

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AMBIENTAL

ROBERTO COSTA SANTOS

**AVALIAÇÃO DA POTABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO
SISTEMA AQUÍFERO BAURU PROVENIENTES DE POÇOS DE
SOLUÇÕES ALTERNATIVAS COLETIVAS DO MUNICÍPIO
DE TUPÃ - SP**

Londrina/PR

2018

ROBERTO COSTA SANTOS

**AVALIAÇÃO DA POTABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO
SISTEMA AQUÍFERO BAURU PROVENIENTES DE POÇOS DE
SOLUÇÕES ALTERNATIVAS COLETIVAS DO MUNICÍPIO
DE TUPÃ - SP**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof. Dra. Alessandra Furtado da Silva

Co-orientadora: Dra. Rosângela Aguilhar da Silva

Londrina/PR

2018

TERMO DE LICENCIAMENTO

Esta Dissertação está licenciada sob uma Licença Creative Commons *atribuição uso não-comercial/compartilhamento sob a mesma licença 4.0 Brasil*. Para ver uma cópia desta licença, visite o endereço <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> ou envie uma carta para Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, Califórnia 94105, USA.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UTFPR - Câmpus Londrina

S237a Santos, Roberto Costa

Avaliação da potabilidade das águas subterrâneas do sistema Aquífero Bauru provenientes de poços de soluções alternativas coletivas do município de Tupã - SP / Roberto Costa Santos. – Londrina: [s.n.], 2018.
102 f. : il.; 30 cm.

Orientadora: Profª. Drª. Alessandra Furtado da Silva

Coorientadora: Drª. Rosângela Aguilar da Silva

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Londrina, 2018.

Bibliografia: f. 91-101

1. Águas Subterrâneas. 2. Águas Potável. 3. Aquíferos. 4. Poços.
I. Silva, Alessandra Furtado da, orient. II. Silva, Rosângela Aguilar da, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. V. Título.

CDD: 628



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Câmpus Apucarana/Londrina



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DA POTABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA AQUÍFERO BAURU PROVENIENTES DE POÇOS DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS COLETIVAS DO MUNICÍPIO DE TUPÃ – SP

Por

Roberto Costa Santos

Dissertação de mestrado apresentada no dia 28 de setembro de 2018, como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Campus Apucarana/Londrina, Universidade Tecnológica do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof. Dr (a) Alessandra Furtado da Silva – Orientadora
(UTFPR – LD)

Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos – Membro Titular
(UTFPR – LD)

Prof. Dr Emílio Prandi – Membro Titular
(DAEE)

Prof. Dr (a) Alessandra Furtado da Silva
Coordenadora

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

Dedico essa Dissertação ao Mestre, que sempre iluminou meu caminho para que eu me mantivesse firme neste sonho.

Aos meus Pais que mesmo diante das dificuldades, sempre priorizaram por prover a minha educação e a de meus irmãos.

À minha noiva, Marisa de Fátima Martins, que sempre me apoiou e esteve ao meu lado, principalmente nos momentos mais difíceis.

À minha orientadora Professora Doutora Alessandra Furtado da Silva, que me fez acreditar que somos capazes de superar as nossas limitações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus e aos Espíritos do bem por me permitirem realizar mais um sonho nesta existência.

Aos meus pais por serem a base de todas as minhas realizações.

À minha noiva Marisa de Fátima Martins por toda paciência e fortalecimento desde o início, assim como sua filha, Maria Laura, que sempre me apoiou com palavras de conforto.

À minha orientadora Prof. Dra. Alessandra Furtado da Silva por ter acreditado neste projeto, bem como auxiliado a vencer as minhas limitações com paciência, tolerância, empatia, ampliando meus conhecimentos e contribuindo para me transformar em uma pessoa mais forte.

À Pesquisadora Doutora Rosângela Aguilar da Silva, do Instituto Adolfo Lutz de Marília, que foi minha co-orientadora e me auxiliou muito para que este projeto fosse concretizado.

Às instituições Instituto Adolfo Lutz e Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que me concederam a oportunidade de realizar essa pesquisa.

Aos Professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental-UTFPR que contribuíram muito para a aquisição de conhecimento e desenvolvimento da dissertação, especialmente ao Prof. Dr. Edson Fontes de Oliveira, que sempre me motivou a não desistir nos momentos difíceis e de desânimo.

À Pesquisadora Dra. Lílian Marques, do Instituto Adolfo Lutz de Marília, que me orientou nos primeiros passos a fim de que o projeto fosse iniciado.

Aos funcionários do Núcleo de Ciências Químicas e Bromatológicas do Instituto Adolfo Lutz de Marília, Luci Ochi Ferreira, Marina Madalena Licate e Alcides Ribeiro Batilani, que sempre me apoiaram.

Aos funcionários do Núcleo Técnico Operacional do Instituto Adolfo Lutz de Marília, Nelson Hakamada, Sara Regina Brito e em especial a Denilson Rhemann Mendonça, pela preciosa contribuição neste trabalho.

Aos demais funcionários do Instituto Adolfo Lutz de Marília, que de alguma forma colaboraram para a realização deste estudo.

À Bibliotecária Fabiana Miranda da Silva pela importante contribuição na revisão do trabalho.

À Vigilância Sanitária Municipal de Tupã, em especial às Agentes de Saneamento: Minéia Servilha Passi Gustalli, Aline Francielle de Souza Bento e Elisângela Montovano que foram responsáveis pela coleta das amostras de água e pelo fornecimento de vários dados importantes à realização deste estudo.

Ao Engenheiro Civil Luís Francisco Quinzani Jordão do Sub-Grupo de Vigilância Sanitária–SGVS de Tupã, pelo fornecimento de informações de grande relevância à execução deste trabalho.

À Secretária Municipal de Planejamento e Infra-estrutura de Tupã (SEPELIN), e principalmente ao Arquiteto Valentim Bigeschi e ao Técnico de Edificações João Barea Torres por fornecerem dados importantes para execução dos mapas.

Aos bibliotecários Tarcisio Vieira Mendes e Valentina Terezinha Machado por terem disponibilizado informações sobre a História do Município de Tupã.

Ao Departamento de Água e Energia Elétrica de Marília, em especial ao Geólogo e Professor Doutor Emilio Prandi que gentilmente forneceu dados importantes para a realização deste estudo.

Aos coordenadores da Pós-Graduação da UNESP e da FAMEMA que permitiram a realização de disciplinas, complementando a carga horária de créditos estabelecidos pela Pós-Graduação.

Por fim, ao meu amigo Geólogo Tales Rodrigues de Almeida e à estagiária Mariane Mature Martins que também me auxiliaram na execução dos mapas.

RESUMO

A qualidade das águas, assim como a quantidade, é de vital importância para todos os organismos vivos e o funcionamento adequado de ecossistemas, comunidades e economias. As águas subterrâneas são intensamente utilizadas para diversos fins, como o abastecimento humano, a irrigação, a indústria e o lazer. Entretanto, algumas atividades desenvolvidas pelo homem têm comprometido significativamente a qualidade dessas águas. O presente estudo teve como objetivos: analisar parâmetros microbiológicos e físico-químicos de potabilidade da água subterrânea captada em 25 poços cadastrados como soluções alternativas coletivas de abastecimento no município de Tupã-SP, avaliar as causas de contaminação detectadas nos poços estudados e monitorar poços representativos durante doze meses. As análises microbiológicas e as análises físico-químicas de cor aparente e amônia foram realizadas segundo American Public Health Association (2012) e de turbidez, dureza total, sólidos totais dissolvidos, ferro, cloreto, fluoreto, nitrito e nitrato, conforme métodos físico-químicos do Instituto Adolfo Lutz (2008). Em relação às análises microbiológicas, do total de 25 amostras de água bruta analisadas, 11 (44%) apresentaram coliformes totais e 3 (12%) apresentaram *E.coli*. No monitoramento dos cinco poços selecionados, as análises microbiológicas revelaram contaminação por coliformes totais em pelo menos uma das amostras de cada poço monitorado no período de 12 meses e foi identificada *E.coli* em apenas um dos poços avaliados no período. Os resultados de cor aparente, turbidez, sólidos dissolvidos totais, dureza total, ferro, cloretos e fluoretos dos 25 poços avaliados e dos 5 poços monitorados no período de doze meses mostraram que todas as amostras analisadas apresentaram valores de acordo com a Legislação vigente. As análises dos compostos nitrogenados mostraram que os resultados de amônia e nitrito dos 25 poços e posteriormente realizadas no monitoramento, estavam de acordo com os padrões estabelecidos pela legislação. As concentrações de nitrato dos 25 poços avaliados variaram de 1,9 a 23,2 mg/L-NO₃⁻N. Do total de 25 amostras analisadas, 8 (32%) estavam em desacordo com a legislação em vigor por apresentar concentração acima do valor máximo permitido. Quanto aos resultados das análises de nitrato dos 5 poços monitorados, com exceção do poço nº 20 (Hotel) que apresentou variações nas concentrações, todos os resultados dos demais poços monitorados estavam de acordo com o estabelecido pela legislação e não apresentaram grandes variações entre os meses de avaliação. Este estudo mostrou a importância das análises microbiológicas e físico-químicas das águas subterrâneas do município de Tupã-SP, do conhecimento das causas de contaminação e fornece subsídio para o estabelecimento de uma correta gestão dos recursos hídricos e, conseqüentemente, a redução dos riscos relacionados às doenças de transmissão hídrica, proteção da saúde dos consumidores e do meio ambiente.

Palavras-chave: água subterrânea, potabilidade, Solução Alternativa Coletiva de abastecimento, contaminação, riscos à saúde

ABSTRACT

Water quality, as well as quantity, is of vital importance to all living organisms and the proper functioning of ecosystems, communities and economies. Groundwater is intensively used for a variety of purposes, such as human supplies, irrigation, industry and leisure. However, some activities developed by man have significantly compromised the quality of these waters. The objective of the present study was to analyze microbiological and physicochemical parameters of potable water abstraction in 25 wells registered as collective alternative solutions in the city of Tupã-SP, to evaluate the causes of contamination detected in the wells studied and to monitor representative wells for twelve months. Microbiological analyzes and physico-chemical analyzes of apparent color and ammonia were performed according to American Public Health Association (2012) and of turbidity, total hardness, total dissolved solids, iron, chloride, fluoride, nitrite and nitrate, according to physico-chemical methods of the Adolfo Lutz Institute (2008). Regarding the microbiological analyzes, 11 (44%) of the 25 raw water samples analyzed had total coliforms and 3 (12%) had *E. coli*. In the monitoring of the five selected wells, the microbiological analyzes showed contamination by total Coliforms in at least one of the samples of each well monitored in the period of 12 months and *E. coli* was identified in only one well evaluated in the period. The results of apparent color, turbidity, total dissolved solids, total hardness, iron, chlorides and fluorides of the 25 wells evaluated and the 5 wells monitored in the twelve month period showed that all analyzed samples presented values according to the current legislation. Analyzes of the nitrogen compounds showed that the ammonia and nitrite results of the 25 wells and later performed in the monitoring were in accordance with the standards established by the legislation. The nitrate concentrations of the 25 wells evaluated ranged from 1.9 to 23.2 mg /L-NO₃-N. Of the 25 samples analyzed, 8 (32%) were in disagreement with the legislation in force because they presented concentration above the maximum allowed value. Regarding the results of the nitrate analysis of the 5 wells monitored, with the exception of well n^o. 20 (Hotel) that showed variations in the concentrations, all results from the other wells monitored were in accordance with the legislation and did not show large variations between the months evaluation. This study showed the importance of microbiological and physicochemical analyzes of the groundwater of the city of Tupã-SP, knowledge of the causes of contamination and provides subsidy for the establishment of a correct management of water resources and, consequently, the reduction of related risks waterborne diseases, protection of consumer health and the environment.

Keywords: groundwater, drinking water, Collective Alternative Solution of supply, contamination, health risks

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O Ciclo Hidrológico.....	20
Figura 2 - Caracterização esquemática das zonas não saturadas e saturadas no subsolo.....	22
Figura 3 - Tipos de aquíferos, quanto a porosidade das rochas.....	24
Figura 4 - Classificação dos Aquíferos de acordo com o armazenamento e a pressão da água.....	25
Figura 5 - Área de recarga e descarga dos aquíferos.....	26
Figura 6 - Principais sistemas aquíferos do Brasil.....	28
Figura 7 - Captação de águas subterrâneas.....	31
Figura 8 - Sistema de abastecimento de água (ciclo completo)	32
Figura 9 - Solução alternativa coletiva sem rede de distribuição – posto de Gasolina com abastecimento próprio.....	33
Figura 10 - Solução alternativa coletiva sem rede–Escola Municipal com abastecimento próprio.....	33
Figura 11 - Solução alternativa coletiva sem rede – Chafariz.....	34
Figura 12 - Fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas.....	38
Figura 13 - Unidades aquíferas monitoradas no estado de São Paulo.....	40
Figura 14 - Localização do município de Tupã.....	46
Figura 15 - Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe.....	48
Figura 16 - O Grupo Bauru em subsuperfície nas Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe.....	49
Figura 17 - Mapa de identificação dos poços avaliados e monitorados.....	52
Figura 18 - Resultado das análises microbiológicas de água de poço (água bruta)	56
Figura 19 - Variação da concentração de nitrato em amostras de água de poço.....	64
Figura 20 - Avaliação microbiológica das águas dos poços monitorados no período de 12 meses.....	71
Figura 21 - Monitoramento da concentração de nitrato em amostras de água do poço nº 1.....	73
Figura 22 - Monitoramento da concentração de nitrato em amostras de água do	

	poço nº 8.....	73
Figura 23 -	Monitoramento da concentração de nitrato em amostras de água do poço nº 14.....	74
Figura 24 -	Monitoramento da concentração de nitrato em amostras de água do poço nº 19.....	74
Figura 25 -	Monitoramento da concentração de nitrato em amostras de água do poço nº 20.....	75
Figura 26 -	Estação de tratamento de Esgoto de Tupã SP (Imagem de satélite, 2009)	76
Figura 27 -	Localização dos lixões do município de Tupã e suas datas de uso....	77
Figura 28 -	Concentração de nitrato e distribuição nas diferentes regiões do município de Tupã.....	78
Figura 29 -	Localização dos poços no entorno dos cemitérios (imagem de satélite 1)	80
Figura 30 -	Condições construtivas e de conservação do poço nº 1.....	84
Figura 31 -	Condições construtivas e de conservação do poço nº 2.....	84
Figura 32 -	Condições construtivas e de conservação do poço nº 19.....	85
Figura 33 -	Condições construtivas e de conservação do poço nº 20.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Poços avaliados e as respectivas atividades.....	51
Tabela 2 -	Padrões microbiológicos e físico-químicos.....	55
Tabela 3 -	Resultados das análises microbiológicas e físico-químicas de amostras de água de poço coletadas no município de Tupã.....	58
Tabela 4 -	Classificação da dureza da água.....	62
Tabela 5 -	Resultados de análises microbiológicas e físico-químicas de amostras de água coletadas no município de Tupã, referente ao monitoramento anual do poço nº 1 (Atividade: Hospital)	66
Tabela 6 -	Resultados de análises microbiológicas e físico-químicas de amostras de água coletadas no município de Tupã, referente ao monitoramento anual do poço nº 8 (Atividade: Hospital)	67
Tabela 7 -	Resultados de análises microbiológicas e físico-químicas de amostras de água coletadas no município de Tupã, referente ao monitoramento anual do poço nº 14 (Atividade: Indústria)	68
Tabela 8 -	Resultados de análises microbiológicas e físico-químicas de amostras de água coletadas no município de Tupã, referente ao monitoramento anual do poço nº 19 (Atividade: Estabelecimento Comercial – produção de alimentos)	69
Tabela 9 -	Resultados de análises microbiológicas e físico-químicas de amostras de água coletadas no município de Tupã, referente ao monitoramento anual do poço nº 20 – (Atividade: Hotel)	70
Tabela 10-	Dados de profundidade dos 25 poços avaliados no município de tupã.....	82

LISTA DE SIGLAS

ANA	AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS
ABAS	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
APHA	ASSOCIAÇÃO AMERICANA DE SAÚDE PÚBLICA
CETESB	COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
CVS	CENTRO DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA
CRL	COLORO RESIDUAL LIVRE
DAEE	DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA
E. coli	ESCHERICHIA COLI
EMBRAPA	EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
ETE	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
IAL	INSTITUTO ADOLFO LUTZ
IPAS	INDICADOR DE POTABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEA
MS	MINISTÉRIO DA SAÚDE
MMA	MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
OMS	ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE
PROÁGUA	PROGRAMA DE VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA O CONSUMO HUMANO
pH	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO
PPP	PERIMETRO DE PROTEÇÃO DE POÇOS
SAC	SISTEMA DE SOLUÇÃO ALTERNATIVA COLETIVA
SDT	SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS
SAB	SISTEMA AQUIFERO BAURU
SABESP	COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO
UGRHI	UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HIDRÍCOS
uH	UNIDADE DE HAZEN
uT	UNIDADE DE TURBIDEZ
VISA	VIGILÂNCIA SANITÁRIA

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 OBJETIVOS.....	19
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
3.1 CICLO HIDROLÓGICO.....	20
3.2 DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO PLANETA.....	21
3.3 ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	22
3.4 AQUÍFEROS.....	23
3.4.1 Classificação dos aquíferos quanto à porosidade da rocha.....	24
3.4.2 Classificação dos aquíferos quanto às características hidráulicas.....	25
3.4.3 Área de recarga e descarga dos aquíferos.....	26
3.5 DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL.....	27
3.6 DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DE SÃO PAULO.....	28
3.7 FORMAS DE CAPTAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	29
3.7.1 Sistema de abastecimento de água para consumo humano.....	31
3.7.2 Soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano.....	32
3.8 QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO.....	34
3.8.1 Impactos sobre a qualidade das águas subterrâneas para consumo humano.....	37
3.9 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	38
3.9.1 Monitoramento da Cetesb.....	39
3.9.2 Indicador de potabilidade das águas subterrânea.....	40
3.9.3 Monitoramento do Proágua.....	41
3.10 PADRÕES DE POTABILIDADE PARA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE CONSUMO HUMANO.....	42
3.11 VALOR DE ALERTA PARA NITRATOS.....	44
4 METODOLOGIA.....	46
4.1 LOCALIZAÇÃO E CONSIDERAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO.....	46

4.2 IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	50
4.3 COLETA E CONSERVAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA.....	53
4.4. ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA.....	53
4.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA.....	53
4.6. COMPILAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS.....	54
4.7 MONITORAMENTO DOS POÇOS.....	55
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
6 CONCLUSÕES.....	87
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
REFERÊNCIAS.....	91

1 INTRODUÇÃO

A água é o mais importante recurso natural do planeta e sem ela a vida não existiria. Apesar dos esforços para armazenar e reduzir seu consumo, a água está se tornando um bem escasso e sua qualidade se deteriora cada vez mais rápido.

Na terra, mais de 97% da água está presente nos oceanos, mares e lagos de água salgada, sendo a água doce, em sua maior parte, situada nas calotas polares e geleiras, inacessível pelos meios tecnológicos atuais. Dessa forma, as águas subterrâneas se constituem em soluções alternativas para o abastecimento de comunidades rurais e urbanas, tanto para uso agrícola como industrial e público (COLVARA, 2009).

A água subterrânea abastece mais de 82 milhões de brasileiros (51% da população urbana), através da rede pública, cerca de 52% dos municípios brasileiros (HIRATA; FERNANDES; BERTOLO, 2016).

No Estado de São Paulo 80 % dos municípios são totais ou parcialmente abastecidos por águas subterrâneas, atendendo uma população de mais de 6 milhões de habitantes (GIAMPÁ; GONÇALES, 2015).

Dentro dessa realidade se encontra o município de Tupã, localizado a oeste do estado de São Paulo, situado sobre os Sistemas Aquífero Bauru (SAB), Serra Geral (SASG), e Guarani (SAG), cujo abastecimento de água é realizado totalmente por águas subterrâneas desses sistemas e o consumo dessas águas provenientes de poços de soluções alternativas coletivas é elevado.

Essas soluções alternativas coletivas referem-se a poços instalados em hotéis, condomínios, hospitais, postos de combustíveis, indústrias, escolas e poços comunitários de áreas rurais, entre outros.

A quantidade das águas, assim como a qualidade, é de vital importância para todos os organismos vivos e o funcionamento adequado de ecossistemas, comunidades e economias (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2011). Entretanto, se a qualidade dessas águas estiver comprometida, pode acarretar riscos à saúde humana, constituindo-se em um veículo de transmissão de diversas enfermidades causadas por microrganismos patogênicos provenientes de fezes humanas e de animais (COLVARA et al., 2009).

Para que a água subterrânea seja considerada potável, é necessária a realização de análises microbiológicas e físico-químicas, a fim de verificar se ela atende os padrões de potabilidade para consumo humano estabelecidos nas normas vigentes no País.

As águas subterrâneas no Brasil, de maneira geral são de boa qualidade, com propriedades microbiológicas e físico-químicas adequadas a diversos usos, incluindo o consumo humano. Entretanto, algumas atividades desenvolvidas pelo homem têm comprometido significativamente alguns aquíferos. A perfuração de poços sem a elaboração de projetos construtivos e sem seguir normas técnicas, o fechamento inadequado de poços abandonados ou desativados e a proliferação indiscriminada de poços com conseqüente super-exploração dos aquíferos podem provocar a contaminação das águas subterrâneas, assim como também a disposição inadequada de resíduos sólidos, esgotos domésticos ou derivados de atividades industriais. Além disso, o uso de insumos agrícolas como agrotóxicos (inseticidas, herbicidas, pesticidas e fungicidas, entre outros) e fertilizantes tem grande potencial de contaminação difusa (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2007).

O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo é uma exigência legal atribuída à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e as ações para verificar o atendimento do padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano são desenvolvidas pelo Programa de Vigilância da Qualidade da Água para o Consumo Humano – PROÁGUA. O Centro de Laboratório Regional - Instituto Adolfo Lutz de Marília é responsável pela execução das análises da água de 62 municípios do interior paulista, com um ou mais sistemas de abastecimento público e uma quantidade de soluções alternativas coletivas ou individuais não totalmente conhecidas.

As análises de vigilância da qualidade da água são realizadas com amostras coletadas pelos profissionais das vigilâncias sanitárias municipais em pontos selecionados segundo critérios de risco e vulnerabilidade nos sistemas ou soluções alternativas coletivas de abastecimento de água (POCOL; VALENTIM, 2004).

É de responsabilidade da Secretária de Saúde de cada município, através da vigilância sanitária, inspecionar as águas subterrâneas de soluções alternativas coletivas destinadas ao consumo humano, para que estas atendam às exigências

dos procedimentos de controle, de vigilância da qualidade da água e de seu padrão de potabilidade para consumo humano estabelecido pela legislação vigente.

Como no monitoramento da qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo realizado pela CETESB são analisadas apenas amostras de água de poços pertencentes a sistemas de abastecimento público e as amostras analisadas no PROÁGUA mais frequentemente selecionadas são destes sistemas, existe uma escassez de dados e informações sobre a qualidade da água subterrânea proveniente de soluções alternativas de abastecimento. Dessa forma, o presente trabalho pretende preencher esta lacuna e com os resultados obtidos fornecer subsídios para a melhoria das condições de vida da população e o aprimoramento das ações de controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo principal analisar parâmetros de potabilidade de amostras de água bruta e tratada, provenientes de poços de soluções alternativas coletivas de abastecimento do município de Tupã, Estado de São Paulo.

Os objetivos específicos foram:

- Analisar parâmetros microbiológicos e físico-químicos de potabilidade de amostras de água bruta coletadas em todos os poços cadastrados como soluções alternativas de abastecimento do município de Tupã.
- Avaliar as possíveis causas das alterações microbiológicas e físico-químicas detectadas nos poços estudados.
- Monitorar parâmetros microbiológicos e físico-químicos de potabilidade de amostras de água tratada coletadas em poços representativos de diferentes áreas geográficas ao longo de doze meses.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

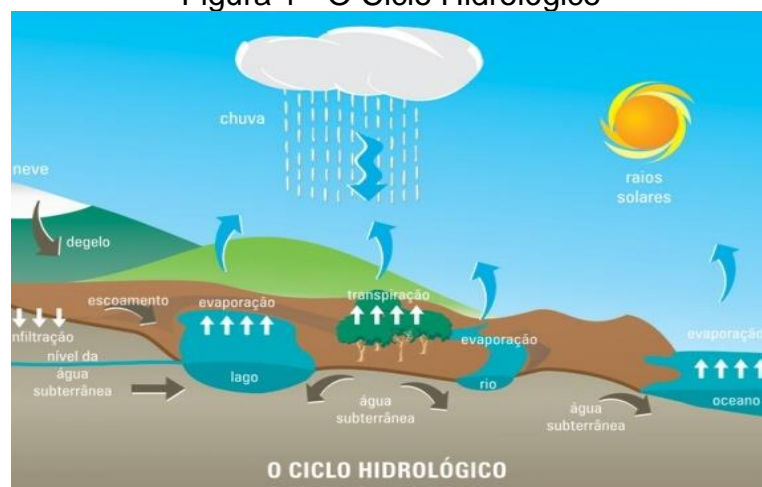
3.1 CICLO HIDROLÓGICO

Ao longo de toda a história a água sempre foi um recurso natural fundamental para sobrevivência humana e de demais seres vivos na Terra além de ser um fator determinante para o estabelecimento e desenvolvimento das civilizações às margens dos rios, regiões costeiras e insulares (CORDEIRO DE SOUZA, 2012).

A água está em movimento contínuo, conhecido como ciclo hidrológico e segundo Miranda, Oliveira e Silva (2010) é definido como uma sucessão de vários processos na natureza pelos quais a água inicia o seu caminho indo de um estágio inicial até retornar à posição primitiva. Este fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, é impulsionado fundamentalmente pela energia radiante e associado à gravidade e à rotação terrestre.

Os principais componentes do ciclo são a evaporação das águas dos oceanos, rios, lagos, solos, transpiração das plantas, a precipitação na forma de chuvas, neve e granizo, o escoamento superficial, a infiltração e drenagem das águas para os mananciais de superfície e subterrâneo (TUNDISI, 2003). A Figura 1 demonstra melhor como ocorrem essas relações entre as fases.

Figura 1 - O Ciclo Hidrológico



Fonte: SILVA, 2012 APUD GIAMPÁ; GONÇALES, 2015

3.2 DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO PLANETA

De toda água existente no Planeta, estima-se que 97,5% pertence aos oceanos e apenas 2,5% está na superfície terrestre, correspondendo à água doce (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2018). Grande parte da água doce é armazenada no subsolo, ou seja, as águas subterrâneas. Excluindo-se as das geleiras e calotas polares, as águas subterrâneas constituem o maior reservatório de água doce do mundo, representando 97% do total e os 3% restantes são constituídas por águas superficiais (lagos, rios e pântanos) e pela umidade da zona superficial do solo (CAMERON, 2012).

As águas no mundo estão distribuídas de forma desigual e com baixa disponibilidade hídrica, principalmente nos continentes que em determinadas áreas possuem grandes contingentes populacionais, como a África, Ásia e Europa (ALBUQUERQUE et al, 2011).

Segundo a previsão de Cavalcanti (2007), no ano de 2025, diversos países sofrerão com a escassez de água, como a Tunísia, Argélia, Mauritânia, Alto Volta, Egito, Sudão, Arábia Saudita, Yemen do Norte, Yemen do Sul, Oman, Kuwait, Iraque, Irã, Turquia, Síria, Jordão, Israel, Kasaquistão, Índia e parte da China e do Nepal.

Apesar de o Brasil possuir uma das maiores reservas de água doce do mundo, também enfrenta problemas de escassez, em várias regiões do país, por serem esses recursos desigualmente distribuídos.

A maior parte das águas se concentra na região da Amazônia, onde se encontra a menor taxa populacional do país, enquanto que o restante da disponibilidade hídrica é distribuída nas regiões que possuem os estados mais populosos, como o Estado de São Paulo (VARELLA NETO, 2008).

Segundo Rebouças, Braga e Tundisi (2015), a disponibilidade e a distribuição geográfica das águas subterrâneas também são irregulares. As regiões mais abundantes em reservas subterrâneas são as regiões sul, sudeste, centro oeste e norte enquanto que a região do semiárido nordestino é pobre em recursos hídricos subterrâneos (ALBUQUERQUE FILHO et al, 2011).

3.3 ÁGUA SUBTERRÂNEA

A água subterrânea, segundo Feitosa et al. (2008), é aquela que ocorre abaixo do nível de saturação ou nível freático, presente nas formações geológicas aflorantes e parcialmente saturadas, e nas formações geológicas profundas totalmente saturadas. O estudo da água subterrânea, além de tratar do fluxo em formações saturadas, inclui o movimento da água em meios não saturados nos quais a distribuição de umidade desempenha papel importante no ciclo hidrológico e em muitos processos geológicos.

A figura 2 apresenta a zona saturada e a zona não saturada.

Figura 2 – Caracterização esquemática das zonas não saturadas e saturadas no subsolo.



Fonte: Boscardin Borghetti et al, 2004

No processo de infiltração das águas da chuva no solo, uma parcela da água sob ação das forças de adesão ou de capilaridade fica retida nas regiões mais próximas da superfície do solo formando a zona não saturada e a outra parcela sob ação da gravidade, atinge as zonas mais profundas do subsolo dando origem à zona saturada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2018).

Na zona não saturada, os interstícios do solo ou rochas são parcialmente ocupados pela água, enquanto o ar preenche os demais espaços livres e na zona

saturada a água ocupa todos os vazios e se encontra sob pressão hidrostática (ECKHARDT.et al, 2009).

De acordo com Hu et al. (2017), as águas subterrâneas, em contraste com as águas superficiais, possuem a vantagem de armazenar um grande volume de água, geralmente mais limpa do que a água superficial, devido à filtragem natural provocada pela percolação da água.

As águas subterrâneas não são quaisquer águas naturais situadas abaixo da superfície do solo, mas as águas encontradas nas rochas com permeabilidade suficiente para permitir a sua movimentação e as formações geológicas capazes de armazenar e transmitir quantidades significativas de água subterrânea são designadas aquíferos (VON SPERLING, 2006; OLIVEIRA, 2012).

3.4 AQUÍFEROS

Do ponto de vista etimológico, aquífero significa: aqui = água; fero= transfere; ou, do grego: suporte de água. Cientificamente, aquífero é uma formação geológica do subsolo constituída por rochas permeáveis que armazena água em seus poros ou fissuras (BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA, 2004).

Os aquíferos, além das propriedades de armazenar água também transmitem em quantidades significativas (GIAMPÁ; GONÇALES, 2015).

Segundo Iritani e Ezaki (2012), além dessas formações geológicas existem outros tipos de formação. São elas: aquícludes, aquítardes e os aquífugos.

Os Aquícludes podem armazenar, mas são incapazes de transmitir água em condições naturais; os aquítardes possuem capacidade de armazenamento, porém possui baixa capacidade de transmiti-la; os aquífugos são rochas impermeáveis que nem armazenam nem transmitem água (IRITANI; EZAKI, 2012).

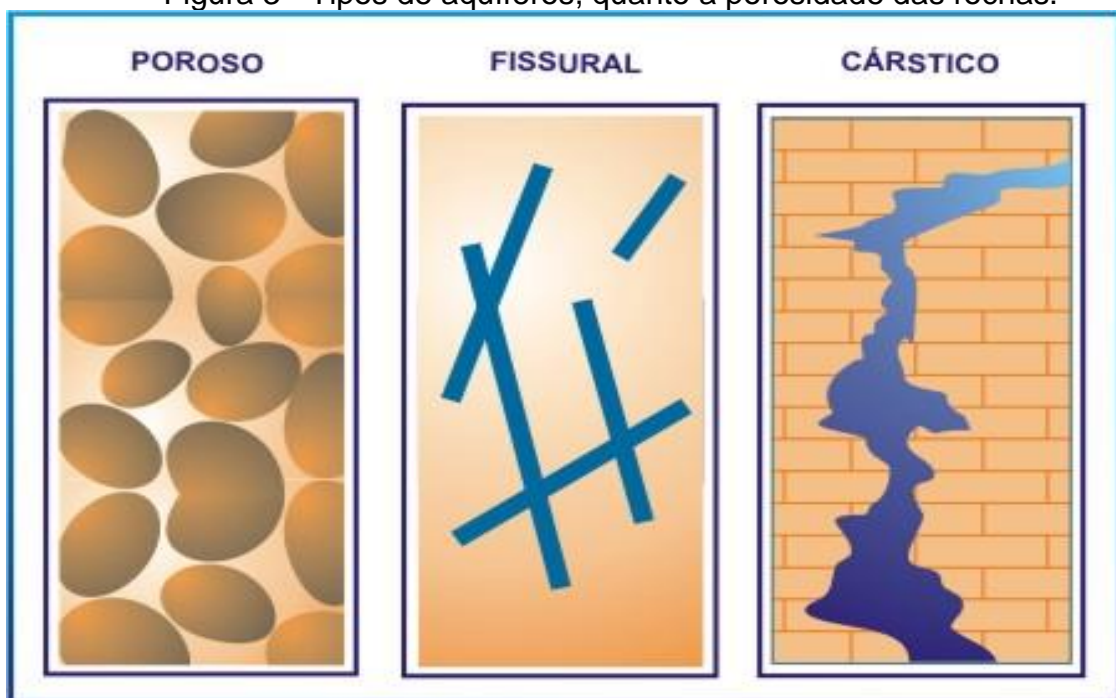
Os aquíferos são de variados tamanhos, ou seja, podem ter extensão de Km² a milhares de Km², e apresentar espessuras de poucos metros, e sua capacidade de armazenar e transmitir água está relacionada a sua porosidade e a permeabilidade dos grãos existentes nas rochas (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2015).

3.4.1 Classificação dos aquíferos quanto à porosidade da rocha

Os aquíferos podem ser classificados quanto ao tipo de porosidade da rocha armazenadora em poroso ou granular, fraturado ou fissural e cárstico. O aquífero granular é composto por rochas sedimentares e a água é armazenada entre os poros existentes entre os grãos minerais, enquanto o aquífero fissural é formado por rochas maciças e compactas cuja porosidade se deve à presença de fendas originadas da ruptura da rocha. As rochas carbonáticas compõem os aquíferos cársticos onde a água flui tanto por fendas como por condutos e canais formados pela dissolução lenta no interior das fendas (IRITANI; EZAKI, 2012).

Segundo Giampá e Gonçalves, (2015) no Estado de São Paulo os principais aquíferos porosos são: Sistema Aquífero Guarani; Sistema Aquífero Bauru; os aquíferos fraturados ocorrem em rochas Basálticas na Bacia do Paraná, Migmatitos e Gnaisses no entorno da Região Metropolitana de São Paulo; os cársticos estão nas regiões com grutas calcárias no Vale do Ribeira e pequenas áreas na Região Metropolitana de São Paulo (Cajamar e Pirapora do Bom Jesus). A figura 3 apresenta os tipos de aquíferos, quanto à porosidade das rochas.

Figura 3 - Tipos de aquíferos, quanto a porosidade das rochas.



Fonte: Boscardin Borghetti; Borghetti; da Rosa Filho (2004)

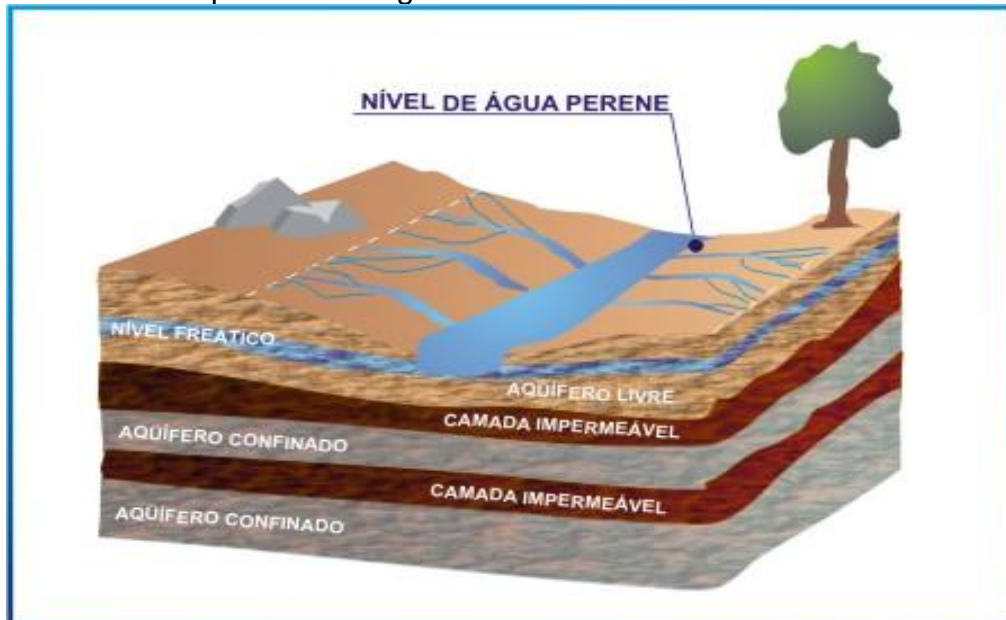
3.4.2 Classificação dos aquíferos quanto às características hidráulicas

De acordo com o armazenamento e a pressão da água, os aquíferos podem ser classificados em: aquífero livre ou freático e aquífero confinado ou artesianos, conforme apresentado na figura 4.

O aquífero livre ou freático é uma formação geológica permeável e superficial parcialmente saturada de água e sua base é formada por uma camada impermeável ou semi-impermeável, apresentando uma superfície livre de água sob a pressão atmosférica chamada de superfície piezométrica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2018)

Nos aquíferos livres o nível da água varia de acordo com a quantidade de chuva, sendo os mais utilizados geralmente pela população. Já o aquífero confinado ou artesianos ocorre quando a água subterrânea está confinada sob uma pressão maior em relação a pressão atmosférica, devido a uma camada impermeável acima do aquífero (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2018).

Figura 4 - Classificação dos Aquíferos de acordo com o armazenamento e a pressão da água



Fonte: Boscardin Borghetti; Borghetti; da Rosa Filho (2004).

3.4.3 Área de recarga e descarga dos aquíferos

Recarga subterrânea é usualmente considerada como um processo de movimento de água que atinge a zona saturada sob forças gravitacionais, ou em uma direção específica por condicionamento hidráulico. De forma geral, recarga subterrânea é considerada como a quantidade de água que contribui para aumentar a reserva subterrânea permanente ou temporária de um aquífero e, no caso da reserva temporária, é considerada como reserva reguladora ou renovável, que pode ser considerada como reserva explotável (VASCONCELOS, 2005)

A recarga de água subterrânea pode ocorrer naturalmente de precipitação, rios, canais e lagos, e como um fenômeno induzido pelo homem através de atividades de irrigação e urbanização. O volume de água adicionado ao aquífero, por percolação vertical diretamente da precipitação através da zona não saturada é designado como recarga direta. O volume de água que percola até o aquífero advindo das demais fontes acima mencionadas recebe a designação de recarga indireta (VASCONCELOS, 2005). As áreas de descarga são locais onde a água sai do aquífero, podendo, normalmente, voltar á superfície do terreno, em forma de nascente ou escoamento básico, alimentando os córregos, rios e lagos. (IRITANI; EZAKI, 2012). A figura 5 apresenta a área de recarga e descarga.

Figura 5 - Área de recarga e descarga dos aquíferos.



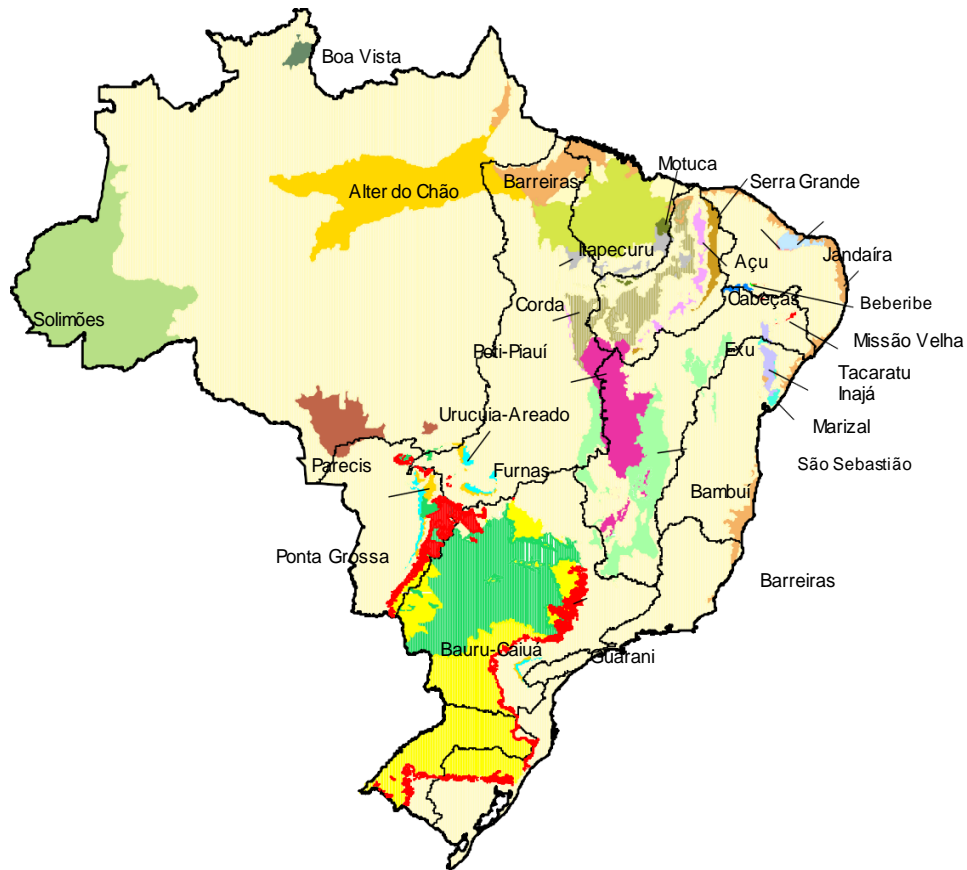
Fonte: http://www.sanasa.com.br/noticias/not_con3.asp?par_nrod=558&flag=CS-2

3.5 DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL

Os aquíferos sedimentares ocupam aproximadamente 48% do território brasileiro e os 52% restantes contêm os aquíferos fraturados e cársticos. Entre os 27 principais sistemas aquíferos existentes no Brasil, 24 são do tipo sedimentar, dois do tipo cárstico e um do tipo fraturado. Os sistemas que apresentam maior extensão Aquíferos Solimões e Alter Chão, estão localizados nas regiões norte; no sul e sudeste estão os Sistemas Aquífero Serra Geral, Sistema Aquífero Bauru e Sistema Aquífero Guarani. Dois sistemas relativamente extensos, Bambuí e Uruçuia-Areado estão localizados em terrenos das regiões nordeste, centro-oeste e sudeste, sendo que o Bambuí ainda atinge uma área da região norte. A região nordeste apresenta diversos sistemas de pequena extensão e pelo menos dois sistemas maiores o Itapecuru e o Poti-Piauí que se estendem também para a região norte. O sistema designado Barreiras tem ampla distribuição na costa brasileira, aflorando de forma descontínua desde a região Norte até o Sudeste (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2007).

A figura 6 apresenta os principais Sistemas Aquíferos do Brasil.

Figura 6 - Principais sistemas aquíferos do Brasil



Fonte: Agência Nacional de Águas (2005).

3.6 DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Segundo Iritani e Ezaki (2012), no Estado de São Paulo, os aquíferos estão reunidos em dois grandes grupos: os Aquíferos porosos ou granulares e os fissurais ou fraturados

Entre os aquíferos do tipo poroso ou granular se destacam os designados Sistema Aquífero Guarani, Sistema aquífero Bauru, enquanto o Sistema aquífero Serra Geral e Aquífero Cristalino são os principais do tipo fissural ou fraturado. (IRITANI; EZAKI, 2012).

O Aquífero Guarani está inserido na Bacia Geológica Sedimentar do Paraná, estendendo-se até a do Chaco-Paraná, abrangendo: Argentina (com 18,9% de sua área), Brasil (com 70,2% de sua área), Paraguai (com 6% de sua área) e Uruguai

(com 4,9% de sua área), em uma área aproximada de 1,2 milhão de km². Todo esse volume de água de boa qualidade pode ser utilizado para diversos fins, principalmente para consumo humano, considerados usos prioritários (BRASIL, 2018).

O SAB ocupa a metade oeste do estado de São Paulo numa área de cerca de 96.900 km². O SASG ocupa a metade oeste do território paulista, sendo recoberto em grande extensão pelo SAB, enquanto o Cristalino ocupa a porção leste (IRITANI; EZAKI, 2012).

3.7 FORMAS DE CAPTAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A captação de água subterrânea é mais comumente realizada através de poços escavados ou tubulares.

Segundo Vasconcelos (2014) poço é um sistema geralmente vertical, feito pelo homem, que tem ação em sub-superfície, usado para a captação, recarga ou observação das águas subterrâneas através de mecanismos artificiais ou naturais.

Os poços podem ser divididos em dois grupos: poços escavados e poços tubulares, que por sua vez possuem subdivisões segundo o modo de construção, diâmetro, revestimento e pressões hidráulicas atuantes. Os poços escavados são caracterizados por possuírem, geralmente, um diâmetro superior a 0,5 m, com profundidades bastante variadas de um metro a dezenas de metros, dependendo diretamente da litificação da formação geológica.

Ainda segundo Vasconcelos (2014), esses poços escavados podem ser divididos em três classes mais específicas:

- Cacimba: poço com diâmetro superior a 0,5 m e que não possui revestimento em sua parede. Nas regiões onde ocorre escassez de água, é comum existir um tipo especial de cacimbas que possui um diâmetro menor do 0,5 m com profundidades não superiores a 0,5 m, chamadas de “cacimbas temporárias”.
- Cacimbão: poço com diâmetro superior a 1 m e inferior a 5 m, e que possui um revestimento parcial ou total em sua parede.

-Amazonas: poço com diâmetro superior a 5 m e que possui revestimento parcial ou total em sua parede.

Os poços tubulares possuem um revestimento tubular, que geralmente pode ser de policloreto de vinila (PVC), PVC geomecânico ou aço (SIMABUKURO, 2000).

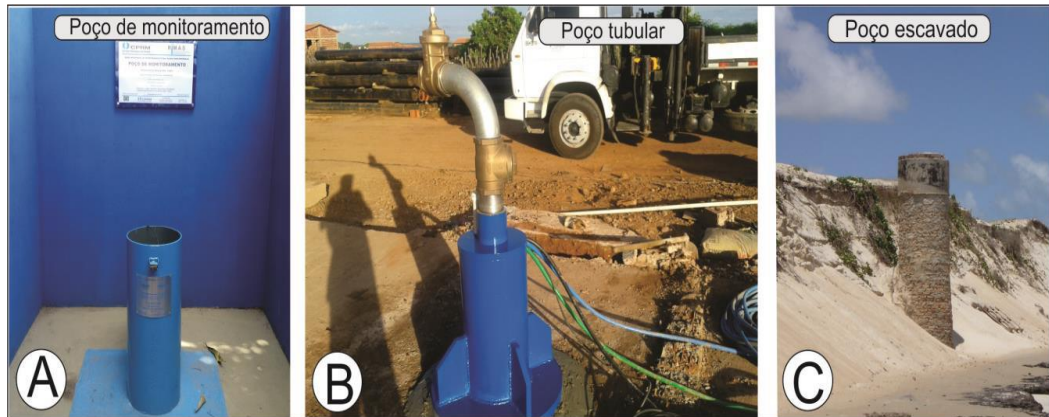
Segundo Vasconcelos (2017), o revestimento não é necessariamente total, podendo ser parcial. Os diâmetros são geralmente inferiores a 1 metro, podendo em alguns casos apresentar uma redução do diâmetro à medida que aumenta a profundidade da perfuração. O diâmetro é comumente expresso em polegadas variando de 2 a 18", sendo mais comuns os de 6 e 8 polegadas. São divididos em dois grupos quanto à posição da carga hidráulica do aquífero:

- Freático: poço que capta água de aquíferos livres.
- Artesiano: poço que capta água de aquíferos confinados, podendo ser dividido em dois outros tipos segundo o nível potenciométrico em relação à superfície topográfica:
 - Artesiano não jorrante: poço que capta água de aquíferos confinados em que a superfície potenciométrica (carga hidráulica) encontra-se abaixo da superfície topográfica.
 - Artesiano jorrante: poço que capta água de aquíferos confinados em que a superfície potenciométrica encontra-se acima da superfície topográfica. Dessa forma, a água chega naturalmente à superfície do terreno sem a necessidade de bombeamento.

A estimativa do número de poços artesianos por todo o Brasil é muito vaga, não sendo encontrado na literatura nenhum consenso a esse respeito. É estimado que o país apresenta cerca de 100 mil estruturas sendo que 8 mil estão localizadas no estado de São Paulo. O controle insignificante do número de poços, aliado à falta de fiscalização das autoridades competentes, corrobora para que desse total de poços do Brasil, aproximadamente 85% sejam originados de forma clandestina. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2018).

A figura 7 apresenta alguns exemplos de poços para a captação de águas subterrâneas.

Figura 7 - captação de águas subterrâneas



Fonte: Vasconcelos (2014).

O fornecimento de água às populações no Brasil pode ser realizado por dois diferentes tipos de instalações.

Estes tipos de instalações foram definidos e diferenciados pela primeira vez pela Portaria nº 1469, de 29 de dezembro de 2000, como sistema de abastecimento de água para consumo humano e sistema de solução alternativa coletiva (BRASIL, 2001).

3.7.1 Sistema de abastecimento de água para consumo humano

Sistema de abastecimento de água para consumo humano é a instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição; sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão (BRASIL, 2011).

Os sistemas de abastecimento de água apresentam uma variedade de possíveis combinações de unidades que se integram com o propósito de atender à população por meio de água encanada. Não existe arranjo único que possa caracterizar um sistema de abastecimento de água, no entanto, a maioria deles consta dos seguintes componentes: manancial, captação, adução, tratamento, armazenamento, distribuição e, eventualmente, estações elevatórias e ligações

prediais (BRASIL, 2007). A figura 8 apresenta um sistema de abastecimento de água.

Figura 8– Sistema de abastecimento de água (ciclo completo)



Fonte: Brasil (2007).

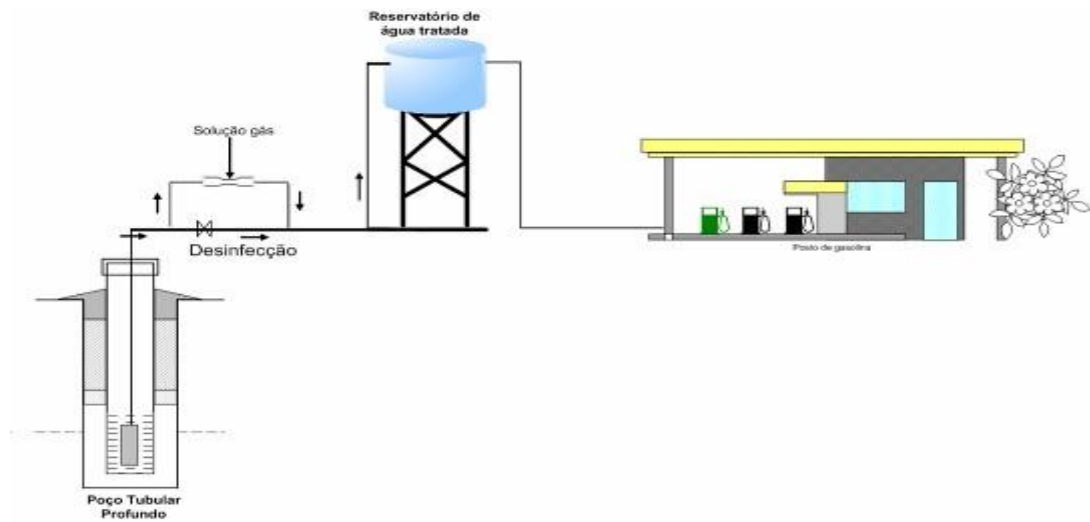
3.7.2 Soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano

A Portaria nº 2.914 DE 12/12/2011 do Ministério da Saúde define no seu capítulo II, artigo 5º, inciso VII, solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano como sendo a modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, com captação subterrânea ou superficial, com ou sem canalização e sem rede de distribuição (Brasil 2011).

Estes sistemas de soluções alternativas se referem a poços que abastecem mais de uma família, que estão instalados em hotéis, conjunto habitacional, condomínios, hospitais, postos de saúde, postos de combustíveis, indústrias, escolas, e poços comunitários localizados em áreas rurais entre outros.

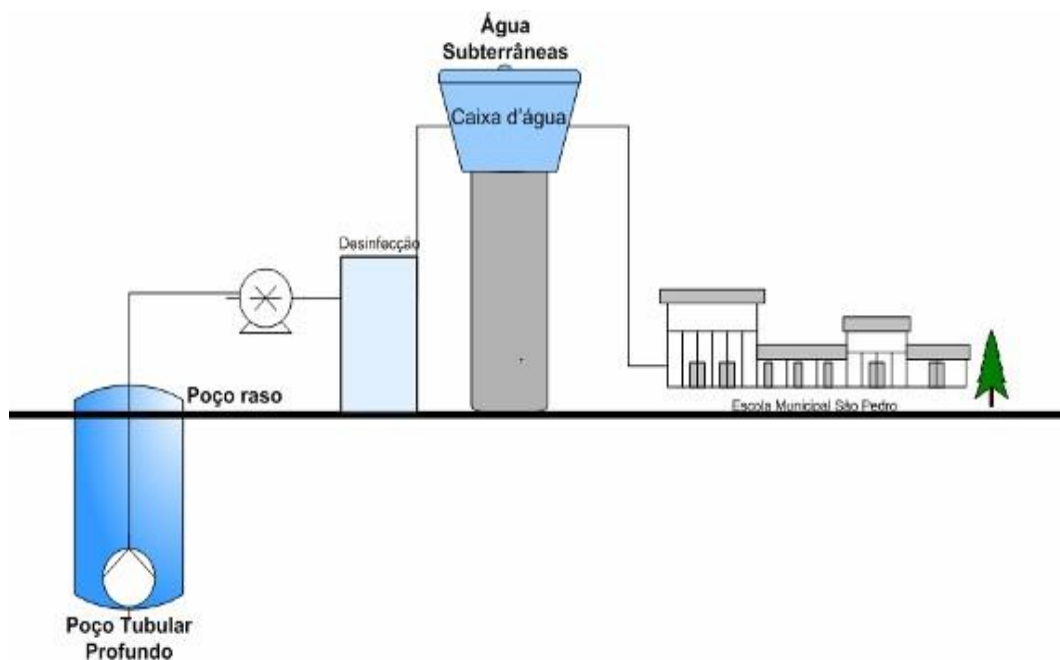
Essas soluções alternativas coletivas provenientes de mananciais subterrâneos sem rede de distribuição podem fornecer água de diversas formas para população. As figuras 9, 10 e 11 ilustram algumas formas de solução alternativa coletiva sem rede de distribuição.

Figura 9 – Solução alternativa coletiva sem rede de distribuição – Posto de gasolina com abastecimento próprio



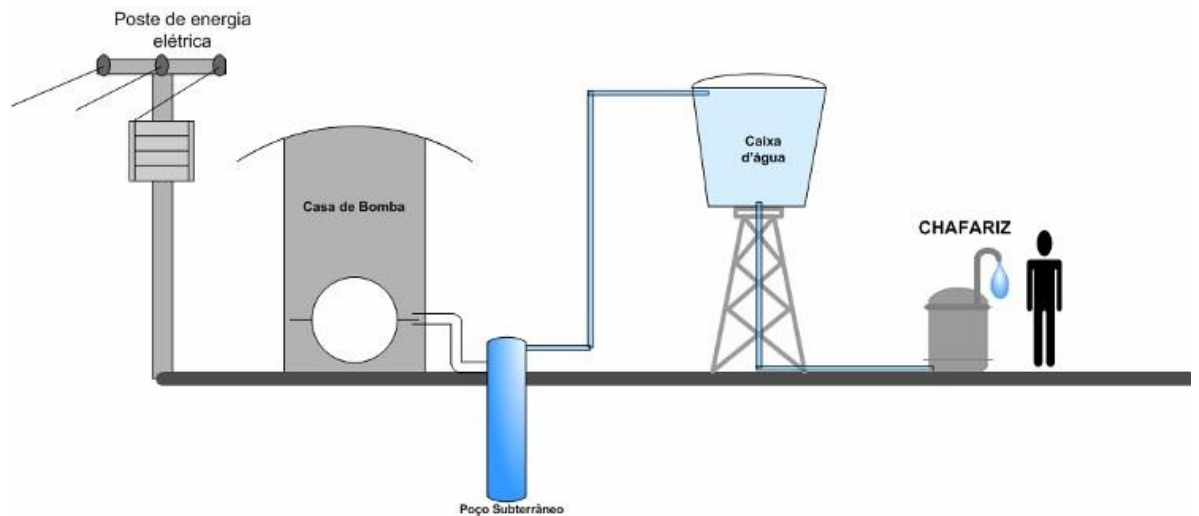
Fonte: Brasil (2007).

Figura-10 – Solução alternativa coletiva sem rede – Escola Municipal com abastecimento próprio



Fonte: Brasil (2007).

Figura 11 - Solução alternativa coletiva sem rede – Chafariz



Fonte: Brasil (2007).

3.8 QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO

A qualidade da água se tornou uma questão de interesse para a saúde pública no final do século XIX e início do século XX. Anteriormente a qualidade era associada apenas a aspectos estéticos e sensoriais, tais como a cor, o gosto e o odor. Métodos para melhorar o aspecto estético e sensorial da água já foram encontrados há 4.000 anos a.C. em documentos escritos em sânscritos. Na Grécia antiga utilizavam-se técnicas como a filtração, a exposição ao sol e a fervura para melhorar a qualidade da água (FREITAS; FREITAS, 2005).

Uma infraestrutura de saneamento básico adequada leva a um menor gasto com saúde pública. Entretanto, existem inúmeras regiões que ainda não possuem sistemas adequados de abastecimento de água, esgotos sanitários e coleta de resíduos sólidos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2012)

Segundo dados da Organização Mundial de Saúde (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2012), mais de 780 milhões de pessoas não têm acesso a fontes melhoradas de água potável e destas, 2,5 bilhões não têm saneamento básico. No Brasil pouco mais de 20% da população desfruta de acesso de água de boa qualidade e de saneamento básico desde 2005 (LAUTHARTTE et al., 2016).

A disponibilidade hídrica subterrânea e a produtividade dos poços são geralmente os principais fatores determinantes na exploração dos aquíferos.

Em função do crescimento descontrolado da perfuração de poços tubulares e das atividades antrópicas, que acabam contaminando os aquíferos, a questão da qualidade da água subterrânea vem se tornando cada vez mais importante para o gerenciamento do recurso hídrico no país (ZOBY, 2008).

Apesar da relevância da água subterrânea para o desenvolvimento socioeconômico, o Brasil ainda apresenta uma deficiência no conhecimento do potencial hídrico de seus aquíferos, do estágio de exploração e da qualidade das suas águas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2007).

No Brasil a questão da qualidade das águas ganhou evidência com a aprovação da Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, tendo como um dos fundamentos gerir esses recursos, proporcionando uso múltiplo, em consonância com objetivos que assegurem à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Isso demonstra a preocupação com a integração da gestão quanto aos aspectos de qualidade e quantidade, destacando-se, também, como uma das ações principais a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental (BRASIL, 1997).

O aperfeiçoamento nos serviços públicos de abastecimento de água reflete na melhoria da saúde da população.

Várias pesquisas sobre a qualidade das águas subterrâneas vêm sendo desenvolvidas no Brasil e em diversos países. Os principais grupos de autores e regiões de pesquisa estão localizados nos Estados Unidos, Europa Ocidental, Sul da Ásia, Ásia Oriental e Austrália Oriental, sendo os Estados Unidos o país com maior contribuição para a pesquisa global sobre águas subterrâneas (NIU et al., 2014).

Nos países em desenvolvimento a qualidade química das águas subterrâneas utilizadas para consumo humano é um problema de saúde pública, porém negligenciado. Em países da África, as águas subterrâneas muitas vezes são a principal fonte de água para o consumo das populações pobres de áreas rurais. Entretanto, a consideração de água potável não deve ser automaticamente

assumida, uma vez que essas águas podem não ser totalmente “seguras” para o consumo humano (GRIMASON et al., 2013).

Na Índia, Krishan et al. (2016) realizaram um estudo para avaliar a qualidade das águas subterrâneas para fins de consumo e para determinar o índice de qualidade da água dos distritos de Muzaffarnagar e Shamli, Uttar Pradesh.

Outro estudo realizado na Arábia Saudita mostra a importância do monitoramento de águas subterrâneas em ambientes áridos devido ao rápido crescimento populacional, a expansão da agricultura irrigada e usos industriais e apresenta resultados das características químicas dessas águas (TOUMI et al., 2015).

A qualidade das águas subterrâneas também tem sido avaliada em países da Europa como Itália, Portugal entre outros. Cruz et al. (2015) avaliaram a qualidade as águas subterrâneas no arquipélago dos Açores e consideram o monitoramento dessas águas de grande importância para a definição de políticas da água, uma vez que cerca de 98% do abastecimento dessa localidade é realizado por águas subterrâneas.

No Brasil, Costa et al. (2012) realizaram a avaliação da qualidade das águas subterrâneas em poços do estado do Ceará; Medeiros e Dourado (2010) realizaram análise da potabilidade da água subterrânea da bacia do ribeirão São João, municípios de Palmas, Porto Nacional e Monte do Carmo, Tocantins; Tavares et al (2017) fizeram a avaliação físico-química e microbiológica de águas procedentes de soluções alternativas de abastecimento na região metropolitana da Baixada Santista, Estado de São Paulo.

Para a Caracterização hidrogeoquímica do aquífero Adamantina, Canato et al. (2014) realizaram a avaliação da qualidade de água subterrânea na área urbana do município de Bauru-SP e um estudo para a caracterização das águas subterrâneas do aquífero Jandaíra em subsídio ao programa água doce no Rio Grande do Norte foi realizado por Marcon et al (2014).

No Brasil, esforços governamentais têm sido despendidos para assegurar qualidade das águas, tais como o enquadramento de corpos hídricos em classes de qualidade de acordo com seus usos preponderantes e concomitante definição de padrões de qualidade (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2007).

O uso da água subterrânea para abastecimento público tende a aumentar no Estado de São Paulo e, portanto, cabe ao poder público exercer o controle para permitir equilíbrio entre a oferta e a demanda por água. O órgão gestor dos recursos hídricos é o Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, que concede outorga de direito de uso das águas aos usuários, observando a disponibilidade hídrica, a qualidade da água e a prioridade dos tipos de usos, de modo articulado com a CETESB e a Vigilância Sanitária da Secretaria da Saúde (GIAMPÁ; GONÇALES, 2015).

A água distribuída à população por sistemas ou soluções alternativas coletivas ou individuais de abastecimento está sujeita à vigilância da qualidade, ou seja, ao conjunto de ações adotadas pela autoridade de saúde pública para avaliar se a água consumida pela população apresenta risco à saúde humana (BRASIL, 2011).

3.8.1 Impactos sobre a qualidade das águas subterrâneas para consumo humano

Os aquíferos, por sua natureza, são naturalmente mais protegidos quanto à contaminação do que as águas superficiais. Quando se observam anomalias provocadas por atividades antrópicas, muitas vezes o dano ambiental pode ser de grande proporção e com elevados custos econômicos e sociais para sua recuperação (GIAMPÁ; GONÇALES, 2015).

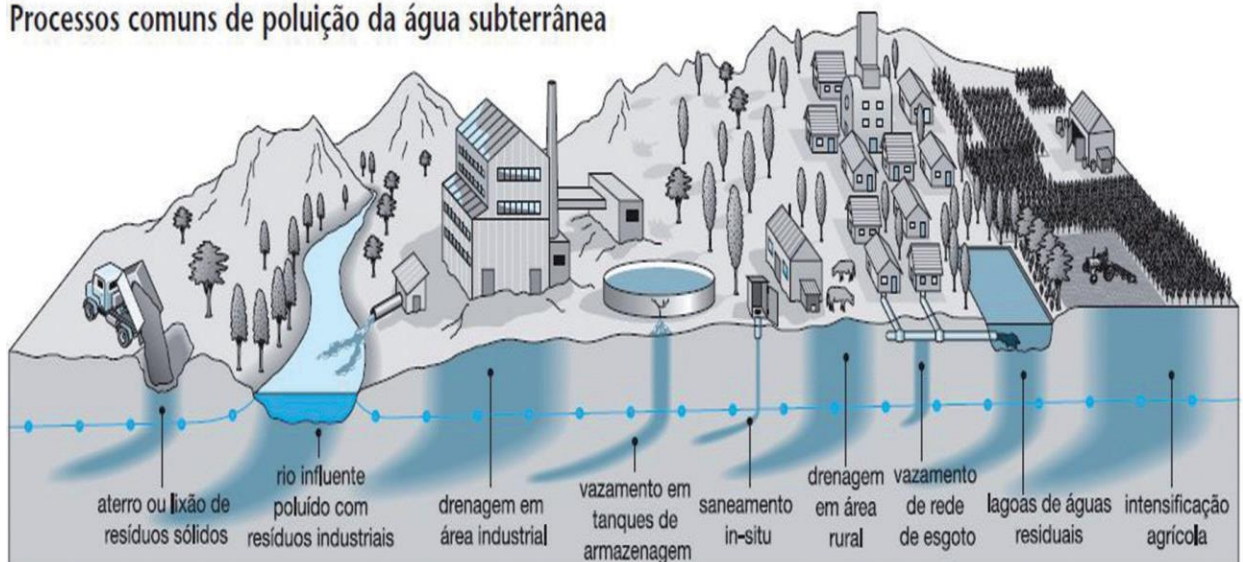
A figura 12 apresenta as fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas.

A maior parte da água subterrânea se origina a partir do excesso de chuva que se infiltra diretamente ou indiretamente na superfície do solo. Como consequência, as atividades que se desenvolvem na superfície podem ameaçar a qualidade da água subterrânea (FOSTER et al., 2006).

A poluição dos aquíferos ocorre quando a carga contaminante gerada no subsolo por emissões e lixiviados produzidos pelas atividades antrópicas (urbanas, industriais, agrícolas e de mineração) são inadequadamente controladas e, em certos componentes, excede a capacidade de atenuação natural dos solos e das camadas de cobertura (FOSTER et al., 2006).

Figura 12 - Fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas

Processos comuns de poluição da água subterrânea



Fonte: Foster et al (2006).

As principais fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas são: os lixões; aterros mal operados; vazamentos de substâncias tóxicas; atividades inadequadas de armazenagem, manuseio e descarte de matérias primas, produtos, efluentes e resíduos de atividades industriais, como indústrias químicas, petroquímicas, metalúrgicas, eletroeletrônicas, alimentícias, galvanoplastias, curtume, etc.; atividades de mineração; sistemas de saneamento “in situ”; vazamento das redes coletoras de esgoto; o uso incorreto de agrotóxicos e fertilizantes; bem como a irrigação que pode provocar problemas de salinização ou aumentar a lixiviação de contaminantes para a água subterrânea; e outras fontes dispersas de poluição (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2018).

3.9 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Os impactos ambientais causados na qualidade das águas subterrâneas para consumo humano têm levado os órgãos públicos ambientais e de saúde pública buscar ferramentas como os programas de monitoramento da qualidade das águas, com objetivo de tomar medidas corretivas e mitigadoras.

A avaliação e o monitoramento das águas para consumo humano são extremamente importantes para o controle de substâncias que podem alterar a qualidade dessas águas. Assim, os dados de monitoramento de qualidade das águas se constituem como indispensáveis para correta tomada de decisões na gestão do meio ambiente e na saúde pública.

O monitoramento da qualidade da água para consumo humano é o instrumento utilizado para verificar se a água está de acordo com o padrão de potabilidade estabelecido pela legislação vigente e também visa avaliar a qualidade da água consumida pela população ao longo do tempo, bem como a eficiência do tratamento e a integridade do sistema de distribuição. Para realizar o monitoramento da qualidade da água para consumo humano devem ser coletadas amostras para análises dos parâmetros definidos na Portaria do ministério da saúde, que define padrões de potabilidade (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012)

O Brasil não possui uma rede de monitoramento nacional de qualidade das águas subterrâneas de forma efetiva. As águas subterrâneas, segundo a Constituição Federal, são de domínio do Estado e, portanto, a implantação de redes de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas tem partido de algumas unidades da federação (ZOBY, 2008).

3.9.1 Monitoramento da Cetesb

O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo é uma exigência legal atribuída à CETESB desde os anos 1970, e uma rede estadual de monitoramento da qualidade de água de poços utilizados para abastecimento público começou a ser implantada nos anos 90 (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2016).

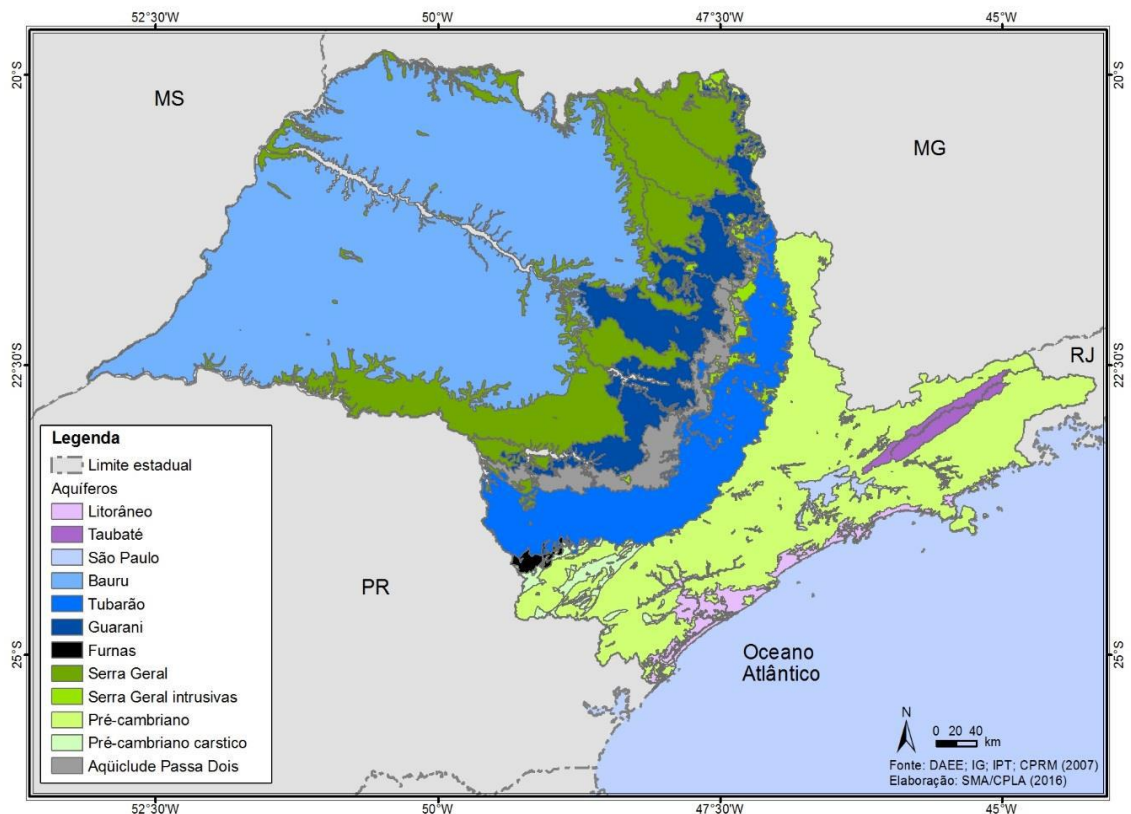
A CETESB realiza o monitoramento nos Aquíferos Pré-Cambriano, Taubaté, São Paulo, Serra Geral, Tubarão, Guarani e Bauru e no ano de 2015 iniciou a avaliação da qualidade das águas do Aquífero Passa Dois, com a inclusão de dois novos poços (SÃO PAULO, 2016).

Para a caracterização e avaliação da qualidade da água subterrânea bruta no período de 2013 a 2015 foram analisados 40 parâmetros entre estes

microbiológicos e físico-químicos de 282 poços tubulares e nascentes correspondentes a sete aquíferos localizados em diferentes municípios do território paulista (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2016).

Esse monitoramento das águas subterrâneas tem identificado problemas regionais que requerem atenção dos órgãos gestores de meio ambiente, recursos hídricos e saúde, assim como de concessionárias e de consumidores de água (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2016). A figura 13 mostra as unidades aquíferas monitoradas no estado de São Paulo.

Figura 13 - Unidades aquíferas monitoradas no estado de São Paulo



Fonte: DAEE, IG, IPT e CPRM (2007); elaborado por SMA/CPLA (2016).

3.9.2 Indicador de potabilidade das águas subterrâneas

Para avaliar a qualidade das águas subterrâneas brutas no estado de São Paulo, a CETESB utiliza o indicador de potabilidade das águas subterrâneas – IPAS. O IPAS é calculado anualmente por Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos e por Aquífero no Estado de São Paulo, a partir dos resultados encontrados

na rede estadual de monitoramento da qualidade de água de poços utilizados para abastecimento público (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2016).

O indicador IPAS é obtido por meio do cálculo do percentual das amostras de águas subterrâneas em conformidade com os padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria do Ministério da Saúde e é dividido em três classes que indicam a qualidade das águas subterrâneas: Ruim (0 – 33%), Regular (33,1 – 67%) e Boa (67,1 – 100%) (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2016).

No estado de São Paulo, o IPAS vem apresentando certa estabilidade ao longo do período de 2007 a 2015, indicando uma qualidade boa das águas subterrâneas, de poços de sistemas de abastecimento público (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2016).

3.9.3 Monitoramento do Proágua

No Estado de São Paulo, outro monitoramento que avalia a qualidade das águas para consumo humano é realizado pelo Programa de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (PROAGUA). Esse programa teve início no ano de 1992, por meio da Resolução Estadual SS 45 e é considerado um programa pioneiro no país por estabelecer um conjunto de ações sistemáticas de vigilância sanitária da qualidade da água, hoje implementado em todos os municípios do Estado (VALENTIM et al, 2012).

A qualidade da água para o consumo humana monitorada pelo PROÁGUA é realizada por meio de coletas de amostras mensais pelas vigilâncias sanitárias municipais e estabelece análises microbiológicas: pesquisa de coliformes totais e *Escherichia coli* e análises físico-químicas: pH e cloro residual livre no ato da coleta, cor aparente, turbidez e fluoreto.

O PROÁGUA tem por objetivo principal a promoção e proteção da saúde da população por meio da garantia da potabilidade da água destinada ao consumo humano no Estado de São Paulo e desenvolve ações, identificando e intervindo em situações de risco à saúde dos consumidores (CENTRO DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2018).

O Proágua tem por referências legais básicas a Portaria de consolidação nº 5 de 28/09/2017 e a Resolução SS-65/2005, que estabelecem nos níveis federal e estadual, respectivamente, os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (CENTRO DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2018).

3.10 PADRÕES DE POTABILIDADE PARA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE CONSUMO HUMANO

As características químicas das águas subterrâneas refletem os meios por onde percolam, guardando uma estreita relação com os tipos de rochas que as armazenam. A qualidade da água subterrânea, portanto, é decorrente de processos físicos, químicos e biológicos que determinam uma grande variedade de substâncias presentes na água, decorrentes principalmente dos tipos litológicos. A atividade antropogênica, que origina principalmente cargas poluidoras pontuais domésticas e industriais e cargas difusas de origem urbana e rural, também pode influenciar na qualidade das águas subterrâneas (SÃO PAULO, 2016)

Diversos parâmetros podem ser utilizados para avaliar a potabilidade da água conforme estabelecido na legislação do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

Nessa legislação toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água.

O padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano é definido com base nas quantidades máximas permitidas de diversos parâmetros microbiológicos, químicos, físicos e de radioatividade, devendo ser devidamente controlado pelo gestor do sistema ou solução alternativa de abastecimento coletivo de água.

Esse controle da qualidade das águas é realizado por meio de análises laboratoriais. Entre diversos parâmetros estão as análises microbiológicas: coliformes totais e *Escherichia coli* e físico-químicas: cor aparente, turbidez, dureza total, amônia, nitrito, nitrato, ferro, cloreto, sólidos totais dissolvidos, fluoreto e além desses o pH e cloro residual livre que são determinados no ato da coleta.

Para ser considerada potável, ou seja, própria para consumo humano e não oferecer risco a saúde da população, os padrões de potabilidade devem atender a legislação do Ministério da Saúde, que define os valores máximos permitidos.

A qualidade microbiológica da água é avaliada pela pesquisa de bactérias indicadoras de contaminação fecal e a bactéria do grupo coliforme designada *E. coli* que é considerada o indicador mais específico por ser de origem exclusivamente fecal (BRASIL, 2008). Outros membros do grupo coliforme ocorrem naturalmente no meio ambiente e sua utilização é limitada praticamente à avaliação de água submetida a tratamento de desinfecção, na qual a presença de coliformes totais pode indicar falhas durante ou contaminação após o tratamento. O cloro e seus compostos são os agentes químicos mais frequentemente utilizados para a desinfecção de água destinada ao consumo humano (BRASIL, 2006).

Os principais parâmetros físicos que são pesquisados para a avaliação da qualidade da água para consumo humano são a cor aparente e a turbidez. A cor aparente é produzida por substâncias de origem orgânica ou inorgânica, dissolvidas e também em suspensão, sendo um parâmetro essencialmente de natureza estética de aceitação para consumo humano. A turbidez é uma característica da água resultante da presença de material em suspensão e é um parâmetro com funções estéticas e sanitárias, uma vez que pode provocar rejeição ao consumo e interferência nos processos usuais de desinfecção, minimizando a ação do agente desinfetante sobre micro-organismos patogênicos (BRASIL, 2006).

Uma grande variedade de substâncias químicas pode estar dissolvida, natural ou artificialmente, na água e sua quantidade pode ser estimada pela análise do parâmetro designado “sólidos totais dissolvidos”, que também permite a avaliação da qualidade estética da água (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2011). Uma das causas de problemas estéticos, assim como acúmulos de depósitos em instalações hidráulicas, é a presença de altas concentrações dos elementos ferro e manganês, que geralmente são encontrados juntos (BRASIL, 2006; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2011). Concentrações elevadas de determinados íons, especialmente os cátions cálcio e magnésio, conferem à água uma característica denominada dureza que, dependendo da magnitude e interação de outros fatores, pode resultar em

incrustação ou corrosão em instalações hidráulicas, assim como levar ao elevado consumo de sabão para uma limpeza adequada e alteração do sabor da água (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011). Altas concentrações de cloreto na água também podem causar esta alteração, assim como efeitos tóxicos em plantas irrigadas (SILVA et al., 2011).

Entre os elementos químicos naturais que constituem risco à saúde quando presentes na água em elevadas concentrações se destacam os íons nitrato e flúor (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011). O nitrato é um dos produtos do ciclo do nitrogênio onde determinadas bactérias tem intensa participação, promovendo a oxidação do íon amônio a nitrito e deste a nitrato, assim como a redução do nitrato a gás nitrogênio (BRASIL, 2006). Concentrações elevadas de nitrato estão associadas a uma doença infantil (metahemoglobinemia) caracterizada pela dificuldade de transporte de oxigênio na corrente sanguínea (BRASIL, 2006). O flúor é encontrado na natureza principalmente em determinados minerais e a exposição a elevadas concentrações deste elemento podem causar alterações nos dentes e tecido esquelético (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011).

3.11 VALOR DE ALERTA PARA NITRATOS

Nas águas subterrâneas, é comum a ocorrência de baixos teores do íon nitrato, substância que representa o estágio final da degradação da matéria orgânica. Segundo Feitosa et al., (2008), concentrações acima de 5 mg/L-N são indicativas de contaminação antrópica e acima de 10 mg/L-N podem causar risco à saúde humana com aparecimento de doenças como a metahemoglobinemia (cianose) e o câncer gástrico.

As principais fontes antrópicas difusas fornecedoras de compostos nitrogenados são: aplicação de fertilizantes orgânicos e sintéticos nitrogenados, utilização de fossas sépticas ou negras, vazamentos das redes coletoras de esgoto e influência de rios contaminados na zona de captação de poços (VARNIER *et al.*, 2010).

A concentração acima de 5,0 mg L de nitrato nas águas subterrâneas tem sido utilizada pela CETESB como valor de alerta para definir ações preventivas e a

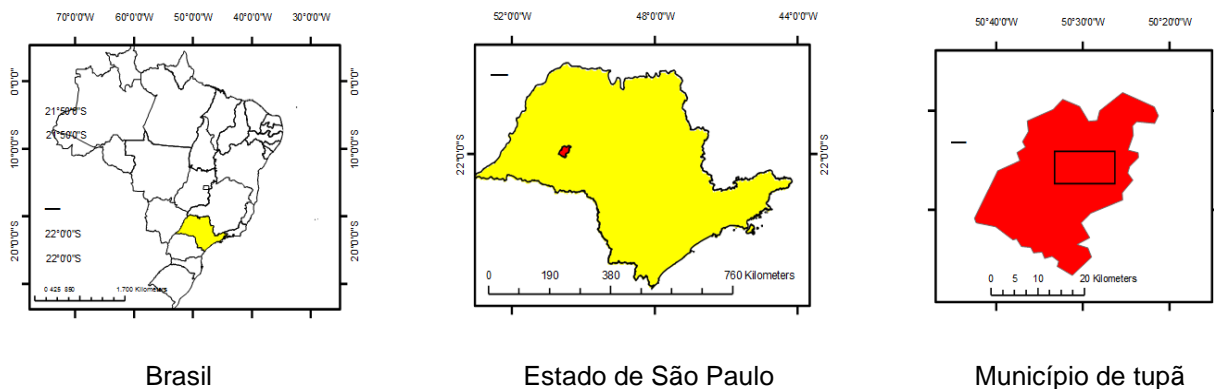
concentração acima de 10 mg/L, valor estabelecido como padrão de potabilidade pela legislação vigente, como valor orientador de intervenção para gerenciamento de áreas contaminadas.

4 METODOLOGIA

4.1 LOCALIZAÇÃO E CONSIDERAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Tupã foi fundado em 12 de outubro de 1929, por Luiz de Souza Leão, faz divisa com os municípios de Arco-Íris, Herculândia, Quintana, Quatá, Bastos, João Ramalho e Iacri. Os limites territoriais do município de Tupã abrangem os Distritos de Varpa, Universo e Parnaso (BENINI; MARTIN, 2012). A localização do município de Tupã pode ser observada na figura 14.

Figura 14 – Localização do município de Tupã



Fonte: Elaborada pelo autor

Em 2002, o município passou oficialmente a ser chamado de Estância Turística de Tupã, está situado no oeste do território paulista, possui uma área de 628 Km² e população de 63.476 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2013).

O clima da região em que está o município de Tupã é enquadrado no grupo dos climas tropicais. A média térmica anual é da ordem de 22° C, com uma oscilação, em alguns dias, de 5° a 8° C entre os meses mais frios (junho/julho) e de 27° a 30°, entre os meses mais quentes (dezembro/janeiro). Os índices pluviométricos ultrapassam os 1.500,00 mm anuais, chegando a atingir os 1.800 mm. As maiores precipitações ocorrem nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, sendo que a maior consequência causada pelas chuvas são as erosões (MONTES; MORENO; NAKAYAMA, 2012).

O relevo varia de suavemente ondulado a ondulado. Os solos do município são predominantemente arenosos provenientes da decomposição de arenitos do grupo Bauru/rochas de arenitos, siltitos e calcários. Esses solos são classificados como argissolos e possuem textura argilosa.

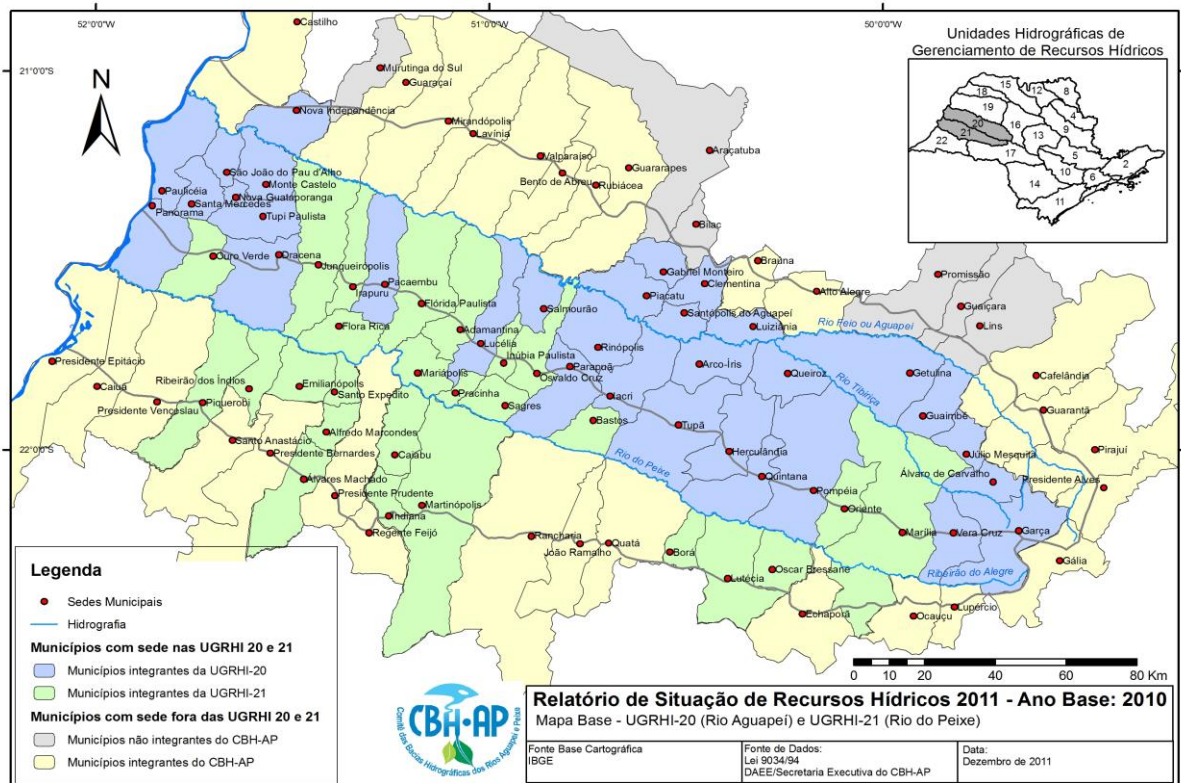
O município de Tupã vivenciou um intenso desmatamento nas décadas de 60 e 70 e com o passar dos anos inclusive as áreas de preservação permanente foram devastadas e sobraram pequenos fragmentos florestais em áreas de reserva legal e de matas ciliares e em virtude deste processo o assoreamento dos rios foi muito grande (PLANO MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 2010-2013 DO MUNICÍPIO DE TUPÃ, 2018).

O município de Tupã está localizado entre as Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe, conforme mostra a figura 15, porém pertence à Unidade de Gerenciamento do Rio Aguapeí (UGRHI 20) que possui 32 municípios.

A Bacia é formada pelo rio Feio, nasce a uma altitude de 600 metros, entre as cidades de Gália e Presidente Alves, e também pelo Rio Tibiriça, que nasce a uma altitude de 480 metros, junto à cidade de Garça e possui extensão aproximada de 420 Km até sua foz no Rio Paraná (PRANDI et al., 1998).

Na área da Bacia as águas subterrâneas são utilizadas amplamente para fins sanitários e industriais.

Figura 15 - Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe



Fonte: Relatório de Situação de Recursos Hídricos (2011).

O abastecimento de água para consumo humano de Tupã é realizado totalmente por águas subterrâneas que exploram os sistemas SAG, SAB e SASG (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2013).

O SAB ocupa aproximadamente a metade oeste do Estado de São Paulo, com área de 96.880 km² e foi dividido em duas unidades hidroestratigráficas: Bauru Médio/Superior (Grupo Bauru) e Bauru Inferior/Caiuá (Grupo Caiuá) (DAEE, 1979).

Por ser um aquífero livre, a recarga se faz em toda a sua extensão, o que aumenta o risco de poluição, a qual pode ser causada pelas atividades desenvolvidas sobre esta unidade hidrogeológica, chamando a atenção para a necessidade de um esforço conjunto do governo e da sociedade no desenvolvimento de programas e implantação de ações destinadas à sua proteção (IRITANI & EZAKI, 2012).

O SAB ocorre na área do Município de Tupã associado a quatro Unidades Geológicas ou formações geológicas, conforme mostra a figura 16 sendo elas a

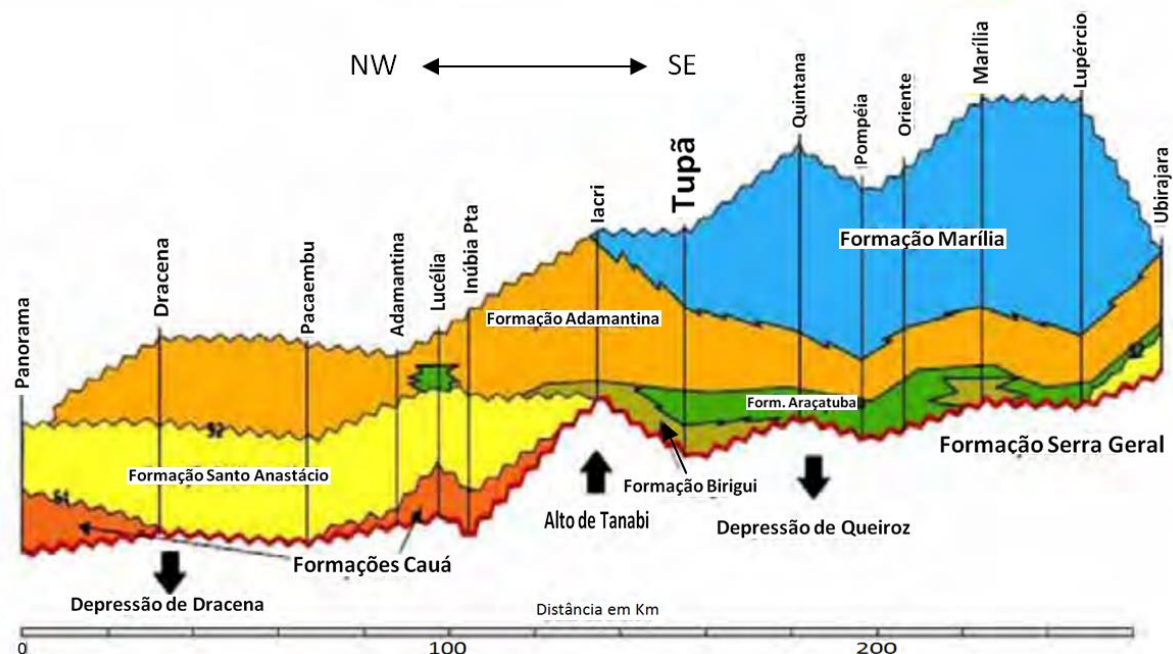
Formações Marília, Adamantina, Formação Araçatuba e Formação Birigui. Na Formação Adamantina estão os poços tubulares deste estudo.

A Formação Adamantina aflora de modo generalizado em praticamente toda a área de ocorrência do Grupo Bauru, estando recoberta apenas parcialmente pela Formação Marília (PAULA E SILVA; CHANG; CAETANO-CHANG, 2003).

A Formação Adamantina é constituída por arenitos carbonáticos, com granulometria fina e muito fina, cor rósea a castanha, com ocorrências de estratificações cruzadas, alternadas com lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, com ocorrências de seixos de argilitos e nódulos carbonáticos (SOARES et al., 1980).

A Formação Marília encontra-se sobreposta à Formação Adamantina, sendo composta por arenitos grossos e conglomeráticos, com teor de matriz rara e variável, ricos em feldspatos e minerais pesados, raramente apresenta estratificação cruzada de médio porte e camadas de lamitos vermelhos e calcários (SOARES et al., 1980).

Figura 16 – Sistema Aquífero Bauru e 4 formações Geológicas: Formação Marília, Adamantina, Formação Araçatuba e Formação Birigui.



Fonte: Paula e Silva (2003)

4.2 IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

A identificação dos poços de captação de água subterrânea deste trabalho foi fornecida pela Vigilância Sanitária do município de Tupã por meio de fichas de cadastro.

Os poços amostrados com as respectivas atividades são apresentados na tabela 1 e o mapa de identificação dos poços na figura 17.

Tabela 1 – Poços avaliados e as respectivas atividades

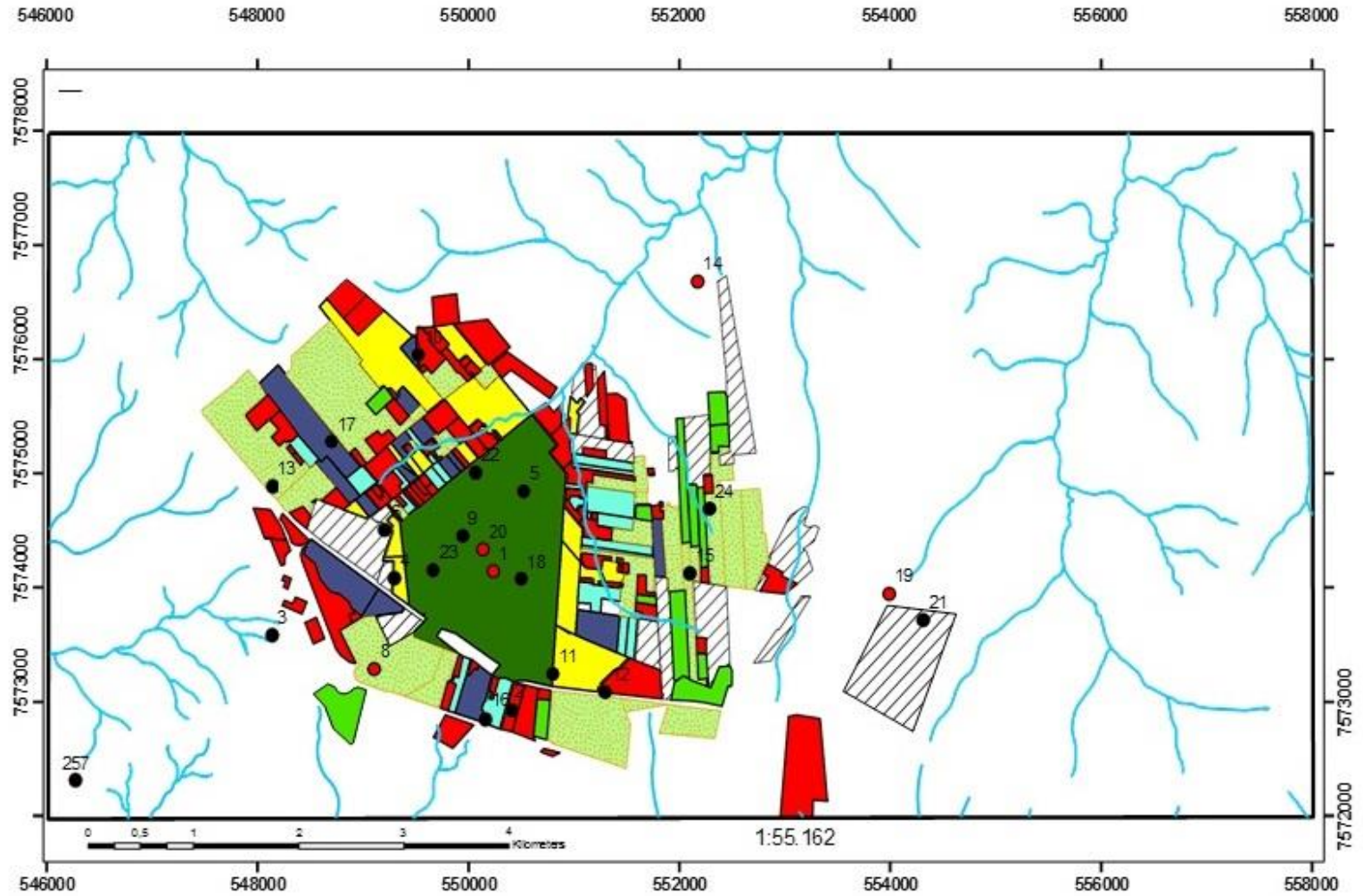
Nº poço	Atividade
1	Hospital
2	Indústria alimentícia
3	Hotel
4	Posto de gasolina
5	Posto de gasolina
6	Posto de gasolina
7	Indústria Alimentícia
8	Hospital
9	Posto de gasolina
10	Indústria Alimentícia
11	Posto de gasolina
12	Granja
13	Buffet
14	Indústria Metalúrgica
15	Posto de gasolina
16	Indústria Alimentícia
17	Clínica Médica
18	Imobiliária
19	Buffet
20	Hotel
21	Indústria Alimentícia
22	Serviços de saúde
23	Serviços de saúde
24	Indústria Alimentícia
25	Indústria Alimentícia

Figura 17 - Mapa de identificação dos poços avaliados e monitorados

Mapa de Localização

Legenda

- Poços Analisados
- Poços Monitorados
 - Poços Avaliados
- Área de Estudo
- Drenagem
- Após 2000
- Década de 90
- Década de 80
- Década de 70
- Década de 60
- Década de 50
- Década de 40
- Sede 1929



Fonte: Elaborada pelo autor

4.3 COLETA E CONSERVAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

As amostras de água de todos os poços cadastrados foram coletadas na saída de água do poço e as amostras do monitoramento foram coletadas no ponto de consumo pelos técnicos da Vigilância Sanitária Municipal e acondicionadas em frascos de acordo com procedimentos padronizados (BRASIL, 2013). As amostras coletadas foram preservadas com gelo reutilizável e armazenadas em caixa térmica à temperatura de $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e transportadas para o laboratório do Instituto Adolfo Lutz de Marília-SP, junto com as fichas de coleta de amostras para análises padronizadas pelo PROÁGUA, devidamente preenchidas durante o processo de coleta. No Instituto Adolfo Lutz, laboratórios de físico-química e microbiologia, as amostras adequadamente acondicionadas e identificadas foram preservadas e armazenadas de acordo com recomendações específicas para cada parâmetro a ser analisado (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011).

4.4 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

As análises microbiológicas das amostras de água foram realizadas pelo método enzimático com substratos cromogênico e fluorogênico comercialmente disponível. Este método tem como princípio a alteração de indicadores específicos presentes no meio nutriente por enzimas produzidas pelos coliformes totais ou pela *E.coli* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2012).

4.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

A cor e a turbidez das amostras de água foram determinadas pelos métodos fotométrico (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2012) e nefelométrico (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008), respectivamente.

O cloro residual livre e o pH foram determinados pelos profissionais das Vigilâncias Sanitárias Municipais, no momento da coleta das amostras. Esses parâmetros são indicativos e serão correlacionados com outros parâmetros analisados no laboratório.

Os parâmetros sólidos totais dissolvidos (STD), dureza total, ferro, cloreto, nitrito, nitrato e fluoreto foram determinados segundo métodos físico-químicos para análise de alimentos do Instituto Adolfo Lutz (2008) e amônia segundo Standard methods for the examination of water & wastewater (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2012). Os STD foram determinados pelo método condutivimétrico e o método titulométrico com EDTA foi utilizado para a determinação do parâmetro dureza total. O parâmetro cloreto foi analisado pelo método titulométrico com nitrato de prata e o método espectrofotométrico com desenvolvimento de cor foi utilizado para as dosagens de ferro (Método 1-10-fenantrolina), nitrito (Sulfanilamida e N-1-naftil-Etilenodiamina), nitrato (Método fenoldissulfônico) e amônia (Método do Indofenol), O método analítico empregado na determinação da concentração de íons fluoreto nas amostras de água foi o potenciométrico com eletrodo íon-seletivo.

4.6. COMPILAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Todas as informações contidas nas fichas de coleta e os resultados das análises laboratoriais de cada amostra de água foram registrados em planilhas. Os resultados das análises microbiológicas e físico-químicas foram analisados tendo por base os valores máximos permitidos ou recomendados na Portaria Nº 2914 de 2011, conforme apresentado na tabela 2. Na avaliação dos resultados obtidos no monitoramento desses poços, foram realizadas a média e desvio padrão.

Tabela 2– Padrões microbiológicos e físico-químicos

PARÂMETRO	VALOR MÁXIMO PERMITIDO (VMP)
Coliformes totais	Ausência em 100 mL
Escherichia coli	Ausência em 100 mL
Cloro livre	2,0 mg/L *
pH	6,0 -9,5 **
Cor Aparente	15 uH
Turbidez	5uT
Sólidos dissolvidos totais	1000 mg/L
Dureza	500 mg/L
Ferro	0,3 mg/L
Cloreto	250 mg/L
Nitrato (como N)	10 mg/L
Nitrito (como N)	1 mg/L
Amônia (como NH ₃)	1,5 mg/L
Fluoreto	1,5 mg/L

* valor máximo recomendado ** faixa de valor recomendado

Fonte: Portaria Nº 2914 de 2011 (BRASIL, 2011)

4.7 MONITORAMENTO DOS POÇOS

Foram utilizados os resultados das análises microbiológicas e físico-químicas para a avaliação da potabilidade das águas de todos os poços cadastrados e as informações contidas nos formulários de cadastramento dos poços fornecidos pela Vigilância Sanitária como o tipo de uso (coletivo ou individual), a população abastecida (número absoluto e percentagem do total), categoria da área abastecida (residencial, comercial, industrial ou pública), o tipo de poço (raso ou profundo), tratamento da água (desinfecção e fluoretação), número e tipos de reservatórios e existência ou não de rede de distribuição para uma avaliação preliminar das possíveis causas das alterações da qualidade e para a seleção dos poços para o estudo prospectivo ao longo de um ano para o monitoramento dos parâmetros de potabilidade durante todas as estações climáticas (SÃO PAULO, 2005).

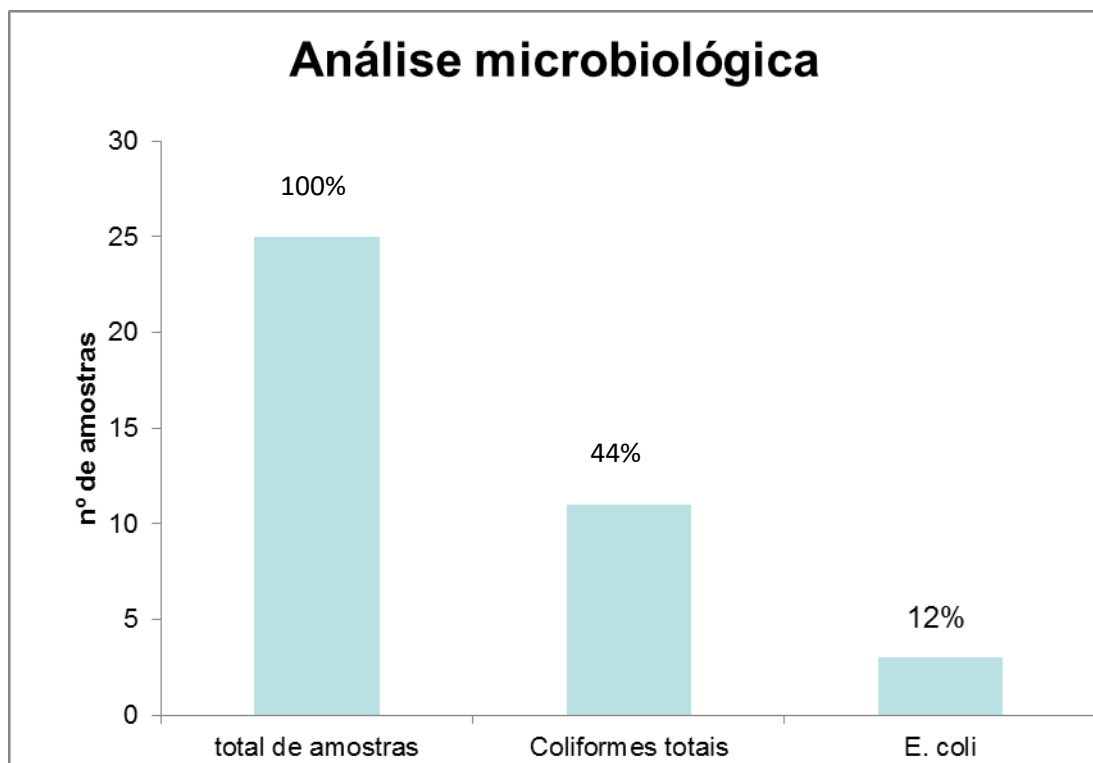
Para a seleção dos pontos do monitoramento, foram considerados ainda, critérios de distribuição geográfica, população abastecida e existência de instituição que abrigue população vulnerável. Foram selecionados 5 pontos a partir da avaliação dos 25 poços cadastrados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes às análises microbiológicas e físico-químicas de 25 poços de soluções alternativas de abastecimento localizados no município de Tupã são apresentados na tabela 3.

Em relação às análises microbiológicas, do total de 25 amostras de água bruta analisadas, 11 (44%) apresentaram coliformes totais e 3 (12%) apresentaram *E.coli*, como mostra a figura 18. Considerando que as coletas foram realizadas direto dos poços, as amostras que apresentaram *E. coli* estão em desacordo com a Legislação em vigor, Portaria 2.914 de 12/12/2011, que estabelece ausência para esse parâmetro. Em relação à presença de coliformes totais, a legislação não estabelece valor de referência, porém para fins de consumo humano, essas águas deverão ser cloradas e na saída do tratamento não deverá ser detectada a presença de coliformes totais.

Figura 18 – Resultado das análises microbiológicas de água de poço (água bruta).



A contaminação microbiológica de águas subterrâneas tem sido relatada em muitas pesquisas e os resultados deste estudo são consistentes com os descritos por Costa et al., (2012) que avaliaram a qualidade da água de poços para consumo humano no Estado do Ceará e detectaram (40%) de contaminação por coliformes totais e *Escherichia coli* em 12,2% das amostras.

Na tabela 3 é possível observar que dos 25 poços avaliados, todas as amostras com presença de coliformes totais e ou *E coli* não apresentavam cloro residual livre (CRL). Segundo Coelho et al. (2017), uma concentração de 0,5 mg/L de CRL na água, depois de 30 minutos de contato garante a desinfecção e o teor de cloro que permanece após a cloração da água, permite que a qualidade microbiológica seja mantida. De acordo com o Art. 34º, Portaria 2.914/2011, é obrigatória a manutenção de no mínimo 0,2 mg/L de cloro residual livre.

A contaminação microbiológica detectada pode ser explicada por vários fatores entre eles a localização geográfica, proximidade às fossas sépticas, condições climáticas, como chuvas intensas, falta de vedação dos poços com tampas adequadas, falta de isolamento da área, etc (MALHEIROS et al., 2009; SILVA, LOPES e AMARAL, 2016).

Os resultados das análises microbiológicas deste estudo mostram uma elevada porcentagem de amostras contaminadas por coliformes totais e ainda a contaminação de algumas amostras por *E.coli* o que demonstra que a qualidade sanitária da água dos poços artesianos avaliados é inadequada. A contaminação, entre outros fatores, pode estar associada também à falta de higienização desses poços, o que coloca em risco a população que utiliza essas águas. Esses resultados são relevantes, porque a má qualidade da água tem sido diretamente associada às doenças diarreicas de veiculação hídrica.

Tabela 3 – Resultados das análises microbiológicas e físico-químicas de amostras de água de poço coletadas no município de Tupã

(continua)

Poço	Análises													
	Coliformes totais	<i>E. coli</i>	cor aparente (uH)	Turbidez (UT)	dureza total (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Ferro (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	STD (mg/L)	pH*	CRL*
1	Ausência	Ausência	< 2,0	0,2	44,2	< 0,1	0,1	8,0	< 0,1	11,9	< 0,5	62,0	6,8	0,0
2	Ausência	Ausência	< 2,0	0,4	51,3	< 0,1	0,1	12,4	< 0,1	14,8	< 0,5	78,0	6,8	0,0
3	Ausência	Ausência	< 2,0	0,5	50,3	< 0,1	0,1	4,6	< 0,1	13,8	< 0,5	63,0	6,8	0,0
4	Presença	Ausência	6,0	2,1	140,7	< 0,1	0,2	23,2	< 0,1	43,5	< 0,5	208,0	6,8	0,0
5	Ausência	Ausência	< 2,0	0,3	70,4	< 0,1	< 0,1	17,1	< 0,1	26,7	< 0,5	142,0	6,8	0,0
6	Presença	Ausência	< 2,0	0,1	54,8	< 0,1	< 0,1	10,0	< 0,1	11,9	< 0,5	71,0	6,8	0,0
7	Presença	Ausência	< 2,0	0,9	97,9	< 0,1	< 0,1	4,6	< 0,1	6,9	< 0,5	89,0	6,8	0,0
8	Ausência	Ausência	< 2,0	0,3	37,2	< 0,1	< 0,1	13,8	< 0,1	11,9	< 0,5	57,0	6,8	0,0
9	Ausência	Ausência	< 2,0	0,6	40,7	< 0,1	< 0,1	5,2	< 0,1	22,7	< 0,5	99,0	6,8	0,0
10	presença	Presença	< 2,0	0,4	42,7	< 0,1	< 0,1	10,0	< 0,1	12,9	< 0,5	65,0	6,8	0,0
11	Ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	20,1	< 0,1	< 0,1	5,7	< 0,1	5,9	< 0,5	36,0	6,8	0,0
12	Ausência	Ausência	< 2,0	0,6	26,1	< 0,1	< 0,1	7,4	< 0,1	3,9	< 0,5	43,0	6,8	0,4
13	Ausência	Ausência	< 2,0	0,2	12,1	< 0,1	< 0,1	1,9	< 0,1	3,9	< 0,5	22,0	6,8	0,0
14	Presença	Ausência	< 2,0	0,6	59,3	< 0,1	< 0,1	9,6	< 0,1	5,9	< 0,5	72,0	6,8	0,0
15	Presença	Ausência	< 2,0	0,2	15,1	0,1	< 0,1	3,2	< 0,1	3,0	< 0,5	24,0	6,8	0,0
16	Presença	Ausência	< 2,0	0,2	55,7	0,1	0,1	8,1	< 0,1	16,8	< 0,5	75,0	6,8	0,0

Tabela 3 – Resultados das análises microbiológicas e físico-químicas de amostras de água de poço coletadas no município de Tupã (conclusão)

Poço	Análises													
	Coliformes totais	<i>E. coli</i>	cor aparente (uH)	Turbidez (UT)	dureza total (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Ferro (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	STD (mg/L)	pH*	CRL* (mg/L)
17	Ausência	Ausência	< 2,0	0,3	45,2	0,1	< 0,1	11,5	< 0,1	11,8	< 0,5	54,0	6,8	0,0
18	Ausência	Ausência	< 2,0	0,6	54,3	0,1	< 0,1	7,7	< 0,1	2,9	< 0,5	66,0	6,8	0,0
19	Presença	Presença	< 2,0	3,0	30,1	0,1	< 0,1	5,7	< 0,1	2,4	< 0,5	31,0	6,8	0,0
20	Presença	Ausência	< 2,0	0,9	66,7	0,1	< 0,1	11,8	0,1	23,7	< 0,5	101,0	6,8	0,0
21	Presença	Ausência	< 2,0	< 0,1	43,2	0,1	< 0,1	8,8	< 0,1	4,0	< 0,5	55,0	6,8	0,0
22	Ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	87,9	0,1	< 0,1	22,0	< 0,1	34,6	< 0,5	181,0	7,2	0,0
23	Ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	131,2	0,1	< 0,1	22,3	< 0,1	27,2	< 0,5	182,0	7,2	0,0
24	Ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	19,1	0,1	< 0,1	3,8	< 0,1	5,4	< 0,5	32,0	7,2	0,0
25	Presença	Presença	< 2,0	0,7	85,4	0,1	< 0,1	7,1	< 0,1	4,0	< 0,5	83,0	7,4	0,0
média	-	-	< 2,0	0,5	55,3	<0,1	<0,1	9,8	< 0,1	13,3	< 0,5	79,6	6,9	0,0
S	-	-	-	-	32,8	-	-	5,9	-	10,9	-	49,7	0,2	0,0

s = desvio padrão

Para a discussão dos resultados das análises físico-químicas é importante o entendimento sobre a composição físico-química da água subterrânea que consiste no produto do enriquecimento mineral de águas provenientes do ciclo hidrológico (ar, superfície e solo) e de seu tempo de residência na rocha hospedeira (aquífero). As diferentes composições das rochas hospedeiras e dos processos de mineralização resultam na diversidade composicional das águas subterrâneas (RIBEIRO et al., 2007).

As características gerais da composição físico-química das águas subterrâneas e de suas especificidades, de acordo com as características composicionais da rocha aquífera, são básicas para os estudos da qualidade e contaminação, pois fornecem as condições iniciais e ambientais do aquífero (RIBEIRO et al., 2007).

A concentração de substâncias dissolvidas na água subterrânea tende a aumentar à medida que a água percola os diferentes aquíferos, mas muitos outros fatores podem interferir como: clima, composição da água de recarga, tempo de contato água/meio físico, etc., além da contaminação antrópica.

Neste estudo, as propriedades físicas das águas subterrâneas avaliadas foram: cor aparente, turbidez e STD e os resultados encontrados mostraram que nenhuma das amostras analisadas apresentaram valores acima do máximo permitido pela legislação, Portaria 2.914/2011. Quando os valores desses parâmetros são elevados podem afetar as características estéticas da água e a não aceitação dos consumidores. Em geral, as águas subterrâneas não apresentam características perceptíveis, a não ser devido à presença de sais em concentrações elevadas que podem alterar o seu sabor.

Em relação às análises de cor aparente, dos 25 poços avaliados, 24 amostras apresentaram cor aparente < 2 uH e apenas o poço nº 4 apresentou o valor 6 uH sendo que a legislação vigente estabelece para esse parâmetro como valor máximo permitido 15 uH. A cor aparente é a cor produzida pelas substâncias dissolvidas e em suspensão e geralmente é proveniente da lixiviação de matéria orgânica e pode ser variável, quando rica em ferro, manganês ou ácidos húmicos. As águas subterrâneas normalmente apresentam valores de cor inferiores a 5 uH.

Quanto às análises de turbidez, os resultados obtidos variaram de < 0,1 a 3,0 uT. A legislação vigente estabelece o valor máximo de 5 uT e, portanto, todas as amostras atenderam ao estabelecido pela legislação.

Segundo Feitosa et al., (2008), a turbidez pode sofrer interferência negativa da cor devido a propriedade de absorção de luz ou então pela presença de concentrações elevadas de ferro. A análise dos valores de cor e das concentrações de ferro deste estudo não aponta uma correlação com os valores de turbidez.

Os resultados das análises de STD variaram de 24 a 208 mg/L e valor médio de 79,6 mg/L e a legislação estabelece o valor máximo de 1000 mg/L.

Os STD são substâncias dissolvidas na água que são dissociados em cátions e ânions. Os sais dissolvidos na água se transformam em eletrólitos capazes de conduzir corrente elétrica. Assim existe uma relação de proporcionalidade entre teor de sais dissolvidos e condutividade elétrica.

Os resultados de STD podem ser relacionados com as concentrações de cloretos e nitratos encontrados nas amostras de água bruta dos poços analisados, o que reforça a hipótese de contaminação por fontes antrópicas.

As fontes primárias de STD em águas receptoras são agrícolas e residenciais, de lixiviados de contaminação do solo e de fontes pontuais de descarga de poluição das águas industriais ou estações de tratamento de esgoto.

Assim, o parâmetro STD pode funcionar como indicador de alterações da qualidade natural das águas subterrâneas, visto que estudos de caracterização realizados no Sistema Aquífero Bauru mostraram que as concentrações de cloretos e nitratos nestas águas são bem abaixo dos valores encontrados.

As análises de dureza total, ferro, cloreto, fluoreto mostraram que nenhuma das amostras apresentou valores acima do máximo permitido pela legislação em vigor.

Na análise da dureza total foram obtidos resultados que variaram de 12,1 mg/L (poço 13) a 140,7 mg/L (poço 4) e valor médio de 55,3 mg/L. Esses resultados indicam que todas as amostras analisadas apresentaram valores abaixo de 500 mg/L, que é o valor máximo permitido pela legislação vigente. Das 25 amostras analisadas, 20 (80%) das amostras apresentaram valores abaixo de 75 mg/L e 5

(20%) apresentaram valores entre 75 e 150 mg/L. Segundo Sawyer e McCarthy (2003), as águas são classificadas em moles, moderadamente duras, duras e muito duras. Essa classificação é apresentada na tabela 4.

A análise dos resultados mostrou que 80% das amostras são classificadas como moles e 20% como moderadamente duras.

Tabela 4 – Classificação da dureza da água

Dureza mg/L de CaCO ₃	Classificação das águas
0 – 75	Mole
75 – 150	moderadamente dura
150 – 300	Dura
Maior que 300	muito dura

Fonte: Sawyer e McCarthy (2003).

As análises do parâmetro ferro apresentaram resultados que variaram de <0,1 mg/L a 0,1 mg/L. A presença de ferro na água em altas concentrações é comum em áreas constituídas por solos ferralíticos (latossolos). Em altas concentrações, acima de 300 mg/L mancha louças sanitárias e roupas no processo de lavagem (NASCIMENTO; BARBOSA, 2005).

A legislação vigente estabelece para o parâmetro ferro, como valor máximo permitido 0,3 mg/L em função dos problemas estéticos e do sabor de ferrugem que pode levar a recusa da água pelo consumidor. Os valores de ferro detectados nas amostras de água analisadas indicam que todas as amostras apresentaram concentrações abaixo do valor máximo permitido pela legislação.

Os resultados das análises de cloreto variaram de 2,4 a 43,5 mg/L e valor médio de 13,3 mg/L; a legislação estabelece como valor máximo permitido 250 mg/L.

Segundo Soares, et al (1980), as rochas sedimentares da Formação Adamantina não apresentam minerais constituídos por Cl⁻, F⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ ou PO₄³⁻ e assim as concentrações de cloreto obtidas nas análises deste estudo não podem ser justificadas pela interação água-rocha.

Os valores encontrados neste estudo corroboram com os valores descritos na literatura. Segundo Feitosa et al., (2008), as águas subterrâneas em geral apresentam concentrações de cloreto inferiores a 100 mg/L.

A presença de altas concentrações de cloretos em águas para o consumo humano pode provocar efeito laxativo a rejeição dos consumidores devido a sabor salgado indesejável. Concentrações elevadas de cloreto podem significar ainda infiltração de águas residuais e excesso de urina de pessoas e animais (COELHO et al, 2017).

As análises de fluoreto mostraram que todas as amostras dos 25 poços avaliados apresentaram concentrações abaixo de 0,5 mg/L (limite de quantificação do método). Os fluoretos em águas subterrâneas são encontrados em baixas concentrações que variam de 0,1 a 1,5 mg/L, podendo chegar a 10 mg/L (FEITOSA et al. 2008). A legislação vigente estabelece como valor máximo permitido 1,5 mg/L.

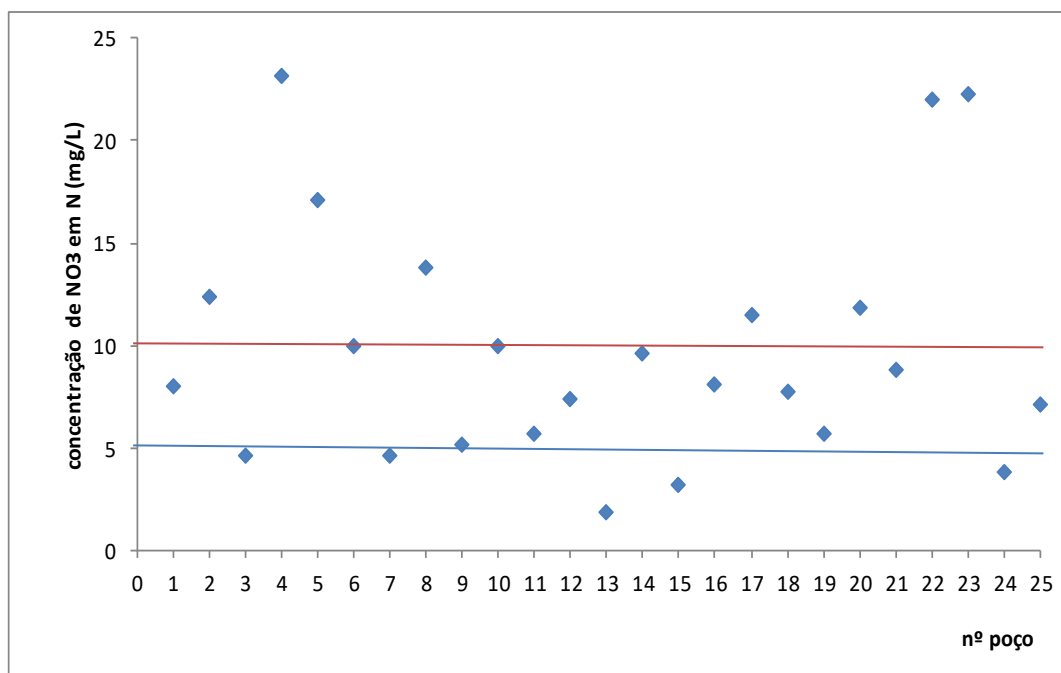
A presença de fluoreto na água em concentrações adequadas e a redução de cáries têm sido amplamente comprovadas por meio de estudos disponíveis na literatura. Entretanto, em concentrações elevadas pode causar mancha nos dentes, conhecida como fluorose dentária (NARVAI, 2000).

A mancha nos dentes ocorre quando o conteúdo de fluoreto, nas águas potáveis, ultrapassa a concentração de 1,5 mg/l de flúor. Quando esses valores excedem a 3,0 ou 6,0 mg/l, chega a ser notável as manchas nos dentes. Contudo, os efeitos tóxicos ocorrem somente em quantidades muito maiores, pois são necessários 203 mg de fluoreto de sódio como dose subletal e 4.000 mg como dose letal (MARTINS NETTO et al 2016).

Nas determinações dos compostos nitrogenados, os resultados de amônia e nitrito de todos os poços estavam de acordo com os padrões estabelecidos pela legislação. A análise desses resultados mostra a inexistência de contaminação recente por estes compostos nitrogenados nos poços estudados. Entretanto, a presença de nitrato foi observada em todas as amostras com valores que variaram de 1,9 a 23,2 mg/L NO_3^- -N e valor médio de 9,8 mg/L NO_3^- -N. Do total de 25 amostras analisadas, 8 (32%) estavam em desacordo com a legislação em vigor por apresentar concentração acima do valor máximo permitido. A legislação em vigor estabelece para esse parâmetro o valor máximo de 10 mg/L de NO_3^- -N.

A CETESB estabelece o valor de 5 mg/L de $\text{NO}_3\text{-N}$ como prevenção e, portanto, o monitoramento anual desses poços. Considerando essa referência, dos 25 poços analisados, com valores compreendidos entre 5,0 e 10,0 mg/L, 12 (48%) dos poços deveriam ser monitorados. Esses resultados podem ser visualizados na figura 19.

Figura 19 – Variação da concentração de nitrato em amostras de água de poço



Várias Pesquisas sobre a qualidade da água subterrânea para o consumo humano têm sido realizadas e o íon nitrato é o contaminante mais frequente (ARAÚJO et al., 2011; BIGUENINI e GUMY, 2012; LAUTHARTTE et al., 2016; CETESB, 2016; DOVIDAUSKAS et al., 2017).

A contaminação por nitrato, observada nas águas analisadas indica que a contaminação dos poços do município de Tupã é antiga e está relacionada às atividades antrópicas.

Segundo Costa (2012), nitratos são muito solúveis e não são absorvidos pelo solo, contaminando as águas subterrâneas ao migrar para o lençol freático, devido à lixiviação de fertilizantes inorgânicos e/ou processos de decomposição e

oxidação de compostos orgânicos provenientes de infiltração de esgoto de fossas sépticas e canalizações defeituosas.

Dados da literatura apontam o uso de fertilizantes nitrogenados como uma das principais fontes de contaminação por nitrato (EMBRAPA, 2014; BIAN et al., 2016; ANGELOVIČOVÁ et al., 2017).

Nos últimos anos o nível de nitrato nas fontes de água potável tem crescido em muitos países e diversos estudos têm sido realizados para avaliar a concentração de nitrato dessas águas (GRIMASON et al., 2013).

A presença de nitrato excessivo e nitrito na água têm sido associados à metabemoglobinemia (síndrome do bebê azul), especialmente em crianças alimentadas com mamadeiras. Esses bebês são considerados de maior risco porque a ingestão de água é alta em relação ao peso corporal (GRIMASON et al., 2013).

Outros dados importantes a este estudo, obtidos no momento da coleta das amostras foram os de pH. Os valores variaram entre 6,8 a 7,2 estando de acordo com a legislação em vigor que recomenda valores entre 6,0 e 9,5. Segundo Nakamura et al. (2014), a maioria das águas subterrâneas apresenta pH entre 5,5 a 8,5.

Os resultados das análises microbiológicas e físico-químicas referentes ao monitoramento dos cinco poços no período de 12 meses (n^{os} 1, 8, 14, 19 e 20) selecionados a partir da avaliação inicial dos 25 poços cadastrados pela Vigilância Sanitária do município de Tupã são apresentados nas tabelas 5, 6, 7, 8 e 9.

Tabela 5 - Resultados de análises microbiológicas e físico-químicas de amostras de água coletadas no município de Tupã, referente ao monitoramento anual do poço nº 1 (Atividade: Hospital)

Mês	Análises													
	Coliformes totais	<i>E. coli</i>	cor aparente Uh	Turbidez uT	dureza total mg/L	Amônia mg/L	Nitrito mg/L	Nitrato mg/L	Ferro mg/L	Cloreto mg/L	Fluoreto mg/L	STD mg/L	pH*	CRL*
	1	Ausência	ausência	< 2,0	0,2	47,4	0,1	< 0,1	9,6	< 0,1	12,7	< 0,5	64,0	6,8
2	Presença	ausência	< 2,0	< 0,1	45,3	0,1	< 0,1	9,6	< 0,1	11,6	< 0,5	64,0	6,8	0,0
3	Presença	ausência	< 2,0	< 0,1	47,4	0,1	< 0,1	9,0	< 0,1	11,6	< 0,5	45,0	6,8	0,0
4	Ausência	ausência	< 2,0	0,1	43,9	0,1	< 0,1	9,8	< 0,1	13,8	< 0,5	103,0	6,8	0,4
5	Ausência	ausência	< 2,0	< 0,1	40,1	< 0,1	< 0,1	9,3	< 0,1	15,8	< 0,5	74,0	6,8	5,0
6	Presença	ausência	< 2,0	0,2	43,9	< 0,1	< 0,1	8,2	< 0,1	14,7	< 0,5	63,0	6,8	0,0
7	Ausência	ausência	< 2,0	< 0,1	41,8	< 0,1	< 0,1	8,1	< 0,1	17,8	< 0,5	73,0	6,8	2,0
8	Presença	ausência	< 2,0	< 0,1	43,7	0,1	< 0,1	9,3	< 0,1	12,9	< 0,5	65,0	6,8	0,0
9	Ausência	ausência	< 2,0	< 0,1	44,2	0,1	< 0,1	8,7	< 0,1	14,8	< 0,5	76,0	6,8	5,0
10	Ausência	ausência	< 2,0	< 0,1	44,2	< 0,1	< 0,1	9,0	< 0,1	13,8	< 0,5	62,0	6,8	0,0
11	Ausência	ausência	< 2,0	< 0,1	44,2	< 0,1	< 0,1	9,0	< 0,1	13,8	< 0,5	63,0	6,8	< 0,4
12	Ausência	ausência	< 2,0	< 0,1	52,3	0,1	< 0,1	9,2	< 0,1	15,8	< 0,5	68,0	6,8	0,4
média	-	-	< 0,2	< 0,1	44,9	< 0,1	< 0,1	9,1	< 0,1	14,1	< 0,5	68,3	6,8	1,1
S	-	-	-	-	3,1	-	-	0,5	-	1,8	-	13,5	0,0	-

* valores obtidos na hora da coleta; s = desvio padrão

Tabela 6 - Resultados de análises microbiológicas e físico-químicas de amostras de água coletadas no município de Tupã, referente ao monitoramento anual do poço nº 8 (Atividade: Hospital).

Mês	Análises													
	Coliformes totais	<i>E. coli</i>	Cor aparente Uh	Turbidez uT	dureza total mg/L	Amônia mg/L	Nitrito mg/L	Nitrato mg/L	Ferro mg/L	Cloreto mg/L	Fluoreto mg/L	STD mg/L	pH*	CRL* mg/L
	1	Ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	37,1	< 0,1	< 0,1	6,1	< 0,1	12,6	< 0,5	42,0	6,8
2	Ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	51,5	0,1	< 0,1	6,6	< 0,1	12,8	< 0,5	89,0	6,8	0,4
3	Presença	Ausência	< 2,0	0,1	38,1	< 0,1	< 0,1	7,5	< 0,1	12,8	< 0,5	60,0	6,8	0,6
4	Ausência	Ausência	< 2,0	0,3	41,9	< 0,1	< 0,1	6,0	< 0,1	15,7	< 0,5	61,0	6,8	1,0
5	Ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	36,1	< 0,1	< 0,1	6,3	< 0,1	15,8	< 0,5	60,0	6,8	0,6
6	Ausência	Ausência	< 2,0	<0,1	38,0	0,1	< 0,1	7,1	< 0,1	14,8	< 0,5	58,0	6,8	1,0
7	Ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	38,2	0,1	< 0,1	7,0	< 0,1	15,8	< 0,5	63,0	6,8	0,6
8	Ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	40,2	< 0,1	< 0,1	6,7	< 0,1	14,8	< 0,5	59,0	6,8	0,6
9	Ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	40,2	0,1	< 0,1	6,9	< 0,1	15,8	< 0,5	54,0	6,8	0,4
10	Ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	44,2	0,1	< 0,1	7,0	< 0,1	14,8	< 0,5	61,0	6,8	0,6
11	Ausência	Ausência	< 2,0	0,1	39,6	< 0,1	< 0,1	6,5	< 0,1	15,8	< 0,5	59,0	7,2	0,7
12	Ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	35,6	< 0,1	< 0,1	5,9	< 0,1	15,4	< 0,5	66,0	7,2	0,4
média	-	-	< 2,0	< 0,1	40,0	< 0,1	< 0,1	6,6	< 0,1	14,7	< 0,5	61,0	6,9	0,7
S	-	-	-	-	4,3	-	-	0,5	-	1,3	-	10,6	0,2	0,2

* valores obtidos na hora da coleta

s= desvio padrão

Tabela 7 - Resultados de análises microbiológicas e físico-químicas de amostras de água coletadas no município de Tupã, referente ao monitoramento anual do poço nº 14 (Atividade: Indústria metalúrgica).

Mês	Análises													
	Coliformes totais	<i>E. coli</i>	cor aparente Uh	Turbidez uT	dureza total mg/L	Amônia mg/L	Nitrito mg/L	Nitrato mg/L	Ferro mg/L	Cloreto mg/L	Fluoreto mg/L	STD mg/L	pH*	CRL*
	1	Presença	Ausência	< 2,0	0,4	60,5	0,1	<0,1	8,5	< 0,1	5,9	< 0,5	69,0	6,8
2	Ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	55,6	< 0,1	<0,1	9,5	< 0,1	5,8	< 0,5	74,0	6,8	0,6
3	Ausência	Ausência	< 2,0	0,1	57,7	< 0,1	<0,1	9,2	< 0,1	10,6	< 0,5	56,0	7,2	2,0
4	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	55,3	< 0,1	< 0,1	9,1	< 0,1	7,9	< 0,5	71,0	6,8	0,6
5	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	57,2	< 0,1	<0,1	8,2	< 0,1	9,8	< 0,5	75,0	6,8	2,0
6	ausência	Ausência	< 2,0	0,1	55,1	<0,1	< 0,1	8,1	< 0,1	7,9	< 0,5	73,0	6,8	0,4
7	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	57,0	< 0,1	< 0,1	8,5	< 0,1	7,9	< 0,5	74,0	6,8	1,5
8	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	58,3	0,1	< 0,1	8,2	< 0,1	11,9	< 0,5	76,0	7,2	0,6
9	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	58,3	< 0,1	< 0,1	8,2	< 0,1	11,9	< 0,5	81,0	7,2	2,0
10	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	58,3	< 0,1	< 0,1	8,5	< 0,1	7,9	< 0,5	69,0	6,8	0,4
11	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	66,3	0,1	< 0,1	8,4	< 0,1	7,9	< 0,5	74,0	6,8	0,4
12	ausência	Ausência	< 2,0	0,1	57,4	< 0,1	< 0,1	7,7	< 0,1	9,9	< 0,5	73,0	6,8	0,6
média			< 0,2	< 0,1	58,1	< 0,1	< 0,1	8,5	< 0,1	8,8	< 0,5	72,1	6,9	0,9
S	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	2,0	-	6,0	0,2	0,7

* valores obtidos na hora da coleta s= desvio padrão

Tabela 8 - Resultados de análises microbiológicas e físico-químicas de amostras de água coletadas no município de Tupã, referente ao monitoramento anual do poço nº 19 (Atividade: Buffet).

Mês	Análises													
	Coliformes totais	<i>E. coli</i>	cor aparente uH	Turbidez uT	dureza total mg/L	Amônia mg/L	Nitrito mg/L	Nitrato mg/L	Ferro mg/L	Cloreto mg/L	Fluoreto mg/L	STD mg/L	pH*	CRL*
1	presença	Presença	< 2,0	0,2	31,2	0,1	< 0,1	4,4	< 0,1	4,9	< 0,5	38,0	6,8	0,0
2	presença	Presença	< 2,0	0,1	24,7	0,1	< 0,1	3,3	< 0,1	2,9	< 0,5	34,0	6,8	0,0
3	presença	Presença	< 2,0	0,1	24,7	< 0,1	< 0,1	3,6	< 0,1	3,9	< 0,5	24,0	6,8	0,0
4	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	22,9	< 0,1	< 0,1	3,5	< 0,1	9,9	< 0,5	41,0	6,8	2,0
5	ausência	Ausência	< 2,0	0,1	24,7	< 0,1	< 0,1	3,1	< 0,1	6,9	< 0,5	35,0	6,8	2,0
6	ausência	Ausência	< 2,0	0,1	24,7	< 0,1	< 0,1	2,2	< 0,1	4,9	< 0,5	32,0	6,8	0,0
7	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	22,8	< 0,1	< 0,1	2,4	< 0,1	4,9	< 0,5	36,0	6,8	1,0
8	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	24,1	0,1	< 0,1	2,5	< 0,1	3,9	< 0,5	35,0	6,8	0,0
9	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	22,1	< 0,1	< 0,1	2,1	< 0,1	6,9	< 0,5	36,0	6,8	1,6
10	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	24,1	0,1	< 0,1	2,3	< 0,1	8,9	< 0,5	37,0	6,8	1,5
11	presença	Presença	< 2,0	< 0,1	32,2	0,1	< 0,1	2,4	< 0,1	5,9	< 0,5	31,0	6,8	0,0
12	ausência	Ausência	< 2,0	0,1	29,7	< 0,1	< 0,1	2,1	< 0,1	8,9	< 0,5	32,0	6,8	0,6
média	-	-	< 2,0	< 0,1	25,6	< 0,1	< 0,1	2,8	< 0,1	6,1	< 0,5	34,2	6,8	0,7
S	-	-	-	-	3,4	-	-	0,7	-	2,2	-	4,3	0	0,8

* valores obtidos na hora da coleta

s= desvio padrão

Tabela 9 - Resultados de análises microbiológicas e físico-químicas de amostras de água coletadas no município de Tupã, referente ao monitoramento anual do poço nº 20 – (Atividade: Hotel).

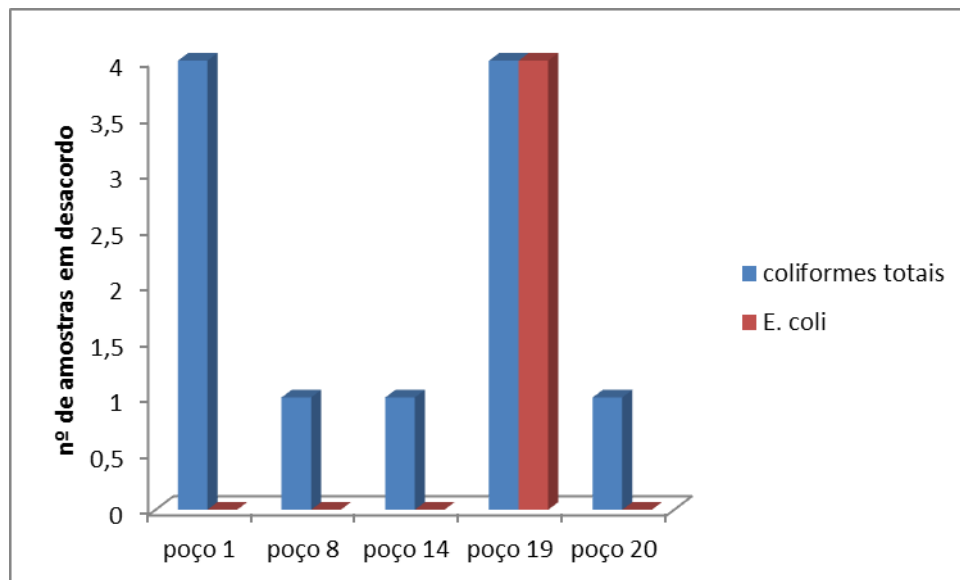
Mês	Análises													
	Coliformes totais	<i>E. coli</i>	cor aparente uH	Turbidez uT	dureza total mg/L	Amônia mg/L	Nitrito mg/L	Nitrato mg/L	Ferro mg/L	Cloreto mg/L	Fluoreto mg/L	STD mg/L	pH*	CRL*
	1	ausência	Ausência	< 2,0	0,2	61,0	< 0,1	< 0,1	6,6	< 0,1	49,4	< 0,5	166,0	6,8
2	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	51,5	< 0,1	< 0,1	6,1	< 0,1	49,3	< 0,5	106,0	6,8	5,0
3	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	49,4	< 0,1	< 0,1	2,0	< 0,1	66,3	< 0,5	111,0	6,8	> 5,0
4	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	49,4	0,1	< 0,1	10,0	< 0,1	19,8	< 0,5	76,0	6,8	0,0
5	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	52,3	0,1	< 0,1	12,0	< 0,1	46,5	< 0,5	104,0	6,8	5,0
6	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	50,3	< 0,1	< 0,1	8,4	< 0,1	43,6	< 0,5	105,0	8,2	> 5,0
7	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	52,3	0,1	< 0,1	7,9	< 0,1	38,6	< 0,5	94,0	6,8	0,4
8	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	46,2	0,1	< 0,1	4,0	< 0,1	47,5	< 0,5	96,0	6,8	1,0
9	presença	Ausência	< 2,0	0,1	55,4	< 0,1	< 0,1	12,0	< 0,1	23,8	< 0,5	94,0	6,8	0,0
10	ausência	Ausência	< 2,0	< 0,1	50,4	< 0,1	< 0,1	11,0	< 0,1	24,1	< 0,5	99,0	6,8	0,0
11	ausência	Ausência	< 2,0	0,1	52,0	< 0,1	< 0,1	8,7	< 0,1	25,1	< 0,5	84,0	6,8	0,5
12	ausência	Ausência	< 2,0	0,2	52,0	< 0,1	< 0,1	6,3	< 0,1	36,2	< 0,5	86,0	6,8	0,3
Média	-	-	< 2,0	< 0,1	51,8	< 0,1	< 0,1	7,9	< 0,1	39,2	< 0,5	101,7	6,9	-
S	-	-	-	-	3,6	-	-	3,1	-	-	-	13,9	0,4	-

* valores obtidos na hora da coleta s= desvio padrão

As análises microbiológicas (figura 20) revelaram contaminação por coliformes totais em pelo menos uma das amostras dos poços monitorados no período de 12 meses.

A presença de *E.coli* foi observada em apenas um dos cinco poços avaliados no mesmo período, indicando que estava em desacordo com a legislação em vigor, que estabelece como referência a ausência desse microrganismo em águas para o consumo humano.

Figura 20 - Avaliação microbiológica das águas dos poços monitorados no período de 12 meses.



As águas contaminadas por microrganismos de origem fecal têm sido consideradas uma das principais causas de doenças diarreicas e de mortalidade de crianças pequenas (HODGE et al., 2016)

A análise dos resultados de cloro residual livre (CRL) mostra que quase a totalidade das amostras com contaminação microbiológica apresentava ausência de CRL, o que comprova a necessidade de tratamento dessas águas.

A adição do cloro na água é de fundamental importância para o controle bacteriológico e também para atender a legislação vigente, porém concentrações elevadas como ocorreu no poço N° 20, podem comprometer a qualidade da água, devido à produção de odor e sabor desagradável. A legislação em vigor recomenda

como valor máximo 2 mg/L. O excesso de cloro pode causar ainda, incrustação e corrosão dos equipamentos do poço além de desperdício do produto e gastos desnecessários com energia devido a má gestão.

Os resultados das análises de cor aparente, turbidez, dureza total, amônia nítrico, ferro, cloreto, fluoreto e sólidos dissolvidos totais obtidos durante o monitoramento indicam que nenhuma das amostras analisadas apresentou valores acima do máximo permitido pela legislação em vigor.

Quanto aos resultados das análises de nitrato, com exceção do poço nº 20 (Hotel) todos os resultados estavam de acordo com o estabelecido pela legislação e não apresentaram grandes variações entre os meses de avaliação. Entretanto, com exceção do poço nº 19, todos os demais poços monitorados apresentaram valores de $\text{NO}_3\text{-N}$ acima de 5 mg/L e segundo a CETESB (2016) devem ser monitorados anualmente. No caso específico do poço nº 20 (Hotel), observou-se grandes variações das concentrações de nitrato, ao longo do período estudado e das 12 amostras analisadas 3 (25%) estavam em desacordo com a legislação por apresentarem valores de $\text{NO}_3\text{-N}$ acima de 10 mg/L.

As variações das concentrações de nitrato, segundo informações do proprietário do poço, são decorrentes de medidas como a mistura da água do poço com a água da rede pública, para atender necessidades pontuais do Hotel, além do uso de um filtro para a remoção de nitrato.

Essas medidas são importantes, entretanto, os resultados mostram uma ineficiência de gestão.

Os resultados das análises de nitrato obtidos durante o monitoramento dos 5 poços, no período de 12 meses é apresentado nas figuras 21, 22, 23, 24, 25.

A presença de nitrato em águas destinadas ao consumo humano oferece risco à saúde humana e tem despertado grande interesse dos pesquisadores, devido à toxicidade causada em crianças menores de quatro meses pelo consumo de água com concentração de $\text{NO}_3\text{-N}$ superior a 10 mg/L. Essa intoxicação chamada de metahemoglobinemia é originada a partir da redução de nitrato a nítrico ou pelo consumo direto de nítrico. Nesse processo, o nítrico transforma a hemoglobina do sangue em metahemoglobina e reduz a capacidade do sangue em transportar oxigênio, podendo causar cianose, hipóxia, taquicardia, náuseas, vômitos,

convulsões, coma e até a morte. O nitrito pode ainda reagir com aminas obtidas do metabolismo de proteínas e produzir nitrosaminas que são substâncias potencialmente carcinogênicas (GALAVIZ-VILLA et al., 2010).

Figura 21 - Monitoramento da concentração de nitrato em amostras de água do poço n° 1, no período de 12 meses.

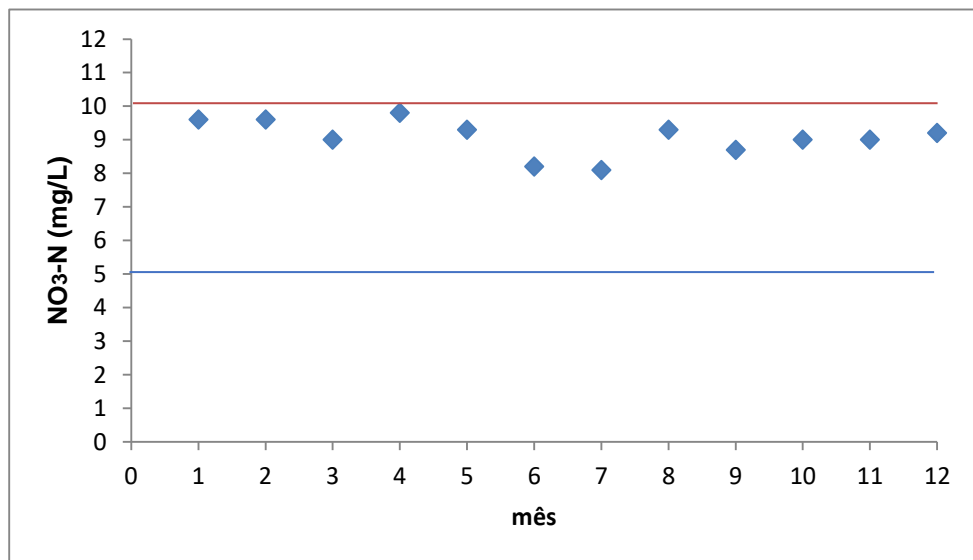


Figura 22 - Monitoramento da concentração de nitrato em amostras de água do poço n° 8, no período de 12 meses.

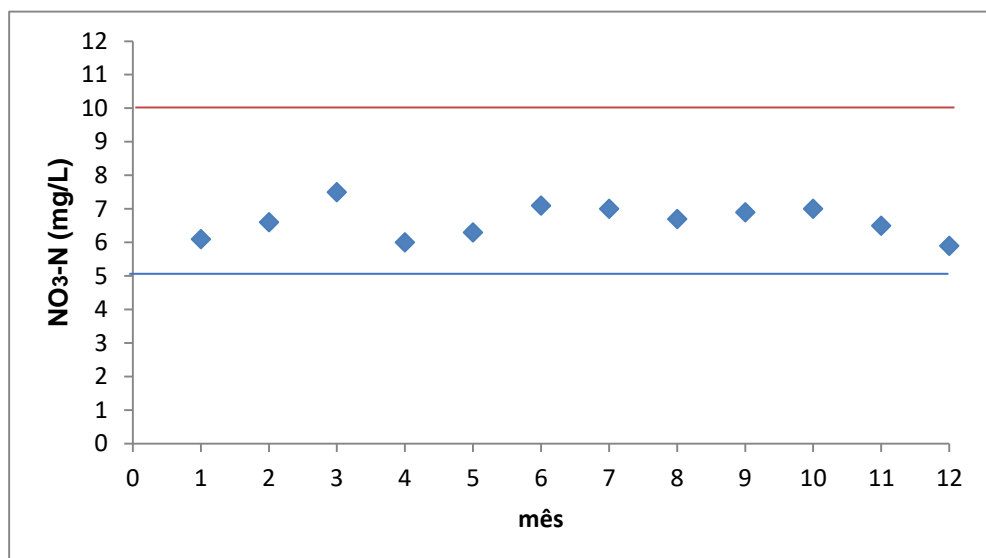


Figura 23 - Monitoramento da concentração de nitrato em amostras de água do poço n° 14, no período de 12 meses.

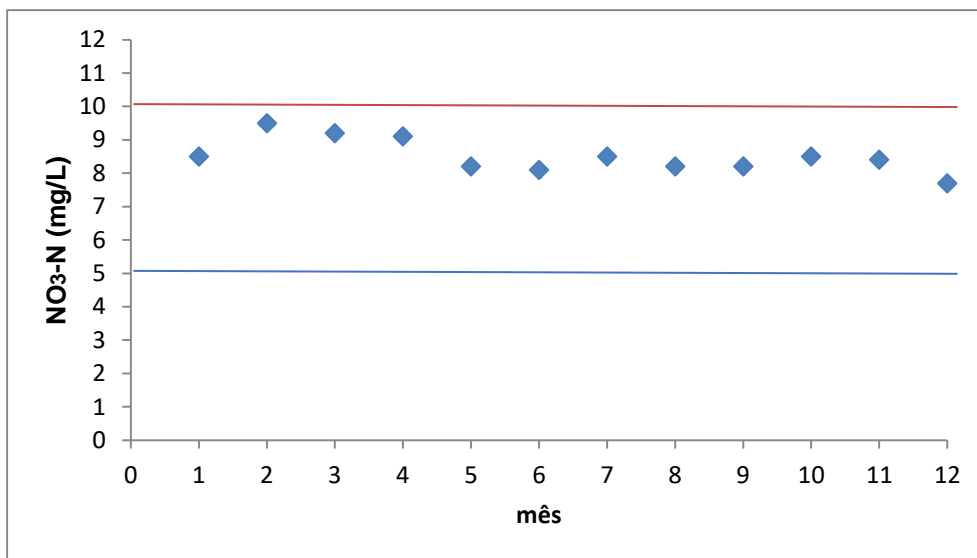


Figura 24 - Monitoramento da concentração de nitrato em amostras de água do poço n° 19, no período de 12 meses.

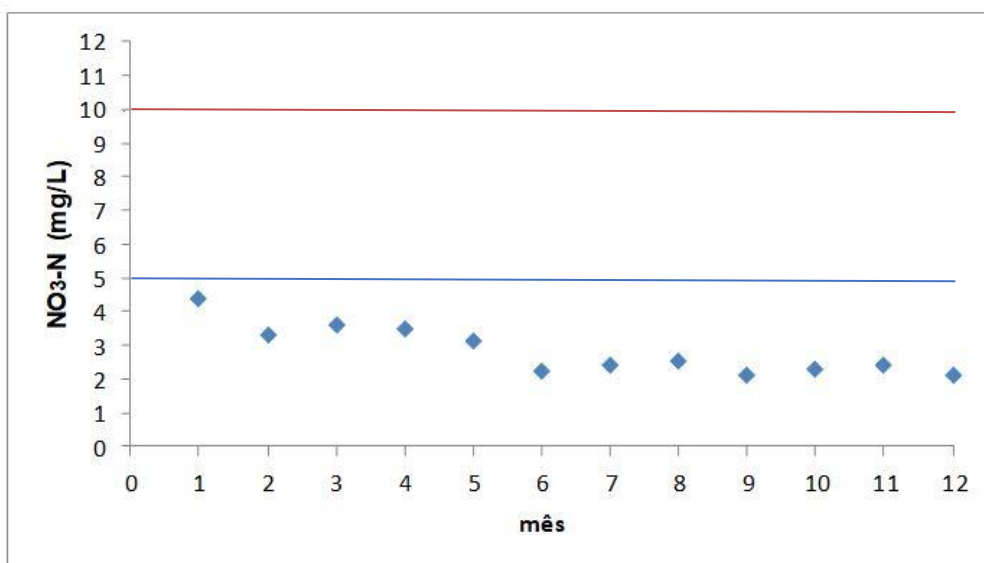
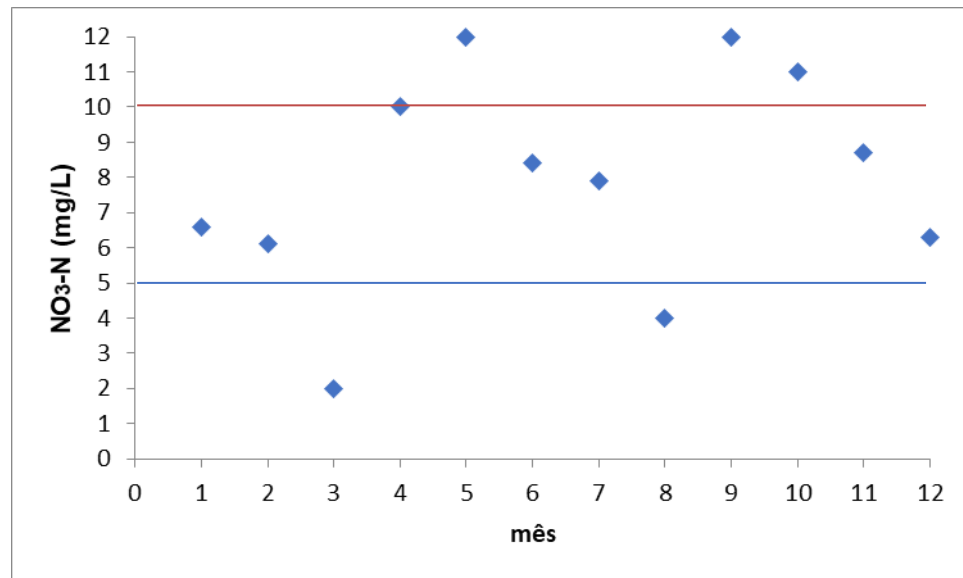


Figura 25 - Monitoramento da concentração de nitrato em amostras de água do poço nº 20, no período de 12 meses.



O conjunto de resultados mostra que as contaminações das águas analisadas neste estudo estiveram relacionadas às contaminações microbiológicas decorrentes da presença dos microrganismos coliformes totais e *E coli* e química devido à presença de nitrato.

Uma avaliação das principais fontes de contaminação de águas subterrâneas foi realizada com o propósito de identificar as causas de contaminação das águas de poço analisadas, provenientes do município de Tupã-SP.

Segundo Hirata e Ferreira (2001), as principais fontes potencialmente contaminantes são: atividade industrial, área de destinação final de resíduo sólido domiciliar e de outras origens, posto de serviço com área de estocagem subterrânea de combustível e área urbanizada sem rede de coleta de esgoto.

O desenvolvimento urbano tem produzido um ciclo de contaminação, gerado pelos efluentes da população urbana. A contaminação das águas subterrâneas na área urbana ocorre por meio dos despejos industriais e domésticos, das fossas sépticas, vazamento dos sistemas de esgoto sanitário e pluvial, depósitos de resíduos sólidos urbanos, entre outros (SILVA; LOPES e AMARAL, 2016).

A análise da localização dos poços avaliados e monitorados (figura 17) mostra que de acordo com a evolução urbana do município de Tupã, a maioria dos poços está na área central, uma região residencial e a primeira de uso e de ocupação do solo.

O município de Tupã, desde a sua fundação até o início dos anos 80 possuía somente 37% da rede coletora de esgoto e 100% do esgoto não era tratado conforme apresentado no documento Moção N. 203/13 (CÂMARA MUNICIPAL DA ESTÂNCIA TURÍSTICA DE TUPÃ, 2013).

A companhia de saneamento básico do estado de São Paulo (SABESP) assumiu as responsabilidades dos serviços de saneamento no município de Tupã no ano de 1978 e a Estação de Tratamento de Esgotos entrou em operação em julho/2002 (figura 26), o que comprova a ausência do tratamento nos anos anteriores.

O descarte do esgoto in natura no solo, a construção de inúmeras fossas sépticas no passado, o vazamento das redes coletoras de esgoto antigas, a permeabilidade alta dos solos do município e a vulnerabilidade natural à poluição do aquífero podem explicar a contaminação desses poços através de efluentes domésticos.

Figura 26 - Estação de tratamento de Esgoto de Tupã-SP



Fonte: Bocchiglieri e Paganini (2010).

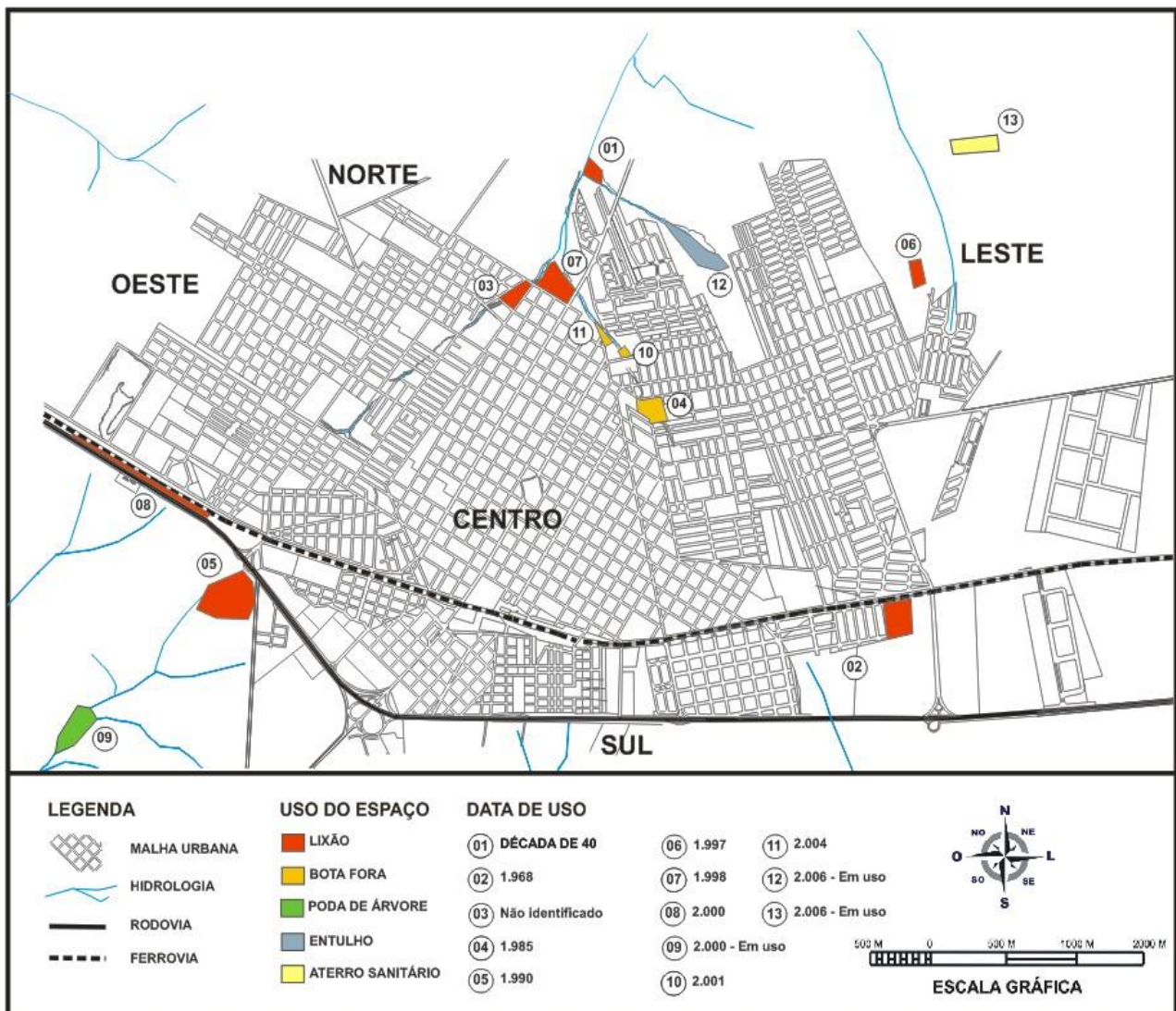
No ano de 2018 o município conseguiu obter 100% de coleta e 100% de tratamento dos seus esgotos (PREFEITURA DA ESTÂNCIA TURÍSTICA DO MUNICÍPIO DE TUPÃ, 2018).

Esse cenário mostra a importância das redes de coleta e tratamento de esgotos nas regiões urbanas e de expansão urbana.

Outra possibilidade de contaminação seria a existência de área de armazenamento de resíduos sólidos, os chamados lixões, como mostra a figura 27.

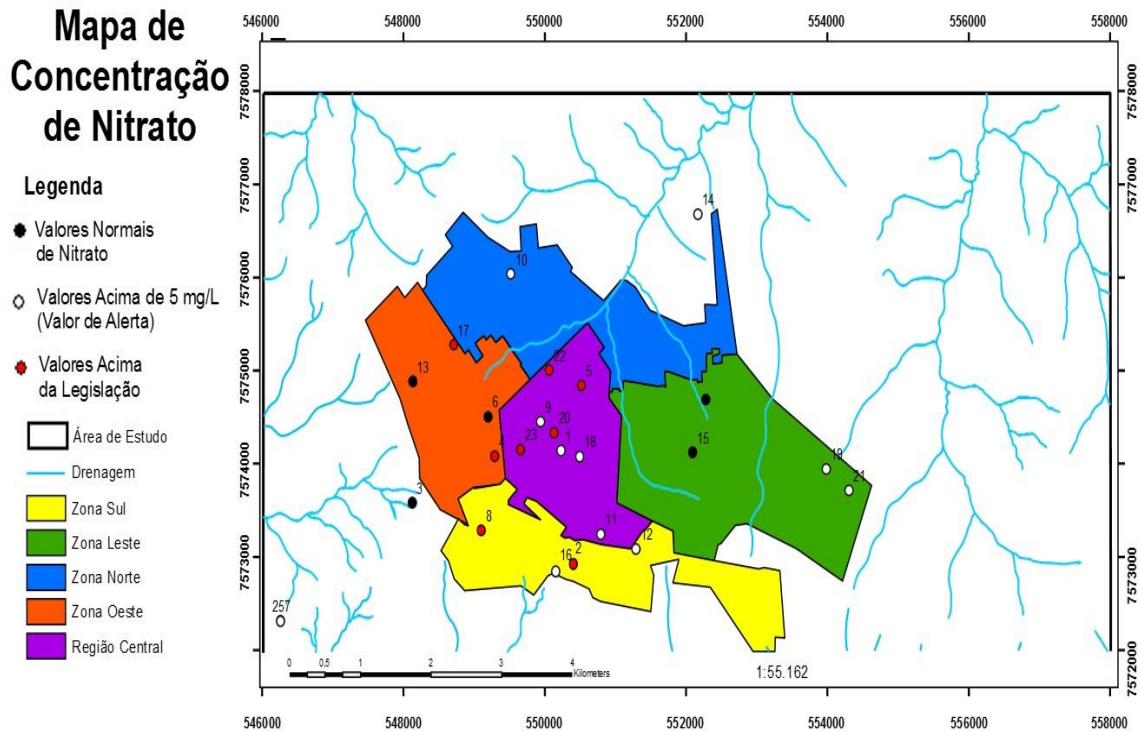
Na figura 28 é possível uma melhor visualização dos níveis de contaminação por nitrato e sua distribuição nas diferentes regiões do município.

Figura 27 - Histórico dos Depósitos Tecnogênicos na Cidade de Tupã



Fonte: Benini e Martin (2012).

Figura 28 - Concentração de nitrato e distribuição nas diferentes regiões do município de Tupã.



Fonte: Elaborada pelo autor

A análise da figura 28 mostra que a maioria dos poços com concentração acima do estabelecido pela legislação (10 mg/L) e com concentração de alerta (acima de 5 mg/L) estão localizados na região central

Em relação à existência de lixões e suas influências na contaminação das águas subterrâneas, deve-se considerar que esses lixões embora desativados podem afetar a qualidade das águas. Segundo Silva et al (2014), os lixões não dispõem de quaisquer critérios técnicos-científicos de proteção ao meio ambiente, em especial para as águas subterrâneas, não impedindo, dessa forma, a migração de compostos químicos para o subsolo que derivam da decomposição da matéria orgânica e outros efluentes, como o hospitalar e industrial.

É importante ressaltar ainda, que o encerramento de um lixão deve seguir medidas de proteção e de recuperação da área para evitar a continuidade dos impactos sobre o meio ambiente. A comprovação da inexistência dessas medidas pode ser uma das explicações para a contaminação por nitrato observada neste estudo.

Neste estudo também foi constatado a existência de cemitérios no entorno dos poços avaliados.

Segundo Kemerich et al. (2012a), os cemitérios são fontes potenciais de contaminação ambiental.

O necrochorume gerado pela decomposição dos corpos humanos apresenta uma carga poluidora elevada e, em virtude do local onde se encontra, poderá atingir e contaminar o solo e os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. O problema é agravado quando as necrópoles estão localizadas em áreas de vulnerabilidade considerável e a população do entorno faz uso direto dos recursos hídricos contaminados, estando, assim, sujeita a doenças de veiculação hídrica (KEMERICH et al., 2012a).

Esta fonte de contaminação ambiental reforça a hipótese da contaminação dos poços que se localizam no entorno desses cemitérios conforme mostra a figura 29.

O monitoramento das águas dos poços selecionados foi realizado no período de 12 meses para verificar possíveis alterações no grau de contaminação.

A influência dos índices de chuva sobre as características microbiológicas e físico-químicas foi avaliada, com enfoque na contaminação por nitrato que foi a mais significativa deste trabalho. Os poços 1, 14 e 19 foram avaliados no período de fevereiro de 2015 a janeiro de 2016, o poço 8 foi avaliado de abril/2015 a março/2016 e o poço 20 de maio/2015 a abril/2016.

A intensidade das chuvas, os transbordos de córregos, as erosões hídricas, a danificação das redes de esgoto e pluviais, o vazamento de efluentes no solo, e a vulnerabilidade natural do aquífero, formam uma série de vulnerabilidades ambientais que podem contribuir para a lixiviação de poluentes físicos, químicos e biológicos nos poços de águas subterrâneas.

Na análise temporal dos resultados verificou-se que não houve variações significativas nas concentrações de nitrato nos períodos de chuva e de seca, o que pode ser constatado pelo baixo valor do desvio padrão apresentado nas tabelas 5 a 9.

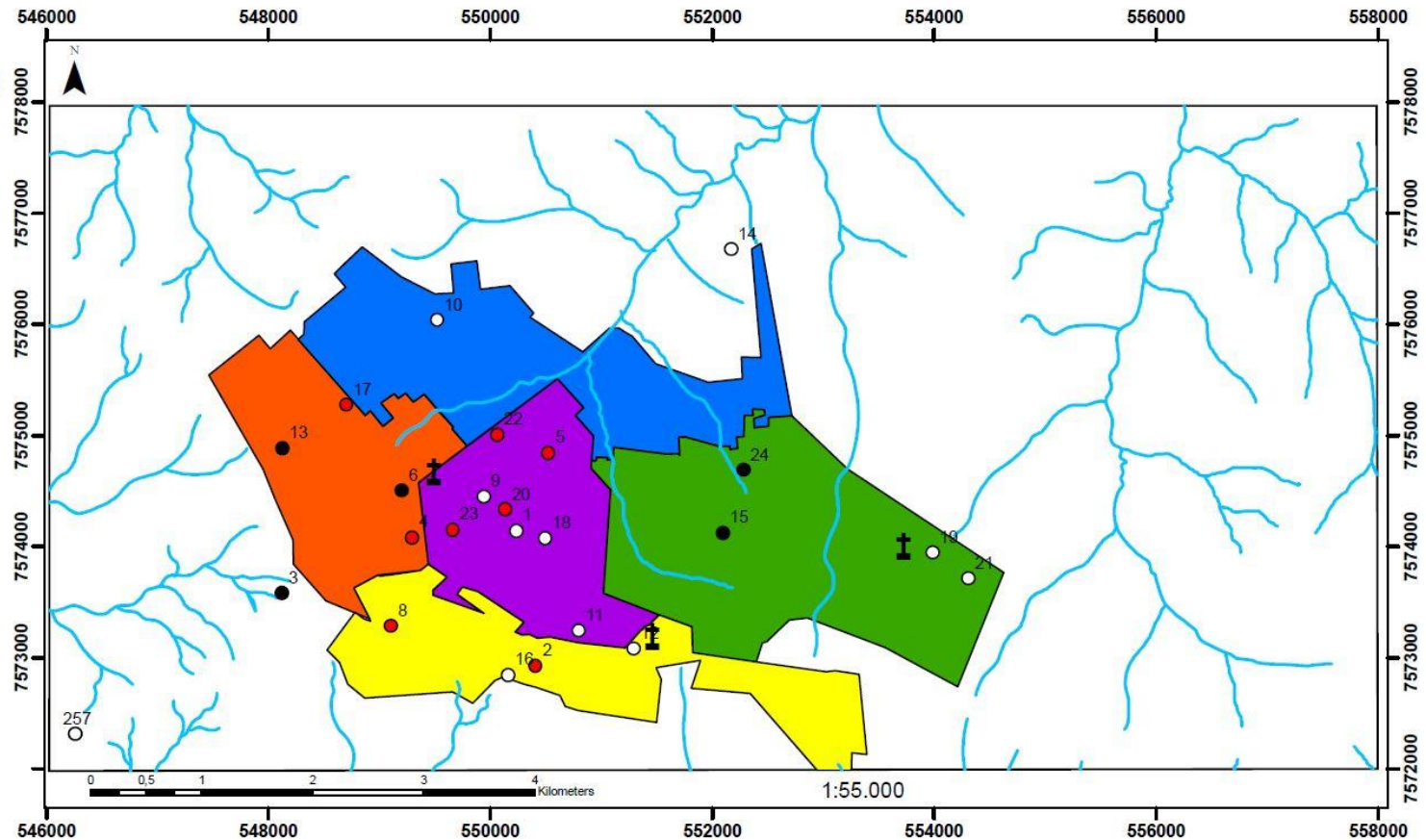
Os dados pluviométricos referentes ao período de análise são apresentados no anexo I.

Figura 29 - Localização dos poços no entorno dos cemitérios.

Mapa de Concentração de Nitrato

Legenda

- Valores Normais de Nitrato
- Valores Acima de 5 mg/L (Valor de Alerta)
- Valores Acima da Legislação
- ▭ Área de Estudo
- Drenagem
- † Cemitérios
- Zona Sul
- Zona Leste
- Zona Norte
- Zona Oeste
- Região Central



Fonte: Elaborada pelo autor

Os dados de profundidade dos poços também foram avaliados, conforme apresentados na tabela 10.

Os valores de profundidade variaram de 60 a 152 metros sendo a média de 93,8 metros. Do total de poços avaliados, 15 poços possuem profundidade de 60 a 100 metros, 4 poços possuem profundidade entre 120 a 152 metros e 6 não possuem informações sobre a profundidade.

Em relação à contaminação microbiológica, os resultados mostram que dos 11 poços que apresentaram coliformes totais, 2 apresentam profundidade superior a 100 metros e os 3 poços que apresentaram contaminação por *E.coli* apresentam profundidade superior a 100 metros.

A relação entre profundidade dos poços e contaminação por nitrato mostra que os 8 poços com concentração de nitrato acima do valor máximo permitido pela legislação apresentam profundidade inferior a 100 metros.

Embora os poços com profundidade acima de 100 metros apresentem valores de nitrato de acordo com a legislação vigente, esses valores indicam a presença de nitrato em poços de maior profundidade e, seguindo a orientação da CETESB, para valores acima de 5 mg/L, os poços devem ser monitorados.

Tabela 10 – Dados de profundidade dos 25 poços avaliados no município de Tupã.

continua

Nº POÇO TUBULAR	IDENTIFICAÇÃO (LOCAL DE COLETA)	SISTEMA (AQUÍFERO-FORMAÇÃO)	PROFUNDIDADE (m)	VAZÃO m³/h	COORDENADA X	COORDENADA Y	MONITORADO
1	Hospital	Bauru-Adamantina	91	9,4	550236	7574141	SIM
2	Indústria Alimentícia	Bauru-Adamantina	68,5	5	550411	7572924	NÃO
3	Posto de Gasolina	Bauru-Adamantina	80	4,4	548127	7573582	NÃO
4	Posto de Gasolina	Bauru-Adamantina	80	1,1	549298	757408	NÃO
5	Posto de Gasolina	Bauru-Adamantina	84	0,49	550526	7574845	NÃO
6	Posto de Gasolina	Bauru-Adamantina	60	2,8	549205	7574504	NÃO
7	Indústria Alimentícia	Bauru-Adamantina	152	22,62	546266	7572311	NÃO
8	Hospital	Bauru-Adamantina	100	7,05	549106	7573286	SIM
9	Posto de Gasolina	Bauru-Adamantina	S/I	S/I	549945	7574449	NÃO
10	Indústria Alimentícia	Bauru-Adamantina	120	10	549526	7576037	NÃO
11	Posto de Gasolina	Bauru-Adamantina	75	6	550801	7573244	NÃO
12	Granja	Bauru-Adamantina	80	6,4	551294	7573081	NÃO
13	Buffet	Bauru-Adamantina	S/I	S/I	548132	7574883	NÃO
14	Indústria Metalúrgica	Bauru-Adamantina	91	5,64	552174	7576677	SIM
15	Posto de Gasolina	Bauru-Adamantina	S/I	4,6	552100	7574122	NÃO

Tabela 10 – Dados de profundidade dos 25 poços avaliados no município de Tupã.

IDENTIFICAÇÃO (LOCAL DE COLETA)	IDENTIFICAÇÃO (LOCAL DE COLETA)	SISTEMA (AQUÍFERO- FORMAÇÃO)	PROFUNDIDADE (m)	VAZÃO m³/h	COORDENADA		MONITORADO
					X	Y	
16	Indústria	Bauru-Adamantina	60	2,5	550163	7572844	NÃO
17	Clínica Médica	Bauru-Adamantina	100	5,14	548707	7575275	NÃO
18	Imobiliária	Bauru-Adamantina	70	3,9	550500	7574076	NÃO
19	Buffet	Bauru-Adamantina	139,5	4,6	553990	7573944	SIM
20	Hotel	Bauru-Adamantina	100	5,14	550136	7574334	SIM
21	Indústria Alimentícia	Bauru-Adamantina	S/I	S/I	554308	7573714	NÃO
22	Serviços de Saúde	Bauru-Adamantina	80	21,68	550067	7575006	NÃO
23	Serviços de Saúde	Bauru-Adamantina	S/I	S/I	54966	7574152	NÃO
24	Indústria Alimentícia	Bauru-Adamantina	S/I	S/I	552285	7577688	NÃO
25	Indústria Alimentícia	Bauru-Adamantina	152	15	546266	75772311	NÃO

S/I = sem informação

As condições construtivas dos poços e de conservação do entorno também foram observadas neste estudo, considerando que são fatores preocupantes e podem afetar a qualidade das águas subterrâneas. Nas figuras 30 a 33 as condições de alguns poços podem ser melhor observadas.

Figura 30 - Condições construtivas e de conservação do poço nº 1



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 31 - Condições construtivas e de conservação do poço nº 2



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 32 - Condições construtivas e de conservação do poço nº 19



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 33 - Condições construtivas e de conservação do poço 20



Fonte: Elaborada pelo autor

A avaliação das condições construtivas e ambientais dos poços estudados foi realizada por meio de visitas aos locais, junto com os agentes da Vigilância Sanitária do município de Tupã.

Nessa avaliação foi possível observar que a maioria dos poços não são cercados com alambrados e portões com fechaduras adequadas para a realização de manutenção e para impedir a entrada de pessoas e animais; não possuem lajes de proteção adequadas nem tubo auxiliar para medidas de níveis; não existem

dados das características técnicas de construção dos poços e falta higiene e limpeza do local onde os poços estão instalados.

A proteção sanitária é fundamental para impedir a infiltração de contaminantes pelo próprio poço e neste estudo verificou-se que todos os poços visitados e avaliados apresentam condições inadequadas.

6 CONCLUSÕES

Este estudo mostrou a importância das análises microbiológicas e físico-químicas das águas subterrâneas do município de Tupã – SP, do conhecimento das causas de contaminação antrópica e seus impactos na qualidade da água para consumo humano e fornece subsídio para o estabelecimento de uma correta gestão dos recursos hídricos e, conseqüentemente, a redução dos riscos relacionados às doenças de transmissão hídrica, proteção da saúde dos consumidores e do meio ambiente.

Na avaliação de 25 poços, os resultados das análises microbiológicas revelaram uma elevada porcentagem de amostras contaminadas, 11 amostras (44%) apresentaram coliformes totais e 3 (12%) apresentaram *E.coli*.

Todas as amostras com presença de coliformes totais e ou *E coli* não apresentavam cloro residual livre (CRL). Pela Legislação em vigor é obrigatória a manutenção de no mínimo 0,2 mg/L de cloro residual livre.

Os resultados de cor aparente, turbidez, sólidos dissolvidos totais (STD), dureza total, ferro, cloretos e fluoretos mostraram que todas as amostras analisadas apresentaram valores de acordo com a Legislação vigente.

As análises dos compostos nitrogenados mostraram que os resultados de amônia e nitrito estavam de acordo com os padrões estabelecidos pela legislação e a presença de nitrato foi observada em todas as amostras com valores que variaram de 1,9 a 23,2 mg/L NO_3^- -N e valor médio de 9,8 mg/L NO_3^- -N. Do total de 25 amostras analisadas, 8 (32%) estavam em desacordo com a legislação em vigor por apresentar concentração acima do valor máximo permitido.

Os valores de pH variaram de 6,8 a 7,2 estando de acordo com a legislação em vigor que recomenda valores entre 6,0 e 9,5. A maioria das águas subterrâneas apresenta pH entre 5,5 a 8,5.

No monitoramento dos cinco poços selecionados a partir da avaliação inicial de 25 poços, as análises microbiológicas revelaram contaminação por coliformes totais em pelo menos uma das amostras de cada poço monitorado no período de 12 meses e identificaram a presença de *E.coli* em apenas um dos poços avaliados no período, indicando que estava em desacordo com a legislação em vigor, que

estabelece como referência a ausência desse microrganismo em águas para o consumo humano.

A análise dos resultados de cloro residual livre (CRL) mostrou que quase a totalidade das amostras com contaminação microbiológica apresentava ausência de CRL.

Os resultados das análises de cor aparente, turbidez, dureza total, amônia nítrico, ferro, cloreto, fluoreto e sólidos dissolvidos totais obtidos durante o monitoramento indicaram que nenhuma das amostras analisadas apresentou valores acima do máximo permitido pela legislação em vigor.

Quanto aos resultados das análises de nitrato, com exceção do poço nº 20 (Hotel) que apresentou variações nas concentrações, todos os resultados dos demais poços monitorados estavam de acordo com o estabelecido pela legislação e não apresentaram grandes variações entre os meses de avaliação.

Os resultados de nitrato mostraram ainda que com exceção do poço nº 19, cujos valores obtidos estavam abaixo de 5 mg/L, todos os demais poços monitorados apresentaram valores acima de 5 mg/L e segundo a CETESB devem ser monitorados.

O conjunto de resultados obtidos neste estudo é inédito e mostrou que as contaminações das águas dos poços estão relacionadas às contaminações microbiológicas decorrentes da presença dos microrganismos coliformes totais e *E coli* e química devido à presença de nitrato.

As variações das concentrações de nitrato dos poços monitorados foram verificadas e mostraram que não houve variações significativas nas concentrações de nitrato nos períodos de chuva e de seca, durante 12 meses.

Os dados das profundidades dos poços deste estudo mostram que a maioria dos poços apresenta profundidade de 60 a 100 metros.

Os resultados referentes às análises de nitrato relacionadas às profundidades dos poços são preocupantes, pois mostram a presença de nitrato em poços com profundidades superiores a 100 metros.

A avaliação das principais fontes de contaminação das águas subterrâneas, provenientes do município de Tupã-SP, identificou os efluentes domésticos, a existência de áreas de armazenamento de resíduos sólidos ou lixões e de cemitérios

no entorno dos poços avaliados como as prováveis causas de contaminação dessas águas.

A avaliação das condições construtivas e ambientais dos poços estudados foi realizada e constatou-se que a maioria dos poços não são cercados com alambrados e portões com fechaduras adequadas para a realização de manutenção e para impedir a entrada de pessoas e animais; não possuem lajes de proteção adequadas nem tubo auxiliar para medidas de níveis; não existem dados das características técnicas de construção dos poços e falta higiene e limpeza do local onde os poços estão instalados.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos neste estudo identificou-se a necessidade de se estabelecer um Plano de Gestão Municipal Integrado dos Recursos Hídricos Subterrâneos, urgente, envolvendo os órgãos competentes da esfera Estadual e Municipal, para:

- Promover ações permanentes de avaliação da qualidade das águas dos poços, fiscalização e outorga;
- Desenvolver um programa de educação ambiental para conscientização do usuário sobre a importância da água subterrânea;
- Levantar dados e mapear as áreas mais vulneráveis à contaminação do Sistema Aquífero Bauru;
- Elaborar cadastro das fontes potenciais de contaminação;
- Determinar Perímetros de Proteção de Poços.
- Incluir no relatório mensal dos sistemas de solução alternativa coletiva de forma obrigatória o parâmetro nitrato para todos os poços cadastrados.
- Desenvolver um programa de remediação de nitrato em todos os poços contaminados.
- Avaliar os riscos à saúde humana e ambiental das águas impróprias para consumo humano devido à contaminação por nitratos.

Todas essas ações têm como objetivo medidas de proteção das águas subterrâneas para assegurar à atual e às futuras gerações do município de Tupã SP, disponibilidade de água em quantidade e qualidade de acordo com os padrões de potabilidade da legislação vigente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Educação. Disponível em: <<http://www.abas.org/educacao.php>>. Acesso em: 08 jan. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (Brasil). **Cadernos de Recursos Hídricos**. Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2005. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/planejamentoplanos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>. Acesso: 18 jan. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (Brasil). **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil e Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília, 2007. 124 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Brasília, 2011. 154 p.

ALBUQUERQUE FILHO, J.L. et al. O papel das águas subterrâneas como reserva estratégica de água e diretrizes para a sua gestão sustentável. **Revista Recursos Hídricos**. v. 32, n. 2, p. 53-61, 2011.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. American Water Works Association, Water Environment Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, DC, 22ND ed. 2012.

ANGELOVIČOVÁ, M. et al. Nitrate and nitrite contents in the private ground water wells. **Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences**., v. 11, n. 1, p. 344-354, 2017.

ARAÚJO, P. P. et al. Classificação hidroquímica e contaminação por nitrato no aquífero livre Barreiras na bacia do rio Capitão Pocinho região do médio rio Guamá na Amazônia oriental. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, n. 6, v.2, 2011.

BENINI, S. M.; MARTIN, E. S. Resíduos sólidos urbanos: estudo de caso da Estância Turística de Tupã/SP. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**. Dilemas da sustentabilidade urbana, v. 8, n. 4, 2012.

BIAN, J. et al. Hydro-Geochemical Characteristics and Health Risk Evaluation of Nitrate in Groundwater. **Pol. J. Environ. Stud.** v.25, n. 2, p. 521-527, 2016.

BIGUELINI, C. P.; GUMY, M. P. Saúde Ambiental: Índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região sudoeste do Paraná. **Revista faz ciência**, v. 20, p. 153-175, 2012.

BOCCHIGLIERI, M. M. **O lixiviado dos aterros sanitários em Estações de Tratamento dos Sistemas Públicos de Esgoto**. 2010. 255 f – Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BOSCARDIN BORGHETTI, N. R.; BORGHETTI, J. R.; DA ROSA FILHO, E. F. O Aquífero Guarani. 2004. Disponível em: <www.oaquiferoguarani.com.br>. Acesso em: 15 fev. 2018.

BORGHETTI, N.; BORGHETTI, J. R.; ROSA, E. F. F. **Aquífero Guarani – A verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba, 2004.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/l9433.htm>. Acesso em: 05 jan. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria 1469. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 02 de jan. 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, 2006. 212 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Manual de orientação para cadastramento das diversas formas de abastecimento de água para consumo humano** / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2007. 40 p. – (Série A. Normas e Manuais Técnicos).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 7 abr.2008. Seção 1, p.66-68.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 14 dez. 2011, Seção 1, nº 239, p. 39-46.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5. Consolidação das normas sobre ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 03 out. 2017, Seção 1 – Suplemento, p. 360.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Aquífero Guarani: gestão do Sistema Aquífero Guarani**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/legislacao/item/8617-aqu%C3%A9fero-guarani>>. Acesso em: 13 mar. 2018.

CÂMARA MUNICIPAL DA ESTÂNCIA TURÍSTICA DE TUPÃ, Moção N. 203, 2013.

CAMERON, J. **Groundwater Essentials National Water Commission**, Austrália, 2012.

CANATO, H. M. et al. Caracterização hidrogeoquímica do aquífero Adamantina na área urbana de Bauru, SP. **Ciência & Engenharia**. v. 23, n. 2, p. 39-47, 2014.

CAVALCANTI, M.; CRISTÓFOLI, F. A importância do planejamento estratégico na utilização da água no Brasil. **IX Encontro Nacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**. Curitiba, 19 a 21 de novembro de 2007.

CENTRO DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Água para consumo humano-PROÁGUA**. Disponível em: <http://www.cvs.saude.sp.gov.br/prog.asp?te_codigo=13> Acesso em: 17 jan. 2018.

COELHO, S. C. et al. Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil. *Rev. Ambient. Água*, v.12, n.1, p.156-167, 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Brasília: ANA, 2011.326 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. CETESB. **Qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo 2013-2015**. São Paulo, 2016.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Águas subterrâneas**. 2018. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/informacoes-basicas/poluicao-das-aguas-subterraneas>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

COLVARA, J. G.; LIMA, A. S.; SILVA, W. P. Avaliação da contaminação de água subterrânea em poços artesianos no sul do Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Food Technology**. Campinas, II SSA, 2009.

CORDEIRO DE SOUZA, L. O município como partícipe na proteção das águas subterrâneas no Brasil. **Boletín Geológico y Minero**. v. 123, n.3, p. 377-388, 2012.

COSTA, C. L. et al. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas em poços do estado do Ceará, Brasil. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**. v. 33, n. 2, p. 171-180, 2012.

CRUZ, J. V. et al. The chemical status of ground water and pollution risk in the Azores archipelago (Portugal). **Environmental Earth Sciences**. v. 73, n. 6, p. 2763–2777, 2015.

DOVIDAUSKAS, S. et al. Parâmetros físico-químicos incomuns em água de abastecimento público de um município da região nordeste do Estado de São Paulo (Brasil). **Vigil. Sanit. Debate**, v. 5 n. 1, p.106-115, 2017.

ECKHARDT, R. R. et al. Mapeamento e avaliação da potabilidade subterrânea do município de Lajeado, RS, Brasil. **Ambiente e Água – Na Interdisciplinary Journal of Applied Science**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 58-80, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA (Brasil). **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água.** 2011.

EMBRAPA (Brasil). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Panorama da Contaminação Ambiental por Agrotóxicos e Nitrato de origem Agrícola no Brasil: Cenário 1992/2011,** 2014.

FEITOSA, A. C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3. Ed. rev e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008, 812 p.

FOSTER, S. et al. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais.** São Paulo: Servmar – Serviços Técnicos Ambientais Ltda, 2006.

FREITAS, M. B.; FREITAS, C. M de. A vigilância da qualidade da água para consumo humano – desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. **Ciênc. saúde coletiva.** n. 10, v. 4, 2005.

GALAVIZ-VILLA, I. et al. Agricultural Contamination of Subterranean Water with Nitrates and Nitrites: An Environmental and Public Health Problem. **Journal of Agricultural Science,** v.2, n. 2, p.:17-30, 2010.

GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALES, V. G. **Orientações para utilização de águas subterrâneas no Estado de São Paulo,** 2015. Disponível em: <<http://www.daee.sp.gov.br/acervoepesquisa/acervo/orientacao.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

GRIMASON, A. M. et al. Classification and quality of groundwater supplies in the Lower Shire Valley, Malawi – Part 1: Physico-chemical quality of borehole water supplies in Chikhwawa, Malawi. **Water SA,** v. 39, n.4, p. 563-572, 2013.

HIRATA, R. C. A.; FERREIRA, L. M. R. Os aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. **Revista Brasileira de Geociências.** v. 31, n. 1, p 43-50 2001.

HIRATA, R.; FERNANDES, A. J.; BERTOLO, R. As águas subterrâneas: longe dos olhos, longe do coração e das ações para sua proteção. **Acta paul. Enferm.** São Paulo, v.29, n..6, São Paulo, nov./dez. 2016.

HODGE, J. et al. Assessing the Association between thermotolerant Coliforms in drinking water and diarrhea: An analysis of individual-level data from multiple studies. **Environ Health Perspect.** v.124, n.10, p.1560-1567, 2016.

HU, K. et al. Hydrogeological characterisation of groundwater over Brazil using remotely sensed and model products. **Science of the Total Environment.** v. 599-600, p. 372–386, 2017.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo - Brasil). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** 5ª ed. São Paulo; 2008. Disponível em: <www.ial.sp.gov.br>. Acesso em: 21 set. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (Brasil). **Cidades.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/index.php>>. Acesso: 15 jul. 2016.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo.** São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 2012.

KRISHAN, G. et al. Assessment of Groundwater Quality for Drinking Purpose by Using WATER QUALITY INDEX (WQI) in Muzaffarnagar and Shamli Districts, Uttar Pradesh, India. **Hydrol Current Res.** v. 7, n. 227, 2016.

KEMERICH, P. D. C.; UCKER, F. E.; BORBA, W. F. Cemitérios Como Fonte de Contaminação Ambiental. **Revista Scientific American Brasil,** v.1, p. 78-81, 2012.

LAUTHARTTE, L.C. et al. Avaliação da qualidade da água subterrânea para consumo humano: Estudo de caso no Distrito de Jaci-Paraná, Porto Velho – Ro. **Águas Subterrâneas.** v. 30, n. 2, p. 246-260, 2016.

MALHEIROS, P da S. et al. Contaminação bacteriológica de águas subterrâneas da região oeste de Santa Catarina, Brasil. **Rev. Inst. Adolfo Lutz (Impr.),** v. 68, n. 2, 2009.

MARCON, A. E.; MARTINS, C. A.; STEIN, P. Caracterização das águas subterrâneas do aquífero Jandaíra em subsídio ao programa água doce no Rio Grande do Norte (PAD/RN). In: XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas., 2014. Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** ABAS, 2014. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1303>>. Acesso em: 12 set. 2017.

MARTINS NETTO et al., Gênese, ocorrência e tecnologias de tratamento para o excesso de flúor na água subterrânea, com ênfase a região metropolitana de São Paulo. In: XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2016. **Anais eletrônicos...** ABAS, 2016. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1315>> Acesso em: 12 jun. 2018.

MEDEIROS, G. H de.; DOURADO, J. C. Análise da potabilidade da água subterrânea da bacia do ribeirão São João, municípios de Palmas, Porto Nacional e Monte do Carmo, Tocantins. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. **Anais eletrônicos ABAS**, 2010. Disponível acesso em: 01 set. 2017.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Avaliação da Vigilância da Qualidade da Água no Estado de São Paulo – Ano base 2011. Brasília 2012.

MIRANDA, R. A. C de.; OLIVEIRA, M. V. S de.; SILVA, D. F da. Ciclo hidrológico planetário: abordagens e Conceitos. **GEOUERJ**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 21, p. 109-119, 2010.

MONTES, A. V.; MORENO, E. M.; NAKAYAMA, I. B. **Tupã**: Depoimentos de uma cidade. 2. Ed. Revisada e atualizada. Tupã: Iara Bianchi, 2012.

NAKAMURA et al. **Avaliação da qualidade da água subterrânea no entorno de um aterro sanitário**. Águas Subterrâneas, v. 28, n. 2, p. 28-40, 2014.

NARVAI, P. C. **Cárie dentária e flúor: uma relação do século XX**. Ciênc. saúde coletiva [online], v. 5, n. 2, p.381-392, 2000.

NASCIMENTO, S. A de M.; BARBOSA, J. S. F. Qualidade da água do Aquífero freático no Alto Cristalino de Salvador, Bacia Do Rio Lucaia, Salvador, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 4, p.543-550, 2005.

NIU, B. et al. Twenty years of global groundwater research: A Science Citation Index Expanded-based bibliometric survey (1993–2012). **Journal of Hydrology**, v. 519, Part A, p. 966-975, 2014.

OLIVEIRA, C. P. Águas subterrâneas: fontes legais e seguras de abastecimento. **ABAS**. Caderno Técnico nº. 5, 2012.

PAIVA, R. F. P. S.; SOUZA, M. F. P. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. **Cad. Saúde Pública**. v.34, n. 1, p. 1-11, 2018.

PAULA E SILVA F. Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro. 166 p, 2003.

PAULA E SILVA, F de.; CHANG, H. K.; CAETANO-CHANG, M. R.; Perfis de referência do Grupo Bauru (K) no Estado e São Paulo. **Geociências**, v. 22, N. Especial, p. 21-32, 2003.

PLANO MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 2010-2013 DO MUNICÍPIO DE TUPÃ. Disponível em: <www.cati.sp.gov.br/conselhos/arquivos_mun/609_30_11_2010_PMDRS%20TUPA.doc> Acesso em 25 jul. 2018.

POCOL, A. P.; VALENTIM, L. S. O. Vigilância da qualidade da água para consumo humano no Estado de São Paulo. **BEPA**. v.1, n.9, p. 1-7, 2004.

PRANDI, E. C. et al. Águas subterrâneas: Fonte de Abastecimento para a Área do Comitê dos Rios Aguapé e Peixe. In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. **Anais eletrônicos...** ABAS, 1998. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22303/14646>. Acesso em: 18 jan. 2018.

PREFEITURA DA ESTÂNCIA TURÍSTICA DO MUNICÍPIO DE TUPÃ. Saneamento básico em Tupã é comparado a padrão Europeu de qualidade. Disponível em: <https://www.tupa.sp.gov.br/noticia/4135/saneamento-basico-em-tupa-e-comparado-a-padrao-europeu-de-qualidade.html>. Acesso em: 10 jul. 2018.

RAZZOLINI, M. T. P.; GÜNTHER, W. M. R. Impactos na saúde das deficiências de acesso à água. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v.17, n.1, p. 21-32, 2008.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G.; (orgs.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 4. ed. Revisada e ampliada, São Paulo: Escrituras, 2015.

SÃO PAULO. Resolução SS 65, de 12 de abril de 2005. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano no Estado de São Paulo e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado**. São Paulo, SP, 13 abr. 2005 Seção 1, p. 18

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. 1.ed. Meio ambiente paulista [recurso eletrônico]: relatório de qualidade ambiental 2016/Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Planejamento Ambiental; Organizadores Edgar Cesar de Barros. Equipe técnica Aline Bernardes Cândido...et al. — 1ª ed. — São Paulo: SMA, 2016. 320 p.

RIBEIRO, M. L. et al. Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar. **Quím. Nova**. v.30, n. 3, 2007.

SAWYER, N. N.; McCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for environmental engineering and Science**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2003. 752 p

SILVA, I.N. et al. **Qualidade de água na irrigação**. ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido. v. 7, p. 1-15, 2011.

SILVA, L. J da.; LOPES, L. G.; AMARAL, L. A. Qualidade da água de abastecimento público do município de Jaboticabal, SP. **Eng Sanit Ambient**. v. 21, n. 3, p. 615-622, 2016.

SILVA, G. F. et al. Avaliação das concentrações de nitrato e nitrito à Jusante do antigo lixão no município de Rolândia – PR. In: XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2014. **Anais eletrônicos ABAS**. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1191>>. Acesso em: 17 jun. 2018.

SIMABUKURO, E. A. Revestimento geomecânico - metodologia de aplicação. In: XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2000. **Anais eletrônicos ABAS**. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1191>>. Acesso em: 14 fev. 2018.

SOARES, P. C. et al. Ensaio de Caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 3, p. 177-185. 1980.

TAVARES, M. et al. Avaliação físico-química e microbiológica de águas procedentes de soluções alternativas de abastecimento na Região Metropolitana da Baixada Santista, Estado de São Paulo, Brasil. **Vigil. sanit. Debate**. v. 5, n. 1, p.97-105, 2017.

TOUMI, N. et al. Groundwater quality and hydrochemical properties of Al-Ula Region, Saudi Arabia. **Environ Monit Assess**. v.187, n.3, p. 84, 2015.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, 2008, p. 97-112.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Cienc. Cult**. v. 55, n. 4, 2003.

VALENTIM et al. Novos cenários de produção e de vigilância da qualidade da água para consumo humano – 20 anos de Proágua no Estado de São Paulo – Parte I. **BEPA**. v.9, n.100, p. 29-39, 2012.

VARNIER et al. Nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru, área urbana do município de Marília (SP). **Revista do Instituto Geológico**, v. 31, n. 1/2, p. 1-21, 2010.

VARELLA NETO, P. L. Água: Uso e gestão no século XXI – Águas subterrâneas reservas de oportunidades para o desenvolvimento social e econômico. **Geociências**, São Paulo, v.27, n.1, 2008.

VASCONCELOS, S. M. S. Avaliação da recarga subterrânea através da variação do nível potenciométrico no aquífero Dunas/Paleodunas, Fortaleza, Ceará. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 10, n. 2, p. 49-57, 2005.

VASCONCELOS, M. B. Poços para captação de águas subterrâneas: revisão de conceitos e proposta de nomenclatura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 18., 2014. Anais, Belo Horizonte, 2014.

VASCONCELOS, M. B. O que são poços? Um panorama das terminologias utilizadas para captações de águas subterrâneas. *Águas Subterrâneas.*, v. 31, n. 2, p. 44-57, 2017.

VON SPERLING, E. Afinal, quanta água temos no planeta? **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** v. 11, n. 4, p. 189-199, 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality.** 2011. 4th ed. Disponível em: <<http://www.who.int>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Progress on drinking of water and sanitation, 2012. 61 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality.** 4th, 2011. Disponível em: <<http://www.who.int>>. Acesso em: 10 out. 2017.

ZOBY, J. L. G. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, **Revista Brasileira de águas subterrâneas**, Suplemento 2008. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/archive>>. Acesso em: 10 jan.2018.

ANEXO 1

Índices Pluviométricos

Período de 01/01/2011 a 19/04/2018

Município: Tupã SP

Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	total
2011	253,4	301,3	245,8	90,5	4,3	39,4	35,1	37,4	10,8	146,2	75,3	53,1	1.292,6
2012	259,4	96,9	36,8	104,9	107,1	246,4	18,1	-	150,1	89,9	82,3	105,6	1.297,5
2013	179,4	229,0	229,1	211,3	175,4	153,2	30,4	-	45,0	132,1	92,0	124,0	1.600,9
2014	178,8	94,9	79,9	87,2	54,2	4,1	49,5	7,4	154,4	21,1	147,8	261,9	1.141,2
2015	113,6	214,6	211,4	120,8	70,6	43,6	147,9	10,9	106,9	72,4	184,0	70,7	1.367,4
2016	188,1	188,5	45,0	82,2	94,0	83,6	12,2	95,4	44,4	77,5	81,9	156,5	1.149,3
2017	274,3	109,7	85,1	138,4	238,3	94,2	-	105,4	6,4	163,2	183,9	179,4	1.578,3
2018	309,4	133,6	85,0	35,6	-	-	-	-	-	-	-	-	563,6
Média	249,8	155,2	124,5	66,3	64,0	42,8	47,8	34,1	72,4	100,9	119,5	146,0	1.229,4

Fonte: CIIAGRO online. Disponível em: www.ciiagro.sp.gov.br