possuem um programa de controle sistemático para que sejam avaliadas suas qualidades bacteriológicas e químicas a cerca de garantir que essas águas distribuídas nos Fontanários estejam livres de contaminações diversas.

A CODEMIG, estando com a concessão dos balneários, é responsável, dentre outras circunstâncias, pelas realizações de análises referentes a medições de temperatura, vazão e qualidade das águas termais sulfurosas, como estipula o Código de Águas Minerais, Lei n. 7.841/45 no artigo 27, parágrafo único.

Além da determinação mensal da vazão e de certas propriedades físicas e físico-químicas, será exigida a realização de análises químicas periódicas, parciais ou completas, e, no mínimo, uma análise completa de 3 em 3 anos, para verificação de sua composição.

E, ainda continua no Parágrafo Único:

Em relação às qualidades higiênicas das fontes serão exigidos, no mínimo, quatro exames bacteriológicos por ano, um a cada trimestre, podendo, entretanto, a repartição fiscalizadora exigir as análises bacteriológicas que julgar necessárias para garantir a pureza da água da fonte e da água engarrafada ou embalada em plástico.

Na cidade de Caldas Novas (GO), o Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM) monitora desde o ano de 1992 a “vazão, a temperatura e o nível estático mensalmente

dos poços de águas termais. A medição da vazão é importante para evitar que não haja superexploração e conseqüentemente uma exposição do aquífero ao risco de contaminações” (ANDRADE & ALMEIDA, 2012).

Infelizmente isso não é cumprido na cidade de Poços de Caldas. A captação das *Thermas Antônio Carlos* e nem do *Balneário Mário Mourão* possuem medições de vazão ou de temperatura e nem históricos de resultados de análises microbiológicas e de composição química das referidas águas termais sulfurosas. Cabe ao órgão do DNPM a fiscalização para o cumprimento da lei.

Em 1952, Mourão já relatava que as águas subterrâneas de Poços de Caldas são citadas como “possuidoras de propriedades bacteriostáticas, isso relativo à balneabilidade. Assim, possuem características químicas que lhes asseguram ausência de contaminantes patógenos, tais como *Coliformes totais* ou *termotolerantes* e *Streptococos fecais*”.

Mas é devido ressaltar:

Que embora essas águas estejam protegidas pela ação de alguns compostos químicos presentes em sua composição, como o sulfeto que é um poderoso bactericida e também pelas altas temperaturas resultantes do contato com rochas vulcânicas, não se pode descartar as várias interferências antrópicas ao meio ambiente ao longo deste tempo, colocando em risco a qualidade e quantidade das águas termais. (COSTA et al., 1998, p.52).

Clapés (2000) comentou “que as características das águas medicinais” não são sempre estáveis nem se mantêm inalterada com o tempo. Há muitos fatores que podem influenciar na constância destas características: vazão, temperatura, parâmetros físicos, composição química, radioatividade e qualidade microbiológica das águas”.

Existe uma preocupação por parte dos órgãos ambientais, Departamento de Meio Ambiente de Poços de Caldas (DMA), Departamento Municipal de Água e Esgoto de Poços de Caldas (DMAE) e também por parte da população que utilizam das águas termais em ter acesso às informações sobre a qualidade das mesmas.

É dentro desse contexto que foi elaborado este trabalho que pretende, por meio de uma avaliação da qualidade, aportar informações sobre a qualidade microbiológica, bacteriológica, físico-química, radionuclídeos e de composição química, iniciando-se um histórico de dados para monitorar o comportamento dessas águas, o qual pode ser utilizado, dentre outras coisas, como instrumento de gestão pelos órgãos competentes, auxiliando em programas que venham a ser

aplicados em relação à proteção das águas termais sulfurosas, garantindo sua qualidade.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

Quanto à importância da escolha dos Fontanários para estudo, foram levados em consideração alguns aspectos importantes, tais como: serem fontes de livre acesso para o uso da população, Fontanários cujas captações foram feitas desde o ano de 1882 permanecendo até os dias atuais praticamente inalterados e por serem pontos vulneráveis devido às ações antrópicas tanto nos locais de recarga quanto nos pontos de surgências das águas termais sulfurosas.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral:**

Avaliar a qualidade das águas termais sulfurosas distribuídas nos Fontanários da cidade, mediante análises dos seguintes parâmetros: microbiológicos, biológicos, físico-químico, composição química e de radionuclídeos.

### **1.2.2 Objetivos Específicos:**

- Avaliação das tendências de qualidade das águas termais sulfurosas ao longo do tempo;
- Verificar as condições de captação dos Fontanários;
- Estruturar um banco de dados referente aos resultados analisados;
- Avaliar a presença de possíveis alterações nas águas termais sulfurosas.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 ORIGEM DAS ÁGUAS TERMAIS**

“Grande parte das águas termais são proveniente de regiões vulcânicas, e surge tanto como resultado de eventos eruptivos, quanto de manifestações hidrotermais” (Cruz & França, 2006).

“O município de Poços de Caldas foi povoado por aqueles que se instalaram ao redor das fontes de águas termais sulfurosas” (MOURÃO, 1992).

“Eventos ligados às condições climáticas, especialmente, a um alto índice pluviométrico, associados a um sistema de falhas ou fraturamentos abertos (vulcanismos), constituíram fatores favoráveis à infiltração e circulação das águas termais” (FRANGIPANI, 1991).

A origem das águas termais da cidade de Poços de Caldas está relacionada, segundo Costa et. al. (1998) “a um extenso e profundo sistema de fraturas abertas, do qual foram identificadas pelo menos 3 direções principais. As emergências das águas termais localizam-se exatamente no ponto de cruzamento destas três fraturas principais”.

As águas subterrâneas ocorrem por meio de nascentes difusas e algumas fontes pontuais frias ou termais onde se identifica “uma zona aquífera rasa, com pouca profundidade; uma zona aquífera intermediária e por último, uma zona aquífera de circulação profunda. Essa última zona está associada às fontes termais” (CRUZ, PEIXOTO & PIMENTEL, 1987).

### **2.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS TERMAIS**

De acordo com Cruz, Peixoto e Pimentel (1987) “a evolução da composição química das águas subterrâneas seria influenciada principalmente pelos processos de lixiviação das rochas ígneas e vulcânicas que compõem o complexo alcalino”.

Cruz & Peixoto (1991, p.4) citaram que as águas termais se diferem das outras por apresentarem:

Temperaturas de 40°C a 44°C, aumento acentuado no total de sólidos dissolvidos e do pH, acompanhado de maiores concentrações de carbonatos, sódio, sulfetos e fluoreto.

Apresentam ainda certa quantidade de sílica. Entre os elementos menores destacam-se o ferro, alumínio, fósforo.

Mourão (1992) destacou os elementos quantitativamente mais encontrados nas águas termais: “hidrogênio, cloro, oxigênio, carbono, sódio, potássio, cálcio, sílica, magnésio e ferro. E, os elementos menos frequentes: bromo, iodo, flúor, antimônio, boro, arsênio, fósforo, lítio, bário, estrôncio, prata, manganês, zinco, cobre, lantânio”.

Essa composição química considera também a questão da presença dos elementos radioativos nas fontes que é uma propriedade conferida às águas por alguns radioelementos lixiviados das rochas em zonas profundas.

“A radioatividade das fontes hidrominerais é uma propriedade conferida às águas e aos gases espontâneos por alguns radionuclídeos extraídos de rochas subterrâneas” (MOURÃO, 1992).

“As fontes hidrominerais radioativas do Brasil, atualmente conhecidas, são devidas ao radônio e tório. Sendo as mais conhecidas: Fonte São Bento e Fonte São Miguel (Águas da Prata-SP), Fonte Bêja e Fonte Lagoa em Araxá-MG” (MOURÃO, 1992). Todas as fontes hidrotermais estão localizadas em áreas de rochas vulcânicas alcalinas.

### **2.3 HISTÓRICO DAS ANÁLISES EFETUADAS NAS ÁGUAS TERMAIS**

Cruz, Peixoto & Pimentel (1987, p.25) selecionaram nomes de alguns dos pesquisadores que analisaram as águas termais sulfurosas ao longo destes anos.

As primeiras análises dos Fontanários Pedro Botelho e dos Macacos foram datadas de 1874 e se referiam a dados sobre a composição das águas. Embora houvesse limitações analíticas na época, foi possível analisar temperatura da água, densidade, resíduo fixo total, constituintes maiores, nitrogênio e gás sulfídrico. Em 1883, foi realizada pela primeira vez a medida de vazão dos dois fontanários. Depois, em 1888, membros da comissão médica realizaram novas análises. Em 1904, mais análises foram feitas pelo médico Dr. Pedro Sanchez de Lemos que, além de analisar a qualidade das águas, ainda verificou suas virtudes crenoterápicas. Entre 1904 e 1937, vários trabalhos foram realizados, desde simples caracterizações analíticas até as análises das propriedades medicinais, pelos respectivos pesquisadores: Scheffer (1914), Batista (1928), Felipe J. C. (1928), Andrade Júnior (1928), Mário Mourão (1933) e Andrade Júnior e Moraes Rêgo (1937), estes últimos avaliaram também as qualidades terapêuticas das águas sulfurosas.

Ainda, segundo os autores (1987, p.27)

O pesquisador Mário Silva Pinto efetuou em 1947 o primeiro estudo até então registrado na época, sobre a degradação das águas sulfurosas, direcionado para o Fontanário Pedro Botelho (localizado próximo às Thermas Antônio Carlos), onde se constatou que, devidos a defeitos na captação e na condução da água, estava ocorrendo uma degradação das águas termais sulfurosas com perda sensível dos teores de sulfeto.

“Em 1955, um inspetor do DNMP, esteve no local e confirmou as determinações feitas por Mário Silva Pinto em 1947” (COSTA et al., 1998).

Outros pesquisadores analisaram as fontes termais sulfurosas quentes e frias: “Suszczyński e Martins (1969), Consultec (1970), Falcão (1978), Araújo (1980), Szikszay (1981), Huter et al. (1983), Bonotto e Fujimori (1984)” (COSTA et al., 1998).

Cruz, Peixoto & Pimentel (1987) mencionaram “o resultado de análises físico-químicas das águas termais de zona profunda das fontes dos Macacos e Pedro Botelho, onde encontraram valores altos de sulfetos, sílica e fluoretos, dentre outros elementos em níveis mais baixos”.

Como não se tem registros sobre o local amostrado em 1947, aonde apresentou um baixo valor de sulfeto para o Fontanário Pedro Botelho, é difícil analisar o fato de que, em 1987, nas amostragens em zona profunda encontraram-se valores altos para este elemento, sem que houvesse relatos a cerca das intervenções recomendadas quanto aos reparos no referido Fontanário para sanar os problemas analisados pelo pesquisador em 1947.

Logo em “seguida, os pesquisadores Cruz & Peixoto (1989) analisaram as” águas termais superficiais, das fontes Pedro Botelho e Macacos encontrando altas concentrações de bicarbonatos, sódio, sulfato, carbonato e sílica nas águas, acompanhadas de alta mineralização de fluoreto”.

Os mesmos pesquisadores complementaram com bases oriundas em amostragens não sistemáticas, realizadas em diferentes épocas, “onde descreveram algumas características dos aquíferos da zona superior, das águas subterrâneas da zona intermediária e das águas termais, zona profunda, verificaram-se também, concentrações altas de bicarbonatos, sódio, sulfato, carbonato, sílica e fluoreto”.

No final do ano de 2003, as Indústrias Nucleares do Brasil (INB) realizaram análises da composição química das águas das fontes Pedro Botelho e Macacos, verificando-se também altas concentrações de bicarbonato, sódio, sulfato, carbonato, sílica e fluoreto.

Em 2007, a CODEMIG solicitou uma análise da composição química e bacteriológica das águas termais sulfurosas, a qual foi realizada pelo Laboratório de Análises de Águas Minerais (LAMIM). Os resultados das análises da composição química evidenciaram uma alta concentração para os valores de fluoreto para os dois Fontanários. Os resultados das análises bacteriológicas indicaram que tanto as águas do Fontanário Pedro Botelho quanto do Fontanário dos Macacos estavam dentro dos parâmetros microbiológicos exigidos pela legislação.

Embora esse tipo de análise de composição química realizada esteja mais direcionado para pesquisas dos componentes terapêuticos presentes nas águas do que necessariamente para avaliações de possíveis alterações na qualidade das mesmas, as análises realizadas para este fim podem auxiliar a avaliação de possíveis alterações nas águas termais sulfurosas.

Não há mais registros oficiais das séries históricas das análises realizadas nos Fontanários estudados. Pesquisas efetuadas junto à biblioteca da CODEMIG e a Diretoria das Thermas Antônio Carlos comprovam este fato.

## 2.4 MICROBIOLOGIA DAS ÁGUAS TERMAIS

As águas termais sulfurosas possuem, além de uma composição química variada, diversas espécies de microrganismos, constituindo, assim, sua fauna natural.

Vendrell et al. (1998, p.93) citaram alguns dos microrganismos que podem ser encontrados nas águas termais, tais como:

Algas, protozoários e bactérias. Pertencem a esse grupo as bactérias: ferrobactérias, manganosobactérias, sulfobactérias e as bactérias halófilas (resistentes a grandes concentrações de sais). O autor ressalta que, todos estes microrganismos constituem a flora normal das águas termais, porém, a preocupação seria com os microrganismos patógenos causadores de doenças que indicam uma contaminação na água de origem externa, ligada às ações antrópicas.

Jorge et al. (2000) frisaram “que” há grande diversidade de microrganismos nas águas termais e que as características físico-químicas das mesmas, tais como a temperatura, o PH e a composição química é que irão definir quais bactérias predominarão”.

Ainda, os mesmos autores, descreveram as mais comumente encontradas: “*Pseudomonas aeruginosas*, *Bacilus*, *Micrococcus*, *Staphylococcus* e *Enterobacter*. Já os indicadores fecais e as

bactérias patogênicas são raras serem encontradas nas águas termais”.

Coelho et. al (1998) ressaltaram em uma pesquisa realizada sobre a ecologia das águas minerais, não se referindo se abrangeria as águas termais, “que amostras coletadas diretamente do aquífero não são totalmente estéreis, mas que perdem parte das bactérias e matéria orgânica em suspensão quando atravessam as rochas e solos”.

Torrella (s/d) registrou uma imagem de um manancial de águas sulfuradas envolto com os microorganismos, entretanto não mencionou quais espécies estão presentes, além da baregina. Figura 1.

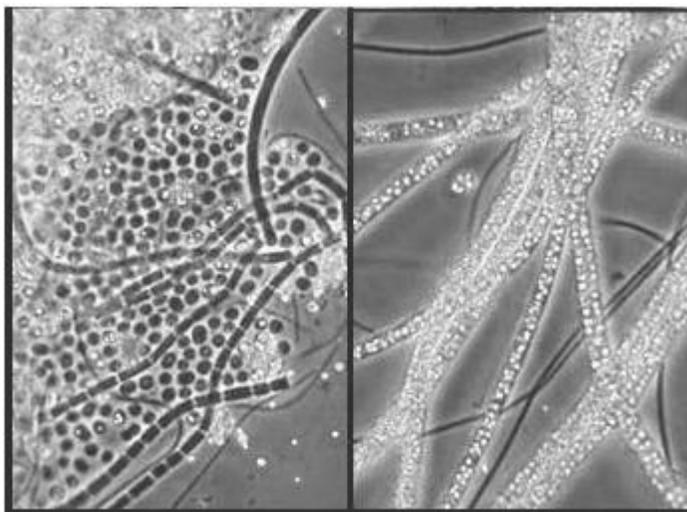


Figura 1: Manancial de águas sulfuradas Fonte: Torrella (s/d).

A foto mostra, segundo Torrella (s/d) “uma comunidade de microorganismos em meio a polímeros hidratados de polissacarídeos de textura mucilaginosa, denominado de baregina que são moléculas com aspecto meio esbranquiçadas”.

A fauna natural presente nas águas termais, cuja atividade é fundamental para os diferentes mecanismos de ação do enxofre no organismo, conseqüentemente produz efeitos terapêuticos e, é também a responsável pela produção da Baregina (informação verbal).

As Bareginas, cujo nome correto seria Glairina, segundo Mourão (1992) “são camadas de algas e bactérias que se formam sob a superfície ficando em suspensão dentro dos reservatórios onde estão armazenadas as águas termais e têm a função de oxidar os compostos de enxofre transformando-os em sulfetos e sulfatos, conferindo à água o poder bactericida”.

Grande parte das bactérias não patogênicas presentes nas águas termais sulfurosas são benéficas tanto para o meio a que estão inseridas quanto para os fins a que se destina, “terapêuticos”.

## 2.5 RELATOS DE CONTAMINAÇÕES MICROBIOLÓGICAS OU FÍSICO-QUÍMICAS EM ÁGUAS TERMAIS

Mesmo apresentando essa propriedade bacteriostática, essas águas não estão permanentemente livres de contaminações diversas. Exemplo disso foi o que ocorreu em 1997 nas fontes termais de Santa Comba e Três Bicas em Moura (Portugal).” As nascentes foram contaminadas por substâncias orgânicas e o balneário que recebia essas águas foi interditado” (COSTA, 2002).” Na fonte termal Tinteiro, em Ourense (Espanha) detectou-se, em 1998, uma contaminação por *Enterococcus e Pseudomonas aeruginosas* proveniente de infiltrações de águas superficiais de um rio que passava próximo ao ponto de surgência da fonte, consequência de uma má captação das águas termais” (VENDRELL et al., 1998).” O aparecimento de uma bactéria denominada de *Legionella pneumophyla* em águas termais na Espanha deixou os pesquisadores espanhóis em estado de alerta na década de 90” (CLAPÉS, 2000). Outro exemplo de contaminação foi o ocorrido no” hospital termal de Caldas da Rainha (Portugal) em 1997, fazendo com que o sistema de canalização das águas termais sofresse uma contaminação pela bactéria denominada de *Pseudomona aeruginosa*, vindo a ser interditado” (MARTINS, 2010).

“No Brasil não há relatos sobre contaminações microbiológicas em águas termais distribuídas nas fontes. Há apenas uma informação de contaminação por *Salmonelas*, porém em águas de piscinas termais usadas para tratamentos terapêuticos no sul do país” (BONOTTO & GELINSKI, 2010).

Com relação às alterações físico-químicas os casos relatados a nível internacional são de incorporação natural elevada de fluoreto,” como o caso do Balneário Thermas de Buntis, onde o valor de fluoreto é de 18,1 mg/L, do Balneário Banõs Viejos de Carballo, valor de 16,6 mg/L e da fonte de Lugol, com valor de 13,5 mg/L, todos na Espanha”. (INSTITUTO DE SALUD CARLOS III, s/d).

“No Brasil, as incorporações naturais com elemento fluoreto são relatadas na cidade de

Águas da Prata (SP), cidade vizinha a Poços de Caldas, aonde o valor do fluoreto na Fonte Nova Balneário chega a 21 mg/L” (LAZZERINE, 2012). “No município de Poços de Caldas, também já foram relatados casos de incorporação natural elevada do fluoreto, tanto no Fontanário Pedro Botelho, quanto no Fontanário dos Macacos “(CRUZ & PIMENTEL, 1991).

## **2.6 RISCOS DE CONTAMINAÇÕES DAS ÁGUAS TERMAIS DE POÇOS DE CALDAS**

Quanto à vulnerabilidade dos aquíferos pode-se dizer que Costa et. al. (1998, p.64) já afirmavam:

As possíveis contaminações dos aquíferos fraturados profundos da área da estância de Poços de Caldas, sob o aspecto bacteriológico, podem ser considerados baixos a nulo, dado o longo tempo de residência das águas sulfurosas (12.500 anos) e as elevadas temperaturas das águas. Os levantamentos de campo confirmam que os aquíferos da área são alimentados por águas pluviais, restritas ao Planalto de Poços de Caldas. Assim, as possibilidades de contaminação das águas subterrâneas que alimentam as fontes são de difícil mensuração, mas devem ser evitadas quaisquer ameaças pela impossibilidade prática de medidas de descontaminação.

“Porém, não se deve descartar o risco de alterações nas águas termais por consequência do avanço urbano e de diversas atividades ao redor dos pontos de surgências das águas e sob as áreas de recargas dos aquíferos que deveriam, a princípio, estar protegidas” (COSTA et al., 1998).

Costa et al. (1998, p.63) frisaram:

Que a área definida como de proteção do aquífero ou poligonal de proteção inclui em grande parte a zona central do município. No caso de Poços de Caldas, em que o sistema comporta-se como fraturado, devem-se estabelecer critérios para a ocupação urbana nos vales do Córrego Vai e Volta e em toda a bacia do Ribeirão de Caldas, para não comprometer a qualidade das águas. Principalmente pelo fato da recarga ser proveniente, na maior parte, da precipitação pluviométrica que ocorre dentro da bacia hidrográfica do Ribeirão de Caldas; mas, pode ser complementada por contribuições de fendas profundas que interconectam as bacias hidrográficas do Córrego Vai e Volta com o Ribeirão das Vargens, aumentando substancialmente a área de contribuição.

Além deste fato, Costa et al. (1998) levantaram uma hipótese de uma” provável contribuição subterrânea da bacia do Ribeirão das Antas para as fontes termais do conjunto Pedro Botelho e dos Macacos, reforçando, também a importância hidrogeológica dessa bacia para a sustentabilidade das águas termais”.

O Código das Águas Minerais n. 7.841/45 regulamenta, por meio da Portaria n. 231 de 31/07/1998 “as áreas de proteção das fontes tanto para as águas minerais quanto para as águas termais sulfurosas”.

Ainda, segundo Costa et al. (1998) “a autorização para a expansão urbana nas áreas dessas bacias é de responsabilidade da Prefeitura Municipal de Poços de Caldas e deve ser precedida de estudos específicos, para determinação do modelo de ocupação a ser aceito e licenciado”.

De acordo com Costa et al. (1998, p. 59) a urbanização na área da estância hidromineral foi inevitável.

A cidade cresceu a partir de um núcleo, que era a área das fontes termais. A expansão urbana ocupou as terras adjacentes às *Thermas*. Só restando como áreas públicas antigos terrenos do Estado, de domínio da comunidade. Nas zonas de recarga dos aquíferos intermediários e rasos, a expansão urbana já ocupa, praticamente, todo o vale do Ribeirão de Caldas e de seu afluente, o Ribeirão da Serra.

Desde 1998 já podia-se observar uma grande expansão no vale do Córrego Vai e Volta, com a implantação de novos loteamentos. São fatos preocupantes e de difícil controle, pois, a expansão observada já tem autorização legal e há um avançado estágio de urbanização sobre a área de recarga, expondo-a a contaminação, dada sua grande vulnerabilidade, devido a inúmeras zonas de afloramentos rochosos fraturados (COSTA et al., 1998, p.59).

Estudos mais recentes indicaram que o vale do Córrego vai e Volta encontra-se” densamente ocupado e em expansão urbana, trazendo impactos negativos à sociedade e ao meio ambiente, como acentuados movimentos de terra, suscetíveis a escorregamentos, aumento do escoamento superficial e contaminação do corpo hídrico” (POÇOS DE CALDAS, 2006).

Costa et. al. (1998) descreveram outra situação considerada de riscos, “dos principais coletores do sistema de esgotamento sanitário da cidade, que atravessam em seus cursos áreas muito próximas às fontes, sobretudo as fontes termais”.

Verifica-se que são muitos os fatores que podem influenciar a qualidade e a quantidade das águas termais, além destes citados, podem-se relacionar outros tais como: a forma de captação, distribuição e armazenamento das águas, pois essas podem afetar as características das mesmas, a falta de manutenção adequada ao longo do tempo dos pontos de captação, as alterações físicas, físico-químicas do próprio aquífero.

Segundo a Portaria n. 374/09 do DNPM, a construção da captação” deve obedecer a normas técnicas específicas para prevenir os diversos tipos de contaminações. Para isso, as

captações das águas subterrâneas devem merecer atenção desde a fase de projeto, execução e manutenção”.

No caso dos Fontanários Pedro Botelho e dos Macacos, como foram captações muito anteriores à lei, os cuidados devem ser redobrados para evitar contaminações que podem vir dos materiais e equipamentos utilizados ou mesmo do solo ou subsolo contaminados por matéria orgânica e agentes contaminantes em geral ou até mesmo a influência de águas superficiais.

É o que confirmaram Costa et al. (1998) “as bombas instaladas para o abastecimento das Thermas Antônio Carlos e do Palace Hotel, se encontram em situação precária com evidente perda de rendimento em decorrência do tempo de uso”.

Nos dias atuais, referente ao período da pesquisa, pode-se comprovar através dos dados pesquisados que não houve alteração no sistema de bombeamento. Não foram constatados reparos, manutenções ou trocas das mesmas.

Além das possíveis contaminações antrópicas, é importante frisar, os riscos das contaminações naturais, advindas do próprio meio onde circulam estas águas e que estão fora do controle do homem.

## **2.7 MEDIDAS PREVENTIVAS**

Um programa de monitoramento nessas águas juntamente a programas de gestão de políticas públicas voltadas a proteção desses aquíferos se faz necessário, devido a essas inúmeras zonas de afloramentos rochosos fraturados que podem expor a área de recarga à contaminação, quando sofridas ações antrópicas, dada sua grande vulnerabilidade. É o que afirmaram um estudo hidrogeológico feito por Costa et al. (1998, p.5):

O objetivo foi consolidar o conhecimento básico relacionado à origem, qualidade e quantidade das águas minerais de Poços de Caldas e estabelecer a área de proteção ambiental para a estância hidromineral, conhecer a situação atual dos aquíferos, os riscos de contaminação das águas subterrâneas e o seu grau de vulnerabilidade, permitindo assim traçar um plano de preservação e racionalização do uso das águas minerais da cidade.

Cruz, Peixoto & Pimentel (1987) recomendaram” medidas efetivas para proteção das águas e um monitoramento da qualidade das fontes termais de Poços de Caldas mensalmente,

sugerindo alguns parâmetros tais como: temperatura, pH, condutividade, cloretos, fluoretos, nitritos, nitratos, *Coliformes* e *Streptococos fecais*”.

No entanto, Costa et al. (1998, p.60) comentaram:

Que a importância da proteção da qualidade das águas subterrâneas tem como fundamento o reconhecimento de que, uma vez estabelecida a contaminação do aquífero, sua regeneração é, em geral, lenta e demanda investimentos vultosos. Mesmo assim, a recuperação das águas subterrâneas estará sempre condicionada a que se consiga efetuarla por meios economicamente viáveis.

Os autores complementaram “que as qualidades das propriedades físico-químicas, biológicas e de composição química estão sujeitas a fatores externos, portanto não estão livres de possíveis contaminações” (COSTA et al., 1998).

Senta (1996) destacou que” as águas sulfurosas não podem ser cloradas, diante de uma contaminação microbiológica, pois com isso eliminaria compostos terapêuticos ativos importantes”.

Considerando essas adversidades e a possibilidade de uma contaminação nas águas, Signorelli et al. (2006) desenvolveram “um estudo sobre tratamento de águas termais e recomendam métodos alternativos, que não afetam a composição físico-química da água e sejam ao mesmo tempo eficientes bactericidas, a exemplo da utilização de radiação ultravioleta ou ozônio”.

Contudo, apesar de eficientes, esses métodos podem não ser viáveis do ponto de vista econômico.

Diante de todas estas adversidades o melhor caminho, ainda seria a busca de proteção para estas águas.

Borges (2007) afirmou que é possível “por meio de estudos geológicos, hidrogeológicos e de monitoramento da qualidade das águas, investigar cientificamente e com dados históricos, problemas levantados e subsidiar programas de gestão adequados à preservação e aproveitamento desse recurso natural”.

É preciso que todos se conscientizem sobre a importância da preservação das águas minerais e termais, desde a população até o poder público. As leis precisam ser cumpridas, algumas reformuladas e outras incorporadas à legislação.

## 2.8 LEGISLAÇÕES PERTINENTES

As águas termais sulfurosas são regidas pelo Código de Águas Minerais Decreto-Lei n. 7.841/45 e estão dentro da definição de águas minerais naturais, mas não possuem uma legislação definida especialmente para esse tipo de água.

“Ainda que todos os tipos de águas façam parte do mesmo ciclo hidrológico, são abordados de maneira diferenciada na mesma legislação brasileira, dependendo da forma de seu aproveitamento ou destinação” (CARVALHO, s/d). O mesmo ocorre com as águas termais sulfurosas.

Ao que se refere à classificação e a outras legislações pertinentes às águas termais, tem-se que cabe ao DNPM estabelecer a classificação, bem como a regulamentação das águas minerais e potáveis de mesa, para fins de engarrafamento e balneabilidade. As legislações podem ser observadas na tabela 1.

Tabela 1 - Legislações

<b>Número</b>	<b>Legislação</b>	<b>Disposições gerais</b>
Código Águas Minerais- Decreto-lei 7.841/45		Estabelece a classificação e regulamentação para águas minerais e potáveis de mesa para fins de engarrafamento e balneabilidade.
Portaria 231/98 – DNPM		Regulamenta áreas de proteção das fontes de águas minerais.
RDC 274/05- Anvisa/MS		Regulamento técnico determina limites para substâncias químicas na água mineral.
RDC 275/05- Anvisa/MS		Regulamento técnico de caracteres microbiológicos para água mineral natural e água natural.
Portaria 374/09 – DNPM		Dispõe sobre especificações técnicas para o aproveitamento de água mineral, termal...

Dados: Fonte pesquisa 2013

De acordo com a Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) n. 274/2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (ANVISA/MS): Aprova o regulamento técnico para águas envasadas e gelo. A RDC n. 275/2005 da ANVISA/MS: Aprova o

regulamento técnico das características microbiológicas. A Resolução do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos (CNRH) n. 76/07: “Estabelece diretrizes gerais para a integração entre a gestão de Recursos Hídricos e a gestão de Águas Minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários”. A Portaria n. 374 de 01/10/2009 da DNPM:” Dispõe sobre especificações técnicas para o aproveitamento de água mineral, termal, gasosa, potável de mesa, destinadas ao envase ou como ingrediente para o preparo de bebidas em geral, ou ainda destinadas para fins balneários”.

Além de uma legislação deficiente, ainda existem conflitos quanto ao uso de certas terminologias. Como exemplo pode-se citar o próprio termo sulfurosa que, segundo Mourão (1992, p. 121) não seria adequado,

pois jamais figurou na composição dessas águas o enxofre sob a forma de íon sulfuroso ( $\text{SO}^{2-}_3$ ). A denominação certa seria sulfurada para as águas que contenham enxofre titulável na quantidade superior a 1mg/L e, comumente, em formas pouco estáveis correspondentes ao ácido sulfídrico e ácido polissulfídrico.

Algumas comunidades Europeias já adotaram o termo sulfuradas, tais como Espanha e Portugal.

Finalizando, os temas referentes às águas minerais e águas termais sulfurosas ainda são pouco explorados no Brasil, principalmente nas áreas acadêmicas, mas de muito interesse e importância não só para as localidades hidrotermais, como para o geral. Como instrumento de gestão, o monitoramento das fontes deve ser suporte à elaboração de planos de uso e ocupação das bacias de recargas nas estâncias hidrominerais, garantindo a sustentabilidade e a qualidade das águas termais sulfurosas.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

Poços de Caldas é uma estância hidromineral localizada ao sudoeste do estado de Minas Gerais e pertence à região do Alto do Rio Pardo, tendo como limites ao norte as cidades de Bandeira do Sul e Botelhos; ao sul, Andradas; ao leste, Caldas (todas situadas no estado de Minas Gerais) e a oeste Águas da Prata, SP. O mapa da localização da cidade pode ser visto na Figura 2.



Figura 2: Localização da cidade de Poços de Caldas  
Fonte: GOOGLE MAPS (2013) Adaptado para a pesquisa.

As amostragens foram realizadas nas fontes termais de águas sulfurosas, de livre acesso para a população, que utiliza dessas águas para fins terapêuticos. As águas termais analisadas nos respectivos Fontanários são as mesmas que abastecem o Balneário Mário Mourão, as Termas Antônio Carlos e o Hotel Palace. Os pontos escolhidos para estudo se localizam na área central da cidade, sendo: um ponto no Fontanário dos Macacos, situado próximo ao Balneário Mário Mourão; outro ponto situado nas Termas Antônio Carlos no Fontanário Pedro Botelho, identificados na Figura 3.

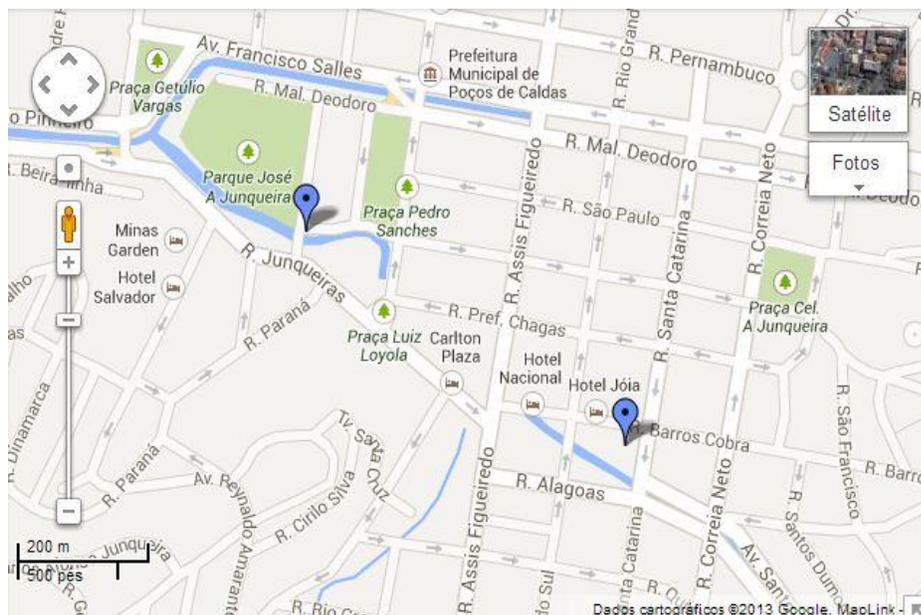


Figura 3: Localização dos pontos de amostragem  
 Fonte: GOOGLE MAPS (2013) adaptado para a pesquisa.

As coletas de amostras e periodicidade podem ser visualizadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros das amostras, períodos e análise

Parâmetros	Período	Análises
Microbiológicos	Quinzenal (ago./12 a dez./12) e mensal (jan./13 a jul./13)	<i>Coliformes termotolerantes;</i> <i>Coliformes totais;</i> Contagem de bactérias heterotróficas
	Mensal a partir de nov./12 a jul./13	<i>Salmonela e Estreptococos</i>
Biológica	Semestral	<i>Fitoplânctons (algas)</i>
Físico-químicos	Quadrimestral	Cor, temperatura, pH, condutividade, cloreto, sólidos totais dissolvidos, fluoreto, Manganês, amônia, ferro, nitrato, acidez total, dureza total, alumínio, turbidez.
Composição química	Semestral	Íons, ânions e compostos químicos*.
Radionuclídeos	Semestral	Rádio ( $^{226}\text{Ra}$ ), Chumbo ( $^{210}\text{Pb}$ ), Tório (Th), Urânio natural (U) e Rádio $^{228}\text{Ra}$

\* Relacionados com a classificação das águas segundo o Código de Águas Minerais.

Fonte: dados da pesquisa, 2013.

- **Parâmetros microbiológicos:** foram realizadas coletas quinzenais nas respectivas fontes para análises microbiológicas, durante um período de 4 meses, depois mensais, durante um período de 12 meses. As análises realizadas neste período foram: *Coliformes*

*termotolerantes*, *Coliformes totais*, contagem de bactérias heterotróficas, *Salmonela* e *Estreptococos*, sendo essas duas últimas iniciadas posteriormente na quinta campanha de amostragem. A escolha dos parâmetros foi baseada na RDC n. 275/05 e nos parâmetros do LAMIM. O LAMIM é o laboratório oficialmente credenciado para realização das análises de águas minerais. As análises selecionadas foram basicamente às mesmas realizadas pelo LAMIM, com exceção para análises de *Pseudomonas aeruginosa* e *Clostrídios perfringens* que não foram contempladas neste trabalho, mas foram incluídas as análises de *Salmonelas*, mais a título de contribuição para com as investigações a cerca das bactérias que poderiam estar presentes nas águas termais sulfurosas.

- **Parâmetros biológicos:** foram coletadas em duas campanhas. As análises realizadas foram: *Fitoplânctons*. A escolha dos parâmetros foi determinada pela Portaria n. 2.914/11.
- **Parâmetros físico-químicos:** foram realizadas 4 campanhas, num período de 12 meses. Os parâmetros selecionados para as análises físico-químicas foram: cor, temperatura, pH, condutividade, cloreto, sólidos totais dissolvidos, fluoreto, Manganês, amônia, ferro, nitrato, acidez total, dureza total, alumínio, turbidez. A escolha dos parâmetros foi baseada na Portaria n. 2.914/11 e parâmetros analisados pelo LAMIM.
- **Parâmetros de composição química:** foram selecionados íons, ânions e compostos químicos presentes neste tipo de água, segundo a classificação das águas do Código de Águas Minerais Decreto n. 7.841/45, baseados em alguns parâmetros do LAMIM.
- **Parâmetros de radionuclídeos:** foram analisados os seguintes isótopos: Rádío ( $^{226}\text{Ra}$ ) e  $^{228}\text{Ra}$ , Chumbo ( $^{210}\text{Pb}$ ), Tório (Th) Urânio natural (U), divididos em 2 campanhas, num período de 12 meses. A escolha dos parâmetros foi baseada nos radionuclídeos de maior importância radiológica.

As imagens dos pontos de amostragem encontram-se nas Figuras 4 e 5.



Figura 4: Fontanário Pedro Botelho  
Fonte: arquivo pessoal, 2013.



Figura 5: Fontanário dos Macacos  
Fonte: arquivo pessoal, 2013.

### 3.2 ASPECTOS FÍSICOS DA REGIÃO DE POÇOS DE CALDAS

A denominação Planalto de Poços de Caldas resultou da modelagem diferenciada do relevo. Lage-Filho (1996) descreve que o Planalto está situado na borda ocidental da Serra da Mantiqueira, em contato com os extremos orientais da bacia sedimentar do Paraná, forma um conjunto morfoestrutural perfeitamente caracterizado, englobando parte do território mineiro e paulista”.

E, complementa que “geomorfologicamente, a região é caracterizada por um modelado estrutural dômico, com diques anelares individualizados pelas cristas e escarpas abruptas circulares que o delimitam” (LAGE-FILHO, 1996).

Os terrenos são de características geológicas diversas, sendo formado por extensa intrusão de rochas alcalinas (sienitos nefelínicos) circundadas por formações arqueanas.

De acordo com Oliveira et al. (1987)” nos solos da região predominam os latossolos vermelho-amarelos e vermelho-escuros distróficos, podzólicos vermelho-amarelos e cambissolos álicos e distróficos”.

Ainda, segundo Moraes (2008), os solos dessa região podem ser classificados como”do tipo latossolo vermelho-amarelo álico, com grande capacidade de infiltração e permeabilidade, porém com elevado grau de acidez”.

O solo do município de Poços de Caldas é rico em tório, zircônio, urânio e outros. Além disso, possui um grande depósito de bauxita.

Conforme Cipriani (2002) a vegetação natural é basicamente formada por campos de altitude constituídos de gramíneas rústicas e por vegetação arbórea e arbustiva”.

Costa, et. al. ( 1998) descreve que o clima da região de Poços de Caldas encontra-se em uma faixa de transição entre os climas quentes, das latitudes baixas e os climas frios das latitudes médias, fator determinante no regime de precipitação e na caracterização do clima local”.

A meteorologia da região é caracterizada pelos:

índices pluviométricos da região que variam em torno de um valor médio de 1.610mm. Na estação chuvosa que vai de outubro a março, concentram-se as precipitações. No trimestre mais chuvoso, de dezembro a fevereiro, a média mensal de precipitações é superior a 200 mm, enquanto que nos meses de outubro, novembro e março variam de 160 a 200 mm/mês. Na época da seca e mais fria (meses de abril a setembro) as chuvas apresentam índices inferiores a 90 mm, com um mínimo de 25 mm no mês de julho. ( COSTA et. al., 1998, p.62).

As médias dos índices pluviométricos estão representadas na Figura 6 e correspondem ao mês de janeiro de 2012 até novembro de 2013.

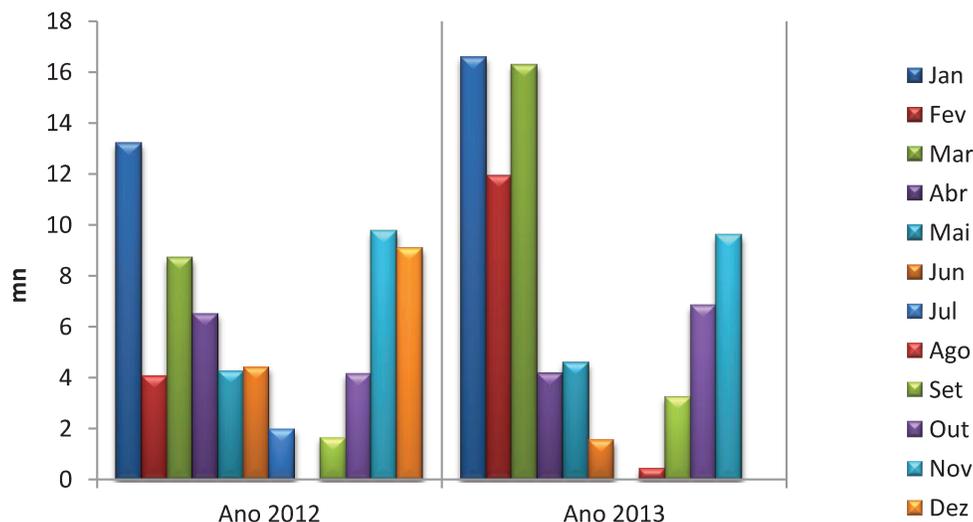


Figura 6 – Média índice pluviométrico Fonte: DMAE: 2012/2013

“As altitudes médias dentro dessa grande unidade variam em torno de 1000m, com elevações que podem alcançar até 1.800m e áreas planas, nas várzeas, com altitudes médias em

torno de 800m” ( COSTA et.al., 1998).

### 3.3 INFORMAÇÕES SOBRE A ÁREA DE ESTUDO

Os caracteres dos Fontanários estudados podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracteres dos Fontanários

Dados	Fontanário Pedro Botelho	Fontanário dos Macacos
<b>Ano de captação</b>	1882	1882
<b>Localização geográfica</b>	Lat-S: 21°47' 12,5"; Long-W: 46° 34'07,1"	Lat-S: 21°47'21,9" Long-W: 46°33'51,6"
<b>Tipo de perfuração</b>	Anéis alvenaria de 70 cm Ø, sobrepostos e cimentados.	Anéis alvenaria de 70 cm Ø, sobrepostos e cimentados.
<b>Profundidade do poço</b>	1 metro	6 metros
<b>Tipo de captação</b>	Natural	Natural
<b>Distribuição</b>	Com bombeamento	Sem bombeamento ( natural)
<b>Local reserva água</b>	Reservatório alvenaria lacrado	Reservatório alvenaria semi- aberto
<b>Números pontos surgências</b>	Três pontos*	Um ponto
<b>Localização fraturas</b>	N14°E, N50°E e EW	N14°E, N50°E e EW
<b>Classificação DNPM</b>	Hipertermais, alcalinas, bicarbonatadas sódicas e sulfurosas, discretamente radioativa.	Hipertermais, alcalinas, bicarbonatadas sódicas e sulfurosas, discretamente radioativa.
<b>Pontos legais de abastecimento</b>	Palace Hotel, Thermas Antônio Carlos e Fontanário Pedro Botelho	Balneário Mário Mourão e Fontanário dos Macacos
<b>Utilização da água</b>	Banhos imersão, nebulização, hidropinia ** e outros.	Banhos imersão, nebulização, hidropinia e outros.
<b>Importância</b>	Social, saúde pública, científica e econômica.	Social, saúde pública, científica e econômica.
<b>Vazão</b>	3,31 L/s *** (ano 1990)	1,06 L/s*** (ano 1991)
<b>Número de bicas do fontanário</b>	2	3
<b>Período de residência</b>	12.500 anos	12.500 anos
<b>Acesso</b>	Somente diurno	Livre

\*Surgências (Fontes: Mariquinha, Chiquinha e Pedro Botelho) \*\* Ingestão da água \*\*\* Incerteza da pressão manométrica usada à época. Fonte: dados da pesquisa, 2013.

### 3.3.1 Sistema de captação e distribuição das águas (Fontanário Pedro Botelho)

A construção da captação do Fontanário Pedro Botelho e dos Macacos são datadas no ano de 1882 e desde então

permanecem praticamente com as mesmas características com que foram implantadas. A tubulação da captação é constituída por anéis de alvenaria com diâmetro interno de 70 cm, são sobrepostos e soldados. Assentam-se diretamente sobre os pontos de surgência, em um conglomerado sotoposto a argilas com matéria orgânica. (COSTA et al., 1998, p.40).

Na Figura 7 pode-se observar a construção da captação do Fontanário Pedro Botelho.



Figura 7: Construção da captação do fontanário  
Fonte: Acervo das Thermas Antônio Carlos (1882).

Na área de captação das fontes que abastece o Fontanário Pedro Botelho foram encontrados “a cerca de 1m abaixo da surgência natural ( 5 m abaixo do nível atual da rua) três pontos de onde minava a água denominados de: Pedro Botelho, Mariquinhas e Chiquinha, que foram misturadas em um reservatório, passando a se chamar Fontanário Pedro Botelho” (COSTA et al., 1998).

A captação pode ser observada nas Figuras de 8 a 10.



Figura 8: Captação da Fonte Pedro Botelho  
Fonte: arquivo pessoal, 2013.



Figura 9: Captação da Fonte Mariquinha  
Fonte: arquivo pessoal, 2013.



Figura 10: Captação da Fonte Chiquinha  
Fonte: arquivo pessoal, 2013.

As águas das respectivas fontes (Pedro Botelho, Mariquinha e Chiquinha) passam por um sistema de canalização e são encaminhadas naturalmente para o reservatório, onde são misturadas. Esse reservatório que é totalmente vedado está adjacente às fontes, abaixo do nível do terreno natural, que recebe as águas captadas através de dois tubos dispostos em T: um, em posição superior; e outro em nível inferior, 2,85 metros abaixo do primeiro” (CRUZ & PIMENTEL, 1987) .O qual está representado pelas setas na Figura 11.



Figura 11: Sistema de tubulação das fontes.  
Fonte: arquivo pessoal, 2013.

Um sistema de bombeamento leva as águas para o Fontanário Pedro Botelho, Palace Hotel e Thermas Antônio Carlos.

O bombeamento é na ordem de 30 mil litros de água por hora . O cálculo da vazão é realizado de forma rústica, pois não há equipamentos adequados para este fim, em nenhum dos Fontanários. Durante o dia, essas bombas estão ligadas permanentemente, mas são desligadas no período noturno ( informação verbal).

A necessidade desse bombeamento é devido “ao fato das respectivas fontes estarem situadas em uma área topograficamente baixa e os pontos a serem abastecidos pelas águas dessas fontes estarem situados em uma área topograficamente mais elevada” (FRANGIPANI, 1991).

O sistema de bombeamentos pode ser visto na Figura 12.



Figura 12: Sistema de bombeamentos por pistões  
Fonte: arquivo pessoal, 2013.

Ressalta-se que as águas termais das respectivas fontes, quando estão emergindo para a superfície, encontram-se em forma de vapor, depois sofrem uma condensação e transformam-se em líquidas e se mistura em um único reservatório, todo este percurso é feito naturalmente, sem o uso de bombas. O bombeamento será posteriormente para encaminhar as águas termais sulfurosas aos respectivos destinos.

### **3.3.2 Sistema de captação e distribuição das águas (Fontanário dos Macacos)**

O sistema de captação e distribuição das águas termais sulfurosas do Fontanário dos Macacos foi captado

a uma profundidade de 6 m abaixo do nível do balneário, localizado tanto a sua surgência quanto a do Fontanário Pedro Botelho no ponto de cruzamento ou interconexão do sistema de fraturas com direções N14°E, N50°E e EW. Em 1884 precisou de uma intervenção para trocar uma canalização com manilhas de cerâmica vitrificada objetivando diminuir o arrefecimento térmico, mas a tubulação começou a apresentar problemas causados pela deposição de matéria orgânica nos tubos de canalização. O problema foi solucionado com a troca dessas manilhas por material adequado à época. (CRUZ, PEIXOTO & PIMENTEL, 1987, p.38).

Nas Figuras 13 e 14, pode-se observar o sistema de captação das águas termais e o envio para o reservatório. Observa-se um sistema de tubulação danificado e necessitando de reparos, diferente do sistema que abastece o Fontanário Pedro Botelho, que se encontra “aparentemente” em melhores condições estruturais, apesar dos desgastes sofrido.



Figura 13: Captação da Fonte dos Macacos  
Fonte: arquivo pessoal, 2013.



Figura 14: Sistema de tubulação que leva as águas para o Reservatório. Fonte: arquivo pessoal, 2013.

A água fica armazenada em um reservatório que possui 3 aberturas de 60cm x 60cm cada uma, localizada na parte superior do reservatório; portanto, não é completamente vedado. O reservatório é de alvenaria e tem capacidade de aproximadamente 200 mil litros, Figuras 15 a 17.



Figura 15: Reservatório do Fontanário dos Macacos. Fonte: arquivo pessoal, 2013.



Figura 16: Vista superior do reservatório  
Fonte: arquivo pessoal, 2013.



Figura 17: Reservatório aberto e a água no fundo  
Fonte: arquivo pessoal, 2013.

A água termal, depois de encaminhada para este reservatório, é distribuída para os Fontanários e para o balneário, sem o auxílio de bombas. O uso de bombas ocorre somente para lançar o excesso de água não utilizadas para o ribeirão que passa próximo ao Balneário, denominado Ribeirão de Caldas. São lançados cerca de 50 litros/hora de águas termais sulfurosas neste ribeirão, não sendo constante esta vazão de lançamento.

Pela Figura 18, verificam-se os sistemas de tubulações que distribuem as águas para o Fontanário e para o Balneário dos Macacos.



Figura 18: Sistema de tubulações  
Fonte: arquivo pessoal, 2013.

O sistema de abastecimento do Fontanário dos Macacos ocorre naturalmente e é considerado um Fontanário com baixa vazão. A água está em forma de vapor a profundidades maiores e condensa-se transformando em líquido.

O Balneário Mário Mourão era interligado com as Thermas Antônio Carlos e bombeava determinada vazão de águas termais para abastecer as Thermas. Mas com o passar dos anos os canos que as interligava se deterioraram, devida a ação do tempo e por falta de manutenção adequada cessando o abastecimento.

Há uma necessidade atual por demanda de águas termais pelas Thermas Antônio Carlos, principalmente em épocas de temporadas, onde a procura pela balneoterapia se intensifica, enquanto que no Balneário Mário Mourão ocorre uma determinada sobra das águas termais sulfurosas.

### 3.4 PLANO EXPERIMENTAL

A caracterização da pesquisa envolveu a observação do local, estudo da bibliografia científica e, posteriormente, coletas, análises e levantamentos de dados, seguido da avaliação dos resultados e finalmente a conclusão.

Os trabalhos de pesquisas foram divididos em duas etapas: análises físicas no local da amostragem e análises microbiológicas, biológicas, físico-químicas, composição química e radionuclídeos, realizadas em laboratório. Pela Tabela 4, verificam-se dados sobre a preservação e armazenamento das amostras.

Tabela 4 - Preservação e armazenamentos das amostras

Análises	Recipiente/volume	Esterilização	Preservação/Armazenamento	Observações
Microbiológicas	Vidro, 250 mL	Autoclavação 121°/1atm	Resfriamento (em gelo) armazenamento refrigeração (4± 2° C)	Amostras identificadas e enviadas para análise
Biológicas	Vidro âmbar , 500 mL	Autoclavação 121°/1atm	Lugol/1 mL e resfriamento (em gelo)	
Composição Química	Polietileno, 5 litros	Lavagem detergente neutro, água deionizada enxague final.	Sem preservação/exceto Sulfeto (2mL de acetato de zinco 1mL e 2mL de Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 0,5 M para 1L da amostra)	
Radionuclídeos	Polietileno, 1 litro	Idem	Sem preservação	
Físico-química	Polietileno, 5 litros	Idem	Sem preservação	

Fonte: dados da pesquisa, 2013.

Para as análises dos parâmetros microbiológicos, as amostras foram coletadas diretamente do cano das respectivas fontes, em frascos devidamente preparados para a coleta. Os frascos utilizados para as análises microbiológicas são de vidro, de 250 mL, com tampas de rosca, lavados com detergente neutro, ambientados com água deionizada e secos em estufas por duas horas, a uma temperatura de 110°C. Sob a tampa, coloca-se uma folha de papel alumínio para vedar e depois são autoclavados a uma temperatura de 121°C, à pressão de 1atm (atmosfera) por 30 minutos. No momento da coleta, o frasco esterilizado é aberto, colocado suspenso na saída do cano da fonte. Logo que a amostra é coletada, fecha-se o frasco imediatamente. As amostras microbiológicas foram identificadas, refrigeradas e encaminhadas imediatamente para o laboratório e, em seguida, submetidas às análises.

As amostragens para análises biológicas de *Fitoplânctons* (algas) foram coletadas em um

vidro âmbar de volume igual a 500 mL, preservado com 1mL de lugol. A coleta foi realizada diretamente no vidro âmbar, em seguida foi vedado com tampa rosqueável, identificados, refrigerados e encaminhados para o laboratório.

As amostras de água para análise físico-química foram coletadas diretamente do cano das respectivas fontes, em frascos devidamente preparados para a coleta. Os galões são de polietileno, novos, com volume de 5 L e sem preservação. Foram lavados em água corrente e em seguida foram preenchidos totalmente com água deionizada e deixados em repouso por 24 horas. Logo após esse período, esvaziaram-se os frascos e os mesmos foram colocados em um suporte por 24 horas, virados para baixo para secarem. No momento da coleta foram feitos a ambientação dos frascos com a própria água a ser amostrada e logo em seguida coletada. Uma vez coletados foram devidamente identificados e encaminhados imediatamente ao laboratório para a realização das análises.

Para as análises da composição química das águas e de radionuclídeos foram efetuados os mesmos procedimentos descritos acima. Porém, para a análise de sulfeto, foi utilizado um galão de polietileno, novo, de 1 litro, com preservação de 2 mL de acetato de zinco 1M e 2 mL de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0,5M. As amostras foram coletadas diretamente nos galões, sem ambientar o recipiente.

Os métodos de amostragens foram baseados no guia de coleta da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB/1997).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAL

As análises microbiológicas, biológicas, físico-químicas, composição química e de radionuclídeos para avaliação da qualidade das águas termais sulfurosas foram realizadas nos respectivos laboratórios: Departamento Municipal de Água e Esgoto de Poços de Caldas (DMAE), Laboratório Analítico Teixeira & Filhos (Andradas-MG), ECOLABOR (SP) e INB (Caldas-MG).

### 4.2 MÉTODO

#### 4.2.1 Análises microbiológicas

Os métodos e a metodologia das análises microbiológicas podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5- Métodos e metodologias das análises microbiológicas

Parâmetro	Método	Metodologia
<i>Coliformes totais</i>	Tubos múltiplos <sup>1</sup>	CETESB (N.T. L5. 213)*
<i>Coliformes termotolerantes e/ou Escherichia coli</i>	Tubos múltiplos <sup>1</sup>	
Contagem de bactérias heterotróficas	Plaqueamento em profundidade <sup>2</sup> ( <i>pour plate</i> )	
<i>Salmonela</i>	Membrana filtrante <sup>3</sup>	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> , 22 <sup>th</sup> ed. Washington. 1989
<i>Streptococos fecais</i>	Membrana filtrante <sup>3</sup>	

N.T (Normatização Técnica) \* DMAE não faz uso direto do Standard Methods baseia-se na metodologia da CETESB.

Método de tubos múltiplos<sup>1</sup>: técnica conforme semeadura de volume determinados da amostra em caldo lactosado, incubação a 35° (24-48 horas), ocorrendo um enriquecimento de organismos fermentados da lactose.

Análises de bactérias heterotróficas<sup>2</sup>: é feito por meio de contagem em placas de Petri, inocula-se a amostra em meio enriquecido (glucose).

Análises de *Salmonela e Streptococos*<sup>3</sup>: empregou-se o método de Membrana Filtrante, que consiste em um sistema de filtração em aço inox da MILLIPORE. Fonte: dados da pesquisa, 2013.

#### 4.2.2 Análises biológicas

O método e metodologia das análises biológicas podem ser vistos na Tabela 6.

Tabela 6 - Método e metodologia das análises biológicas

Parâmetros	Método	Metodologia
Cianofíceas	Microscópio ótico com câmara clara e ocular de medição acoplado	(N.T.) CETESB- 06. L5. 303.2005
Clorofíceas		
Diatomáceas		
Euglenofíceas		
Fitoflagelos		
Xantofíceas		

Fonte: dados da pesquisa, 2013.

#### 4.2.3 Análises físico-químicas

Os dados referentes ao método e a metodologia das análises físico-químicas encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Métodos e metodologia das análises físico-químicas

Parâmetros	Métodos	Metodologia
Cor*/ Acidez Total/ Dureza Total	Calorimetria	CETESB
Temperatura	Termometria	
Cloreto	Titulometria	
pH	Eletroquímico	
Turbidez/Alumínio/ Manganês/Ferro/nitrato	Espectrofotometria	
Fluoreto	Potenciométrico	
Condutividade/ Sólidos totais dissolvidos	Condutivímetro	
Amônia	Espectrofotometria	

\*Unidade Hazen Fonte: dados da pesquisa, 2013.

#### 4.2.4 Análises de radionuclídeos

Os dados do método e metodologia das análises de radionuclídeos encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Método e metodologia das análises de radionuclídeos

Isótopos	Método	Metodologia
<sup>210</sup> Pb (Chumbo) <sup>226</sup> Ra e <sup>228</sup> Ra (Rádio)	Separação radioquímica*	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> ®, 20 <sup>th</sup> ed. Washington. 1987.
Th-Total (Tório)	Espectrofotometria	
U-Natural (Urânio)	UV/VIS **	

\*Sais de cromato de chumbo e sulfato de rádio, foram separados, precipitados e em seguida contados o alfa e beta dos radionuclídeos, produtos de decaimento dos isótopos em análise.\*\*Usou-se o arsenazo III como reagente colorimétrico. Fonte: INB, 2013.

#### 4.2.5 Análises da composição química

Os métodos e metodologias de análises da composição química encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9 - Métodos e metodologias de análises da composição química

Íons analisados	Método
<b>Sulfeto</b>	Volumetria*
<b>Carbonato/bicarbonato</b>	Volumetria
<b>Nitrato</b>	Espectrofotometria
<b>Cloreto</b>	Turbidimetria
<b>Fluoreto</b>	Potenciometria
<b>Cálcio/ferro/alumínio/magnésio/sulfato/cádmio/cobre/bário/níquel</b>	ICP-OES**
<b>Magnésio/vanádio/zinco/mangânês/cromo/titânio/sílica</b>	ICP-OES**
<b>Sódio/potássio</b>	Fotometria
<b>Sólidos dissolvidos/sólidos em suspensão</b>	Gravimetria
<b>Fósforo total/fósforo solúvel</b>	Espectrofotometria
<b>Nitrito</b>	Espectrometria
<b>Condutividade</b>	Condutivímetro

\* Com solução Iodo e Tiosulfato sódio\*\* ICP/OES (Espectrometria de Emissão Óptica em Plasma Acoplado Indutivamente). Fonte: INB (2013).

Após todas as análises apresentadas, partiu-se para os resultados e discussões.

## 5 RESULTADOS/DISCUSSÕES

### 5.1 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

“É um parâmetro importante usado para definir a qualidade sanitária da água. As bactérias do grupo dos coliformes, presentes em material fecal, são as principais limitadoras do uso da água para consumos diversos” ( MARQUES s/d).

#### 5.1.1 Histórico dos resultados das análises microbiológicas do Fontanário Pedro Botelho

O histórico dos resultados das análises microbiológicas do Fontanário Pedro Botelho pode ser visto na Tabela 10.

Tabela 10 - Histórico dos resultados das análises microbiológicas do Fontanário Pedro Botelho

	<b>Contagem Bacteriana</b>	<b>Coliformes Totais</b>	<b>Coliformes Termotolerantes</b>	<b>Clostrídios perfringens</b>	<b>Estreptococos fecais</b>	<b>Pseudomonas aeruginosa</b>
Unidade	UFC/mL	NMP/100 mL	NMP/100 mL	C.Col/100 mL	C.Col/100 mL	C.Col/100 mL
04.09.07	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

UFC (Unidade Formadora de Colônias por mililitro) NMP (Número Mais Provável) C.Col. (Contagem de Colônia).  
Fonte: LAMIM (2007).

As análises foram feitas pelo LAMIM, no ano de 2007, em apenas uma campanha de amostragem, tendo como resultado a ausência de microorganismos patógenos para os parâmetros analisados no Fontanário Pedro Botelho.

#### 5.1.2 Resultados atuais das análises microbiológicas do Fontanário Pedro Botelho

Os resultados das análises microbiológicas do Fontanário Pedro Botelho, realizados em 15 campanhas de amostragens podem ser vistos na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados das análises microbiológicas do Fontanário Pedro Botelho

Unidade	Contagem Bacteriana	Coliformes Totais	Coliformes Termotolerantes	Salmonela	Estreptococos Fecais
	UFC/mL	UFC/100 mL	UFC/100 mL	C.Col/100 mL	C.Col/100 mL
Portaria 2914	Até 500 UFC/mL			Ausente	Ausente
RDC 275/05	-			-	-
29.08.12	Ausente				
10.09.12					
25.09.12				*	*
10.10.12	05				
24.10.12					
08.11.12					
21.11.12	Ausente	Ausente	Ausente		
07.12.12					
15.01.13					
20.02.13	05				
13.03.13	50			Ausente	Ausente
12.04.13	Ausente				
24.05.13					
14.06.13	06				
16.07.13	01				

\*Início amostragens: a partir de nov./12. Fonte: DMAE/L. A Teixeira & Filhos (2012/13).

### 5.1.3 Histórico dos resultados das análises microbiológicas do Fontanário dos Macacos

O histórico das análises microbiológicas do Fontanário dos Macacos pode ser observado na Tabela 12.

Tabela 12 - Histórico dos resultados das análises microbiológicas do Fontanário dos Macacos

Unidade	Contagem Bacteriana	Coliformes Totais	Coliformes Termotolerantes	Clostrídios Perfringens	Estreptococos fecais	Pseudomonas aeruginosa
	UFC/mL	NMP/100 mL	NMP/100 mL	C.Col/100 mL	C.Col/100 mL	
04/09/07	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Fonte: LAMIM (2007).

As análises foram feitas pelo LAMIM, em setembro de 2007, em apenas uma campanha de amostragem, obtendo como resultado a ausência de microorganismos patogênicos para os parâmetros analisados para o Fontanário dos Macacos.

### 5.1.4 Resultados atuais das análises microbiológicas do Fontanário dos Macacos

Os resultados das análises microbiológicas podem ser vistos na Tabela 13.

Tabela 13 – Resultados das análises microbiológicas do Fontanário dos Macacos

Unidade	Contagem Bacteriana	Coliformes Totais	Coliformes Termotolerantes	Salmonela	Streptococos fecais
	UFC/mL	UFC/100 mL	UFC/100 mL	C.Col/100 mL	C.Col/100 mL
Portaria 2914	Até 500			Ausente	Ausente
RDC 275/05	-			-	-
21.08.12					
10.09.12					
25.09.12				*	*
10.10.12					
24.10.12	Ausente				
08.11.12		Ausente	Ausente		
21.11.12					
07.12.12					
15.01.13					
20.02.13	04			Ausente	Ausente
13.03.13					
12.04.13					
24.05.13	Ausente				
14.06.13					
16.07.13					

\*Início das amostragens a partir de nov./12. Fonte: DMAE/ L.A Teixeira & Filhos (2012/13).

### 5.1.5 Discussão dos resultados do Fontanário Pedro Botelho e do Fontanário dos Macacos

“Na Espanha as águas termais seguem os métodos oficiais de análises microbiológicas de águas potáveis para consumo humano”, especificados no Boletim Oficial do Estado (BOE), n. 268 de 9/11/1983.

Em Portugal foi criada a Portaria n. 1.220, de 29 de dezembro de 2000, que estabeleceu regras relativas as condições a que as águas minerais são submetidas especialmente para análises microbiológicas das águas termais.

As águas devem estar isentas de: Parasitas e microrganismos patogênicos; *Escherichiacolie* e outros coliformes e de *Streptococos fecais*; Bactérias sulfitorredutores; *Pseudomonas aeruginosa*; *Legionella pneumophila*. Para a água utilizada por ingestão, contato com as mucosas respiratórias, oculares e outras mucosas internas: o teor em microrganismos totais não deve ultrapassar 20 UFC/mL (20°C-22°C) às 72h e 5 UFC/mL (37°C) às 24h. Água utilizada por via externa: o teor em microrganismos totais não deve ultrapassar 100 UFC/mL (20°C-22°C) às 72h e 20 UFC/mL (37°C) às 24h.

No Brasil as análises microbiológicas das águas termais sulfurosas seguem os valores máximos permissíveis pela RDC n. 275/05 e pela Portaria do Ministério da Saúde (MS) n. 2.914/11.

Em São Lourenço-MG as análises microbiológicas feitas na Fonte Sulfurosa Jair Soutonayor, situada no Parque das Águas adotam os limites da RDC n. 275/05. Parâmetros pesquisados: *Coliformes totais*, *Coliformes termotolerantes*, *Pseudomonas aeruginosa*, *E.Coli*, *Streptococos fecais*, conforme dados colhidos no certificado de análise 07/2013, que se encontrava anexo à referida fonte.

As análises e métodos foram baseados nos mesmos aplicados pelo LAMIM, com exceção do método usado para determinação dos *Coliformes totais* e *termotolerantes*. O LAMIM usa membrana filtrante e o DMAE tubos múltiplos.

Tabela 14, resultados das estatísticas consolidadas das análises microbiológicas.

**Tabela 14- Estatística consolidada das análises microbiológicas**

Análises	Fontanário Pedro Botelho	Fontanário dos Macacos
<i>Coliformes totais</i>		
<i>Coliformes termotolerantes</i>	0%	0%
<i>Salmonela</i>		
<i>Streptococos fecais</i>		
<b>Bactérias heterotróficas</b>	20%	1%

Fonte: DMAE e L.A.Teixeira (2012/2013).

Conforme análises de *Coliformes totais*, *Coliformes termotolerantes*, *Salmonela* e *Streptococos fecais*, tanto para os Fontanários Pedro Botelho quanto para o Fontanário dos Macacos, não consta nenhuma alteração referente a esses microorganismos patógenos. Ressalta-se que devido à presença do sulfeto e de fluoreto nas águas (esse último em valores considerados altos), esses conferem ação bactericida às águas termais sulfurosas, tornando-as, a princípio, livres de contaminantes patógenos.

Verificaram-se alterações na contagem de bactérias heterotróficas nas águas do Fontanário Pedro Botelho. A Portaria n. 2.914/11 estabelece limites de 500 UFC/mL para contagem de bactérias heterotróficas, excedendo-se esse limite, devem ser adotadas ações para correção das irregularidades constatadas. Na RDC n. 274/05, a contagem de bactérias

heterotróficas não consta como parâmetro para análises nas águas minerais, entretanto esse tipo de análise é realizado pelo laboratório do LAMIM. O que tudo indica é que provavelmente essa alteração na contagem de bactérias heterotróficas seja atribuída às falhas de higienização nos bebedouros, já que os mesmos não possuem um plano regular de higienização, conforme dados levantados junto a Secretaria de Turismo.

Cabrini & Gallo (2001, p. 83) destacaram:

Mesmo que a maioria das bactérias heterotróficas da microbiota natural da água não seja considerada patogênica, é importante que sua densidade seja mantida sob controle, pois altas densidades dessas bactérias na água podem causar riscos à saúde do consumidor. Algumas dessas bactérias podem atuar como patógenos oportunistas, deteriorantes da qualidade da água, ocasionando odores e sabores desagradáveis e produzindo limbo e películas, além de apresentarem influência inibidora para alguns microrganismos. Quando presentes em números elevados, podem impedir a detecção de coliformes.

## 5.2 ANÁLISES BIOLÓGICAS

Segundo, Soares (2007, p. 9):

Os plâncton são organismos sem movimentação própria, que vivem em suspensão na água, podendo ser agrupados em *Fitoplâncton* (algas, bactérias). As algas são, em geral, plantas microscópicas. A comunidade planctônica exerce papel fundamental na ecologia aquática, tanto na construção da cadeia alimentar quanto na condução de processos essenciais, como a produção de oxigênio e a decomposição da matéria orgânica.

Os resultados dos *Fitoplânctons* dos Fontanários estão na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados dos Fitoplânctons

	Unidade	V.M.P/Portaria 2914/11	29/01/13 F.P.B	18/06/13 F.P.B	29/01/13 F.Macacos	18/06/13 F.Macacos
Cianofíceas	Densidade- Cél./mL					
Clorofíceas	Organismo/ml	20milcélulas/ mililitro	Zero	Zero	Zero	Zero
Diatomáceas						
Euglenofíceas						
Fitoflagelos						
Xantofíceas						

F.P. B (Fontanário Pedro Botelho) e F. Macacos (Fontanário dos Macacos) - Resultado zero significa presença no ambiente em baixa densidade. Fonte: Ecolabor (2012/2013).

Mourão (1992) citou que” as principais famílias da flora de algas habitualmente

encontradas em águas hipertermais são as Cianofíceas (algas azuis)”.

Torrella (s/d) complementou “que em águas sulfurosas existem muitas formas de vida microscópicas, consumidores eucarióticas e protozoários (amebas, ciliados, flagelados), bem como algumas microalgas (Clorofíceas e diatomáceas) que vivem em ambientes especialmente adaptados para que possam sobreviver e se desenvolver”.

Um fator importante sobre a proliferação de algas nas águas sulfurosas,

poderia se dar pela exposição das mesmas à luz natural ou artificial, os microorganismos fotossintéticos que são as bactérias fotossintéticas (anaeróbicas) e vários tipos de cianobactérias que liberam oxigênio fruto de uma fotossíntese específica proliferariam. Em alguns ambientes sulfurosos, as cianobactérias são particularmente resistentes à toxicidade do sulfeto, se adaptando as condições mais adversas possíveis. (TORRELLA, s/d, p. 21).

Sendo as águas termais possuidoras dessa fauna diversificada de microorganismos, dentre eles, as algas, a realização das análises de *Fitoplânctons* objetiva uma investigação mais profunda desses em relação às águas termais sulfurosas. As análises realizadas foram de: cianobactérias (CIANOFÍCEAS), as Clorofíceas (*Monoraphidium* sp/ ZYGNEMAPHYCEAE/CHLOROPHYCEAE/CHLOROCOCCACEAE), as Diatomáceas (BACILLARIOPHYTA/ *Cyclotella* sp/ *Asterionella* sp/ *Navícula* sp), as *Euglenofíceas* (*Phacus* sp), os Fitoflagelados (CHLAMYDOPHYCEAE / *Trachelomonas* sp. / *Peridinium* sp. / *Chlamydomonas* sp. / FITOFLAGELADOS), os Xantofíceas (XANTOFÍCEAS).

Na legislação para águas minerais naturais não se contemplam as análises para *Fitoplânctons*, sendo essas baseadas na Portaria n. 2.914/11. A partir dos resultados obtidos, pode-se verificar que foi detectada a presença de algas, porém em baixa densidade, não sendo possível quantificar, tanto para o Fontanário Pedro Botelho quanto para o dos Macacos, estando os resultados dentro do estabelecido pela legislação vigente.

## 5.3 ANÁLISES DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA

### 5.3.1 Histórico das análises da composição química

Os dados da série histórica dos dois Fontanários analisados estão na Tabela 16.

Tabela 16 – Histórico dos Fontanários

Parâmetros	Unidade	F.P.Botelho 1986/87	F.P.Botelho 11/2003	F.P.Botelho 09/2007	F. Macacos 1986/1987	F. Macacos 11/2003	F. Macacos 09/2007
Sulfeto	mg/L	-	2,77	5,00	-	2,57	5,00
Carbonato	mg/L	-	129,0	139,46	-	127,0	136,06
Bicarbonato	mg/L	-	190,0	157,21	-	190,0	201,23
Cloreto	mg/L	-	2,0	3,99	-	1,4	4,24
Fluoreto	mg/L	-	17,0	29,02	-	16,9	29,38
Sulfato	mg/L	-	60,0	-	-	59,4	-
A. Fosfórico	mg/L	-	0,30	-	-	0,61	-
Sílica	mg/L	-	30,6	-	-	27,9	-
Nitrito	mg/L	-	<0,01	-	-	<0,01	-
Nitrato	mg/L	-	<0,20	-	-	<0,20	-
Sódio	mg/L	-	222	-	-	225	-
Potássio	mg/L	-	7,2	-	-	7,2	-
Ferro	mg/L	-	<0,05	-	-	<0,05	-
Cálcio	mg/L	-	1,09	0,42	-	0,88	0,44
Magnésio	mg/L	-	< 0,05	0,01	-	< 0,05	0,02
Alumínio	mg/L	0,10	0,30	<0,1	0,11	0,23	<0,1
Arsênio	mg/L	-	<0,10	-	-	<0,10	-
Zinco	mg/L	<0,006	0,01	0,005	<0,006	0,01	0,004
Cádmio	mg/L	<0,001	< 0,01	<0,001	<0,001	< 0,01	<0,001
Cobre	mg/L	<0,001	< 0,01	0,01	<0,001	< 0,01	0,01
Bário	mg/L	-	0,13	<0,002	-	0,08	<0,002
Manganês	mg/L	<0,003	< 0,05	0,002	<0,003	< 0,05	0,002
Mercúrio	mg/L	<0,005	0,02	-	<0,005	<0,02	-
Sol.T.dissol.	mg/L	-	612,0	-	-	682,0	-
Cromo	mg/L	-	-	<0,02	-	-	<0,02
Titânio	mg/L	-	-	<0,05	-	-	<0,05
Vanádio	mg/L	-	-	<0,02	-	-	<0,02
Sol. suspensão	mg/L	-	1,5	Ausentes	-	1,5	Ausentes
Condutividade	µS/cm	-	*	969,0	-	-	983,0
Boro	mg/L	<0,001	-	-	0,043	-	-
Amônia	mg/L	<0,005	<0,01	-	<0,005	<0,01	-

F.P. B (Fontanário Pedro Botelho) - F. Macacos (Fontanário dos Macacos). \* Legislação não determina máximo permissível. Fontes: análises de 1986/87( Cruz & Peixoto, 1991); 2003 (INB) e 2007 (LAMIM).

### 5.3.2 Resultados atuais das análises da composição química dos Fontanários

Os resultados da composição química dos Fontanários Pedro Botelho e Macacos estão na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultados da composição química dos Fontanários Pedro Botelho e Macacos

Parâmetros	Unidade	RDC 274/05	Portaria 2914/11	F.P.Botelho 10/2012	F.P.Botelho 06/2013	F. Macacos 10/2012	F. Macacos 06/2013
Sulfeto	mg/L	-	-	1,50	0,73	2,73	2,18
Carbonato	mg/L	-	-	112,7	129,5	118,4	134,1
Bicarbonato	mg/L	-	-	178,3	182,1	188,3	196,1
Cloreto	mg/L	-	-	2,9	1,7	3,0	1,6
Fluoreto	mg/L	-	-	20,1	34,3	20,0	33,7
Cálcio	mg/L	-	-	0,189	0,263	0,206	0,238
Magnésio	mg/L	-	-	< 0,002	< 0,001	< 0,002	< 0,001
Sódio	mg/L	-	-	186,0	250,0	194,0	244,0
Potássio	mg/L	-	-	6,1	7,5	6,2	7,6
Sulfato	mg/L	-	-	54,7	48,67	56,7	181,6
Sílica	mg/L	-	-	16,42	14,61	16,21	14,93
Nitrato	mg/L	50,0	10,0	< 0,050	0,058	< 0,050	< 0,050
Ferro	mg/L	-	0,3	< 0,002	< 0,004	< 0,002	< 0,004
Alumínio	mg/L	-	-	< 0,010	<0,006	< 0,010	<0,006
Zinco	mg/L	-	-	< 0,002	<0,006	< 0,002	<0,006
Cádmio	mg/L	0,003	0,005	< 0,001	<0,001	< 0,001	<0,001
Cobre	mg/L	1,0	2,0	< 0,004	<0,006	< 0,004	<0,006
Bário	mg/L	0,7	0,7	< 0,001	<0,001	0,011	<0,001
Manganês	mg/L	0,5	0,1	< 0,002	<0,002	< 0,002	<0,002
Sol. T. dissolv.	mg/L	-	-	634,0	649,2	628,5	664,0
Fósforo solúvel	mg/L	-	-	< 0,005	<0,005	< 0,005	<0,005
Fósforo total	mg/L	-	-	0,16	<0,0025	0,23	<0,0025
Cromo	mg/L	0,05	0,05	< 0,003	<0,003	< 0,003	<0,003
Titânio	mg/L	-	-	< 0,002	<0,002	< 0,002	<0,002
Vanádio	mg/L	-	-	< 0,003	<0,002	< 0,003	<0,002
Sól.	mg/L	-	-	2,0	<0,05	< 0,5	<0,05
Suspensão							
Condutividade	µS/cm	-	*	997,0	967,0	997,0	974,0
Mercúrio	mg/L	0,001	0,001	-	-	-	-

F.P. B (Fontanário Pedro Botelho)- F. Macacos (Fontanário dos Macacos). Fonte: INB (2012/2013). \* Legislação não determina o máximo permissível.

### 5.3.3 Discussão dos resultados da composição química dos Fontanários

As classificações das águas minerais brasileiras baseiam-se nas propriedades físico-químicas e químicas, com indiscutível influência de critérios adotados nos países europeus, especialmente a França (MOURÃO, 1992). As classificações são determinadas pelo Código de Águas Minerais, Decreto-Lei n. 7.841/45 onde o mesmo estipula limites para os compostos químicos classificando as águas de acordo com os valores encontrados, segundo sua ação

terapêutica. Os parâmetros selecionados foram baseados também nos mesmos realizados pelo LAMIM, com exceção para resíduo e vapor 110°C e 180°C, pressão osmótica, abaixamento crioscópico, oxigênio consumido, cor real e aparente que não foram contemplados nestas análises. As análises foram realizadas no laboratório de análises físico-químico da INB, o mesmo responsável por análises anteriores solicitadas por meio de parceria com a Prefeitura de Poços de Caldas.

A RDC n. 274/05, paralela com a Portaria n. 2.914/11, contempla alguns elementos que fazem parte da composição química, porém são poucos. Pelas legislações acima referidas, esses elementos devem estar em determinado valor, não podendo ultrapassar este limite por apresentarem riscos à saúde. Porém o que se pode observar quando se analisa a composição química das águas minero-medicinais é que a legislação determina o mínimo de substância química que uma água deverá apresentar para ser considerada terapêutica, mas não determina o máximo que poderia comprometer a saúde dos usuários.

Na Espanha, usam-se as análises da composição química da água não somente para classificá-las, mas, também para investigar possíveis contaminações como, por exemplo, “quando há uma anomalia no valor da taxa de sais dissolvidos das águas, evidenciando uma mudança na condutividade e no valor do resíduo seco ou o aumento gradual de algum outro parâmetro, isto poderá indicar uma contaminação de fonte externa, que deverá ser investigada a causa” (CLAPÉS, 2000).

Mesmo com uma legislação brasileira limitante e diante de tantas substâncias químicas encontradas nas águas pode-se observar que praticamente a maioria dos elementos analisados e que constam na RDC n. 274/05 ou na Portaria n. 2.914/11 comparando-os com os resultados obtidos da composição química das águas termais, os mesmos se encontram dentro dos valores permissíveis pelas legislações acima, poucos elementos tiveram alterações.

Apesar da composição química das águas termais sulfurosas não ser o foco desse trabalho, serão discutidos a seguir alguns dos elementos ou compostos relevantes que apresentaram alteração significativa nos valores encontrados desde a série histórica até o presente momento.

### **5.3.3.1 Sulfeto**

“Sulfeto é um gás incolor, de cheiro desagradável característico, tóxico e corrosivo e mais

denso que o ar “ (MAINIER, 2007, p. 2).

Ainda, segundo o autor,

a geração natural de sulfeto está relacionada a diversos ambientes geológicos nos quais estejam presentes os componentes necessários e suficientes para o desencadeamento das reações. Os mecanismos de geração de sulfeto necessitam de uma fonte de enxofre, tais como, sulfato solúvel, sulfato sódio, sulfato cálcio, um mediador como as bactérias, elevada temperatura e um agente catalisador.

Os resultados das análise de sulfeto encontram-se na Figura 19.

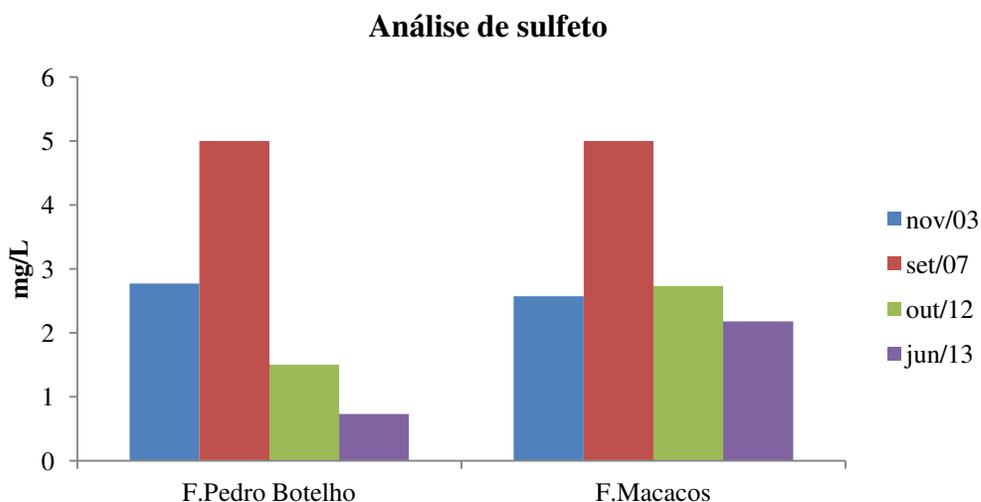


Figura 19: Análise do sulfeto. Fonte: INB (2003, 2012 e 2013) e LAMIM (2007).

Cruz & Pimentel (1991) sugeriram que o sulfeto “em forma de gás nas emergências das fontes Pedro Botelho e Macacos estão presentes em pequena quantidade, mais, em forma de íons  $HS^-$  dissolvido essa quantidade aumenta devido às condições de pH (alcalino) e Eh”.

Mourão (1992, p. 439) ressaltou que o sulfeto

é um grupo privilegiado e de grande importância terapêutica nas águas sulfurosas, sendo um elemento definidor, porém argumenta que este elemento encontra-se em quantidade pequena nestas águas. E, atribui a perda de sulfeto a possíveis danos na condução das águas termais aos respectivos reservatórios, ao uso de bombas, a encanamentos impróprios para este fim ou a problemas com a vedação do reservatório.

Analisando o gráfico, nota-se uma queda do valor de sulfeto, principalmente no Fontanário Pedro Botelho. No caso do Fontanário dos Macacos, uma das hipóteses para a perda do sulfeto poderia ser devido às condições precárias em que se encontram as tubulações, danos na parte da estrutura física onde se encontra a sua captação e também pelo fato do reservatório não ser totalmente vedado. Outra hipótese foi levantada por Costa et al. (1998) mas neste caso seria para o Fontanário Pedro Botelho, relataram sobre as condições precárias das bombas com evidente perda de rendimento em decorrência do tempo de uso e da falta de manutenção. Sendo o Fontanário Pedro Botelho o que apresentou maior queda no valor do sulfeto.

Costa et al. (1998) recomendaram “uma investigação dos processos biogeoquímicos de oxirredução do enxofre por ações de bactérias”.

Pode-se notar que o valor de sulfeto vem sofrendo alterações ao longo do tempo, outros pesquisadores já evidenciaram este fato.

Mesmo ocorrendo esta redução no valor do sulfeto, não se pode afirmar que pode haver uma tendência para a redução, pois seria necessárias mais análises sistemáticas para chegar a uma conclusão.

### **5.3.3.2 Sódio**

“Os sais de sódio são bastante solúveis. Sua presença pode afetar a estrutura do solo e sua permeabilidade, bem como alterar as velocidades de infiltração” (MARQUES, s/d).

As águas termais sulfurosas de Poços de caldas foram classificadas segundo o código de Águas Minerais como sendo águas sódicas, portanto, o sódio é um dos elementos naturalmente presente em sua composição.

Os resultados da análise de sódio encontram-se na Figura 20.

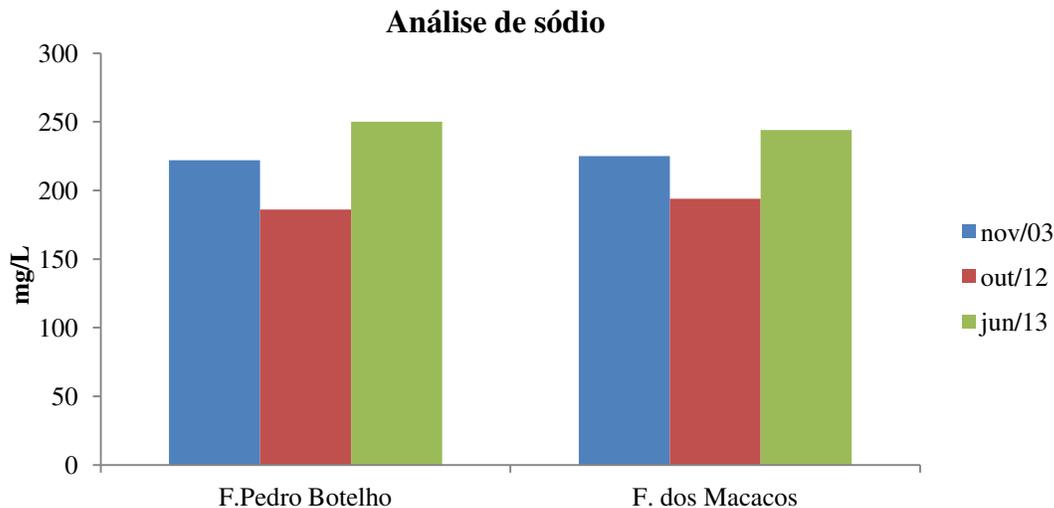


Figura 20: Análise do sódio Fonte: INB (2003, 2012, 2013).

Os resultados dos valores de sódio vêm oscilando desde a série histórica até as análises atuais, para os dois Fontanários. Nas águas do Fontanário Pedro Botelho houve um aumento do ano de 2012 para 2013 de aproximadamente 30%. Para o Fontanário dos Macacos houve um aumento do ano de 2012 para 2013 de aproximadamente 25%. Na legislação o limite máximo permissível é de 200 mg/L, Portaria n. 2914/11, portanto o Fontanário Pedro Botelho obteve um valor de 25% acima do valor estipulado pela legislação e o Fontanário dos Macacos 20%. Já no Código das Águas Minerais 7841/45, estipula que as águas termais para serem consideradas sódicas terão que ter valor de no mínimo 50 mg/L. A hipótese para este aumento seria de que sendo essas águas já anteriormente classificadas como sódicas esse elemento o  $\text{Na}^+$  tem uma tendência a se evidenciar nestas águas, enquanto que o cálcio se encontra em concentrações muito baixas, reflexo das condições hidrogeológica por onde percorrem essas águas. Se forem observadas desde as análises na série história, nota-se um valor também acima da legislação.

Cruz & Peixoto (1991) explicaram que “a dissolução de  $\text{HCO}^{-3}$  e  $\text{Na}^+$  estão relacionados à decomposição dos silicatos alcalinos, devido aos fenômenos de hidratação e hidrólise.

Valores altos de sódio são encontrados em fontes da estância de Águas de São Pedro (SP), Fonte juvenil, Gioconda e Almeida Salles que vão de 600 até 750 mg/L. Valores estes 3 vezes maiores do que o dos Fontanários Pedro Botelho e dos Macacos.

O sódio é um elemento prejudicial para indivíduos com histórico de hipertensão arterial.

### 5.3.3.3 Sulfato

Sua presença na água pode ser devido” ao contato da mesma com rochas que contenham sulfatos em sua estrutura, ou ainda à oxidação de sulfetos ou de outros compostos sulfurados. Um alto índice de sulfato pode estar ligado à contaminação por compostos de enxofre” (MARQUES, s/d).

A análise de sulfato está representada na Figura 21.

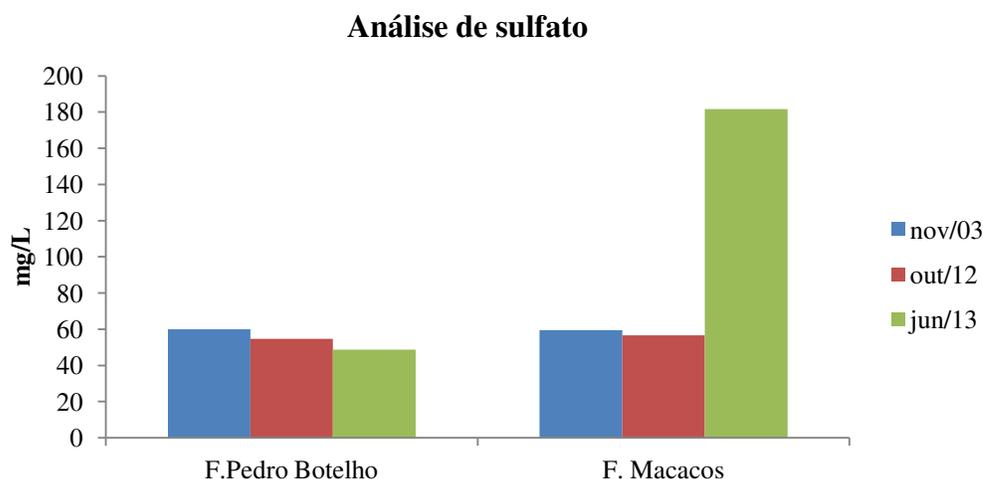


Figura 21: Resultados das análises de sulfato.

Fonte: INB (2003, 2012, 2013).

Observando a Figura 21, nota-se uma tendência comportamental do sulfato na análise de 2003 e 2012 para ambos os Fontanários, apresentando valores mais baixos, porém na última campanha, em 2013, houve uma súbita elevação do valor nas águas do Fontanário dos Macacos. Este aumento de aproximadamente 4 vezes pode indicar algum evento isolado, tal como uma possível interferência durante a realização da análise deste elemento. A Portaria n. 2.914/11 estabelece limites de sulfato em águas para consumo humano de até 250 mg/L. Comparando-se os resultados pode-se observar que mesmo apresentando essa alta no valor na última campanha no Fontanário dos Macacos, esse elemento encontra-se dentro dos limites permissíveis. A presença de sulfato é devido às características do solo e rocha da região.

### 5.3.3.4 Fluoreto

Os resultados das análises da série histórica do fluoreto estão na Figura 22.

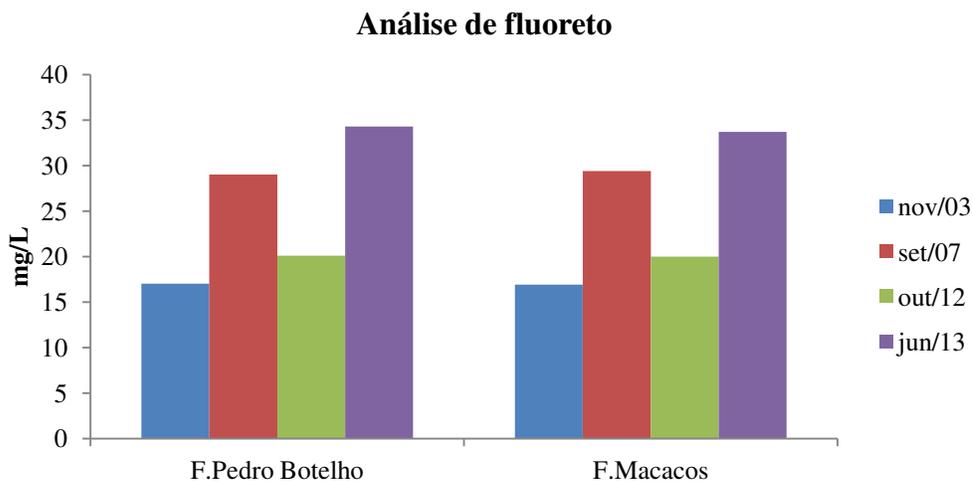


Figura 22: Resultados das análises de fluoreto (série histórica e atual).  
Fonte: INB e LAMIM (2003/2007).

Os valores de fluoreto se mostraram ao longo do tempo oscilando, mesmo assim encontrando-se com valores altos, em relação ao estabelecido pela Portaria n. 2.914/11. Os valores permissíveis e as possíveis causas deste aumento do fluoreto serão discutidas no capítulo 5.5 de Análises físico-químicas, pois além de analisá-lo na composição química, este elemento foi analisado também, juntamente, com os parâmetros físico-químicos.

## 5.4 ANÁLISES FÍSICAS

A temperatura das águas termais é tão importante que foi separada dos outros aspectos físicos, para ser melhor discutida.

“O Brasil não possui águas termais de altíssima temperatura como no caso das águas da Fonte *Soffioni Boriferi* em Toscana (Itália), aonde as águas chegam a 130 °C. No Japão (*Bepu*), a temperatura é de 100°C. Na Argentina, Fonte Rosário de *La Frontera*, as águas chegam a 97°C” (MOURÃO, 1992).

Para Lazzarine (2012) no Brasil, “as águas naturais mais quentes estão em Caldas de

Pirapitinga (GO), onde a temperatura pode variar entre 48° a 57°C”.

A temperatura das águas termais é um indicador importante

do comportamento da água nas profundezas, pois alterações nessas, podem indicar infiltrações de outras águas até então desconhecidas ou até mesmo problemas na construção da captação induzindo a investigar as causas. As temperaturas dessas águas podem variar sazonalmente ou não, mas dependendo da alteração deverá ser melhor investigada. (CLAPÉS, 2000, p. 78).

Além das águas termais aflorarem para a superfície com temperaturas elevadas, as mesmas possuem também, dependendo de sua composição mineral, um retardamento da perda da temperatura.

Exemplo disto é o que ocorre nas águas de Wiesbaden (Alemanha), onde a temperatura da água é de 67° C, conservam o calor por 8 dias, resfriando-se lentamente, mesmo estando fora do reservatório. Isto se deve primeiramente aos minerais presentes e também ao fato de quando surgem na superfície são detentoras de uma potente carga de eletricidade. (MOURÃO, 1992, p. 16).

A temperatura das águas termais dos Fontanários encontra-se na Tabela 18.

Tabela 18 - Temperatura das águas termais

<b>Datas</b>	<b>F. P. Botelho Temp. Água °C</b>	<b>F. Macacos Temp. Água °C</b>
Unidade		
21.08.12	-	39,7
10.09.12	40,0	39,0
25.09.12	41,1	39,6
10.10.12	41,8	40,0
24.10.12	41,8	39,6
29.10.12	42,6	40,1
08.11.12	42,4	39,5
21.11.12	41,2	39,5
07.12.12	42,9	40,0
15.01.13	41,3	40,0
29.01.13	42,6	41,3
20.02.13	43,0	41,0
13.03.13	40,8	39,6
12.04.13	41,8	39,6
16.04.13	41,8	39,6
24.05.13	41,1	40,1
14.06.13	42,0	39,0
18.06.13	40,0	41,0
19.06.13	35,6	39,8
20.06.13	39,6	40,1
02.07.13	41,5	39,5
16.07.13	38,4	39,9

Medições dos Fontanários. Fonte: dados da pesquisa, 2013.

Quanto à temperatura do Fontanário Pedro Botelho, há relatos de valores de até 45°C, porém as medições foram realizadas nos pontos de captações das águas termais e não diretamente na fonte, além disso, foram medidas esporadicamente. O LAMIM, em 2007, fez em uma única medição da temperatura do Fontanário Pedro Botelho, direto da fonte, resultando em 44,1°C e do Fontanário dos Macacos 40,8°C.

Em pesquisas realizadas por Hurter et al. (1983) “a temperatura em profundidade das águas termais, foi estimada em 78°C, a partir do conteúdo em sílica.

A temperatura das águas profundas é influenciada principalmente pelo “calor interno das rochas e pelo gradiente geotérmico. O gradiente de temperatura na área estudada nesta área de Poços de Caldas varia de 27 a 38°C/km” (ARAÚJO, 1980).

Durante os 12 meses de medições realizadas nos Fontanários de águas termais da cidade de Poços de Caldas, a princípio quinzenal e posteriormente mensal, registrou-se temperatura média anual para o Fontanário Pedro Botelho de 40,8°C e para o Fontanário dos Macacos a média de 39,4°C, conforme Figura 23.

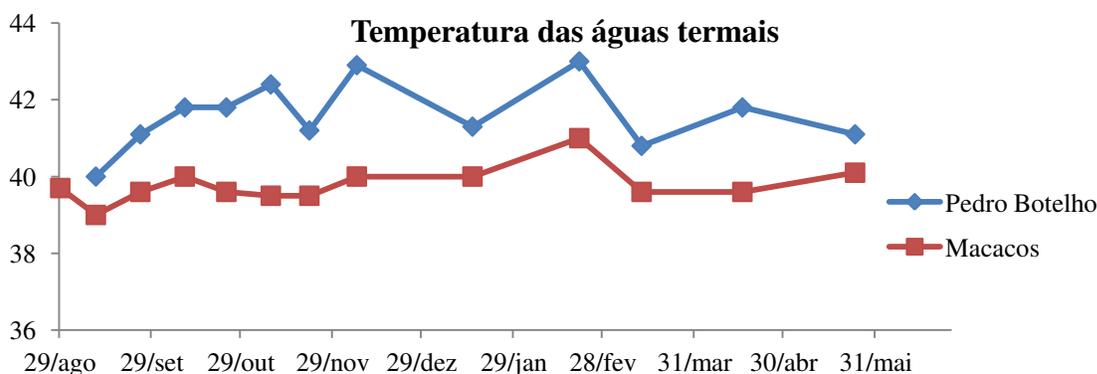


Figura: 23- Temperatura das águas termais. Fonte: DMAE (2012/2013).

Não há como determinar se houve oscilações na temperatura das águas termais sulfurosas aos longo dos anos, pois não constam registros contínuos destas análises. Se houvesse uma maior frequência de medições, poder-se-ia tomar como base para comparações com as medições realizadas nessa pesquisa. E, mediante estas comparações poder-se-ia analisar se está ocorrendo um possível decaimento de temperatura dos Fontanários.

## 5.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

### 5.5.1 Resultados das análises físico-químicas do Fontanário Pedro Botelho

As análises físico-químicas do Fontanário Pedro Botelho encontram-se na Tabela 19.

Tabela 19 - Resultado Análises físico-químicas do Fontanário Pedro Botelho

Parâmetros	Unidades	RDC 274/2005	V. M. P Porta- ria 2914/11	LAMIN 09/2007	F.P. B Out/12	F.P. B Dez/12	F.P. B Abril/13	F.P. B Jul/13
				Série Histórica				
Chuvas 24 h.	-	-	-	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Aspecto*	-	-	Límpido	Límpido	Límpido	Límpido	Límpido	Límpido
Cor*	Uh	-	15	Ausente	7,2	1,50	0,90	-
Odor*	-	-	Ausente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
pH*	-	-	6,0 a 9,5	9,99	9,81	9,77	9,85	9,82
Turbidez*	uT	-	5	Ausente	0,41	0,42	0,86	0,31
Alumínio**	mg/L	-	0,2	<0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Cloreto**	mg/L	-	250	3,99	10,10	8,80	5,50	16,2
Dureza Total*	mgCaCO 3/L	-	500	0,50	2,60	-	17,40	4,8
Acidez Total**	mg/L CO <sub>2</sub>	-	***	-	0,0	-	0,0	0,0
Fluoreto**	mg/L	-	P.C 1,2	29,02	20,80	17,50	25,25	24,6
Manganês**	mg/L	0,5	0,1	0,002	0,0	-	0,0	0,0
Condutividade*	µS/cm	-	***	969,0	860,0	868,0	891,0	907,0
S.T. Dissol.**	mg/L	-	1.000	-	401,0	405,0	427,0	441,0
Ferro**	mg/L	-	0,3	<0,002	-	-	0,31	0,06
Nitrato*	mg/L	50,0	10,0	-	-	-	0,01	0,0

(VMP) Valores Máximos Permissíveis – (uH) Unidade Hazen- (F.P.B) Fontanário Pedro Botelho - Parâmetros LAMIM\*- Parâmetros Potabilidade Portaria 2914/11 \*\*- P.C 1,2 ( Valor para a cidade de Poços de Caldas). \*\*\*Sem parâmetro na Legislação. Fonte: LAMIM e DMAE (2012-2013). Resultados em vermelho não atendem a legislação vigente.

## 5.5.2 Resultados das análises físico-químicas do Fontanário dos Macacos

As análises físico-químicas do Fontanário dos Macacos em Poços de Caldas encontram-se na Tabela 20.

Tabela 20- Resultados análises físico-químicas do Fontanário dos Macacos

Parâmetros	Unidades	RDC 274/05	V.M.P Porta- ria 2914/11	LAMIN 09/2007	F. Macacos out/12	F. Macacos dez/12	F. Macacos abril/13	F. Macacos jul/13
Chuvas 24 h.	-	-	-	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Aspecto*	-	-	Límpido	Límpido	Límpido	Límpido	Límpido	Límpido
Cor*	uH	-	15	Ausente	9,80	0,70	2,20	-
Odor*	-	-	Ausente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
ph*	-	-	6,0 a 9,5	9,83	9,80	9,75	9,85	9,83
Turbidez*	uT	-	5	Ausente	0,52	0,13	4,68	0,13
Alumínio**	mg/L	-	0,2	<0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Cloreto**	mg/L	-	250	4,24	11,90	7,70	6,80	18,4
Dureza Total*	mgCaCO3/L	-	500	0,50	2,60	-	113,60	3,8
Acidez Total**	mg/L CO <sub>2</sub>	-	***	-	0,0	-	0,0	0,0
Fluoreto**	mg/L	-	P.C até 1,2	29,38	39,25	20,20	26,25	24,0
Manganês*	mg/L	0,5	0,1	0,002	0,0	-	0,0	0,0
Condutividade*	µS/cm	-	***	983,0	817,0	857,0	808,0	833,0
S.T.Dissol.**	mg/L	-	1.000	-	416,0	404,0	393,0	406,0
Amônia**	mg/L	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,03
Ferro**	mg/L	-	0,3	0,002	-	-	0,02	0,01
Nitrato*	mg/L	50,0	10,0	-	-	-	0,0	0,0

(VMP) Valores Máximos Permissíveis – (uH) Unidade Hazen- (F. Macacos) Fontanário dos Macacos - Parâmetros LAMIM\*- Parâmetros Potabilidade Portaria 2914/11 \*\* P.C 1,2 (valor para a cidade de Poços de Caldas). \*\*\*Sem parâmetro na Legislação. Fonte LAMIM e DMAE (2012-2013). Resultados em vermelho não atendem a legislação vigente.

### **5.5.3 Discussão dos resultados análises físico-químicas dos Fontanários Pedro Botelho e dos Macacos**

Para a realização das análises físico-químicas, foram selecionados alguns dos parâmetros usados pelo LAMIM, que denomina tais análises como sendo análises de potabilidade química das águas minerais naturais. Outros parâmetros foram selecionados baseados na Portaria n. 2.914/11 para análises de potabilidade de águas para consumo humano. A comparação dos limites aceitáveis baseou-se nos padrões de potabilidade da água para consumo humano da Portaria n. 2.914/11, já que a RDC n. 274/05 contempla apenas limites para manganês e nitrato. Como não há uma legislação que determine os limites aceitáveis para a água mineral natural, isso inclui as águas termais sulfurosas, buscou-se uma legislação que contemplasse a água para consumo humano, uma vez que essas águas são ingeridas com frequência pela população da cidade, entram em contato com a pele e são inaladas. Os itens considerados fora do padrão estão nas respectivas Tabelas 19 e 20, acima, em vermelho e serão comentados a seguir.

#### **5.5.3.1 Odor**

O odor característico está relacionado à presença de enxofre sendo motivado “pelo desprendimento em maior ou menor quantidade de sulfeto de hidrogênio ou gás sulfídrico. Quanto ao sabor as águas sulfurosas não o possuem, mas o cheiro sulfídrico as torna desagradáveis e nauseosas” (MOURÃO, 1992).

#### **5.5.3.2 pH**

“Índice que avalia o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma água” (MARQUES, s/d). Na Figura 24 estão representados os valores do pH.

### Análise de pH

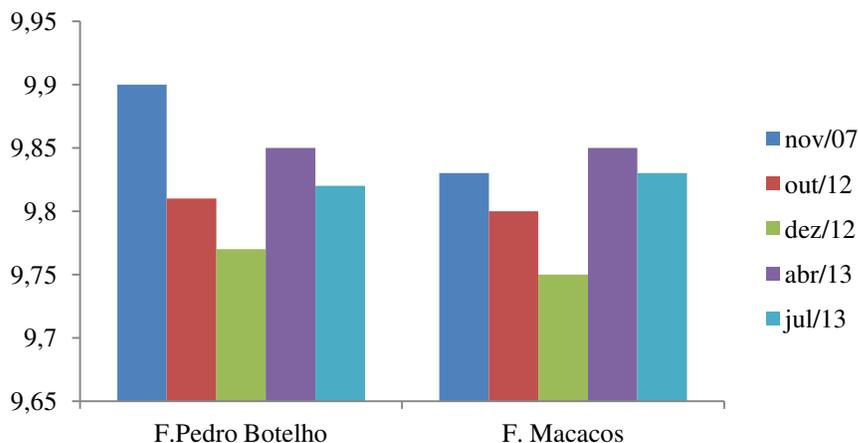


Figura:24 Análise de pH dos Fontanários Fonte: DMAE (2012/2013).

Os valores para o pH permaneceram básicos durante toda campanha de análises. No mês de dezembro de 2012 houve um pequeno decréscimo do valor tanto para o Fontanário Pedro Botelho quanto para o Fontanário dos Macacos, mesmo assim continuando básico. Justo no mês em que obteve-se uma média significativa de chuva, podendo caracterizar uma interferência com águas mistas, ou seja, superficiais, ocorrendo este decréscimo de valor. Tudo indica que este pH básico esteja relacionado à decomposição dos silicatos alcalinos, devido aos fenômenos de hidratação e hidrólise, sendo próprio nesse tipo de água um pH mais alcalino. Nota-se que as águas possuem um pH, com variações, porém sempre alcalino.

#### 5.5.3.3 Fluoreto

O flúor é um membro do grupo dos halogênios, com propriedades típicas deste grupo e possui uma coloração amarelada. Este elemento nunca está sozinho, vem sempre acompanhado de um radical, exemplo, fluoreto de cálcio.

Cruz, Peixoto & Pimentel (1987, p.80) definiram o flúor como,

sendo um elemento fortemente litófilo e devido ao seu baixo peso atômico e valência 1, pode substituir, OH<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, e O<sup>-2</sup> na estrutura mineral de anfibólios, micas e outros minerais. Ocorre na natureza como simples íon, F<sup>-</sup>, ou como compostos de ânions complexos. O principal mineral de flúor é a fluorita (fluoreto de cálcio).

CRUZ & PEIXOTO (1991, p.29) destacaram:

Que os processos geológicos que atuaram na formação do complexo alcalino de poços de caldas (intrusão alcalina, atividade vulcânica e fase hidrotermal) foram muito favoráveis a uma ampla disseminação de minerais contendo flúor nas águas da região, principalmente nas termais.

É devido ressaltar que o fluoreto encontrado nas águas dos referidos Fontanários são originários de rochas, portanto naturais, e o flúor adicionado às águas tratadas é do tipo artificial.

As análises do fluoreto realizadas nos respectivos Fontanários indicam que há uma oscilação significativa do valor deste elemento nas águas termais, conforme verifica-se na Figura 25.

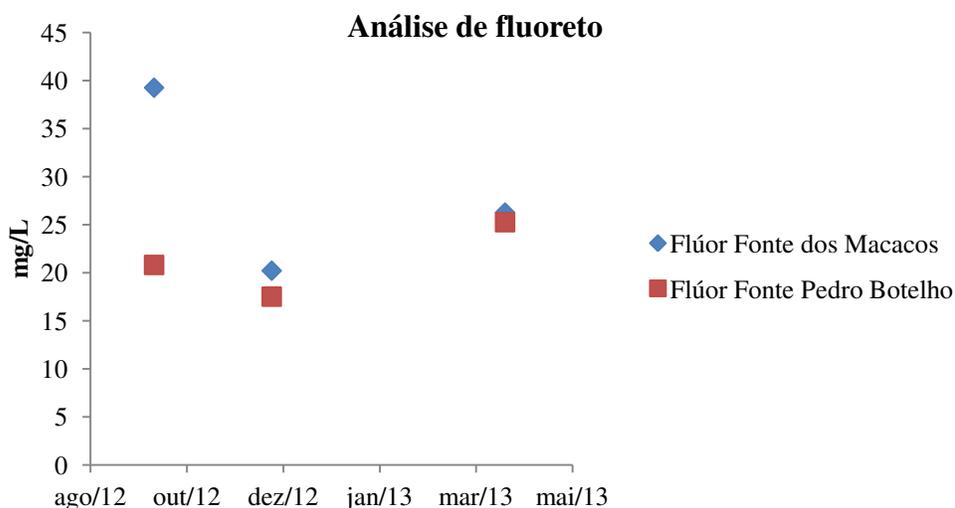


Figura 25: Análise do fluoreto dos Fontanários Pedro Botelho e dos Macacos.  
Fonte: DMAE (2012/13).

Os percentuais do elemento fluoreto encontrados nas águas dos respectivos Fontanários estão na Tabela 21.

	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	4ª Campanha
<b>F. Pedro Botelho</b>	20,80mg/l	↓ 15% *	↑ 50% *	↓ 1%*
<b>F. dos Macacos</b>	39,25 mg/l	↓ 50%*	↑ 28%*	↓ 10%*

\*Percentuais comparados sempre com campanhas anteriores. Fonte: dados pesquisa, 2013.

A Portaria n. 2.914/11 estabelece “que a concentração das águas fluoretadas artificialmente não deve exceder 1,5mg/L, entretanto a concentração adequada para cada região do país deve ser calculada com base na temperatura média anual do local”.

Portanto Poços de Caldas tem um valor diferenciado devido suas condições especiais calculado em 1,2 mg/L de fluoreto como limite.

A média de fluoreto encontrado nas águas do Fontanário Pedro Botelho foi de 22,03 mg/L, cerca de aproximadamente 20 vezes a mais do limite estabelecido pela Portaria n. 2.914/11. Para o Fontanário dos Macacos, na primeira campanha, o valor encontrado foi um dos mais altos oficialmente registrados. A média de fluoreto nas águas deste Fontanário foi de aproximadamente 27,57 mg/L, cerca de aproximadamente 23 vezes a mais do limite estabelecido pela Portaria n. 2914/11.

O Fontanário denominado de Sinhazinha, localizado de frente à Prefeitura Municipal de Poços de Caldas, classificado com sulfuroso de águas frias, embora não seja objeto de pesquisa deste trabalho, também apresenta uma valor elevado de fluoreto, cerca de 21 mg/l deste elemento.

Se considerado a ingestão diária de apenas 60 ml de água sulfurosa, somente esta quantidade já ultrapassaria o valor máximo recomendado para ingestão diária do fluoreto, sem considerar o consumo advindos de outras fontes, tais como: águas minerais e água tratada.

O valor alto de fluoreto encontrado e as oscilações destes valores ocorreram simultaneamente nos dois Fontanários. Tanto para o Fontanário Pedro Botelho quanto para o Fontanário dos Macacos, obteve-se um valor de fluoreto considerado alto no mês de outubro, período de poucas chuvas, posteriormente em dezembro, o valor diminuiu aproximadamente em 15% para o Fontanário Pedro Botelho e 50% para o Fontanário dos Macacos, num dos períodos com altos índices pluviométricos. Na última campanha, ocorreu um discreto aumento do valor, período em que as chuvas estão cessando. A hipótese usada para a discussão das oscilações do fluoreto poderia ser a do índice pluviométrico. Na ocorrência de um alto índice pluviométrico as águas dos Fontanários Pedro Botelho e dos Macacos misturam-se com águas superficiais, acarretando uma diluição significativa deste elemento.

Costa et.al (1998, p. 53) mencionou que há uma mistura das águas termais com águas intermediárias e superficiais.

As águas termais que afloram na cidade de Poços de Caldas são associadas à zona

aquífera de circulação profunda. Cálculos efetuados indicam que a temperatura com que as águas termais de Poços de Caldas afloram nas fontes dos Macacos e Pedro Botelho, são o resultado de uma mistura delas com as águas dos aquíferos intermediário e superficial, na proporção aproximada de 23 e 77%, respectivamente.

Em pesquisas realizadas, somente constam publicações referentes há possíveis causas da presença do fluoreto nas águas de Poços de Caldas e aos valores altos deste elemento, mas não há relatos de trabalhos que mencionem sobre as possíveis causas das variações de valores sofridas pelo mesmo.

Sobre as possíveis causas da presença do fluoreto nas águas tanto superficiais quanto termais na região de Poços de Caldas, Cruz & Peixoto (1991, p.8) argumentaram que o aumento de

fluoreto, nas águas subterrâneas, com a profundidade deve-se à dissolução da própria rocha rica em fluorita e dos materiais das paredes das fraturas, no qual o aumento de temperatura da água contribui para intensificar o processo de solubilização.

Adreazzini (2005, p.5) enfatizou:

Que a ocorrência do fluoreto está relacionada comumente aos processos ígneos. Durante a evolução magmática, o flúor ocorre geralmente como um componente da fase volátil, concentrando-se nas fases finais da evolução em rochas alcalinas, carbonatitos, depósitos hidrotermais, zonas de alteração e pegmatitos, geralmente como fluorita e fluoropatita, em anfibólios e micas.

Ainda segundo o autor, os fatores que controlam a concentração de fluoreto nas águas naturais são: “temperatura, pH, presença de íons e coloides complexantes, solubilidade dos minerais que contêm flúor, capacidade de troca iônica dos materiais do aquífero ( $\text{OH}^-$  por flúor), tamanho e tipo de formações geológicas”.

Observa-se pelos relatos de outros pesquisadores na parte da Revisão Bibliográfica que, desde 1987, o fluoreto tem um histórico de comportamento elevado.

Alguns pesquisadores analisaram o alto índice de fluoreto em outros tipos de aquíferos.

“ Estudos têm mostrado também elevados valores de fluoreto nas águas subterrâneas do estado do Rio Grande do Sul” (COSTA et al., 2004).

CPRM (1997) descreveu uma relação entre “o alto valor de fluoreto em águas muito sódicas, porém com pouco cálcio e com valores de sólidos totais dissolvidos em quantidade

inferior a 1000 mg/L. Pois a presença de cálcio seria o que limitaria as altas concentrações de fluoreto”.

Observando as séries históricas e as análises recentes dos respectivos Fontanários Pedro Botelho e dos Macacos, nota-se que pode haver uma correlação na descrição do CPRM (1997).

Existem casos em que o aumento de fluoreto pode estar relacionado com ações antrópicas, como o ocorrido, nessa mesma cidade onde são pesquisadas as águas termais, em uma represa denominada de Saturnino de Brito, no ano de 2010. Durante 3 meses os valores de fluoreto encontrados nessa represa foram altíssimos, ultrapassando em média os valores encontrados nas águas termais. Posteriormente foi constatado que este aumento no fluoreto era causado por ações antrópicas ou seja despejos industriais. As águas desta represa são captadas, tratadas e utilizadas para abastecimento público: Nem todo valor de fluoreto elevado pode ser atribuído ao aspecto da região e deve ser investigada a origem.

Sobre a ocorrência de valores elevados de fluoreto, Lazzerine (2012) cita que” consultando um banco de dados obteve uma lista ordenada (Springs Brasil) das localidades brasileiras que apresentaram algum valor de flúor nas águas usadas ou não como minero-medicinais”. Os Fontanários Pedro Botelho e dos Macacos encontram-se respectivamente, em 2º e 3º lugar, sendo uns dos valores mais altos encontrados. Estes valores coincidem com os valores encontrados nessa pesquisa. A cidade de Águas da Prata (SP) que faz fronteira com Poços de Caldas, também é citada nessa lista e está logo abaixo dos respectivos Fontanários, com valor de 21 mg/L de fluoreto. Lazzerine (2012) complementa” que em ocorrências com teores de flúor superiores a 50 mg/L a nível internacional, há duas localidades, das 1.077 amostras analisadas”. Mas não cita os nomes destas localidades.

Com relação à existência de um valor limite permitido para o fluoreto nas águas termais usadas para a prática da balneoterapia que não comprometa a saúde dos usuários não há relatos. Mas para o valor mínimo há referências na literatura. Para a área de balneabilidade o valor mínimo para bioatividade balneoterápica é de “2,4 mg/L de flúor adotado pelas normas norte-americanas de definições para os Spas (salute per acqua), que é pouco superior à sugestão japonesa de 2 mg/L e da Europeia de 1 mg/L de flúor. (LAZZERINE, 2012).

Ashley & Burley (1995) citaram que” na Etiópia existem fontes quentes com valores de fluoreto em torno de 26 mg/L”. Este valor coincide com a média encontrada nos Fontanários

pesquisados na cidade de Poços de Caldas.

Porém, Costa et. al. (1998) recomendaram que” seja feita investigações mais detalhadas dos impactos do fluoreto sobre a população de Poços de Caldas, estudos de possíveis casos de fluorose”.

Ainda, segundo os autores “o fluoreto está presente também em águas subterrâneas da zona intermediária, aquelas captadas por poços tubulares com profundidade em torno de 150 a 200 metros.

Estes poços tubulares são usados como alternativa para abastecimento .” Há poços em hospitais, clube de recreação e em alguns hotéis da zona central, que perfuraram na expectativa de obterem água sulfurosa e/ou termal” (COSTA et.al., 1998).

As concentrações de fluoreto destes poços tubulares foram analisadas indicando” valores bem elevados para os seguintes pontos: Hospital Pedro Sanches, 26,75 mg/Le Santa Casa, 5,70 mg/L, Associação Atlética Caldense, 7,20 mg/L, Hotéis: Minas Gerais, 7,60 mg/L, Jóia, 12 mg/L, Nacional, 15,5 mg/L, Nacional inn Vilage, 0,90 mg/L” ( COSTA et.al., 1998).

Cruz & Peixoto (1991) descreveram outros tipos de alterações na zona intermediária onde foram perfurados os poços tubulares, além das descritas por Costa et. al, 1998. As águas subterrâneas nesta zona perdem o caráter ácido e já se apresentam fracamente alcalinas; com um pH que pode alcançar o valor de 8,4 , as concentrações de bicarbonato e de sódio chegam a um máximo de 138 a 43 mg/l.

Um fator importante descrito por Costa et. al.( 1998) “é a ocorrência de uma diluição mais acentuada que reflete as diferentes frações de mistura na sua composição isotópica, que ora apresenta similaridade com águas de circulação profunda, ora reflete semelhanças com águas da zona rasas. Isto explica as oscilações em relação aos valores encontrados para o fluoreto”. Para águas consideradas de zonas intermediárias.

O fato é que o flúor na região de Poços de Caldas” estará sempre disponível para ser solubilizado pelas águas na própria rocha alcalina, reação que é incrementada com o aumento da temperatura da água em profundidade, nos aquíferos intermediário e profundo” ( COSTA et.al., 1998).

Nas águas dos Fontanários superficiais, usadas pela população em larga escala, também contem o fluoreto natural que pode atingir, dependendo do Fontanário, até 0,40 mg/L de fluoreto.

Estes Fontanários passam por um monitoramento mensal pelo laboratório do DMAE e encontram-se abaixo do limite estabelecido pela Portaria n. 2914/11 em relação ao fluoreto. São analisados aproximadamente 24 Fontanários de águas superficiais contemplando os parâmetros bacteriológico e físico-químico.

O fluoreto ingerido em dosagens acima do recomendado pode causar a fluorose dentária que se manifesta manchando os dentes ou a fluorose óssea que causa o enfraquecimento do esqueleto humano e de animais.

Mas, segundo os pesquisadores Strunecka & Patocka (1999, p.13) o fluoreto apresenta algumas características negativas quando ingerido mesmo em baixas quantidades como por exemplo:

- “Veneno cumulativo, onde somente 50 % do fluoreto ingerido por dia, pela população é excretada através dos rins, o restante se acumula nos ossos, na hipófise e outros tecidos. Se os rins apresentarem algum problema, o acúmulo do fluoreto pode aumentar, causando mais problemas;
- Substância química biologicamente ativa, mesmo em baixas concentrações, que tem o potencial de distubar o processo vital no organismo, porque interfere com os ligamentos de hidrogênio que é o centro da estrutura e funções das proteínas e ácidos nucléicos;
- Forma complexos com um grande número de metais, aos quais se incluem metais que são necessários ao corpo humano (como cálcio e magnésio) e metais (como chumbo e alumínio) que são tóxicos para o corpo, causando diversos problemas, como a interferência do fluoreto com as enzimas, onde o magnésio é um importante co-fator e pode ajudar o aumento de alumínio nos tecidos;
- O fluoreto e o complexo do fluoreto de alumínio interagem com a G - proteína e assim tem o potencial de interferir com muitos hormônios e alguns sinais neuroquímicos”.

## **5.6 ANÁLISES DE RADIONUCLÍDEOS**

Todas as águas naturais podem conter certo grau de radioatividade particularmente as águas termais podem conter um grau maior, devido à profundidade em que se encontram e o contato com rochas contendo radionuclídeos das séries naturais do urânio e tório.

Segundo Neto (1996) “em regiões de alta radioatividade natural, como é o caso de Poços de Caldas, os teores de urânio, tório e produtos de decaimento das séries presentes no solo e em depósitos minerais são geralmente mais elevados”.

Ainda, segundo a autor acima, “ por meio de mecanismos físico-químicos de dissolução ou lixiviação, estes radionuclídeos são incorporados às águas subterrâneas e disponibilizados ao homem ao emergirem nas fontes de águas minerais”.

Porém, Mourão (1992, p.34) argumentou:

Que todos os radioelementos, em princípio, podem ser arrastados pelas correntes de águas subterrâneas, porém nem todos podem ser observados na emergência das fontes. Pois no percurso, desde as rochas radíferas até as nascentes, as emanações destroem-se progressivamente, cada qual segundo o período de evolução que lhe é próprio.

Os resultados das análises das concentrações de atividade dos radionuclídeos nos Fontanários estudados encontram-se na Tabela 22.

Tabela 22 – Resultados das concentrações de atividade dos radionuclídeos

Isótopos	Unidade	Portaria 2914 /11	29/10/12 P.B	20/06/13 P.B	29/10/12 Macacos	20/06/13 Macacos
<sup>210</sup> Pb	Bq/L	-	0,005895	0,063	0,003604	0,036
<sup>226</sup> Ra	Bq/L	1 Bq/L	0,006959	0,004	0,003377	0,0038
<sup>228</sup> Ra	Bq/L	0,1Bq/L	-	0,01	-	0,0065
Th-Total	Bq/L	-	0,00082	-	0,00165	-
U-Natural	mg/L*	0,03 mg/L	0,0004337	0,000327	0,001518	0,0004508

\* Resultados em Bq/L convertidos em mg/L. Fontanário Pedro Botelho (P. B.) e Fontanário dos Macacos. Fonte: INB (2012/2013).

Embora até o presente momento não se tenha estipulado na legislação um limite máximo permissível de atividade radioativa para as águas minerais, a comparação é feita usando os limites máximos permissíveis para água potável, Portaria n. 2.914/11. Os valores encontrados para os cada elemento pesquisado estão em forma de gráficos nas seguintes Figuras de 26 a 28.

### 5.6.1 Análise de <sup>210</sup>Pb

O chumbo apresenta quatro isótopos estáveis naturais: “ <sup>204</sup>Pb , <sup>206</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb e <sup>208</sup>Pb . Com exceção do <sup>204</sup>Pb os demais são produtos finais das séries de decaimento radioativo, portanto a composição do chumbo varia de lugar a lugar e a sua massa atômica relativa não é constante” (NETO, 1996).

Ainda, segundo o autor, “o <sup>210</sup>Pb pertence à família do <sup>238</sup>U e contribui com uma das maiores doses de radiação natural no corpo humano. A principal fonte de <sup>210</sup>Pb no ambiente é o

gás  $^{222}\text{Rn}$ , que se difunde da crosta terrestre para a atmosfera.

E, conclui que o “ rápido decaimento do  $^{222}\text{Rn}$  gera o  $^{210}\text{Pb}$ , que é absorvido pelos aerossóis e retorna ao ambiente terrestre e aquático por deposição superficial ou pela ação da chuva e neve”. O  $^{210}\text{Pb}$  tem meia-vida de 22,3 anos e decai por emissão de partículas beta e raios gama para  $^{210}\text{Bi}$  que origina o  $^{210}\text{Po}$  ”.

Neto (1996, p. 31) destacou ainda:

Que a presença de  $^{210}\text{Pb}$  em águas potáveis decorre ou da precipitação atmosférica ou da migração destes presentes no solo vizinho à fonte. Os valores de concentrações de  $^{210}\text{Pb}$  em águas potáveis (incluindo as engarrafadas) estão relacionados juntamente com a localização da fonte.

As análises das concentrações de atividade de  $^{210}\text{Pb}$  encontram-se na Figura 26.

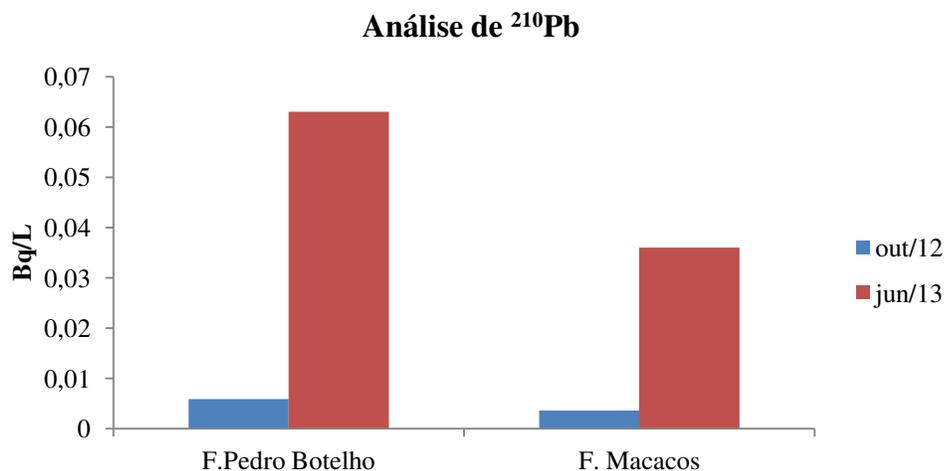


Figura: 26- Concentrações de atividade de  $^{210}\text{Pb}$  nas águas dos Fontanários.  
Fonte: INB (2012/2013).

Para o elemento  $^{210}\text{Pb}$  não há na legislação brasileira um valor limitante. Embora possa ser observado na figura 24 que houve uma variação da concentração deste elemento na segunda campanha, comparando-se com a primeira, para os dois Fontanários. Mas mesmo assim pode-se considerar estas concentrações baixas. Como o resultado está na unidade de Bq/L se converter esta unidade para mg/L, tomando como base o Fontanário Pedro Botelho os resultados dos anos 2012 e 2013, tem-se os respectivos valores,  $2,08 \times 10^{-12}$  mg/L de  $^{210}\text{Pb}$  e  $2,22 \times 10^{-11}$  mg/L. Portanto não foram identificadas atividade do elemento  $^{210}\text{Pb}$  nas águas termais sulfurosas dos

Fontanários pesquisados.

Quanto as variações nas concentrações  $^{210}\text{Pb}$ , Neto (1996, p. 85) pesquisou nas fontes minerais radioativas da cidade vizinha a Poços de Caldas, Águas da Prata (SP) e relacionou a variação nas concentrações de  $^{210}\text{Pb}$  com a precipitação atmosférica,

no verão quando a precipitação atmosférica é maior ocorre à diluição das concentrações dos radionuclídeos. Esta diluição também ocorre nas águas de mais duas fontes: Prata Radioativa e Vilela Gruta, porém esta manifesta-se entre as estações de chuva e seca. Verifica-se que o tipo de formação da rocha influencia nesta variação significativa, entre as águas das fontes oriundas de aquíferos formados por rochas alcalinas o período de maior concentração é o da seca.

Embora na região de Poços de Caldas o maior índice pluviométrico ocorra entre os meses de outubro a março, sendo o pico os meses de dezembro e janeiro, no verão ainda há ocorrências de chuvas, porém com índices pluviométricos menores. Uma hipótese a ser considerada seria que estas variações nas concentrações de  $^{210}\text{Pb}$  tanto para o Fontanário Pedro Botelho quanto para o Fontanário dos Macacos ocorreram devido a interferência pluviométrica.

Outra hipótese para as variações de concentrações foi citada por Moreira (1993, p.51):

de que este comportamento de transferência de  $^{210}\text{Pb}$  para as águas em épocas de pouca pluviometria, talvez se deva ao fato do  $^{210}\text{Pb}$  presente nas águas ser proveniente não somente do decaimento radioativo do  $^{222}\text{Rn}$  já dissolvido, como também da transferência direta do  $^{210}\text{Pb}$  da rocha para a água.

Isto explicaria a princípio o fato das variações da concentração de  $^{210}\text{Pb}$  nas águas termais sulfurosas dos respectivos Fontanários ocorrerem com maior intensidade no verão.

Publicações referentes a determinações de concentrações de atividades de  $^{210}\text{Pb}$  nas águas termais sulfurosas da região de Poços de Caldas não foram encontradas nas literaturas pesquisadas, somente sobre seus precursores  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{U}$ .

Costa et. al (1998) apresentaram” um resultado de análises de chumbo, porém seria referente ao metal e não ao  $^{210}\text{Pb}$ ”.

Outras pesquisas foram tomadas como base para comparar os resultados das concentrações de  $^{210}\text{Pb}$  encontradas em águas minerais com os obtidos neste trabalho.

Moreira (1993) “analisou a concentração de atividade de  $^{210}\text{Pb}$  em amostras de águas minerais obtendo valores de 0,0049 a 0,1240 Bq/L”. Neto (1996) analisou a “concentração de

$^{210}\text{Pb}$  em águas minerais radioativas de fontes da cidade de Águas da Prata (SP) e obteve valores de 0,0006 a 0,1378 Bq/L. Os valores encontrados para os Fontanários Pedro Botelho e dos Macacos estão muito abaixo dos valores obtidos nestas pesquisas acima citadas.

### 5.6.2 Análise de $^{226}\text{Ra}$

De acordo com Neto (1996) “o rádio pertence ao grupo dos metais alcalino-terrosos. Pelo menos 25 isotópos de radio já foram identificados, sendo os isotópos mais abundantes na natureza,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$ . Estes radionuclídeos são produtos de decaimento das séries naturais do  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ ”.

“O  $^{226}\text{Ra}$  está presente na crosta terrestre e decai para gás nobre  $^{222}\text{Rn}$ , que pode mover-se do seu local de geração na rocha ou no solo e se difundir para a atmosfera” (NETO,1996).

Embora o  $^{222}\text{Rn}$  seja responsável pela maior parte da radiação em águas minerais, o estudo do  $^{226}\text{Ra}$ , tem sua importância “devido a sua meia-vida longa de 1600 anos e sob seus aspectos radiológicos que permitem um conhecimento melhor dos mecanismos de transferência destes radionuclídeos naturais existentes no ambiente para o homem” (OLIVEIRA,1993).

Ainda, conforme Oliveira (1993) “o rádio raramente ocorre sozinho e é gerado pelo decaimento do U e Th. Assim, todos os minerais e rochas que contém isotópos naturais de U e Th apresentam quantidades mensuráveis de rádio dependendo da quantidade dos elementos precursores inicialmente presentes nestes minerais”.

As análises das Concentrações de atividades de  $^{226}\text{Ra}$  encontram-se na Figura 27.

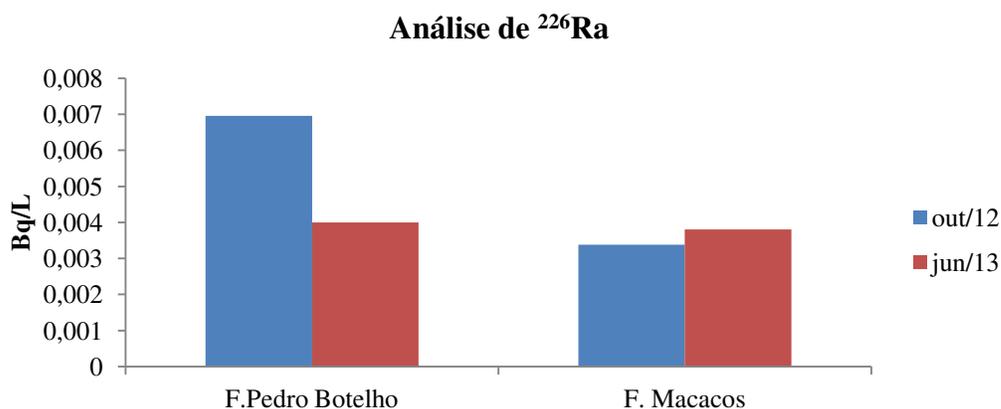


Figura 27: Concentrações de atividade de  $^{226}\text{Ra}$  nos Fontanários Fonte: INB (2012/2013).

Apesar do Fontanário Pedro Botelho apresentar um valor mais alto de  $^{226}\text{Ra}$  na primeira campanha em relação à segunda, todos os dois Fontanários, tanto o Pedro Botelho quanto o dos Macacos estão dentro dos limites máximos exigidos na legislação, Portaria n. 2.914/11.

Costa et. al (1998) apresentaram” um resultado da análise da concentração da atividade de  $^{226}\text{Ra}$  nas águas termais sulfurosas da Fonte Pedro Botelho e dos Macacos, porém não consta a data destas análises, mas há indícios de que seja entre os anos de 1986 a 1987”. “Os valores encontrados foram  $<0,03$  Bq/L para as duas fontes”.

Em Águas da Prata (SP), Oliveira (1993) realizou análises das” concentrações de  $^{226}\text{Ra}$  em algumas fontes radioativas da cidade as médias obtidas variaram de 2,2 mBq/L até 2106 mBq/L para  $^{226}\text{Ra}$ ”.

“A concentração de  $^{226}\text{Ra}$  em águas subterrâneas normalmente não depende da quantidade de urânio dissolvido” (OLIVEIRA, 1993).

“Do ponto de vista físico-químico, sabe-se que o urânio e o rádio são bem mais solúveis em águas subterrâneas do que o tório, o actínio e o protactínio” (OLIVEIRA, 1993).

Segundo Oliveira (1993) “os processos que influenciam a transferência do rádio sólido para a solução estão relacionados com a composição química da água. Concentrações relativamente altas de  $^{226}\text{Ra}$  foram encontradas em águas com elevado teor salino”.

O autor citou, ainda “ que a concentração de  $^{226}\text{Ra}$  estudados em 23 tipos de águas de fontes radioativas foi determinada pelo total de sólidos dissolvidos, mas se a temperatura da água

subterrânea estiver aumentada, diminui a concentração de rádio, por causa da concentração de íons sulfato”.

E, relatou “ que a concentração de rádio em solução está mais relacionada com a composição química da água do que com a concentração de rádio propriamente dita na rocha matriz”.

Concluindo” que altas concentrações de rádio podem ser encontradas em águas em contato com rochas que contém pouco urânio, mas que apresentem alta salinidade” (OLIVEIRA, 1993).

O transporte de rádio da rocha para a água dependerá do tipo de mineral, da distribuição do rádio entre os grãos do mineral, do tamanho dos grãos, da frequência de fraturas na rocha e outros parâmetros que afetem a superfície de contato com a água (OLIVEIRA, 1993).

Negrão (2012) pesquisou a radioatividade nas águas minerais de Caxambu e Águas de Lindóia e relatou “ que as altas concentrações de carbonatos em água, em ambientes naturais, podem resultar em um conseqüente aumento da solubilidade dos isótopos de Ra(rádio) e pode ainda, ter um papel importante na distribuição do  $^{228}\text{Ra}$ ”.

Os valores de carbonatos e bicarbonato nas águas termais sulfurosas pesquisadas se encontram relativamente altos se comparados aos valores de Caxambu e Águas de Lindóia para águas minerais. Mesmo assim, os valores de rádio estão dentro dos limites estipulados pela legislação.

Mourão (1992) enfatizou que” a presença do rádio oferece o risco de acumulação no organismo, podendo ser prejudicial, mesmo em concentrações consideradas baixíssimas”.

### **5.6.3 Análise de urânio-natural**

O urânio natural é constituído de 3 isótopos, segundo Neto (1996) sendo:”  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ . O  $^{238}\text{U}$  e  $^{235}\text{U}$  são percussores de duas séries radioativas: U- natural e actínio, enquanto que  $^{234}\text{U}$  faz parte da série U-natural. O  $^{238}\text{U}$  e  $^{235}\text{U}$  se desintegram e produzem uma série de radioelementos, os quais por sua vez se desintegram até chegar a produtos estáveis  $^{206}\text{Pb}$  e  $^{207}\text{Pb}$ ”.

As análises das concentrações de urânio-natural podem ser observadas na Figura 28.

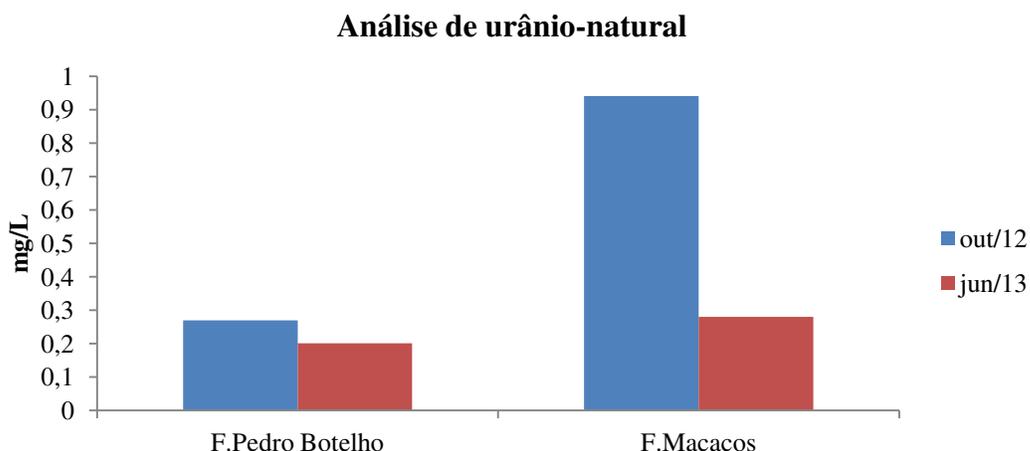


Figura 28: Concentração de urânio-natural nas águas dos Fontanários. Fonte: INB (2012/2013).

Para o elemento Urânio-natural os valores limites foram comparados com os da Portaria n. 2914/11. Embora observa-se na figura 28 no resultado do Fontanário dos Macacos um determinado valor deste elemento na primeira campanha e na campanha seguinte uma queda significativa do valor em relação à primeira campanha, pode-se dizer que os valores encontrados, ainda estão bem abaixo dos limites para água potável estipulado pela Portaria n. 2.914/11.

#### 5.6.4 Discussão dos resultados das análises dos radionuclídeos

Com relação à presença de  $^{226}\text{Ra}$  nas águas dos respectivos Fontanários, mesmo em concentrações bem abaixo dos limites considerados para água potável estipulado pela Portaria n. 2914/11 pode-se considerar que:

Cruz & Peixoto (1991, p. 7) afirmaram:

Que a radioatividade está relacionada à mineralização uranífera presente na área de Poços de Caldas. O urânio é ligeiramente solúvel, em meio redutor, precipita-se com facilidade. As águas alcalinas bicarbonatadas podem ter quantidade importante de urânio. Já o tório é muito menos solúvel.

Godoy & Godoy (2006, p.82) estudaram sobre a distribuição de radionuclídeos naturais em águas subterrâneas e ressaltaram:

Que as substâncias radioativas naturais em águas minerais e água potável originam-se da dissolução de gases e minerais presentes nas rochas que compõe os aquíferos. Os padrões de qualidade destas águas subterrâneas dependem das condicionantes

hidrológicas, físico-químicas e das características geológicas do aquífero. A geologia das rochas vulcânicas alcalinas tem grande influência na ocorrência de radionuclídeos naturais na água. Suas concentrações são variáveis e dependem da natureza e tipologia das rochas, assim como da litologia predominante em um dado cenário. Águas subterrâneas provenientes de aquíferos em rochas fraturadas do embasamento cristalino, por exemplo, podem apresentar concentrações relativamente aumentadas de radioatividade natural.

Contudo, do ponto de vista de radioproteção, os resultados de várias pesquisas indicaram que apenas “ o  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  tem sido detectados nas águas em concentrações que podem ser preocupantes do ponto de vista da saúde humana” (DESIDERI et al., 2007; JIA et al., 2009). Neste contexto,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  são os isótopos de rádio mais críticos devido suas meias-vidas longas, 1.600 anos e 5,75 anos, respectivamente.

Com relação ao tório, não foi possível ser analisado nessa última campanha de análises, devido a problemas de ordem técnica. Como na legislação não há limite para este elemento, solicitou-se um aconselhamento técnico da (Comissão Nacional de Energia Nuclear) CNEN sobre os valores encontrados para o tório. Mesmo sendo analisado em apenas uma campanha pode-se dizer que suas concentrações se encontram dentro da normalidade.

Pesquisas realizadas para “determinar a concentração de tório em Poços de Caldas, foram feitas, porém no Morro do Ferro, local considerado possuidor de umas das maiores jazida de tório existente” (MOURÃO, 1992).

Cruz e Peixoto (1991) analisaram as” concentrações de tório nas águas minerais da cidade de Águas da Prata (SP) obtendo como resultado 0,003 a 1,72  $\mu\text{g/L}$ , valores considerados baixos pelos pesquisadores”.

Os valores de tório encontrados nos Fontanários estudados em Poços de Caldas estão abaixo dos valores encontrados na cidade de Águas de Prata (SP).

O  $^{228}\text{Ra}$ , também foi analisado em apenas uma campanha. É um elemento importante de ser estudado, pois é um produto de decaimento da série do  $^{232}\text{Th}$ . Os resultados apontam que as concentrações de atividades do  $^{228}\text{Ra}$  estão dentro dos limites estipulados pela Portaria n. 2914/11. Em Águas da Prata (SP) Oliveira (1993) também “analisou a concentração de  $^{228}\text{Ra}$ , encontrando uma variação de 3,7mBq/L até 23,1 mBq/L”. Os valores encontrados nos Fontanários Pedro Botelho e dos Macacos para o  $^{228}\text{Ra}$ , se comparados com os da cidade de Águas da Prata (SP) estão com concentrações bem mais baixas.

## 6 CONCLUSÕES

O trabalho fez uma análise de um modo geral das águas termais sulfurosas distribuídas nas duas fontes da cidade avaliando sua potabilidade para uso terapêutico.

Diante das pesquisas realizadas, concluiu-se que as águas termais sulfurosas das fontes Pedro Botelho e dos Macacos, atendem às legislações vigentes, RDC n. 274/05, RDC n.275/05 e a Portaria n. 2.914/11 do ponto de vista microbiológico e biológico para serem utilizadas para o fim a que se destinam, terapêutico. Isto se deve grande parte às propriedades bacteriostáticas que as águas termais sulfurosas possuem e pelas características químicas que lhes asseguram ausência de contaminantes patogênicos tais como *Coliformes termotolerantes* e *Streptococos fecais*, elementos mais comuns, presentes nas poluições originadas pela proximidade de concentrações humanas das nascentes. Também a presença de elevados teores de sulfatos, temperatura elevada, pH básico e do teor de fluoreto asseguram a princípio ausência de contaminantes biológicos.

Sob o ponto de vista físico-químico, apesar das águas possuírem um enriquecimento natural do fluoreto, podendo-se atribuir este fato à dissolução da própria rocha fluorita, que com o aumento de temperatura da água contribui para intensificar o processo de solubilização, isto não caracteriza como uma contaminação anômala. Os altos valores do fluoreto indicam um processo de incorporação natural, não configurando até o presente momento da pesquisa, contaminação antrópica. Este tipo de alteração natural é classificado como incontrolável, pois são reações químicas que ocorrem no interior do aquífero, advindo de processos geológicos que atuaram na formação do complexo alcalino que foram muito favoráveis para a ampla disseminação de minerais contendo flúor.

Quanto ao uso livremente das águas dos respectivos Fontanários pela população, há de se fazer um estudo mais profundo sobre o risco de fluorose nestes indivíduos. A fluorose é uma doença que ataca os dentes, causando escurecimento, pode atacar também os ossos, causando enfraquecimento do esqueleto. A ingestão frequente de altas doses de fluoreto pode trazer sérias consequências para a saúde pública.

Possuí também um valor elevado de sódio, que ultrapassa os limites permissíveis pela legislação em média de 25 a 30%. A presença deste elemento nas águas termais sulfurosas também está relacionado à geologia do local. O sódio em excesso pode ser prejudicial para

indivíduos hipertensos.

É importante ressaltar que as águas sulfurosas não podem ser ingeridas sem orientação médica. Essas águas são impróprias para tal fim, pois em sua composição química está presente o sulfato e fluoreto em altas concentrações e outras substâncias em quantidades menores, podendo causar danos à saúde. Sua ingestão deve obedecer a normas técnicas, pois não são conceituadas como alimento e sim como águas minero-medicinais.

As concentrações de atividades de radionuclídeos nas fontes termais estão dentro dos limites exigidos pela legislação. Porém é preciso um programa de monitoramento adequado para acompanhar as atividades destes radionuclídeos.

Em relação à situação estrutural dos locais onde estão os pontos de captações de águas termais e as tubulações, pode-se dizer que para o Fontanário dos Macacos existe uma necessidade urgente de reparos, devida a precariedade do local e da tubulação. Seria viável uma avaliação técnica para averiguar as possíveis irregularidades nas estruturas, tanto para a captação do Fontanário dos Macacos quanto para a captação do Fontanário Pedro Botelho.

Espera-se que a partir destas análises, seja criado um banco de dados, até então inexistentes, com as séries de resultados das análises dos Fontanários Pedro Botelho e dos Macacos para que possa auxiliar em pesquisas futuras.

Por fim recomenda-se que os órgãos responsáveis, como a Vigilância Sanitária possa alertar a população quanto ao devido uso dessas águas, colocando avisos nos respectivos Fontanários e através de campanhas educativas esclarecendo a população quanto ao uso correto das águas termais sulfurosas.

## 7 RECOMENDAÇÕES

- Pesquisar a possibilidade do reuso dessas águas para sanitários públicos que se localizam nas proximidades dos Fontanários, já que essas águas contêm substâncias bactericidas que poderiam ser mais pesquisadas a cerca das possíveis ações para amenizar as contaminações advindas destes ambientes;
- Pesquisar somente os microrganismos, fauna e flora naturais presentes nessas águas;
- Fazer um levantamento das atividades existentes nas proximidades dos Fontanários e identificar os riscos eminentes;
- Estudar sobre fluorose na população, com foque principalmente naquelas que ingerem as águas termais sulfurosas e sulfurosa fria ( Sinhazinha) com frequência;
- Realizar o monitoramento dos radionuclídeos, principalmente  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e avaliar as dosagens dos mesmos devido à ingestão por parte da população;
- Orientar quanto à ingestão das águas à população, colocando informativos nos respectivos Fontanários sobre o uso correto das águas termais sulfurosas;
- Monitorar a quantidade de sódio nas águas termais sulfurosas;
- Medir as concentrações do gás radônio no ar em espaços confinados dentro de balneários.

## 8 REFERÊNCIAS

ANDRADE, M.A. ALMEIDA, L.(2012). **Comportamento do nível potenciométrico do aquífero termal de Caldas Novas- GO e medidas de restrição e controle aplicadas pelo DNPM.** Artigo submetido a ABAS (Associação Brasileira de Águas Subterrâneas). v. 20, n. 1, pp. 99-112.

ANDREAZZINI, M. J.; FIGUEIREDO, B. R.; LICHT, O. A. B.(2005). **Geoquímica do flúor em águas e sedimentos fluviais da região de Cerro Azul, Estado do Paraná:** definição de áreas de risco para consumo humano. Geologia Médica, Caderno nº18, São Paulo.

APHA, AWWA, WEF, “**Standard methods for the examination of water and wastewater**”. 20<sup>th</sup> ed. Washington. 1987.

APHA, AWWA, WEF, “**Standard methods for the examination of water and wastewater**”. 22<sup>th</sup> ed. Washington.

ARAÚJO, R.L.C. (1980). **Pesquisa geotermal na Chaminé Alcana de Poços de Caldas.** In: CONOR. BRAS. GEOL., 31. Camboriú - Anais. Camboriú, SBG. pp. 1059-1074.

ASHLEY, R.P.; BURLEY, M.J. (1995). **Controls on the occurrence of fluoride in groundwater in the Rift Valey of Ethiopia.** In: NASH, H. Groundwater Quality 17<sup>th</sup> Special Report, pp. 45-54.

BOLETIM OFICIAL DO ESTADO (BOE), n. 268 de 9/11/1983. **Métodos oficiais de análises microbiológicas de águas potáveis para consumo.** Espanha.

BONOTTO,N.;GELINSKI,J.M.L.N.(2010). **Condições higiênico-sanitárias de piscinas em companhia hidromineral conforme análise de indicadores de contaminação fecal.** Revista Eletrônica de Biologia. Reb. Volume 3(3): 105-116.

BORGES, C.G; BORTONI, C.E; ALMEIDA, A.R.; BARISON, R.M. (2007). **Uso de tecnologias para o monitoramento qualitativo de águas minerais.** XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas Universidade Federal de Itajubá; GEE/IEE.

BRASIL. Decreto-Lei n.º 7.841, de 08 de agosto de 1945. **Código de águas minerais**. **Diário Oficial da União Brasília**, DF, 20 ago. 1945. Seção 1.

BRASIL. PORTARIA 2.914. (2011). Ministério do Estado da Saúde-MS. **Norma de qualidade da água para consumo humano**. **Portaria n.º 2.914**, D.O.U. de 14/12/11, República Federativa do Brasil, 2011.

BRASIL. PORTARIA N.º 374. (2009). **Norma Técnica que dispõe sobre as Especificações Técnicas para o Aproveitamento de água mineral, termal, gasosa, potável de mesa**. Principais depósitos minerais do Brasil, v.1, cap.5, pp. 89-103.

BRASIL. Resolução RDC ANVISA/MS n.º. 274, de 22 de SETEMBRO de 2005. **Regulamento Técnico para águas envasadas e gelo**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 set. 2005. Seção 1.

BRASIL. Resolução RDC ANVISA/MS n.º. 275, de 21 de outubro de 2002. **Regulamento técnico de procedimentos operacionais padronizados aplicados aos estabelecimentos produtores / industrializadores de alimentos e a lista de verificação das boas práticas de fabricação em estabelecimentos produtores / industrializadores de alimentos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 06 nov. 2002. Seção 1.

CABRINI, K. T.; GALLO, C. R. (2001). **Avaliação da qualidade microbiológica de águas minerais envasadas**. Hig. Alim., v.15, n.90/91, p.83-92,.

CAETANO, L.C. (2005). **A Política da Água Mineral: Uma Proposta de Integração para o Estado do Rio de Janeiro**. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências –UNICAMP. P.331.

CARVALHO, S.R. (s/d). **Água, um bem que precisa ser cuidado**. Projeto de Estrutura Institucional de Consolidação da Política Nacional de Recursos Hídricos. BRA/OES/01/002-SRH-MMA.

CIPRIANI, M.(2002). **Mitigação dos impactos sociais e ambientais decorrentes do fechamento definitivo de minas de urânio**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 332p.

CLAPÉS, O. R. B. (2000). **Control de qualidade de las aguas minero-medicinales - España.** Panorama actual de las Aguas Minerales y Minero-medicinales en España, p. 75-86.

COELHO, D. L.; PIMENTEL, I. C.; BEUX, M. R. (1998). **Uso do método do substrato cromogênico para quantificação do número mais provável de bactérias do grupo coliforme em águas minerais envasadas.** Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos, v.16, n.1, p. 45-54, jan./jun.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB) (1993). **Coliforme termotolerante e total e placas, determinação em amostras de águas pela técnica dos tubos múltiplos - Método de ensaio.** S. P. (N.T.L 5.213).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). (1997). **Guia de coleta e preservação de amostra da água - S.P.** p.150.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). (2005). **Norma técnica para análises de fitoplânctons em água doce.** Nº. 303.2005.

COSTA, M. A. (2002). **Investigação hidrogeológica das termas de Santa Comba e Três Bicas.** IGM. Portugal.

COSTA, P. C. G. et al. (1998). **Projeto hidrogeoambiental das estâncias hidrominerais da companhia mineradora de Minas Gerais – CODEMIG.** 69 p.

CPRM (1997). **Hidrogeologia, conceitos e aplicações.** Coordenação FEITOSA, F. A. C & MANOEL FILHO, J. Laboratório de hidrogeologia da UFPE, Fortaleza; CPRM. 412 p.

CRUZ, W. B. & PEIXOTO, C. A. M. (1989). **As águas termais de Poços de Caldas, MG - estudo das interações água-rocha.** Rev. Bras. Geoc., v. 19, n. 1, pp. 76-86.

CRUZ, W. B.; PEIXOTO, C.A.M.; PIMENTEL, M. L. (1987) **Avaliação hidrogeológica e hidrogeoquímica dos arredores de Poços de Caldas.** CETEC. Belo Horizonte/MG.

CRUZ, W.B. & PIMENTEL, C.A.M. (1991). **A evolução química das águas subterrâneas de**

**Poços de Caldas – MG. Revista Brasileira de Geociências.**

DESIDERI, D.; MELI, M.A.; FEDUZI, L.; ROSELLI, C.; RONGONI, A.; SAETTA, D. (2007).  **$^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Po}$  concentrations of bottled mineral waters in Italy and their dose contribution". *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 94: pp. 86-97.**

FRANGIPANI, A. (1991). **Avaliação do potencial hidrogeotérmico de Poços de Caldas.** São Paulo, IPT/FINEP.

FOTO THERMAS ANTONIO CARLOS 1882. **Acervo Thermas**, 2013.

GODOY, J.M.; GODOY, M.L. (2006) **Natural radioactivity in Brazilian groundwater.** *Journal of Environmental Radioactivity*, 85: pp. 71-83.

GOOGLE MAPS. Acesso em 20 de setembro de 2013, adaptado para a pesquisa.

HURTER, S. J.; ESTON, S.M.; HAMZA, V.M. (1983). **Coleção brasileira dos dados geotérmicos.** Série 2 - Fontes termais. v. 2. São Paulo, IPT. (Publicações IPT 1233).

INSTITUTO DE SALUD CARLOS III. (S/D). **Vademécum de águas mineromedicinales españolas.** Espanha, 310 p.

JIA, G.; TORRI, G.; MAGRO, L.(2009). **Concentrations of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{212}\text{Pb}$  in drinking water in Italy: reconciling safety Standards based on measurements of gross  $\alpha$  and  $\beta$ .** *Journal of Environmental Radioactivity*, 100: pp. 941-949.

JORGE, M. C.R DE LA; DÍAZ, F.; MOSSO, M, A. Y.; GASTÓN DE IRIARTE, E. (2000). **Diversidad microbiana de las águas minerais.** Portugal.

LAGE-FILHO, A.L. (1996). **Características ecológicas e limnológicas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Antas, no período de menores precipitações (Poços de Caldas-MG).** 192 p. USP-SP.

LAZZERINI, F.T (2012). **Fontes Hidrominerais do Brasil: Componentes Biologicamente**

**Ativos (BAC) Naturais.** Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”- IG- 256 p.

MAINIER, B.F.;SANDRES,C.G.;TAVARES,M.S.S.(2007).**Corrosão por sulfeto de hidrogênio e suas implicações no meio ambiente e na segurança industrial.** 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, Cusco-Peru.

MARTINS ,V.D.P. (2010). **Águas termais** - Encontro técnico-água e saúde - Portugal: riscos e benefícios para a saúde.

MARQUES, P. P.(s/d). **Programa de qualidade de águas.** Revista Ciência e Tecnologia, pp. 35-42.

MARTINS NETTO, J.P.G.; DINIZ, H.N.; JOROSKI, R.; OKAMOTO, F.S.; FRANÇA, V.C.C, TANAKA, S.E.; SILVA, V.H.A (2004). **A ocorrência de fluoreto na água de poços da região metropolitana de São Paulo e novas tecnologias para sua remoção.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

MORAIS, F.; BACELLAR, L.A.P.(2008). **Uso de traçadores na avaliação da infiltração em solos de áreas gnáissicas do Complexo Baçõ, MG.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 9, pp. 83-02.

MOREIRA, S.R.D. (1993). **Determinação de  $^{210}\text{Pb}$  em águas minerais da região de Águas da Prata.** Dissertação de Mestrado, IPEN.

MOURÃO, B.M. (1952). **Poços de Caldas - síntese histórico-social** - S.P. Ed. Saraiva.

MOURÃO, B.M. (1992). Medicina Hidrológica. **“Moderna terapêutica das águas minerais e estâncias de cura”.** Editora Prima e E.R. Ind. Gráficas. 1ª Edição, São Paulo.

NEGRÃO,G.S. (2012).**Determinação dos Isótopos Naturais de Rádio de meias-vidas longas,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$ , em Águas Minerais Utilizadas nos Balneários de Caxambu (MG) E Águas de Lindóia (SP).** Dissertação de Mestrado. IPEN.

NETO, A. N. (1996). **Determinação de  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{210}\text{Po}$  em águas minerais radioativas..** Dissertação de Mestrado. IPEN.

OLIVEIRA, R. R.; SOUZA, B. I.; MARTIN; C. W. et al. (1987). **Evolução de estruturas de ciclagem em cinco estágios sucessionais na reserva biológica Praia do Sul, RJ.** In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 45, 1987, São Leopoldo. Resumos: São Leopoldo do Sul, RS, p. 291.

OLIVEIRA, J. (1993). **Determinação de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  em águas minerais radioativas de Àguas da Prata.** IPEN. Dissertação de Mestrado.

PALHARES, J. C. P. (2004). **Definições Técnicas – Água – Versão 1.0.** Comunicado técnico do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Concórdia-SC.

POÇOS DE CALDAS. Prefeitura Municipal e Secretaria de Planejamento e Coordenação. **Revisão do Plano Diretor do Município de Poços de Caldas: diagnóstico preliminar.** 2006. Disponível em: <[http://www.camarapocos.mg.gov.br/downloads/plano\\_diretor/diagnostico/diagnostico\\_2006.pdf](http://www.camarapocos.mg.gov.br/downloads/plano_diretor/diagnostico/diagnostico_2006.pdf)>.

PORTUGAL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. 2000. PORTARIA n. 1220/2000. **Estabelece regras relativas as condições a que as águas minerais naturais e as águas de nascentes, na captação, devem obedecer para poderem ser consideradas bacteriologicamente próprias. Portugal.**

SENTA, A. et al. (1996). **Changes of some sulphuric thermal water characteristics due to chlorination.** Arh Hig Rada Toksikol: Croatia, v. 47, n. 4.

SOARES, C.D., (2007). **Aspectos limnológicos do Córrego São Pedro Juiz de Fora-MG.** Universidade Federal de Juiz de Fora-MG. Dissertação de Mestrado.p.119.

STRUNECKA A., PATOCKA J.( 1999) **-Reassessment of the role of aluminum in the development of Alzheimer's disease-** Cesk Fysiol. Feb;48(1):9-15. Review. Czech.

SIGNORELLI, C. et. Al. (2006). **Il Trattamento delle acque nelle piscine termali.** Ig. Sanità Pubbl.: Roma, v. 62, n. 5.

TORRELLA, F.M. (s/d). **Origem, constitución y dinàmica de las comunidades microbianas**

**de los sulfureta:** el material de la bioglea. Universidad de Murcia (España), p. 20-21.

VENDRELL, M.C.; SINDE, E.; TORRES, M.; GIL, P.; RODRIGUEZ, L.A (1998). **Estúdio de microorganismos patógenos en la fuente termal de O Tinteiro em Ourense.** Universidade de Vigo, campus Ourense. Technol. Aliment. v. 2, n. 2, pp.92-95. España.