

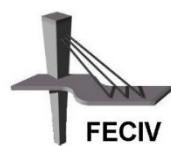
Dissertação de Mestrado

Nº 158

ANÁLISES ESPAÇO TEMPORAIS DA QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA DO AQUÍFERO BAURU NA ÁREA URBANA DE ARAGUARI, MG

EDUARDO HUMBERTO CAMPOS BORGES

UBERLÂNDIA, 21 DE MARÇO DE 2016.



**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil**



Eduardo Humberto Campos Borges

**ANÁLISES ESPAÇO TEMPORAIS DA QUALIDADE DA
ÁGUA BRUTA DO AQUÍFERO BAURU NA ÁREA
URBANA DE ARAGUARI, MG**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil
da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos
requisitos para a obtenção do título de **Mestre em**
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

B732a Borges, Eduardo Humberto Campos, 1987-
2016 Análises espaço temporais da qualidade da água bruta do Aquífero
Bauru na área urbana de Araguari, MG / Eduardo Humberto Campos
Borges. - 2016.
92 f. : il.

Orientador: José Eduardo Alamy Filho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Inclui bibliografia.

1. Aquíferos - Araguari (MG) - Teses. 2. Água - Qualidade - Teses.
3. Monitoramento ambiental - Teses. 4. Águas subterrâneas - Poluição -
Teses. I. Alamy Filho, José Eduardo. II. Universidade Federal de
Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III.
Título.

Dedico este trabalho a Deus, por todo bem que das Suas santas mãos tenho alcançado, sobretudo, pela salvação e esperança que, por Cristo, me foram concedidas. A minha esposa que sabiamente se comporta como porto seguro nos momentos adversos e por sua extrema dedicação. Ao meu filho João Pedro, pelas inúmeras lições de vida que tem nos dado. Ao meu grande pai pelo investimento, pela paciência e por sempre acreditar em mim.



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC

ATA Nº: 158/2016

CANDIDATO: Eduardo Humberto Campos Borges

Nº. Matrícula: 11412ECV003

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho

TÍTULO: "Análises espaço temporais da qualidade da água bruta do Aquífero Bauru na área urbana de Araguari, MG".

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

LINHA DE PESQUISA: Recursos Hídricos e Saneamento

PROJETO DE PESQUISA: Monitoramento, Modelagem e Simulação de Escoamentos em Aquíferos

DATA DA DEFESA: 21 de março de 2016

LOCAL: Sala de Projeções Prof. Celso Franco de Gouvêa, bloco 1Y.

HORÁRIO INÍCIO/TÉRMINO: 14:20 - 15:45

Reuniu-se na **Sala de Reuniões Prof. Celso Franco de Gouvêa , bloco 1Y - Campus Santa Mônica** da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do PPGEC, assim composta: Professores Doutores: **Rodrigo Braga Moruzzi – IGCE/UNESP; Luiz Nishiyama – IG/UFU e José Eduardo Alamy Filho** orientador do candidato. Ressalta-se que o **Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi** participou da defesa por meio de vídeo conferência desde a cidade de Rio Claro (MG) e os demais membros da banca e o aluno participaram in loco.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa **Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho** apresentou a Comissão Examinadora e concedeu ao discente a palavra para a exposição do trabalho. A seguir, o senhor presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais. Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou o candidato aprovado. Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU. Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos e foi lavrada a presente ata que após lida e aprovada foi assinada pela Banca Examinadora.

Professor Orientador: **Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho – FECIV/UFU**

Membro externo: **Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi – IGCE/UNESP**

Membro interno: **Prof. Dr. Luiz Nishiyama – IG/UFU**

Uberlândia, 21 de março de 2016.

A GRADECIMENTOS

Ao orientador, Professor Dr. José Eduardo Alamy Filho, pela excelência profissional e seriedade, pela consideração e compreensão em todas as ocasiões, pela confiança depositada ao aceitar orientar este trabalho e, principalmente, pela sua amizade.

A todos os colaboradores do Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, em especial aos Professores Dr. Marcio Ricardo Salla, coordenador do Laboratório de Saneamento (LABSAN), Dr. André Luiz Oliveira e a técnica Aline Martins Pinheiro pelas preciosas contribuições e apoio técnico instrumental.

A SAE (Superintendência de Água e Esgoto de Araguari) pela parceria e apoio técnico instrumental, em especial ao Sr. Antônio dos Santos Rodovalho Carvalho pela prestatividade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela bolsa concedida durante os anos de curso.

A Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais pelo financiamento do projeto em questão.

BORGES, E. H.C. 92 p. Análises Espaço Temporais da Qualidade da Água Bruta do Aquífero Bauru na Área Urbana de Araguari, MG. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

RESUMO

O Aquífero Bauru é considerado a unidade hidrogeológica mais importante de Araguari, Minas Gerais. A água deste aquífero é intensamente explorada devido ao baixo custo de captação, que está relacionado ao fato de ser um aquífero freático, pouco profundo e local, submetido a uma abundante recarga. No entanto, essas características o torna potencialmente vulnerável aos agentes poluidores. Este trabalho teve como objetivo oferecer um panorama geral sobre a qualidade da água bruta do aquífero Bauru, na zona urbana de Araguari, identificando possíveis fontes de poluição. As amostras de água foram coletadas em poços da concessionária de abastecimento público. Os critérios para seleção dos poços foram: distribuição espacial, operacionalidade, estrutura e zonas de risco. As amostras foram coletadas a montante do ponto de aplicação do desinfetante, garantindo os aspectos qualitativos da água bruta. Foram amostrados 68 poços, correspondendo a 80 % do poços em operação. Foram realizadas 2 campanhas de campo, sendo a primeira em novembro de 2012 e a segunda em dezembro de 2014. As amostras foram submetidas a ensaios de pH, nitrato, nitrito, fósforo, DQO, DBO₅, cor aparente, turbidez, sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos voláteis totais e fixos totais. Os resultados das etapas de campo e laboratoriais permitiram o mapeamento dos parâmetros de qualidade e a identificação das áreas críticas em termos de poluição. Os resultados indicaram que vazamentos de esgoto sanitário, em áreas que apresentam elevados índices de vulnerabilidade, podem ser a causa da presença nitrato e sólidos voláteis em alguns poços analisados. Apesar disso, a água bruta do Aquífero Bauru ainda apresenta boa qualidade com propriedades físico-químicas e bacteriológicas adequadas a diversos usos. Apesar das concentrações encontradas ainda serem inferiores aos limites estabelecidos pela legislação vigente, fica evidente a importância do monitoramento contínuo da qualidade da água subterrânea extraída para o abastecimento urbano.

Palavras-chave: Aquífero Bauru, qualidade da água, monitoramento, mapeamento, fontes de poluição.

Borges, E.H.C. Space Temporal analysis of the Raw Water Quality of the Aquifer Bauru in Area Urban of the Araguari city, MG. 92 pp. MSc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2016.

ABSTRACT

The Bauru Aquifer is considered the most important hydrogeological unit of the city of Araguari, Minas Gerais. The water from this aquifer is exploited due to low cost, which is related to the fact of being a shallow and local subjected to an abundant recharging. However, these characteristics makes it potentially vulnerable to pollutants. This work aimed to provide an overview of the quality of raw water from the aquifer Bauru underlying the urban area of Araguari, identifying possible sources of pollution. Water samples were collected in wells of public water utility. The criteria for selection of the wells were: spatial distribution, operation, structure and risk areas. The samples were collected upstream of disinfectant application point, ensuring the qualitative aspects of raw water. 68 wells were sampled corresponding to 80% of the wells in operation. Were held two field campaigns, the first in November 2012 and the second in December 2014. The samples were subjected to pH tests, nitrate, nitrite, phosphorus, COD, BOD, apparent color, turbidity, total solids, solids total dissolved, total suspended solids, total volatile solids and total fixed. The results of field and laboratory steps allowed the mapping of quality parameters and the identification of critical areas in terms of pollution. The results indicated that wastewater leaks in areas that have high levels of vulnerability may be the cause of nitrate and volatile solids present in some wells examined. Nevertheless, the raw water from the aquifer Bauru still has good quality with physical-chemical and bacteriological appropriate to different uses. Although the concentrations found are still below the limits established by law, it is clear the importance of continuous monitoring of groundwater quality extracted for urban supply.

Keywords: Bauru Aquifer, water quality monitoring, mapping, pollution sources.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.4. JUSTIFICATIVA.....	2
1.5. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	3
CAPÍTULO 2.....	5
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	5
2.2. TIPOS DE AQUÍFEROS	6
2.3. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	10
2.4. POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	12
2.5. ESTUDOS DE CASO	19
CAPÍTULO 3.....	22
RECORTE ESPACIAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	22
CAPÍTULO 4.....	34
METODOLOGIA	34
4.1. LEVANTAMENTO E SELEÇÃO DOS POÇOS	34
4.2. COLETA DE ÁGUA E GEORREFERENCIAMENTO DOS POÇOS	39
4.3. ANÁLISES LABORATORIAIS	43
4.4. AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	43
4.5. INTERPOLAÇÕES ESPACIAIS E CONSTRUÇÃO DE MAPAS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	44
CAPÍTULO 5.....	45
RESULTADOS.....	45
5.1. NITRATO, NITRITO E FÓSFORO TOTAL	45
5.2. DQO E DBO.....	48
5.3. pH.....	50
7.1. COR E TURBIDEZ.....	52
9.1. SÉRIE DE SÓLIDOS.....	54
11.1. COLIFORMES TERMOTOLERANTES.....	57
11.2. ANÁLISE CONJUNTA DOS RESULTADOS.....	57
CAPÍTULO 6.....	73
CONCLUSÃO	73
CAPÍTULO 7.....	74
REFERÊNCIAS	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação das fontes de poluição e contaminação	13
Tabela 2: Poluentes e contaminantes comuns da água subterrânea e suas principais fontes.....	15
Tabela 3: Distribuição quantitativa dos poços por tipo de uso.....	25
Tabela 4: Parâmetros hidrogeológicos médios do Aquífero Bauru.....	31
Tabela 5: Poços analisados.....	36
Tabela 6: Coordenadas dos poços monitorados	41
Tabela 7: Matrizes de correlação para os parâmetros da classe 1	59
Tabela 8: Matriz de correlação de parâmetros da classe 2	60
Tabela 9: Matriz conjunta de correlação de parâmetros da classe 2, obtidos em 2012 e 2014.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição vertical da água subterrânea	5
Figura 2: Aquífero suspenso e livre	6
Figura 3: Tipos de Aquíferos.....	7
Figura 4: Tipos de porosidade	8
Figura 5: Cidade de Araguari, MG: localização da área de estudo	22
Figura 6: Comparativo das precipitações mensais registradas em 2012 e 2014	23
Figura 7: Cotas altimétricas da cidade de Araguari.....	24
Figura 8: Perfil lito-hidrogeológico da região de Araguari/MG.....	25
Figura 9: Perfil estratigráfico do Aquífero Bauru.....	26
Figura 10: Cotas de base do Aquífero Bauru	27
Figura 11: Distribuição de profundidade do lençol freático	28
Figura 12: Zonas de vulnerabilidade do Aquífero Bauru.....	29
Figura 13: Distribuição de espessura do aquífero.....	30
Figura 14: Distribuição da condutividade hidráulica do aquífero	32
Figura 15: Distribuição do rendimento específico do aquífero, valor equivalente à porosidade efetiva	33
Figura 16: Localização dos poços tubulares isolados e das baterias	34
Figura 17: Esquema do sistema de abastecimento de água da cidade de Araguari/MG.	35
Figura 18: Tratamento <i>in situ</i> em poços isolados – desinfecção e sedimentação.....	35
Figura 19: Disposição geográfica dos poços analisados	39
Figura 20: Poço dotado de registro para coleta de água.	40
Figura 21: Distribuição espacial de nitrato na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados em 2012.....	46
Figura 22: Distribuição espacial de nitrato na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados em 2014.....	47
Figura 23: Distribuição espacial de DBO ₅ na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados em 2012.....	49
Figura 24: Distribuição espacial de pH na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados em 2012.....	50
Figura 25: Distribuição espacial de pH na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados em 2014.....	51
Figura 26: Distribuição espacial de turbidez na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados em 2012.....	53
Figura 27: Distribuição espacial de turbidez na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados em 2014.....	54
Figura 28: Distribuição espacial de sólidos totais na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados, incluindo a divisão em sólidos totais fixos e voláteis, em 2012	55
Figura 29: Distribuição espacial de sólidos totais na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados, incluindo a divisão em sólidos totais fixos e voláteis, em 2012	56
Figura 30: Tabela de Classificação do coeficiente de Correlação (ρ)	58
Figura 31: Distribuição adimensional de DBO ₅ para o monitoramento de 2012.....	62
Figura 32: Distribuição adimensional de nitrato para as duas campanhas de monitoramento.....	63

Figura 33: Distribuição adimensional de sólidos voláteis para o monitoramento de 2012	64
Figura 34: Distribuição adimensional de sólidos fixos para o monitoramento de 2012.	65
Figura 35: Poços com os maiores adimensionais para o monitoramento de 2012	66
Figura 36: Poços com os maiores adimensionais de nitrato para os monitoramentos de 2012 e 2014.	67
Figura 37: Superfície do lençol freático tomada como referência.....	68
Figura 38: Trajetória de partículas em direção aos poços, confrontadas com o mapa de vulnerabilidade intrínseca do aquífero	71
Figura 39: Trajetória de partículas em direção aos poços, confrontadas com o mapa de vulnerabilidade intrínseca do aquífero	72

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Atualmente, no Brasil, existe uma demanda crescente de água subterrânea para abastecimento industrial, rural e, principalmente, dos grandes centros urbanos, notadamente em locais onde existe escassez de mananciais superficiais ou onde estes se encontram comprometidos por poluição intensa.

Os mananciais subterrâneos apresentam reservas de água, geralmente de boa qualidade, compatíveis com a utilização de tecnologias de captação, adução e tratamento mais simplificados. Embora as águas subterrâneas sejam, naturalmente, mais protegidas dos agentes poluidores do que as superficiais, uma vez afetadas, sua recuperação pode tornar-se complexa e onerosa.

Assim como para as águas superficiais, o aumento da produção e dispersão de poluentes acentuou o risco de poluição das águas subterrâneas. Visto que o solo, o subsolo e a água subterrânea fazem parte de um mesmo contexto, especialmente em aquíferos livres, qualquer alteração na composição do solo e subsolo refletirá na água, podendo resultar em alterações de sua qualidade.

Os aquíferos livres são formações porosas ou fissurais, compostas por um extrato permeável totalmente saturado, cuja base é uma camada impermeável ou semipermeável. O topo é limitado pela própria superfície livre da água, também chamada de superfície freática (FEITOSA e MANUEL FILHO, 2000).

Embora não seja regra geral, em condições naturais, sem quaisquer perturbações induzidas por bombeamentos de poços, a superfície freática tende a apresentar um perfil semelhante ao da superfície do terreno. Seu nível está, geralmente, próximo da superfície, em vales, e a maiores profundidades, em áreas mais elevadas (ALAMY FILHO et al., 2013).

O Aquífero Bauru é um exemplo de aquífero livre. Este manancial é considerado a unidade hidrogeológica mais importante do município de Araguari, Minas Gerais, uma vez que o abastecimento público desta cidade é feito exclusivamente pela exploração deste manancial.

A água deste aquífero é intensamente explorada devido ao baixo custo de captação, condição que advém do fato de ser um aquífero freático, pouco profundo e local, submetido a uma abundante recarga.

Todavia, por ser um aquífero livre e pouco profundo este manancial é potencialmente vulnerável aos agentes poluidores provenientes, especialmente, das atividades agroindustriais.

1.2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo apresentar um panorama geral sobre a qualidade da água bruta do aquífero Bauru, na zona urbana de Araguari, Minas Gerais, identificando fontes de poluição.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar a distribuição espacial da qualidade da água do aquífero estudado;
- Apresentar a evolução temporal dos parâmetros de qualidade de água analisados;
- Apresentar a distribuição espacial das fontes de poluição identificadas.

1.4. JUSTIFICATIVA

A cidade de Araguari constitui o maior núcleo urbano do Triângulo Mineiro totalmente abastecido por água subterrânea. O abastecimento da população, 116.267 habitantes (IBGE, 2015), é realizado exclusivamente por meio da exploração do Aquífero Bauru, fato que, por si só, destaca a importância do monitoramento contínuo da qualidade da sua água.

O aquífero Bauru é um aquífero livre, ou seja, as camadas sobrejacentes de solo e subsolo, não saturadas, constituem as únicas atenuadoras do avanço de poluentes até a superfície do lençol freático, o que amplia a sua susceptibilidade à poluição.

Toda a área urbana de Araguari encontra-se edificada sobre esse sistema aquífero, o que, associado à proximidade da superfície freática ao nível do terreno, potencializa os riscos de poluição deste manancial.

Adiciona-se a isto a alteração dos campos de velocidades pela operação de múltiplos poços. Como os gradientes de carga hidráulica são amplificados, principalmente nas proximidades dos setores de bombeamento mais intenso, há uma tendência de aumento das velocidades e de direcionamento dos poluentes para os poços. Esta dinâmica potencializa os riscos e prejuízos à qualidade da água bruta captada para o abastecimento (ALAMY FILHO et al., 2013).

Dessa forma, considerando a susceptibilidade a poluição, inerente às condições às quais está submetido o Aquífero Bauru, e sua importância para o desenvolvimento socioeconômico de Araguari, estudos relacionados à qualidade da água deste manancial e a identificação de possíveis fontes de poluição são de suma importância, uma vez que subsidiarão as ações de contenção da deterioração da qualidade de sua água.

1.5. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Esta pesquisa é constituída de 7 capítulos, organizados da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução: apresenta uma noção geral do tema deste trabalho. Destaca a importância dos recursos hídricos subterrâneos no contexto atual e a importância de se conhecer o potencial hídrico, estágio de exploração e a qualidade das águas destes mananciais. Neste capítulo a proposta deste trabalho é justificada e são estabelecidos seus objetivos;
- Capítulo 2 – Revisão bibliográfica: apresenta uma revisão sobre águas subterrâneas, destacando os tipos de aquíferos e sua vulnerabilidade a poluição, inerente às diversas formações aquíferas. Neste mesmo capítulo são descritos os principais poluentes encontrados em águas subterrâneas, bem como as principais fontes de poluição destes mananciais;
- Capítulo 3 – Recorte espacial da pesquisa: caracteriza a área de estudo, a cidade de Araguari, bem como o Sistema Aquífero Bauru, destacando os aspectos mais relevantes vinculados ao interesse da pesquisa;

- Capítulo 4 – Metodologia: realiza a descrição metodológica aplicada para atingir os objetivos propostos neste trabalho, principalmente as relacionadas ao levantamento de dados primários, realizados em campo, e ao tratamento a que foram submetidos;
- Capítulo 5 – Resultados: apresenta os resultados obtidos de forma objetiva. Estes dados são expostos na forma de mapas, seções, tabelas e gráficos. É realizada, também, uma análise e discussão teórica dos resultados encontrados, relacionando-os ao referencial teórico;
- Capítulo 6 – Conclusão: apresenta as conclusões acerca da análise dos resultados da pesquisa realizada;
- Capítulo 7 – Referencial Teórico: apresenta os autores citados, cujos trabalhos embasaram a pesquisa.

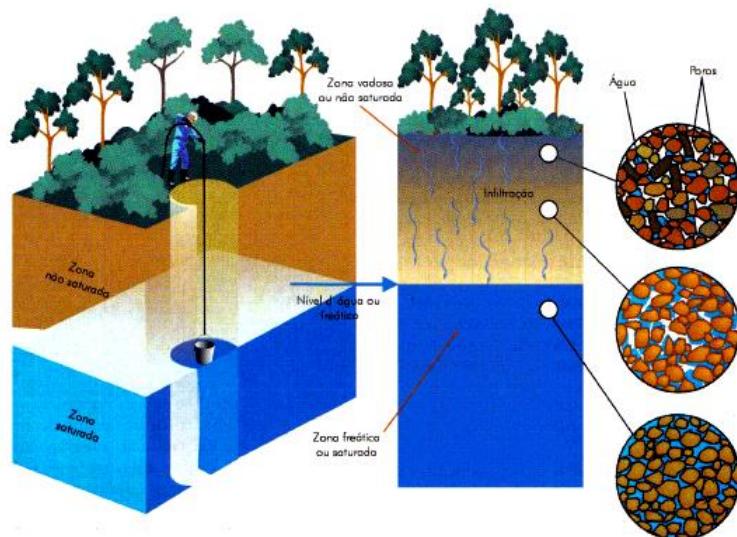
CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ÁGUA SUBTERRÂNEA

Água subterrânea pode ser compreendida como toda água que ocorre natural ou artificialmente no subsolo (RESOLUÇÃO CONAMA nº 396 de 2008). De uma forma geral, a água subterrânea está distribuída em duas zonas verticais distintas: zona saturada e zona não saturada (Figura 1) (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000).

Figura 1: Distribuição vertical da água subterrânea



Fonte: TEIXEIRA et al., 2000

A zona não saturada ou de aeração corresponde à camada da formação aquífera acima do nível freático, onde os poros, fraturas ou vazios estão parcialmente preenchidos por água.

A zona de saturação é a camada da formação aquífera abaixo do nível freático, onde os poros, fraturas e vazios estão totalmente preenchidos por água. A zona saturada constitui o aquífero propriamente dito. A superfície que limita o topo da zona saturada e a separa da zona não saturada é conhecida como superfície freática (nível freático).

2.2. TIPOS DE AQUÍFEROS

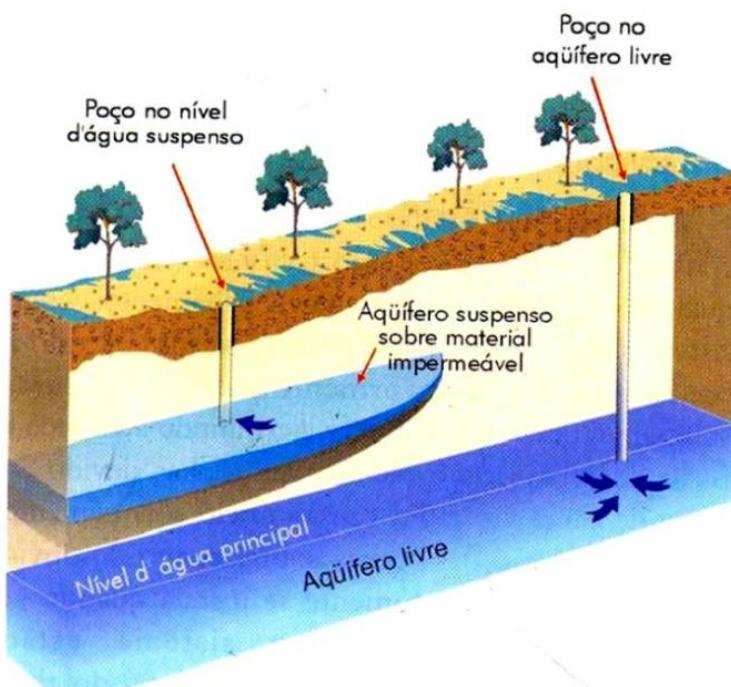
Aquífero pode ser considerado como todo corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através de seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos (RESOLUÇÃO CONAMA nº 396 de 2008).

De acordo com suas características hidráulicas, os aquíferos podem ser classificados em três tipos: aquíferos livres ou freáticos, confinados ou cativos e semiconfinados (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000).

Aquífero livre (Figura 2), como é o caso do aquífero estudado, pode ser considerado como uma formação composta por um extrato permeável, cuja base é uma camada impermeável ou semipermeável. O topo é limitado pela própria superfície livre da água, também chamada de superfície freática (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000).

Aquífero suspenso (Figura 2) é um caso particular de aquífero livre, formado sobre uma camada impermeável ou semipermeável de extensão limitada e situada acima do nível da água do aquífero livre principal (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000).

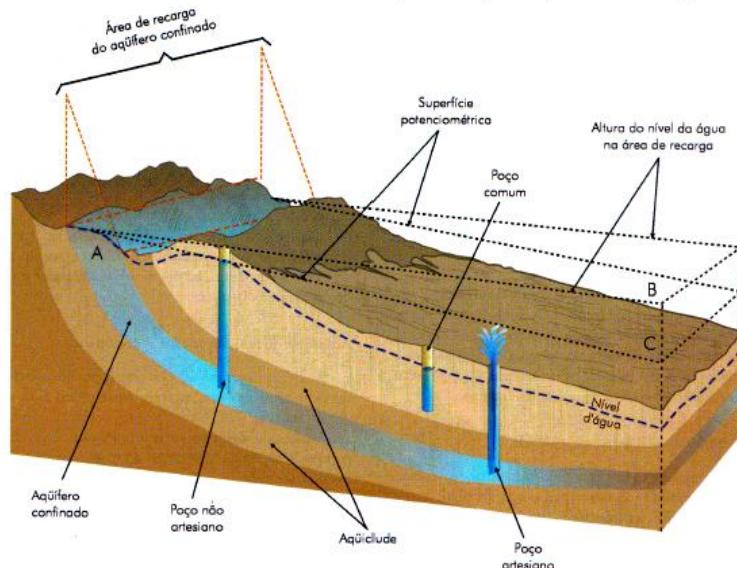
Figura 2: Aquífero suspenso e livre



Fonte: TEIXEIRA et al., 2000

Considera-se como aquífero confinado ou cativo uma formação composta por um extrato permeável, delimitada, no topo e na base, por uma camada impermeável (Figura 3). Em casos em que uma das camadas limítrofes é semipermeável, o aquífero é chamado de semi confinado (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000).

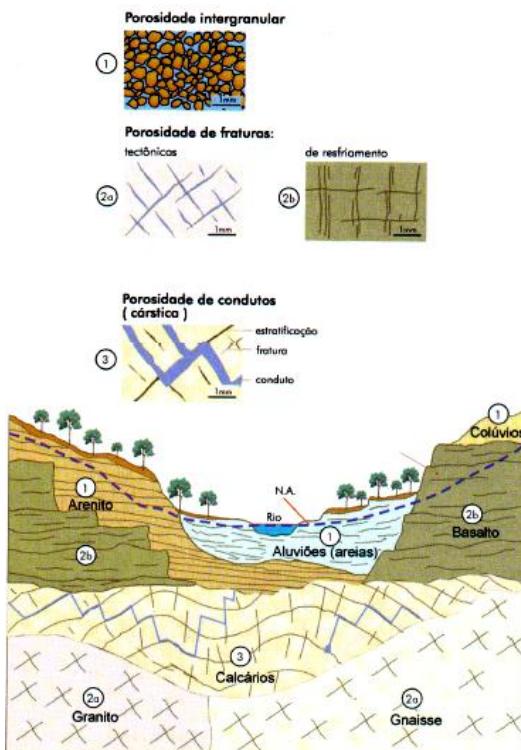
Figura 3: Tipos de Aquíferos



Fonte: TEIXEIRA et al., 2000

Em relação às características que constituem as unidades geológicas, os aquíferos podem ser classificados em: aquíferos granulares ou porosos e aquíferos fraturados ou fissurados (TODD, 1959) (Figura 4).

Figura 4: Tipos de porosidade



Fonte: TEIXEIRA et al., 2000

Compreender as características litológicas, estratigráficas e estruturais dessas unidades permite entender o processo de infiltração da água no subsolo, a forma como as unidades geológicas armazenam e transmitem a água subterrânea e as influências na sua quantidade e qualidade.

De uma forma geral, a infiltração é favorecida em materiais porosos e permeáveis. A porosidade, que expressa a relação entre o volume de poros ou vazios e o volume total de um material, pode estar relacionada aos processos geológicos de formação de rochas (aberturas ou porosidade primária) ou a eventos tectônicos que alteraram as características originais dessas unidades geológicas após sua consolidação (aberturas ou porosidade secundária) (Figura 4) (TODD, 1959).

A respeito do exposto no parágrafo anterior, têm-se as rochas sedimentares e as rochas cristalinas e metamórficas. No primeiro caso, a porosidade é condicionada à presença de espaços entre os grãos ou planos de estratificação, intrínsecos a formação da rocha. Já no segundo, a porosidade é condicionada pela presença de fraturas e fissuras, formadas em eventos tectônicos após a consolidação do corpo rochoso (TODD, 1959).

Existe ainda outro tipo de porosidade secundária, que é constituída de uma rede de dimensões milimétricas a métricas originadas da dissolução de rochas carbonáceas ou calcárias (TODD, 1959) (Figura 4). Entre outras propriedades físicas dos aquíferos, destacam-se a condutividade hidráulica, a transmissividade e o coeficiente de armazenamento, importantes para caracterizar os aquíferos quanto aos seus aspectos hidráulicos.

A condutividade hidráulica (K) refere-se à facilidade da formação aquífera em exercer a função de condutor hidráulico. Essa propriedade depende tanto das características do meio como porosidade, tamanho, distribuição, forma e arranjo das partículas, quanto da viscosidade do fluido (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000). Essa propriedade é utilizada também para estimar a velocidade de deslocamento da água e das plumas de poluição.

A transmissividade (T) corresponde à quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero. Pode-se conceituá-la como a taxa de escoamento da água através de uma faixa vertical do aquífero com largura unitária submetida a um gradiente hidráulico unitário (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000).

Coeficiente de Armazenamento é definido como o volume de água que pode ser liberado ou armazenado dentro de um aquífero confinado por variação unitária do nível potenciométrico. No caso de aquíferos livres corresponde à porosidade efetiva, ou seja, ao volume de água drenável de uma camada aquífera em relação ao volume total da camada. Os aquíferos confinados apresentam coeficientes de armazenamento entre 10^{-3} a 10^{-5} , enquanto que em aquíferos livres, a porosidade efetiva pode variar de 10^{-1} a 10^{-3} (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000).

De forma geral, os aquíferos porosos, como é o caso do aquífero Bauru, ocorrem em rochas sedimentares, sedimentos inconsolidados e solos. São, em geral, espessos e extensos, apresentando elevada porosidade e permeabilidade. Estas características condicionam importantes aquíferos com alto rendimento (TODD, 1959).

Aquíferos fraturados ou fissurados ocorrem em rochas ígneas e metamórficas. Geralmente, a porosidade original não é significativa do ponto de vista de armazenamento e transmissão de água. Embora este meio seja, frequentemente,

ampliado pelo intemperismo, os aquíferos em rochas cristalinas são, geralmente, restritos, localizados e possuem baixa produtividade (TODD, 1959).

Em locais onde ocorrem tais formações próximas à superfície, sob condições de fraturamento e deterioração de minerais, podem ser explorados por meio de pequenos poços para finalidades domiciliares (TODD, 1959).

Os sistemas cársticos são formados em rochas carbonáceas ou calcárias e constituem aquíferos com grandes volumes de água. Estas formações variam muito em densidade, porosidade e permeabilidade. Os aquíferos mais importantes contêm proporções consideráveis da rocha original dissolvida e removida. Os aquíferos cársticos, em geral, são heterogêneos e anisotrópicos (TODD, 1959).

Há situações em que as unidades geológicas podem conter quantidades significativas de água, mas serem incapazes de transmiti-las em condições naturais. Por serem rochas relativamente impermeáveis, são denominados aquicludes. Nessas rochas, a porosidade total pode ser elevada, mas os poros apresentam diâmetros reduzidos e baixo grau de interconexão. Geralmente, não se consegue extrair água em quantidade passível de utilização para abastecimento (TEIXEIRA et al., 2000).

Há também as unidades geológicas impermeáveis, que não armazenam nem transmitem água, são os denominados aquífugos. Aquitarde é um termo utilizado para definir unidades menos produtivas de água que o aquífero principal. Corresponde à camada ou unidade geológica relativamente menos permeável em uma determinada sequência estratigráfica (TEIXEIRA et al., 2000).

2.3. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O monitoramento da qualidade da água é definido como sendo o levantamento das características químicas, físicas e biológicas da água, por meio da amostragem e interpretação estatística.

As alterações na qualidade das águas subterrâneas ocorrem de forma lenta, sendo diagnosticadas apenas por meio de um monitoramento eficiente. Essa ferramenta fornece informações concisas para o controle de impactos causados pela poluição desses mananciais (TUINHOF et al., 2004).

O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas possibilita a comparação dos valores apurados para cada parâmetro analisado com valores de referência de qualidade, subsidiando o seu enquadramento.

A seguir, são apresentadas, de acordo com Uil et al. (1999), as principais etapas de um programa de monitoramento:

- I. Cenário – constitui o fator inicial de um programa de monitoramento de águas subterrâneas. São determinados, nesta etapa, os fatores socioambientais como clima, geologia e uso e ocupação do solo, dentre outros fatores, fundamentais para a formulação do cenário local. Após a definição do cenário, são direcionadas as demais etapas. O contexto do cenário pode ser modificado, dependendo do detalhamento das atividades;
- II. Objetivo – este atributo orienta as demais atividades do programa de monitoramento, em termos de magnitude do monitoramento e em relação aos aparatos necessários para o desenvolvimento do programa. O monitoramento qualitativo pode ser analisado em relação a dois aspectos:
 - *Operacionais* – análises químicas, físicas e biológicas rotineiras do manancial direcionadas à detecção de variações sazonais e/ou identificação dos tipos e estágios da poluição ou possíveis fontes deste processo – como é o caso desta pesquisa.
 - *Segurança* – está relacionado ao diagnóstico de áreas vulneráveis à poluição por características naturais ou por atividades potencialmente poluidoras.
- III. Escala – este fator irá definir, dentre os demais, a malha de reconhecimento necessário, podendo ser de três níveis:
 - *Detalhe* – corresponde ao monitoramento, com áreas não superiores a 10 km², variando, por exemplo, de áreas como postos de combustíveis, áreas agrícolas, até bairros, em uma cidade;
 - *Local* – abrange áreas com tamanhos variando de 10 a 300 km², correspondendo a parte de um município ou mais de um município – como é o caso desta pesquisa;
 - *Regional* – corresponde às zonas com áreas superiores a 300 km², abrangendo

bacias hidrogeológicas e bacias hidrográficas.

A quantidade de poços determinados para a amostragem deve ser representativa, de forma a refletir as condições gerais de qualidade e os fatores que interferem na área, objetivando traçar as condições mais próximas da realidade.

- IV. Resultados – os dados obtidos nas etapas anteriores devem ser reunidos e agrupados segundo a etapa de coleta. Trata-se de uma fase de adoção de critérios na organização dos dados obtidos, de forma a otimizar as análises;
- V. Controle de Qualidade dos Dados – caracteriza-se por uma avaliação prévia dos resultados que possibilita a identificação e eliminação de possíveis erros de análise ou coletas de campo;
- VI. Interpretação – após o controle de qualidade, os dados serão avaliados, levando-se em conta as variáveis necessárias para a condição hidrogeológica existente, que depende do objetivo;
- VII. Divulgação/ Disponibilização dos Dados – todos os dados serão publicados, preferencialmente, em forma de artigos científicos.

2.4. POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A poluição hídrica pode ser considerada como qualquer alteração nas características físicas, químicas e/ou biológicas das águas, que possa configurar prejuízo à saúde, à segurança e ao bem-estar da população e, ainda, comprometer a biota e a utilização das águas para fins recreativos, comerciais, industriais e energéticos (MACHADO, 1998).

De acordo com Foster et al. (2002), a poluição das águas subterrâneas se concentra, principalmente, em aquíferos freáticos ou não confinados, como é o caso do Aquífero Bauru. Entretanto há riscos significativos de poluição em pontos em que o aquífero é semi confinado, se os aquitardes confinantes forem relativamente pouco espessos e permeáveis.

A poluição pode variar de acordo com as características da formação aquífera. Aquíferos fissurais ou fraturados apresentam planos de fraturamento, que podem introduzir poluentes rapidamente ao interior do aquífero, o que não ocorre em formações porosas ou granulares, como o aquífero Bauru, onde a água percola lentamente através do meio poroso facilitando a atenuação de poluentes (FAO, 2012).

De forma geral, quanto mais próxima à superfície freática estiver do nível do terreno, menor é a espessura das formações não saturadas, capazes de atenuar o avanço vertical das plumas. Isto reduz o tempo de percurso do poluente até o lençol freático, o qual, uma vez atingido, conduzirá a pluma por meio de campos de velocidade e mecanismos de dispersão, verificados dentro do manancial subterrâneo.

Em áreas consumidoras de águas subterrâneas, como é o caso do município de Araguari, os campos de velocidade são alterados pela operação de múltiplos poços. Como os gradientes de carga hidráulica são amplificados, especialmente nas proximidades dos setores de bombeamento mais intenso, há uma tendência de aumento das velocidades e de direcionamento dos poluentes para os poços. Esta dinâmica potencializa os riscos e prejuízos à qualidade da água bruta captada para o abastecimento (ALAMY FILHO et al., 2013).

A poluição das águas subterrâneas é de difícil detecção. De uma forma geral, é descoberta quando atinge elevados índices e grandes áreas, inviabilizando medidas reparadoras (CAPUCCI et al., 2001).

Dependendo da extensão e localização, as fontes de poluição das águas subterrânea podem ser: pontuais, quando são de pequena escala e facilmente identificáveis, ou dispersas/difusas, quando são formadas por diversas fontes menores caoticamente distribuídas (GOYER, 1986).

A Tabela 1 descreve as principais fontes potenciais de degradação da água subterrânea.

Tabela 1: Classificação das fontes de poluição e contaminação

Atividades	Fontes de Poluição	Classificação
Urbana	Vazamentos de tubulação de esgoto	Dispersas
	Lagoas de oxidação	Pontuais
	Lixiviação de lixões, aterros controlados e sanitários	Pontuais
	Tanques de combustíveis enterrados	Pontuais
	Drenos de rodovias	Dispersas
	Inexistência de rede coletora de esgoto (saneamento <i>in situ</i>)	Dispersas
	Cemitérios	Pontuais
	Poços desativados, não tamponados ou desprovidos de selo sanitário	Pontuais

	Efluentes industriais não tratados	Pontuais
	Derramamentos accidentais	Pontuais
Industrial	Resíduos sólidos inadequadamente dispostos	Pontuais
	Materiais em suspensão	Dispersas
	Vazamentos de tubulações e tanques	Dispersas
	Uso indiscriminado de defensivos agrícolas e fertilizantes	Dispersas
	Irrigação utilizando águas residuais	Dispersas
Agropecuárias	Lodos/resíduos	Pontuais
	Lançamento em superfície	Pontuais
Benefícios agrícolas	Lagoas de efluentes	Dispersas
	Poços desativados, não tamponados ou desprovidos de selo sanitário	Pontuais
	Desmonte hidráulico	Dispersas
	Descarga de água de drenagem	Dispersas
Mineração	Lagoas de decantação/estabilização	Pontuais
Benefícios minerais:	Lixiviação/solubilização de resíduos sólidos	Dispersas

Fonte: REBOUÇAS et al., 1999, adaptado

A intensidade, a abrangência e o estágio da poluição são avaliados por meio da caracterização e da quantificação das cargas poluidoras coexistentes nos corpos de água.

São descritas, na Tabela 2, os principais tipos de poluentes e contaminantes, bem como suas respectivas fontes.

**Tabela 2: Poluentes e contaminantes comuns da água subterrânea
e suas principais fontes**

Origem da Poluição	Tipos de Poluentes
Atividade agrícola	Nitrato; amônio; pesticidas; organismos fecais.
Saneamento <i>in situ</i>	Nitrato; hidrocarbonetos halogenados; microorganismos.
Garagens e poços de serviços	Hidrocarbonetos aromáticos e halogenados; metais pesados.
Disposição de resíduos sólidos	Amônio; sais, hidrocarbonetos halogenados; fenóis; metais pesados.
Indústrias metalúrgicas	Tricloroetileno; tetracloroetileno; hidrocarbonetos halogenados; fenóis; metais pesados; cianureto.
Pintura e esmaltação	Alquilbenzeno; hidrocarbonetos halogenados; metais; hidrocarbonetos aromáticos; tetracloroetileno.
Indústrias de Madeira	Pentaclorofenol; hidrocarbonetos aromáticos; hidrocarbonetos halogenados.
Limpeza a seco	Tricloroetileno; tetracloroetileno.
Indústria de pesticidas	Hidrocarbonetos halogenados; fenóis; arsênio.
Despejo de lodo do esgoto	Nitrato; amônio; hidrocarbonetos halogenados; chumbo; zinco.
Curtumes	Cromo; hidrocarbonetos halogenados; fenóis.
Extração/exploração de gás e petróleo	Sais (cloreto de sódio); hidrocarbonetos aromáticos.
Mineração de carvão metalífero	Acidez; metais pesados; ferro; sulfatos.
Cemitérios	Bicarbonato; cloreto sódio e cálcio; ferro; alumínio; chumbo; zinco; nitrogenados; microrganismos.

Fonte: FOSTER et al., 2002; MATOS; PACHECO, 2000; PACHECO et al., 1991

Na decomposição dos esgotos, o nitrogênio orgânico (cadeias de proteína e ureia) é convertido em amônia durante o processo chamado de amonificação. Em condições naturais, a concentração de amônia nas águas subterrâneas é baixa, devido à sua fácil adsorção pelas partículas da zona não saturada e sua oxidação, gerando nitrito e, posteriormente, nitrato, que ainda pode ser reduzido por bactérias desnitrificantes ou por íons ferrosos presentes no solo. A ocorrência de concentrações elevadas de amônia na água de poços, usualmente, é condicionada por fontes poluidoras próximas e recentes (ALAMY FILHO et al., 2013).

O nitrito é uma forma instável na presença de oxigênio e isto resulta na sua rápida oxidação para nitrato, ainda na zona não saturada, que é um parâmetro utilizado mundialmente como indicador de poluição das águas subterrâneas (ALAMY FILHO et al., 2013).

O nitrato possui elevada mobilidade e estabilidade nos sistemas aeróbios de águas subterrâneas. Estes dois fatores, associados com a dispersão hidrodinâmica, possibilitam o espalhamento deste íon por grandes extensões. Sendo o produto final da estabilização aeróbia do nitrogênio orgânico, o nitrato indica poluição antiga (ALAMY FILHO et al., 2013).

Concentrações elevadas sugerem poluição por disposição inadequada de esgotos domésticos, industriais, além do uso excessivo de fertilizantes nitrogenados na agricultura (ALAMY FILHO et al., 2013). Para a CETESB (2010) *apud* Alamy Filho et al. (2013), concentrações de nitrogênio-nitrato acima de 5 mg/L já indicam alteração no equilíbrio natural do meio. Este valor geralmente é adotado como um índice preventivo. Teores que ultrapassam 10 mg/L, valor estabelecido como padrão de potabilidade, já evidenciam um cenário de poluição da água.

Tanto o nitrito quanto o nitrato estão associados à efeitos indiretos nocivos à saúde: a indução à metahemoglobinemia e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas. No organismo o íon de nitrito pode reagir com substâncias orgânicas, resultando em nitrosamina que é um agente cancerígeno potencial. Já o íon de nitrato isoladamente é pouco tóxico ao ser humano. Todavia, sob condições alcalinas, ele pode ser reduzido no estômago, intestino ou fígado, a íons nitrito, causando metahemoglobinemia, principalmente em crianças, com a consequente baixa oxigenação do sangue. Além disso, Bouchard et al. (1992) *apud* Alamy Filho et al. (2013), indicaram correlações entre o aumento de casos de malformação congênita associada à ingestão de altas concentrações de nitrato.

Na área estudada, eventuais concentrações de nitrito e nitrato provavelmente estão associadas à poluição difusa gerada em áreas agrícolas, à poluição quase difusa decorrente de vazamentos nas redes coletoras, fator que dificulta a exata localização da fonte original de injeção deste poluente no solo/subsolo e, finalmente, à poluição

pontual em sistemas fossa/sumidouro ou em fossas domiciliares com vazamentos (ALAMY FILHO et al., 2013).

A disposição direta de esgotos no solo ou vazamentos nas redes coletoras induzem reações de oxirredução na zona não saturada, com a geração final de nitrato. Nas fossas sépticas, dentre as diversas reações, ocorre a hidrólise da proteína e da ureia, com a consequente liberação de amônia. A amônia liberada é passível de ser adsorvida pelas partículas do meio poroso, sendo oxidada na zona vadosa, produzindo nitrito e, posteriormente, nitrato. A persistência e a mobilidade deste último colaboram para sua penetração no subsolo (ALAMY FILHO et al., 2013).

O fósforo total atinge as águas principalmente devido à penetração de esgotos sanitários. Neste caso, os detergentes superfosfatados empregados domesticamente constituem a fonte principal. Além disto, efluentes de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, de conservas alimentícias, frigoríficos e abatedouros, laticínios, geralmente apresentam quantidades excessivas de fósforo (ALAMY FILHO et al., 2013).

O fósforo presente nas águas pode ocorrer sob três formas: fosfatos, orgânicos (moléculas de origem orgânica, como as de um detergente, por exemplo), ortofosfatos (radicais que são combinados com cátions formando sais inorgânicos nas águas) e polifosfatos (polímeros de ortofosfatos ou fosfatos condensados) (ALAMY FILHO et al., 2013).

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é um parâmetro fundamental na caracterização de esgotos sanitários. A presença de DBO elevada em amostras de água indica a poluição por despejos biodegradáveis, cuja origem é predominantemente orgânica (ALAMY FILHO et al., 2013).

A demanda química de oxigênio (DQO) também é parâmetro indispensável na caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais. Sua análise em conjunto com a DBO permite conclusões sobre a biodegradabilidade dos despejos (ALAMY FILHO et al., 2013).

Valores de pH na faixa do ácido são característicos de solos de climas tropicais com índices pluviométricos médios e elevados. Elementos como o sódio (Na), cálcio (Ca),

potássio (K) e magnésio (Mg) respondem por características básicas do solo e subsolo. A lixiviação, que carreia estes elementos, deixa o sistema com características ácidas, principalmente se o meio tem elementos de baixa mobilidade como o ferro (Fe), o alumínio (Al) e o manganês (Mn). Apesar desta ocorrência natural, valores baixos de pH podem originar-se pela presença de ácidos orgânicos, com ocorrência predominante em regiões de vegetação abundante (ALAMY FILHO et al., 2013).

O parâmetro definido como cor da água ocorre pela existência de sólidos dissolvidos de origem orgânica ou inorgânica. Coloides orgânicos como os ácidos fúlvico e húmico são substâncias naturais que resultam da decomposição parcial de compostos presentes nas folhas, dentre outras fontes. Portanto, sua ocorrência tende a ser improvável em águas subterrâneas mais profundas (ALAMY FILHO et al., 2013).

Todavia, os esgotos sanitários também possuem matérias coloidais que podem condicionar cor. Os efluentes industriais que contêm aminas (curtumes), anilina (indústrias têxteis), lignina e celulose (indústrias de celulose, papel e madeira) também podem gerar cor para a água. A cor também pode ser gerada por compostos inorgânicos como óxidos de ferro e manganês, os quais são abundantes em vários tipos de solos (ALAMY FILHO et al., 2013).

A turbidez é um parâmetro ligado à existência de sólidos suspensos, tais como partículas inorgânicas de areia, silte e argila; bem como fragmentos orgânicos de algas, plânctons e bactérias. Em função do processo filtrante natural exercido pelo subsolo durante a movimentação da água em direção aos poços, a turbidez das águas retiradas de aquíferos é baixa, normalmente inferior ao padrão de potabilidade, aliviando o sistema de abastecimento da etapa da clarificação da água. Na região estudada, o carreamento de finos nos poços explica a análise deste parâmetro (ALAMY FILHO et al., 2013).

Os sólidos presentes nas águas referem-se a toda matéria que permanece como resíduo após evaporação, secagem ou calcinação da amostra, condicionada em um cápsula de porcelana com peso aferido, a uma temperatura e tempo pré-fixados. Os sólidos voláteis estão associados com a presença de compostos orgânicos nas águas, enquanto que os sólidos fixos estão relacionados à parcela inerte (ALAMY FILHO et al., 2013).

O último parâmetro analisado é um indicador biológico da possibilidade da existência de microrganismos patogênicos na água. Assim, as bactérias coliformes termotolerantes, cujo habitat restringe-se ao trato intestinal de animais de sangue quente são indicadores mais incisivos do que os coliformes totais, os quais também podem existir no solo (ALAMY FILHO et al., 2013).

2.5. ESTUDOS DE CASO

Melo (1995), avaliou a qualidade da água subterrânea do aquífero livre Dunas/Barreiras, em Natal, Rio Grande do Norte. Os resultado obtidos indicaram o nitrato como o principal poluente encontrado no local. O mapa de curvas de isoconcentração indicou a presença de zonas de variação das concentrações de nitrato, que estão relacionadas a densidade populacional.

Em geral, nos setores menos habitados (região sul), as concentrações de nitrato são inferiores ao valor de referência (10 mg/L), enquanto que nos setores com elevada densidade populacional, as concentrações de nitrato encontradas atingiram valores superiores a 100 mg/L. Algumas exceções foram verificadas onde o fluxo subterrâneo proveniente de áreas poluídas afetou alguns setores não habitados.

De acordo com o autor, a poluição da água subterrânea por nitratos está, provavelmente, relacionada a disposição de efluentes em fossas sumidouros. O setor norte da área estudada dispõe de uma rede de coleta de esgoto sanitário. Entretanto, nesta área os valores de nitrato são elevados, notadamente nos bairros mais antigos e com elevada densidade populacional, atribuídos ao caráter cumulativo e irreversível do processo de poluição.

Cagnon e Hirata (2004) estabeleceram uma relação entre a poluição por nitrato das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru e os padrões de urbanização no município de Urânia, São Paulo, entre 1950 e 2000. No estudo realizado, a partir do histórico de uso e ocupação do solo da cidade, análises de qualidade da água e levantamento das principais fontes de poluição, os autores concluíram que em Urânia existe um poluição multipontual, do tipo fossas sumidouros, instalada na área urbana do município desde a década de 50. As maiores concentrações de nitrato foram observadas nas áreas menos profundas do aquífero, sobretudo a nordeste da cidade, onde há maior densidade desse tipo de fossa.

Drake e Bauder (2005), analisando as possíveis causas do aumento das concentrações de nitrato em áreas da cidade de Helena, no Estado de Montana (EUA), com rápido crescimento populacional, entre 1971 e 2003, concluíram que o aumento das concentrações do poluente está associado ao dimensionamento e instalação incorreta de sistemas sépticos nestas áreas. Segundo os autores, dados obtidos através de análises de qualidade da água, combinados a sistemas de informações geográficas (SIG's), podem ser utilizados para avaliar amplas áreas, possibilitando a relação entre a evolução temporal das concentrações de poluentes e as mudanças no uso e ocupação do solo.

Gardner e Vogel (2005), analisando a evolução temporal e espacial da qualidade da água subterrânea em Nantucket, no estado de Massachusetts (EUA), relacionaram os resultados das análises de qualidade ao uso e ocupação do solo. Os resultados indicaram que a presença desse poluente nas amostras está diretamente relacionada ao uso e ocupação do solo. Dentre as fontes de poluição diagnosticadas no estudo, os autores destacaram os sistemas de fossas sépticas em áreas densamente ocupadas, em um raio menor que 300 m dos poços de abastecimento.

XU et al. (2007) analisaram a evolução temporal das concentração de nitrato durante um período de 60 anos, em mais de 200 poços situados em Phoenix e arredores, no estado do Arizona (EUA), utilizando SIG. Os resultados indicaram que as áreas anteriormente ocupadas por agricultura, incorporadas a área urbana, apresentaram reduções nas concentrações desse poluente. Por outro lado, nas áreas não ocupadas que passaram por urbanização a partir de 1975, houve um aumento da concentração de nitrato nas amostras, o que reforça que a poluição das águas subterrâneas pode variar de acordo o uso e ocupação do solo.

Reynolds-Vargas et al. (2006) analisaram a qualidade da água subterrânea do Vale Central, na Costa Rica, em relação a presença de nitrato, a partir de isótopos estáveis e dados hidrogeoquímicos. Os autores concluíram que existe uma relação entre o uso e ocupação do solo e a presença do poluente nas amostras coletadas. Além disso, a urbanização somada à disposição inadequada dos sistemas sépticos é a provável causa do aumento de até 40 % nas concentrações de nitrato no aquífero estudado.

Varnier et al. (2010), analisando a distribuição espacial e temporal das concentrações de poluentes no Sistema Aquífero Bauru, em Marília, São Paulo, ao longo das últimas

décadas, encontraram concentrações de nitrato mais elevadas (16,9 mg/L) nas áreas de ocupação urbana mais antiga e em poços com profundidades de até 150 m, indicando que a contaminação pode estar relacionada a sistemas de esgotamento sanitários抗igos com vazamentos. Já nas áreas mais elevadas, onde os poços são mais profundos, as concentrações de nitrato encontradas foram inferiores a 3,0 mg/L.

Procel (2011) avaliando a evolução temporal e espacial das concentrações de nitrato em relação ao uso e ocupação do solo, concluiu que existe uma relação direta entre a poluição e a densidade populacional, idade da urbanização e os sistemas de saneamento *in situ*. Essa relação possibilitou a divisão da área de Presidente Prudente em três zonas sensíveis a poluição por nitrato.

A primeira zona, com concentrações de nitrato acima de 10 mg/L, ocorre em regiões mais antigas da área urbana, com alta densidade populacional (120 hab/ha) e rede de esgoto instalada a partir da década de 80. A segunda zona, com concentrações de nitrato entre 5 e 10 mg/L, ocorre em bairros mais novos, com densidade urbana média de 84 hab/ha, onde a rede de esgotamento sanitário foi instalada a partir de 2000. A terceira zona, com concentrações de nitrato inferiores a 5 mg/L, ocorre em bairros novos com baixa densidade de ocupação (20ha/há), implantados a partir de 2000 já com rede coletora de esgoto.

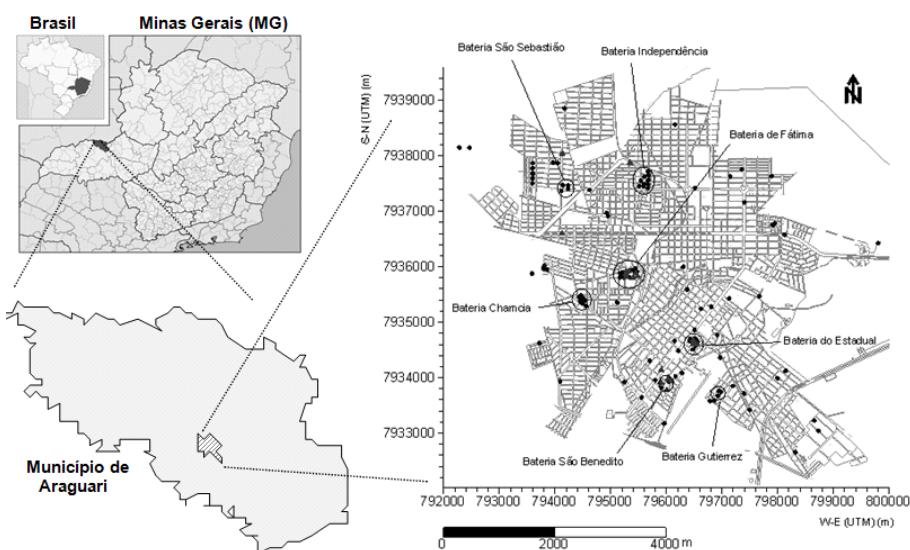
O estudo indicou que a expansão da ocupação urbana sem sistema adequado de esgotamento sanitário gera uma carga poluidora de nitrato significativa, que atinge os aquíferos e ameaça a qualidade das águas subterrâneas. Por outro lado, ainda são necessários mais estudos para aprofundar o entendimento desta relação frente aos diferentes cenário de ocupação e contexto hidrogeológico, de modo a permitir a regionalização dos resultados, identificação das áreas críticas e implantação de medidas efetivas de remediação e/ou contenção do problema.

CAPÍTULO 3

RECORTE ESPACIAL DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Araguari está localizado ao norte da Mesorregião Geográfica Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, na porção oeste do estado de Minas Gerais. Apresenta uma área total de 2.729,508 km² (IBGE, 2015), dos quais 54 km² são ocupados pelo perímetro urbano, localizado entre as coordenadas geográficas de referência de 18° 38'S e 18° 44'S, e 48° 11'W e 47° 15' W (Figura 5).

Figura 5: Cidade de Araguari, MG: localização da área de estudo



Fonte: SEGANTINI, 2010

O município faz fronteira, ao norte, com Catalão, Anhanguera e Corumbaíba; ao sul, com Uberlândia; a sudeste, com Indianópolis; a leste, com Cascalho Rico e Estrela do Sul; a oeste, com Tupaciguara.

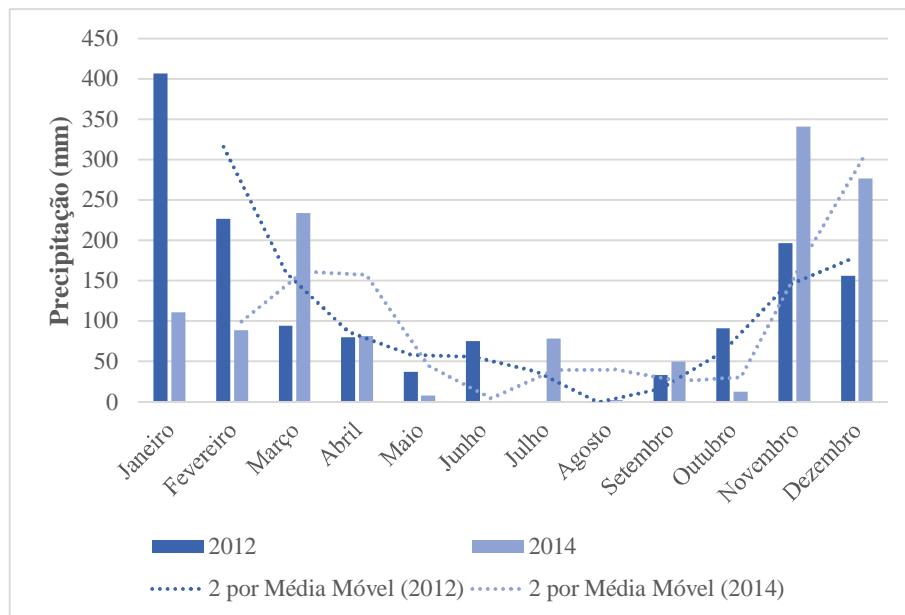
Araguari é representado pela sede e pelos Distritos de Piracaíba, Amanhece e Florestina, além de cinco comunidades constituídas: Campo Redondo, Ararapira, Barracão, Contenda e Santa Luzia. Existem outras localidades, ainda não consideradas como comunidades constituídas: Alto São João, Piçarrão, Bom Jardim, Santo Antônio e Barreiro.

A cidade de Araguari apresenta uma população urbana estimada de 116.267 habitantes, sendo considerada a terceira cidade mais populosa do Triângulo Mineiro (IBGE, 2015).

O índice pluviométrico médio anual da cidade é de 1520 mm, tomando por base registros da estação pluviométrica local 1848010 da Agência Nacional de Águas (ANA). O período de chuva concentra-se entre os meses de outubro a março, enquanto que os meses mais secos correspondem ao período de abril a setembro.

Em 2012, considerando os dados da mesma estação, o índice pluviométrico registrado foi de 1328 mm, com uma média mensal de 110 mm. Já em 2014 o índice registrado foi de 1287 mm, com uma média mensal de 107 mm.

Figura 6: Comparativo das precipitações mensais registradas em 2012 e 2014

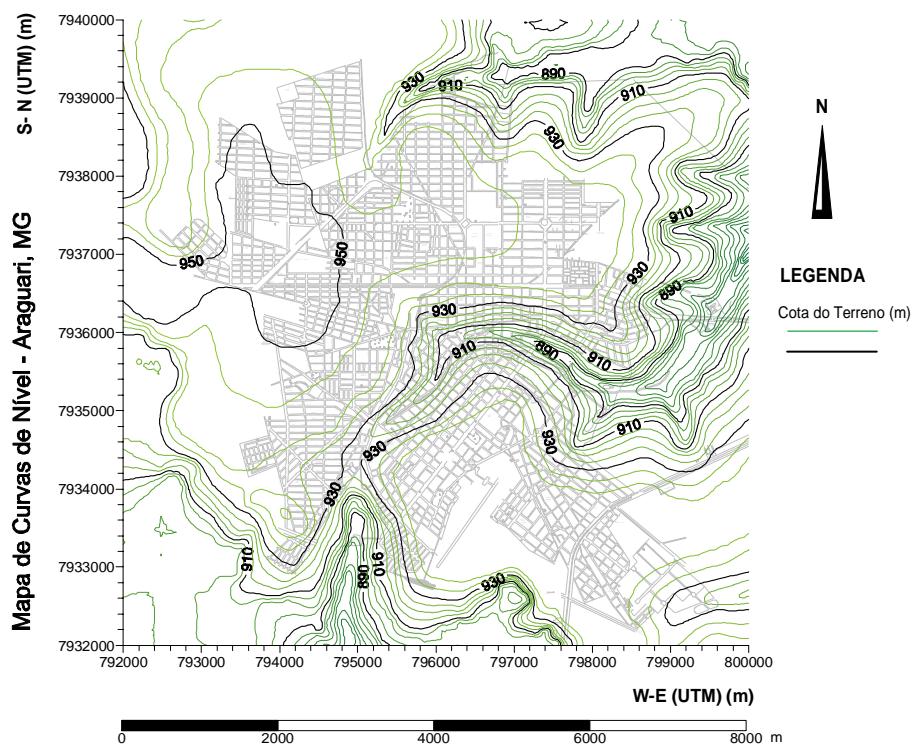


Fonte: ANA, 2015

Comparando os dois períodos analisados, observa-se que em 2014 houve uma sensível redução do índice pluviométrico em relação a 2012, da ordem 3 %. Analisando a distribuição dos valores de precipitação mensal, observa-se que em 2012 as chuvas concentraram em janeiro e fevereiro, representando 42,2 % do total, enquanto que em 2014 a concentração das chuvas ocorreu em novembro de dezembro, representando 47,9 % do total. O volume de chuvas registrado em janeiro e fevereiro de 2012 foi 68,4 % superior ao registrado no mesmo período de 2014. Já o volume registrado em novembro e dezembro foi 42,8 % inferior ao registrado em 2014.

A cidade de Araguari apresenta geomorfologia de área de chapada, com altitudes acima de 880 m. O relevo da zona urbana (Figura 7), pode ser dividido em topo de chapada, com terrenos planos que se estendem acima da cota de 950 m de altitude, e chapada com áreas de relevo suave que ocupam as cotas altimétricas entre 930 e 950 m. As declividades do terreno acentuam-se no entorno do talvegue principal, o córrego Brejo Alegre, que corta o centro da cidade, e nas porções sudoeste e nordeste (SEGANTINI, 2010).

Figura 7: Cotas altimétricas da cidade de Araguari



Fonte: SEGANTINI, 2010

O desenvolvimento socioeconômico de Araguari é interdependente da água subterrânea, pois, além do abastecimento público, é amplamente utilizada na agricultura, principal atividade econômica do município (SEGANTINI, 2010). Na Tabela 3 são apresentados dados relacionados à finalidade do uso da água em Araguari em 2008, com relação a porcentagem de poços.

Tabela 3: Distribuição quantitativa dos poços por tipo de uso

Tipo de uso	Nº de poços	%
Irrigação	177	55,5
Abastecimento público	114	35,7
Uso misto (animal, industrial, irrigação)	09	2,8
Industrial	11	3,4
Humano (particular)	05	1,5
Dessedentação animal	03	0,9
Total	319	100

Fonte: VELÁSQUEZ et al., 2008

Segundo Oliveira (2002), os aquíferos subjacentes ao município de Araguari foram divididos de acordo com critérios geológicos e hidrodinâmicos em dois domínios: aquíferos fraturados, formados pelos xistos do Grupo Araxá e pelos basaltos da Formação Serra Geral, e aquífero poroso, formado pelo conjunto latossolo, arenito friável e conglomerado do Membro Araguari, conjunto que representa a Formação Marília do Grupo Bauru e suas coberturas de regolitos (Figura 8).

Figura 8: Perfil lito-hidrogeológico da região de Araguari/MG



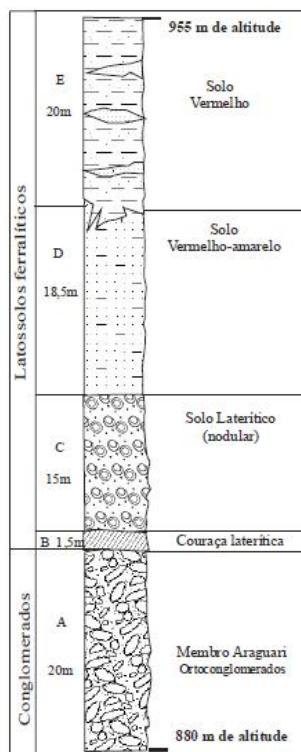
Fonte: OLIVEIRA e CAMPOS, 2004

O aquífero poroso é denominado Aquífero Bauru. Em toda a extensão do município, este aquífero comporta-se, predominantemente, como aquífero livre, apresentando condições de subconfinamento localizadas, com extensão lateral limitada pelos vales mais encaixados dos rios Araguari, Paranaíba e seus principais afluentes (OLIVEIRA e CAMPOS, 2004; VELÁSQUEZ et al., 2008).

Em função de diferenças litológicas, de porosidade e de dinâmica da água em sub superfície, o Aquífero Bauru foi dividido em dois: Aquífero Bauru Superior e Inferior (OLIVEIRA, 2002).

O Aquífero Bauru Superior é formado pelos solos profundos, bem drenados e pelas couraças lateríticas degradadas que, em conjunto, são classificados como latossolos (Figura 9) (OLIVEIRA e CAMPOS, 2004). O Aquífero Bauru Inferior engloba os arenitos e conglomerados do Membro Araguari e corresponde à porção basal do sistema (OLIVEIRA e CAMPOS, 2004).

Figura 9: Perfil estratigráfico do Aquífero Bauru



Fonte: OLIVEIRA, 2003

A recarga do Aquífero Bauru é favorecida pelo relevo suave e pela porosidade dos materiais que constituem sua zona vadosa. Essa unidade pedológica, latossolos, torna-se importante no processo de recarga do aquífero, por constituir-se, também, de níveis de material grosso, coluvionar, que recobre parte do topo e quase a totalidade das rampas do contato arenito/basalto. Esses depósitos transferem parte da água filtrada para os aquíferos subjacente e parte para os cursos superficiais (BERTOL, 2007).

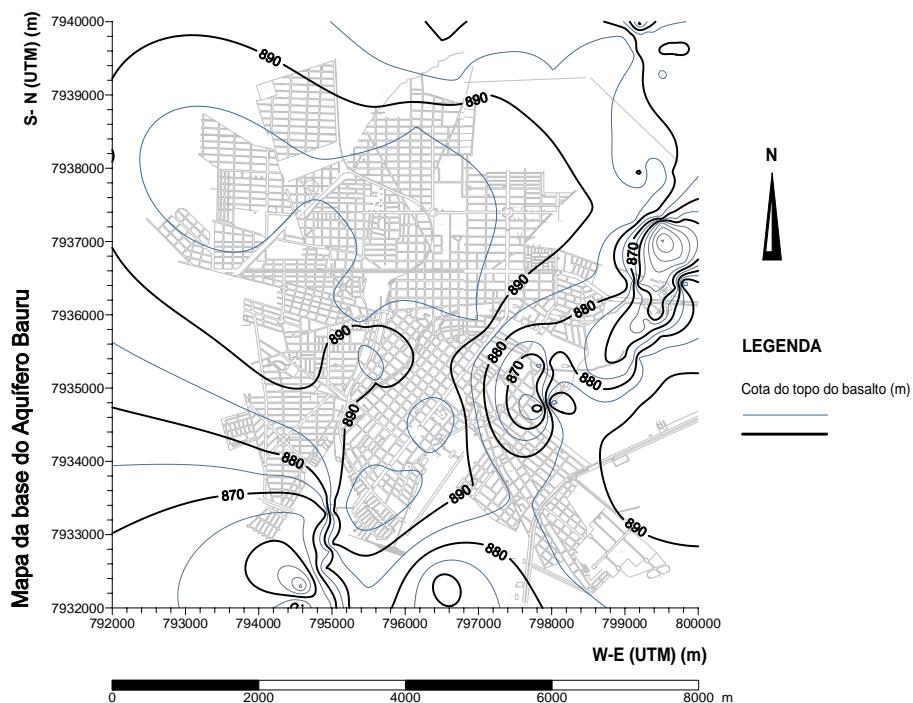
Destacam-se duas importantes áreas de recarga: uma situada na cabeceira do córrego Amanhece, a norte do município, e outra na porção central, junto à cabeceira do ribeirão

das Araras, onde está situada a porção norte da cidade de Araguari (VELÁSQUEZ et al., 2008).

Segundo Bertol (2007), as recargas anuais do Sistema Aquífero Bauru, estimadas foram 398 mm, para a sub bacia do Córrego Amanhece, e 422 mm, para a sub bacia Ribeirão das Araras. Estima-se que as águas subterrâneas na região são recentes, podendo ser classificadas como águas meteóricas, com tempo de renovação inferior a 30 anos (FUNDO DAS UNIVERSIDADES, 2006).

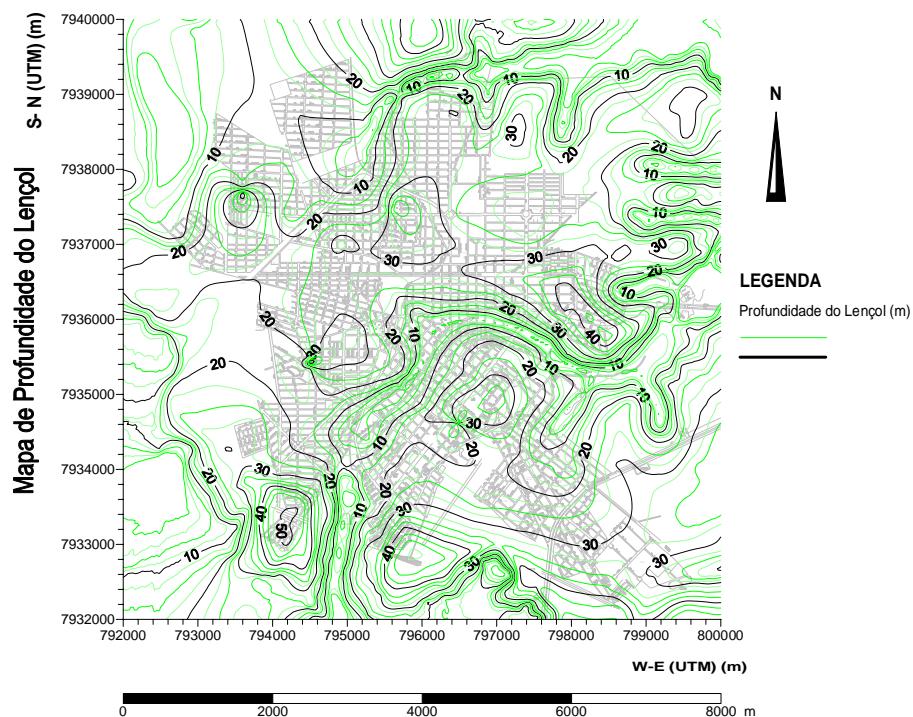
A descarga ocorre através das diversas nascentes na quebra topográfica da chapada que marca o contato entre esse aquífero e o basalto Serra Geral, entre as cotas 880 e 900 m (Figura 10). A maioria delas constitui tributários de 1^a ou 2^a ordem dos rios Araguari e Paranaíba (VELÁSQUEZ et al., 2008).

Figura 10: Cotas de base do Aquífero Bauru



De uma forma geral, a profundidade do Aquífero Bauru varia entre 2 e 47 m (Figura 11). As menores profundidades da superfície freática estão no entorno do córrego Brejo Alegre, que constitui o talvegue principal da cidade (SEGANTINI, 2010).

Figura 11: Distribuição de profundidade do lençol freático



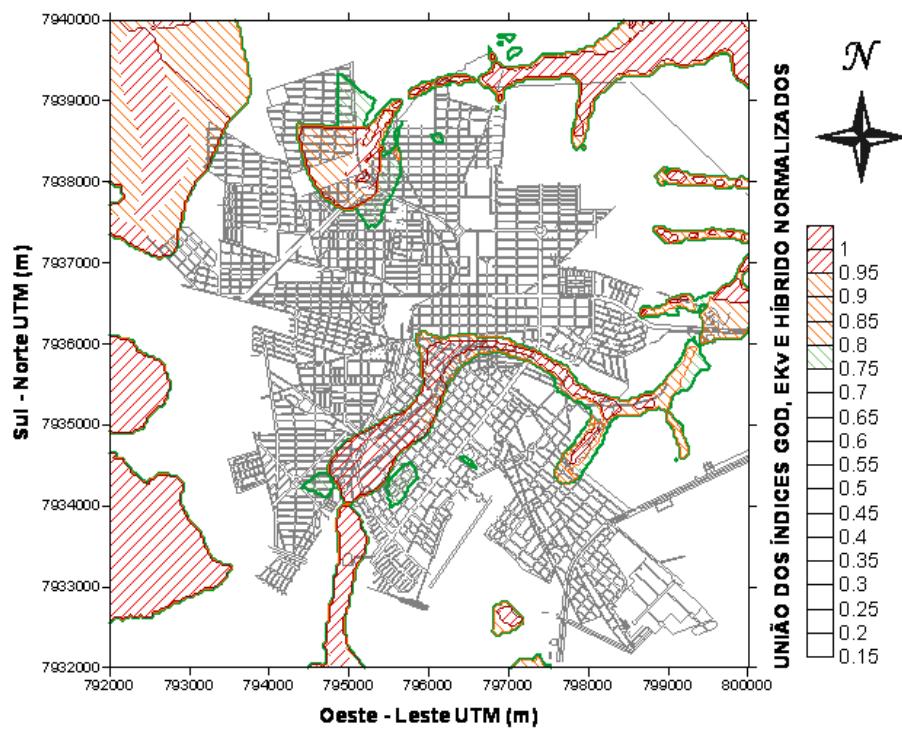
Fonte: SEGANTINI, 2010

No setor noroeste há também um decrescimento das profundidades, chegando a valores inferiores a 10 m (Figura 11). Destaca-se as profundidades nas áreas circunvizinhas às baterias de poços, fator que evidencia os rebaixamentos causados pela operação de poços muito próximos (SEGANTINI, 2010).

De acordo com Segantini (2010), as menores profundidades da superfície freática são encontradas no entorno do córrego Brejo Alegre, que constitui o canal principal da cidade. Nas adjacências deste córrego, as espessuras saturadas também são pequenas, atingindo valores ligeiramente superiores a 3 m.

A localização central do canal principal, os elevados índices de vulnerabilidade intrínseca estimados por Souza (2009) (Figura 12), a intensa ocupação e a localização de indústrias adjacentes são indicadores de que esse setor apresenta um maior risco à poluição (SEGANTINI, 2010). Além disso, a proximidade do lençol com o talvegue também chama atenção para o risco de poluição, uma vez que os efluentes domésticos lançados no córrego ainda não possuem nenhum tipo de tratamento.

Figura 12: Zonas de vulnerabilidade do Aquífero Bauru

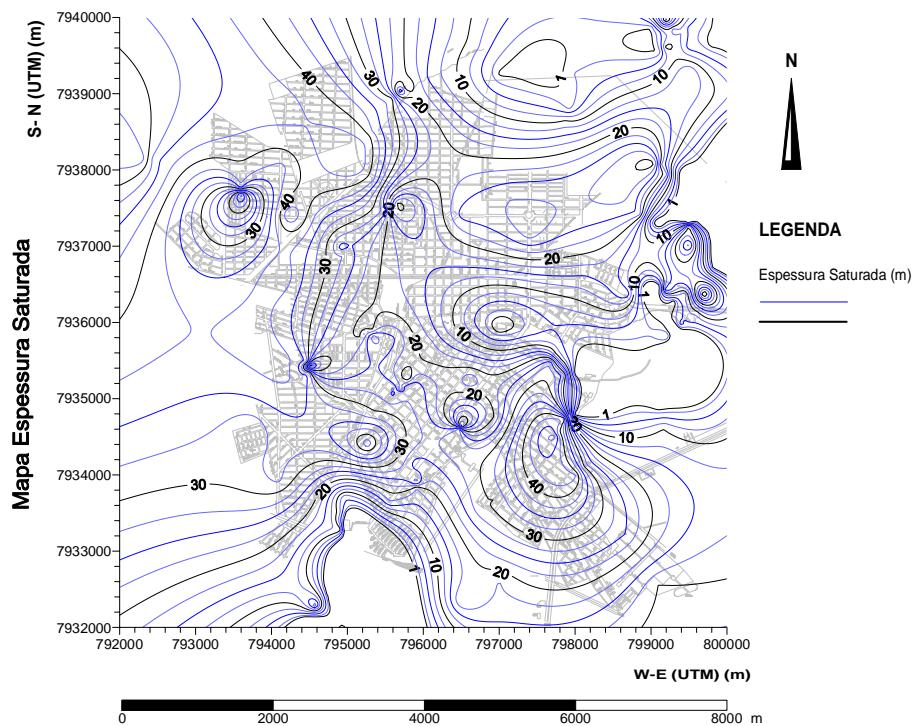


Fonte: Souza (2009)

No setor noroeste, também percebe-se uma redução das profundidades, as quais chegam a atingir valores inferiores a 10 m, conforme pode ser observado na Figura 11.

Estas setores coincidem com locais onde o aquífero atinge as maiores faixas de espessura saturada, com valores superiores a 40 m (Figura 13). Em termos pontuais, destacam-se profundidades marcantes na vizinhança das baterias de poços, fator que também evidencia os rebaixamentos causados pela operação de poços muito próximos (SEGANTINI, 2010).

Figura 13: Distribuição de espessura do aquífero



Fonte: SEGANTINI, 2010

De acordo com Segantini (2010) a porção saturada do Sistema Aquífero Bauru subjacente à zona urbana de Araguari, está sujeita a sensíveis variações de espessura e de profundidade (Figura 13). Destaca-se a presença de baterias de poços, distribuídas na zona urbana, que contribuem para os rebaixamentos mais acentuados da superfície piezométrica.

Em relação aos aspectos hidrogeológicos do Sistema Aquífero Bauru, destaca-se os dados apresentados por Oliveira e Campos (2004) e Velásquez et al. (2008). Na Tabela 4, são expostos os parâmetros hidrogeológicos médios do Sistema Aquífero Bauru na cidade de Araguari.

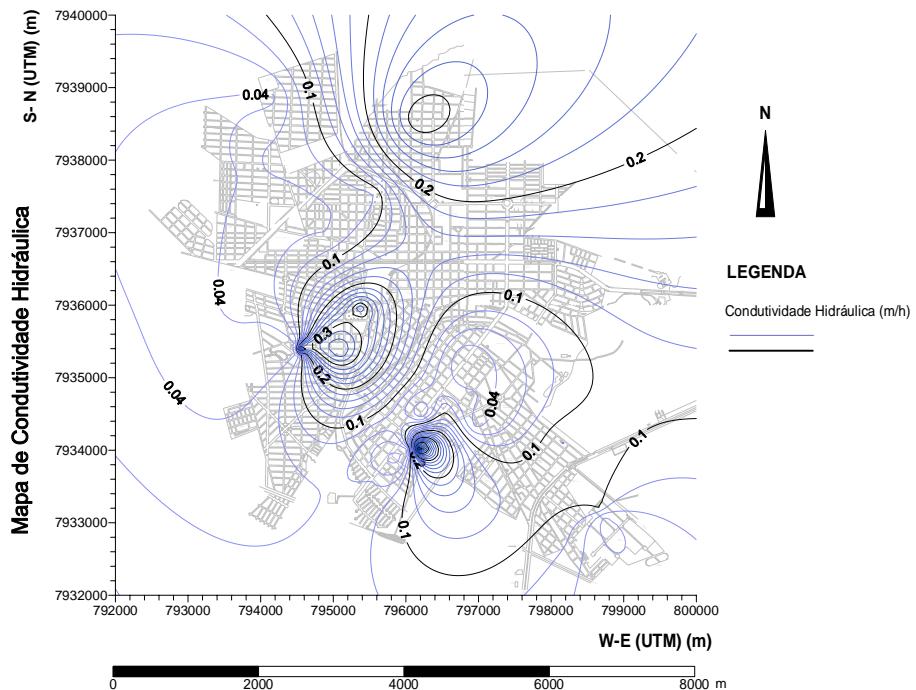
Tabela 4: Parâmetros hidrogeológicos médios do Aquífero Bauru

Parâmetros hidrogeológico	Valor
Espessura saturada média	33 m
Espessura da zona vadosa média	21,5 m
Porosidade efetiva média	15%
Permeabilidade	$2,3 \times 10^{-3}$ cm/s
Condutividade hidráulica média	$8,25 \times 10^{-5}$ m/h
Transmissividade média	76 m ³ /h/m
Capacidade específica média	1,3 m ³ /h/m
Coeficiente de armazenamento	0,12

Fonte: OLIVEIRA; CAMPOS, 2004; VELÁSQUEZ et al. 2008

Nos estudos apresentados por Segantini (2010), a condutividade hidráulica, na zona urbana de Araguari, apresentou valores de 0,005 a 0,56 m/h, conforme pode ser observado na Figura 14, sendo que os poços que apresentaram os maiores valores de condutividade hidráulica foram os da Bateria São Benedito, da Bateria de Chancia e os da Fazenda Cavalaro. Essa faixa de variação assume a mesma ordem de grandeza dos valores médios para o aquífero Bauru no estado de São Paulo, que estão entre 0,0042 e 0,125 m/h, segundo Velásquez e Romano (2004).

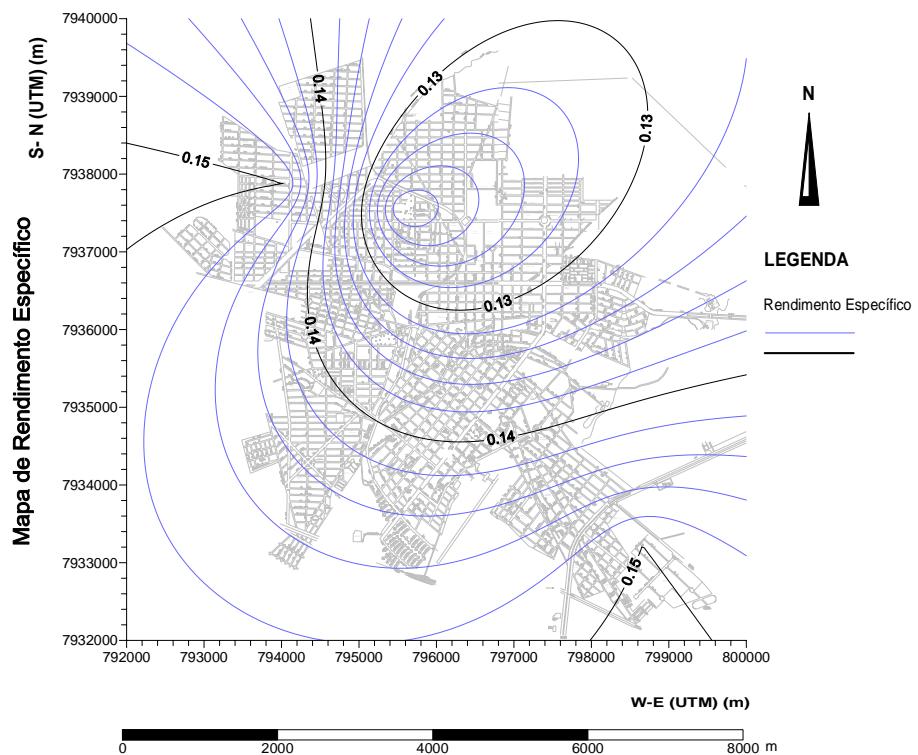
Figura 14: Distribuição da condutividade hidráulica do aquífero



Fonte: SEGANTINI, 2010

Em relação ao rendimento específico (Figura 15), Segantini (2010) destacou um comportamento mais homogêneo para este parâmetro. Considerando o rendimento específico como a porosidade efetiva, Oliveira e Campos (2004) encontraram valores de porosidade efetiva em torno de 0,12, para cotas acima de 915 m e, em torno de 0,135, para cotas entre 900 e 915 m. Esses dados, bem como os medidos por Velásquez e Romano (2004), corroboram que o rendimento específico do aquífero possui, na região analisada, uma distribuição realmente homogênea, com variações entre 0,12 e 0,15.

Figura 15: Distribuição do rendimento específico do aquífero, valor equivalente à porosidade efetiva



Fonte: SEGANTINI, 2010.

CAPÍTULO 4

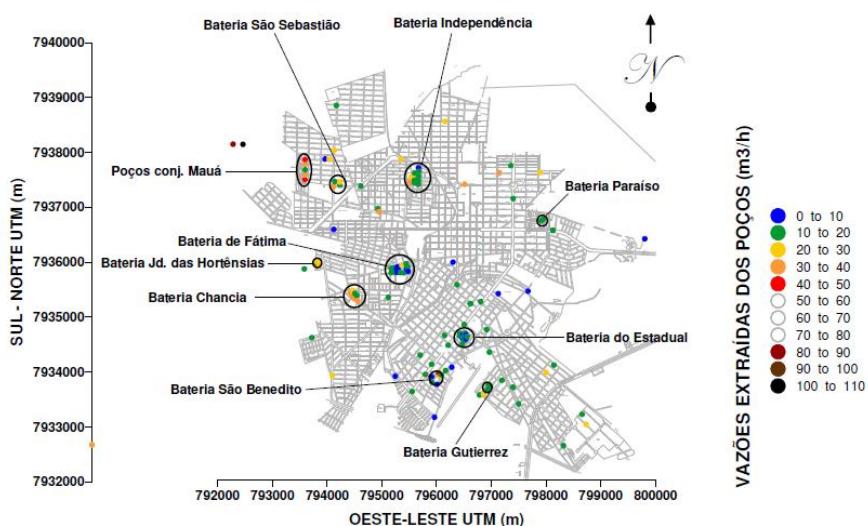
METODOLOGIA

4.1. LEVANTAMENTO E SELEÇÃO DOS POÇOS

Na cidade de Araguari existem 114 poços administrados pela concessionária local, dos quais 84 estão ativos e 30 desativados (SAE, 2011). De uma forma geral, esses poços podem ser classificados em poços de bateria e poços isolados.

Os poços de bateria estão localizados em baterias, áreas de concentração de poços, utilizadas pelo serviço municipal de água e esgoto (Figura 16). A água captada desses poços, após desinfecção e sedimentação, abastecem os reservatórios de distribuição.

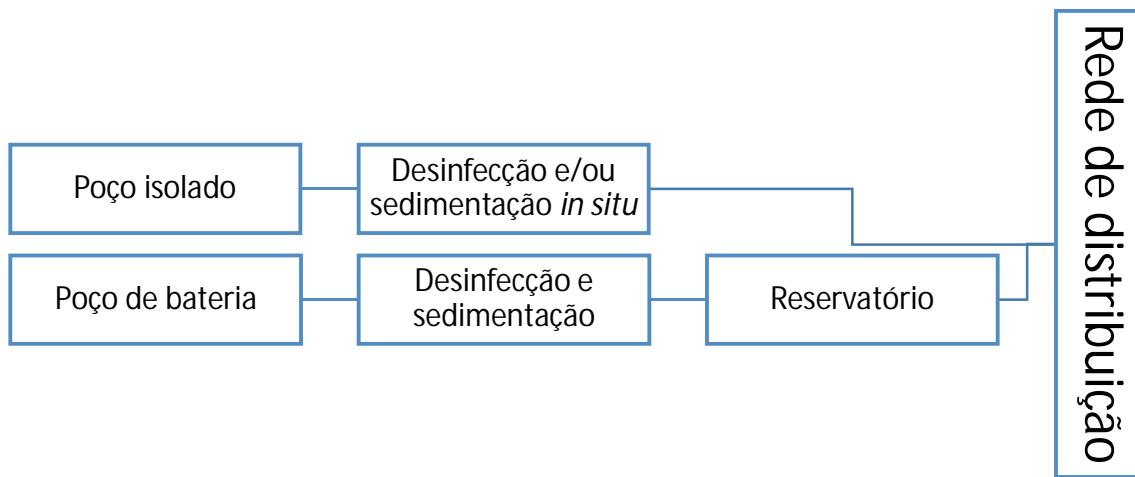
Figura 16: Localização dos poços tubulares isolados e das baterias



Fonte: SEGANTINI, 2010

Dos 114 poços existentes, 66 encontram-se distribuídos em 10 baterias e 48 isolados, que injetam água, após tratamento *in situ*, diretamente na rede de distribuição (Figura 17 e Figura 18). A água explotada de alguns poços isolados também abastecem os reservatórios de distribuição nas baterias.

Figura 17: Esquema do sistema de abastecimento de água da cidade de Araguari/MG



Fonte: BORGES, 2014

Figura 18: Tratamento *in situ* em poços isolados – desinfecção e sedimentação



Fonte: BORGES, 2014

Apesar da grande quantidade de poços tubulares, a concessionária não dispõe de vasto arquivo de dados sobre suas características geométricas como profundidade, extensão filtrante e de pré-filtro, por exemplo. Esta carência de dados vincula-se ao fato de que muitas perfurações são antigas e foram realizadas sem projetos detalhados e preocupações relacionadas com a estimativa dos parâmetros do aquífero.

Uma vez que os poços estabelecem ligação entre o aquífero e a superfície do terreno, a coleta de amostras de água nestes pontos atua como a forma mais direta de monitoramento da qualidade da água subterrânea. Por conseguinte, o estabelecimento de uma rede de poços de monitoramento permite diagnosticar a qualidade da água do aquífero.

Como as amostras foram coletadas em poços pertencentes à concessionária de abastecimento público, o critério de seleção baseou-se nas seguintes ponderações:

- Distribuição espacial: busca de poços bem distribuídos na área urbana, objetivando obter um panorama mais completo acerca da qualidade da água na cidade;
- Operacionalidade: busca preferencial de poços em operação;
- Estrutura: busca de poços dotados de registro e torneira para coleta de água;
- Zonas de risco: busca de poços localizados em locais de risco potencial de poluição como, por exemplo, regiões desprovidas de rede de esgoto.

Foram analisadas amostras de água de 68 poços, correspondendo a, aproximadamente, 80 % dos poços em operação, utilizados pela concessionária local. Os poços analisados estão listados na Tabela 5 e espacializados na Figura 19:

Tabela 5: Poços analisados

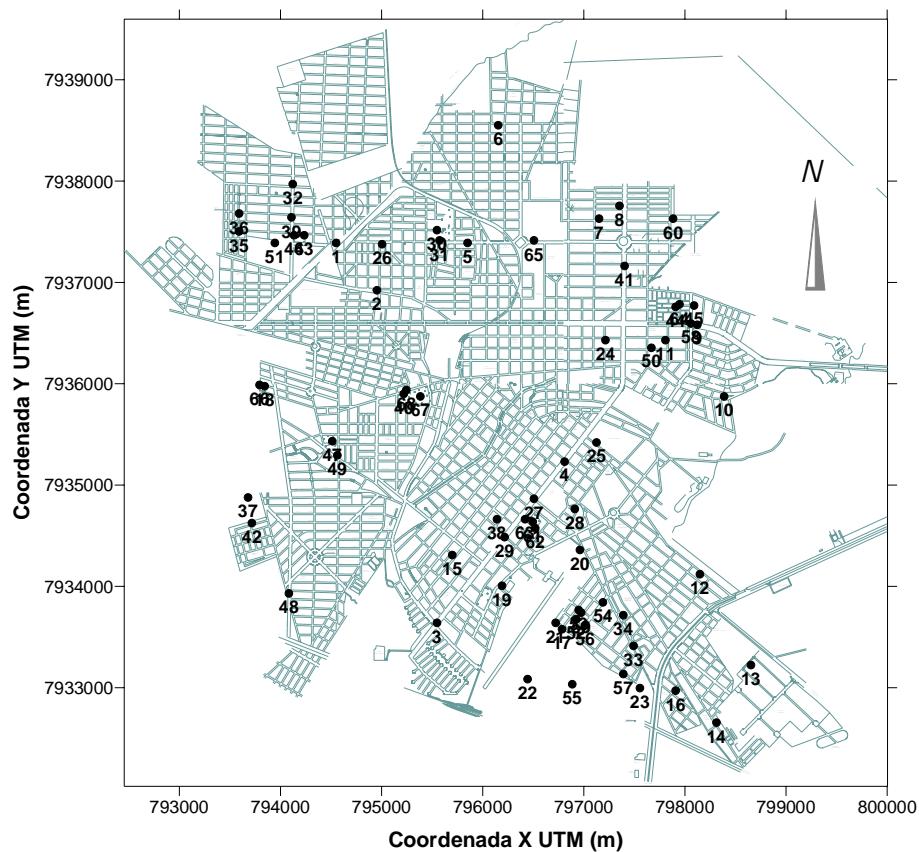
Identificador	Poço	Bateria/isolado	Bateria/rede	Tratamento
1	Passarela	Isolado	Independência	Desinfecção/sedimentação
2	Araras	Isolado	Rede	Desinfecção local
3	Formigão	Isolado	Rede	Desinfecção local
4	Agroara	Isolado	Rede	Desinfecção local
5	Miguel Assad - bombeamento	Isolado	Independência	Desinfecção/sedimentação
6	Walter Santiago	Isolado	Rede	Desinfecção local
7	Tupaciguara	Isolado	Rede	Desinfecção local
8	Ouro Verde rua 4	Isolado	Rede	Desinfecção local
9	Theodoreto	Isolado	Rede	Desinfecção local/sedimentação local
10	Sibipiruna	Isolado	Rede	Desinfecção local/sedimentação local
11	Maria Carlota	Isolado	Rede	Desinfecção local
12	Raul José	Isolado	Rede	Desinfecção local

13	Novo CDI	Isolado	Rede	Desinfecção local/sedimentação local
14	Novo Horizonte	Isolado	Rede	Desinfecção local
15	Elias Peixoto	Isolado	Rede	Desinfecção local
16	Satélite	Isolado	Rede	Desinfecção local
17	Goiás	Isolado	Gutierrez	Desinfecção/sedimentação
18	Cachoeirinha 3	Isolado	Chancia	Desinfecção/sedimentação
19	Contingente	Isolado	Rede	Desinfecção local
20	Ceréia	Isolado	Rede	Desinfecção local
21	São Luiz	Isolado	Gutierrez	Desinfecção/sedimentação
22	Rainha da Paz	Isolado	Rede	Desinfecção local
23	Gaivotas	Isolado	Rede	Desinfecção local
24	Santa Casa	Isolado	Rede	Desinfecção local
25	Bosque	Isolado	Rede	Desinfecção local
26	Miguel Assad – novo	Isolado	Independência	Desinfecção/sedimentação
27	Frangão	Isolado	Estadual	Desinfecção/sedimentação
28	Jardim Regina	Isolado	Rede	Desinfecção local
29	Center Pisos	Isolado	Estadual	Desinfecção/sedimentação
30	Independência 6	Bateria	Independência	Desinfecção/sedimentação
31	Independência 4	Bateria	Independência	Desinfecção/sedimentação
32	Palmeiras	Isolado	Chancia/Fátima	Desinfecção/sedimentação
33	Travessa Coromandel	Isolado	Gutierrez	Desinfecção/sedimentação
34	Eleonora Pieruccetti	Isolado	Gutierrez	Desinfecção/sedimentação
35	Buritis	Isolado	Chancia/Fátima	Desinfecção/sedimentação
36	Jaca	Isolado	Chancia/Fátima	Desinfecção/sedimentação
37	Portal de Fátima 1	Isolado	Chancia	Desinfecção/sedimentação
38	Tereza França de Lima	Isolado	Rede	Desinfecção local
39	São Cristóvão	Isolado	Chancia/Fátima	Desinfecção/sedimentação
40	Fátima 19	Bateria	Fátima	Desinfecção/sedimentação
41	Miranda	Isolado	Rede	Desinfecção local
42	Madrid	Isolado	Rede	Desinfecção local
43	São Sebastião 1	Bateria	Rede	Desinfecção local
44	Paraíso 1	Isolado	Rede	Desinfecção local
45	Rodoviária	Isolado	Rede	Desinfecção local
46	São Sebastião 2	Bateria	São Sebastião	Desinfecção/sedimentação
47	Chancia 4	Bateria	Chancia	Desinfecção/sedimentação
48	Avenida Brasil	Isolado	Rede	Desinfecção local
49	Chancia 2	Bateria	Chancia	Desinfecção/sedimentação
50	Abriço	Isolado	Rede	Desinfecção local
51	Madeiras	Isolado	São Sebastião	Desinfecção/sedimentação

52	Gutierrez 3	Bateria	Gutierrez	Desinfecção/sedimentação
53	Gutierrez 1	Bateria	Gutierrez	Desinfecção/sedimentação
54	Porto Alegre 1	Isolado	Gutierrez	Desinfecção/sedimentação
55	Flamboyants rua 6	Isolado	Rede	Desinfecção local
56	Porto Alegre 2	Isolado	Gutierrez	Desinfecção/sedimentação
57	Latifah Cafrune	Isolado	Rede	Desinfecção local
58	Cadeia	Isolado	Rede	Desinfecção local
59	Gutierrez 2	Bateria	Gutierrez	Desinfecção/sedimentação
60	Ouro Verde rua 8	Isolado	Rede	Desinfecção local
61	Estadual 6	Bateria	Estadual	Desinfecção/sedimentação
62	Estadual 12	Bateria	Estadual	Desinfecção/sedimentação
63	Estadual 8	Bateria	Estadual	Desinfecção/sedimentação
64	Paraíso 2	Isolado	Rede	Desinfecção local
65	Exposição	Isolado	Independência	Desinfecção/sedimentação
66	Cachoeirinha 2	Isolado	Chancia	Desinfecção/sedimentação
67	Fátima 3	Bateria	Fátima	Desinfecção/sedimentação
68	Fátima 13	Bateria	Fátima	Desinfecção/sedimentação

Fonte: BORGES, 2014

Figura 19: Disposição geográfica dos poços analisados



Fonte: BORGES, 2014

4.2. COLETA DE ÁGUA E GEORREFERENCIAMENTO DOS POÇOS

Posteriormente à seleção dos poços analisados, de acordo com os critérios descritos no item anterior, foram realizados trabalhos de campo para a coleta de água. Para isso, foram selecionados poços tubulares em operação da rede de abastecimento da concessionária, dotados de registro e torneira (Figura 20).

Figura 20: Poço dotado de registro para coleta de água.



Fonte: BORGES, 2014

Foram realizadas 2 campanhas de campo, sendo a primeira em novembro de 2012 e a segunda em dezembro de 2014. Após a coleta, as amostras foram etiquetadas, reconhecidas e encaminhadas ao laboratório para análise. Estabeleceu-se como meta a análise da água de 68 poços ativos, o que corresponde a, aproximadamente, 80 % do total de poços em operação.

A coleta de amostras em campo é, provavelmente, o passo mais importante de um programa de monitoramento de qualidade de água. Da correta execução dos procedimentos depende a confiabilidade dos resultados finais e, portanto, as ações resultantes da interpretação dos dados gerados.

Embora a água subterrânea distribuída na cidade receba a desinfecção, as amostras foram coletadas a montante do ponto de aplicação do desinfetante, garantindo os aspectos qualitativos da água bruta. A sistemática da coleta e da preservação das amostras seguiu a NBR 9898/1987 da ABNT.

Após a coleta das amostras, os poços foram cadastrados segundo sua disposição geográfica em sistema cartesiano (sistema UTM) (Tabela 4). O *Datum* adotado como referência o WGS 84, zona 22.

Tabela 6: Coordenadas dos poços monitorados

Identificador	Poço	Coordenadas		Referência
		X (m)	Y (m)	
1	Passarela	794550,0487	7937389,807	Rua 4, 290 Bairro Independência
2	Das Araras	794954,0375	7936922,889	Rua das Araras, 460 Bairro Independência
3	Formigão	795547,3961	7933641,847	Avenida Minas Gerais, 3510 Bairro Santa Helena
4	Agroara	796809,8612	7935231,891	Avenida Minas Gerais, 1515 Bairro Centro
5	Miguel Assad Bombeamento	795850,3877	7937389,807	Avenida Miguel Assad Debs, 780 Bairro Santa Terezinha
6	Walter Santiago	796153,3794	7938550,791	Rua Walter Santiago, 181 Bairro Jockey Club
7	Tupaciguara	797150,7268	7937629,576	Rua Tupaciguara, 400 Bairro Miranda
8	Ouro Verde Rua 4	797352,7212	7937755,769	Avenida Minas Gerais, 481 Bairro Miranda
9	Theodoreto	798122,8249	7936582,166	Avenida Theodoreto Veloso de Carvalho, 100 Bairro Paraíso
10	Sibipiruna	798387,9426	7935875,480	Praça Carlos José De Moura, 1200 Bairro Sibipiruna
11	Maria Carlota	797807,2087	7936430,733	Rua Cecilia Schartzman,405 Bairro Paraíso
12	Raul José	798148,0742	7934121,384	Raul José de Belém, 2990 Bairro Idelmino
13	Novo CDI	798653,0603	7933225,407	Rua 6, 380 Bairro Industrial
14	Novo Horizonte	798312,1947	7932657,535	Rua Padre Nilo, 380 Bairro Novo Horizonte
15	Elias Peixoto	795698,8919	7934310,675	Rua Elias Peixoto, 2 Bairro Santa Helena
16	Satélite	797908,2059	7932973,019	Rua Satélite, 200 Bairro Beatriz
17	Goiás	796784,6119	7933578,750	Rua Goiás, 67 Bairro Aeroporto Sul
18	Cachoeirinha 3	793843,0682	7935976,435	Rua José Canut, 551 Bairro Fátima
19	Contingente	796191,2533	7934007,810	Avenida Santos Dumont, 875 Bairro Aeroporto
20	Ceréia	796961,3570	7934361,153	Rua Marcilio Dias, 564 Bairro Amorim
21	São Luiz	796721,4887	7933641,847	Rua São Luiz, 580 Bairro Aeroporto Sul
22	Rainha Da Paz	796443,7463	7933086,594	Waldomiro Martini de Oliveira, 10 Bairro Millenium
23	Gaivotas	797554,7156	7932998,258	Rua Ademar dos Reis, 150 Bairro Gaivotas
24	Santa Casa	797213,8501	7936430,733	Praça Dom Almir Marquês Ferreira, 02 Bairro Rosário
25	Bosque	797125,4775	7935421,182	Rua Mauro Cunha, 221 Bairro do Bosque
26	Miguel Assad Novo	795004,5361	7937377,188	Avenida Miguel Assad Neves, 1656 Bairro Independência
27	Frangão	796506,8696	7934865,928	Avenida Minas Gerais, 2005 Bairro Centro

28	Jardim Regina	796910,8584	7934764,973	Praça Padre Elói Bairro Jardim Regina
29	Center Pisos	796216,5026	7934487,347	Avenida Minas Gerais, 2619 Bairro Aeroporto
30	Independência 6	795547,3961	7937516,001	Avenida Miguel Assad Debs, 1401 Bairro Independência
31	Independência 4	795572,6454	7937415,046	Avenida Miguel Assad Debs, 1401 Bairro Independência
32	Palmeiras	794120,8105	7937970,299	Avenida Das Palmeiras, 485 Bairro São Sebastião
33	Travessa Coromandel	797491,5924	7933414,698	Travessa Coromandel, 136 Bairro Amorim
34	Eleonor Pieruccetti	797390,5952	7933717,564	Rua Coromandel, 310 Bairro Amorim
35	Buritis	793590,5752	7937503,382	Rua Dos Buritis, 819 Bairro Mauá
36	Jaca	793590,5752	7937680,053	Rua dos Nogueiras, 770 Bairro Mauá
37	Portal de Fátima 1	793678,9477	7934878,548	Quadra A, 53 Bairro Portal de Fátima
38	Tereza França de Lima	796140,7547	7934664,018	Praça Tereza França Lima Bairro Centro
39	São Cristóvão	794108,1859	7937642,195	Avenida das Palmeiras, 240 Bairro São Sebastião
40	Fátima 19	795219,1552	7935900,719	Rua Hugo Alessi, 50 Bairro Industrial
41	Miranda	797403,2198	7937162,658	Avenida Minas Gerais, 615 Bairro Miranda
42	Madrid	793716,8217	7934626,160	Rua 3, 190 Bairro Madrid
43	São Sebastião 1	794234,4324	7937465,523	Rua Dos Buritis, 262 Bairro São Sebastião
44	Paraíso 1	797908,2059	7936758,837	Praça João Silva e Oliveira Bairro Paraíso
45	Rodoviária	797327,4719	7936771,457	Avenida Oswaldo Pieruccett, 157 Bairro Paraíso
46	São Sebastião 2	794133,4352	7937465,523	Rua dos Buritis, 262 Bairro São Sebastião
47	Chancia 4	794512,1747	7935433,801	Rua Antônio de Melo, 70 Bairro Chancia
48	Avenida Brasil	794082,9366	7933932,093	Avenida Brasil, 1005 Bairro Brasília
49	Chancia 2	794562,6733	7935294,988	Rua Antônio de Melo, 70 Bairro Chancia
50	Abrigo	797668,3375	7936355,017	Rua Coronel Carneiro, 191 Bairro Sibipiruna
51	Madeiras	793944,0654	7937389,807	Avenida das Madeiras, 480 Bairro Alan Kardec
52	Gutierrez 3	796923,4831	7933679,705	Praça Pedro Chagas Bairro Gutierrez
53	Gutierrez 1	796948,7324	7933768,041	Praça Pedro Chagas Bairro Gutierrez
54	Porto Alegre 1	797188,6008	7933843,758	Avenida Porto Alegre, 103 Bairro Aeroporto
55	Flamboyants Rua 6	796885,6091	7933036,116	Rua 6, 120/Bairro Flamboyants
56	Porto Alegre 2	797011,8556	7933616,608	Avenida Porto Alegre, 370 Bairro Aeroporto
57	Latifah Cafrune	797390,5952	7933137,072	Praça Latifah Cafrune Bairro Flamboyants

58	Cadeia	798059,7017	7936594,785	Avenida Oswaldo Pieruccett, 15 Bairro Paraíso
59	Gutierrez 2	796973,9817	7933742,802	Praça Pedro Chagas Bairro Gutierrez
60	Ouro Verde Rua 8	797882,9566	7937629,576	Rua 8, 25 Bairro Ouro Verde
61	Estadual 6	796494,2449	7934638,779	Avenida Minas Gerais, 2205 Bairro Centro
62	Estadual 12	796519,4942	7934575,682	Avenida Minas Gerais, 2205 Bairro Centro
63	Estadual 8	796418,4970	7934664,018	Avenida Minas Gerais, 2205 Bairro Centro
64	Paraíso 2	797946,0798	7936784,076	Praça João Silva e Oliveira Bairro Paraíso
65	Exposição	796506,8696	7937415,046	Praça Sérgio Pacheco/ Bairro Miranda
66	Cachoeirinha 2	793792,5696	7935989,054	Rua José Canut, 551 Bairro Fátima
67	Fátima 3	795383,2756	7935875,480	Rua Hugo Alessi, 50 Bairro Industrial
68	Fátima 13	795370,6510	7935938,577	Rua Hugo Alessi, 50 Bairro Industrial

Fonte: BORGES, 2014

4.3. ANÁLISES LABORATORIAIS

A amostras de água coletadas nos poços selecionados foram submetidas a ensaios de pH, nitrato, nitrito, fósforo, DQO, DBO₅, cor aparente, turbidez, sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos voláteis totais e fixos totais.

O laboratório contratado para esta finalidade realizou as análises supracitadas sob a orientação do APHA – *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1995).

4.4. AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Neste trabalho, adotou-se como referência normativa, para classificação e comparação, a Resolução CONAMA Nº 396 de 2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas.

Para os parâmetros analisados não contemplados pela resolução supracitada, como turbidez e cor aparente, adotou-se a Portaria do Ministério da Saúde 2914 de 2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

A Resolução CONAMA n. 396 de 2008 e a Portaria Ministério da Saúde 2914 de 2011 não fazem referência quanto aos valores máximos permitidos para o parâmetro DBO₅. Dessa forma, utilizou-se a Resolução CONAMA n. 357 de 2005, que dispõe sobre a classificação e enquadramento dos corpos de água, para balizar a qualidade da água em relação a este indicador.

4.5. INTERPOLAÇÕES ESPACIAIS E CONSTRUÇÃO DE MAPAS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os resultados das etapas de campo e laboratoriais permitiram o mapeamento dos parâmetros de qualidade da água avaliados neste estudo, com a identificação das áreas mais críticas em termos de poluição do lençol freático. Este mapeamento foi obtido a partir da interpolação espacial dos valores de concentração determinados em laboratório, utilizando as coordenadas dos pontos de coleta (poços) obtidas durante as campanhas de campo. Para as interpolações espaciais e elaboração dos mapas, foi empregado o programa *Surfer 10*.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1. NITRATO, NITRITO E FÓSFORO TOTAL

A presença de nitrato e nitrito pressupõe enriquecimento por atividades antropogênicas que envolveram compostos nitrogenados como fertilizantes solúveis, sistemas sépticos humanos ou dejetos de animais domésticos. Excetuando-se a origem natural, elevadas concentrações de fósforo podem ser advindas de detergentes veiculados pelo esgoto.

Na rede de poços analisada, os parâmetros nitrito e fósforo total não foram detectados em nenhuma das amostras coletadas nas duas campanhas de campo realizadas. Na campanha de 2012 o nitrato foi identificado em 49 % das amostras. Já em 2014, em 64 %.

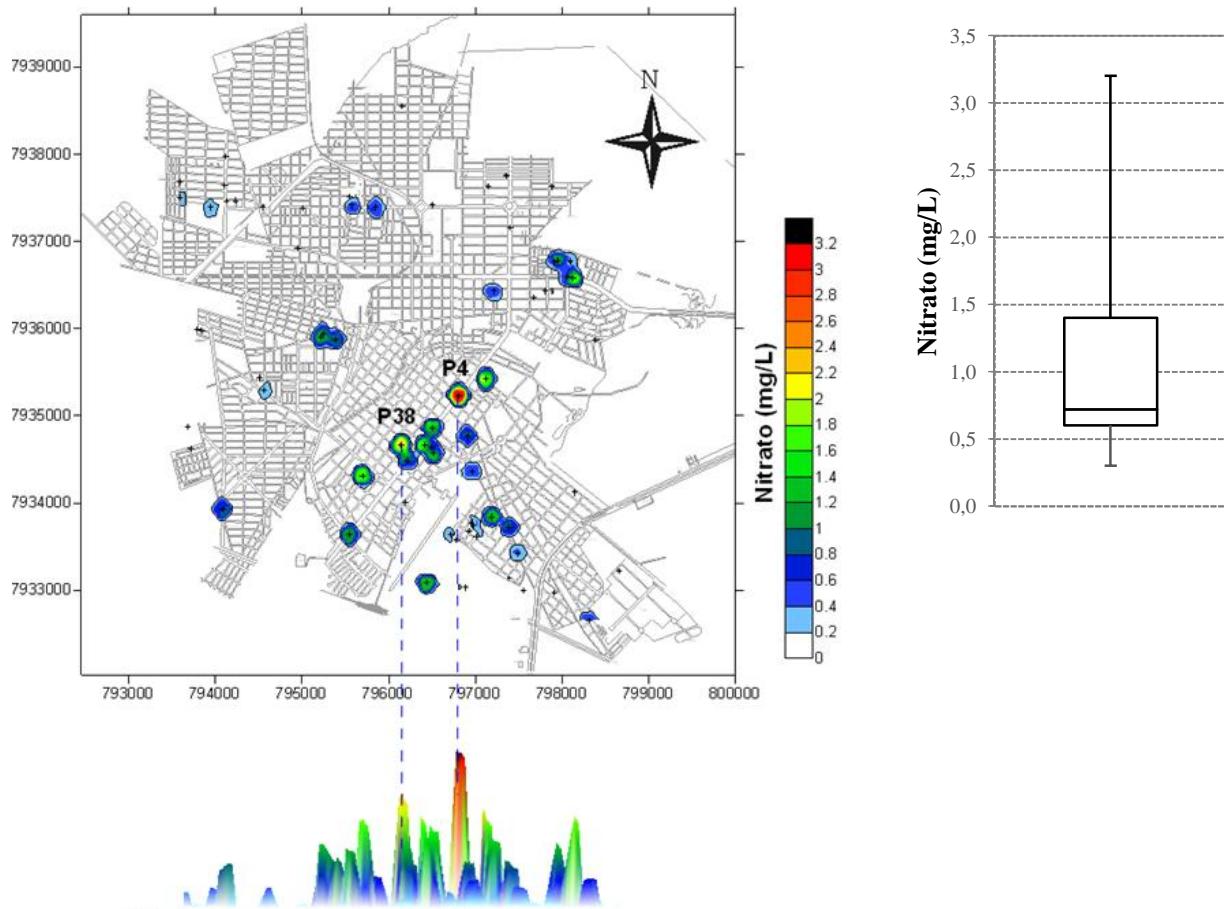
As maiores concentrações de nitrato nas amostras coletadas em 2012 foram detectadas nos poços Agroara (3,2 mg/L), Tereza França de Lima (2,2 mg/L), Theodoreto (2,0 mg/L), Bosque (1,7 mg/L), Estadual 8 (1,7 mg/L), Elias Peixoto (1,7 mg/L) e Paraíso 2 (1,7 mg/L). Considerando os valores detectados de nitrato, a média foi de 1,0 mg/L, com desvio padrão de 0,7 mg/L. Os poços, anteriormente identificados como os mais críticos, apresentaram concentrações acima do valor de 1,4 mg/L, que delimitou o terceiro quartil.

Já nas amostras coletadas em 2014, as maiores concentrações de nitrato foram detectadas nos poços Ceréia (0,8 mg/L), Theodoreto (0,7 mg/L), Rainha da Paz (0,7 mg/L), Frangão (0,7 mg/L), Bosque (0,6 mg/L), Estadual 8 (0,6 mg/L) e Jardim Regina (0,6 mg/L). Considerando os valores de nitrato detectados, a média foi de 0,4 mg/L, com desvio padrão de 0,2 mg/L. Os poços identificados como os mais críticos em 2014, apresentaram concentrações acima do valor de 0,5 mg/L, que delimitou o terceiro quartil.

Comparando o resultado das duas campanhas, observa-se uma redução sensível da concentração nitrato em 2014. Considerando a média, a redução foi de 60 % em relação a 2012.

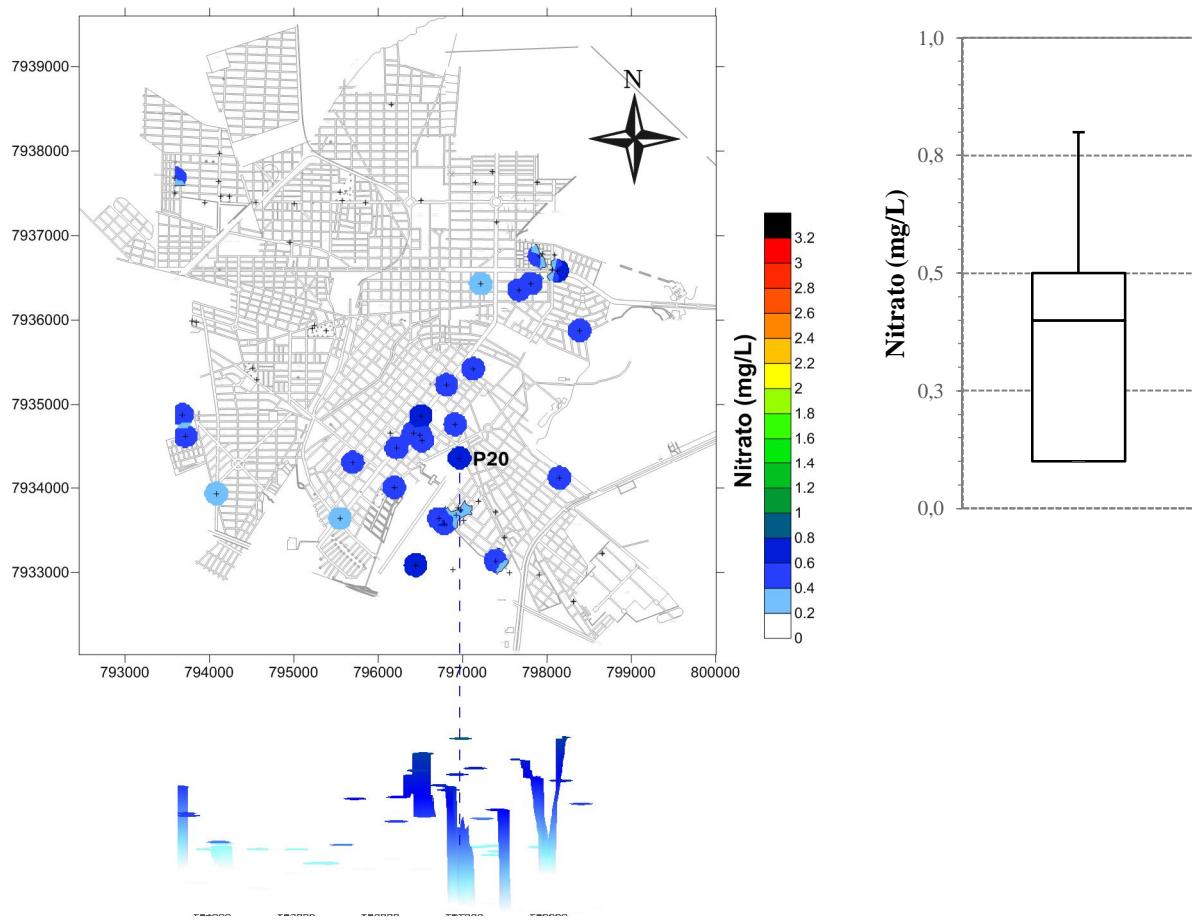
Nas Figuras Figura 21 e Figura 22 são ilustradas a distribuição espacial de nitrato nos pontos de amostragem para ambas as campanhas realizadas.

Figura 21: Distribuição espacial de nitrato na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados em 2012



Fonte: BORGES, 2014

Figura 22: Distribuição espacial de nitrato na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados em 2014



Fonte: BORGES, 2014

Em 2013, o poço Tereza França de Lima foi desativado. Dessa forma, não foi possível coletar amostra no local em 2014.

Segundo a Resolução CONAMA Nº 396 de 2008, que trata sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas, a água destinada ao abastecimento humano não deve registrar concentrações superiores a 10 mg/L de nitrato. A CETESB (2010) fixa a concentração de 5 mg/L como uma referência para alerta de prevenção. Pela análise da água extraída dos poços monitorados, em ambas as campanhas de campo realizadas, verifica-se que nenhum desses limites foi atingido. Apesar disto, não se descartam atenções especiais para os poços onde as concentrações alcançaram os maiores valores.

Nota-se que teores de nitrato não foram detectados na maior parte dos poços situados na zona norte da cidade em ambas as campanhas realizadas. Todavia, concentrações de

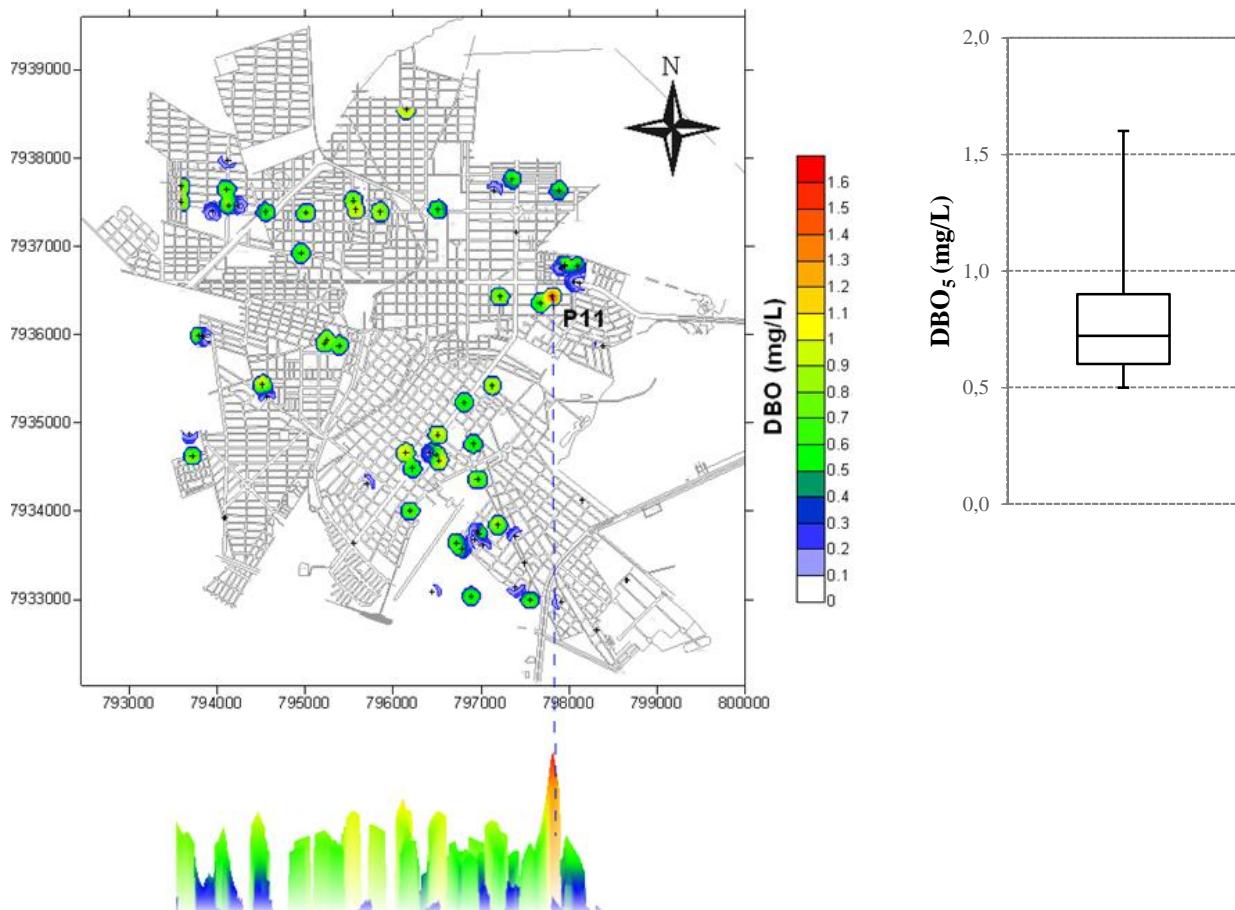
nitrato foram detectadas na maioria dos poços analisados nos setores central e sul. Os baixos valores de nitrato nos poços periféricos indicam que atividades agrícolas adjacentes à zona urbana ainda não têm afetado a área de captação de água para abastecimento público. Apesar destas configurações espaciais na distribuição de nitrato, a constatação de cenários mais explícitos de alerta de poluição somente pode ser analisada com a conexão com outros parâmetros.

5.2. DQO E DBO

A DQO é um importante indicador do teor de poluentes orgânicos na água, pois mede o oxigênio consumido durante a oxidação química da matéria orgânica. A DBO pode ser definida como a quantidade de oxigênio necessário para consumir a matéria orgânica contida na água, mediante processos bioquímicos aeróbios. A análise conjunta destes dois parâmetros, além de indicar eventual poluição por matéria orgânica, também permite averiguar a biodegradabilidade do poluente.

Na campanha realizada em 2012, o parâmetro DBO_5 foi identificado em 60 % dos poços monitorados. Considerando os valores detectados (acima de 0,5 mg/L), a média para a DBO_5 foi de 0,8 mg/L, com desvio padrão de 0,2 mg/L. Os maiores valores foram registrados nas amostras coletadas nos poços Maria Carlota (1,6 mg/L), Frangão (1,1 mg/L), Tereza França de Lima (1,1 mg/L), Estadual 6 (1,0 mg/L), Chancia 4 (1,0 mg/L) e Independência 4 (1,0 mg/L). Em todos estes poços, as concentrações superaram o limite do terceiro quartil (0,9 mg/L). Na Figura 23 é ilustrada a distribuição espacial de DBO_5 nos pontos de amostragem.

Figura 23: Distribuição espacial de DBO₅ na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados em 2012



Fonte: BORGES, 2014

Destaca-se que o maior valor de DBO₅ foi encontrado na amostra coletada no poço Maria Carlota, onde também foi registrado o maior valor de DQO (4,0 mg/L). Mesmo assim, 97% dos resultados para DQO ficaram abaixo do limite de 3,3 mg/L, detectável pelo método analítico experimental. Isto evidencia um cenário muito brando de aporte de carga orgânica.

Para as amostras coletadas em 2014, não foram detectados valores de DBO₅. A DQO foi detectada somente na amostra coletada no poço Elias Peixoto (3,5 mg/L).

Para o parâmetro DBO₅ a Resolução CONAMA n. 357 de 2005, estabelece uma concentração máxima de 3 mg/L (para as classes especial e 1), 5 mg/L (para a classe 2) e 10 mg/L (para classe 3), não fixando valores para a classe 4. A DBO₅, levantada para todos os poços, em ambas as campanhas realizadas, ficou abaixo de todos os valores

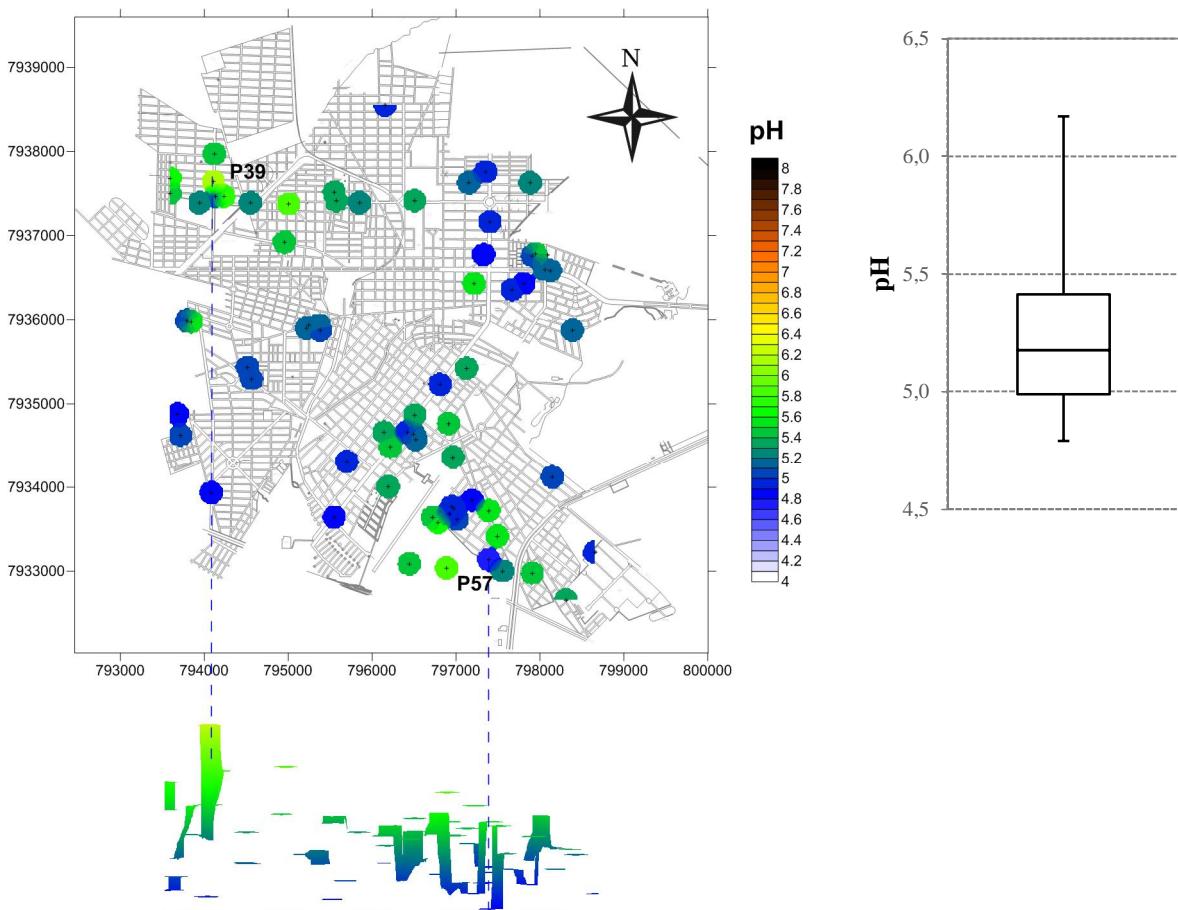
permissíveis. Dessa maneira, analisando este índice isoladamente, não há cenário de poluição evidente por matéria orgânica biodegradável.

5.3. pH

Para águas subterrâneas, os valores de pH estão basicamente condicionados às características do meio poroso. Dessa forma, este parâmetro tende a apresentar-se mais uniforme quando a análise é feita em áreas mais restritas. Conforme ilustrado nas Figuras Figura 24 e Figura 25, a relativa uniformidade na distribuição do pH foi constatada quando este parâmetro foi medido nas amostras de água coletadas.

Na campanha realizada em 2012, os valores de pH detectados variaram entre 4,8 e 6,2, com valor médio de 5,2 e desvio padrão de 0,3 (Figura 24).

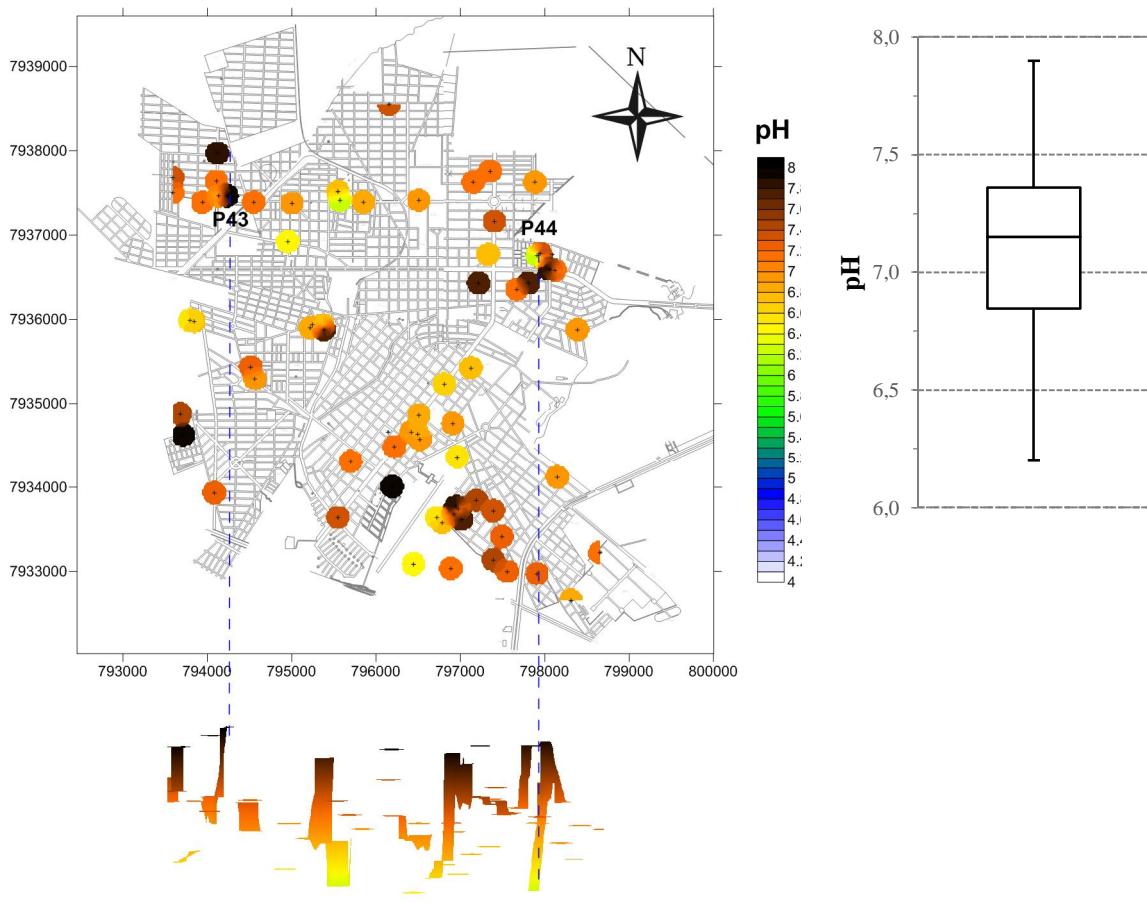
Figura 24: Distribuição espacial de pH na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados em 2012



Fonte: BORGES, 2014

Já em 2014, os valores encontrados permaneceram entre 6,2 e 7,9, com média de 7,1 e desvio padrão de 0,4 (Figura 25). Comparando o resultados das duas campanhas, observa-se um aumento nos valores de pH em 2014. Considerando a média, o aumento foi de 27 % em relação a 2012.

Figura 25: Distribuição espacial de pH na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados em 2014



Fonte: BORGES, 2014

Estes resultados foram próximos daqueles encontrados por Velásquez et al. (2008), indicando águas ácidas a moderadamente ácidas. A acidez da água do aquífero Bauru pode estar relacionada com as características dos solos locais (latossolos), que apresentam limitações químicas decorrentes da baixa fertilidade natural, forte acidez e alta saturação por alumínio. Segundo os autores, esta agressividade das águas do aquífero Bauru contribui para as frequentes corrosões dos filtros, facilitando a entrada de areia nos poços.

7.1. COR E TURBIDEZ

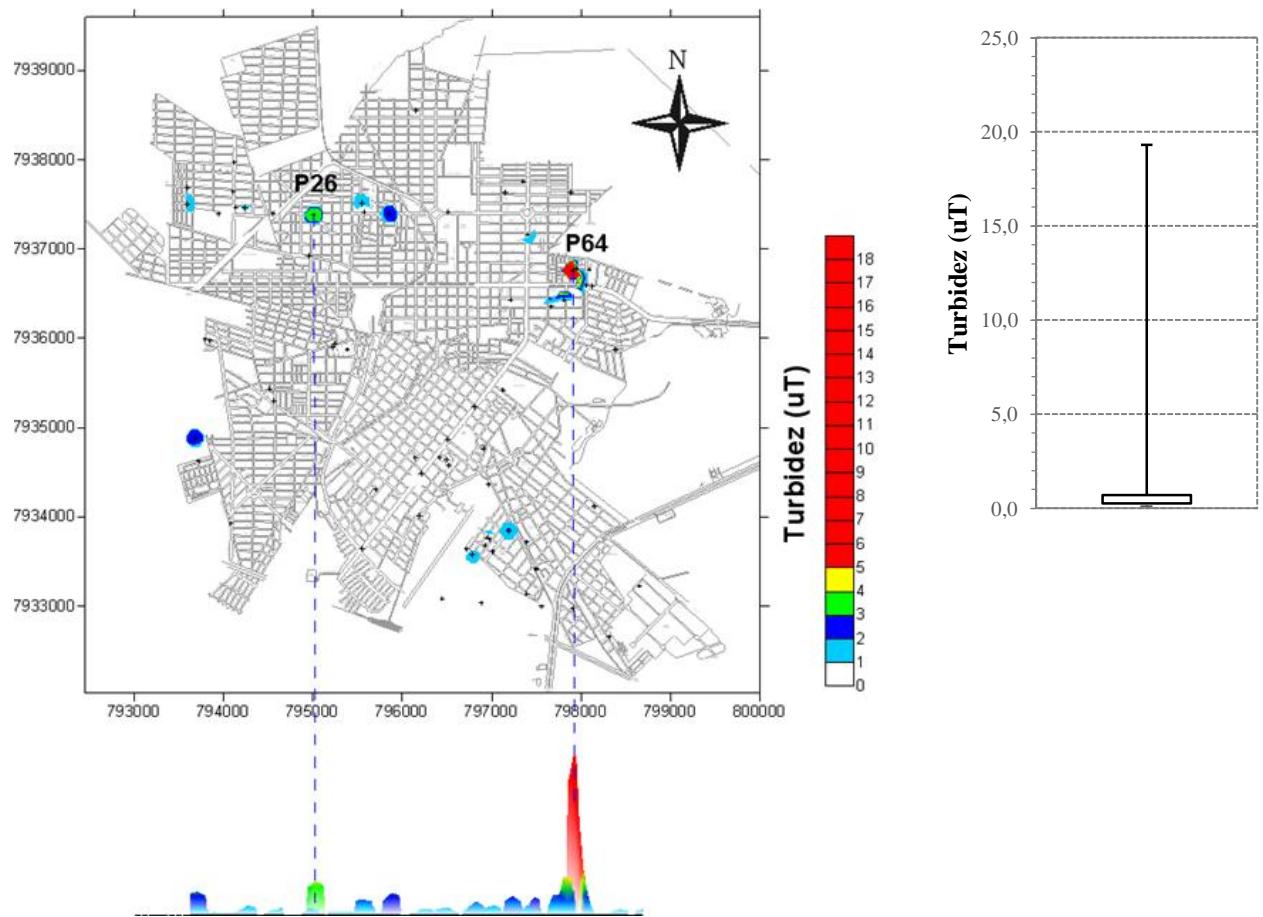
Em ambas as campanhas de campo realizadas, o parâmetro cor não foi detectado em nenhuma amostra, fator que indica presença inexpressiva de sólidos dissolvidos na água subterrânea.

Em relação à turbidez, nas análises realizadas em 2012 observou-se que os valores medidos para os poços monitorados foram baixos, reflexo já esperado da pequena concentração de sólidos suspensos nas amostras. A média dos valores de turbidez foi de 0,8 uT, com um valor máximo de 19,3 uT muito discrepante do restante das amostras. Já em 2014, a média dos valores de turbidez foi de 0,2 uT, com um valor máximo de 0,4 uT.

É provável que a turbidez encontrada nas amostras coletadas em 2012 e 2014 não decorra de processos poluidores do aquífero propriamente ditos, mas sim da eventual extração de areia, silte e argila por poços com filtros corroídos ou com filtros ou pré-filtro mal dimensionados. Este valor máximo isolado, verificado no poço Paraíso 2 em 2012, condicionou um desvio padrão mais elevado para o parâmetro turbidez (2,36 uT). Ainda assim, todas as outras amostras apresentaram valores de turbidez abaixo do limite máximo permitido pela Portaria do Ministério da Saúde 2914 de 2011, que estabelece como 1 uT, o valor máximo para 95% das amostras pontuais de água subterrânea submetida a desinfecção e, para os outros 5%, um máximo de 5 uT.

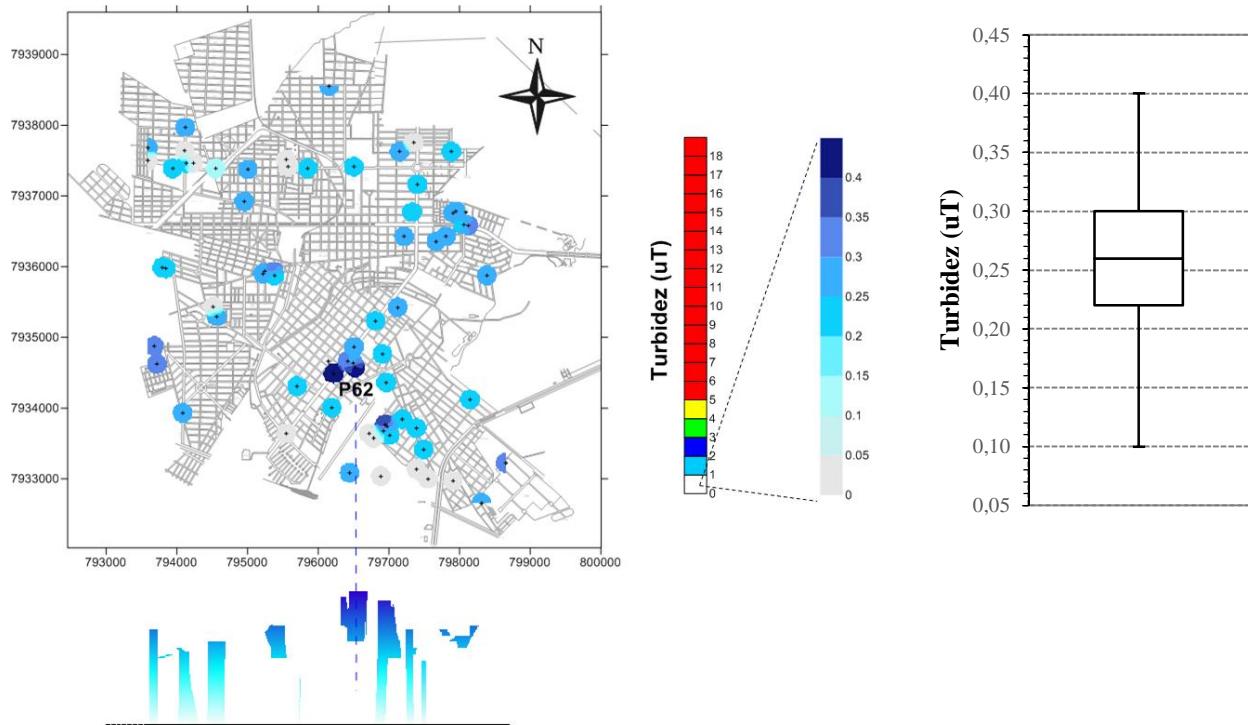
Nas Figuras Figura 26 e Figura 27 são ilustradas a distribuição de turbidez no entorno dos poços amostrados em 2012 e 2014, respectivamente.

Figura 26: Distribuição espacial de turbidez na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados em 2012



Fonte: BORGES, 2014

Figura 27: Distribuição espacial de turbidez na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados em 2014



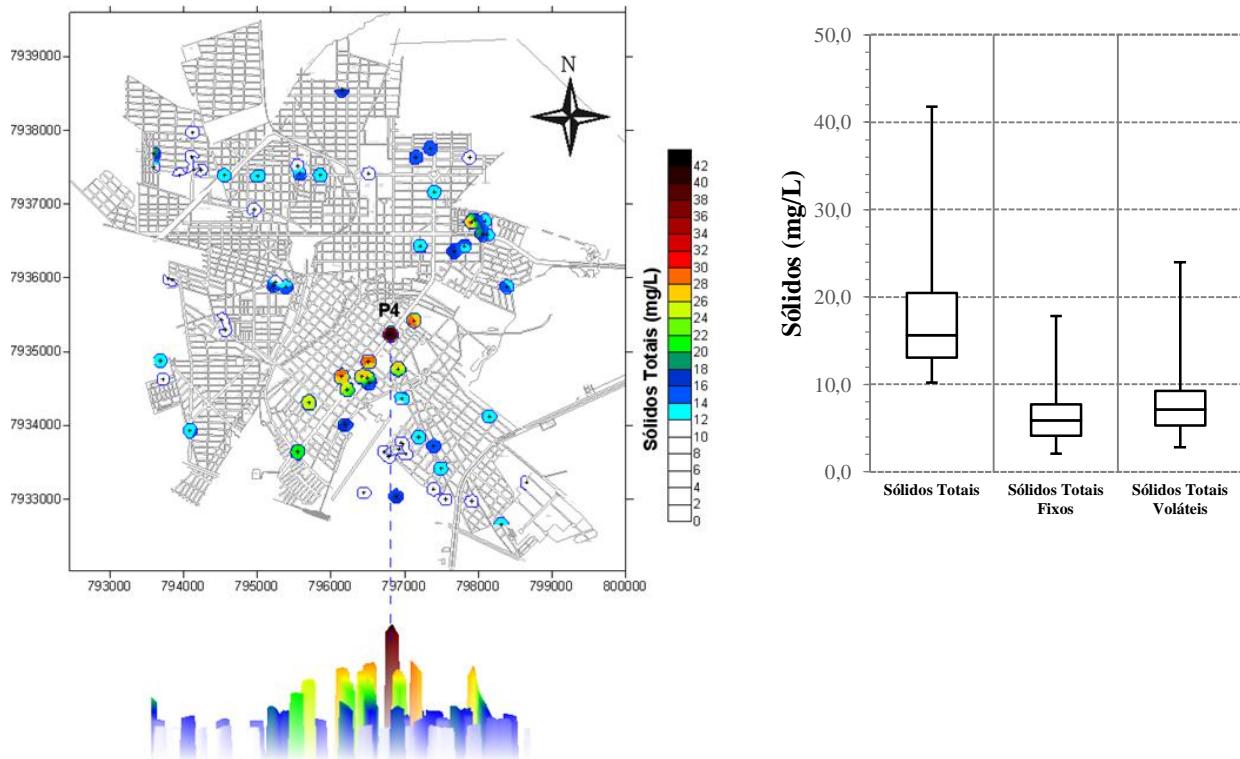
Fonte: BORGES, 2014

9.1. SÉRIE DE SÓLIDOS

Sólidos totais são todas as impurezas presentes na água, excetuando-se gases dissolvidos. Os sólidos totais são dissociados em conjuntos menores, para levar em conta as dimensões das partículas (sólidos suspensos ou dissolvidos), como também a origem dessas partículas (sólidos fixos, com origem mineral; sólidos voláteis, com origem orgânica).

O resultados das análises realizadas em 2012 indicam que as maiores concentrações de sólidos foram registradas nos poços Agroara (41,8 mg/L), Paraíso 2 (30,5 mg/L), Tereza França de Lima (28,2 mg/L), Frangão (28 mg/L), Bosque (27,9 mg/L), Estadual 8 (26,1 mg/L) e Estadual 6 (26 mg/L). Nestes pontos, os teores superaram 20,5 mg/L, valor detectado como limite do terceiro quartil. Em 34 % das amostras não foram quantificadas concentrações de sólidos totais. Na Figura 28 é ilustrada a distribuição espacial do parâmetro sólidos totais em 2012.

Figura 28: Distribuição espacial de sólidos totais na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados, incluindo a divisão em sólidos totais fixos e voláteis, em 2012



Fonte: BORGES, 2014

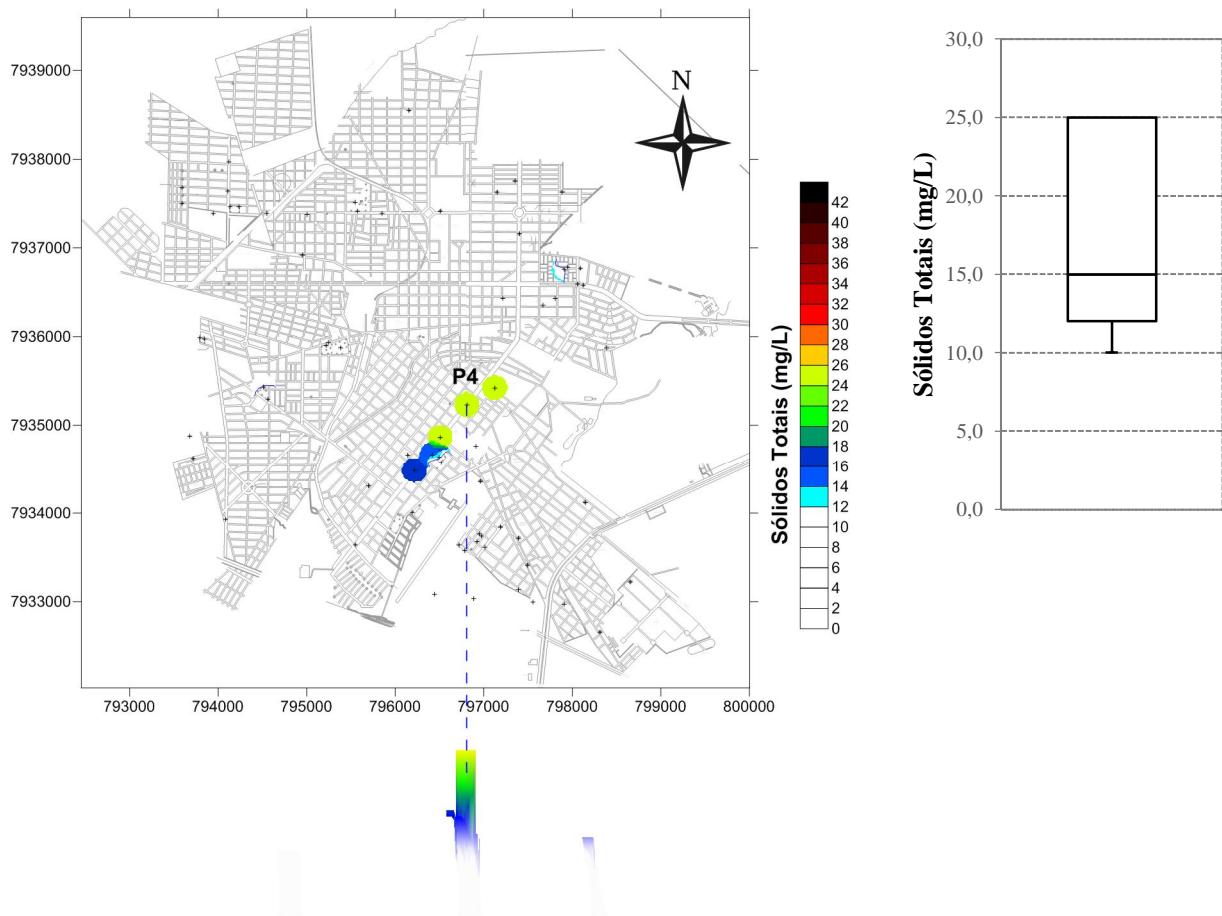
Para a fração sólida dissolvida, constatou-se que as maiores concentrações foram registradas nas amostras dos poços Agroara (34 mg/L), Frangão (30 mg/L), Paraíso 2 (24,7 mg/L), Tereza França de Lima (23,6 mg/L), Elias Peixoto (22,9 mg/L), Estadual 8 (22,6 mg/L) e Estadual 6 (20 mg/L). Nota-se que muitos poços que apresentaram concentrações mais altas de sólidos totais, também apresentaram elevadas frações de sólidos dissolvidos.

Em 2012, a fração sólida suspensa foi identificada somente nas amostras coletadas nos poços Madeiras (17 mg/L) e Frangão (12 mg/L). Comparando as frações fixa e volátil, observa-se que a parcela volátil apresentou, em todas as amostras, concentrações superiores à parcela fixa. As médias foram 8 mg/L e 6 mg/L, respectivamente. As concentrações de sólidos voláteis variaram entre 3,7 e 24 mg/L e de fixos entre 2,1 e 17,8 mg/L.

Os maiores valores de sólidos voláteis foram registrados nas amostras dos poços Agroara (24 mg/L), Paraíso 2 (16,5 mg/L), Tereza de França Lima (15,5 mg/L), Frangão (15,4 mg/L), Bosque (15,4 mg/L), Estadual 6 (14,4 mg/L) e Estadual 8 (14,3 mg/L). Nesses poços, os teores de sólidos voláteis superaram 9,5 mg/L, identificado como o limite do terceiro quartil.

Para as amostras coletadas em 2014, os dados indicam que as maiores concentrações de sólidos foram registradas nos poços Agroara (25 mg/L), Frangão (25 mg/L), Bosque (25 mg/L), Center Pisos (16 mg/L), Estadual 8 (15 mg/L) e Estadual (6 mg/L). Em 87 % das amostras não foram quantificadas concentrações de sólidos totais.

Figura 29: Distribuição espacial de sólidos totais na vizinhança dos poços e box-plot dos valores detectados, incluindo a divisão em sólidos totais fixos e voláteis, em 2012



Fonte: BORGES, 2014

Considerando a fração sólida dissolvida em 2014, constatou-se que as maiores concentrações foram registradas nas amostras dos poços Frangão (24,6 mg/L), Agroara

(23,5 mg/L), Bosque (23,2 mg/L), Estadual 8 (14,2 mg/L), Center Pisos (13,8 mg/L) e Paraíso 1 (10,6 mg/L).

Em 2014, a fração sólida suspensa e volátil não foram identificada em nenhuma das amostras coletadas.

Em todas as amostras coletadas em 2012 e 2014, as concentrações de sólidos totais dissolvidos ficaram abaixo do valor máximo permitido pela Resolução CONAMA Nº 396 de 2008 (1000 mg/L).

11.1. COLIFORMES TERMOTOLERANTES

Em Araguari existem áreas, notadamente periféricas, desprovidas de rede de esgoto, cuja destinação final dos efluentes ocorre pelo sistema tanque séptico/sumidouro.

Estes locais podem ser considerados como áreas potenciais de risco à poluição fecal. Conforme já foi comentado, a presença de fossas domiciliares que precedem os ramais coletores de esgoto também constitui um risco potencial de vazamentos dentro dos lotes. Além disto, não se podem descartar possíveis vazamentos nas redes coleторas, principalmente naquelas mais antigas.

Apesar disso, não foi constatada a presença de coliformes termotolerantes nas amostras coletadas nas duas campanhas de campo realizadas. Segundo Souza (2009), a inexistência de microrganismos pode ser resultado da reduzida velocidade do escoamento e da capacidade atenuadora da zona vadosa. Outra explicação está relacionada com a acidez da água analisada que torna o meio inibitório para a célula microbiana.

11.2. ANÁLISE CONJUNTA DOS RESULTADOS

A análise conjunta teve como objetivo correlacionar os resultados obtidos e identificar as possíveis fontes de determinadas substâncias encontradas, ainda que em concentrações inferiores àquelas preconizadas pelas legislações vigentes.

No primeiro caso, utilizou-se, como critério de comparação, o coeficiente de correlação (ρ). Este coeficiente é uma medida numérica do grau de associação existente entre duas variáveis. O coeficiente de correlação é um adimensional que varia entre -1 e +1. Quando seu valor é positivo, significa que a relação entre as variáveis é diretamente

proporcional. Valores de ρ negativos indicam uma relação inversamente proporcional. Destaca-se que o coeficiente de correlação não pressupõe nenhuma relação de causa e efeito entre as variáveis, mas apenas a tendência assumida pelos valores em relação à sua variação conjunta.

Como parâmetro de interpretação do Coeficiente de Correlação (ρ) foi utilizada a metodologia desenvolvida por Shimakura (2006), que estabelece sistema de classificação para este coeficiente, atribuindo um valor qualitativo aos valores numéricos de coeficiente encontrado (ρ).

Figura 30: Tabela de Classificação do coeficiente de Correlação (ρ)

Valor de ρ (+ ou -)	Interpretação
0.00 a 0.19	Uma correlação bem fraca
0.20 a 0.39	Uma correlação fraca
0.40 a 0.69	Uma correlação moderada
0.70 a 0.89	Uma correlação forte
0.90 a 1.00	Uma correlação muito forte

Fonte: SHIMAKURA, 2006

Nesta pesquisa, objetivou-se estabelecer correlações entre duas classes de variáveis, referentes aos parâmetros de qualidade da água analisados em 2012 e 2014. A primeira classe está relacionada com a presença de substâncias que pressupõem aporte de matéria orgânica no aquífero, estabelecendo-se correlações entre os valores observados de DBO₅, nitrato e sólidos voláteis.

A segunda classe refere-se à presença de sedimentos suspensos na água, fator que, em se tratando de águas subterrâneas, é decorrente da passagem de areia, silte e argila pelos pré-filtros e filtros dos poços. Este fator não é induzido por ações antrópicas sobre o meio, mas simplesmente por falhas no projeto e/ou execução dos poços (operações de desenvolvimento inadequadas ou inexistentes quando da implantação dos poços). A presença de sedimentos na água bombeada contribui para abrasão das instalações do sistema de abastecimento de água. Na cidade analisada, os poços de bateria encaminham a água para caixas de sedimentação (“caixas de areia”), todavia isto não anula completamente a deposição de partículas finas nos reservatórios de distribuição, assoreando-os. Além disto, após a entrada de sedimentos no poço, não há como impedir

a abrasão nas bombas, fator que acarreta avarias e a necessidade de troca frequente dos equipamentos. Assim, na segunda classe de análise, foram incluídos os parâmetros turbidez, sólidos totais e sólidos fixos.

Na Tabela 7, são apresentadas as matrizes de correlação para ambas as classes em 2012 e em 2014

Tabela 7: Matrizes de correlação para os parâmetros da classe 1

(a) Campanha de 2012

	DBO₅ (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Sólidos Voláteis (mg/L)
DBO₅ (mg/L)	1		
Nitrato (mg/L)	0,07	1	
Sólidos Voláteis (mg/L)	0,10	0,64	1

(b) Campanha de 2014

	DBO₅ (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Sólidos Voláteis (mg/L)
DBO₅ (mg/L)	1		
Nitrato (mg/L)	0	1	
Sólidos Voláteis (mg/L)	0	0	1

Fonte: BORGES, 2014

No caso da classe 1, vinculada à presença de substâncias de origem orgânica e para o monitoramento de 2012 (Tabela 7(a)), as correlações entre DBO₅ e os outros parâmetros foi considerada bem fraca. Isto possivelmente está relacionado aos pequenos valores de DBO₅ obtidos, muitos deles próximos do limite de detecção do método laboratorial aplicado. Não obstante a isto, uma correlação moderada foi encontrada entre os parâmetros nitrato e sólidos voláteis, indicando que o aquífero foi atingido por matéria orgânica.

Para os dados obtidos em 2014, não foi possível estabelecer correlações entre os indicadores de matéria orgânica analisados (classe 1) (Tabela 7(b)). A impossibilidade está relacionada as concentrações de DBO₅ e sólidos voláteis, que ficaram abaixo do limite de detecção do método laboratorial utilizado.

Na campanha de 2012 e para a segunda classe de parâmetros, verificou-se uma correlação muito forte entre sólidos fixos e sólidos totais (Tabela 8(a)). As correlações

que envolveram o parâmetro turbidez foram fracas, fator originado principalmente pelo seu valor máximo (19,30 uT) estar distante da nuvem de resultados.

Para os parâmetros de segunda classe, em 2014, observou-se uma correlação bem fraca entre sólidos totais e turbidez (Tabela 8(b)). Entre os demais indicadores, não foi possível estabelecer correlações. A impossibilidade de correlação, neste caso, está relacionada as concentrações de sólidos fixos, que ficaram abaixo do limite de detecção do método laboratorial utilizado.

Tabela 8: Matriz de correlação de parâmetros da classe 2

(a) Campanha de 2012

	Turbidez (uT)	Sólidos Fixos (mg/L)	Sólidos Totais (mg/L)
Turbidez (uT)	1		
Sólidos Fixos (mg/L)	0,25	1	
Sólidos Totais (mg/L)	0,25	0,98	1

(b) Campanha de 2014

	Turbidez (uT)	Sólidos Fixos (mg/L)	Sólidos Totais (mg/L)
Turbidez (uT)	1		
Sólidos Fixos (mg/L)	0	1	
Sólidos Totais (mg/L)	0,14	0	1

Fonte: BORGES, 2014

Submetendo conjuntamente os dados da classe 1, obtidos em 2012 e 2014, à análise de correlação, também observou-se uma correlação bem fraca entre DBO₅ e nitrato. No entanto, uma correlação moderada foi encontrada entre a DBO₅ e sólidos voláteis e entre sólidos voláteis e nitrato, reforçando que o aquífero foi atingido por matéria orgânica, mesmo que em concentrações dentro dos limites permissíveis pela legislação (Tabela 9).

Tabela 9: Matriz conjunta de correlação para os parâmetros da classe 1, obtidos em 2012 e 2014

	DBO₅ (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Sólidos Voláteis (mg/L)
DBO₅ (mg/L)	1		
Nitrato (mg/L)	0,17	1	
Sólidos Voláteis (mg/L)	0,41	0,54	1

Fonte: BORGES, 2014

Para os parâmetros de segunda classe de 2012 e 2014, submetidos à correlação conjunta, verificou-se uma correlação forte entre sólidos fixos e sólidos totais. Já as correlações que envolveram o parâmetro turbidez foram fracas (Tabela 9).

Tabela 9: Matriz conjunta de correlação de parâmetros da classe 2, obtidos em 2012 e 2014

	Turbidez (uT)	Sólidos Fixos (mg/L)	Sólidos Totais (mg/L)
Turbidez (uT)	1		
Sólidos Fixos (mg/L)	0,29	1	
Sólidos Totais (mg/L)	0,25	0,80	1

Fonte: BORGES, 2014

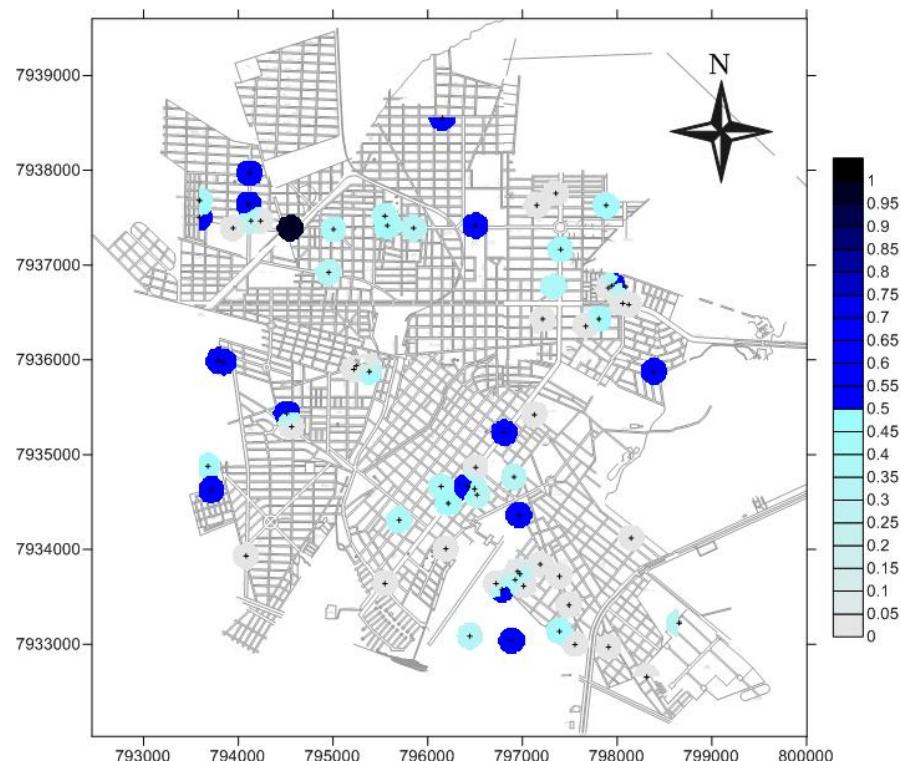
De uma forma geral, os resultados analisados na rede de poços indicam que, embora tenha sido detectada presença de matéria orgânica, durante o monitoramento de 2012, as concentrações não são alarmantes, ficando todas abaixo dos limites normativos atuais.

No monitoramento efetuado em 2014 não foi detectada matéria orgânica biodegradável em nenhum dos 67 poços analisados, ainda que um único poço, o Elias Peixoto, tenha sido encontrada DQO diferente de zero (3,5 mg/L). Não foram detectados, inclusive, grupos coliformes termotolerantes em nenhuma das amostras.

Além disso, comparando os resultados obtidos em 2012 e 2014, nota-se uma melhora significativa na qualidade da água do Aquífero Bauru, fato que pode estar associado as diversas obras de melhorias na infraestrutura de esgotamento sanitário, realizadas em 2013 e 2014, incluindo a substituição da rede antiga em alguns locais, realizadas em Araguari.

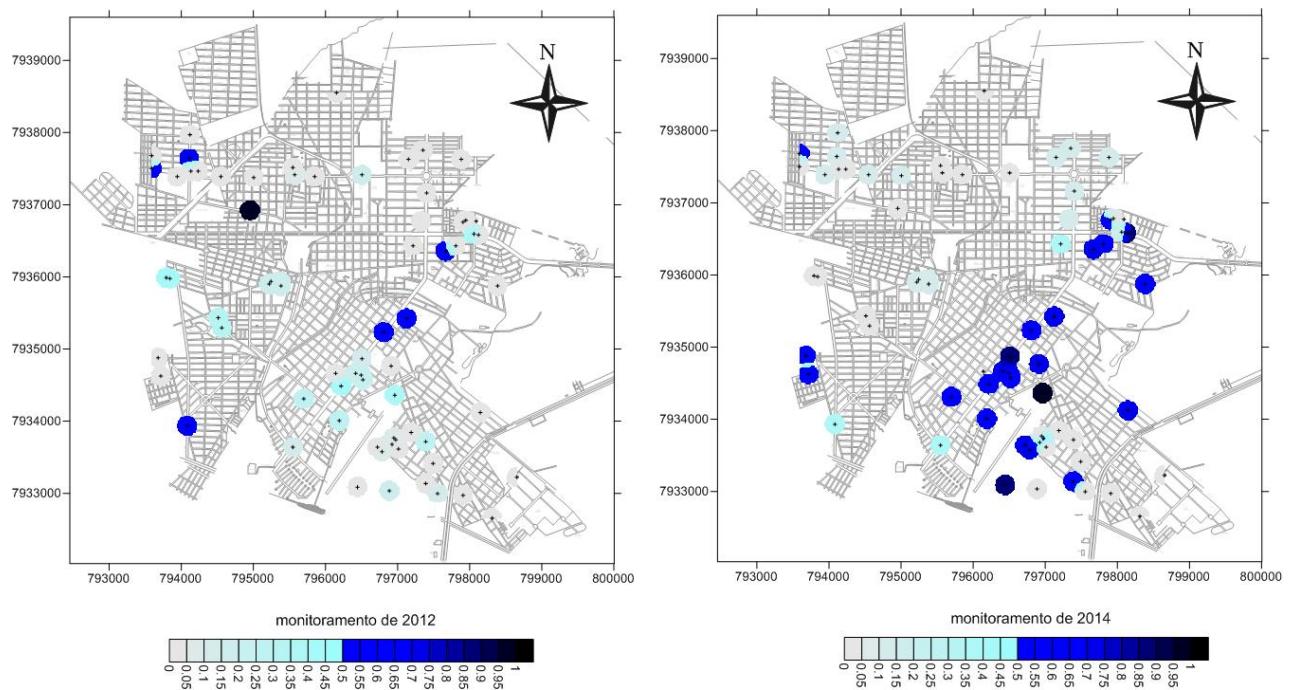
Para permitir uma visualização mais evidente dos setores da cidade onde foram encontradas as piores condições de qualidade da água, os parâmetros analisados em 2012 e 2014 foram adimensionalizados pela relação com o valor máximo verificado para cada um. Em seguida, os valores adimensionais foram espacializados, resultando nos mapas ilustrados pelas Figuras Figura 31 a Figura 34. Nestas Figuras, foram destacados os valores adimensionais acima de 0,5, permitindo uma visualização mais clara dos poços com as piores condições de qualidade da água.

Figura 31: Distribuição adimensional de DBO₅ para o monitoramento de 2012



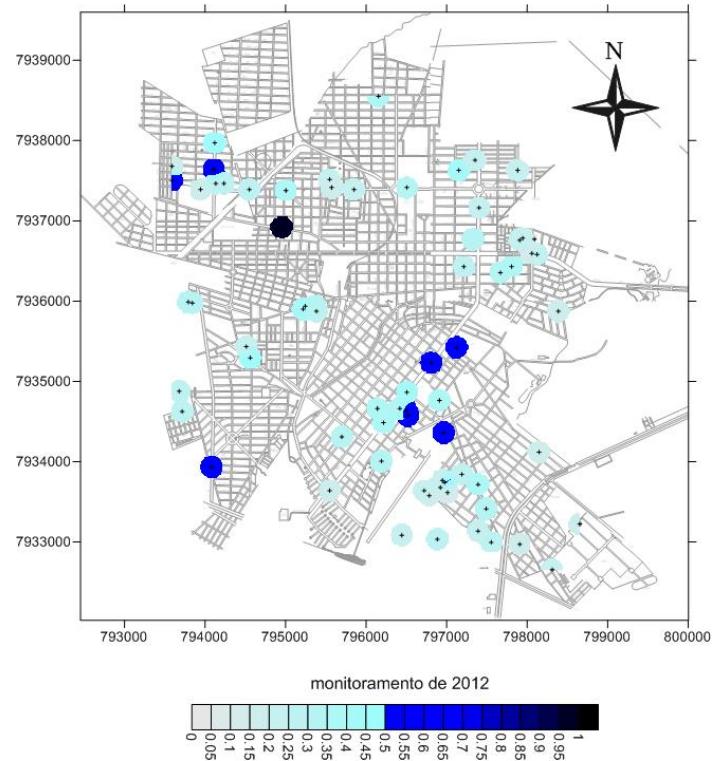
Fonte: BORGES, 2014

Figura 32: Distribuição adimensional de nitrato para as duas campanhas de monitoramento



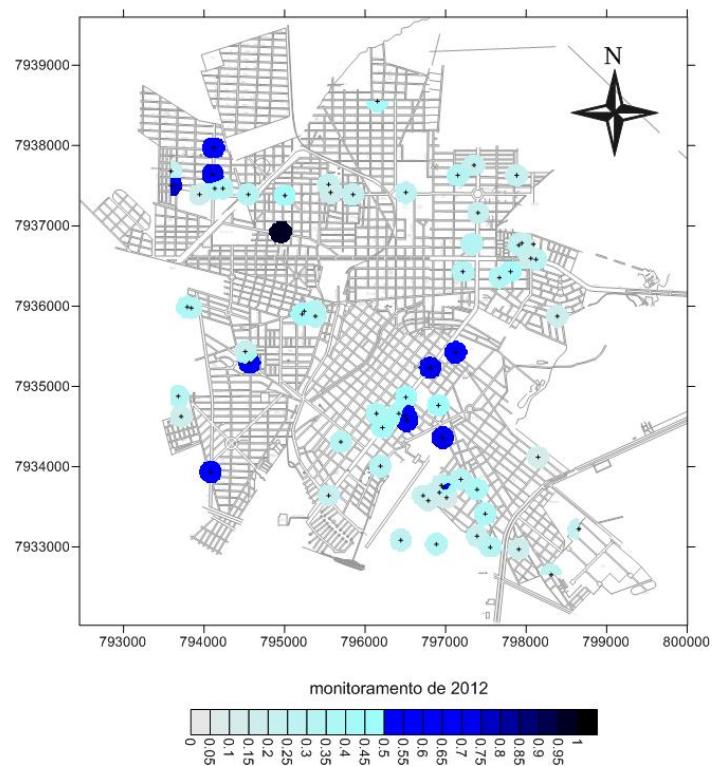
Fonte: BORGES, 2014

Figura 33: Distribuição adimensional de sólidos voláteis para o monitoramento de 2012



Fonte: BORGES, 2014

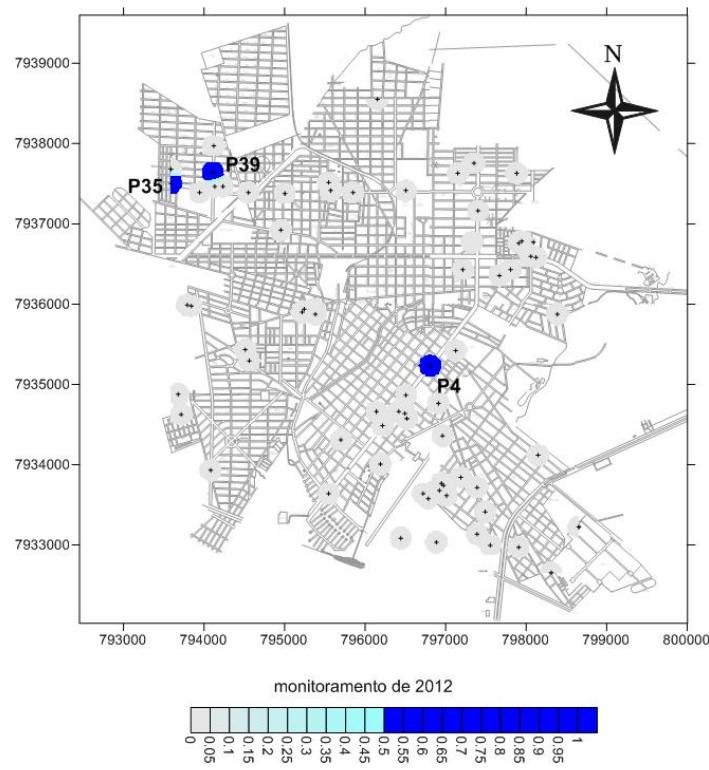
Figura 34: Distribuição adimensional de sólidos fixos para o monitoramento de 2012



Fonte: BORGES, 2014

A partir da espacialização dos adimensionais, ilustrada pelas Figuras Figura 31 a Figura 34, foi possível identificar os setores onde foram encontrados os valores mais elevados para os parâmetros de qualidade da água analisados. Estes concentram-se, preferencialmente nas zonas noroeste e central da cidade, conforme pode ser visualizado na Figura 35. Esta Figura destaca os poços P4, P39 e P35 onde, concomitantemente, foram detectados os maiores valores adimensionais de DBO_5 , sólidos fixos e voláteis e de nitrato, considerando a campanha de 2012.

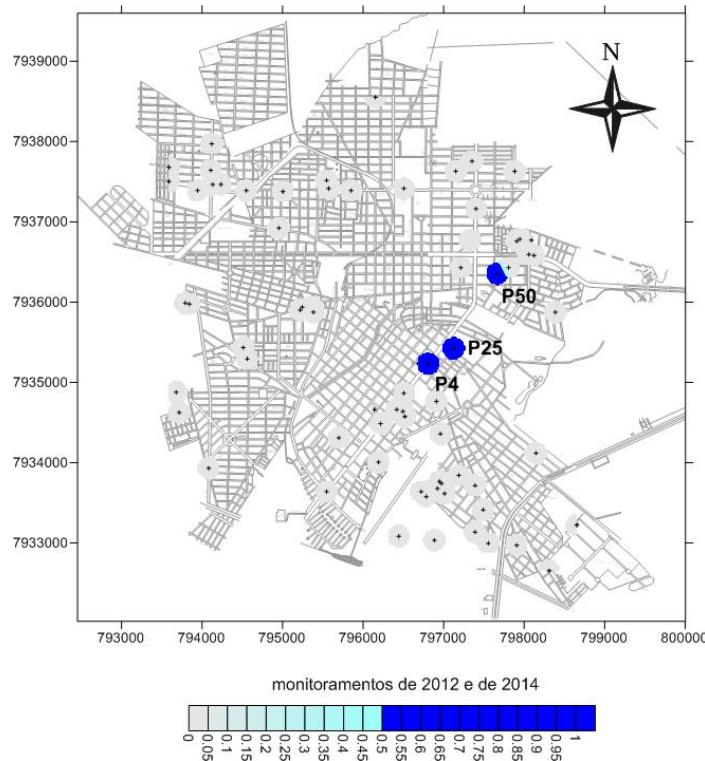
Figura 35: Poços com os maiores adimensionais para o monitoramento de 2012.



Fonte: BORGES, 2014

Ainda que as concentrações de nitrato tenham decaído sensivelmente entre os monitoramentos de 2012 e 2014, foi possível detectar 3 poços nos quais as concentrações adimensionais ficaram acima de 0,5 nas duas campanhas. Tratam-se dos poços Abrigo (P50), Bosque (P25) e Agroara (P4), conforme ilustra a Figura 36. Estes três poços localizam-se ao longo de um trecho da Avenida Minas Gerais, uma das importantes vias troncais da cidade. Este fato singular, além da presença de DBO_5 adimensionais acima de 0,5 na campanha de 2012, chamam a atenção para uma possível linha de vazamentos de esgoto no alinhamento desta avenida.

Figura 36: Poços com os maiores adimensionais de nitrato para os monitoramentos de 2012 e 2014.



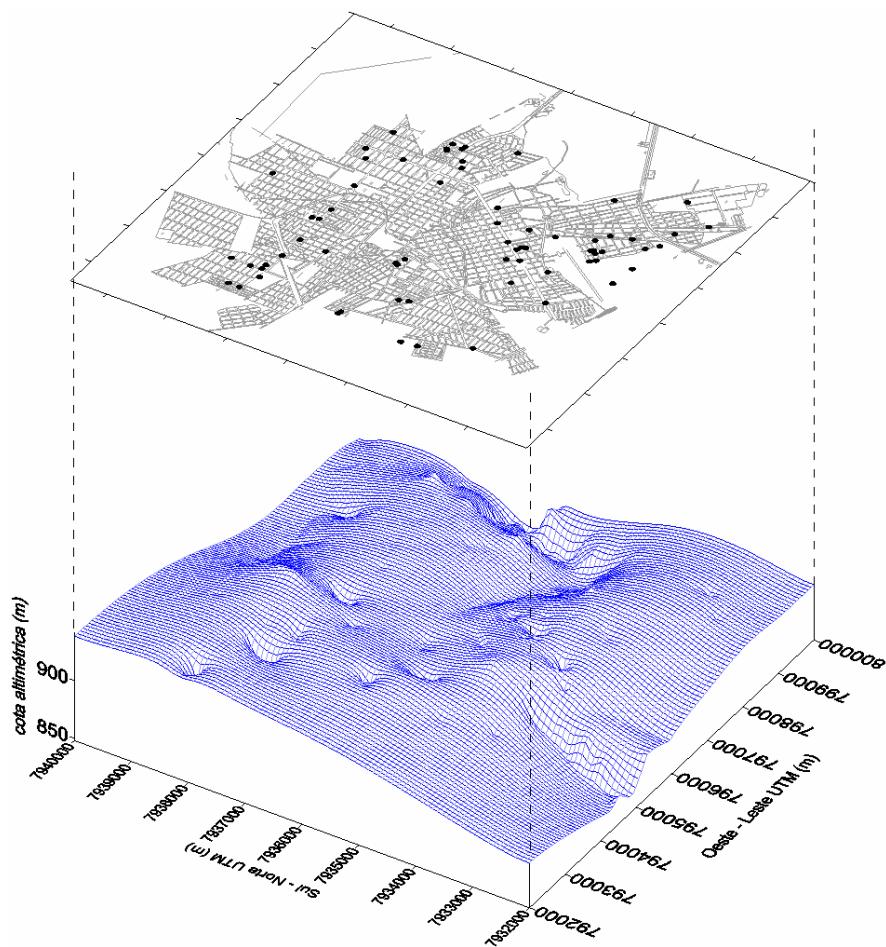
Fonte: BORGES, 2014

Com intuito de verificar a trajetória dos poluentes até os poços, de forma a identificar as possíveis zonas de origem da poluição, foi utilizado um programa de análise lagrangeana do transporte de substâncias em aquíferos, desenvolvido no trabalho de Ferreira et al. (2013). Para este estudo, utilizou-se a distribuição da superfície freática simulada por Alamy Filho, Miranda e Salla (2013), calculada a partir de parâmetros do aquífero (condutividade hidráulica, rendimento específico e espessura saturada), correlacionados espacialmente por krigagem e mapeados por Segantini (2010). Neste sentido, buscou-se uma situação próxima do regime permanente, no qual o bombeamento do sistema de poços, não mais trazia variações significativas na carga hidráulica do aquífero. Para isto, as simulações foram realizadas até que a norma $\|\phi\|_1$ atingisse o valor menor que 1 m. Esta norma é aqui descrita pela Equação 1:

$$\|\phi\|_1 = \sum_{i=1}^{i=N_i} \sum_{j=1}^{j=N_j} |h_{i,j}^{n+1} - h_{i,j}^n| \quad (1)$$

Nesta equação, h representa a cota piezométrica do aquífero (cota altimétrica da superfície do lençol freático), ao passo que os sub índices i e j indicam as células da malha de discretização utilizada no modelo numérico. Os valores N_i e N_j representam, respectivamente, o número total de nós na direção Y (Sul-Norte UTM) e X (Oeste-Leste UTM). A norma utiliza o módulo da diferença entre a cota piezométrica entre dois níveis de tempo subsequentes ($n+1$ e n). Quando a soma dessas diferenças torna-se pequena, pressupõe-se que o regime permanente foi atingido, não havendo mais alterações significativas na superfície piezométrica (Figura 37). Evidentemente que esta situação pode ser perturbada pela operação de novos poços introduzidos no sistema, ou mesmo pelo desligamento da bomba de alguns poços. Como estes fatores são de difícil previsibilidade, eles não foram considerados nesta análise.

Figura 37: Superfície do lençol freático tomada como referência



Fonte: BORGES, 2014

Supõe-se que as fontes responsáveis pelo aporte de matéria orgânica ao aquífero possivelmente encontram-se distantes dos poços ou que pequenas cargas poluidoras sejam provenientes da extremidade superior dos mesmos, por eventuais condições provisórias de remoção do fecho e por tamponamento inadequado dos mesmos. Partindo da primeira hipótese, o modelo lagrangeano de partículas foi aplicado com o objetivo de prever a possível origem de substâncias dissolvidas que são transportadas até os poços, com velocidades iguais à da água subterrânea.

As trajetórias calculadas descrevem, na realidade, alterações nas posições de partículas transportadas passivamente pela água, permitindo estimar seu tempo de trânsito desde um ponto de origem até o poço mais próximo. A rigor, os tempos de trânsito dos poluentes tendem a ser maiores, em decorrência de mecanismos atenuadores presentes no meio poroso, como a adsorção e a biodegradação. Assim, o cálculo dos tempos de trânsito de partículas fornece uma estimativa do tempo mínimo que um poluente, partindo de um ponto previamente conhecido dentro do aquífero, demora para atingir um poço.

Nesta aplicação, o modelo utilizou, como dados de entrada, os valores de carga hidráulica (cota piezométrica) obtidos para a condição de regime permanente. Um importante desdobramento do cálculo das cargas hidráulicas (h) consiste na estimativa das velocidades de percolação da água. Este cálculo pode ser feito a partir da Lei de Darcy, conforme as Equações 2 e 3:

$$V_x = -K_x \cdot \left(\frac{dh}{dx} \right)_{S_y} \quad (2)$$

$$V_y = -K_y \cdot \left(\frac{dh}{dy} \right)_{S_y} \quad (3)$$

Nestas equações, V_x e V_y representam, respectivamente, a velocidade média de percolação da água no aquífero, ao passo que os termos K_x e K_y representam as condutividades hidráulicas nas direções horizontais X (Oeste – Leste) e Y (Sul – Norte). O termo S_y representa o rendimento específico, que equivale à porosidade efetiva do aquífero. Conforme já foi mencionado, estes parâmetros foram obtidos do trabalho de Segantini (2010). Para o cálculo do campo de velocidades, foi aplicada uma malha

regular de 250×250 nós, igualmente espaçados. O conhecimento das velocidades nos nós é fundamental para o mapeamento das trajetórias das partículas. Com isto, as Equações 4 e 5 permitem calcular as posições das partículas para um instante $t+\Delta t$, a partir do conhecimento de suas posições no instante t :

$$x(t + \Delta t) = x(t) + \hat{V}_x(t) \cdot \Delta t \quad (4)$$

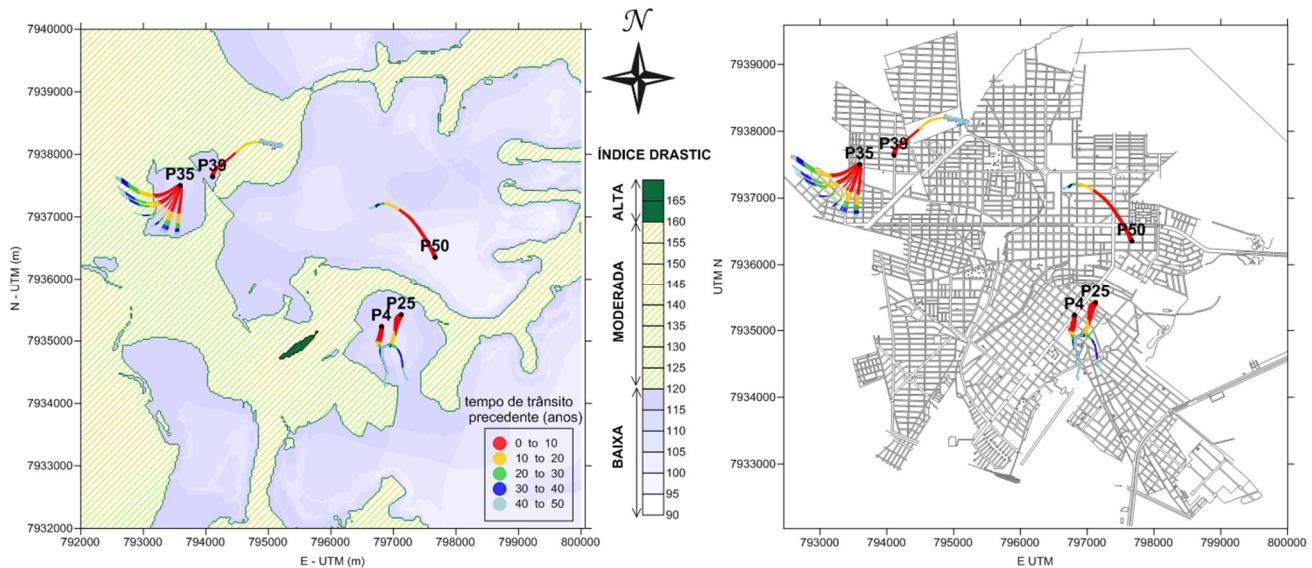
$$y(t + \Delta t) = y(t) + \hat{V}_y(t) \cdot \Delta t \quad (5)$$

Nestas equações $\hat{V}_x(t)$ e $\hat{V}_y(t)$ representam as velocidades da partícula, no instante t , para uma posição x,y que não é exatamente coincidente com as posições nos nós, onde as velocidades de percolação são efetivamente calculadas. Portanto, um procedimento de interpolação espacial foi adotado para calcular as velocidades \hat{v} . Este modelo utilizou o método de interpolação do inverso da distância, no qual a velocidade da partícula foi estimada a partir dos valores das velocidades nos quatro nós mais próximos.

O modelo operou com 20 partículas disseminadas a partir de cada poço. Dessa forma, com passos de tempo regressivos (negativos), foram calculadas as posições das partículas em diversos instantes anteriores à sua chegada aos poços. Neste trabalho, foram simuladas trajetórias para um período de 20 anos antecedentes à chegada da partícula do poluente a cada poço considerado.

A Figura 38 ilustra as trajetórias das partículas em direção aos poços P4, P25, P35, P39 e P50. A referida Figura também contém o mapa de vulnerabilidade intrínseca do aquífero, construído por Alamy Filho (2013).

Figura 38: Trajetória de partículas em direção aos poços, confrontadas com o mapa de vulnerabilidade intrínseca do aquífero



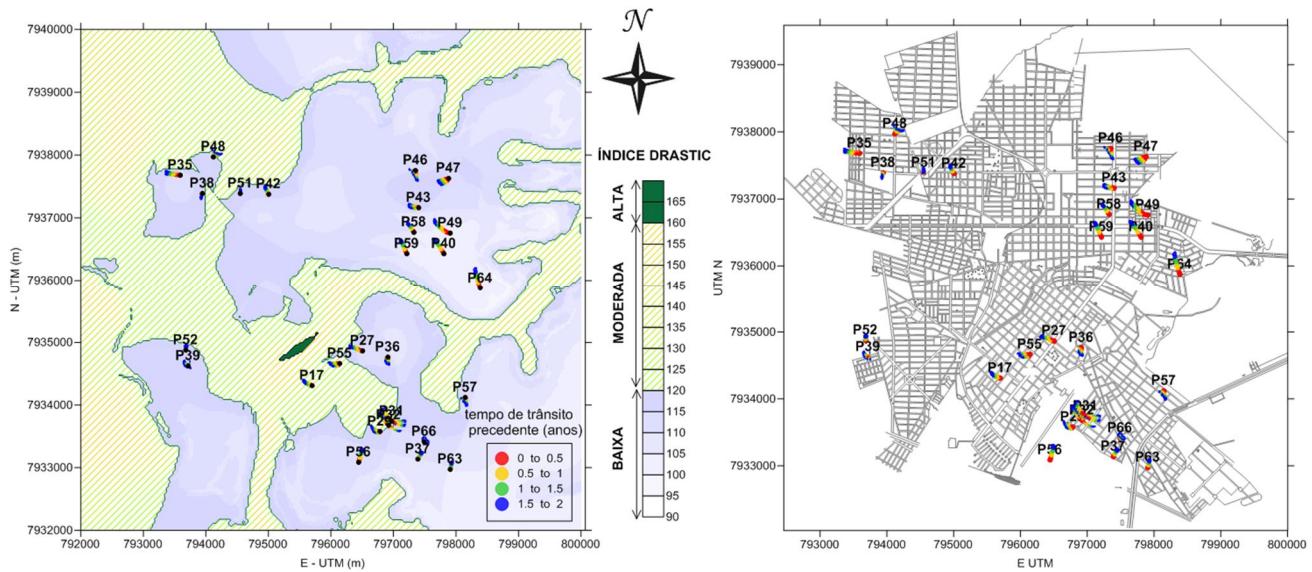
Fonte: BORGES, 2014

Confrontando as trajetórias das partículas com o mapa de vulnerabilidade do aquífero, constatou-se que parte da carga poluidora detectada nos poços P35 e P39 apresenta origem em uma área onde os índices de vulnerabilidade DRASTIC assumiram classificação moderada. No caso do poço P39, as partículas advindas destes setores mais vulneráveis apresentam tempos de trânsito inferiores a 10 anos, enquanto que, no poço P35, os tempos de trânsito estão entre 10 e 30 anos. Assim, levando-se em conta que as eventuais fontes poluidoras de P39 localizam-se em áreas onde o aquífero é moderadamente vulnerável, as concentrações encontradas neste poço tendem a ser mais recentes do que aquelas detectadas em P35. As partículas direcionadas para ambos os poços originam-se de áreas residenciais, com rede de esgoto implantada. Todavia, como nessas áreas os índices de vulnerabilidade natural do aquífero são mais elevados, isto permite inferir que vazamentos nas redes coletoras, bem como nas fossas sépticas domiciliares, constituem fontes potenciais de risco para o aquífero estudado. Por outro lado, as fontes poluidoras de P4, P25 e P50 provavelmente localizam-se em zonas onde o aquífero tem vulnerabilidade baixa. Isto pode ser um indicador de aporte de poluentes por defeitos de tamponamento destes poços.

A despeito da tendência global de melhoria da qualidade da água entre os anos de 2012 e 2014, o que ficou evidente pela não detecção da maioria dos parâmetros na campanha

de monitoramento mais recente, ainda houve poços cuja qualidade da água piorou. Esta degradação de qualidade foi verificada para o poço P17 (Elias Peixoto), que anteriormente não apresentava teores detectáveis de DQO, mas onde foi medido 3,5 mg/L deste parâmetro, em 2014. Para o nitrato, muitos outros poços distribuídos na área de análise também apresentaram piores na qualidade da água, ainda que os valores detectados continuassem muito abaixo dos limites críticos estabelecidos para águas de abastecimento. Na Figura 39 ilustram-se as trajetórias de poluentes em direção aos poços que tiveram qualidade da água piorada entre 2012 e 2014. A simulação de dois anos de percurso permite detectar zonas de captura dentro de áreas de baixa e moderada vulnerabilidade. Tais zonas de captura delimitam a provável origem de poluentes que afetaram a qualidade da água entre 2012 e 2014.

Figura 39: Trajetória de partículas em direção aos poços, confrontadas com o mapa de vulnerabilidade intrínseca do aquífero



Fonte: BORGES, 2014

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

Os resultados do monitoramento realizado em 2012 e 2014, indicaram que vazamentos de esgoto sanitário, em áreas que apresentam elevados índices de vulnerabilidade, podem ser a causa da presença de substâncias como nitrato e sólidos voláteis em alguns poços analisados.

Apesar disso, na maior parte dos poços amostrados, a água bruta do Aquífero Bauru ainda apresenta boa qualidade com propriedades físico-químicas e bacteriológicas adequadas a diversos usos.

Apesar das concentrações encontradas ainda serem inferiores aos limites estabelecidos pela legislação vigente, fica evidente a importância do monitoramento contínuo da qualidade da água subterrânea extraída para o abastecimento urbano.

Além disso, a variação dos parâmetros analisados em 2012 e 2014, que pode estar associada a diversos fatores, como distribuição e volume acumulado de chuvas, variação do nível dinâmico do aquífero, dinâmica de funcionamento dos poços, melhorias na infraestrutura de esgotamento sanitário, dentre outros, também reforça a necessidade de mais campanhas e inclusão desses fatores nas análises dos dados.

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS

AISH, A. M. Water quality evaluation ok small scale. Fourteenth International Water Technology Conference, IWTC 14 2010, Cairo, Egypt, 2010, p. 153-168.

ALAMY FILHO, J. E.; SEGANTINI, M. O. Um modelo híbrido para simulação de escoamentos em aquíferos situados em zonas urbanas. *In: XXIV Congresso Latino-americano de Hidráulica*. Punta del Este, Uruguai, 2010.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington, 19.ed, 1995.

ANA – Agência Nacional de Água. Panorama da qualidade das águas subterrâneas. Brasília: ANA, 2005.

APHA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20a ed. Washington, 1998.

ARAUJO L. M., FRANCA A. B., POTTER P. E. 1999. Hydrogeologia of the Mercosul aquifer system in the Parana and Chaco-Parana Basins: South America and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system. USA. *Hydrogeology Journal*. 1999. 7 ed., p. 317-336.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12212: Poço tubular – Projeto de poço para captação de água subterrânea. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 9896: Poluição das águas: Terminologia. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987.

BERTOL, G. A. Avaliação da recarga anual no aquífero Bauru no município de Araguari, Minas Gerais. 2007. 111f. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

BORGES, K. L. Análise do custo da captação subterrânea no município de Araguari-MG. VIII Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, Gramado, 2004, 9p.

BOUCHARD, D. C.; WILLIAMS, M. D.; SURAMPALLI, R. Y. Nitrate contamination of ground water sources an potential health effects. Journal of the American Water Works Association, 84 (9): 85-90, set. 1992.

CAGNON, F.; HIRATA, R. Source Of Nitrate In The Groundwater Of Adamantina Aquifer In Urânia, SP – Brazil. In: Iah, International Association Of Hydrogeologist Congress, 33,Zacatecas, Atas, 2004. 7 P. (CD-Rom).

CAPUCCI, E.; MATINS, A.; MANSUR, K. L.; MONSORES, A. L. Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas. DRMRJ – Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo: 2007-2009 [recurso eletrônico]. 250 p. São Paulo, 2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 15 de março de 2005. Brasília, DF. 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 396, de 7 de abril de 2008. Brasília, DF. 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 396, de 7 de abril de 2008. Brasília, 2008.

DRAKE, V.M.; BAUDER, J.W. Groundwater nitrate-nitrogen trends in relation to urban development, Helena, Montana, 1971-2003. Groundwater Monitoring and

Remediation, 2005. 25(2): 118-130.

FAO, FAO Water, Natural Resource and Environment Department. [online] Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html> Acesso em: Maio de 2012.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. 2. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000. 391 p.

FERREIRA, S. R.; RAMOS, R. R. S.; ALAMY FILHO, J. E.; MELO, N. A. Delimitação de zonas de captura através de modelagem computacional das águas subterrâneas de zonas urbanas. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, 2013.

FIUMARI S. L. Caracterização do Sistema Hidrogeológico Bauru no município de Araguari - MG, 122 p., Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2004.

FOSTER, S. S. D; HIRATA, R. C. A; GOMES, D; D'ELIA, M. PARIS, M. Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies. Washington: The World Bank, 2002.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento/Banco Mundial. Edição brasileira: Servmar – Serviços Técnicos Ambientais Ltda. São Paulo. Brasil, 2006. 114p.

FREITAS M. B.; BRILHANTE O. M.; ALMEIDA L. M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. Cad Saude Publica 2001; 17(3):651-660.

FUNDAÇÃO IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: Abril de 2012.

FUNDO DAS UNIVERSIDADES - Relatório Final - Avaliação dos Recursos Hídricos do Sistema Aqüífero Guarani (SAG) no Município de Araguari. 326p. UFMG; UFMS; IGAN; CDTN. Minas Gerais, Brasil, 2006.

FUNDO DAS UNIVERSIDADES. Avaliação dos Recursos Hídricos do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Município de Araguari, Minas Gerais, Brasil. Projeto para a proteção ambiental e desenvolvimento sustentável do aquífero Guarani, 2006.

GARDNER, K.K.; VOGEL, R.M. Predicting groundwater nitrate concentration from land use. *Groundwater*, 2005. 43(3): 343-352.

GOYER, R. A. Toxicity of metals. In: Klassen CD, AMdur MO, Doull Jeidtors, Toxicology, New York: Macmillan Publishing Company. 1986. Pp. 558 - 591

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. IBGE. Cidades. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm>>. Acesso em: 18 ago. 2012.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. Direito ambiental brasileiro. 7^a edição. São Paulo: Malheiros, 1998.

MELO, J. G. de Impacto do Desenvolvimento Urbano das Águas Subterrâneas de Natal/RN – Zona Sul, 1995. Tese (Doutorado) – Doutorado em Geociências (Recursos Minerais e Geologia). Universidade de São Paulo, USP, Brasil.

MINISTÉRIO DA SAÚDE / PORTARIA MS N.º 2914/2011. Editora do Ministério da Saúde, Brasília, 2011.

OLIVEIRA L. A. O Sistema Aquífero Bauru na Região de Araguari/MG: Parâmetros Dimensionais e Proposta de Gestão. 2002. 118f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

OLIVEIRA, L. A. Caracterização dos latossolos da chapada de Araguari: minerais argilosos, granulometria e evolução. *Caminhos da Geografia – Revista [online]*. 3 (7) 20-37, Fev/2003.

- OLIVEIRA, L. A.; CAMPOS, J. E. G. Parâmetros hidrogeológicos do sistema aquífero Bauru na região de Araguari/MG: fundamento para a gestão do sistema de abastecimento de água. Revista Brasileira de Geociências, 2004.
- PACHECO, A. Cemitérios e meio ambiente. 102 f. Tese (Livre Docência). São Paulo, 2000.
- PACHECO, A.; MENDES, J. M. B.; Martins, T.; HASSUDA, S.; Kimmelman A. A. Cemeteries: a potential risk to groundwater. Water Science and Technology, v. 24, n. 11, p. 97-104. 1991.
- PROCEL, S. 2011. Contaminação por nitrato e sua relação com o crescimento urbano no Sistema Aquífero Bauru em Presidente Prudente (SP). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 2011. 146 p.
- REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. Águas Doces do Brasil Capital Ecológico, Uso e Conservação. Institutos de Estudos Avançados da USP, Academia Brasileira de Ciências. São Paulo: Escrituras. 1999. 717 p.
- REYNOLDS-VARGAS, J.; FRAILE-MERINO, J.; HIRATA, R. Trends in nitrate concentrations and determination of their origin using stable isotopes (^{18}O and ^{15}N) in groundwater of the western Central Valley, Costa Rica. Ambio: A Journal of the Human Environment, 2006. 35(5): 229–236.
- SAE Araguari – Superintendência de Água e Esgoto de Araguari. Disponível em: <<http://www.saearaguari.com.br/desenv.php>> Acesso em: agosto de 2011.
- SANTOS, M. R. P. Transporte advectivo de poluentes do riacho dos Macacos ao aquífero rio da Batateira na cidade de Juazeiro do Norte-Ceará. 120f. Dissertação (Mestrado em Física) – Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.
- SEGANTINI, M. O. Mapeamento do aquífero Bauru situado sob a zona urbana de Araguari, MG. 2010. 136 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2010.
- SILVA R. C. A, ARAÚJO T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas

urbanas de Feira de Santana (BA). Cien Saude Colet 2003; 8(4):1010-1028

SOUZA, N. A. Vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas: um estudo do aquífero Bauru na zona urbana de Araguari, MG. 2009.135 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2009.

SUPERINTENDÊNCIA DE ÁGUA E ESGOTO DE ARAGUARI – SAE Araguari. Disponível em: <<http://www.saearaquiari.com.br/desenv.php>>. Acesso em: 22 ago. 2011.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 558 p.

TOOD, K. Hidrologia de águas subterrâneas. Nova York: Edgard Blucher, 1959. 319p.

TUINHOF, A.; FOSTER S; KEMPER K; GARDUNO H; NANNI M. Sustainable Groundwater Management: concepts and Tools. Groundwater Monitoring: Requirements for managing aquifer response and quality threats. GWMate. Briefing Note Series Briefing Note 9. World Bank. Global Water Partnership Associate Program, 2004.10p.

UIL. H.; GEER. F. C; GEHERELS J. C. KLOOSTERMAN. State of art on monitoring and assessment of groundwaters. UN/ECE Task Force on Monitoring and Assessment. Working Programmer 1996/1999. The Netherlands Institute of Applied Geoscience: Lelystad, September 1999. v. 4. 84 p.

VELASQUEZ, L. N. M.; BRANCO ,O. E. A.; CARVALHOFILHO C. A., MINARDI, P.S.P.; COTA, S. D. S.; BOMTEMPO, V. L.; CAMARGOS, C. C.; RODRIGUES, P. C. H.; FIUMARI, S. L. Caracterização Hidrogeológica dos Aquíferos Bauru e Serra Geral e Avaliação das Reservas do Aquífero Bauru no Município de Araguari, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15, 2008, Natal, Anais.. Natal: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2008.

VELÁSQUEZ, L. N. M.; ROMANO, A. W. Relatório Final: caracterização hidrogeológica do município de Araguari, MG. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2004.

VELÁSQUEZ, L.N.M.; BRANCO, O.E.A.; CARVALHO FILHO, C.A.; MINARDI, P.S.P.; COTA, S.D.S.; BOMTEMPO, V.L.; CAMARGOS, C.C.; RODRIGUES, P.C.H.; FIUMARI, S.L. Caracterização hidrogeológica dos aquíferos Bauru e Serra Geral e avaliação das reservas do aquífero Bauru no município de Araguari, Minas Gerais. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Natal, 2008.

VELÁSQUEZ, L.N.M.; ROMANO, A.W. Relatório Final: caracterização hidrogeológica do município de Araguari, MG. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2004.

XU, Y.; BAKER, L.A.; JOHNSON, P.C. Trends in ground water nitrate contamination in the Phoenix, Arizona Region. *Groundwater Monitoring and Remediation*, 2007. 27(2): 49-56.