

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA
ESCOLA NORMAL SUPERIOR – ENS
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS – ProfÁgua

JOSÉ ROBERTO DE SOUZA TEIXEIRA

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE E VULNERABILIDADE DOS CORPOS DE
ÁGUA SUBTERRÂNEA COMO SUBSÍDIOS PARA A GESTÃO DOS RECURSOS
HÍDRICOS NA CIDADE DE PARINTINS, AMAZONAS, BRASIL

Orientadora: Prof.^a. Dra. Ieda Hortêncio Batista

Parintins – AM
2019

JOSÉ ROBERTO DE SOUZA TEIXEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE E VULNERABILIDADE DOS CORPOS DE
ÁGUA SUBTERRÂNEA COMO SUBSÍDIOS PARA A GESTÃO DOS RECURSOS
HÍDRICOS NA CIDADE DE PARINTINS, AMAZONAS, BRASIL.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, da Universidade do Estado do Amazonas, na área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos, e na linha de pesquisa: Ferramentas Aplicadas aos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos, como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof.^a. Dra. Ieda Hortêncio Batista

Co-orientador: Prof. Dr. José Camilo Ramos de Souza

**Parintins – AM
2019**

JOSÉ ROBERTO DE SOUZA TEIXEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE E VULNERABILIDADE DOS CORPOS DE
ÁGUA SUBTERRÂNEA COMO SUBSÍDIOS PARA A GESTÃO DOS RECURSOS
HÍDRICOS NA CIDADE DE PARINTINS, AMAZONAS, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, da Universidade do Estado do Amazonas, na área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos, e na linha de pesquisa: Ferramentas Aplicadas aos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos, como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, aprovado em 9 de outubro de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Profa. Prof.^a. Dra. Ieda Hortêncio Batista
Universidade do Estado do Amazonas

Membro Interno: Prof. Dr. Rafael Jovito Souza
Universidade do Estado do Amazonas

Membro Externo: Prof. Dr. Ademir Castro e Silva
Universidade do Estado do Amazonas

DEDICATÓRIA

Dedico a presente dissertação a Deus, a minha família pelo incentivo, carinho e compreensão. E por contribuírem para o meu crescimento pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a DEUS, por orientar meus passos e propor sabedoria.

O meu agradecimento a minha família, que esteve sempre ao meu lado, incentivando nos momentos difíceis.

A minha orientadora Prof.^a. Dra. Ieda Hortêncio Batista, por aceitar a orientação desta pesquisa e a confiança a mim depositado.

Ao Mestrado Prof^oÁgua, ao nosso Coordenador Geral Dr. Jefferson de Oliveira, ao Alex nosso administrador do pólo, a Universidade do Estado do Amazonas, a Agência Nacional de Águas, e ao CAPES.

Ao Coordenador Dr. Carlossandro Carvalho que abraçou a ideia deste trabalho completamente, ele representa um grande alicerce para o desenvolvimento da Gestão de águas no estado do Amazonas.

Aos professores do Mestrado Prof^oÁgua, pólo UEA por acreditarem em uma gestão participativa dos recursos hídricos no Estado do Amazonas, em especial meus agradecimentos a Prof^a. Dr^a Ieda Hortêncio Batista, Prof. Dr. José Camilo Ramos de Souza, em suas sabedorias e paciência, nos auxiliaram desde o início para a escrita deste trabalho.

As amigas de curso, por me ajudarem nessa caminhada e na realização deste trabalho, Fabiana Rocha Campelo e Tattiany Kelen F. Pacheco de Souza.

RESUMO

A água subterrânea é um recurso natural estratégico principalmente para abastecimento público. Encontrar mecanismos que possam subsidiar a gestão desse recurso é fundamental para o uso sustentável. Neste sentido, este estudo objetivou-se gerar informações que possam subsidiar a gestão dos recursos hídricos subterrâneos na cidade Parintins, priorizando a delimitação dos perímetros dos poços tubulares, monitoramento da qualidade da água em relação aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos e avaliar o índice de vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos na cidade de Parintins. O município de Parintins/Am, distante 369 km de Manaus e possui uma área de 45 km² de perímetro urbano, com uma altitude de 52m acima do nível do mar. A população é de aproximadamente 111.575 mil habitantes (4% da população amazonense) e conta com aproximadamente 70 mil habitantes na zona urbana, com densidade demográfica em 17,14h/km². Para os resultados dos Perímetros de proteção dos poços tubulares, utilizou-se a metodologia analítica de Raio Fixo Calculado, onde foram analisados os seguintes parâmetros: vazão de exploração diária, tempo de trânsito de 50 dias, porosidade efetiva do aquífero e espessura saturada dos poços. Diante dos resultados, foram elaborados mapas dos perímetros radiais encontrados e o proposto de 100 metros. As coletas das amostras de água dos vinte poços tubulares que abastecem a cidade de Parintins, referente aos parâmetros físico-químicos, foram realizadas a cada semestre nos meses de junho/novembro, no período de quatro anos, de 2015 a 2018. As análises foram realizadas com uma sonda multiparâmetro em campo e uma DR/890 em laboratório. Os parâmetros analisados foram: temperatura, pH, condutividade elétrica, alumínio, amônia, oxigênio dissolvido, turbidez, ferro, manganês, nitrato, nitrito, sulfato, sulfeto, cobre e zinco. Os resultados mostraram alguns poços com parâmetros fora dos padrões exigidos pela Portaria 05/2017 do Ministério da Saúde: alumínio treze poços, amônia três poços, ferro um poço, manganês três poços, nitrato oito poços e o pH de todas as amostras com valores abaixo de 5, água predominantemente ácida. Enquanto os parâmetros microbiológicos analisados foram os Coliformes Totais e a *Echerichia coli*, a cada trimestre no período de janeiro 2018 a maio de 2019. Das 140 amostras das análises microbiológicas, 16% foram positivas para Coliformes Totais e 100% negativa para *Echerichia coli*. O resultado encontrado da Vulnerabilidade do Aquífero, utilizando a metodologia GOD, foram analisados três parâmetros básicos: tipo de aquífero, característica litológicas da zona não saturada e profundidade do nível estático dos poços. O resultado apresentado, mostra duas classes de vulnerabilidade média e alta. A partir das análises destes parâmetros foram elaborados mapas para identificar as áreas de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas. Espera-se que o resultado desse estudo seja importante para auxiliar na gestão dos recursos hídricos subterrâneos no município de Parintins, e subsidiar outros trabalhos vinculados a esse estudo.

Palavra-chave: Perímetro de Proteção. Monitoramento. Índice de Vulnerabilidade.

ABSTRACT

The subterranean water is a strategic natural resource to public supply. It is fundamental to find mechanisms that may subside the management of this sustainable resource. In that sense, this study aimed to generate information that can subside the management of hydric resources in the city of Parintins, prioritizing the delimitation of physical-chemical and microbiological perimeters and evaluate the index of vulnerability of the subterranean hydric resources in the city of Parintins. The city of Parintins - Amazonas, is 369km away from Manaus and possesses an area of 45km² of urban perimeter, with an altitude of 53m above sea level. The population is of approximately 70 thousand habitants in the urban zone, with a demographic density of 17,14h/km². To the results in protection perimeter of the pipe wells, the analytical methodology Calculated Fix Ray was utilized, where the following parameters were analyzed: daily exploration flow rate, transit time of 50 days, effective porosity of the aquifer and saturated thickness of the wells. Facing the results, maps of the found radial perimeters were elaborated and the proposed of 100meters. The samples of water from the 20 pipe wells that supply the city of Parintins, referring to the physical-chemical parameters, were collected at each semester in the months of June/November, for the period of four years, from 2015 to 2018. The analysis were made with a multiparameter probe in the field and a DR/890 in the laboratory. The analysed parameters were: temperature, pH, electric conductivity, Aluminum, Amônia, Dissolved Oxygen, Turbidity, Nitrate, Nitrite, Sulfate, Sulfide, Iron, Manganese, Cobalt, Fluorine and Zinc. The results have shown some wells with parameters out of the standards required by the Ordinance of the Ministry of Health nº05 / 2017: Aluminum thirteen wells, Amônia three wells, Iron one well, Manganese three wells, Nitrate eight wells and the pH of all samples with values under 5, water predominantly acid. Meanwhile the microbiological parameters analysed were Total Coliforms and Escherichia coli, at each trimester in the period from January of 2018 to May of 2018. From the 140 samples of the microbiological analysis, 16% were positive to Total Coliforms and 100% negatives for Escherichia coli. The result found regarding the Aquifer Vulnerability, utilizing the GOD methodology, were analysed three basic parameters: aquifer type, lithological characteristics of the unsaturated zone and depth of the static level of the wells. The presented result shows two classes of medium and high vulnerability. From the analysis of these parameters maps were elaborated to identify the areas of vulnerability to contamination of the subterranean waters. It's hoped that the result of this study become important to auxiliate in the management of the subterranean hydric resources of the city of Parintins, and subside other works bound to this study.

Keywords: Perimeter of Protection. Monitoring. Vulnerability Index.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Aquífero livre e confinado.....	20
Figura 2 -	Mapa de expansão da área urbana da cidade de Parintins.	25
Figura 3 -	Área do bombeamento I; em (1) poço tubular; beco Submarino (2) e área alaga onde encontra-se localizado o poço 01 (3).	26
Figura 4 -	Ilustração da Zona de Contribuição (ZC) de um poço em funcionamento.....	27
Figura 5 -	Isócronas da água subterrânea no sentido montante do fluxo para definição da Zona de Transporte (ZT) de um poço.	28
Figura 6 -	Perímetros de proteção de poços de abastecimento.....	29
Figura 7 -	Mapa de localização dos poços tubulares em Parintins.	47
Figura 8 -	Cálculo do Perímetro de Alerta.	48
Figura 9 -	Procedimento para medir o nível estático dos poços tubulares.	50
Figura 10 -	Procedimentos de coleta de água para análises Físico-químicos em (1) assepsia da torneira (2) coleta da amostra.	51
Figura 11 -	Procedimentos de coleta de água para análise microbiológica em (1) assepsia da torneira e (2) coleta da amostra.....	52
Figura 12 -	Procedimentos de análises microbiológica; em (1) reagente Colilert; (2) estufa; (3) P/ Coliformes Totais e (4) presença de E. coli.....	53
Figura 13 -	Sistema GOD para avaliação do índice da vulnerabilidade de aquífero.....	54
Figura 14 -	Perímetros radiais encontrados e proposto dos poços do Bombeamento I.....	57
Figura 15 -	Perímetros radiais encontrados e proposto dos poços do Bombeamento II.	59
Figura 16 -	Perímetros radiais encontrados e proposto dos poços do bombeamento III.....	61
Figura 17 -	Perímetros radiais encontrados e proposto dos poços 17, 18 19 e 20.....	63
Figura 18 -	Gráfico da Temperatura, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.	69
Figura 19 -	Gráfico do pH, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.....	70
Figura 20 -	Gráfico do Alumínio, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.	71
Figura 21 -	Gráfico de Amônia, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.....	72
Figura 22 -	Gráfico de Condutividade Elétrica, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.....	73
Figura 23 -	Gráfico de Oxigênio Dissolvido, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018...	74
Figura 24 -	Gráfico de Ferro, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.	75
Figura 25 -	Gráfico de Manganês, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.	76

Figura 26 -	Gráfico do Nitrato, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.	77
Figura 27 -	Correlação de nitrato x pH x alumínio.....	78
Figura 28 -	Gráfico microbiológico, Coliformes Totais - ano 2018/2019.....	80
Figura 29 -	Níveis estáticos dos poços tubulares & teores de nitrato.....	83
Figura 30 -	Classe de vulnerabilidade do Aquífero Alter do Chão.	85
Figura 31 -	Concentração de nitrato nos poços tubulares.....	87
Figura 32 -	Concentração de alumínio nos poços tubulares.	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Critérios utilizados por diferentes países e São Paulo para delimitação dos perímetros de proteção de poços.....	31
Quadro 2 -	Características dos métodos empregados para delimitar perímetros de proteção de poços.	32
Quadro 3 -	Classes de vulnerabilidade do aquífero segundo o método GOD.....	45
Quadro 4 -	Valores de r estipulados no Decreto-Lei 382/99, de acordo com o tipo de aquífero.	48
Quadro 5 -	Metodologia e parâmetros analíticos, Físico-químicos.....	52
Quadro 6 -	Distâncias radiais calculadas para o tempo de trânsito de 50 dias aplicando o método do Raio Fixo Calculado dos poços 1, 2, 3, 4, 5 e 6.....	55
Quadro 7 -	Distâncias radiais calculadas para o tempo de trânsito de 50 dias aplicando o método do Raio Fixo Calculado dos poços 7, 8, 9, 10, 11 e 12.....	58
Quadro 8 -	Distâncias radiais calculadas para o tempo de trânsito de 50 dias aplicando o método do Raio Fixo Calculado dos poços 13, 14, 15 e 16.....	60
Quadro 9 -	Distâncias radiais calculadas para o tempo de trânsito de 50 dias aplicando o método do Raio Fixo Calculado dos poços 17, 18, 19 e 20.....	62
Quadro 10 -	Resultado das análises Físico-químicas – média 2015 a 2018, período da cheia. .	65
Quadro 11 -	Resultado das análises Físico-químicas - média 2015 a 2018, período da vazante.	66
Quadro 12 -	Resultado das análises Físico-químicas - média 2015 a 2018, período da cheia..	67
Quadro 13 -	Resultado das análises Físico-químicas - média de 2015 a 2018, período da vazante.	68
Quadro 14 -	Resultado das análises com presença/ausência de Coliformes totais e Escherichia coli.....	79
Quadro 15 -	Resultado da vulnerabilidade do aquífero.....	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Água

ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA - Conselho Nacional e Meio Ambiente

COSAMA – Companhia de Saneamento do Amazonas

ETA – Estação de Tratamento de Água

MS - Ministério da Saúde

SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto

VMP – Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	166
1.1. Instrumentos de Gestão dos Recursos Hídricos.....	166
1.2. Gestão das Águas Subterrâneas	177
1.3. Aquíferos	188
1.3.1. Tipo de Aquíferos	18
1.4. Águas Subterrâneas.....	211
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS.....	21
2.1. Aquífero Alter do Chão.....	21
2.2. Aspectos Fisiográficos	23
2.3. Clima.....	23
2.4. Relevo.....	244
3. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	24
4. DELIMITAÇÃO DE PERÍMETRO DE PROTEÇÃO DE POÇOS PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA.	26
5. MÉTODOS PARA DELIMITAÇÃO DE PERÍMETROS DE ROTEÇÃO DE POÇOS.....	32
6. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA	33
6.1. Parâmetros Físico-químicos.....	34
6.1.1. Temperatura.....	35
6.1.2. pH	35
6.1.3. Alumínio	36
6.1.4. Amônia	36
6.1.5. Condutividade.....	36
6.1.6. OD	37
6.1.7. Turbidez.....	37
6.1.8. Ferro	38
6.1.9. Manganês.....	38
6.1.10. Nitrato	38
6.1.11. Nitrito	39
6.1.12. Sulfato e Sulfeto	39
6.1.13. Cobre	40
6.1.14. Zinco.....	40
6.2. Parâmetros Microbiológicos.....	41
7. VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	42
8. METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE DE AQUÍFERO	43

9.	MATERIAL E MÉTODOS	46
9.1.	Caracterização da Área de Estudo	46
9.2.	Perímetro de Proteção dos Poços	47
9.3.	Monitoramento da Qualidade da Água	50
9.4.	Caracterização do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero	53
10.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
10.1.	Perímetro de Alerta	55
10.2.	Físico-químicos	64
10.3.	Microbiológico	78
10.4.	Vulnerabilidade do Aquífero	81
11.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

INTRODUÇÃO

A água é um elemento fundamental para a manutenção de todas as formas de vida no planeta. Dessa forma faz-se necessário a gestão sustentável dos recursos hídricos, a infraestrutura hídrica, e o acesso ao abastecimento seguro, confiável e regular de água, bem como serviços adequados de saneamento, que melhoram os padrões de vida da população.

Para garantir uma gestão sustentável dos Recursos Hídricos, a Lei 9.433/97 Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos que define no Art. 5º seus instrumentos de gestão: I - os Planos de Recursos Hídricos; II - o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; III - a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; IV - a cobrança pelo uso de recursos hídricos e o sistema de informações de recursos hídricos.

Os poços tubulares têm sido preferencialmente utilizados para o abastecimento público, devido a importância e disponibilidade dos corpos de água subterrânea, assim como sua produtividade. No entanto os aquíferos não têm sido protegidos de forma eficiente e raramente há uma boa gestão nesse processo de exploração.

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

Em janeiro de 2008, haviam sido cadastradas, no Brasil, aproximadamente 145 mil fontes de abastecimento de água subterrânea, sendo quase a totalidade representada por poços tubulares. Em julho de 2018, os poços cadastrados no Brasil totalizavam mais de 302 mil. Uma nova projeção da quantidade de poços tubulares existentes no país indica a ordem de 1,2 milhão, o que representa um aumento anual de mais de 22% em relação à estimativa de 2008 (CONJUNTURA, 2018).

No Estado do Amazonas 71%, dos 62 municípios, utilizam água subterrânea como principal fonte de abastecimento público, Elton (2019). Todo o fornecimento de água para consumo humano na área urbana na cidade de Parintins, provém de captação subterrânea, por meio de 20 (vinte) poços tubulares, distribuídos em 06 (seis) áreas de captação (SAAE, 2018).

Na cidade de Parintins, o crescimento populacional nas últimas décadas foi ocasionado pela migração de famílias provenientes da zona rural e dos municípios circunvizinhos em busca de melhores condições de vida. Essa expansão urbana, a falta de saneamento básico pode estar comprometendo a qualidade das águas subterrâneas do município.

Dentre as principais ameaças às águas subterrâneas destacam-se a exploração intensiva ou descontrolada de água e as fontes potenciais de poluição provenientes das atividades antrópicas. É também comum, a falta de cuidados na proteção dos poços tubulares, gerando riscos de contaminação das águas.

Diante desse contexto, decidiu-se por realizar um estudo sobre os perímetros de proteção dos poços tubulares urbanos, a qualidade da água e a vulnerabilidade do aquífero, como subsídios para a gestão, dos corpos de águas subterrâneas utilizadas no abastecimento público na cidade de Parintins/Amazonas. E para alcançar esses resultados foram estabelecidos como objetivos específicos: delimitar os perímetros de proteção dos poços tubulares em zona na área urbana na cidade de Parintins; monitorar a qualidade da água subterrânea captada dos poços tubulares, em relação aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, no período de 2015 a 2018 e avaliar o índice de vulnerabilidade a poluição dos recursos hídricos subterrâneo na cidade de Parintins.

A contribuição desse estudo, vai colaborar de forma efetiva, para uma gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos na cidade de Parintins. Uma vez que a qualidade de água tem grande impacto na saúde pública e, de modo mais abrangente, na qualidade de vida da população.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Instrumentos de Gestão dos Recursos Hídricos

A Política Nacional de Recursos Hídricos, através da Lei 9.433/1997, tem em um de seus objetivos assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de águas, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.

A Política institui, no Art. 5º, os instrumentos de gestão de recursos hídricos:

I – Os Planos de Recursos Hídricos;

II – Os Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;

III – A Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;

IV – A Cobrança pelo uso de recursos hídricos;

V – O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Os Planos de Recursos Hídricos, visam orientar e viabilizar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos. São elaborados por Bacia Hidrográfica, por Estado e para o País; são planos de longo prazo, com horizonte de planejamento compatível com o período de implementação de seus programas e projetos.

O enquadramento dos corpos de água visa assegurar as águas com qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e a diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

A outorga tem como objetivos assegurar o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso a água associado a uma garantia. Para tanto deverá considerar o enquadramento em classes de uso e a vazão do corpo hídrico. A análise de concessão de outorga também deverá considerar o impacto do lançamento ou captação no corpo hídrico, diante do cenário real da bacia hidrográfica, e o atendimento às metas estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos, sobretudo, para as prioridades de uso estabelecidas pelo Comitê.

A cobrança está condicionada à outorga e objetiva reconhecer a água como um bem econômico, incentivar a racionalização do uso da água e obter recursos financeiros para atendimento das metas estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos. Para a cobrança pelo uso da água, é necessário saber a qualidade e a quantidade de água retirada e devolvida aos corpos

d'água. Deve-se também ter informações sobre os usuários e saber as diretrizes e critérios de cobrança estabelecidas pelos Planos de Recursos Hídricos.

O Sistema de Informações de Recursos Hídricos visa à coleta, o tratamento e o armazenamento de informações sobre recursos hídricos. Com esse sistema, objetiva-se dar consistência e divulgar informações sobre a qualidade e quantidade dos recursos hídricos. Além disso, atualizar as informações sobre disponibilidade e demanda da água e fornecer subsídio para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos.

1.2. Gestão das Águas Subterrâneas

De acordo com a Constituição Federal de 1988, as águas passaram a ser de domínio público, isto é, todos têm direito ao seu uso. Nesta nova visão, foram estabelecidos dois domínios: da União (corpos de água que atravessam mais de um estado e/ou país) e dos Estados. Embora essa dominialidade das águas subterrâneas seja dos estados, não deve ser esquecido o importante papel dos municípios na gestão dos recursos hídricos, pois estes são os responsáveis pela política de uso e ocupação do solo, que tem relação direta com as águas subterrâneas.

A gestão da qualidade das águas subterrâneas é considerada na legislação federal através de duas resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. A Resolução nº 15, de 2001, estabelece que os Estados devem orientar os municípios sobre as diretrizes de gestão integrada das águas subterrâneas, propondo mecanismos de estímulo à proteção das áreas de recarga dos aquíferos e a Resolução nº 22, de 2002, afirma que os planos de bacia devem explicitar medidas de prevenção, proteção, conservação e recuperação dos aquíferos, sendo que a criação de áreas de uso restritivo poderá ser adotada com medida para alcance dos objetivos propostos.

No Brasil esse recurso é protegido pela Resolução CONAMA 396/2008, a qual dispõe sobre classificação e diretrizes para enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências, como estabelecimento de diretrizes ambientais para prevenção e controle da poluição desse recurso hídrico. O Artigo 20 da referida resolução estipula a promoção da implementação de Áreas de Proteção de Aquíferos e perímetros de Proteção de Poços de Abastecimento por parte de órgãos ambientais em conjunto com órgãos gestores.

Além disso, o Artigo 21 determina que os órgãos ambientais, em conjunto com órgãos gestores dos recursos hídricos e da saúde deverão promover implementação de Áreas de restrição

e Controle do Uso da Água Subterrânea, em caráter excepcional e temporário, quando em função da condição da qualidade e quantidade da água subterrânea, houver a necessidade de restringir o uso ou a captação da água par proteção dos aquíferos, da saúde humana e dos ecossistemas (CONAMA, 2008).

No Amazonas a Lei nº 3.167, de 28 de agosto de 2007, define em seu Art. 44, que as águas subterrâneas terão programa permanente de conservação e proteção, visando ao seu melhor aproveitamento, implicando a conservação do seu equilíbrio natural o uso racional, a aplicação de medidas de prevenção à poluição e a manutenção do seu equilíbrio físico-químico e biológico.

Estabelece também, em seu Art. 51, o Poder Público instituirá, sempre que necessário, áreas de proteção aos locais de extração de águas subterrâneas, com a finalidade de possibilitar a preservação dos aspectos físico-químicos do aquífero e promover seu aproveitamento racional.

1.3. Aquíferos

O aquífero é uma formação geológica do subsolo, constituídas por rochas permeáveis, que armazena água em seus poros ou fraturas. Outro conceito refere-se a aquífero como sendo, somente, o material geológico capaz de servir de depósito e de transmissor da água aí armazenada. Assim, uma litologia só será aquífera se, além de ter seus poros saturados cheio de água, permitir a fácil transmissão da água armazenada (ABAS, 2018).

1.3.1. Tipo de Aquíferos

A litologia do aquífero, ou seja, a sua constituição geológica (porosidade/permeabilidade intergranular ou de fissura) é que irá determinar a velocidade da água em seu meio, a qualidade da água e a sua qualidade como reservatório. Essa litologia é decorrente de sua origem geológica, que pode ser fluvial, lacustre, eólica, glacial e aluvial (rochas sedimentares), vulcânica (rochas fraturadas) e metamórfica (rochas calcárias), determinando os diferentes tipos de aquíferos (ABAS, 2018).

Quanto à porosidade, existem três tipos de aquíferos:

1) Aquífero poroso ou sedimentar: é aquele formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, onde a circulação da água se faz nos poros formados

entre os grãos de areia, silte e argila de granulação variada. Constituem os mais importantes aquíferos, pelo grande volume de água que armazenam, e por sua ocorrência em grandes áreas.

Esses aquíferos ocorrem nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos. Uma particularidade desse tipo de aquífero é sua porosidade quase sempre homoganeamente distribuída, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existente. Essa propriedade é conhecida como isotropia (ABAS, 2018).

2) Aquífero fraturado ou fissural: formado por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico. Ex.: basalto, granitos, gabros, filões de quartzo, etc.

A capacidade dessas rochas de acumularem água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação, permitindo a infiltração e fluxo da água. Poços perfurados nessas rochas fornecem poucos metros cúbicos de água por hora, sendo que a possibilidade de se ter um poço produtivo dependerá, tão somente, desse poço interceptar fraturas capazes de conduzir a água.

Nesses aquíferos, a água só pode fluir onde houverem fraturas, que, quase sempre, tendem a ter orientações preferenciais. São ditos, portanto, aquíferos anisotrópicos. Um caso particular de aquífero fraturado é representado pelos derrames de rochas vulcânicas basálticas, das grandes bacias sedimentares brasileiras (ABAS, 2018).

3) Aquífero cárstico (Karst): formado em rochas calcáreas ou carbonáticas, onde a circulação da água se faz nas fraturas e outras discontinuidades (diáclases) que resultaram da dissolução do carbonato pela água. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões, criando, nesse caso, verdadeiros rios subterrâneos. São aquíferos heterogêneos, descontínuos, com águas duras, com fluxo em canais. As rochas são os calcários, dolomitos e mármore (ABAS, 2018).

Quanto à superfície superior (segundo a pressão da água), os aquíferos podem ser de dois tipos:

1) Aquífero livre ou freático - é aquele constituído por uma formação geológica permeável e superficial, totalmente aflorante em toda a sua extensão, e limitado na base por uma camada impermeável. A superfície superior da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica, com a qual se comunica livremente.

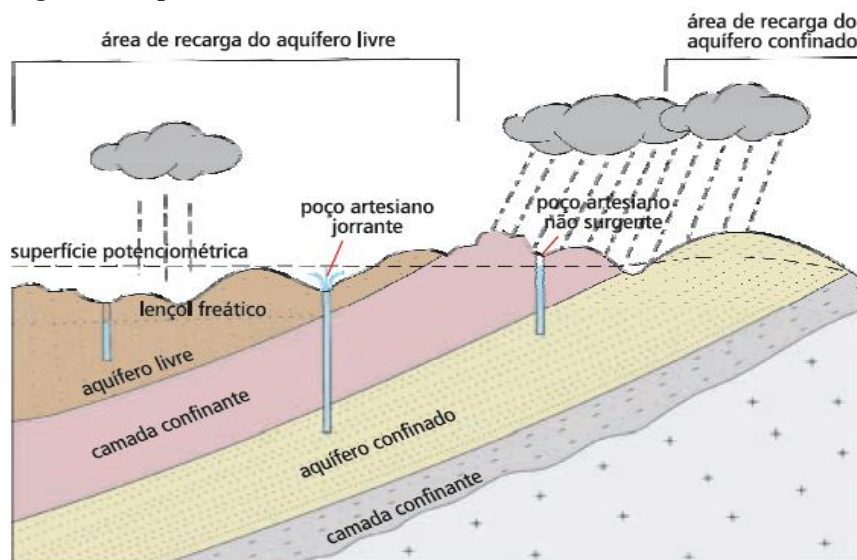
Os aquíferos livres têm a chamada recarga direta. Em aquíferos livres o nível da água varia segundo a quantidade de chuva. São os aquíferos mais comuns e mais explorados pela população. São também os que apresentam maiores problemas de contaminação (ABAS, 218).

2) Aquífero confinado ou artesianiano - é aquele constituído por uma formação geológica permeável, confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis. A pressão da água no topo da zona saturada é maior do que a pressão atmosférica naquele ponto, o que faz com que a água ascenda no poço para além da zona aquífera.

O seu reabastecimento ou recarga, através das chuvas, dá-se preferencialmente nos locais onde a formação aflora à superfície. Neles, o nível da água encontra-se sob pressão, podendo causar artesianismo nos poços que captam suas águas. Os aquíferos confinados têm a chamada recarga indireta e quase sempre estão em locais onde ocorrem rochas sedimentares profundas (bacias sedimentares) (ABAS, 2018).

Em uma perfuração de um aquífero confinado, a água subirá acima do teto do aquífero, devido à pressão exercida pelo peso das camadas confinantes sobrejacentes. A altura a que a água sobe chama-se nível potenciométrico e o furo é artesianiano. Numa perfuração de um aquífero livre, o nível da água não varia porque corresponde ao nível da água no aquífero, isto é, a água está à mesma pressão que a pressão atmosférica. O nível da água é designado então de nível freático, Figura 1.

Figura 1 - Aquífero livre e confinado.



Fonte: Iritani, Ezaki (2012).

1.4. Águas Subterrâneas

A água subterrânea é aquela que ocorre abaixo da superfície da terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. As águas subterrâneas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água precipitada (ABAS, 2018).

Após a precipitação, parte das águas que atinge o solo se infiltra e percola no interior do subsolo, durante períodos de tempo extremamente variáveis, decorrentes de muitos fatores: porosidade do subsolo; cobertura vegetal; inclinação do terreno; e tipo de chuva. Durante a infiltração, uma parcela da água sob a ação da força de adesão ou de capilaridade fica retida nas regiões mais próximas da superfície do solo, constituindo a zona não saturada. Outra parcela, sob a ação da gravidade, atinge as zonas mais profundas do subsolo, constituindo a zona saturada (ABAS, 2018).

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS

2.1. Aquífero Alter do Chão

O sistema aquífero Alter do Chão é do tipo livre e faz parte da Bacia Sedimentar do Amazonas. Ocorre na região centro-norte do Pará e leste do Amazonas, ocupando uma área de 312.574 km². Ele é explorado principalmente nas cidades de Manaus, Belém, Santarém e na Ilha de Marajó (ANA, 2005).

Como existe conexão hidráulica lateralmente entre as bacias do Marajó, Amazonas, Solimões e Acre, sub-andinas. Abreu *et al.*, (2013) propõem a existência de um grande sistema aquífero chamado Sistema Aquífero Grande Amazônia (SAGA) que se estende lateralmente e abrange diversos aquífero.

As águas do referido aquífero são pouco mineralizadas, com concentração de sólidos totais dissolvidos oscilando entre 10 a 20 mg/L e pH variando de 4,5 a 5,5. Predominam os tipos

sulfatada-cloretada potássica e cloretada-sódica. Esses dados refletem infiltração rápida e ambiente de circulação quimicamente pobre (AGUIAR, 2012).

Na cidade de Parintins, a água captada é procedente do aquífero Alter do Chão, através de poços tubulares com profundidade média de 91,7 metros. Esta formação, conforme dados gerados pela Petrobrás (COSTA, 2003), ocorre na ilha com uma espessura aproximada de 450 metros, recobrimo discordantemente os calcários e folhelhos da Formação Nova Olinda, unidade de características hidrogeológicas pouco significativas, devido a encerrar águas duras e apresentar baixa permeabilidade (MARMOS; AGUIAR, 2005).

Segundo informações de poços tubulares perfurados nessa formação, se tem uma sequência repetitiva de camadas arenosas e argilosas de espessuras variáveis, evidenciando a ocorrência de um aquífero de acentuada anisotropia vertical. A formação é constituída por cerca de 65% de arenitos e 35% de argilitos (valores estimados), de acordo também com suas características regionais. No entanto, por tratar-se de uma unidade geológica de origem fluvial, ela não deve apresentar camadas argilosas ou argiloarenosas de grande continuidade que possam dividir hidraulicamente o aquífero em subunidades. Assim, o Aquífero Alter do Chão deve ser considerado como livre, ou seja, a superfície das águas subterrâneas está submetida apenas à pressão atmosférica (MARMOS; AGUIAR, 2005).

De acordo com informações dos poços cadastrados em Parintins, a profundidade média das águas subterrâneas, no final do período chuvoso, deve ficar em torno de 4,5m. Complementarmente, com base na oscilação periódica do nível estático, medido em um poço na Estação localizada na rua Paraíba, a variação anual do nível das águas subterrâneas da cidade de Parintins pode ser estimada em 5m, valor considerado baixo, mas superior ao encontrado no mesmo aquífero no centro da cidade de Manaus, que foi de 3,5m (MARMOS; AGUIAR, 2005).

Com relação à capacidade de transmissão de água, para o Aquífero Alter do Chão em Parintins foi encontrado o valor de 41,2 m³/h.m para o coeficiente de transmissividade, calculado com base no teste de bombeamento realizado na Estação Itaúna. Trata-se de um valor bastante elevado em comparação com outras localidades. O referido parâmetro expressa a quantidade de água, medida em metros cúbicos por hora, que atravessa uma seção do aquífero, definida pela largura unitária e pela espessura saturada, com um gradiente de 45° (MARMOS; AGUIAR, 2005).

Para a condutividade hidráulica da Formação Alter do Chão, na cidade de Parintins, foi encontrado o valor de 0,14 m/h. Esse parâmetro mede a quantidade de água que passa por uma

seção unitária do aquífero, ou seja, é igual à transmissividade dividida pela espessura da formação (porção arenosa). Com o produto da condutividade hidráulica pelo gradiente da superfície freática (diferença de nível entre dois pontos dividido pela distância), dividido pela porosidade efetiva média da formação, se tem a velocidade média das águas subterrâneas. O valor encontrado, 5,7 cm/dia, poderá ser utilizado como velocidade média para as águas na porção superior do aquífero. Entretanto, sob gradientes mais elevados, como nas proximidades de um poço em bombeamento, esse valor aumentará bastante. Na estação de Itaúna, o valor encontrado foi de 806,4 cm/dia (MARMOS; AGUIAR, 2005).

Para o coeficiente de restituição (porosidade efetiva dos arenitos), o valor estimado de 20% é bastante representativo, pouco superior ao definido por (FRANÇA *et al.*, 1984) para o Aquífero Alter do Chão no município de Nova Olinda.

2.2. Aspectos Fisiográficos

A cidade de Parintins, cercada pelas águas do rio Amazonas, Lago do Parananema, Lago do Aninga, Lago do Macurany e Lagoa da Francesa.

Com relação à geologia, a cidade de Parintins está assentada sobre rochas sedimentares, predominantemente arenosas, de idade cretácea, da Formação Alter do Chão. É importante mencionar ainda a existência de uma crosta laterítica (pedra-jacaré), com pelo menos dois metros de espessura, observada ao longo do barranco do rio Amazonas (MARMOS; AGUIAR, 2005).

A decomposição dos sedimentos da Formação Alter do Chão e da crosta laterítica deu origem, predominantemente, a espessos latossolos amarelos, argilo-arenosos a arenoargilosos, e secundariamente a solos muito arenosos (areais), prováveis neossolos flúvicos, que ocorrem na parte central da ilha.

2.3. Clima

Parintins apresenta clima quente e úmido com médias máximas de 30,5 °C e mínimas de 27 °C. A altitude é de 50m em relação ao nível do mar (PTDRS, 2011). A umidade relativa do ar chega a 85% de média (INMET, 2007). De acordo com a classificação de Koppen, o clima do município enquadra-se no grupo climático A (tropical chuvoso), tipo Amw, que se caracteriza por apresentar

uma estação seca de pequena duração (COUTO, 2005). Parintins está inserido na faixa sub-úmida com precipitações entre 2000 a 2250 mm com três meses secos. Ao analisar dados referentes às precipitações verificou-se uma média total de 2.306,7mm para os anos entre 1966 a 2007 (CPRM, 2010).

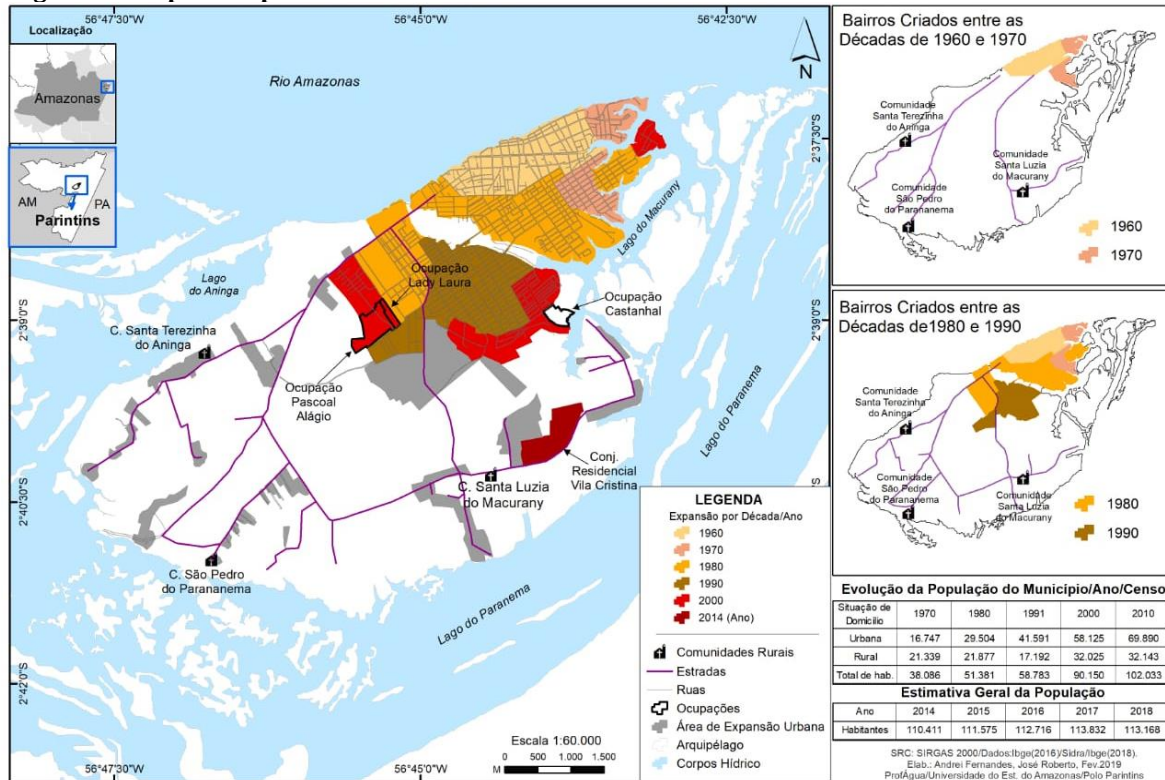
2.4. Relevo

A cidade de Parintins, apresenta um relevo bastante plano, com as menores cotas altimétricas, em torno de 15 metros, sendo registradas nas proximidades na Lagoa da Francesa e da Estação de Bombeamento Paraíba (extremo NE), e as maiores, cerca de 30 metros, observadas na parte central, nas adjacências do Bosque da Seringueira. Os gradientes são muito suaves. A drenagem interna resume-se a Lagoa da Francesa e a pequenos tributários que deságuam no Lago do Macurany, com destaque para o braço desse Lago que se constitui no canal de ligação do rio Amazonas com o Lago Parananema (MARMOS; AGUIAR, 2005).

3. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Observa-se que nas últimas décadas houve um grande crescimento urbano na cidade de Parintins, principalmente na formação de loteamentos, no sentido Oeste / Sul. Outro tipo de expansão foi de palafitas nas regiões periféricas da cidade e ao longo dos Lagos, Lagoa, contribuindo para a degradação ambiental, em especial aos recursos hídricos.

Figura 2 - Mapa de expansão da área urbana da cidade de Parintins.



Fonte: SRC; SIRGAS 2000/Dados: IBGE (2016) Sidra/IBGE (2018).

Elab.: Fernandes (2019).

Bartoli e Barbosa (2012) ao analisarem a paisagem e morfologia urbana da cidade de Parintins identificaram entre outros, dois processos que influenciaram na transformação da configuração morfológica recente da cidade. O primeiro diz respeito à substituição de moradias em beira-rio e o segundo está relacionado a formação de loteamentos recentes em áreas periféricas ambos evidenciado alterações estruturais na morfologia urbana.

Um grande exemplo dessa ocupação do solo, está relacionado com as áreas onde foram perfurados os primeiros poços tubulares do bombeamento I, situado na rua Rio Branco com a Paraíba, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Área do bombeamento I; em (1) poço tubular; beco Submarino (2) e área alagada onde encontra-se localizado o poço 01 (3).



Fonte: Teixeira (2019).

Conforme informações do SAAE (2018), já foram desativados 5 poços nessa área por contaminação de Nitrato e Alumínio. Mas ainda existem 6 poços dos quais 2 tem aproximadamente 40 anos com profundidade média de 55 metros, quando foram perfurados, não existiam fontes de poluição no perímetro desses poços. No decorrer dos anos esses espaços foram ocupados por moradias residenciais. O grande exemplo é o beco Submarino, que além de produzir, recebe uma grande carga de efluentes doméstico da rua Paraíba, que são lançados próximo aos poços.

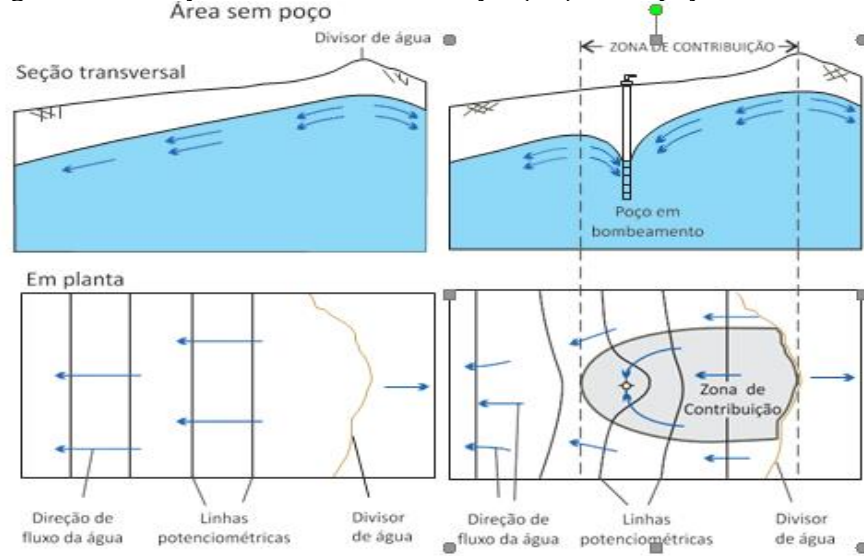
4. DELIMITAÇÃO DE PERÍMETRO DE PROTEÇÃO DE POÇOS PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA.

A criação de métodos para a definição de perímetros de proteção para captações de água subterrânea, foram desenvolvidos, experimentados e aplicados pela primeira vez, em países europeus, na década de 1930 e, o quadro legislativo e as regulamentações importantes que os suportam foram constituídos nos anos 1950 (CARVALHO; HIRATA, 2012).

Os perímetros de proteção de poços são áreas delimitadas ao redor dos mesmos, nas quais se controla o uso e a ocupação do solo que representem atividades potencialmente contaminantes, a fim de não comprometer a qualidade e potabilidade da água extraída (IRITANI; EZAKI, 2012). Com esta delimitação, pretende-se reduzir o risco de contaminação, ou, caso aconteça a contaminação, procurando evitar que o contaminante chegue às captações em concentrações consideradas perigosas (PRADA *et al.*, 2008).

Esses perímetros de proteção estão contidos na área de recarga do aquífero que contribui diretamente para o poço, denominada Zona de Captura ou Zona de Contribuição (ZC). A ZC é estabelecida pelos divisores de água subterrânea que se formam pelo bombeamento do poço e pelas fronteiras ou divisores naturais de fluxo, representada pela figura abaixo.

Figura 4 - Ilustração da Zona de Contribuição (ZC) de um poço em funcionamento



Fonte: Iritani, Ezaki (2012).

Ao infiltrar-se no solo a água alcança o aquífero e segue um fluxo natural rumo às áreas de descarga. Quando o poço é bombeado, cria-se uma área de descarga pontual, direcionando parte do fluxo da água subterrânea para esse ponto. Dessa forma, quando a água for bombeada pelo poço possíveis problemas de contaminação na Zona de Contribuição podem afetar a qualidade da água.

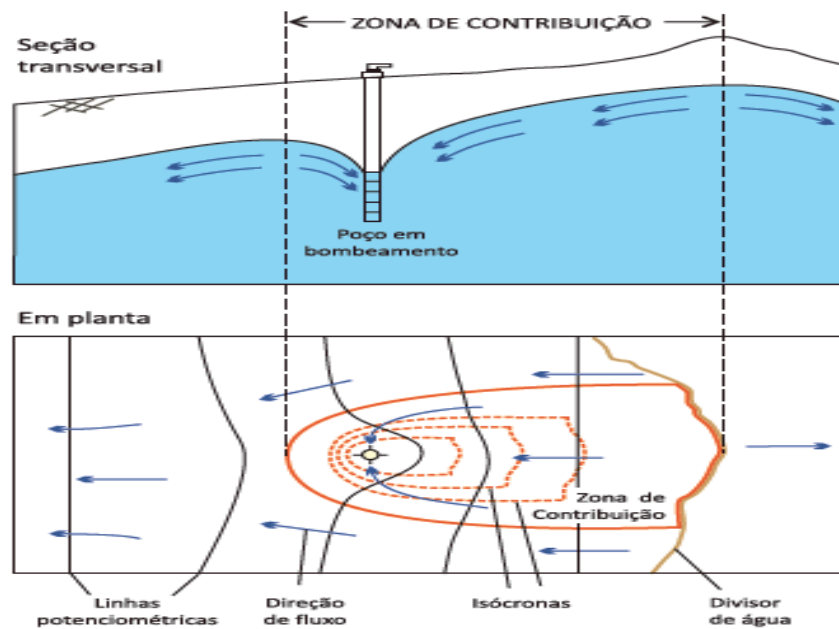
Para uma proteção, mas eficaz da captação de água subterrânea, o ideal é o estabelecimento de restrições a atividades potencialmente poluidoras em toda a Zona de Contribuição (ZC) do poço. Entretanto, em alguns casos, ela pode ser muito extensa tornando esta estratégia inviável, seja do ponto de vista econômico ou técnico. Assim, é necessário proceder a uma divisão da zona de proteção, para que se apliquem as restrições mais rigorosas ao uso do solo apenas nas áreas mais próximas da captação (FOSTER *et al.*, 2006).

Estes perímetros de proteção, contidos na Zona de Contribuição, são estabelecidos em função de alguns critérios como: rebaixamento do nível da água causado pelo bombeamento, distância a partir da captação, tempo de trânsito que a água demora a chegar ao poço, tempo de

degradação de um contaminante e, também, feições hidrogeológicas que condicionam o fluxo subterrâneo (IRITANI; EZAKI, 2012).

O perímetro delimitado pelos pontos com o mesmo tempo de trânsito (isócrona) da água subterrânea no sentido montante do fluxo é denominado de Zona de Transporte (ZT). Por exemplo, a zona de transporte de 50 dias indica que qualquer partícula de água contida internamente a este perímetro atingirá o poço em um tempo máximo de 50 dias (Figura 5), (IRITANI; EZAKI, 2012).

Figura 5 - Isócronas da água subterrânea no sentido montante do fluxo para definição da Zona de Transporte (ZT) de um poço.



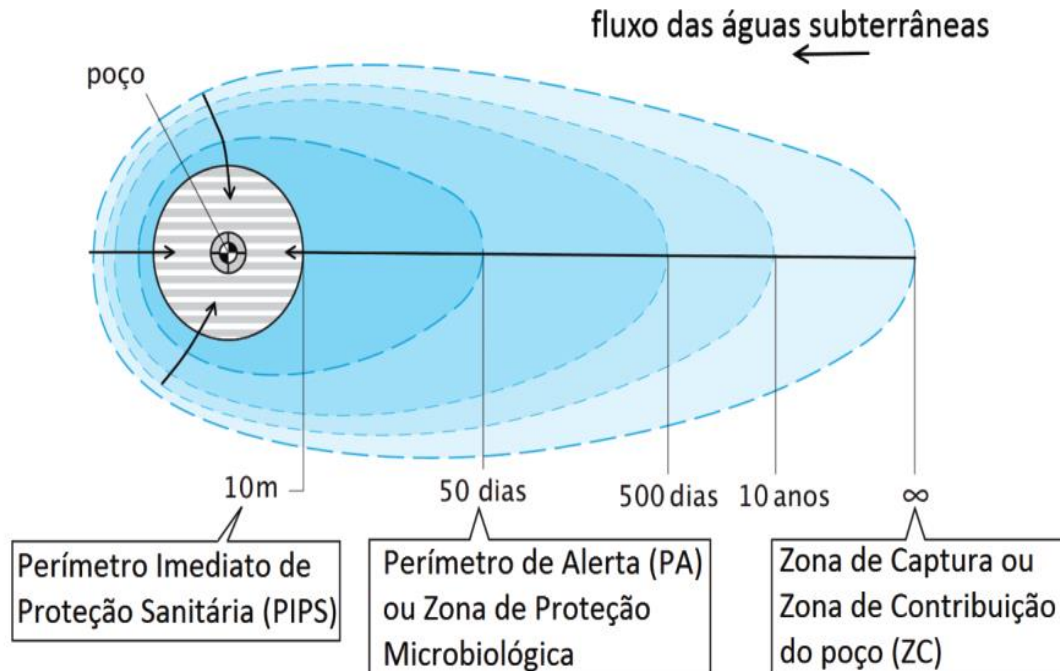
Fonte:

Iritani; Ezaki (2012).

Segundo Foster *et al.*, (2006), essa zona pode também ser denominada de zona de proteção microbiológica, e corresponde ao Perímetro de Alerta, que é o foco do presente estudo dos poços de captação de água subterrânea na cidade de Parintins (Figura 5).

Autores como Adams, Foster (1992), Foster; Skinner (1995) e Foster *et al.*, (2006), avaliando a experiência de diversos países, sugerem o estabelecimento de 3 a 5 zonas de proteção. Foster *et al.*, (2006) sugerem cinco perímetros internos à ZC baseados em distância e tempo de trânsito para a proteção do poço, como ilustra a Figura 6.

Figura 6 - Perímetros de proteção de poços de abastecimento.



Fonte: Foster *et al.* (2006)

O perímetro de proteção de uma captação de água subterrânea é necessário para uma proteção completa contra os contaminantes degradáveis e não degradáveis. Para os degradáveis, considerando-se que o solo tem capacidade natural de atenuação do contaminante. Para os não degradáveis, é necessária uma diluição do fluxo principal, para diminuir a sua concentração. O mecanismo de diluição é predominantemente de advecção e dispersão, associados ao fluxo de água. Alguns contaminantes podem ser afetados por processos de degradação, adsorção e precipitação (FOSTER *et al.*, 2006).

É importante ressaltar que a proximidade da área urbana, as fontes potenciais de contaminação no entorno dos poços, os possíveis problemas construtivos das obras de captação e de manutenção da proteção sanitária podem aumentar o perigo de infiltração de contaminantes para o aquífero, comprometendo, assim, a qualidade da água captada pelo poço (IRITANI; EZAKI, 2012).

Segundo Lobo Ferreira *et al.*, (2003) a delimitação destes perímetros de proteção visa nas suas funções.

- ✓ Prevenir, reduzir e controlar a chegada de substâncias poluentes à captação;

- ✓ Assegurar atenuação de poluente durante o seu percurso entre o foco de poluição, e a captação; por atuação dos processos naturais de diluição e de autodepuração;
- ✓ Recorrer, antecipadamente a fontes de abastecimento alternativas em caso de descargas acidentais de poluentes que coloquem em perigo o sistema de abastecimento público e;
- ✓ Garantir a proteção das águas subterrâneas no interior da zona de contribuição de captação.

É de extrema importância a proteção dos poços tubulares utilizados no sistema público de abastecimento na cidade de Parintins. A água que é captada para o fornecimento a população de Parintins, vem de aquífero livre, havendo assim conexão direta com a atmosfera. Isto significa que contaminantes liberados no solo por certas atividades antrópicas podem infiltrar diretamente no aquífero, apresentando um potencial para interferir na qualidade da água bombeada pelos poços de abastecimento público, seja no curto, médio ou longo prazo (IRITANI; EZAKI, 2012).

Existem alguns exemplos de critérios aplicados à Zona de Contribuição para o estabelecimento dos perímetros de proteção de poços em aquíferos livres sedimentares adotados por alguns países e também para os perímetros de proteção estabelecidos no Estado de São Paulo pelo Decreto nº 32.955/91, como mostra a Quadro 1.

Quadro 1 - Critérios utilizados por diferentes países e São Paulo para delimitação dos perímetros de proteção de poços.

País	Perímetros de Proteção			
Alemanha	Zona I Raio de 20 m	Zona II – Tempo de trânsito de 50 dias	Zona IIIA - Distância de 2 km	Zona IIIB - Zona de Captura
França	Perímetro Imediato 10 a 20m	Perímetro Proximo 1 a 10 hectares ou 60 dias de tempo de trânsito	Perímetro Afastado 0,2 a 15 km ou critério técnico	
Reino Unido	Zona I – Proteção Interior 50m ou 50 Dias de tempo de Trânsito	Zona II – Proteção exterior 25% da ZC ou 400 dias de tempo de trânsito	Zona III - Captação Total Zona de Captura	Zona Z de proteção Especial Área fora da ZC, mas que pode transmitir contaminação ao poço.
Holanda	Área de Captação 50 ou 60 dias de Tempo de trânsito	Área de Proteção I 10 anos de tempo de trânsito	Área de Proteção II 25 anos de tempo de trânsito	Área de Recarga 50 a 100 anos de tempo de trânsito
Itália	Zona de Proteção Absoluta Mínimo de 10 m	Zona de Respeito Mínimo de 200 m	Zona de Proteção Zona de Captura e da Bacia	
Estado de São Paulo Decreto nº 32.955/91	Perímetro Imediato de Proteção Sanitária (PIPS) Raio de 10 m	Perímetro de Alerta 50 dias de tempo de transito		

Fonte: Iritani, Ezaki (2012).

5. MÉTODOS PARA DELIMITAÇÃO DE PERÍMETROS DE ROTEÇÃO DE POÇOS

Para o cálculo e delimitação das Zonas de Contribuição, de Transporte e de Influência, e dar bases para a implementação dos Perímetros de Proteção de Poços, depende do tipo de confiabilidade dos dados disponíveis e do conhecimento do aquífero explorado, para poder aplicar as técnicas e métodos, como mostra o Quadro 2.

Quadro 2 - Características dos métodos empregados para delimitar perímetros de proteção de poços.

Método	Tipo de Aquífero	Limitações	Dados Necessários									
			Q	i	k	b	n _e	S	N	T	V _e	Outros Dados
Raio Fixo Calculado Equação Volumétrica	P	Fluxo bidimensional. Fluxo ambiental desprezível. Poço com alta capacidade de bombeamento	X			X	X					
Método de Wyssling	P	Aquífero homogêneo nas proximidades da captação. Gradiente regional uniforme	X	X	X	X	X				X	Direção de fluxo e linhas potenciométricas
Solução Analítica Simples	P	Aquífero homogêneo nas proximidades da captação	X	X	X	X	X					Direção de fluxo e linhas potenciométricas
Mapa Hidrológico	P, C, F	Proporciona área única para o perímetro de proteção. Esta não depende do tempo de trânsito										Limites do Aquífero captado. Cartografia hidrogeológica. Direção de fluxo e linhas potenciométricas. Relação Rio-Aquífero
Modelo Matemático, ex: Visual MODFLOW Visual MODPATH	P	Considera o componente De advecção de transporte de solutos, mas não considera a difusão e dispersão	Limites hidrogeológicas da área a modelar. Condições de contorno (recarga, características dos rios e drenagens). Geometria e tipo e aquífero. Potenciometria. Valores dos parâmetros hidráulicos em cada célula (Kx, Ky, Kz, S, n _e). Q e regime de bombeamento em cada captação									
Legenda:			Dados Necessários:									
Tipo de Aquífero: P: Porosidade intergranular ou similar C: Cárstico F: Fissural			Q: Vazao bombeada N. Recarga b: Espessura saturada					S: Coeficiente de armazenamento K: Condutividade Hidráulica V: Velocidade efetiva				
			i: Gradiente hidráulico T: Transmissibilidade n _e : Porosidade efetiva									

Fonte: Iritani, Ezaki (2012).

Pode-se perceber que a maior parte dos métodos existentes é indicada para a determinação do perímetro de proteção em aquíferos porosos. Para aquíferos cársticos e fissurais, existe o método do Mapa Hidrogeológico, o qual necessita de dados sobre a direção do fluxo d'água subterrânea, dados geológicos e estruturais (IRITANI; EZAKI, 2012).

6. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

A água de qualidade é aquela que atende a padrões de potabilidade estabelecidos por órgãos responsáveis, estando, portanto, relacionado ao uso a que ela se destina: abastecimento público ou industrial, irrigação, transporte e manutenção da vida aquática, entre outros. É dessa forma, que o sistema de avaliação da qualidade se diferencia (CASALI, 2008).

Manter a água potável e constantemente disponível ao homem é um dos deveres dos órgãos governamentais fiscalizadores, não sendo apenas responsabilidade pública, mas da sociedade, por se tratar de bem essencial e comum (SILVA, 2004). A água fornecida para uso público ou privada deve ser potável, livre de microrganismos patogênicos e substâncias químicas em concentrações tóxicas, apresentando características que não provoquem a deterioração do sistema de abastecimento (ALVES, 2010).

A poluição dos recursos hídricos subterrâneos ocorre, portanto, quando agentes contaminantes atingem o solo e nele percolam através da zona não saturada até atingir os aquíferos, ou quando são lançados diretamente nos aquíferos, por meio de poços. O lançamento de esgoto (domiciliar e industrial) em corpos d'água, também pode afetar a água subterrânea, uma vez que os rios podem atuar, inversamente, como áreas de recarga dos aquíferos livres.

Entende-se por poluição da água a alteração de suas características por quaisquer ações ou interferências, sejam elas naturais ou provocadas pelo homem. Essas alterações podem produzir impactos estéticos, fisiológicos ou ecológicos. Enquanto a contaminação refere-se à transmissão de substâncias ou microorganismos nocivos à saúde pela água (BRAGA *et al.*, 2005).

Os efluentes domésticos descartados nas fossas negras ou que vazam das redes coletoras são, principalmente, água de lavagem com substâncias de produtos de limpeza e dejetos humanos. Dentre os principais contaminantes que infiltram no solo, destacam-se os microorganismos patogênicos, que causam problemas como diarreia e outras doenças, e o nitrato, composto a base de nitrogênio. A ingestão frequente de água contendo nitrato em elevada concentração pode

ocasionar uma doença chamada metemoglobinemia, conhecida como “síndrome do bebê azul”, que afeta a capacidade de transporte do oxigênio no sangue dos bebês (IRITANI; EZAKI, 2012).

A decomposição do lixo depositado em lixões e aterros gera um líquido denominado chorume, que apresenta alta concentração de substâncias nocivas, sejam elas orgânicas, inorgânicas ou patogênicas. Quando o aterro não possui impermeabilização na base e sistema de coleta e tratamento do chorume, este infiltra no solo e contamina o aquífero. É importante que os resíduos gerados nas cidades sejam depositados em aterros sanitários bem construídos e que a população não jogue lixo em terrenos vazios, evitando a formação de lixões.

A fim de estabelecer um padrão de potabilidade das águas, criaram-se legislações de qualidade e potabilidade da água. Elas são responsáveis por apresentar parâmetros e seus valores de referências, no que diz respeito às características físicas, químicas e biológicas da água (SPERLING, 2005).

A Portaria de Consolidação nº 05/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde, estabelece que água para o consumo humano é a água potável destinada à ingestão, preparação de alimentos e à higiene pessoal, independentemente de sua origem, e água tratada, é a água submetida a processos físicos, químicos ou uma combinação destes, com o propósito de atender ao padrão de potabilidade (BRASIL, 2017).

6.1. Parâmetros Físico-químicos

São os parâmetros físico-químicos e microbiológicos que indicam o nível da qualidade de um corpo hídrico em determinado momento Gonçalves (2009).

Para monitorar as águas subterrâneas consumida pela população da cidade de Parintins, foram selecionados os seguintes parâmetros físico-químicos: Temperatura, pH, Alumínio, Amônia, Condutividade Elétrica, OD, Turbidez, Ferro, Manganês, Nitrato, Nitrito, Sulfato, Sulfeto, Cobre e Zinco. Enquanto os parâmetros bacteriológicos, foram analisados os Coliformes Totais e a *Escherichia coli*. A escolha desses parâmetros, foi devido o SAAE, ter um laboratório onde monitora a qualidade da água com esses mesmos parâmetros, facilitando assim a pesquisa,

6.1.1. Temperatura

A temperatura é uma condição ambiental importante, citada em diversos estudos relacionados ao monitoramento da qualidade de águas. É a medida da intensidade do calor, esse parâmetro influi em algumas propriedades da água (densidade, viscosidade, oxigênio dissolvido), com reflexos sobre a vida aquática.

Águas subterrâneas captadas a grandes profundidades frequentemente apresentam temperaturas em torno de 25 °C (ANA, 2011). As elevações da temperatura são responsáveis pelo aumento da taxa de reações físicas, químicas e biológicas, diminuindo a solubilidade dos gases, como o oxigênio dissolvido Sperling (2005).

A temperatura possui duas origens, quando relacionada como parâmetro de caracterização das águas. A primeira é a origem natural, e está relacionada à transferência de calor por radiação, condução e convecção entre a atmosfera e o solo, enquanto a origem antropogênica está relacionada com águas de torres de resfriamento e despejos industriais (ALVES, 2010).

6.1.2. pH

O termo pH representa a concentração de íons hidrogênio em uma solução. Na água, esse fator é de excepcional importância, principalmente nos processos de tratamento. Na rotina dos laboratórios das estações de tratamento ele é medido e ajustado sempre que necessário para melhorar o processo de coagulação/floculação da água e também o controle da desinfecção.

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a intensidade das condições ácidas (pH de 0 a 6,9), neutras (pH 7,0) ou alcalinas (pH de 7,1 a 14) do meio líquido por meio da medição da presença de íons hidrogênio (H^+). As fontes de variações deste parâmetro são os sólidos e gases dissolvidos (BRASIL, 2006).

A origem natural é da dissolução de rochas, adsorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e a fotossíntese. Como origem antropogênica, temos os despejos domésticos (oxidação de matéria orgânica) e industriais (lavagem ácida de tanques). O pH influi no grau de solubilidade de diversas substâncias, na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, definindo inclusive o potencial de toxicidade de vários elementos (LIBÂNIO, 2008).

Um pH baixo representa potencial corrosividade e agressividade às tubulações ou peças de abastecimento de água, a Portaria de Consolidação nº 05/2017/MS, recomenda que o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 no sistema de distribuição.

6.1.3. Alumínio

O alumínio é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, ocorrendo em minerais, rochas e argila. Como consequência da sua ampla distribuição natural e das atividades do homem com o seu uso na indústria, este elemento está presente no ar, nos alimentos e na água, tanto em seu estado natural ou como contaminante (BRASIL, 2006).

Na água, o alumínio é complexado e influenciado pelo pH, temperatura e a presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. A solubilidade do alumínio é baixa em pH entre 5,5 e 6,0, normalmente estando em maiores concentrações em águas profundas, onde o pH é menor e pode ocorrer anaerobiose (LIBÂNIO, 2010).

6.1.4. Amônia

A amônia é um composto que está presente de forma natural nos corpos hídricos, pois é um produto resultante da degradação de compostos orgânicos e inorgânicos do solo e da água, resultado da excreção da biota, redução do nitrogênio gasoso da água por microrganismos ou por trocas gasosas com a atmosfera (REIS, MEDONÇA, 2009).

A presença de amônia na água indica que há poluição devido à degradação de matéria orgânica nitrogenada, contaminação por fertilizantes ou à descarga de efluentes industriais com nitrogênio amoniacal (ALVES, 2010). Além disso, o equilíbrio da amônia na água depende do pH, da temperatura e da salinidade (QUEIROZ, BOEIRA, 2007).

6.1.5. Condutividade

A condutividade elétrica da água representa a capacidade de transmissão da corrente elétrica através da presença de íons dissolvidos na água. Quanto maior a quantidade de íons, maior a sua condutividade elétrica (LIBÂNIO, 2010).

Além disso, a condutividade elétrica está relacionada ao teor de salinidade, característica importante a mananciais subterrâneos e águas superficiais próximas ao litoral. Esse parâmetro é relevante em regiões suscetíveis a elevadas taxas de evaporação e baixa intensidade pluviométrica (LIBÂNIO, 2010). À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade da água se eleva, valores altos podem indicar características corrosivas da água (ALVES, 2010).

6.1.6. OD

Segundo Sperling (2005) o oxigênio dissolvido (OD) é essencial para organismos aeróbios. Durante a estabilização de matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar redução da sua concentração no meio. Caso o oxigênio seja totalmente consumido, têm-se condições anaeróbias, como consequência, maus odores.

Para Libânio (2010) esse é o parâmetro mais importante para expressar a qualidade de um ambiente aquático. A redução do OD pode ocorrer por razões naturais principalmente pela respiração dos organismos presentes no ambiente aquático, mas também por perdas da atmosfera, mineralização da matéria orgânica e oxidação de íons.

6.1.7. Turbidez

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (esta redução dá-se por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral (CETESB, 2014).

É um indicador sanitário e padrão organoléptico da água de consumo humano, conforme Portaria de Consolidação nº 05/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde. Em todas as amostras coletadas para análises microbiológicas, deve ser efetuada medição de turbidez.

6.1.8. Ferro

O Ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido a dissolução do minério pelo gás carbônico da água, conforme a reação: $\text{Fe} + \text{CO}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{FeCO}_3$. Na rede de distribuição de água tratada, pode haver formação de incrustações e desenvolvimento de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede (CETESB, 2017)

Não apresentam inconveniente à saúde nas concentrações normalmente encontradas, mas águas com altas concentrações desses metais lhe conferem coloração amarelada, acarretando sabor amargo e adstringente. Apesar de o organismo humano necessitar de até 9 mg/L Fe dia, os padrões de potabilidade exigem que a água de abastecimento público não ultrapasse 0,3 mg/L⁻¹. Este limite é estabelecido em função dos problemas estéticos relacionados à presença do ferro na água e do sabor que este lhe confere. Nas águas subterrâneas podem ocorrer concentrações abaixo de 0,3 mg/L⁻¹. (PARRON *et al.*, 2011).

6.1.9. Manganês

O Manganês ocorre naturalmente nas águas superficiais e subterrâneas, no entanto, as atividades antropogênicas são também responsáveis pelo aumento nas concentrações Manganês nas águas naturais. O manganês e seus compostos são usados na indústria do aço. Ligas metálicas, baterias, vidros, oxidantes para limpeza, fertilizantes, entre outros usos. Assim como o Ferro, pode causar sabor, odor, cor na água de abastecimento (CETESB, 2017).

6.1.10. Nitrato

O nitrato é um parâmetro de grande relevância a ser monitorado, pois é um grande indicador de contaminação e poluição das águas subterrâneas por atividade antrópica. Teores de nitrato nas águas subterrâneas acima de 5 mg/L são indicativos de contaminação por atividade humana (esgotos, fossas, lixões, etc.) Santos (1997).

A partir da forma predominante de nitrogênio encontrada em um corpo d'água, pode se determinar o estágio de poluição. Uma maior concentração de nitrogênio na forma orgânica ou de

amônia indica uma poluição recente, já a predominância de nitrato é indicativa de contaminação antiga (VON SPERLING, 2014).

Doenças como metemoglobinemia podem ser resultantes do consumo de água com teores de nitrato acima de 10 mg/L (VARNIER; HIRATA, 2002). A metemoglobinemia ou síndrome do bebê azul é uma doença causada pelo aumento da concentração de metemoglobina no sangue (NASCIMENTO, *et al.*, 2008).

Crianças em seus primeiros meses de vida são consideradas importante grupo de risco, uma vez que, o consumo de água contendo teores elevados de nitrato, mesmo em curto espaço de tempo, pode acarretar a metemoglobinemia e até mesmo resultar na morte (POHLING, 2009).

6.1.11. Nitrito

O nitrito é um estado de oxidação intermediário de nitrogênio, e ocorre tanto pela oxidação do amônio, como pela redução do nitrato (PARRON, 2011). Ambos os processos (oxidação e redução) ocorrem em estações de tratamento de esgoto, em sistemas de distribuição de água e em águas naturais. Em águas subterrâneas, o nitrito pode ser encontrado em concentrações de até 0,1 mg/L.

Segundo Crespim (2017), o nitrito é um parâmetro simples, porém muito relevante quanto à verificação da qualidade de águas destinadas ao consumo, pois a detecção de sua presença, aponta contaminações recentes, com procedência de material orgânico animal ou vegetal. Além disto, pode ser identificado como consequência de decomposição biológica por ação de microrganismos, ou até mesmo, oriundo de ativos inibidores de corrosão em instalações de indústrias.

6.1.12. Sulfato e Sulfeto

O enxofre pode se apresentar de diversas formas, tais como sulfato (SO_4^{2-}), sulfito (SO_3^{2-}), sulfeto (S^{2-}), sulfeto de hidrogênio (H_2S), dióxido de enxofre (SO_2), ácido sulfúrico ($\text{H}_2\text{SO}_4^{2-}$), enxofre molecular (S^0) e associado a metais (como FeS). Dentre essas várias formas, o sulfato e o sulfeto de hidrogênio são as mais frequentes.

Os sulfatos podem dissolvidos dos minerais gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), a anidrita (CaSO_4), barita (BaSO_4) entre outros. Altas concentrações de sulfato em águas naturais são mais comuns

associadas à presença desses minerais. O processo biológico envolve microrganismos com funções específicas de redução e oxidação. Em condições anaeróbias, ocorre a redução a sulfetos, como o sulfeto de hidrogênio. Tanto no solo como na água, em condições aeróbias, ocorre a oxidação, passando da forma de enxofre elementar à sulfato (EMBRAPA, 2011).

Nas águas para abastecimento público, o sulfato deve ser controlado porque provoca efeitos laxativos, sendo o padrão de potabilidade fixado em 250 mg/L pela Portaria de Consolidação nº 05/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde.

6.1.13. Cobre

O cobre ocorre em águas naturais em pequenas concentrações e essencialmente sob a forma de calcopirita (CuFeS_2), calcosita (Cu_2S), covelita (CuS) e a malaquita ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$), podendo ser liberado para as águas subterrâneas através da solubilização destes minerais. Segundo Santos (2011), a solubilidade do cobre é diretamente influenciada pelo pH da água, sendo que a respectiva acidez vai determinar uma maior ou menor solubilização/precipitação deste metal. Em águas alcalinas a mobilidade do cobre é muito reduzida, uma vez que sua concentração é muito baixa, como acontece nas águas subterrâneas estudadas, as quais possuem valores médios de pH de 6,5. Nas águas subterrâneas o cobre apresenta, em geral, concentrações de 1 mg/L.

6.1.14. Zinco

O zinco encontra-se amplamente disperso no ambiente, podendo dissolver-se na água. Contudo, sua mobilidade é mais elevada em condições ácidas e oxidantes, sendo muito baixa em meios redutores e alcalinos. O aparecimento desse elemento na água pode ser resultado da lixiviação de terrenos e rochas, da corrosão de canalizações feitas em ferro galvanizado, ou por contaminação por efluentes industriais (MENDES; OLIVEIRA, 2004).

O zinco é um elemento que se caracteriza pela sua mobilidade, sendo encontrado amplamente disperso no ambiente, podendo dissolver-se na água. Com relação ao seu aparecimento através de processos antrópicos, podemos citar a contaminação por efluentes industriais. Embora o zinco não seja considerado um elemento tóxico ao organismo humano, se consumido em excesso

pode causar problemas digestivos além de causar sabor desagradável à água e formação de depósitos em tubulações/canalizações.

O zinco encontra-se amplamente disperso no ambiente, podendo dissolver-se na água. Contudo, sua mobilidade é mais elevada em condições ácidas e oxidantes, sendo muito baixa em meios redutores e alcalinos.

6.2. Parâmetros Microbiológicos

O objetivo do monitoramento dos parâmetros microbiológico da qualidade da água é assegurar se a mesma está isenta por contaminação de microrganismo patogênicos. A presença desses microrganismos constitui-se na prova mais direta de uma contaminação (CETESB, 2008).

As bactérias pertencentes aos grupos dos Coliformes, são consideradas os principais indicadores de contaminação fecal, caracterizando o quanto a água está contaminada e a potencialidade para transmissão de doenças (BRANCO, 2010).

Estas bactérias indicadoras não são, em si próprias, perigosas, mas podem indicar a existência de uma contaminação fecal da água e, conseqüentemente, a possibilidade de estarem presentes bactérias patogênicas. Essas bactérias servem como parâmetro microbiológico para avaliar a qualidade da água (SILVA *et al.*, 2005).

O grupo dos Coliformes é constituído por bactérias encontradas no trato intestinal dos animais de sangue quente. Os Coliformes são classificados como: Coliformes Totais e Termotolerantes. Para Alves (2010) as bactérias Coliformes englobam diversos grupos, constituídos por diferentes gêneros (*Klebsiella*, *Escherichia*, *Serratia*, *Erwenia* e *Enterobacter*), surgem dos esgotos e da massa fecal encontrada em animais de sangue quente.

São Coliformes Totais, bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ em 24 - 48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β -galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo (BRASIL, 2004).

São considerados coliformes termotolerantes o subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a $44,5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ em 24 horas; tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal (BRASIL, 2004).

A *Escherichia coli* é uma bactéria do grupo dos coliformes que fermenta a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a $44,5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ em 24 horas. A *Escherichia coli* são habitantes exclusivas do trato gastrointestinal de animais de sangue quente, não tendo como habitat locais de água doce. Dessa forma para a avaliação das condições de potabilidade de uma água utilizam-se essas bactérias, que atuam como indicadores de poluição fecal, com o risco potencial da presença de outros microrganismos patogênicos, Portaria nº 05/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde.

Com o avanço tecnológico, hoje existem inúmeras técnicas para monitorar a potabilidade da qualidade da água como membrana filtrante, tubo múltiplos, mas a escolhida neste trabalho será a observação da presença/ausência (P/A) de microrganismos, utilizando reativos cromogênicos, como o teste Colilert, metodologias estas já recomendadas pelo Standart of Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

7. VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O conceito de vulnerabilidade tem sido usado para expressar características intrínsecas que determinam a sensibilidade de um aquífero ser adversamente afetado por uma carga poluente antrópica imposta (HIRATA, 2001).

Para Foster e Hirata (1988) a vulnerabilidade de um aquífero pode ser caracterizada em função da interação de duas propriedades das camadas protetoras do aquífero (zona não saturada ou aquitarde).

1) Acessibilidade hidráulica dos contaminantes para infiltrar-se e alcançar a zona saturada do aquífero (advecção de contaminantes). A acessibilidade hidráulica é função da condutividade hidráulica da zona não saturada, da profundidade do nível da água subterrânea, e do tipo e aquífero (livre ou confinado);

2) Capacidade de atenuação, que resulte dos processos de dispersão, retardação e degradação de contaminantes.

Isso significa dizer que haverá contaminação do aquífero quando o contaminante:

a) tenha capacidade hidráulica e atravessar as camadas protetoras do aquífero e alcançar a zona saturada;

b) o contaminante seja quimicamente persistente e tenha concentração suficiente para que possa superar a capacidade de atenuação imposta pelas camadas protetoras, chegando até o aquífero em concentrações que excedam as normas de qualidade de água potável.

Deve acrescentar-se que a vulnerabilidade é um conceito distinto do risco de contaminação. Segundo Lobo Ferreira *et al.*, (2009), o risco de contaminação depende não só da vulnerabilidade, mas também da existência de cargas poluentes consideráveis que consigam atingir o ambiente subterrâneo.

Para Foster & Hirata (1988), o risco de contaminação das águas subterrâneas, como a interrelação entre a vulnerabilidade do aquífero e uma carga contaminante potencial que se associa a uma atividade já existente. Desse modo uma atividade apresentará risco de contaminação quando houver uma elevada carga contaminante que se localize em um aquífero que seja vulnerável. Em equivalência a ausência de atividade geradora de carga contaminante em aquífero vulnerável, caracteriza a inexistência ou um baixo risco de contaminação.

O conhecimento da vulnerabilidade, de um sistema aquífero à contaminação, é muito importante para a utilização correta do uso e ocupação do solo em torno desse sistema aquífero. Se um aquífero apresentar um valor de vulnerabilidade a contaminação muito alto, é necessário condicionar qualquer empreendimento que possa afetar esse aquífero e, em situações extremas, o aquífero pode ser considerado com um qualquer estatuto de proteção, para garantir uma melhor da qualidade da água subterrânea (LNEC, 2009).

8. METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE DE AQUÍFERO

Atualmente existem vários métodos para a avaliação da vulnerabilidade natural de um aquífero. Os nomes dos métodos de mapeamento de vulnerabilidade geralmente são acrônimos e os mais amplamente utilizados são: AVI (Índice de vulnerabilidade aquífera) definido por VON STEMPVOORT *et al.*, (1992); DRASTIC (D: Profundidade do nível de água; R - Recarga, A: Meio aquífero, S: Composição do solo; T: Topografia, I: Impacto da zona não saturada, C: Condutividade hidráulica) definido por Aller *et al.*, (1987); SINTACS (S: Profundidade da água; I: Infiltração; N: Seção sub saturada; T: Tipo de cobertura de solo; A: Características

hidrogeológicas do aquífero; C: Condutividade hidráulica e, S: Declividade topográfica) definido por Civita; Maio (1997); e GOD (G: Confinamento do aquífero; O: Litologia e o grau de consolidação da cobertura, e D: Profundidade do nível de água) definido por Foster, Hirata (1998).

A vulnerabilidade pode ser representada na forma de mapas, permitindo aos órgãos reguladores, planejadores e empresários fazerem a melhor avaliação sobre novas propostas de desenvolvimento e sobre prioridades no controle de poluição da água subterrânea e monitoramento de qualidade (CUTRIM; CAMPOS, 2010). A cartografia de vulnerabilidade tem sido utilizada para ações de proteção de aquíferos, visando compatibilizar as atividades antrópicas com a capacidade do terreno em suportá-las, sem prejuízo das águas subterrâneas (HIRATA, 2001).

Muitas vezes, a finalidade desta avaliação é a criação de uma carta temática da vulnerabilidade do local de estudo. O mapeamento da vulnerabilidade surge como uma ferramenta para avaliar a vulnerabilidade do aquífero e tem sido proposto como uma base para a proteção de zona e o planejamento do uso da terra Huneau *et al.*, (2013).

Para avaliação da vulnerabilidade do aquífero Alter do Chão na cidade de Parintins, será utilizado o método GOD, tem como vantagens: facilidade em integrar os dados para gerar o mapa de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos; número reduzido de classe de análise, proporcionando simplicidade na utilização do documento final; e baixo custo operacional para realizar os estudos.

Este método foi desenvolvido por Foster (1998) na Grã-Bretanha, onde a maioria dos recursos hídricos subterrâneos está contida em arenitos e calcários fraturados. O GOD foi posteriormente adaptado por Foster e Hirata (1988) e considera três fatores para a determinação da vulnerabilidade das águas subterrâneas:

- ✓ Confinamento do aquífero (G);
- ✓ Litologia e o grau de consolidação da cobertura (O);
- ✓ Profundidade da superfície freática (D).

Neste método a vulnerabilidade do aquífero está relacionada à percolação vertical de poluentes, através da zona insaturada, sem considerar a sua migração lateral na zona saturada (ABDELMADJID, 2013). O índice final é obtido a partir do produto entre esses três fatores. Destaca-se que durante os anos 90, essa foi umas das técnicas mais utilizadas na América Latina, por sua simplicidade de conceitos e aplicação (FEITOSA *et al.*, 2008).

Essa técnica caracteriza a vulnerabilidade do aquífero à contaminação o qual consiste na hierarquização de índices relativos à maior ou menor sensibilidade à poluição da zona não saturada (zona vadosa ou de aeração) (FOSTER *et al.*, 2006). Ela consiste nas seguintes etapas:

1) G - Groundwater, busca-se identificar o tipo e grau de confinamento hidráulico da água Subterrânea, apresenta num intervalo de 0 a 0,1.

2) O - Overall, consiste na ocorrência e caracterização dos estratos acima da zona saturada do aquífero, em termos do grau de consolidação e depende do (s) tipo (s) de litologia (s), apresentada numa escala de 0,3 a 1.

3) D - Depth, determinação da profundidade do nível estático, que definirá o terceiro parâmetro, no intervalo de 0,4 a 1,0.

Quanto mais profundo o nível da água, menor a nota atribuída ao parâmetro. Avalia-se que será menor o risco de contaminação do meio aquífero, pois uma camada mais espessa até o nível da água seria mais difícil o contaminante atingir a água subterrânea e então poder espalhar-se no meio.

O produto destes três parâmetros será o índice de vulnerabilidade, que será expresso qualitativamente em índices de vulnerabilidade: insignificante, baixo, média, alto e extremo, apresentada na Quadro 3.

Quadro 3 - Classes de vulnerabilidade do aquífero segundo o método GOD.

Intervalo	Classe	Característica
00 - 0,1	Insignificante	Desconsidera a camadas confinantes com fluxos verticais descendentes não significativos
0,1 - 0,3	Baixa	Vulnerável a poluidores conservativos em longo prazo, quando continuamente e amplamente lançados
0,3 - 0,5	Média	Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançado
0,5 - 0,7	Alta	Vulnerável a muitos poluentes, exceto aqueles pouco moveis e pouco persistentes
0,7 - 1,0	Extrema	Vulnerável a muitos poluentes, com rápido impactos em muitos cenários e poluição

Fonte: Souza (2009).

Devido a sua simplicidade, o método GOD é extensamente utilizado no Brasil. Podem citar trabalhos desenvolvidos nos municípios Santa Maria/ES (PINHEIRO *et al.*, 2013) e Cacequi/RS (MARTELLI, 2011), além de trabalhos voltados ao mapeamento da vulnerabilidade para

determinados aquíferos, como o do Aquífero Guarani em São Paulo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2010) e da Bacia sedimentar do Araripe/CE (TAVARES *et al.*, 2009).

9. MATERIAL E MÉTODOS

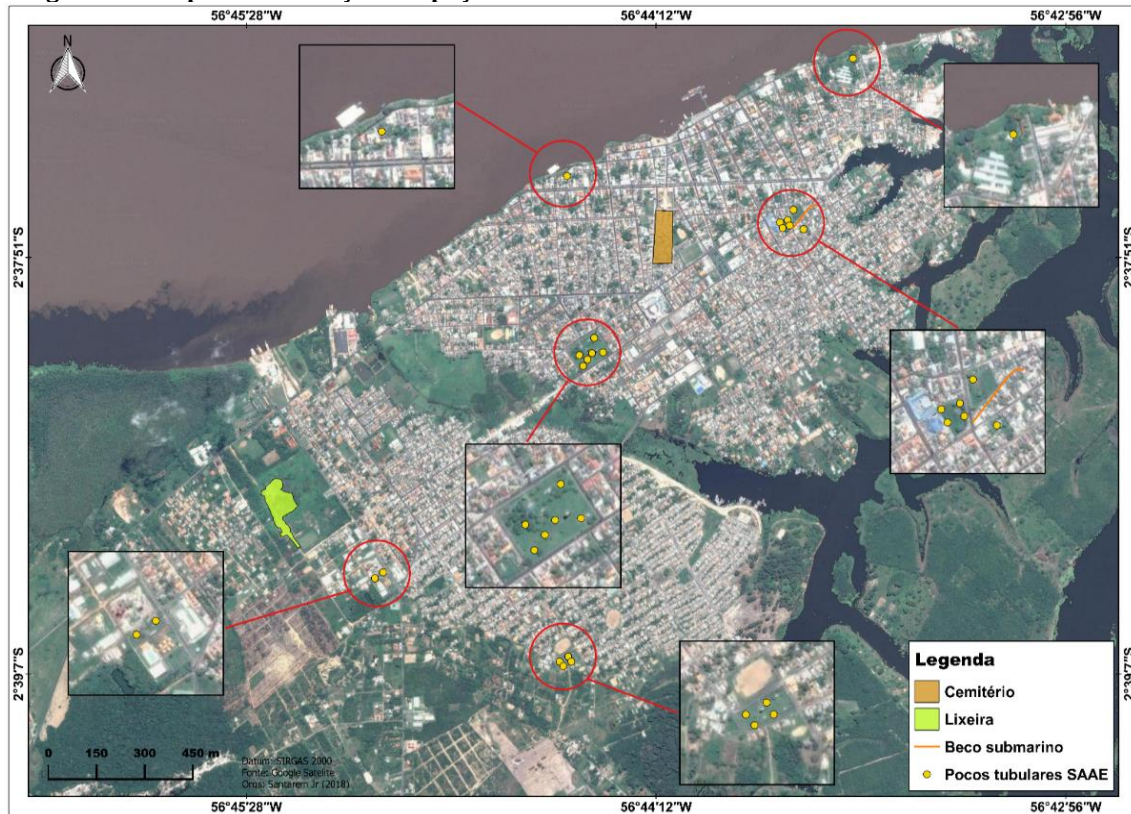
9.1. Caracterização da Área de Estudo

O município de Parintins, distante de Manaus 369 km, possui uma área de 45 km². A população é aproximadamente 111.575 habitantes (4% da população amazonense) e conta aproximadamente com 70 mil habitantes na zona urbana, com densidade demográfica em 17,14h/km² (IBGE, 2015).

Toda a água distribuída no abastecimento público na cidade de Parintins, provém de captação subterrânea. Segundo informações do SAAE (2018), a quantidade de ligações de água cadastrada são de 21.025 e atende 100% da área urbana da cidade de Parintins. Embora essas áreas onde se encontram os poços sejam distantes uma das outras, as águas captadas são interligadas, ou seja, se misturam.

Os poços tubulares selecionados nas áreas de estudo do presente trabalho estão situados nos seguintes bairros: Centro/Francesa/Palmares, com seis poços; Vitória Régia, seis poços; Itaúna II, quatro poços; Djard Vieira, dois poços; um poço localizado na área do hospital Jofre Cohen, rua Hebert de Azevedo e um poço localizado na rua Faria Neto, totalizando assim 20 poços. As profundidade dos poços variam de 50 - 120 metros e vazão aproximadamente de 1.653m³/h (Figura 7).

Figura 7 - Mapa de localização dos poços tubulares em Parintins.



Fonte: IBGE (2015); INDE (2015) - DATUM: SIRGAS 2000.

9.2. Perímetro de Proteção dos Poços

A proposta da implantação do Perímetro de Alerta para os poços de captação de água subterrânea que abastece a cidade de Parintins está de acordo com o recomendado pelo Decreto Lei nº 382/99 (PORTUGAL, 1999), onde são estabelecidas cada uma das três zonas constituintes dos perímetros de proteção para cada tipo de aquífero, conforme a Tabela 4.

Quadro 4 - Valores de r estipulados no Decreto-Lei 382/99, de acordo com o tipo de aquífero.

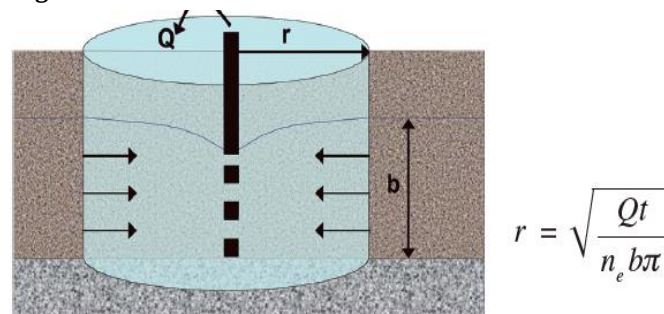
Formações Constituintes do Sistema de Aquífero	Zona de Proteção				
	Imediata	Intermediária		Alargada	
Formações Porosas	$r \text{ (m)}$	$r \text{ é o maior valor entre}$		$r \text{ é o maior valor entre}$	
Aquífero confinado	20	40 m	$r \text{ (50 d)}$	350 m	$r \text{ (3.500 d)}$
Aquífero Livre	40	100 m	$r \text{ (50 d)}$	500 m	$r \text{ (3.500 d)}$
Aquífero Semi-confinado	30	50 m	$r \text{ (50 d)}$	400 m	$r \text{ (3.500 d)}$
Formações Carbonatadas	60	280 m	$r \text{ (50 d)}$	2.400 m	$r \text{ (3.500 d)}$
Formações Fissuradas	60	140 m	$r \text{ (50 d)}$	1.200 m	$r \text{ (3.500 d)}$
Formações Fissuradas e/ou Alteradas	40	60 m	$r \text{ (50 d)}$	500 m	$r \text{ (3.500 d)}$

Fonte: Decreto-Lei nº 382/99, 22/09 – Portugal. Adap.: Teixeira (2018).

Para a zona de proteção dos poços foi priorizado o Perímetro de Alerta ou microbiológico de 50 dias de tempo de trânsito, estabelecido pelo Decreto Lei nº 382/99 de Portugal e 100 metros de perímetro, recomendado por Marmo e Aguiar (2005).

O método utilizado dos perímetros radiais dos poços tubulares na cidade de Parintins foi o Raio Fixo Calculado, (IRITANI; EZAKI, 2012). Este método foi escolhido devido a sua facilidade de aplicação e por apresentar resolução aceitável para pequenos tempos de trânsito.

Este método baseia-se numa abordagem geométrica, em que se define uma área cilíndrica ao redor do poço, cujo raio é designado por uma equação analítica de fluxo volumétrico, representada pela equação abaixo (Figura 8).

Figura 8 - Cálculo do Perímetro de Alerta.

Fonte: Carvalho, Hirata (2012).

Onde,

r = raio do perímetro em (m)

Q = vazão de exploração (m^3/dia)

t = tempo de transito (dias)

n_e = porosidade efetiva

b = espessura saturada (m)

$\pi = 3,14$

Esse raio é calculado com base no Tempo de Trânsito, preferido como limite de critério, em função das taxas diárias de bombeamento, porosidade efetiva e espessura saturada do aquífero (CARVALHO; HIRATA, 2012).

Para a determinação dos parâmetros utilizados para os perímetros radiais dos poços na cidade de Parintins, foram utilizados os seguintes procedimentos e fontes:

Para a vazão de exploração (Q) (m^3/dia) foram feitas medições diretas em campo nos 20 poços tubulares, com a utilização dos seguintes instrumentos: cronometro digital, tambor de 200 litros e mangueira de 100mm. Primeiramente anexou-se a mangueira ao barrilete (saída de limpeza) do poço, abriu-se o registro, em seguida foi cronometrado o tempo para encher o tambor de 200 litros.

Para o tempo de trânsito (t) (dias): de 50 dias, as medições foram realizadas conforme Decreto Lei nº 382/99.

Em relação à espessura saturada (b): as profundidades dos poços foram fornecida pelo SAAE. Para a espessura saturada, as medições foram feitas direto em campo, com utilização de uma sonda (medidor de nível). Primeiramente obteve-se as medições do nível estático. Esse equipamento é composto de um carretel, cabo elétrico, tendo em sua extremidade um eletrodo sensor e na outra conectado um sistema eletrônico para sinalização sonora e visual quando em contato do eletrodo com a água, aciona uma bateria, em seguida registrou-se a medição (Figura 09). Para conhecer a diferença do nível estático e a profundidade dos poços calculou-se as espessuras das zonas saturadas dos 20 poços tubulares.

Figura 9 - Procedimento para medir o nível estático dos poços tubulares.



Fonte: Teixeira (2018).

Para a porosidade efetiva do aquífero (n_e): Conforme características dos perfis construtivos dos poços tubulares, essa formação apresenta uma sequência repetitiva de camadas arenosas e argilosas. Dessa forma o valor estimado da porosidade efetiva, foi estabelecido em 20% (MARMOS; AGUIAR, 2005).

O valor de $\pi = 3,14$, constante.

Adquiridas essas informações dos perímetros de Alerta, os resultados foram calculados em forma de tabelas. Em seguida gerados mapas dos perímetros de Alerta encontrados e recomendado em forma de círculos através do software ArcGIS 10.5, dos 20 poços tubulares georreferenciados.

9.3. Monitoramento da Qualidade da Água

A metodologia adotada para a realização das análises físico-químicas e microbiológica da água envolveu procedimentos e interpretação descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater (APHA, 2005) e estabelecidos pela Portaria nº 05/2017 Anexo XX do Ministério da Saúde e a Resolução CONAMA nº 396/2008.

As análises físico-químicas referentes ao período de 2015 a 2018, foram fornecidas e analisadas no laboratório do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), referente aos vinte poços tubulares que abastecem a cidade de Parintins. Essas análises foram coletadas e analisadas semestralmente, no período da cheia no mês de maio e a outra no período da vazante no mês de outubro (Figura 10).

Figura 10 - Procedimentos de coleta de água para análises Físico-químicos em (1) assepsia da torneira (2) coleta da amostra.



Fonte: Teixeira (2018).

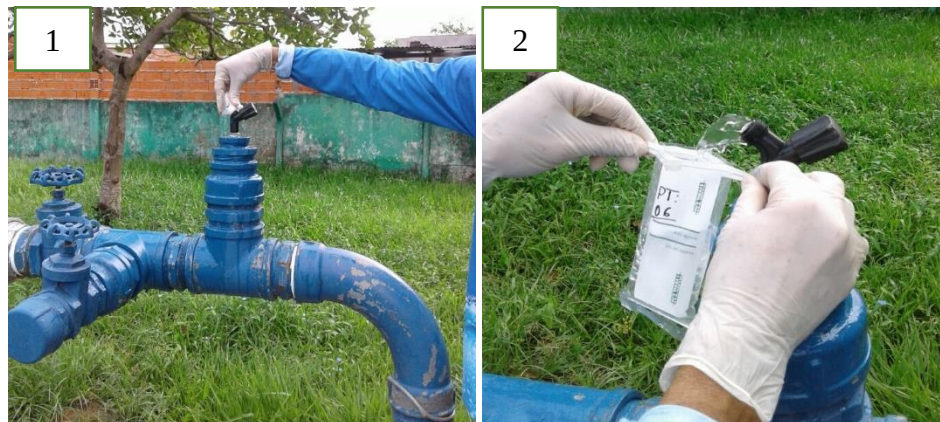
Os parâmetros físico-químicos analisados nesse estudo foram: Temperatura, pH, Alumínio, Amônia, Condutividade Elétrica, OD, Turbidez, Ferro Total, Manganês, Nitrito, Nitrato, Sulfato, Sulfeto, Cobre e Zinco. Os parâmetros Temperatura, pH e Condutividade Elétrica foram analisados em campo com uma sonda multiparâmetro HANNA. O restante dos parâmetros, foram analisados no Laboratório do SAAE, seguindo a metodologia da DR/890 HACH Colorimeter, que utiliza kit de reagente (sache), conforme Tabela 5.

Quadro 5 - Metodologia e parâmetros analíticos, Físico-químicos.

Parâmetros	Métodos Analíticos	MARCA
Temperatura		Sonda HANNA
pH		
Condutividade		
Alumínio	DR/890 – Colorimeter 	HACH
Amônia		
OD		
Turbidez		
Ferro		
Manganês		
Nitrato		
Nitrito		
Sulfato		
Sulfeto		
Cobre		
Zinco		

Fonte: Teixeira (2018).

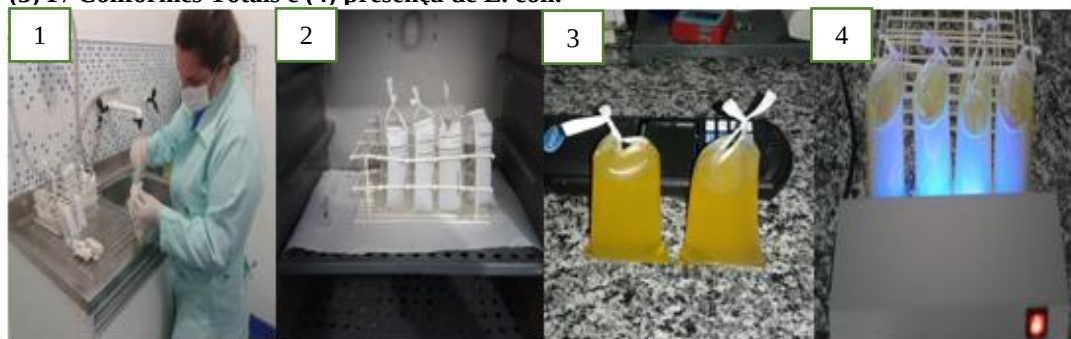
As análises microbiológicas foram realizadas nos períodos de 2018 / 2019 a cada trimestre. Essas amostras foram coletadas nos meses de janeiro, março, junho, setembro e dezembro de 2018 e fevereiro e maio de 2019, diretamente na saída das torneiras dos 20 poços tubulares que abastecem a cidade de Parintins, conforme Figura 11. Essas amostras foram analisadas no Laboratório do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE).

Figura 11 - Procedimentos de coleta de água para análise microbiológica em (1) assepsia da torneira e (2) coleta da amostra.

Fonte: Teixeira (2018).

O método utilizado foi o substrato definido enzimático ONPG-MUG, Colilert, onde será detectado simultaneamente a presença/ausência de Coliformes Totais e *Escherichia coli* em 24 horas a 35 °C. O desenvolvimento de coloração amarela indica a presença de Coliformes Totais e a observância de fluorescência em lâmpada ultravioleta de 365 nm, indica a presença de *E. coli*, conforme a Figura 12, (APHA, 2005).

Figura 12 - Procedimentos de análises microbiológica; em (1) reagente Colilert; (2) estufa; (3) P/ Coliformes Totais e (4) presença de *E. coli*.



Fonte: Teixeira (2018).

Os resultados físico-químicos e microbiológico foram organizados e sistematizados através de tabelas e gráficos do software Excel e Word.

9.4. Caracterização do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero

O método utilizado para definição dos índices de vulnerabilidade de cada área de estudo será o GOD, proposto por Foster e Hirata (1988) que leva em consideração a avaliação de três parâmetros.

O parâmetro *G*, representa o tipo de aquífero, (livre, semi-confinado ou confinado) onde os valores são obtidos dentro de um intervalo de 0 a 1,0.

O, representa as características litológicas da zona não saturada do aquífero, onde é condicionado o tempo de deslocamento de contaminantes, ou seja, cada tipo de solo tem sua capacidade de atenuação e se encontra numa escala de 0,4 a 1,0.

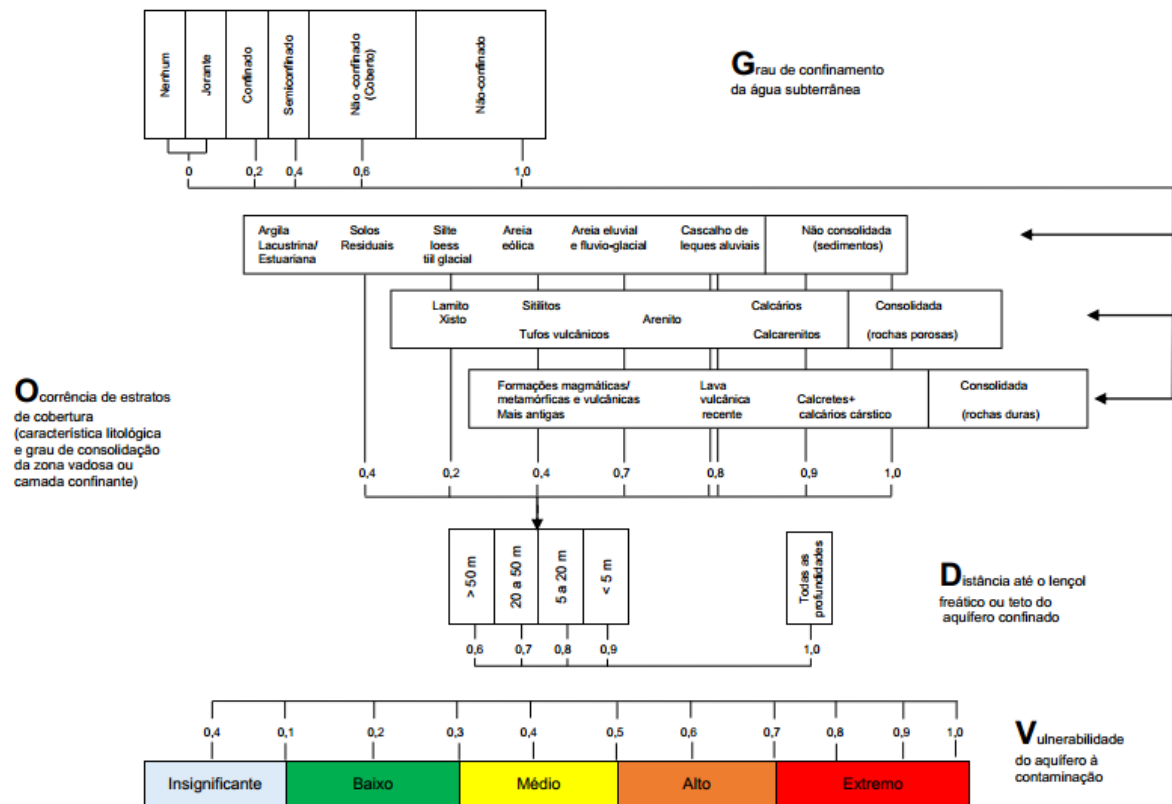
D, refere-se à profundidade do nível estático, equivale a distância que o contaminante terá que percorrer para alcançar a zona saturada do aquífero. As profundidades foram medidas no mês de maio, época da cheia. Esse parâmetro, cujos valores podem variar de 0,6 a 1,0.

Para determinação do primeiro parâmetro (tipo de aquífero) e do segundo parâmetro (características litológicas) essas informações foram obtidas, em um estudo realizado sobre o nível de contaminação do Aquífero na cidade de Parintins (MARMOS; AGUIAR, 2005).

Enquanto o terceiro parâmetro (nível estático) foi obtido direto em campo com equipamento destinado a medição dos níveis estático dos poços tubulares, já citado na página 42, Figura 09.

O índice de vulnerabilidade foi determinado com a multiplicação dos valores obtidos em cada fator, e pode ser considerado insignificante (valores de 0 a 0,1), baixa (0,1 a 0,3), média (0,3 a 0,5) alta (0,5 a 0,7) e extrema (0,7 a 1,0) (FOSTER; HIRATA, 1988) como mostra a Figura 13. Os valores dos índices encontrados foram organizados através de Tabela.

Figura 13 - Sistema GOD para avaliação do índice da vulnerabilidade de aquífero.



Fonte: Foster *et al.* (2006).

Após, os valores dos índices já definidos em tabelas, foram gerados mapas de vulnerabilidade do Aquífero Alter do Chão na cidade de Parintins, através da ferramenta do software ArcGIS 10.5.

10. RESULTADOS E DISCUSSÃO

10.1. Perímetro de Alerta

As relações existentes entre os poços tubulares pelo perímetro encontrado, possibilitou o uso da ferramenta Buffer a partir do software ArcGIS 10.5 como instrumento de análise e medição, além da atribuição do perímetro sugerido, para definir o perímetro estimado de segurança para uma instalação adequada do poço. Para isto foi realizado trabalho de campo como meio pelo qual pode-se relacionar o perímetro encontrado com o sugerido para o uso da ferramenta pudesse alcançar êxito.

Em termos práticos, o uso da ferramenta possibilitou observar os perímetros radiais desejado na área urbana da cidade de Parintins, com relativa expectativa de que os poços tubulares selecionados para o referido estudo pudessem no futuro situar tal perímetro como mensurado.

Os resultados encontrados e proposto do Perímetro de Alerta (PA), de 50 dias de tempo de trânsito, utilizando a metodologia do Raio Fixo Calculado (RFC), estão descritas nos (Quadros 6, 7, 8 e 9) e nas (Figuras 14, 15, 16 e 17).

Quadro 6 - Distâncias radiais calculadas para o tempo de trânsito de 50 dias aplicando o método do Raio Fixo Calculado dos poços 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

Parâmetros	PT - 01	PT - 02	PT - 03	PT - 04	PT - 05	PT - 06
Q (m³/d)	1.584	2.376	950.4	1.098	950.4	1.782
b (m)	85,57	99,45	72,80	49,43	69,50	119,30
n _e	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
t (d)	50	50	50	50	50	50
r (m)	38,39	43,61	32,23	42,05	32,99	34,48
Coordenadas	S-2.62837	S-2.62913	S-2.62921	S-2.62960	S-2.62948	S-2.62970
	W-56.72960	W-56.72977	W-56.73014	W-56.73001	W-56.72973	W-56.72874

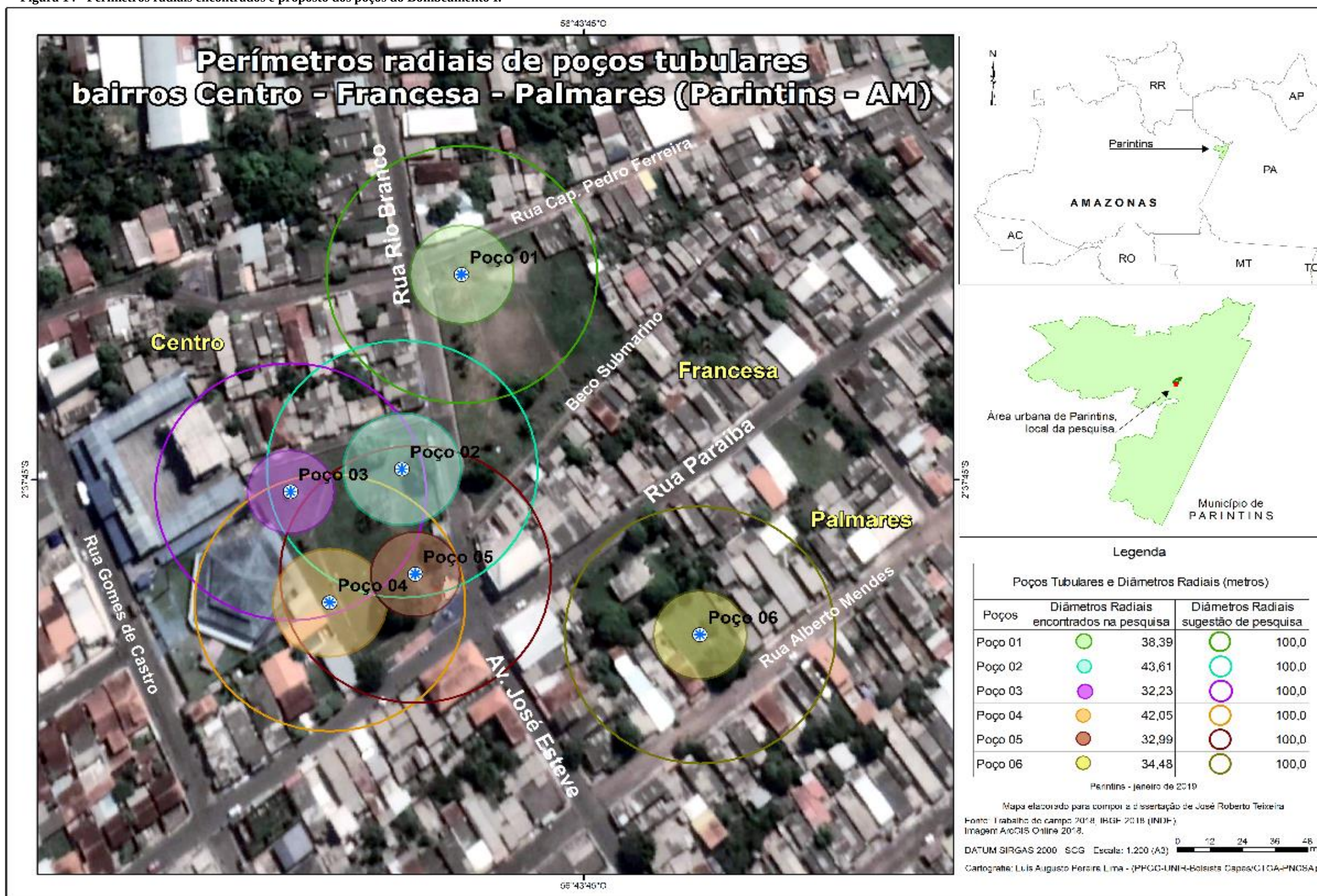
Obs: Q (vazão), b (espessura saturada), n_e (porosidade efetiva), r (raio calculado)

Fonte: Teixeira (2018).

Os poços do bombeamento I, estão assim distribuídos, o poço 01 está localizado numa área de 6.135,75 m², os poços 02, 03, 04, 05 numa área de 4.470.43 m², enquanto o poço 06 numa área

de 2.100,64 m². Os raios encontrados dos 6 poços variaram entre 32,23 m a 43,61 m. A Figura 14, ilustra espacialmente os perímetros radiais encontrados e o proposto de cada poço.

Figura 14 - Perímetros radiais encontrados e proposto dos poços do Bombeamento I.



Fonte: Trabalho de campo (2018), IBGE (INDE), Imagem ArcGIS online 2018.

Observa-se que os perímetros radiais encontrados dos seis poços ultrapassam as áreas onde se encontram localizados, com ênfase aos poços 01, 02, 04 e 06 os seus raios de abrangência são bem maiores. Enquanto os raios propostos de 100 metros, os perímetros radiais dos seis poços ocupam áreas de alcance significantes.

Quadro 7 - Distâncias radiais calculadas para o tempo de trânsito de 50 dias aplicando o método do Raio Fixo Calculado dos poços 7, 8, 9, 10, 11 e 12.

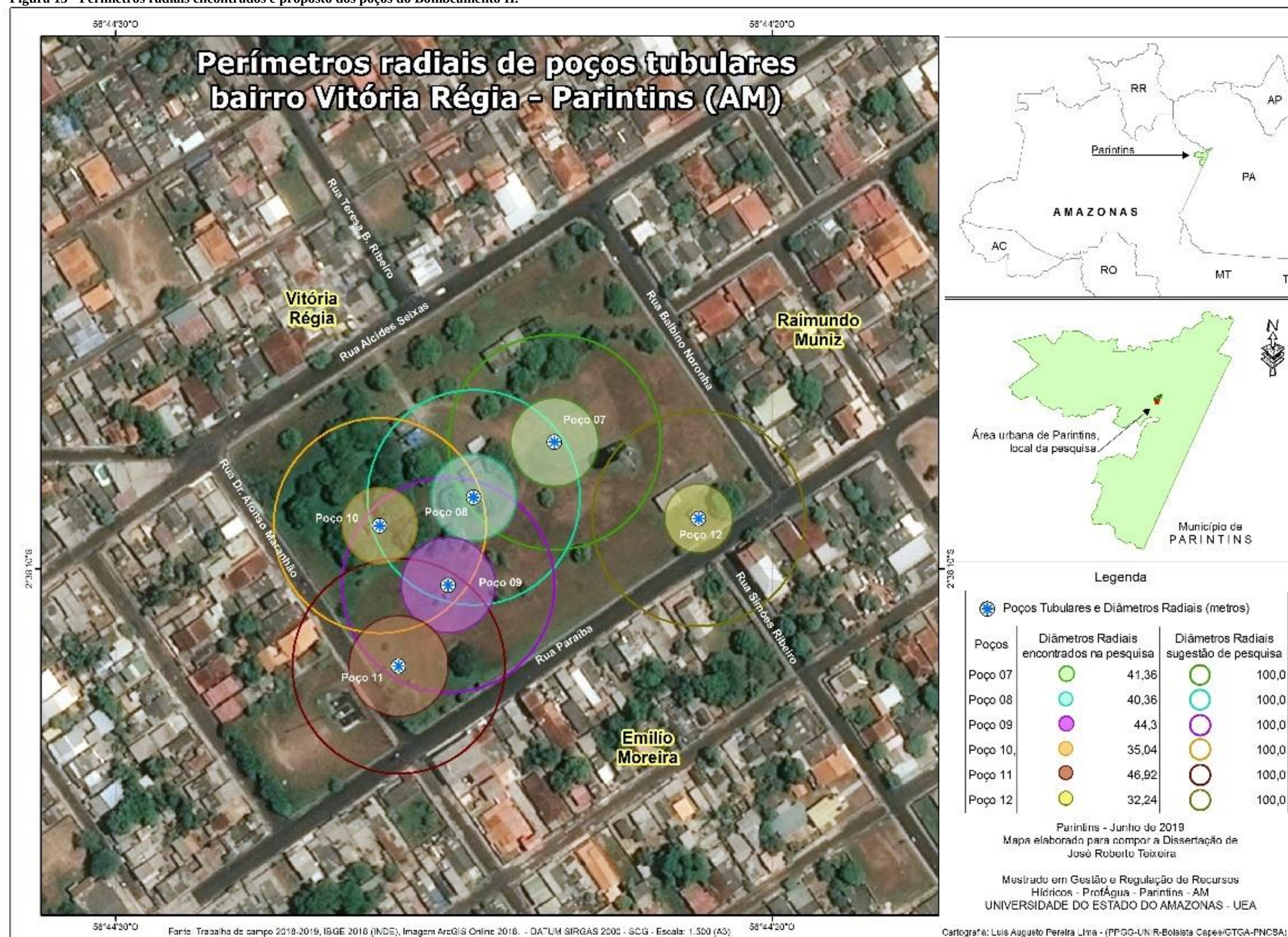
Parâmetros	PT - 07	PT - 08	PT - 09	PT - 10	PT - 11	PT - 12
Q (m³/d)	2.376	1.017	1.296	1.782	1.620	1.440
b (m)	110,58	49,70	52,57	115,54	58,57	110,30
n _e	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
t (d)	50	50	50	50	50	50
r (m)	41,36	40,36	44,30	35,04	46,92	32,24
Coordenadas	S-2.63558	S-2.63576	S-2.63618	S-2.63593	S-2.63652	S-2.63590
	W-56.73981	W-56.74015	W-56.74026	W-6.74055	W-6.74047	W-6.73920

Obs: Q (vazão), b (espessura saturada), n_e (porosidade efetiva), r (raio calculado).

Fonte: Teixeira (2018).

Enquanto que os poços do bombeamento II, estão localizados dentro de uma área de 16.000m². Os raios encontrados, variaram entre 32,24 m a 46,92 m. A Figura 15, ilustra espacialmente os perímetros radiais encontrados e o proposto de cada poço.

Figura 15 - Perímetros radiais encontrados e proposto dos poços do Bombeamento II.



Em relação à área de captação do bombeamento II, os raios encontrados, apenas os poços 11 e 12, ultrapassam a área do terreno com extensões pouco significantes, diferente dos raios propostos, os poços 10, 11 e 12 os seus raios ocupam áreas bem maiores.

Quadro 8 - Distâncias radiais calculadas para o tempo de trânsito de 50 dias aplicando o método do Raio Fixo Calculado dos poços 13, 14, 15 e 16.

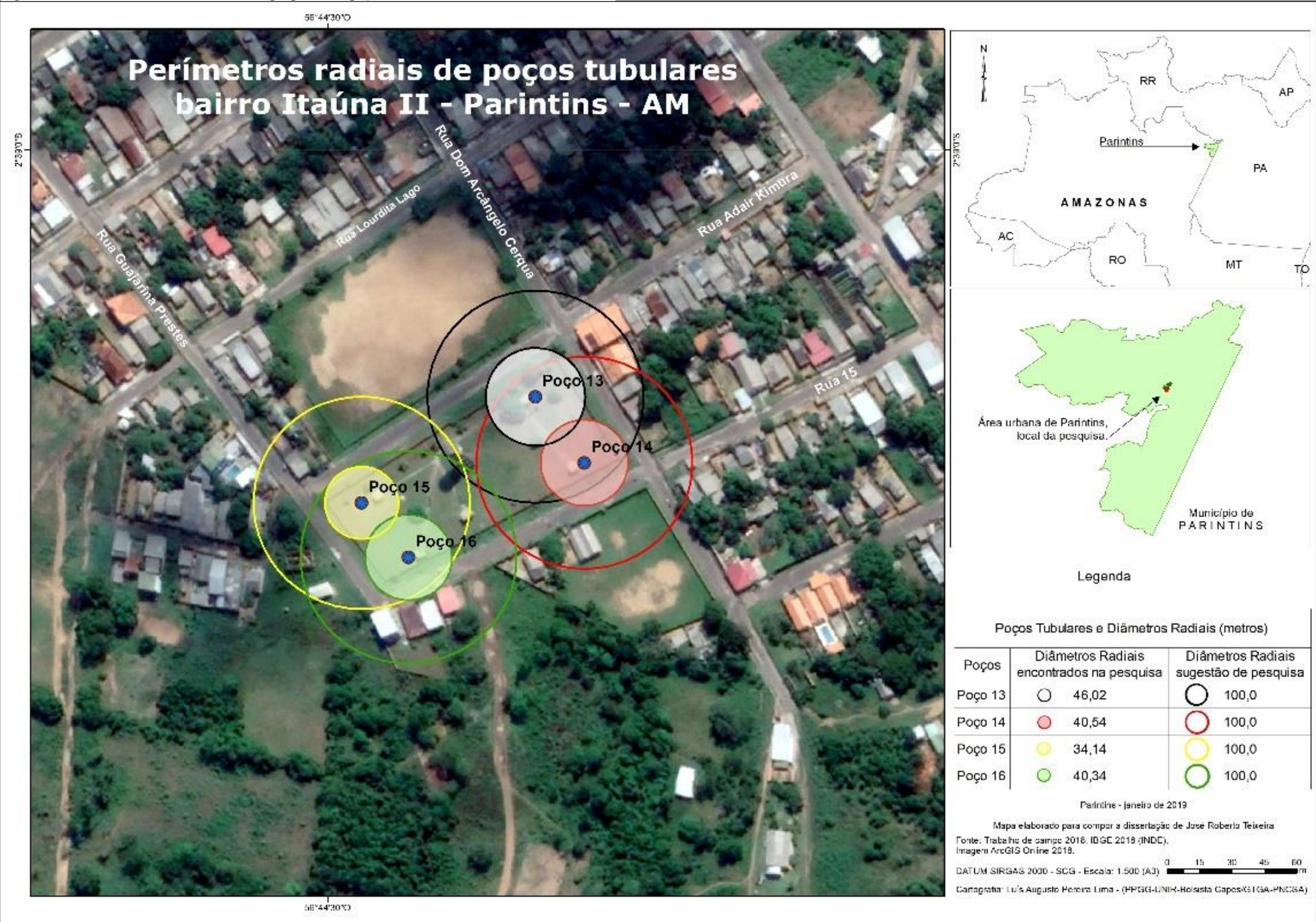
Parâmetros	PT - 13	PT - 14	PT - 15	PT - 16
Q (m³/d)	1.782	1.440	1.468	1.782
b (m)	66,97	69,75	100,25	87,16
n_e	0,20	0,20	0,20	0,20
t (d)	50	50	50	50
r (m)	46,02	40,54	34,14	40,34
Coordenadas	S-2.65104	S-2.65130	S-2.65151	S-2.65171
	W-56.74078	W-56.74058	W-56.74152	W-56.74128

Obs: Q (vazão), b (espessura saturada), n_e (porosidade efetiva), r (raio calculado).

Fonte: Teixeira (2018).

Enquanto os raios encontrados dos quatro poços, localizados dentro de uma área de 7.353m² do bombeamento III, variaram entre 34,14 m a 46,02 m. A Figura 16, ilustra espacialmente os perímetros encontrados e o proposto de cada poço.

Figura 16 - Perímetros radiais encontrados e proposto dos poços do bombeamento III.



Fonte: Trabalho de campo (2018), IBGE (INDE), Imagem ArcGIS online 2018.

Observa-se que os perímetros radiais encontrados dos quatro poços ultrapassam a área onde encontram-se localizados, com ênfase aos perímetros radiais proposto, seus raios de cobertura são bem significantes.

Quadro 9 - Distâncias radiais calculadas para o tempo de trânsito de 50 dias aplicando o método do Raio Fixo Calculado dos poços 17, 18, 19 e 20.

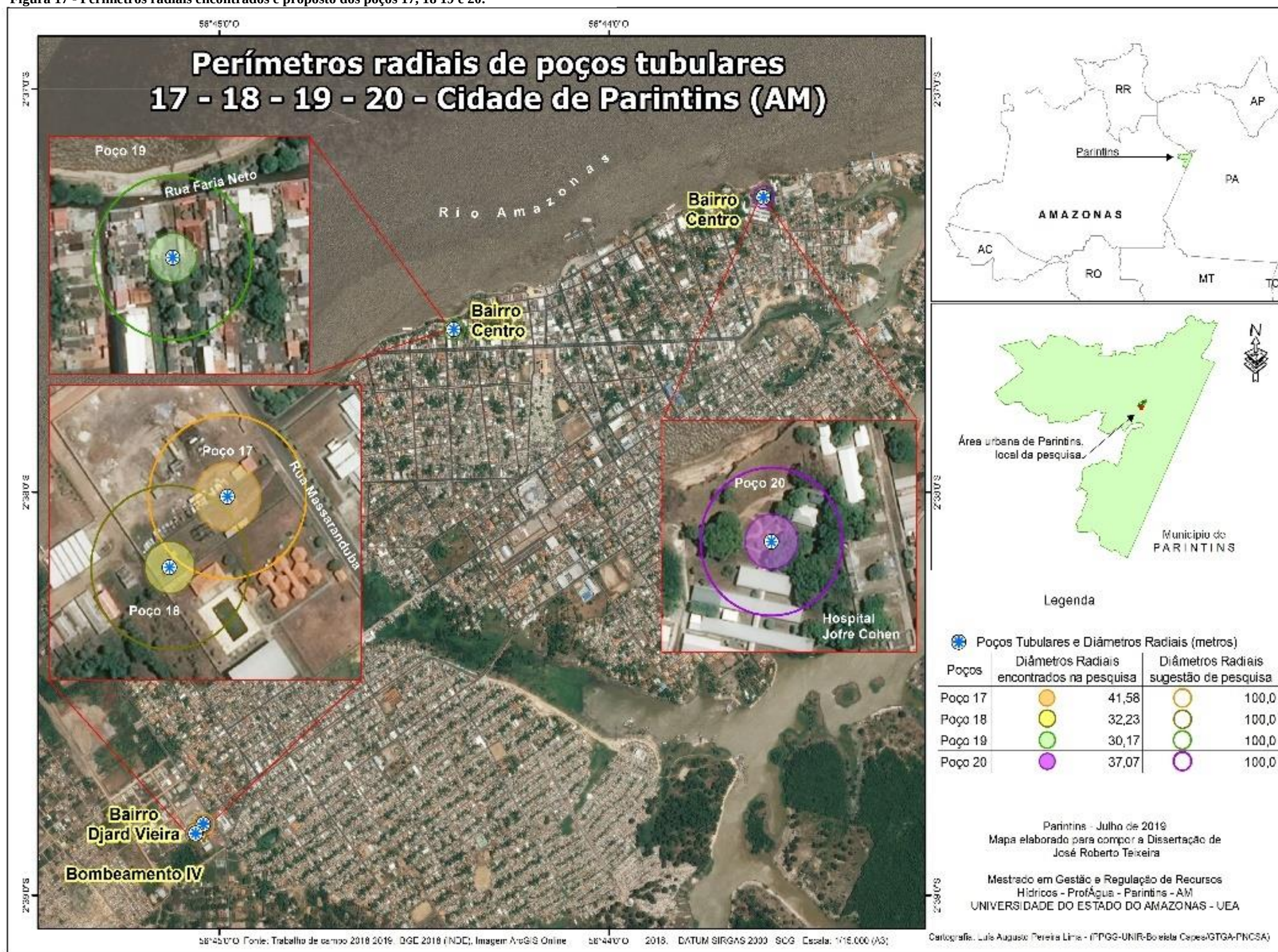
Parâmetros	PT - 17	PT - 18	PT - 19	PT - 20
Q (m³/d)	2.376	1.440	1.098	1.440
b (m)	109,4	110,32	96	83,4
n_e	0,20	0,20	0,20	0,20
t (d)	50	50	50	50
r (m)	41,58	32,23	30,17	37,07
Coordenadas	S-2.64705	S-2.64744	S-2.62655	S-2.62114
	W-56.75068	W-56.75101	W-56.73995	W-56.72670

Obs: Q (vazão), b (espessura saturada), n_e (porosidade efetiva), r (raio calculado).

Fonte: Teixeira (2018).

Os raios radiais encontrados dos poços 17 e 18 localizados dentro de uma área de 2,400 m² do bombeamento IV, variaram entre 32,23 m a 41,58 m. Enquanto os raios dos poços 19 localizado numa área de 413 m² na rua Faria Neto seu raio é 30,17 m e do poço 20 não tem área definida, pelo fato de estar localizado numa área do hospital Jofre Cohen. A Figura 17, ilustra espacialmente os perímetros radiais encontrados e o proposto de cada poço.

Figura 17 - Perímetros radiais encontrados e proposto dos poços 17, 18 19 e 20.



Fonte: Trabalho de campo (2018), IBGE (INDE), Imagem ArcGIS online 2018.

Observa-se que os perímetros radiais encontrados dos poços 17, 18 e 19 ultrapassam as áreas onde encontram-se localizados, com ênfase na cobertura do raio do poço 17. Enquanto os perímetros radiais propostos dos três poços seus alcances são bem maiores.

Dentro dos perímetros radiais proposto dos vinte poços tubulares selecionados, foram observadas fontes potenciais de contaminação composto de: casas residenciais, oficinas mecânicas, borracharias, restaurantes, associações folclóricas, fábrica de asfalto, hospitais, posto de gasolina. Com grande destaque para os poços do bombeamento I, localizados próximo ao Beco Submarino que além de produzir, recebe grande carga contínua de esgoto que escoar da rua Paraíba, e desagua na Lagoa da Francesa.

Outra informação importante são os raios encontrados dos poços 04, 05, 08, 09, 11, 13, 14, 15 e 16 estão sobrepostos, podendo comprometer a vazão de água captada por esses poços. Enquanto os perímetros propostos de 100 metros dos vinte poços, apenas os poços 06, 19 e 20 não se encontram sobrepostos. Vale ressaltar que as distâncias radiais encontradas dos 20 poços tubulares que abastecem a cidade de Parintins, são bem inferior dos 100 m proposto, em relação às distâncias radiais encontradas.

10.2. Físico-químicos

Os resultados dos valores dos parâmetros físico-químicos, obtidos dos 20 poços tubulares selecionados para o estudo da potabilidade da água, alguns parâmetros encontram-se com teores acima do padrão permitido da Portaria de Consolidação nº 05/2017 Anexo XX, do Ministério da Saúde (Quadros 10, 11, 12, 13 e Figuras 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 e 27).

Quadro 10 - Resultado das análises Físico-químicas – média 2015 a 2018, período da cheia.

Poços	Prof.	Temp. °C	pH	Alumínio Al ³⁺	Amônia NH ₃	C. E. μS/cm	OD	Turbidez uT	Ferro Fe
01	86m	32,1	4,8	0,206	0,08	55,5	5,8	0,00	0,053
02	101m	29,5	4,6	0,298	0,12	79,1	6,0	0,00	0,053
03	73m	30,0	4,1	1,193	0,03	206,2	5,6	0,00	0,165
04	50m	29,9	4,1	2,408	1,63	228,9	5,0	0,00	0,100
05	60m	29,7	4,3	1,415	1,90	216,6	4,8	0,00	0,042
06	120m	29,3	4,9	0,050	0,08	36,3	5,7	0,00	0,051
07	120m	30,6	4,3	0,531	0,13	85,6	5,1	0,12	0,101
08	58m	30,4	4,0	1,659	2,35	230,4	4,2	0,00	0,038
09	60m	30,1	4,2	1,390	0,28	238,6	4,3	0,00	0,054
10	120m	29,8	4,4	0,670	0,24	194,9	4,8	0,00	0,127
11	66m	30,0	4,2	0,774	0,32	183,5	4,8	0,00	0,212
12	120m	29,7	4,7	0,037	0,10	31,6	6,0	0,18	0,073
13	73m	30,2	4,4	0,325	0,06	97,7	5,3	0,06	0,090
14	78m	30,2	4,4	0,156	0,02	60,8	6,3	0,00	0,055
15	110m	29,5	4,5	0,075	0,02	39,4	5,8	0,00	0,050
16	96m	29,7	4,5	0,076	0,03	48,3	5,9	0,12	0,090
17	120m	30,4	4,6	0,084	0,07	36,3	5,5	0,00	0,052
18	120m	30,3	4,7	0,041	0,06	32,3	5,3	0,00	0,129
19	110m	29,6	4,2	1,855	0,50	240,2	6,0	0,00	0,068
20	93m	29,7	4,6	0,478	0,08	94,1	5,4	0,00	0,476
VMP Portaria 05/2017/MS		N/A	6,0 a 9,5	0,2 mg/L	1,5 mg/L	N/A	N/A	5 uT	0,3 mg/L

Fonte: Teixeira (2018).

N/A - Não Aplicável

Quadro 11 - Resultado das análises Físico-químicas - média 2015 a 2018, período da vazante.

Poços	Prof.	Temp. °C	pH	Alumínio Al ³⁺	Amônia NH ₃	C. E. μS/cm	OD	Turbidez uT	Ferro Fe
01	86m	30,2	4,6	0,220	0,01	67,2	6,2	0,00	0,053
02	101m	29,6	4,5	0,380	0,04	87,2	5,6	0,24	0,054
03	73m	29,9	4,1	1,640	0,03	204,1	5,2	2,00	0,087
04	50m	30,5	4,0	2,276	2,11	247,8	4,9	0,12	0,078
05	60m	30,1	4,2	1,583	1,70	222,2	4,3	0,06	0,060
06	120m	29,9	4,8	0,058	0,02	34,9	5,9	0,18	0,042
07	120m	30,6	4,3	0,454	0,14	161,4	5,4	0,06	0,274
08	58m	31,1	4,0	1,675	2,38	237,6	4,3	0,00	0,047
09	60m	30,2	4,0	1,411	0,58	227,6	4,6	0,00	0,055
10	120m	30,2	4,3	0,632	0,21	173,3	5,1	0,00	0,149
11	66m	30,2	4,3	0,906	0,31	205,3	5,7	0,00	0,125
12	120m	29,8	4,7	0,035	0,04	33,5	5,8	0,06	0,047
13	73m	30,3	4,4	0,465	0,02	90,7	5,3	0,24	0,066
14	78m	30,0	4,4	0,161	0,02	62,8	5,9	0,06	0,070
15	110m	29,7	4,6	0,061	0,02	36,6	6,2	0,00	0,062
16	96m	30,2	4,6	0,065	0,03	43,5	5,4	0,06	0,133
17	120m	30,2	4,4	0,065	0,05	37,5	5,5	0,00	0,057
18	120m	30,2	4,6	0,025	0,04	37,4	5,8	0,00	0,080
19	110m	30,0	3,9	2,161	0,59	236,4	4,9	0,12	0,095
20	93m	30,1	4,4	0,460	0,05	84,7	4,5	0,18	0,365
VMP - Portaria 05/2017/MS		N/A	6,0 a 9,5	0,2 mg/L	1,5 mg/L	N/A	N/A	5 uT	0,3 mg/L

Fonte: Teixeira (2018).

N/A – Não Aplicável

Quadro 12 - Resultado das análises Físico-químicas - média 2015 a 2018, período da cheia.

Poços	Prof.	Manganês Mn ²⁺	Nitrato NO ₃ ⁻	Nitrito NO ₂ ⁻	Sulfato SO ₄	Sulfeto S ²⁻	Cobre Cu	Zinco Zn
01	86m	0,033	8,2	0,007	0,0	0,00	0,03	0,15
02	101m	0,024	5,9	0,004	0,3	0,00	0,07	0,15
03	73m	0,089	7,2	0,004	0,0	0,01	0,03	0,14
04	50m	0,095	15,0	0,004	0,0	0,02	0,10	0,14
05	60m	0,065	15,1	0,004	1,3	0,01	0,06	0,16
06	120m	0,029	4,6	0,005	0,5	0,00	0,04	0,20
07	120m	0,115	6,2	0,005	0,0	0,01	0,07	0,14
08	58m	0,085	9,1	0,008	1,3	0,01	0,05	0,15
09	60m	0,086	13,9	0,007	0,0	0,01	0,04	0,13
10	120m	0,058	8,6	0,007	0,5	0,01	0,03	0,16
11	66m	0,071	12,9	0,005	0,3	0,01	0,06	0,15
12	120m	0,040	3,3	0,005	0,0	0,01	0,05	0,15
13	73m	0,038	6,1	0,005	0,0	0,00	0,03	0,13
14	78m	0,029	3,1	0,005	0,0	0,00	0,02	0,14
15	110m	0,036	3,9	0,006	0,0	0,01	0,05	0,14
16	96m	0,061	5,1	0,006	0,5	0,01	0,04	0,17
17	120m	0,069	2,5	0,004	0,0	0,01	0,03	0,17
18	120m	0,051	4,3	0,004	0,0	0,01	0,02	0,16
19	110m	0,103	13,0	0,011	0,0	0,01	0,05	0,24
20	93m	0,107	5,8	0,004	0,5	0,00	0,04	0,15
VMP- Portaria 05/2017/MS		0,1 mg/L	10 mg/L	1 mg/L	250 mg/L	0,1 mg/L	2 mg/L	5 mg/L

Fonte: Teixeira (2018).

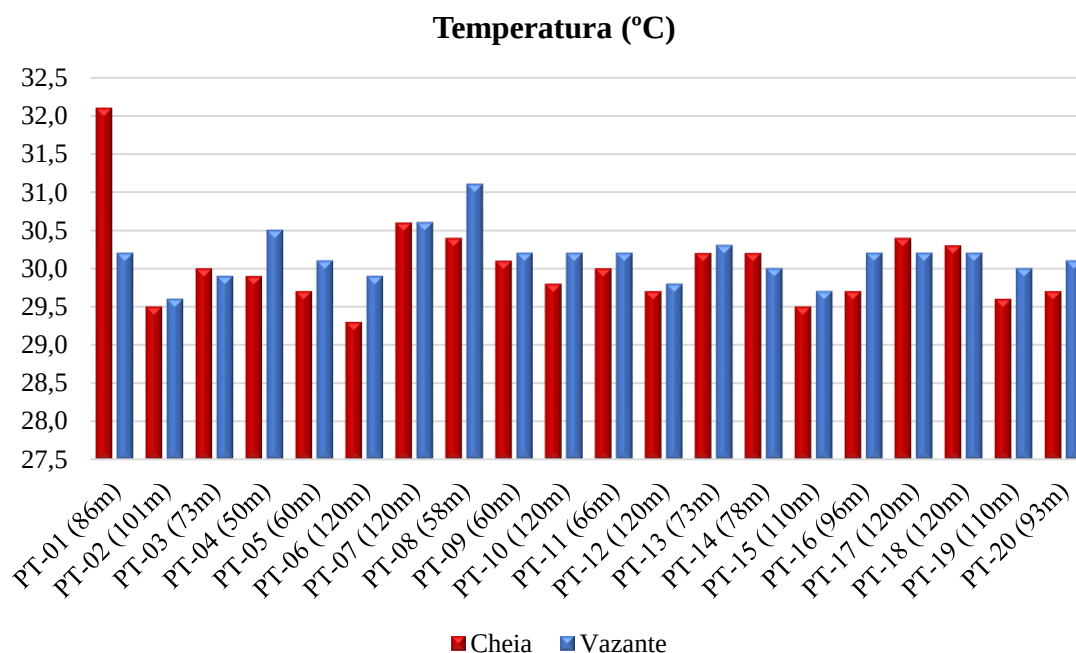
Quadro 13 - Resultado das análises Físico-químicas - média de 2015 a 2018, período da vazante.

Poços	Prof.	Manganês Mn ²⁺	Nitrato NO ₃ ⁻	Nitrito NO ₂ ⁻	Sulfato SO ₄	Sulfeto S ²⁻	Cobre Cu	Zinco Zn
01	86m	0,022	6,6	0,008	0,0	0,00	0,04	0,15
02	101m	0,047	4,2	0,006	0,3	0,00	0,04	0,15
03	73m	0,085	12,4	0,006	0,0	0,01	0,03	0,14
04	50m	0,067	14,6	0,008	0,0	0,01	0,09	0,14
05	60m	0,061	11,9	0,007	0,3	0,01	0,04	0,16
06	120m	0,027	2,5	0,005	0,3	0,01	0,02	0,20
07	120m	0,083	14,7	0,008	0,3	0,01	0,01	0,14
08	58m	0,074	15,6	0,010	1,0	0,00	0,02	0,15
09	60m	0,067	20,9	0,008	0,0	0,00	0,02	0,13
10	120m	0,081	9,4	0,009	0,0	0,00	0,01	0,16
11	66m	0,103	12,3	0,009	0,0	0,00	0,01	0,15
12	120m	0,015	5,1	0,005	0,3	0,00	0,03	0,15
13	73m	0,068	9,9	0,004	0,0	0,00	0,04	0,13
14	78m	0,044	6,6	0,004	0,0	0,00	0,03	0,14
15	110m	0,053	4,5	0,007	0,0	0,00	0,05	0,14
16	96m	0,075	4,6	0,018	0,5	0,00	0,07	0,17
17	120m	0,024	5,8	0,006	0,0	0,00	0,02	0,17
18	120m	0,041	4,2	0,006	0,0	0,00	0,02	0,16
19	110m	0,111	20,4	0,010	0,0	0,00	0,04	0,24
20	93m	0,163	13,9	0,009	0,5	0,00	0,04	0,15
VMP Portaria 05/2017/MS		0,1 mg/L	10 mg/L	1 mg/L	250 mg/L	0,1 mg/L	2 mg/L	5 mg/L

Fonte: Teixeira (2018).

O primeiro parâmetro, temperatura da água, no período da cheia a variação foi de 29,3 – 32,1 °C, no período da vazante variou de 29,6 – 31,1 °C, observou-se que houve variações maiores no período da vazante, possivelmente pode estar associada a temperatura atmosférica devido o lençol freático ser pouco profundo. Valores similares de 29 °C foi encontrado em estudo realizado pela Fundação de Vigilância em Saúde do Amazonas (2018). Em relação a temperatura encontrada para águas subterrâneas, segundo a Agência Nacional de Águas (2009), pode variar entre 20 °C e 28 °C, podendo chegar a 35 °C em águas subterrâneas mais profundas (MMA, 2002).

Figura 18 - Gráfico da temperatura, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.



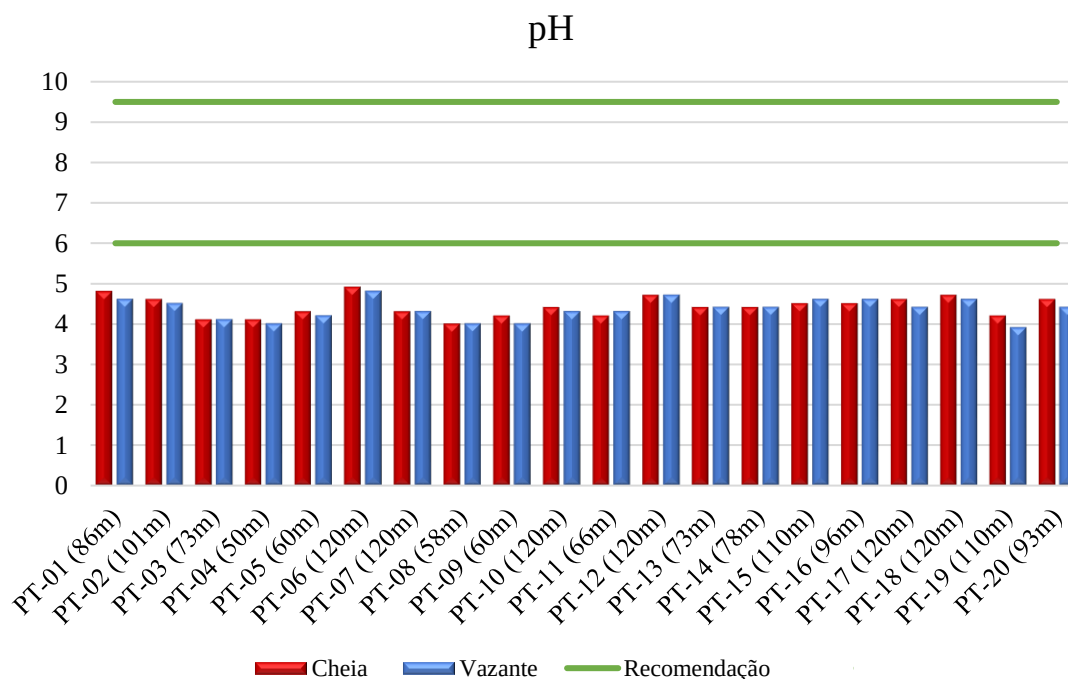
Fonte: Teixeira (2018).

A temperatura elevada da água pode exercer papel importante no crescimento bacteriano, o que seria um fator preocupante, favorecendo o crescimento de microrganismos e dentre eles, os considerados patogênicos. Isso significa dizer que águas com temperatura baixa leva a uma maior segurança quanto à presença desses microrganismos (GOMES, 2005).

Em relação o pH, a faixa encontrada no período de cheia variou de 4,0 – 4,9 e no período da vazante seus valores variaram de 3,9 – 4,8, não foram constatadas diferenças significativas entre os dois períodos. Segundo a Resolução CONAMA 396/2008 e a Portaria MS 05/2017 não há um limite máximo de pH definido para o consumo humano. Entretanto, a Portaria MS 05/2017, no art. 39, § 1º, recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 para atender aos padrões organolépticos de potabilidade. Valores entre 4,0 – 4,7 foram encontrados em estudo realizado pela Fundação de Vigilância em Saúde do Amazonas (2018).

Observa-se que quanto mais baixo o poço, mais ácida é a água. Fica evidente que a água consumida pela população de Parintins, é predominantemente ácida. A vantagem em relação a faixa de pH, está relacionada a desinfecção das águas que se processa melhor em pH ácido do que em pH alcalino, geralmente em águas alcalinas o consumo e cloro é maior (BRASIL, 1999).

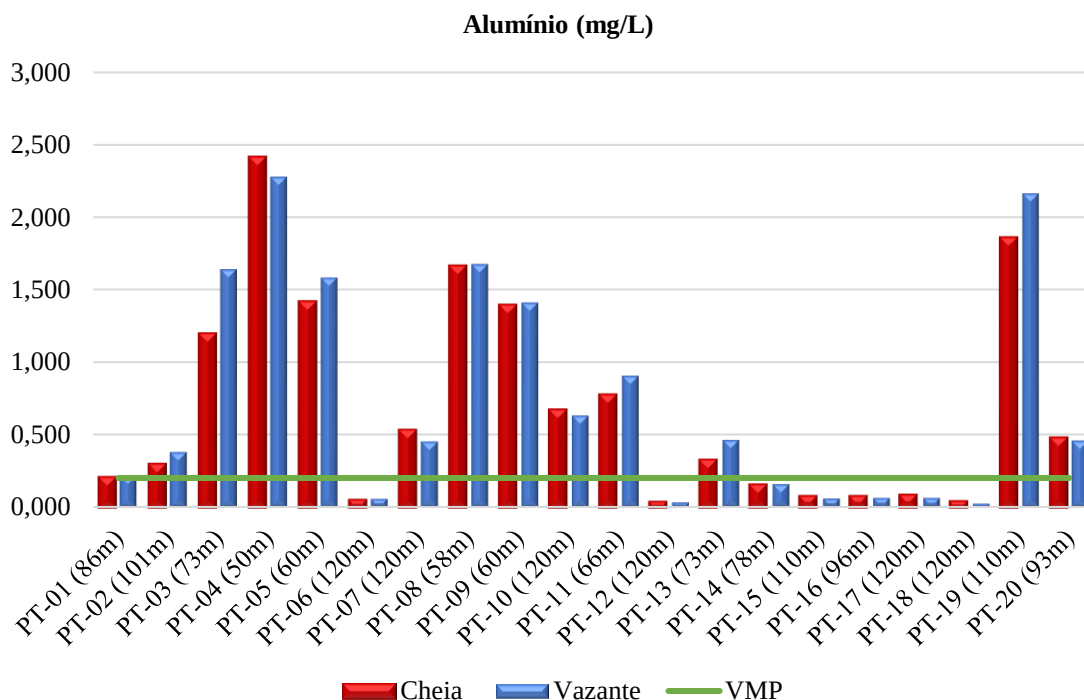
Figura 19 - Gráfico do pH, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.



Fonte: Teixeira (2018).

As concentrações de alumínio nas amostras de água analisadas no período da cheia variou de 0,037 – 2,408 mg/L, no período da vazante as variações foram de 0,025 – 2,276 mg/L. Os poços que apresentaram concentrações de alumínio acima do valor máximo permitido estabelecido pela Portaria 05/2017/MS (0,2 mg/L Al^{3+}) foram: os poços 01, 02, 03, 05, 08, 09, 11, 13 e 19 com variações maiores no período da vazante e os poços 04, 07, 10 e 20 apresentaram maiores variações no período da cheia. Os poços nº 06, 12, 14, 15, 16, 17 e 18 apresentaram valores inferiores de 0,2 mg/L. Em estudo realizado em agosto pela Fundação de Vigilância em Saúde do Amazonas (2018), valores foram encontrados nos poços nº 03 a concentração de 0,845 mg/L e nos poços 07, 08, 09, 10 e 11 em média de 1,152 mg/L de alumínio. Em outro estudo realizado pela COSAMA em 2019, valores com média de 1,54 mg/L foram encontrados nos poços 03 e 04 e 1,44 mg/L foram encontrados nos poços 07, 08 e 09 e no poço 15 a concentração encontrada foi 1,18 mg/L e no poço 20 também foi encontrada 1,19 mg/L. Observa-se a maior concentração de alumínio está associada a profundidade baixa dos poços e a acidez da água.

Figura 20 - Gráfico do Alumínio, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.



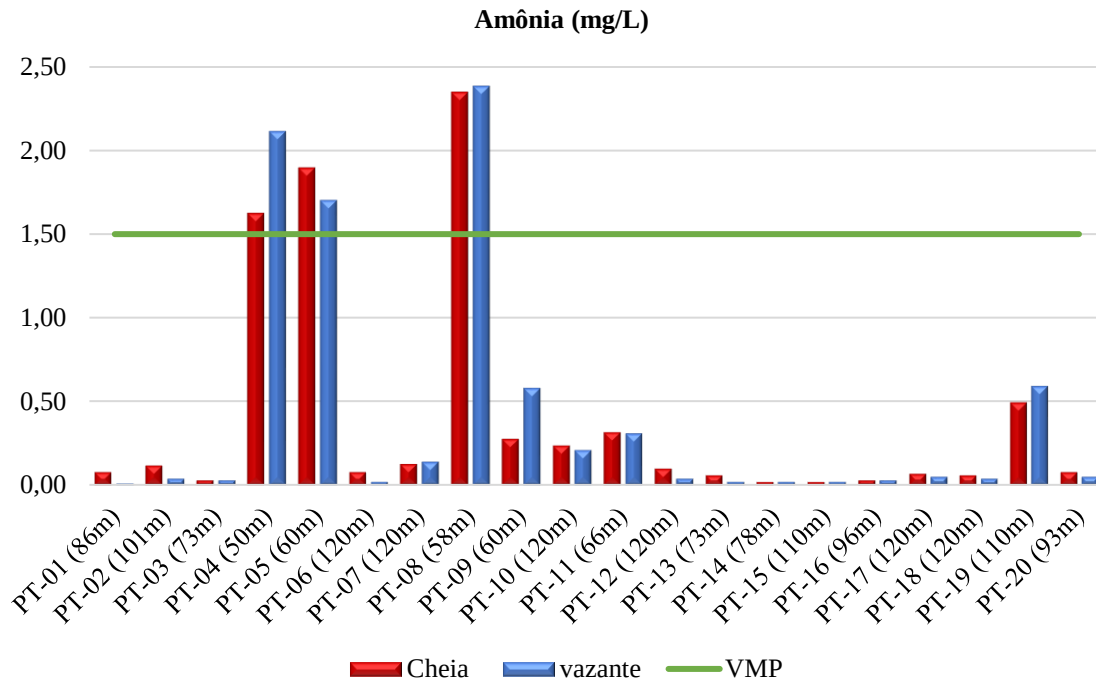
Fonte: Teixeira (2018).

A elevada acidez das águas, provavelmente seja responsável por desencadear a concentração de teores de alumínio. Sabe-se que este metal é um elemento pouco móvel (tem solubilidade muito baixa) na faixa de pH de 4,0 a 8,0, típica dos ambientes naturais. Portanto, o alumínio dificilmente é liberado, como espécie iônica, para o meio aquoso, ficando normalmente retido na fase sólida, sob a forma de argilo-minerais, óxidos ou hidróxidos. Acontece que em águas com pH ácido, como ocorre em diversos poços, e com altas concentrações de ácidos orgânicos, o alumínio pode ser liberado para esse meio, por um processo conhecido como complexação, onde o metal migra da fase sólida e se liga a compostos orgânicos, formando íons complexos (CARVALHO, 1995).

Os teores de amônia nas amostras de água, no período da cheia variou entre 0,02 – 2,35 mg/L, no período da vazante variou de 0,01 – 2,38 mg/L, os poços que apresentaram valores máximos estabelecidos pela Portaria (1,5 mg/L NH_3), foram os poços 04 e 08 apresentaram variações maiores no período da vazante e o poço 05 no período da cheia, observa-se pouca variações entre os dois períodos. Esses baixos teores de amônia, obtidos na maioria dos poços, provavelmente a amônia esteja sendo convertida em nitrato. Estudo realizado pela Fundação de Vigilância em Saúde do

Amazonas em 2018 não encontrou teores de amônia em nenhum dos poços fora dos padrões toleráveis.

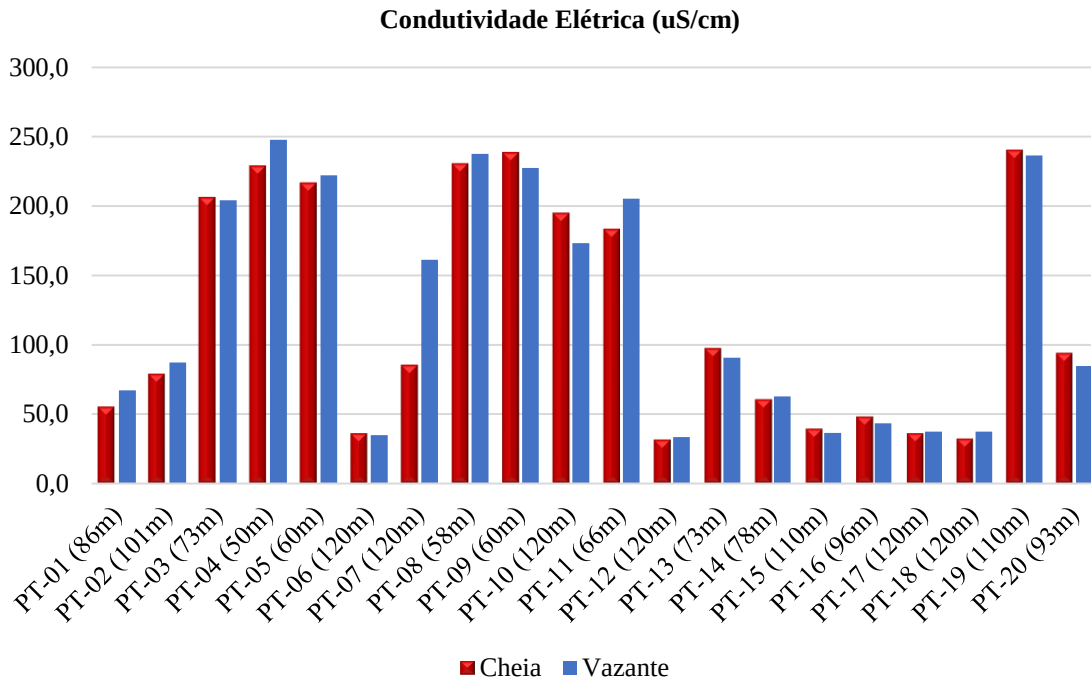
Figura 1 - Gráfico de Amônia, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.



Fonte: Teixeira (2018).

A Condutividade Elétrica, representa a concentração de sais dissolvidos nas águas. Os valores encontrados no período da cheia variaram de 31,6 – 240,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em quanto no período da vazante variou de 33,5 – 247,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Observa-se que os poços que encontram-se com a condutividade acima 80,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e com profundidade abaixo de 80m, são os poços mais contaminados, como foram comprovados nas análises realizadas. Embora a Portaria 05/2017/MS, não exigir como parâmetro de qualidade de água para consumo humano, mas amostras de água com valores altos de condutividade, já dá um diagnóstico preliminar da qualidade de água. Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados (CETESB, 2009).

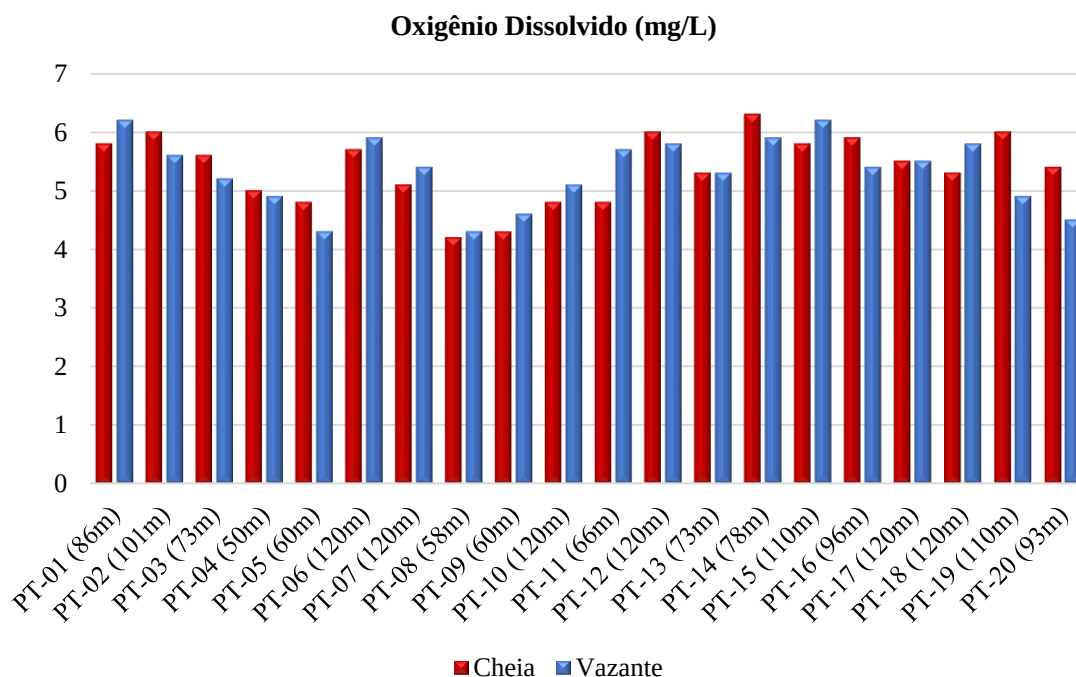
Figura 22 - Gráfico de Condutividade Elétrica, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.



Fonte: Teixeira (2018).

As amostras de água de Oxigênio Dissolvido, as variações encontradas no período da cheia foram de 4,2 – 6,3 mg/L, enquanto os valores no período da vazante foram de 4,3 – 6,3 mg/L. Observa-se menores concentrações de OD nos poços de menor profundidade do bombeamento I e bombeamento II. Embora não exista uma cobrança da Portaria do Ministério da Saúde da quantidade de mg/L de Oxigênio Dissolvido na água para consumo humano, não deixa de ser importante esse monitoramento, pelo fato de algumas bactérias viverem na presença desse elemento.

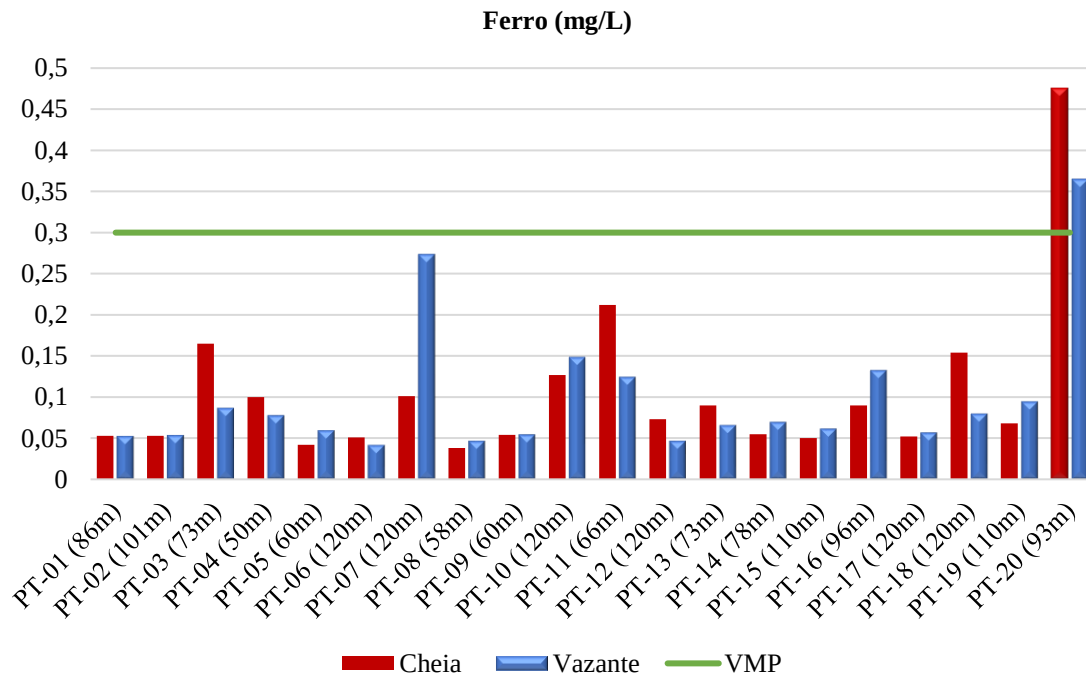
Figura 23 - Gráfico de Oxigênio Dissolvido, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.



Fonte: Teixeira (2018).

Os teores de Ferro nas amostras de água no período da cheia variou de 0,038 – 0,476 mg/L, no período da vazante variou de 0,042 – 0,365 mg/L, a maioria dos poços os valores das concentrações de ferro predominaram bem abaixo do valor máximo permitido pela Portaria vigente (0,3 mg/L Fe). Apenas o poço 20 encontra-se fora do padrão tolerável, com variação maior no período da cheia, valores foram encontrados nesse mesmo poço com concentração de 0,64 mg/L pela COSAMA em 2019 e 0,5449 mg/L pela Fundação de Vigilância em Saúde do Amazonas em 2018. O teor excessivo de ferro deve estar ligado a causas naturais, como a presença de um nível de laterita atravessado pela perfuração (MARMOS; AGUIAR, 2005).

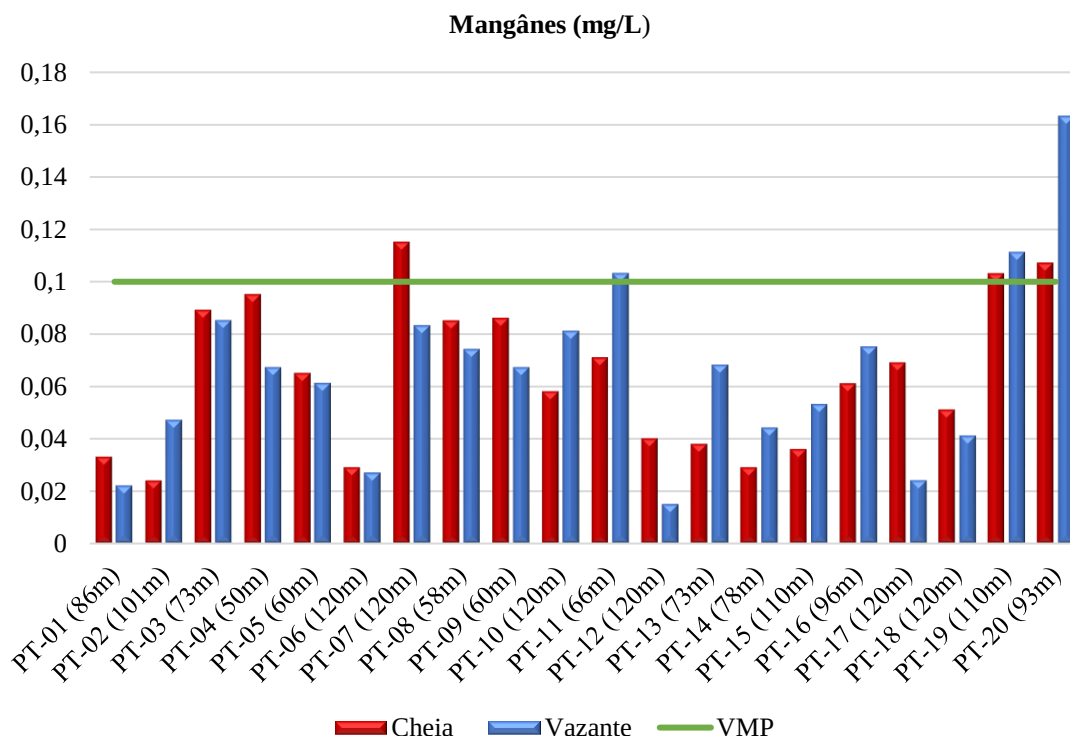
Figura 24 - Gráfico de Ferro, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.



Fonte: Teixeira (2018).

As concentrações de manganês no período da cheia variaram de 0,024 – 0,115 mg/L, no período da vazante 0,015 – 0,163 mg/L. A maioria dos poços os valores predominam abaixo de 0,1 mg/L. Os poços que ultrapassaram os valores máximo permitido pela Portaria 05/2017/MS foram: poço 07 no período da cheia e o poço 11, 19 e 20 no período da vazante.

Figura 25 - Gráfico de Manganês, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.



Fonte: Teixeira (2018).

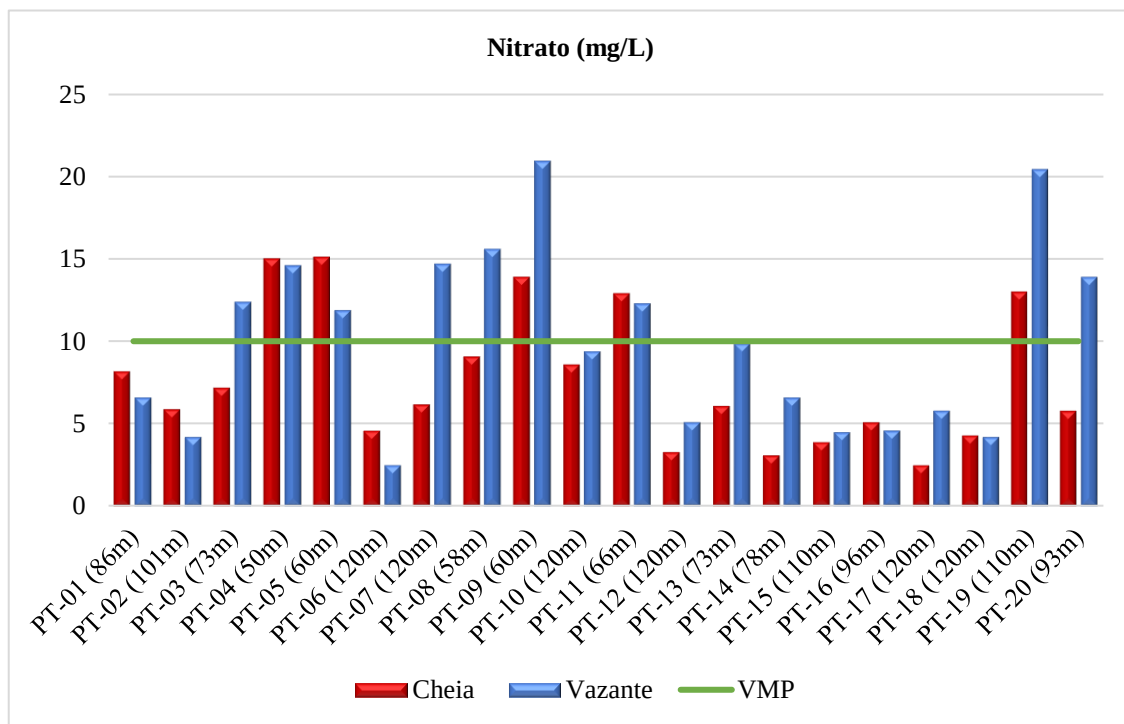
Em relação ao nitrato, as variações encontradas no período da cheia foi de 2,5 – 15,1 mg/L, enquanto os valores no período da vazante foi de 2,5 – 20,4 mg/L, os poços nº 03, 04, 05, 07, 08, 09, 11, 19 e 20 apresentaram valores que ultrapassaram o VMP de potabilidade recomendável pela Portaria 05/2017/MS que tolera até 10 mg/L. As variações maiores ocorreram nos poços, 04, 05 e 11 no período da cheia. Enquanto no período da vazante as variações maiores ocorreram nos poços 03, 07, 08, 09, 19 e 20. Valores com teores de nitrato entre 0,78 – 49,10 mg/L foram encontrado no bombeamento I, rua Paraíba e teores de 5,91 – 17,99 mg/L no bombeamento II rua Alcides Seixas, em estudo realizado na cidade de Parintins, (MARMOS; AGUIAR, 2005).

Observa-se também uma relação entre os valores de pH, profundidade dos poços, ou seja, quanto maiores os teores de nitrato mais ácida são suas águas e mais baixos as profundidade dos poços. Essa relação da acidez com nitrato é explicada pela própria origem desse íon, que representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica (MARMOS; AGUIAR, 2005).

Segundo Santos (1997) teores de nitrato em águas subterrâneas acima de 5 mg/L, são indicadores de contaminação por atividade humana (esgotos, fossas, lixões etc.). Os resíduos de produtos provenientes de esgotos são ricos em nitrogênio e se degradam em nitratos na presença

de oxigênio, de acordo com o ciclo nitrogênio orgânico > amônia > nitrito > nitrato, conhecido como nitrificação, processo que envolve a transformação do nitrogênio amoniacal (NH_3 , NH_4^+) em nitratos e se desenvolve através de duas reações, sob a ação conjugada de bactérias amonificadoras.

Figura 26 - Gráfico do Nitrato, período de cheia / vazante - ano 2015 a 2018.



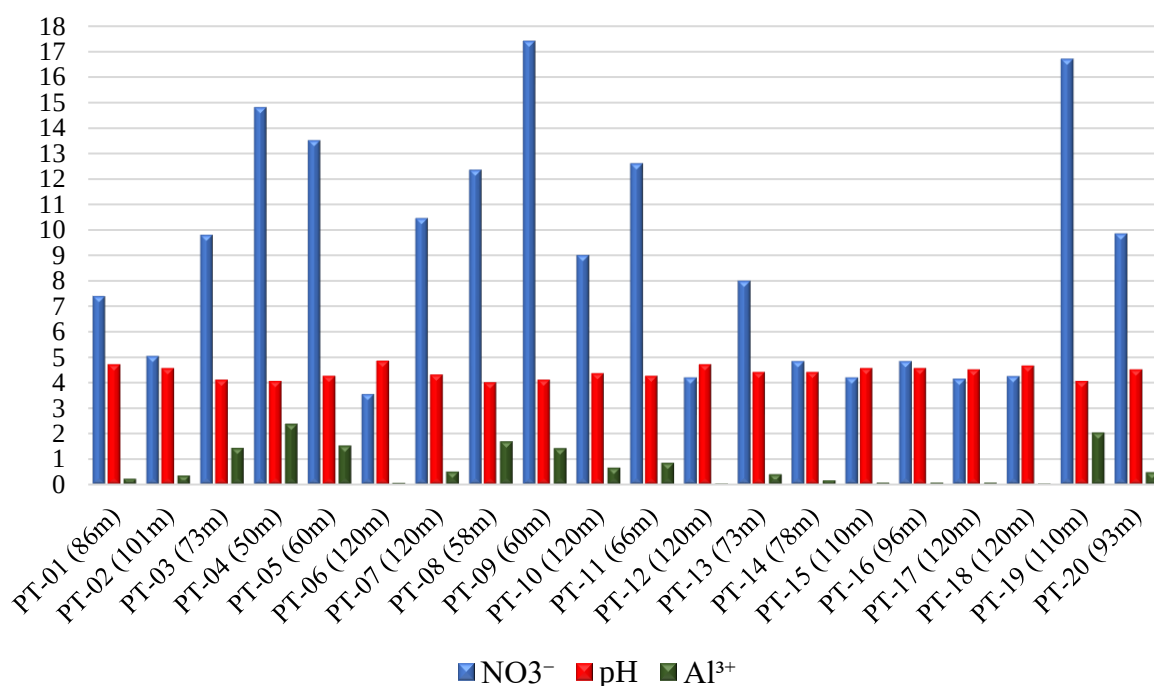
Fonte: Teixeira (2018).

No geral a provável causa dos altos teores de nitrato encontrado nos poços tubulares nos dois períodos, provavelmente esteja relacionada a contaminação antrópica. Portanto, ligada à falta de um sistema de captação e tratamento dos esgotos na cidade, o que leva à infiltração dos resíduos líquidos desses esgotos, despejados em fossas ou a céu-aberto, até os níveis superiores do lençol freático, contaminando-os.

Considerando-se apenas os poços com as águas contaminadas, observa-se uma forte correlação entre os valores de nitrato & pH & alumínio. Quanto maiores as concentrações de nitrato nas amostras de água, mais baixo os valores de pH, ou seja, a água é predominante ácida. E quando mais baixo os valores do pH, maiores são as concentrações de alumínio. Como exemplo dessa correlação são os poços do bombeamento I, (PTs - 03, 04 e 05) as variações de nitrato foram de 7,9 – 15,1 mg/L & pH a faixa variou de 4,0 – 4,3 & o alumínio as variações de 1,193 – 2,408 mg/L. Enquanto os poços do bombeamento II (PTs - 08, 09, 10 e 11), as variações de nitrato de 8,6 – 20,9

mg/L & pH a faixa variou de 4,0 – 4,4 & o alumínio as variações de 0,454 – 1,75 mg/L. Os poços (PTs - 19 e 20), as amostras de água de nitrato variaram de 5,8 - 20,4 mg/L & pH a faixa variou de 3,9 – 4,5& o alumínio as variações de 0,460 – 2,161 mg/L.

Figura 27 - Correlação de nitrato x pH x alumínio



Fonte: Teixeira (2018).

Com relação aos parâmetros: turbidez, nitrito, sulfato, sulfeto, cobre e zinco, as amostras analisadas das águas dos vinte poços, tanto nos períodos da cheia/vazante, seus resultados ficaram abaixo dos respectivos valores máximo permitido pela Portaria 05/2017 do Ministério da Saúde, conforme resultados nos quadros 10, 11, 12 e 13 acima citados.

10.3. Microbiológico

A água para consumo humano, o conteúdo bacteriológico deve estar ausente em 100 ml de amostra (Portaria 05/2017 e a Resolução 396/2008). Com relação ao parâmetro microbiológico, foram realizadas análises para detecção de presença /ausência de Coliformes Totais e *Escherichia coli*. As coletas de água foram realizadas nos meses de janeiro, março, junho, setembro e dezembro de 2018 e os meses de fevereiro e maio de 2019 dos 20 poços tubulares que abastecem a cidade de

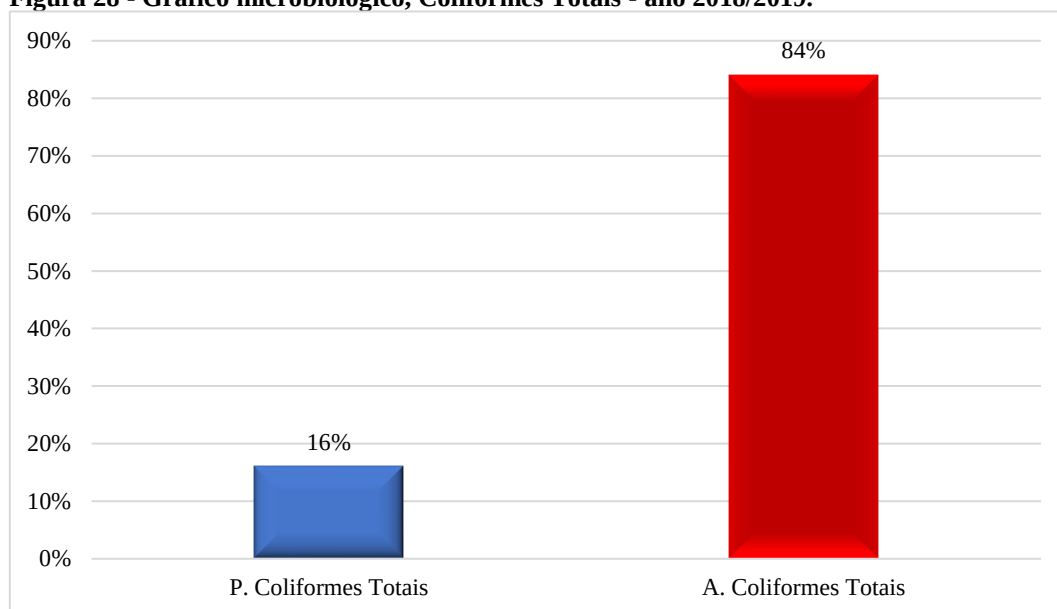
Parintins, com o total de 07 amostras para cada poço, totalizando assim 140 amostras, os resultados seguem abaixo.

Quadro 14 - Resultado das análises com presença/ausência de Coliformes totais e *Escherichia coli*.

PT'S	Nº de Amostras	Nº Amostras P/CT	Nº Amostras A/CT	Nº Amostras P/E. coli	Nº Amostras A/E. coli
01	07	03	04	00	07
02	07	01	06	00	07
03	07	02	05	00	07
04	07	03	04	00	07
05	07	03	04	00	07
06	07	00	07	00	07
07	07	00	07	00	07
08	07	02	05	00	07
09	07	03	04	00	07
10	07	00	07	00	07
11	07	01	06	00	07
12	07	00	07	00	07
13	07	01	06	00	07
14	07	01	06	00	07
15	07	01	06	00	07
16	07	00	07	00	07
17	07	00	07	00	07
18	07	00	07	00	07
19	07	01	06	00	07
20	07	01	06	00	07
Total	140	23	117	00	140

Fonte: Teixeira (2018).

Figura 28 - Gráfico microbiológico, Coliformes Totais - ano 2018/2019.



Fonte: Teixeira (2018).

Conforme resultado observado das análises microbiológica, 23 amostras foram detectadas com presença de Coliformes Totais. Essa contaminação pode estar associado a alguns fatores, profundidade do poço, contaminação na amostragem. Vale ressaltar que nenhum dos 20 poços recebem qualquer tipo de tratamento contínuo, por exemplo (cloração).

Conforme a Portaria nº 05/2017 Anexo XX, que regulamenta a potabilidade da água para consumo humano, é tolerável a presença de Coliformes Totais apenas 5% das amostras analisadas, ou seja, ausência de 95% em 100ml de água. Os resultados mostram que 16% das 140 amostras analisadas com presença de Coliformes Totais. Portanto, fora do padrão aceitável da Portaria vigente.

Em relação à presença de *Escherichia coli*, todas as amostras de água apresentaram resultados negativos, estudo realizado em agosto (2018) nos vinte poços tubulares pela Fundação de Vigilância em Saúde do Amazonas, não foram detectado a presença de *E. coli*, em nem um dos vinte poços. A Portaria vigente não tolera a presença de *E. coli* em qualquer amostra de água para consumo humano.

10.4. Vulnerabilidade do Aquífero

O resultado encontrado do índice de vulnerabilidade do Aquífero utilizando a metodologia GOD, conforme características de cada parâmetro estão descritas no Quadro 15.

Quadro 15 - Resultado da vulnerabilidade do aquífero.

Poços	Coordenadas		Tipo de Aquífero G	Litologia O	Profundidade D	Índice	Vulnerabilidade
	S	W					
01	2.62837	56.72960	1,0	0,6	0,8	0,48	Media
02	2.62913	56.72977	1,0	0,6	0,8	0,48	Média
03	2.62921	56.73014	1,0	0,6	0,8	0,48	Média
04	2.62960	56.73001	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
05	2.62948	56.72973	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
06	2.62970	56.72874	1,0	0,6	0,8	0,48	Média
07	2.63558	56.73981	1,0	0,6	0,8	0,48	Média
08	2.63576	56.74015	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
09	2.63618	56.74026	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
10	2.63593	56.74055	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
11	2.63652	56.74047	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
12	2.63590	56.73920	1,0	0,6	0,8	0,48	Média
13	2.65104	56.74078	1,0	0,6	0,8	0,48	Média
14	2.65130	56.74058	1,0	0,6	0,8	0,48	Média
15	2.65151	56.74152	1,0	0,6	0,8	0,48	Média
16	2.65171	56.74128	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
17	2.64705	56.75068	1,0	0,6	0,8	0,48	Média
18	2.64744	56.75101	1,0	0,6	0,8	0,48	Média
19	2.37590	56.44398	1,0	0,6	0,8	0,48	Média
20	2.62114	56.7269	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta

Fonte: Teixeira (2018).

O parâmetro (G), grau de confinamento do Aquífero, foi definido com índice 1,0, conforme o Aquífero Alter do Chão que predomina na cidade de Parintins, ser considerado livre.

O segundo parâmetro (O), características da zona não saturada, de acordo com as informações construtivos dos poços tubulares a litologia tem uma formação repetitiva de camadas arenosas e argilosas, ou seja, de 65% de arenitos e 35% de argilitos, para esta condição foi definido o índice 0,6.

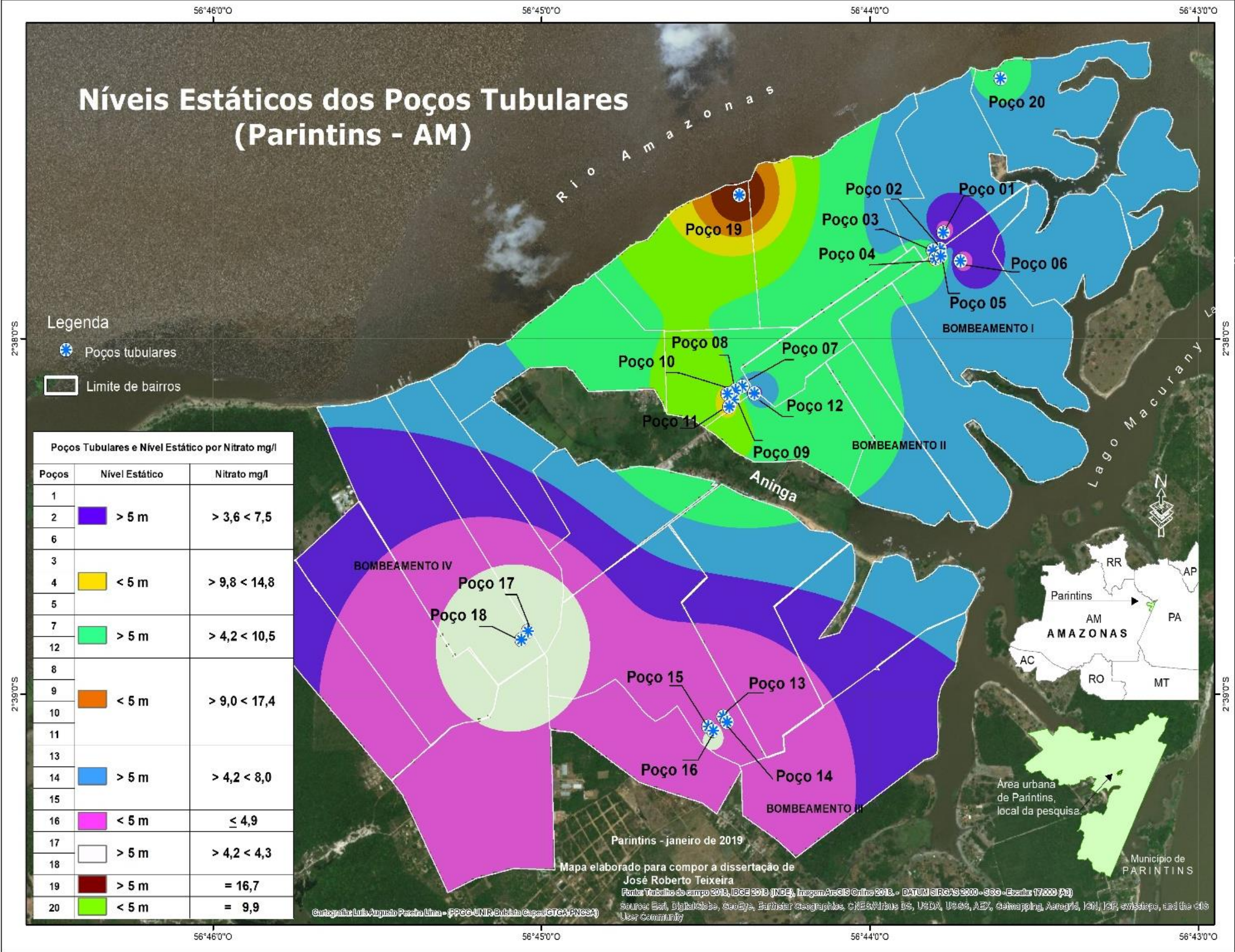
O terceiro parâmetro (D), a profundidade do nível estático dos poços. Dos 20 poços selecionados, as profundidades encontradas de 08 poços variaram de 3,50 m a 4,90 m abaixo de 5 metros, atribuindo assim o valor de 0,9. Enquanto de 12 poços restantes as profundidades encontradas variaram de 5,20 m a 8,80 m, atribuído o valor de 0,8.

O resultado apresentado, através de mapas de vulnerabilidade, pelo método GOD mostra os níveis estáticos, as classes, a predominância do nitrato e a concentração de alumínio nos poços & áreas onde encontram-se localizados os poços tubulares.

A partir da coleta de dados sobre os níveis estáticos dos poços tubulares, na área urbana de Parintins, foi possível especializá-los a partir da utilização da ferramenta buffer no software ArcGIS 10.5. Isto se deu em função da interpolação da representação nos bairros de Parintins, por meio de raster e dos pontos coletados usados como referência pra aplicação da técnica de distância inversa ponderada (IDW). Dessa forma foi possível obter as relações de hierarquias dos grupos de níveis estáticos dos poços tubulares, bem como relacioná-los ao status de nitrato presente nos poços (Figura 29).

O método GOD estabelece, que quanto maior a distância da superfície do terreno até o lençol subterrâneo, maior a proteção do aquífero, fato que sob a ótica do tempo de trânsito de percolação descendente de um contaminante, em meio não saturado, está correto. Assim, são estabelecidas áreas de maior ou de menor vulnerabilidade, influenciadas respectivamente pelos níveis de água profundos ou rasos. Nas áreas de níveis mais profundos de águas subterrâneas admite-se menor vulnerabilidade dos aquíferos.

Figura 29 - Níveis estáticos dos poços tubulares & teores de nitrato



Fonte: Trabalho de campo. Elaborado por Luiz Augusto. IBGE (INDE), Imagem ArcGIS online 2019.

Partindo dessa premissa, pode-se afirmar segundo o resultado da pesquisa tendo como referência os poços que tiveram os níveis estáticos menores que 5 metros, os teores de nitrato são maiores, com exceções do poço 16 que o nível estático é menor que cinco metros e a média de nitrato está abaixo de 5 mg/L e do poço 19 que o nível estático está maior que 5 metros, mas a média de nitrato é de 16,7 mg/L.

O resultado apresentado, a partir dos dados coletados pela observação e aplicação do método GOD, as informações extraídas de perfis relativos aos poços selecionados para o estudo, de acordo com o mapa (Figura 30), foi possível representar a distribuição das duas classes de vulnerabilidade (média e alta) obtidas a partir da aplicação do método GOD para a área urbana da cidade de Parintins, utilizando-se o interpolador IDW (Interpolação ponderada por distância) do software ArcGIS 10.5.

De tal modo caracterizar a vulnerabilidade que foi representada a partir dos dados obtidos do Aquífero Alter do Chão em relação aos poços tubulares pode se ampliar. Porém, a interpolação dos dados sob o método GOD indica que há uma distribuição variável da vulnerabilidade existente, o que de acordo com a base cartográfica e localização dos poços tubulares, é passível de atenção.

Diante dessas informações, isso significa dizer que quando a vulnerabilidade for média o aquífero é vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados, e quando a vulnerabilidade for alta o aquífero é vulnerável a muitos poluentes, exceto aqueles pouco moveis e pouco persistentes.

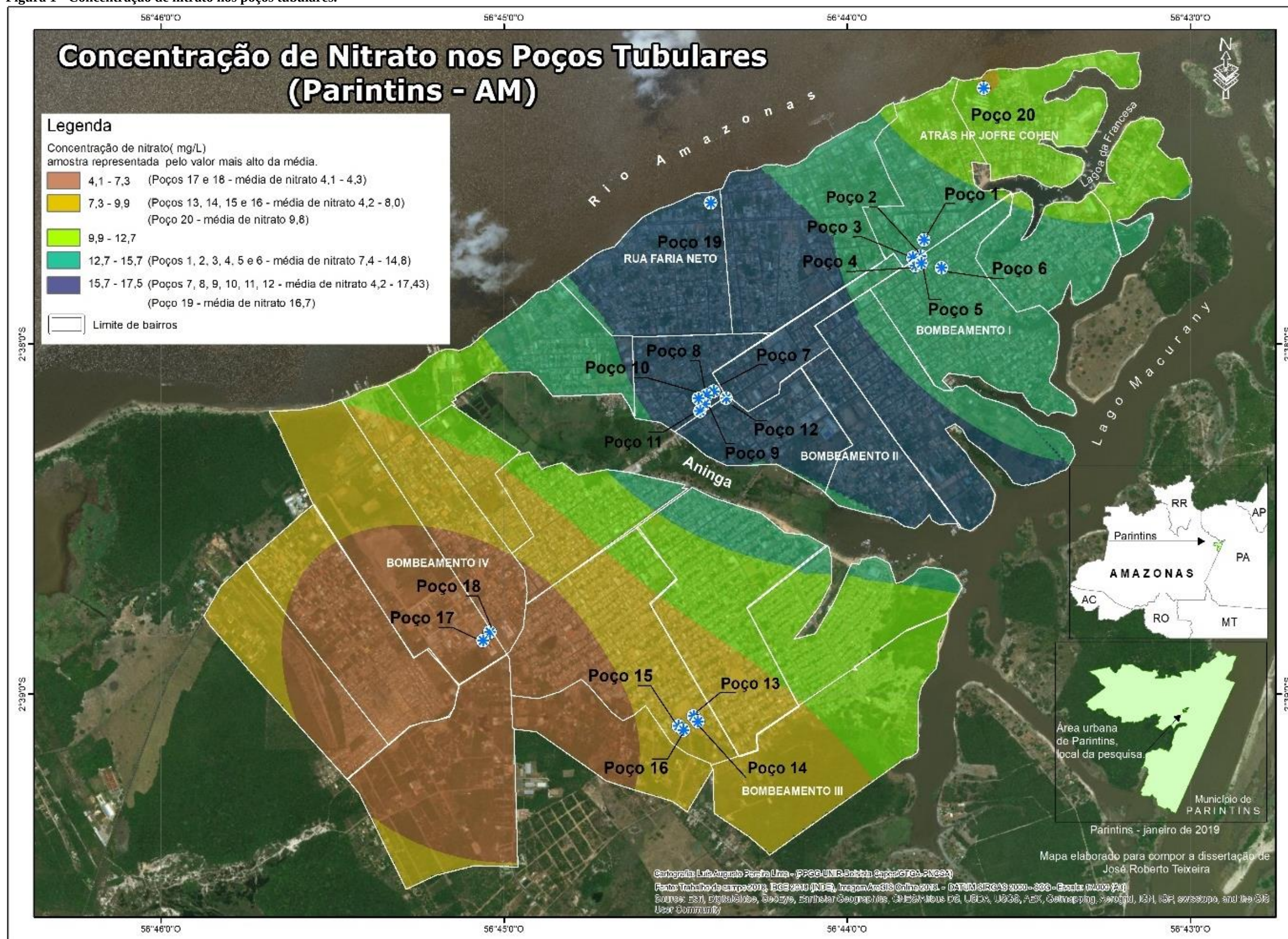
Como exemplo dessa vulnerabilidade é a concentração de nitrato e alumínio, são mais acentuadas no Bombeamento I, localizado na Rua Rio Branco, Centro/Francesa e bombeamento II na Rua Alcides Seixas.

São as áreas, mas antropizadas da zona urbana de Parintins, que representam atualmente um potencial contaminante, principalmente por nitrato das águas subterrâneas. Um exemplo são os poços localizados no Bombeamento I, estão próximas as residências do beco Submarino. Na ausência e tratamento de esgoto, fossas e sumidouros desses moradores lançam grande carga de efluentes doméstico direto no canal superficial, além de receber continuamente uma grande carga de esgoto da rua Paraíba.

Assim como o Bombeamento I, os poços localizados no Bombeamento II, recebe água que passam pelo braço principal do Lago do Macurany, como boa parte desse braço encontra-se ocupado por palafitas, cujos moradores despejam os seus dejetos domésticos diretamente nas suas margens, é de se esperar que esse contaminante chegue às referidas estações (MARMOS; AGUIAR, 2005).

O processo de degradação natural dos esgotos provoca a geração de nitrato que, pelas características de persistência e mobilidade e o contínuo processo de infiltração representa atualmente um potencial contaminante das águas subterrâneas dos centros urbanos, como é o caso da cidade de Parintins (ANA, 2018), Figura 31.

Figura 1 - Concentração de nitrato nos poços tubulares.



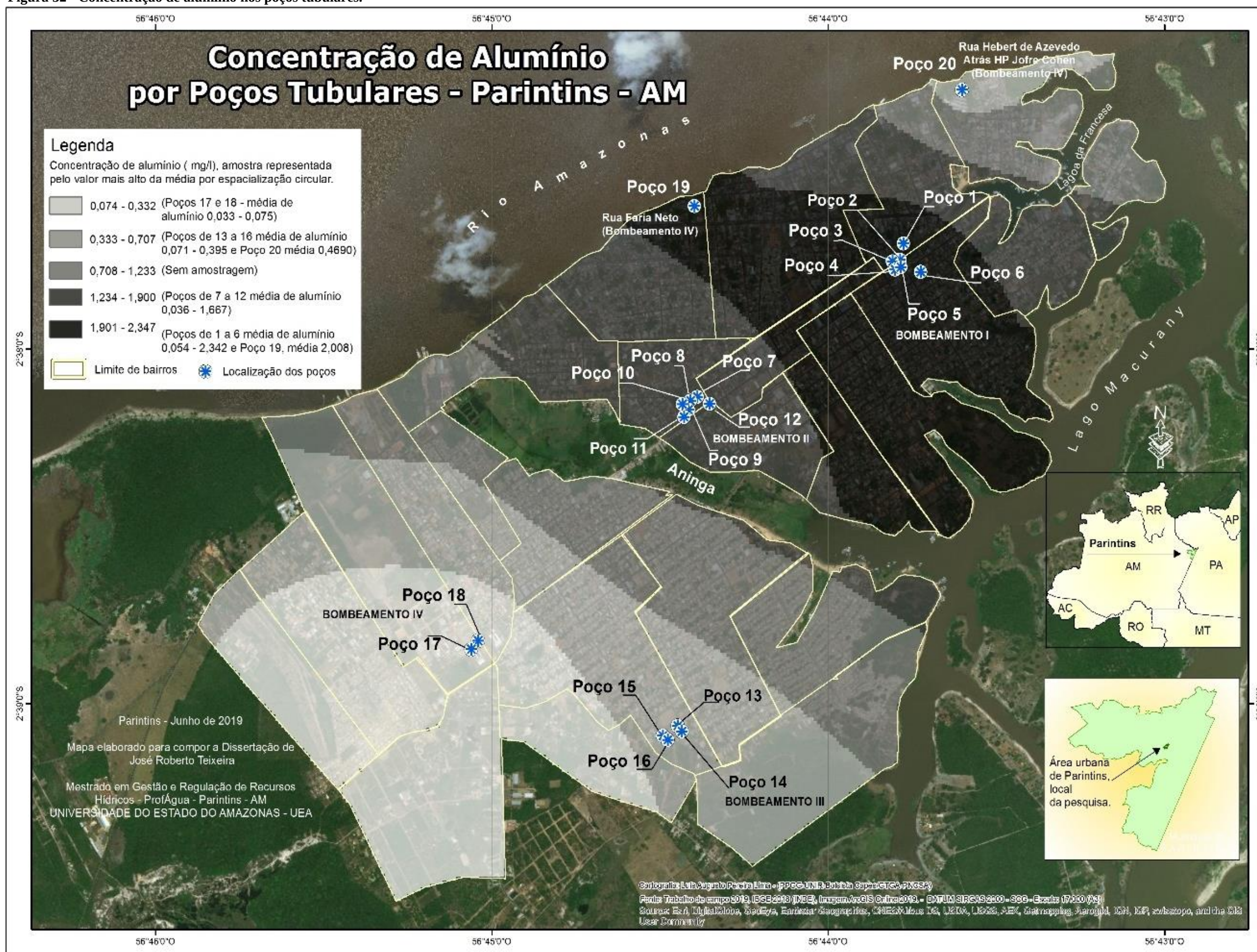
Fonte: Trabalho de campo (2018). Elaborado por Luiz Augusto. IBGE (INDE), Imagem ArcGIS online 2018.

Segundo a funcionalidade da ferramenta do *software SIG ArcGIS 10.5*, o estimador da krigagem ordinária baseado no valor da variável de interesse em um ponto amostrado ou não, é calculado em combinação esférica ou linear dos pontos de dados. Dessa forma optou-se pela representação de um mapa de krigagem da concentração de nitrato a partir das coordenadas geográficas dos 20 poços tubulares e suas referidas médias de concentração de nitrato.

Objetivou-se assim, caracterizar o mapa para representar a concentração de nitrato, tomando como referência os limites dos bairros, ou área urbana da cidade de Parintins, a partir do valor maior da média de cada poço tubular. Porém, a abrangência de concentração de nitrato apresentada no mapa, não significa o predomínio, mas indicativo de concentração de nitrato na interpolação dos poços tubulares, ou seja, existe concentração de nitrato entre os poços, além daqueles encontradas pontualmente.

Observa-se que a distribuição de alumínio segue a mesma disposição da distribuição de nitrato, nas áreas onde encontram-se localizados os poços. Partindo dessa premissa, optou-se pela representação de um mapa de krigagem da concentração de alumínio, levando em conta as suas referidas médias de concentração de alumínio, Figura 32.

Figura 32 - Concentração de alumínio nos poços tubulares.



Fonte: Trabalho de campo (2018). Elaborado por Luiz Augusto. IBGE (INDE), Imagem ArcGIS online 2018.

Objetivou-se assim, especializar em formato circular e caracterizar o mapa para representar a concentração de alumínio, tomando por referência os limites da base cartográfica de bairros, ou área urbana da cidade de Parintins, a partir do valor maior da média de cada poço tubular. Entretanto, a abrangência de concentração de alumínio apresentada no mapa, não significa o predomínio, mas o indicativo da concentração de alumínio da interpolação dos poços tubulares com os limites de bairros. Ou seja, existe a concentração de alumínio entre os poços, além daquelas encontradas pontualmente. Mas, para configurar precisamente a abrangência, teríamos que dispor da especificidade da rede de água abastecida pelos referidos poços tubulares.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

O presente trabalho, avaliou a delimitação dos perímetros de proteção dos poços tubulares, monitoramento da qualidade da água, em relação aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos e o índice de vulnerabilidade do aquífero, com objetivo de contribuir com a gestão dos recursos hídricos subterrâneos na cidade de Parintins.

Diante dos resultados, foi possível concluir que os raios dos perímetros de proteção dos vinte poços tubulares encontrados, os raios de dezesseis poços ultrapassaram o terreno onde encontram-se localizados e nove poços, seus raios estão sobrepostos. Enquanto, os perímetros propostos de 100 metros, dezessete poços ultrapassaram, média a grandes extensões essas áreas onde estão localizados e dezessete desses poços seus raios encontram-se sobrepostos. Vale lembrar que esses raios que encontram sobrepostos principalmente os raios encontrados, podem estar comprometendo as vazões de captação da água desses poços.

Em relação às análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológico, permitiram verificar a qualidade da água distribuída a população da cidade de Parintins, com referência a sua potabilidade. Os poços com maiores concentrações de alumínio, nitrato, amônia, estão localizados em áreas de maior influência antrópica. As maiores concentrações desses elementos estão associados aos poços com baixa profundidade, idade de perfurações e elevada acidez das águas. A maior diferença de oscilação desses elementos, foi no período da vazante.

Enquanto o parâmetro microbiológico, foram realizadas análises para detecção de presença /ausência de Coliformes Totais e *Escherichia coli*. Conforme resultado observado, das 140 amostras, 23 foram detectadas com presença de Coliformes Totais. Essa presença nos poços é um indicador de falta de tratamento, pelo fato de nenhum dos poços de captação de água receber qualquer tipo de tratamento contínuo. Quanto a presença de *Escherichia coli*, todas as amostras apresentaram resultados negativo. Conclui-se que a água de alguns poços, estão impróprias para consumo humano, segundo a Portaria do Ministério da Saúde.

Conforme resultado, as águas subterrâneas possuem duas classes de vulnerabilidade média e alta. Um grande exemplo é a concentração de nitrato e alumínio, são maiores nas áreas de captação de água do bombeamento I, localizado na Rua Rio Branco, Centro/Francesa e bombeamento II na Rua Alcides Seixas, Vitória Régia. Pode-se afirmar que essa vulnerabilidade,

está associado a degradação antrópica constatada nessas áreas. Os mapas gerados mostraram as áreas mais vulneráveis a contaminação as águas subterrâneas.

Portanto, vale ressaltar que a proteção aos recursos hídricos subterrâneos, está diretamente ligado as atividades antrópicas. Que esse estudo possa fornecer subsídios, aos órgãos gestores nas tomadas de decisões, referente a gestão dos recursos hídricos na cidade de Parintins, pelo fato que a captação das águas subterrâneas está diretamente ligado ao uso e ocupação do solo que é de responsabilidade do município.

Diante dos resultados, recomendam-se que sejam feitas algumas sugestões, para melhorar o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos na cidade de Parintins.

De imediato, que sejam desativados os poços com os maiores níveis de concentração de alumínio e nitrato fora dos padrões toleráveis pela Portaria do Ministério da Saúde.

A curto prazo que seja definido uma nova área, para perfuração de novos poços, distante das áreas antropizadas, com supervisão dos órgãos fiscalizadores.

A longo prazo, que se pense na construção de uma Estação de Tratamento de Água - ETA, na captação de água superficial, aproveitando a grande vazão do rio Amazonas.

Um novo estudo na elaboração de um mapa do fluxo das águas subterrâneas.

Agradecemos ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto - SAAE, por ceder o laboratório, equipamentos e reagentes para as análises de água. Agradecemos também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos – PROFÁGUA, projeto CAPES/ANA AUXPE N° 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELMADJID, B. Assessment of groundwater pollution by nitrates using Intrinsic vulnerability methods: A case study of the Nil valley groundwater (Jijel, North-East Algeria). **African Journal of Environmental Science and Technology**, v. 7, n. 10, p. 949-960, out. 2013.
- ABREU, F. A. M.; CAVALCANTI, I.N.; MATTA, M. A. S. O Sistema Aquífero Grande Amazônia – SAGA: um imenso potencial de água subterrânea no Brasil. In: III Congresso Internacional de Meio Ambiente, 2013, São Paulo. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <http://13sga.sbg-no.org.br/arquivos/cd/pdf/ST6/4>. Acesso em: 10 set. 2018.
- ADAMS, B.; FOSTER, S. S. D. Land-surface zoning for groundwater protection. *Journal of Institution of Water and Environmental Management*, v. 6, p. 312-320. 1992.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA - ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Informe 2018. Brasília, DF: ANA, 74p. 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUS – ANA. **Estudos Hidrogeológicos para a Gestão das Águas Subterrâneas da Região de Belém/PA: Relatório Final** / Agência Nacional de Águas; Elaboração e Execução: Profill Engenharia e Ambiente S.A. Brasília, DF: ANA, 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Superintendência de planejamento de recursos hídricos. **Conjuntura de recursos hídricos no Brasil, DF: Informe 2011**. Brasília, DF: ANA, 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2005.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Resolução CONAMA nº 396/08. **Dispõe sobre a Classificação e Diretrizes Ambientais para o Enquadramento das Subterrâneas e dá outras providências**. Brasília, DF: ANA, 2008.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Resolução nº 91/2008. **Dispõe sobre os Procedimentos Gerais para o Enquadramento dos Corpos de Água Superficiais e Subterrâneos**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF: ANA, 2008.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Sistema de Informações Hidrológicas**. 2009. Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 10 dez. 2018.
- AGUIAR, C. J. B. **Aquífero Alter do Chão no Estado do Amazonas/Manaus: CPRM, RIMAS, Volume 6 (Relatório Diagnóstico)**, 2012.
- ALBUQUERQUE FILHO, J. L. et al. **Plano de desenvolvimento e proteção ambiental da área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo: proposta preliminar, Águas Subterrâneas**, 2010.

ALLER, L. et al. **DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings**. USEPA, EPA/600/2-87/035, EUA, 1987.

ALVES, C. **Tratamento de águas de abastecimento**. 3. ed. Porto: Publinústria, 2010.

AMAZONAS, GOVERNO DO ESTADO DO. Lei Estadual nº 3.167 de 27 de agosto de 2007. Reformula as normas da Política Estadual de Recursos Hídricos e do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Manaus, AM, 28 ago. 2007.

AMAZONAS, GOVERNO DO ESTADO DO. Fundação de Vigilância em Saúde. Laboratório Central de Saúde Pública – LACEN/AM. **Relatório de Ensaio**. Manaus, AM, ago. 2018.

AMAZONAS, GOVERNO DO ESTADO DO. Laboratório da Companhia de Saneamento do Amazonas – COSAMA. **Lauda de Medição de Potabilidade**. Manaus, AM, marc. 2019.

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 21st ed. Washington, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (ABAS). **Águas subterrâneas: o que são?** 2018. Disponível em: <http://www.abas.org/educacao.php>. Acesso em: 05 dez. 2018.

BARTOLI, E., BARBOSA, T. R. **Paisagem e Morfologia Urbana na Cidade de Parintins: Tecido Urbano Cocha de Retalho?** Artigo Científico. Parintins, 2012.

BRANCO, S. M. **Água: origem, uso e preservação**. 2. ed. ref. São Paulo: Moderna, 2010.

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

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 292 p. 1988.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual técnico de análise de água para consumo humano**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 212pg. 1999.

BRASIL. Portaria do Ministério da Saúde nº 5/2017 Anexo XX. **Dispõe sobre o Controle e da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade**, Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2017.

CARVALHO, A. M; HIRATA, R. **Avaliação de métodos para a proteção dos poços de abastecimento público do Estado de São Paulo**. Revista do Instituto de Geociências – USP, Geol. USP. Sér. Cient., São Paulo, v. 12, n. 1, p. 53-70, abril, 2012.

CARVALHO, I. G. **Fundamentos da Geoquímica dos Processos Exógenos**. Salvador: Bureau Gráfica e Editora Ltda., 1995.

CASALI, C. A. **Qualidade da água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da Região Central do Rio Grande do Sul**. 2008.173f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. 2008.

CIVITA, M.; MAIO, M. **SINTACS**: Un sistema paramétrico per la valutazione e la cartografia per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento, Metodologia e automazione. Bologna: Ed. Pitagora, 191p. 1997.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo – Série Relatórios**. Governo do Estado de São Paulo. Secretária do Meio Ambiente, 2008.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2013** – Apêndice D - CETESB. São Paulo: CETESB, 434p, 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Variáveis de Qualidade da Água e Objetivos do Diagnóstico de Qualidade da Água**. Escola Superior da CETESB. São Paulo: CETESB, 62P, 2017.

COSTA, A. R. A. Tectônica Cenozoica e Movimentação Salífera na Bacia do Amazonas e Suas Relações com a Geodinâmica das Placas da América do Sul, Caribe, Cocos e Nazca. 2003. **Dissertação de Mestrado**. UFPA, 237p. 2003.

COUTO, Raul (Org.). **Plano Rural de Desenvolvimento Sustentável (2005-2012)**. Manaus: IBAMA/PróVárzea, 2005. 171p.

CPRM. **Dados mensais e anuais de precipitações de Parintins**. Manaus: CPRM, 2010. (Planilha).

CRESPIM, R. C. S. **Qualidade das Águas Subterrâneas Rasas**: Estudo de caso no Distrito de Icoaraci – PA. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA. 2017.

CUTRIM, A. O.; CAMPOS, J. E. G. **Avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis (MT), usando os métodos GOD e POSH**. Revista Geociências Rio Claro (SP), v.29, n3. 2010. **de Áreas de Risco Potencial de Contaminação das Águas Subterrâneas na Área Urbana de Cacequi/RS – Brasil**. XIV World Water Congress, Porto de Galinhas, 2011.

Diário da República, Decreto-Lei nº 382/99, **Perímetros de Proteção de Captações de Água Subterrânea**, I Série-A, nº 222 – 22-9-1999. Disponível em: <http://dre.tretas.org/dre/105920/>. Acesso em: 10 dez. de 2018.

ELTON, A. M. **A Amazônia tem “Oceano Subterrâneo”**. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/19541>. Acesso em: 20 ab. de 2019.

EMBRAPA. **Manual de Procedimentos de Amostragem e Análise Físico-química de Água**. Paraná, PR: Embrapa Floresta, 2011.

FEITOSA, F. A. C. (Coord.) *et al.* **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3 ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM; Recife: LABHID, 812p. 2008.

FOSTER, S. HIRATA, R. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available**. Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 78p. 1988.

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**. Washington: Banco Mundial, 104p. 2006.

FOSTER, S. S. D.; SKINNER, A. C. **Groundwater protection: the science and practice of land surface zoning**. International Association of Hydrological Sciences, 225, p. 471-482. 1995.

FRANÇA, H. P. M.; MORAIS, F.; OLIVEIRA, J. R. **Estudo Hidrogeológico da Área de Fazendinha**; Nova Olinda do Norte. Amazonas. Relatório Final. Recife: CPRM: PETROMISA, 109p. 1984.

GOMES, P. C. F. L.; et al. Análise físico-química e microbiológica da água de bebedouros de uma IFES do sul de Minas Gerais. **Revista Higiene Alimentar**. São Paulo. v. 19 n. 133p. 63-65, 2005.

GONÇALVES, E. M. **Avaliação da Qualidade da água do Rio Uberabinha Uberlândia–MG**. 2009. 159 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Jan. 2009.

HIRATA, R. **Oito perguntas e oito tentativas de respostas sobre a vulnerabilidade à poluição de aquíferos**. Seminário-Traller. Protección de Acuíferos Frente a La Contaminacion: Metodologia. Toluca, México, jun. 2001.

HITATA, A.; REBOUÇAS, A. Groundwater protection: na integrated view based wellhead protection áreas and vulnerability maps. *Environmental Technology*, nov. 2001.

HUNEAU, F. *et al.* (2013). Intrinsic vulnerability mapping for small mountainous karst aquifers, implementation of the new PAPRIKA method to Western Pyrenees (France). *Engineering Geology* 161 (2013) 81-93. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.03.028>.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. **Censo Demográfico Populacional**: Disponível em: <http://www.censo 2010. ibge.gov>. Acesso em: 10 out. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Dados de precipitação de Parintins (1992-2004)**. Manaus: Primeiro Distrito de Meteorologia/SEOMA, 2005.

IRITANI, M. A; EZAKI, S. **Roteiro Orientativo para Delimitação de Área de Proteção de Poço**. Cadernos do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos, n. 2. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Geológico, 60p. 2012.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2009. Metodologias para um melhor planeamento e gestão do uso do solo agrícola atendendo à vulnerabilidade dos aquíferos à poluição difusa. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Departamento de Hidráulica e Ambiente, Núcleo de Aguas Subterrâneas. Proc. 0607/14/15799, Lisboa.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento da água**. 2º ed. Campinas, SP: Editora. Átomo, 2008.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3º ed. Campinas: Átomo, 2010.

LOBO FERREIRA, J. P. C; et al. **Poluição de Águas Subterrâneas**: Principais Problemas, Processos de Prevenção e Reabilitação. In: VI SILUSBA – Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Cabo Verde. Anais. Portugal Acesso em: 11 dez. 2018

MARMOS, J. L; AGUIAR, C. J. B. **Avaliação do Nível de Contaminação dos Aquíferos da Cidade de Parintins (AM): Primeiros Resultados**. Serviço Geológico do Brasil-CPRM/Manaus, AM, 93p. 2005.

MARTELLI, G. V. et al. **Determinação de Áreas de Risco Potencial de Contaminação das Águas Subterrâneas na Área Urbana de Cacequi/RS – Brasil**. XIV World Water Congress, Porto de Galinhas, 2011.

MENDES, B.; OLIVEIRA, J. F. S. **Qualidade da Água para Consumo Humano**. Lisboa: Lidel, Edições Técnicas Ltda., 626p. 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE DO BRASIL. **Avaliação das Águas do Brasil, Brasília**: MMA, 2002.

NASCIMENTO, T. S. et al. **Metemoglobinemia: do diagnóstico ao tratamento**. Revista Brasileira de Anestesiologia, Rio de Janeiro, v. 58, n. 6, p. 651-664, 2008.

NAVARRETE, C. M; GARCÍA, A. G. **Perímetros de protección para captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano**. Metodología y aplicación al territorio. Serie:

HIDROGEOLOGÍA Y AGUAS SUBTERRÁNEAS. IGME. Madrid, 273p. 2003. ISBN: 84-7840-496-1.

PARRON, M. P.; MUNIZ, D. H. F., PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Florestas. ISSN 1980-3958, Documentos 232, Colombo – PR. 2011.

PINHEIRO, R. J. B.; RAUBER, A. C. C.; SILVA, J. L. S. **Suscetibilidade à Contaminação dos Aquíferos no Município de Santa Maria – RS.** VII Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul. Santa Maria, 2013.

POHLING, R. **Reações químicas na análise de água.** Fortaleza: Arte Visual, 2009.

PRADA, S. *et al.* Definição dos perímetros de Proteção das Galerias de Captação do Maciço do Paul da Serra, Ilha da Madeira, que são? 2008. Disponível em: <http://www.abas.org/educacao.php>. Acesso em: 02 out. 2018

PTDRS, Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável. **Território Baixo Amazonas.** Manaus: MDA/Arquidiocese de Manaus, 2011. 149p.

QUEIROZ, J. F.; BOEIRA, R. C. **Boas práticas de Manejo para reduzir Amônia em Viveiros de Aquicultura.** 2007. Disponível em: http://www.cnpma.embrapa.br/download/comunicado_44.pdf. Acesso em: 12 nov. 2018.

REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. **Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d'água.** Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 353-362, set. 2009.

SAAE. **Serviço Autônomo de Água e Esgoto.** Parintins, 2018.

SANTOS, R. A. **Hidrogeoquímica das Águas Subterrâneas do Município de Iraquara, Bahia.** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 2011.

SANTOS, A. C. **Noções de Hidroquímica.** In: FEITOSA, F. C., MANOEL FILHO, J. (coord.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** Fortaleza: CPRM/UFPE, 1997.

SÃO PAULO. Decreto Estadual nº 32,955, de 07 de fevereiro de 1991. Regulamenta a Lei nº 6.134, de 2 de junho de 1988. São Paulo, 1991.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. Instituto Geológico. **Cadernos do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos nº.** São Paulo, 2012.

SILVA, D. L. **O direito sanitário e a água para consumo humano.** 2004, 24f. Monografia (Especialização em Direito Sanitário) – Fundação Oswaldo Cruz, Brasília, 2004.

SILVA, N. *et al.* **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. Valéria Christina Amstalden - São Paulo: Livraria Varela, 2005, 165p.

SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e Tratamento de Esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

TAVARES, P. R. L; *et al.* **Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil**. Rem: Rev, Esc. Minas, Ouro Preto. v. 62, n. 2, jun. 2009.

VARNIER, C. L. *et al.* **Contaminação das águas subterrâneas por nitrato e a expansão urbana em Presidente Prudente (SP)**. In: ABAS, CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16, São Luís, *Anais*, 13p. 2010.

VON STEMPVOORT D., Ewert, L., Wassenaar, L. Aquifer Vulnerability Index: a GIS compatible method for groundwater vulnerability mapping. **Canadian Water Resources Journal**, v. 18, p. 25-37, 1992.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

