



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO  
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE  
RECURSOS HÍDRICOS**

**LINDAMAR BEZERRA DA SILVA**

**QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA QUE ABASTECE JUAZEIRO DO  
NORTE - CE: RELAÇÃO COM COBERTURA DE ESGOTO E DENSIDADE  
POPULACIONAL**

**SUMÉ - PB**

**2020**

**LINDAMAR BEZERRA DA SILVA**

**QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA QUE ABASTECE JUAZEIRO DO  
NORTE - CE: RELAÇÃO COM COBERTURA DE ESGOTO E DENSIDADE  
POPULACIONAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos PROFÁGUA ministrado no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Linha de Pesquisa: Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água.

Área de Concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

**Orientador:** Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão.

SUMÉ - PB

2020

S586q

Silva, Lindamar Bezerra da.

Qualidade da água subterrânea que abastece Juazeiro do Norte – CE: Relação com cobertura de esgoto e densidade populacional. / Lindamar Bezerra da Silva. - Sumé - PB: [s.n], 2020.

177 f.

Orientador: Professor Dr. Carlos de Oliveira Galvão.

Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA.

1. Água subterrânea - qualidade. 2. Sistema de esgotamento sanitário. 3. Crescimento populacional – uso da água. 4. Densidade populacional – Juazeiro do Norte. 5. Cobertura de esgotos. 6. Contaminação de águas subterrâneas. 7. Aquíferos subterrâneos – contaminação. 8. Doenças relacionadas à água. I. Galvão, Carlos de Oliveira. II. Título.

CDU: 556.3(043.2)

**Elaboração da Ficha Catalográfica:**

Johnny Rodrigues Barbosa  
Bibliotecário-Documentalista  
CRB-15/626

**LINDAMAR BEZERRA DA SILVA**

**QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA QUE ABASTECE JUAZEIRO DO  
NORTE - CE: RELAÇÃO COM COBERTURA DE ESGOTO E DENSIDADE  
POPULACIONAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos PROFÁGUA ministrado no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Data de aprovação: 15 de Junho de 2020.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão.  
Orientador(a) – UFCG

---

Profa. Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima.  
Examinador(a) Interno(a) – UFCG

---

Prof. Dr. Janiro Costa Rêgo.  
Examinador(a) Externo(a) – UFCG

SUMÉ - PB

Dedico este trabalho aos meus pais pelo esforço e dedicação na minha educação durante a minha caminhada de vida e aos meus irmãos pela companhia, incentivo e amizade.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que tem me sustentado desde o ventre da minha mãe, por me conceder saúde, forças para eu prosseguir nos meus objetivos e por me abençoar durante toda a minha vida.

Ao meu orientador, professor Dr. Carlos de Oliveira Galvão pelos ensinamentos, paciência e confiança durante o mestrado. Meu reconhecimento e admiração pela sua dedicação à pesquisa, dom de ensino e intensa sabedoria.

Aos professores Dra. Vera Lúcia Antunes e ao Dr. Janiro Costa Rêgo que aceitaram o convite para participarem da minha banca de defesa, pelos importantes questionamentos levantados e pela contribuição para conclusão final da dissertação.

A todos os professores do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, que foram importantes na minha formação acadêmica e profissional, e aos demais funcionários desse Centro, que de forma eficiente conduzem esse Programa de pós-graduação.

O superintendente Carlos Jacinto Leal, ao gerente Gilberto Máximo Bezerra Júnior e ao coordenador de Operação Industrial Renato de Sousa Silva da unidade de negócio da bacia do Salgado, da Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE por terem me liberado nos horários de expediente para assistir as aulas do mestrado.

À CAGECE que autorizou e forneceu informações para a elaboração do trabalho final.

As minhas amigas e colegas de trabalho Cilene Bezerra Moreira e Alyne Gessick Lima pela amizade, pela força, paciência e companheirismo nas viagens para o mestrado e em todos os momentos que estivemos juntas.

Aos meus pais, irmãos, cunhados e sobrinhos, amigos que de alguma forma me ajudaram a desenvolver e a melhorar este trabalho.

À CAPES pelo apoio e realização desse mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Profágua, em nível de Mestrado, na Categoria Profissional, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

“Aquele que leva a preciosa semente, andando e chorando, voltará, sem dúvida, com alegria, trazendo consigo os seus feixes”. Salmos 126:6

## RESUMO

As águas subterrâneas têm sido contaminadas por efluentes agrícolas, urbanos e industriais, os quais têm contribuído para a elevação dos níveis de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) a valores não toleráveis, vindo a ser na atualidade o poluente de ocorrência mais frequente nesses mananciais. O risco potencial de um determinado aquífero ser contaminado está relacionado ao tipo de uso e suas características, como litologia, hidrogeologia, gradientes hidráulicos, entre outros. A maior ou menor susceptibilidade de um aquífero à contaminação e poluição é chamada de vulnerabilidade. A poluição/contaminação da água subterrânea pode ser direta ou indireta. De forma direta é o lançamento sobre o solo ou água, quando os poluentes são lançados diretamente no aquífero, por meio de poços absorventes, sem passar pelas camadas de solo (esgoto, cemitério, atividades agrícolas, etc). De forma indireta é quando os poluentes não são lançados diretamente no aquífero, mas de alguma forma, ou em um determinado tempo, atingem o manancial. Ambas podem estar relacionadas com as atividades humanas e/ou processos naturais. Dessa forma, visou-se avaliar, neste trabalho, os valores de nitrato dos 48 poços que abastecem a sede do município de Juazeiro do Norte, Ceará, no período de 2013 a 2019, relacionando-os com a cobertura do sistema de esgotamento sanitário e a densidade populacional. Para determinação dos teores de nitrato, são usados resultados de análises realizadas nos laboratórios da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE. Os resultados analíticos são comparados com os padrões de potabilidade da Portaria de Consolidação N. 05/2017, anexo XX, do Ministério da Saúde, sendo o valor limite do nitrato de  $10,0 \text{ mgNO}_3^-/\text{L}$ . As informações relacionadas ao sistema de esgotamento sanitário de Juazeiro do Norte foram fornecidas pela CAGECE e as informações relacionadas à densidade populacional pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Resultados finais indicam alguma relação de causa e efeito entre altos níveis de nitrato e as lacunas na cobertura do sistema de esgotamento sanitário e a localização dos assentamentos populacionais. Considerando que as águas provenientes de poços são a única fonte de abastecimento para a cidade, este trabalho demonstra a necessidade de ampliação do seu sistema de esgotamento sanitário, assim como das demais medidas de saneamento ambiental, como a disposição adequada dos resíduos sólidos e a proteção dos pontos de captações. Na agenda ODS 2030 a referida dissertação se alinha e tem associação aos itens 6 e 12. Item 6 - Água potável e saneamento e item 12 - Consumo e produção responsável.

**Palavras-chave:** Águas Subterrâneas. Consumo Humano. Contaminação. Gestão Urbana.

## ABSTRACT

Groundwater has been contaminated by agricultural, urban and industrial effluents, which have contributed to the elevation of nitrate levels ( $\text{NO}_3^-$ ) to non-tolerable values, becoming the most frequent pollutant currently occurring in these water sources. The potential risk of a particular aquifer being contaminated is related to the type of use and its characteristics, such as lithology, hydrogeology, hydraulic gradients, among others. The greater or lesser susceptibility of an aquifer to contamination and pollution is called vulnerability. Groundwater pollution and contamination can be direct or indirect. Directly, it is released on the soil or water, when pollutants are released directly into the aquifer, through absorbent wells, without going through the soil layers (sewage, cemetery, agricultural activities, etc). Indirectly, it is when the pollutants are not released directly into the aquifer, but somehow, or at a certain time, reach the source. Both can be related to human activities and/or natural processes. Thus, the aim of this work was to evaluate the nitrate values of the 48 wells that supply the urban area of the municipality of Juazeiro do Norte, Ceará, in the period from 2013 to 2019, relating them to the coverage of the sewage system and population density. To determine the nitrate levels, results of tests performed in the laboratories of the Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE are used. The analytical results are compared with the potability standards of Consolidation Ordinance No. 05/2017, annex XX, of the Ministry of Health, with the nitrate limit value being  $10.0 \text{ mgNO}_3^-/\text{L}$ . Information related to the sanitary sewage collection system in Juazeiro do Norte was provided by CAGECE and information related to population density by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). Final results indicate some cause and effect relationship between high levels of nitrate and the gaps in the coverage of the sewage collection system and the location of population settlements. Considering that water from wells is the only source of supply for the city, this work demonstrates the need to expand its sewage system, as well as other environmental sanitation measures, such as the proper disposal of solid waste and protection of exploitation points. In the ODS 2030 agenda, this dissertation is aligned and associated with items 6 and 12. Item 6 - Drinking water and sanitation and item 12 - Responsible consumption and production.

**Keywords:** Groundwater. Human Consumption. Contamination. Urban Management.

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 01</b> - Doenças relacionadas com a água	27
<b>Quadro 02</b> - Histórico e estimativa da população.....	44
<b>Quadro 03</b> - Critérios de poluição para os poços tubulares .....	64
<b>Quadro 04</b> - Possíveis fontes de poluição .....	65
<b>Quadro 05</b> - Dados litológico PT 2.....	96
<b>Quadro 06</b> - Dados litológico PT 3.....	97
<b>Quadro 07</b> - Dados litológico PT 6. ....	98
<b>Quadro 08</b> - Dados litológico PT 7 .....	99
<b>Quadro 09</b> - Dados litológico PT 28 .....	100
<b>Quadro 10</b> - Dados litológico PT 35 .....	101
<b>Quadro 11</b> - Dados litológico PT 1 .....	102
<b>Quadro 12</b> - Dados litológico PT 4 .....	103
<b>Quadro 13</b> - Dados litológico PT 5 .....	104
<b>Quadro 14</b> - Dados litológico PT 8 .....	105
<b>Quadro 15</b> - Dados litológico PT 27 .....	106
<b>Quadro 16</b> - Dados litológico PT 30 .....	107

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01</b> - Mapa da localização do município de Juazeiro do Norte .....	37
<b>Figura 02</b> - Exemplo da dinâmica da reserva dos aquíferos .....	38
<b>Figura 03</b> - Distribuição esquemática dos aquíferos .....	41
<b>Figura 04</b> - Mapa geológico do município de Juazeiro do Norte .....	42
<b>Figura 05</b> - Mapa domínio hidro geológico de Juazeiro do Norte .....	42
<b>Figura 06</b> - Sistema de esgotamento sanitário e localização dos poços .....	50
<b>Figura 07</b> - Mapa da vulnerabilidade e risco de contaminação .....	54
<b>Figura 08</b> - Foto A e B: lixo e esgoto lançado no riacho dos macacos .....	56
<b>Figura 09</b> - Foto C: riacho dos macacos com esgoto e sua margem desmatada e queimada .....	56
<b>Figura 10</b> - Foto D e E: ausência de esgotamento sanitário .....	58
<b>Figura 11</b> - Vista de um dos cemitérios (do Socorro) e das Lagoas de Estabilização .....	59
<b>Figura 12</b> - Fotos F a L - poços com teores de nitrato acima de 10mg/L NO <sub>3</sub> .....	60
<b>Figura 13</b> - Vista satélite dos 48 poços tubulares (PTs), que abastecem Juazeiro do Norte .....	61
<b>Figura 14</b> - Mapa com densidade populacional e esgotamento sanitário por bairro .....	71
<b>Figura 15</b> - Mapa dos poços tubulares e teores de nitrato .....	80

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01</b> - População e densidade demográfica por bairro de Juazeiro do Norte .....	46
<b>Tabela 02</b> - Cobertura de esgotamento sanitário por bairro .....	48
<b>Tabela 03</b> - Resultados laboratoriais das análises químicas de nitrato acima de 10mg/L dos poços, primeiro semestre 2013 a 2019.....	68
<b>Tabela 04</b> - Resultados laboratoriais das análises químicas de nitrato acima de 10mg/L dos Poços, Segundo Semestre 2013 a 2018.....	70
<b>Tabela 05</b> - Resultados laboratoriais das análises químicas de nitrato acima de 5,0mg/L até 10mg/L dos poços, primeiro semestre 2013 a 2019 .....	72
<b>Tabela 06</b> - Resultados laboratoriais das análises químicas de nitrato acima de 5,0mg/L até 10mg/L dos poços, segundo semestre 2013 a 2018 .....	73
<b>Tabela 07</b> - Resultados laboratoriais das análises químicas de nitrato até 5,0mg/L dos poços primeiro semestre 2013 a 2019 .....	74
<b>Tabela 08</b> - Resultados laboratoriais das análises químicas de nitrato até 5,0mg/L dos poços primeiro semestre 2013 a 2019 .....	75
<b>Tabela 09</b> - Resultados laboratoriais das análises químicas de nitrato até 5,0mg/L dos poços, segundo semestre 2013 a 2018 .....	77
<b>Tabela 10</b> - Resultados laboratoriais das análises química de nitrato até 5,0mg/L dos poços, segundo semestre 2013 a 2018 .....	78
<b>Tabela 11</b> - Informações dos poços tubulares estudados .....	108

## LISTA DOS GRÁFICOS

<b>Gráfico 01</b> - Histórico e estimativo da população de Juazeiro do Norte .....	45
<b>Gráfico 02</b> - Teores de nitrato acima de 10mg/L, primeiro semestre 2013 a 2019 .....	69
<b>Gráfico 03</b> - Teores de nitrato acima de 10mg/L, segundo semestre 2013 a 2018 .....	70
<b>Gráfico 04</b> - Teores de nitrato acima de 5,0mg/L até 10mg/L, primeiro semestre 2013 a 2019 .....	73
<b>Gráfico 05</b> - de nitrato acima de 5,0mg/L até 10mg/L, segundo semestre 2013 a 2019 .....	73
<b>Gráfico 06</b> - Teores de nitrato até 5,0mg/L, primeiro semestre 2013 a 2019 .	75
<b>Gráfico 07</b> - Teores de nitrato até 5,0mg/L, primeiro semestre 2013 a 2019 .	76
<b>Gráfico 08</b> - Teores de nitrato até 5,0mg/L, segundo semestre 2013 a 2018 .	77
<b>Gráfico 09</b> - Teores de nitrato até 5,0mg/L, segundo semestre 2013 a 2018 .	79
<b>Gráfico 10</b> - Quantidade de poços tubulares e suas porcentagens em relação aos teores de nitrato .....	81

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	22
<b>2.1 Geral</b> .....	22
<b>2.2 Específicos</b> .....	22
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	23
<b>3.1 Crescimento populacional e saneamento</b> .....	23
<b>3.2 Sistema de esgotamento sanitário</b> .....	25
3.2.1 Doenças relacionadas com a alta de saneamento básico .....	26
3.2.2 Doenças relacionadas com a água .....	27
<b>3.3 Contaminação de águas por nitrato no Brasil e suas consequências</b> .....	28
<b>3.4 Fontes de poluição</b> .....	33
3.4.1 Fontes pontuais de poluição .....	35
3.4.2 Fontes lineares de poluição .....	35
3.4.3 Fontes difusas de poluição .....	36
3.4.4 O potencial de poluição da água subterrânea .....	36
<b>4 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	37
<b>4.1 Localização da área</b> .....	37
<b>4.2 Recarga dos sistemas aquíferos</b> .....	38
<b>4.3 Sistemas hidro geológicos da cidade de Juazeiro do Norte - CE</b> .....	39
4.3.1 Hidrogeologia .....	39
4.3.2 Geomorfologia .....	41
4.3.3 Sistemas hidro geológico aluviões e cobertura .....	43
4.3.4 Sistema hidro geológico Brejo Santo .....	43
4.3.5 Sistema hidro geológico Mauriti, Missão Velha e rio Batateiras .....	43
4.3.6 Sistema hidro geológico Cachoerinha/Granitóides .....	44
<b>4.4 Aspectos demográficos e sociais</b> .....	44
<b>4.5 Descrição do sistema de esgotamento sanitário de Juazeiro do Norte - CE</b> ...	46
4.5.1 Estação de tratamento de esgoto - ETE Malvas .....	51
4.5.2 Estação de tratamento de esgoto - ETE Vila Três Marias .....	51

4.5.3 Estação de tratamento de esgoto - ETE Minha Casa Minha Vida .....	51
4.5.4 Estação de tratamento de esgoto - ETE Mutirão .....	52
4.5.5 Estação de tratamento de esgoto - ETE Prourb -Triângulo .....	52
<b>4.6 Fontes potenciais de poluição .....</b>	<b>52</b>
4.6.1 Cemitérios .....	54
4.6.2 Lixões, aterro sanitário e aterros não controlados.....	55
4.6.3 Drenagens superficiais .....	56
4.6.4 Ausência de esgotamento sanitário.....	57
4.6.5 Lagoas de Estabilização.....	58
<b>4.7 Poços tubulares que abastecem a cidade .....</b>	<b>59</b>
<b>5 METODOLOGIA .....</b>	<b>62</b>
<b>5.1 Amostragem e procedimentos analíticos .....</b>	<b>62</b>
<b>5.2 Análise da qualidade da água e sua relação com a cobertura de esgoto e densidade populacional .....</b>	<b>63</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>68</b>
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>82</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>86</b>
<b>APÊNDICE A – PERFIL DOS POÇOS QUE APRESENTAM TEORES DE NITRATO ACIMA DE 10,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> .....</b>	<b>96</b>
<b>APÊNDICE B – RELATÓRIO TÉCNICO – QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA QUE ABASTECE JUAZEIRO DO NORTE-CE: RELAÇÃO COM COBERTURA DE ESGOTO E DENSIDADE POPULACIONAL .....</b>	<b>108</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>177</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento fundamental para a manutenção de todas as formas de vida em nosso planeta. Entretanto, apesar de dois terços da superfície da Terra serem cobertos por água, apenas uma pequena porção dessa água é doce e não está uniformemente distribuída pela superfície do planeta, ocorrendo regiões de extrema escassez e outras com relativa abundância. No Brasil, um dos países com maior disponibilidade hídrica da Terra (13,8%), existem regiões extremamente ricas, como a amazônica, e outras com baixa disponibilidade (ANA, 2005). Durante muito tempo, acreditou-se que a água era um bem infinito e que, ao circular na natureza, seria capaz de eliminar todos os seus poluentes. Carneiro (2007, p. 10) assinala que “atualmente, a água é considerada pelos especialistas como um recurso renovável, porém finito, pois a poluição e o uso dos recursos hídricos têm crescido de tal forma que não permitem a reposição na velocidade necessária ao consumo”.

Com a expansão desordenada dos centros urbanos, a ocupação de áreas que ficam às margens dos mananciais superficiais e subterrâneos, combinada com a precariedade ou a falta de saneamento básico nessas regiões, têm sido os principais fatores responsáveis pela deterioração da qualidade sanitária da água dos mananciais de mais fácil acesso à população. Esses mananciais geralmente recebem excessivos aportes de carga orgânica, nutrientes e patógenos, resultantes das atividades antrópicas em seu entorno, com lançamento in natura ou sem tratamento adequado das águas residuárias, de forma direta sobre o solo ou na água, comprometendo, assim, a capacidade de suporte destes corpos hídricos, diminuindo sua capacidade de restaurar suas características ambientais naturalmente.

As águas subterrâneas são essenciais para a vida, não apenas por abastecerem as cidades e o campo e servirem de insumo para diversas atividades econômicas, mas também por sustentarem vários sistemas aquáticos como rios, lagos, mangues e pântanos. Ao contrário das águas superficiais, as águas subterrâneas não se revelam facilmente aos olhos, fato que compromete sua gestão. De acordo com Tavares *et al.* (2009), é inegável o papel fundamental que esse recurso assume no desenvolvimento socioeconômico dos países e, neste sentido, identifica-se uma situação que merece

crescente preocupação: garantir o abastecimento econômico e seguro de água potável nos meios urbano e rural, sem comprometer a oferta e qualidade de tais recursos hídricos. Nesse contexto, as fontes de água subterrânea se mostram com importância estratégica, uma vez que oferecem uma alternativa de suprimento de qualidade a relativo baixo custo.

As águas subterrâneas desempenham um importante papel no desenvolvimento econômico, isso devido à sua disponibilidade e abundância, e servem como fonte de água potável na maioria dos países do mundo. Em muitos casos é a única fonte de abastecimento em comunidades rurais e áreas industriais (SINGH *et al.*, 2015; ZHANG; ANGELIDAK, 2013). Nos últimos anos as atividades industriais e agrícolas têm aumentado consideravelmente, resultando na geração de poluentes tóxicos, tais como ânions inorgânicos, íons metálicos, substâncias químicas e orgânicas sintéticas (BARTUCCA *et al.*, 2016; BHATNAGARA; SILLANPÄÄB, 2011). Até a década de 1970, acreditava-se que as águas subterrâneas estavam naturalmente protegidas da contaminação, pelas camadas de solo e de rochas. Entretanto, a partir de então, foram detectados traços da presença de contaminantes em águas subterrâneas, e diversos estudos foram sendo conduzidos no sentido de se avaliar sua segurança (BIGUELINI; GUMY, 2012).

A constante necessidade de monitoramento dessas águas veio se afirmando cada vez mais no decorrer das últimas décadas e, segundo Tucci e Cabral (2003), tal realidade está relacionada ao desenvolvimento urbano, agrícola e industrial, o qual tem produzido grandes impactos sobre os mananciais superficiais e subterrâneos. Os impactos são do tipo quantitativo, quando o rebaixamento do nível d'água dos aquíferos ocorre em face da superexploração do manancial, e qualitativo, quando o manancial é contaminado por poluentes. O risco potencial de um determinado aquífero ser contaminado está relacionado ao tipo de contaminante e suas características, como: litologia, hidrogeologia, gradientes hidráulicos, entre outros. A maior ou menor susceptibilidade de um aquífero à contaminação e poluição é chamada de vulnerabilidade. A poluição/contaminação da água subterrânea pode ser direta ou indireta. Ambas podem estar relacionadas com as atividades humanas e/ou por processos naturais.

Devido à sua alta solubilidade em água, o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) é, possivelmente, o contaminante mais difundido na água subterrânea no mundo, resultando numa séria ameaça para o abastecimento de água potável. Um grande número de ânions inorgânicos tem sido encontrado em concentrações potencialmente nocivas em inúmeras fontes de água potável. Destes, o nitrato é uma preocupação ambiental em escala global. (HOU *et al.*, 2015; SINGH *et al.*, 2015; BHATNAGARA; SILLANPÄÄB, 2011; GANESAN *et al.*, 2013).

O comprometimento da qualidade dessas águas se intensifica nas cidades densamente povoadas que fazem uso do sistema de saneamento *in situ* (quer por fossas sépticas ou fossas rudimentares) e são abastecidas, totais ou parcialmente, por águas subterrâneas captadas de aquíferos rasos, livres ou semiconfinados. Dentre os contaminantes presentes nesse sistema de saneamento destacam-se o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ). Além do saneamento *in situ*, o uso de fertilizantes agrícolas e a criação de animais constituem outras importantes fontes de nitrato e/ou amônio em água subterrânea (CABRAL, 2007). O nitrato em concentrações superiores a 10 mg/L  $\text{NO}_3\text{-N}$ , constituem importantes ameaças à saúde humana (VARNIER; HIRATA, 2000). Esse íon geralmente ocorre em baixos teores nas águas superficiais, mas pode atingir altas concentrações em águas profundas. O seu consumo por meio das águas de abastecimento está associado a dois efeitos adversos à saúde: a indução à metemoglobinemia, especialmente em crianças, e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (BOUCHARD *et al.*, 1992).

Dessa forma, a regulação e a gestão dos impactos sobre a qualidade da água subterrânea devido a efluentes agrícolas, urbanos e industriais consistem os principais problemas atuais em todo o mundo. Geralmente, esses impactos ocorrem em áreas onde parte da população retira água desses mananciais subterrâneos poluídos para seu uso, gerando riscos e impactos para a saúde (TUCCI; CABRAL, 2003). É importante enfatizar que o aumento da contaminação das águas por compostos nitrogenados vem merecendo atenção especial, uma vez que está se tornando um problema mundial, devido a sua ampla e diversificada procedência (BIGUELINI; GUMY, 2012).

É eminente a dependência do homem em relação à água, bem como o baixo índice de disponibilidade hídrica para as atividades humanas. Assim, é necessário se conservar esse bem tão fundamental por meio de práticas de uso sem desperdícios e evitando-se a contaminação dos corpos d'água. Por essa razão, o controle de sua qualidade sanitária deve ser contínuo e rigoroso, tendo em vista que uma água de má qualidade aumenta o risco de doenças de transmissão hídrica, por atuar como veículo para vários patógenos. Mesmo estando naturalmente mais protegidas, as águas subterrâneas não estão livres de poluição e exploração inadequada. Além do conhecimento das condições de armazenamento, circulação e do seu uso atual, o aproveitamento desse recurso estratégico necessita de um planejamento criterioso. As águas subterrâneas cumprem função importante e, em inúmeros casos, são vitais para o fornecimento de água potável. Por isso, recomenda-se a sua proteção, com eliminação das causas de possíveis contaminações, bem como o uso de filtração, antes da desinfecção, para reduzir, a um nível significativo, o risco de transmissão de qualquer contaminante pela água (ABRAMOVICH *et al.*, 1998).

A porção sul do Ceará, onde está localizada a Bacia Sedimentar do Araripe, possui a maior reserva de água subterrânea do estado. As águas subterrâneas da Bacia do Araripe são o único recurso hídrico utilizado ao longo do ano para abastecimento humano e outras atividades como uso na indústria, dessedentação animal e irrigação. As águas subterrâneas constituem-se no principal patrimônio para essa região, onde estão localizadas cidades importantes em termos de desenvolvimento social, político e econômico, a exemplo de Juazeiro do Norte. A urbe é totalmente abastecida por poços tubulares que captam água subterrânea de excelente qualidade físico-química. No entanto, a crescente ocupação urbana vem causando inúmeros problemas relacionados ao uso e ocupação do meio físico, podendo comprometer a qualidade da água e a saúde da população local.

Juazeiro do Norte está localizada ao sul do Estado do Ceará, no Vale do Cariri, e é considerada a maior cidade do interior cearense em aspecto de desenvolvimento. Inserida na bacia hidrográfica do Salgado, apresenta como principais drenagens o riacho dos Macacos e o rio Salgado. Quase 100% da população urbana é abastecida basicamente com água proveniente de 53 poços tubulares, implantados pela

Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE, a partir de 1976, com uma produção média de 2.800,00 m<sup>3</sup>/h, operados 24 h/dia. Oito poços da bateria encontram-se nas margens do riacho dos Macacos, que anteriormente drenava a área que saía do aquífero Rio da Batateira. Hoje, o fluxo natural deste riacho é substituído por águas de esgotos. Este trabalho apresenta os resultados do monitoramento da qualidade da água do período de 2013 a 2019 de 48 desses poços tubulares, tendo em vista que os outros cinco poços foram perfurados recentemente. Analisa-se o parâmetro de nitrato, e discute-se a influência antrópica na qualidade das águas subterrâneas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

- ✓ Avaliar a relação entre cobertura de esgotamento sanitário e densidade populacional com a poluição do aquífero em relação à presença de nitrato.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Analisar os teores de nitrato nos poços, relacionando-os à existência, ou não, do esgotamento sanitário;
- ✓ Analisar a relação dos teores de nitrato com a densidade populacional;
- ✓ Analisar a relação dos teores de nitrato com as profundidades dos poços e vazões exploradas.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Crescimento populacional e saneamento**

O desenvolvimento urbano pode ser descrito como a melhoria das condições materiais e subjetivas de vida nas cidades, com diminuição da desigualdade social e garantia da sustentabilidade ambiental, social e econômica. Os impactos causados pelo crescimento urbano afetam intimamente os serviços de saneamento básico. Quanto maior a população, mais intenso será o consumo de água, a geração de lixo e o acúmulo de poluição. Por isso, o grande desafio é alcançar a eficiência nas quatro vertentes do segmento, buscando a preservação ambiental e a promoção de um espaço urbano saudável.

Quando se tem investimento no saneamento básico em um município, sabe-se que há uma melhora na qualidade de vida da população e na proteção ao meio ambiente urbano, o município se desenvolve, gerando emprego e renda para a cidade. A universalização do saneamento traz resultados positivos a todos, em particular os que estão ligados ao meio ambiente, à redução da pobreza e da mortalidade infantil, à educação e à igualdade de gênero.

O acesso ao saneamento é considerado direito e condição para a manutenção da saúde e de um ambiente sustentável. Esgotamento sanitário é um dos componentes do saneamento e ele controla a proliferação de vetores, a transmissão de doenças e da poluição ambiental, em caráter complementar ao abastecimento de água, coleta e tratamento de lixo e a drenagem urbana (Brasil, Lei do Saneamento N° 11.445, de 5 de janeiro de 2007). Apesar da urgência e necessidade da implementação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos, várias alternativas técnicas de saneamento estão disponíveis, com resultados diferentes sobre saúde, ambiente e qualidade de vida. Por exemplo, a disposição final de dejetos em rios e lagoas retira o esgoto das residências e reduz o contato de moradores com agentes infecciosos, mas contamina o ambiente, ameaça a fauna local e expõe os usuários destes corpos d'água a doenças (SCHERTENLEIB, 2009).

É complexo o problema do saneamento e não pode ser resumido a uma categoria, de presença ou ausência da rede de coleta. São diferentes configurações, que dependem do tipo de solo e relevo, da habitação, capacidade de investimento, renda e da atuação do Estado. Serviços de água e esgoto constituem a agenda histórica dos residentes urbanos em países em desenvolvimento. No entanto, grande parte desse movimento é invisível em documentos do governo. O acesso a informações detalhadas e de bases territoriais é um fator chave para o empoderamento dos grupos sociais envolvidos em conflitos. Assim, a participação da sociedade, desde a concepção inicial do projeto até sua fase de implementação e de gestão, pode propiciar uma concepção de projetos de saneamento mais adequada aos contextos locais (TEIXEIRA *et al.*, 2012).

Atualmente, a água encontrada na natureza é em geral inapropriada para o consumo humano, devido à presença de uma série de contaminantes que podem ser prejudiciais à saúde (RICHTER, 2009). Na maior parte das vezes, esses contaminantes são resultantes de atividades do próprio homem (que contamina a água com esgoto, lixo, pesticidas agrícolas, fertilizantes e outros). Desta forma, o homem criou maneiras de retirar a água dos cursos d'água, tratá-la e posteriormente distribuí-la para consumo (PEREIRA, 2012). Com a problemática da saúde pública e da poluição do meio ambiente, a humanidade foi obrigada a encontrar soluções de saneamento para o abastecimento de água potável, a coleta e o tratamento dos esgotos, coleta e o tratamento dos resíduos sólidos e para a drenagem das águas de chuva. A falta de uma gestão adequada, o crescimento desordenado dos centros urbanos, os usos e ocupações do solo inadequadamente, têm ocasionado graves problemas ambientais, uma vez que a população ocupa áreas que ficam às margens dos mananciais e utilizam indevidamente estes recursos hídricos. Dessa forma, combinado com a precariedade do saneamento básico, ou inexistência deste, o crescimento urbano tem sido um dos principais fatores de degradação da qualidade sanitária das águas.

O município de Juazeiro do Norte é um exemplo de como as atividades antrópicas deterioram a qualidade sanitária de suas águas, resultando em prejuízos não somente para o meio ambiente como também à saúde da população, uma vez que a falta de saneamento em diversos bairros do município contribui para o lançamento de

efluentes domésticos e industriais, in natura ou parcialmente tratados, neste rio. Esta prática contamina as águas deste manancial, tornando-as veículo de transmissão para diversas doenças. Trabalho realizado por Bezerra *et al.* (2012), com amostragem de águas da bateria de poços localizados às margens do Riacho dos Macacos, demonstrou que, em 57,14% das amostras, os níveis de nitrato estavam acima do valor permitido. Santos *et al.* (2014), em estudo também envolvendo a bateria de poços de Juazeiro do Norte, afirmam que devem ser tomadas precauções para impedir a presença de esgoto e lixo na área do aquífero, a fim de evitar a infiltração de efluentes que poderão, no futuro, levar as comunidades que o exploram através de poços mais rasos à calamidade sanitária.

### **3.2 Sistemas de esgotamento sanitário**

O sistema de esgotos existe para afastar a possibilidade de contato de dejetos humanos com a população, com as águas de abastecimento, visando o controle de doenças e outros agravos. Quando se tem a construção de um sistema de esgotamento sanitário em uma comunidade espera-se o afastamento do esgoto, coleta, tratamento e destino adequado. Como consequência disso tem-se melhoria na qualidade de vida das pessoas, redução dos recursos aplicados no tratamento de doenças, conservação do meio ambiente, eliminação de focos de contaminação e poluição, ausência de problemas estéticos desagradáveis e diminuição dos custos no tratamento de água para abastecimento (LEAL, 2008). Saneamento significa higiene e limpeza (CAVINATTO, 1992).

Dentre as principais atividades de saneamento estão a coleta e o tratamento de resíduos das atividades humanas tanto sólidos quanto líquidos (lixo e esgoto). Incluem-se ainda no campo de atuação do saneamento a drenagem das águas das chuvas, prevenção de enchentes e cuidados com as águas subterrâneas. O déficit em esgotamento sanitário é apontado como uma das causas para a contaminação de águas subterrâneas pelo íon de nitrato, uma vez que a utilização de fossas rudimentares leva a contaminação do lençol freático através da percolação do esgoto.

Os esgotos domésticos são uma das principais fontes de poluição química antrópica dos recursos hídricos nas áreas urbanas. No Brasil, o índice de coleta de esgotos domésticos é de 33,5% e o tratamento chega apenas a 35% do total coletado, o que perfaz um índice de tratamento de 11,7% do volume total de esgoto doméstico gerado. É esperado um aumento significativo no volume de tratamento de esgotos, mas, mesmo que o volume seja dobrado, o Brasil ainda vai ficar com um índice de tratamento de esgotos domésticos abaixo de 25% (FINOTI *et al.*, 2009). No Brasil, existem vários estudos que abordam a contaminação de aquíferos por nitrato e amônio provenientes de efluentes domésticos. Dentre esses, podem ser citados os estudos de Szikszay *et al.* (1990), Melo (1995) e Melo, Queiroz e Hunziker (1998).

### 3.2.1 Doenças relacionadas com a falta de saneamento básico

Os parasitas em geral possuem duas fases de vida: uma dentro do hospedeiro e outra no meio ambiente. Enquanto estão no corpo do hospedeiro, eles possuem condições ideais para seu desenvolvimento, como temperatura e umidade adequadas, além de dispor de alimento em abundância. Quando estão no meio ambiente, ao contrário, estão ameaçados e morrem com facilidade, devido à luminosidade excessiva, à presença de oxigênio, de calor, e à falta de alimentos. O tempo que esses microrganismos passam fora do hospedeiro deve ser suficiente apenas para que alcancem novos organismos, continuando seu ciclo de vida.

Normalmente os parasitas são eliminados pelo portador junto com suas excretas, isto é, fezes, urina e catarros, e então se misturam com os microrganismos que vivem livremente no solo, na água e no ar. Assim, uma pessoa ainda sadia poderá ficar doente se ingerir água ou alimentos contaminados e também se andar descalça ou mexer diretamente na terra que contenha excretas de pessoas enfermas. É comum os parasitas serem disseminados por insetos (moscas, mosquitos, pulgas e baratas), ratos e outros animais que, por essa razão, são chamados de vetores. Muitas vezes, a transmissão de doenças ocorre quando estes animais picam uma pessoa enferma e em seguida uma pessoa sadia.

A maior parte das doenças transmitidas para o homem é causada por microrganismos, organismos de pequenas dimensões que não podem ser observados a olho nu. Os principais grupos de microrganismos que podem provocar doenças no homem são: os vírus (ex.: vírus da hepatite); as bactérias (ex.: vibrião colérico, que é o agente da cólera); os protozoários (ex.: ameba); os helmintos, que provocam as verminoses, podem ser microscópicos (ex.: filaria, que é o agente da elefantíase), ou apresentarem maiores dimensões (ex.: os parasitas que atacam o intestino humano).

### 3.2.2 Doenças relacionadas com a água

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), grande parte de todas as doenças que se alastram nos países em desenvolvimento é proveniente da água de má qualidade, conforme a Tabela 1. A água contaminada pode prejudicar a saúde das pessoas, nas seguintes situações: através da ingestão direta; na ingestão de alimentos; pelo seu uso na higiene pessoal e no lazer; na agricultura; na indústria.

**Quadro 1** - Doenças relacionadas com a água

Grupo de doenças	Formas de transmissão	Principais doenças	Formas de prevenção
Transmitidas pela via feco-oral	O organismo patogênico (agente causador de doença) é ingerido.	diarréias e disenterias; cólera; giardíase; amebíase; ascaridíase (lombriga)...	- proteger e tratar águas de abastecimento e evitar uso de fontes contaminadas...
Controladas pela limpeza com a água (associadas ao abastecimento insuficiente de água)	A falta de água e a higiene pessoal insuficiente criam condições favoráveis para sua disseminação	infecções na pele e nos olhos, como tracoma e o tifo relacionado com piolhos, e a escabiose.	- fornecer água em quantidade adequada e promover a higiene pessoal e doméstica.
Associadas à água (uma parte do ciclo da vida do agente infeccioso ocorre em um animal aquático)	O patogênico penetra pela pele ou é ingerido.	esquistossomose.	- evitar o contato de pessoas com águas infectadas; - proteger mananciais.
Transmitidas por vetores que se relacionam com a água	As doenças são propagadas por insetos que nascem na água ou picam perto dela.	malária; febre amarela; dengue; filariose (elefantíase).	- combater os insetos transmissores; - eliminar condições que possam favorecer criadouros.

Fonte: Barros *et al.* (1995).

### 3.3 Contaminação de águas por nitrato no Brasil e suas consequências no organismo humano

A qualidade da água é definida em função de valores máximos permitidos para variáveis físicas, químicas e biológicas. A classificação dos corpos d'água é estabelecida a partir da Resolução CONAMA nº. 357 de 15 de março 2005, que enquadra as águas em nove classes através de condições indispensáveis, visando os diferentes usos e equilíbrio ecológico dos corpos d'água. A água para consumo humano deve-se ajustar a padrões adequados de potabilidade segundo as normas do Ministério da Saúde e da Organização Mundial de Saúde. A Portaria de Consolidação PRC n. 05/2017, anexo XX, estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, bem como o seu padrão de potabilidade. A água destinada ao abastecimento humano não deve conter mais que 10,0 mg  $\text{NO}_3^-/\text{L}$  de nitrato.

#### 3.3.1 Nitrato

O nitrato é um ânion cuja fórmula química é  $\text{NO}_3^-$ . Ele se origina a partir de processos químicos e microbiológicos que ocorrem no ar, solo, planta e água. Dentre os constituintes inorgânicos que existem nas águas subterrâneas, é o que possui ocorrência mais generalizada e uma das mais problemáticas, uma vez que possui alta mobilidade e persistência, sob condições aeróbias. Esse contaminante pode também causar outro importante impacto ambiental, relacionado aos processos de eutrofização nos corpos de águas superficiais ou mesmo à morte de organismos aquáticos, se presente em altas concentrações. Em condições anaeróbias, o nitrato pode ser convertido, mediante atividade microbiológica, a outros compostos nitrogenados (nitrito –  $\text{NO}_2^-$ ; óxido de nitrogênio -  $\text{NO}$ ; oxigênio nitroso -  $\text{N}_2\text{O}$ ) até o nitrogênio molecular ( $\text{N}_2$ ) pelo processo denominado desnitrificação.

O nitrogênio é um importante elemento nas reações biológicas. Os compostos de nitrogênio estão presentes no meio ambiente fazendo parte de um ciclo, onde pode se apresentar como nitrogênio gasoso ( $\text{N}_2$ ), como compostos nitrogenados na sequência de oxidação de nitrogênio na forma de amônia  $\text{NH}_4^+$ , nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ),

sendo esses processos vitais na cadeia alimentar (LOGANATHAN *et al.*, 2013; PATIL *et al.*, 2013; VESILIND e MORGAN, 2013; FONSECA, 2008). Quando a amônia se combina com a água do solo, forma hidróxido de amônia que, ionizando-se, produz  $\text{NH}_4^+$ , (íon amônio) e  $\text{OH}^-$  (hidroxila). Os íons amônio presentes no solo são absorvidos pelas plantas ou são aproveitados por bactérias do gênero *Nitrosomonas* e *Nitrosococcus* (BAIRD; CANN, 2011; KINDLEIN, 2010; FONSECA, 2008).

O nitrato é a forma mais completamente oxidada do nitrogênio e é formado durante os estágios finais da decomposição biológica, tanto em estações de tratamento de água, como em mananciais de água natural. Sua presença não é estranha, principalmente em águas armazenadas em cisternas em comunidades rurais. Nitratos inorgânicos, assim como o nitrato de amônia, são largamente utilizados como fertilizantes. Baixas concentrações de nitrato podem estar presentes em águas naturais (ALMASRI, 2007). O nitrato das águas subterrâneas é originado principalmente da aplicação de fertilizantes nitrogenados, tanto inorgânicos, como proveniente de esterco animal, deposição atmosférica, esgoto doméstico, bem como lixiviação de áreas agrícolas e lixões (FRANCA, 2006).

O aumento do uso de fertilizantes à base de nitrogênio ao longo das últimas décadas também levou ao aumento da lixiviação e do escoamento deste elemento ameaçando a qualidade da água, especialmente em áreas agrícolas, onde as elevadas concentrações de nitrato são comuns (BUROW *et al.*, 2010). O nitrato possui grande mobilidade no solo e é extremamente solúvel na água podendo, assim, facilmente contaminar as águas subterrâneas (ENSIE; SAMAD, 2014; BARBOSA, 2005). Em águas subterrâneas o nitrato indica que há fonte de contaminação por esgoto doméstico (fossas), lixo, fertilizantes agrícolas, agrotóxicos e efluentes ou resíduos industriais e ainda a sua presença em águas destinadas ao consumo humano pode causar uma doença chamada de metahemoglobinemia em crianças (CETESB, 1998).

### 3.3.2 Ciclo do Nitrogênio

O nitrogênio é considerado o principal constituinte da atmosfera, com aproximadamente 78% em volume. Este elemento ocorre na natureza em muitos

estados de oxidação, variando desde  $-3(\text{NH}_3)$ , na forma mais reduzida, até  $+5(\text{NO}_3^-)$ , mais oxidada:



As formas mais comumente encontradas nas águas subterrâneas são as seguintes: nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e nitrogênio molecular ( $\text{N}_2$ ). Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e óxido de nitrogênio ( $\text{NO}$ ), por sua vez, são formas intermediárias no processo de oxidação e pouco estáveis, implicando em baixas concentrações na água. O gás amônia ( $\text{NH}_3$ ) é altamente volátil, podendo estar dissolvido na água somente em ambiente muito alcalino ( $\text{pH} > 9$ ). Os solos, oceanos, lagos e a atmosfera constituem as principais fontes naturais desse elemento no planeta. A mobilidade do nitrogênio entre os ecossistemas é contínua, sendo feita pelo vento, água e agentes microbiológicos.

Pode-se encontrar a amônia naturalmente nas águas superficiais e subterrâneas, sendo que normalmente sua concentração é bastante baixa devido à sua fácil adsorção por partículas do solo ou à oxidação a nitrito e nitrato. Podem ocorrer concentrações elevadas devido às fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo. A presença da amônia produz efeito significativo no processo de desinfecção da água pelo cloro, através da formação de cloraminas, que possuem baixo poder bactericida (BATALHA; PARLATORE, 1993). Geralmente o nitrato é encontrado em águas naturais. Nas águas superficiais os seus teores tendem a ser baixos, já nas águas profundas pode atingir altas concentrações (APHA, 1992).

O seu consumo através das águas de abastecimento está associado a dois efeitos adversos à saúde: a indução à metemoglobinemia, especialmente em crianças, e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (AWWA, 1990). As crianças pequenas, principalmente as menores de 3 meses de idade, são bastante susceptíveis ao desenvolvimento desta doença devido às condições mais alcalinas do seu sistema gastrointestinal, fato também observado em pessoas adultas que apresentam gastroenterites, anemia, porções do estômago cirurgicamente removidas e mulheres grávidas (OLIVEIRA *et al.*, 1987). O nitrito, quando presente na água de consumo humano, tem um efeito mais rápido e pronunciado do que o nitrato. Se o

nitrito for ingerido diretamente, pode ocasionar metemoglobinemia independente da faixa etária do consumidor (BATALHA; PARLATORE, 1993).

As nitrosaminas e nitrosamidas podem surgir como produtos de reação entre o nitrito ingerido ou formado pela redução bacteriana do nitrato, com as aminas secundárias ou terciárias e amidas presentes nos alimentos. O pH ótimo para a reação de nitrosaminação é entre 2,5 a 3,5, faixa semelhante à encontrada no estômago humano após a ingestão de alimentos (AWWA, 1990). Tanto as nitrosaminas como as nitrosamidas estão relacionadas com o aparecimento de tumores em animais de laboratório (BOUCHARD; WILLIAMS; SURAMPALLI, 1992). O nitrato possui ação na síntese de nitrosaminas e nitrosamidas no estômago humano, substâncias conhecidas como carcinogênicas (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997). Ocorre um aumento no risco de aparecimento de linfomas em pessoas que ingerem, em longo prazo, água com até 4 ppm de nitrato. Patologias relacionadas ao nitrato quando, em estudos realizados na Austrália e Canadá, constataram aumento significativo de malformação congênita (BAIRD, 2002).

O nitrato é muito solúvel e dificilmente se precipita. Em meios redutores, tem a tendência de ser estável, podendo passar a  $N_2$  ou  $NH_4^+$  e muito raramente para  $NO_3^-$  em meio oxidante. É muito móvel e altamente deliquescente, podendo ser removido das camadas superiores do solo para a água (BOWER, 1978). As águas subterrâneas apresentam, geralmente, teores de nitrato no intervalo de 0,1 a 10 mg/L, em águas poluídas podem chegar a 1.000 mg/L (FEITOSA *et al.*, 2008). O nitrato tem alta mobilidade nos sistemas aeróbios de águas subterrâneas, como em aquíferos onde o nível estático encontra-se pouco profundo, ou ambientes de alta permeabilidade como em algumas rochas fraturadas. Nestes meios, o nitrato move-se sem retardamento, podendo atingir extensas áreas (FOSTER; CREASE, 1972, *apud* MENDONÇA *et al.*, 2000). O nitrogênio na forma de nitrato presente na água de consumo está associado a doenças com a metahemoglobinemia e a indução de nitrosaminas cancerígenas.

O desenvolvimento da metahemoglobinemia depende da conversão de nitrato para nitrito durante a digestão em pH ácido, o que pode ocorrer na saliva e no trato intestinal. Crianças menores de três meses de idade são bastante susceptíveis ao desenvolvimento desta doença, devido às condições propícias de seu sistema

gastrointestinal (LIBÂNIO, 2010). As altas concentrações de nitrato podem acarretar graves consequências à saúde. No organismo humano o nitrato se converte em nitrito combinando-se com a hemoglobina para formar a metahemoglobina, impedindo o transporte de oxigênio no sangue (SILVA; ARAÚJO, 2003; BAIRD, 2002). Corroborando com estes fatos, em 1992, foram relatados mais de 2.000 casos de metahemoglobina, descritos em meados da década de 70, quando 8% dos casos foram fatais (PACKHAM, 1992).

O nitrito combina-se no sangue com a hemoglobina, obtendo-se metahemoglobina, que não tem a capacidade de fixar o oxigênio durante a passagem pelos pulmões e, por conseguinte, de o transportar para as células. A insuficiência de oxigênio pode levar à paralisia cerebral e ao óbito, caso não haja um tratamento adequado, sobretudo em lactentes com menos de 3 meses. A falta de oxigênio na corrente sanguínea provoca mudança de cor na pele do bebê, que se torna azul, por isso essa doença é comumente designada de “síndrome do bebê azul” (MORGHI *et al.*, 2015; ENSIE; SAMAD, 2014; BIGUELINI; GUMY, 2012; SHRIMALI; SINGH, 2001).

Segundo Foster e Gomes (1989), nitratos podem ser resultantes da degradação por microrganismos de substâncias orgânicas nitrogenadas. Isto reforça a necessidade de monitoramento destas águas e a necessidade de criação de mecanismos de controle. Teores de nitrato elevados aumentam o risco de doença também em grávidas (principalmente na 30ª semana de gravidez), hemodialisados e doentes com diminuição de ácido gástrico no estômago ou com metahemoglobinemia congênita (SANT’ANNA JUNIOR, 2010; FONSECA, 2008). As nitrosaminas e nitrosamidas podem surgir como produtos de reação entre o nitrito ingerido ou formado pela redução bacteriana do nitrato, com as aminas secundárias ou terciárias e amidas presentes nos alimentos (BIGUELINI; GUMY, 2012).

É estabelecido o limite de 10 mg/L de nitrato para água destinada ao abastecimento humano, devido à capacidade do organismo em reverter o processo, produzindo nitrito por redução de nitrato. Para Nugent *et al.* (2001), a elevação dos teores de nitrato na água é indicativo de risco potencial para a presença de outras substâncias indesejáveis, tais como muitas moléculas sintéticas de defensivos agrícolas que possivelmente comportam-se de forma análoga ao nitrato. O nitrato normalmente

ocorre em pequenas concentrações representando o estágio final da oxidação da matéria orgânica. Teores acima de 5,0 mg/L podem ser indicativos de contaminação de água subterrânea por atividades antrópicas, tais como esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos animais, etc. (FEITOSA *et al.*, 2008).

A presença de concentrações de nitrogênio amoniacal e de nitrogênio albuminoide pode estar relacionada com as construções precárias dos poços e a falta de proteção do aquífero, sendo que o conhecimento dos seus teores permite adotar atitudes corretivas rápidas, evitando-se que a contaminação se transforme num problema crônico e irreversível (ALABURDA; NISHIHARA, 1998). Brasil (2002) ressalta a importância de se trabalhar com a conscientização a respeito deste recurso natural, evidenciando que, sem efetivas mudanças comportamentais da sociedade, e sem a aplicação concreta da legislação e diretrizes de proteção ambiental, dentro de poucas décadas a população estará sujeita a um verdadeiro colapso quanto à disponibilidade de água, o que poderá colocar em perigo até mesmo a sobrevivência da humanidade.

A literatura referente aos estudos sobre a avaliação de compostos de nitrogênio em águas de poços no Brasil é reduzida, bem como a divulgação de estudos epidemiológicos com respeito à metahemoglobinemia e à ocorrência do desenvolvimento de alguns tipos de câncer, devido à ingestão de teores elevados de nitrato, são praticamente inexistentes (BIGUELINI; GUMY, 2012).

### **3.4 Fontes de poluição**

Poluição é uma alteração da qualidade físico química da água, suficiente para superar os limites ou padrões pré-estabelecidos para determinado fim. Como fontes potenciais de poluição são consideradas todas aquelas que, em função de suas características físico-químicas e de localização quanto às unidades hidro-estratigráficas, poderão vir a representar uma fonte comprovada, ou efetiva, de poluição para as águas subterrâneas. A poluição capaz de atingir as águas subterrâneas pode ter origem variada. Considerando que os aquíferos são corpos tridimensionais, em geral extensos

e profundos, diferentemente, portanto dos cursos d'água, a forma da fonte poluidora tem importância fundamental nos estudos de impacto ambiental.

Muitos núcleos urbanos de tamanhos variados são hoje abastecidos exclusivamente por água subterrânea. Tem-se um aumento crescente da utilização dos recursos hídricos subterrâneos nesses últimos anos, tanto pelas necessidades decorrentes da concentração demográfica e da expansão econômica, como por suas vantagens relativas sobre as águas superficiais. Todavia, a situação atual da exploração é marcada por uma visão imediatista de uso do recurso, prevalecendo o descontrole e a falta de mecanismos legais e normativos. Os aquíferos estão sujeitos aos impactos da extração descontrolada por poços e da ocupação indisciplinada do solo, que põem em risco a qualidade das águas subterrâneas em diferentes locais do território nacional. A associação e a interação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante aplicada no solo ou em sub-superfície, caracteriza a ideia de risco de poluição.

A vulnerabilidade natural é uma propriedade intrínseca do aquífero, o mesmo não ocorre com a carga poluidora, que pode ser controlada ou modificada. A vulnerabilidade de um aquífero à poluição significa sua maior ou menor susceptibilidade de ser afetado por uma carga contaminante imposta. É um conceito inverso ao de capacidade de assimilação de um corpo de água receptor, com a diferença de que o aquífero possui uma cobertura não saturada que proporciona uma proteção adicional. A interação destes fatores permite avaliar o grau de risco de poluição a que um aquífero está sujeito. Nesta avaliação devem ser ponderadas, ainda, a escala e magnitude do episódio de poluição, assim como a essencialidade do recurso hídrico afetado.

Em áreas urbanas, a principal preocupação é a carga contaminante em zonas residenciais sem esgotamento sanitário, a de partir tanques a fossas negras, que inclui de nutrientes a sais (nitrato a cloro), bactérias a vírus e a compostos orgânicos solúveis. De um modo geral, importa sobretudo identificar e prestar especial atenção àqueles constituintes que apresentam maior ameaça à saúde pública. Dentre os constituintes inorgânicos, os nitratos são os de ocorrência mais generalizada e problemática, devido a sua alta mobilidade a estabilidade em sistemas anaeróbicos.

Considera-se que, mesmo com as dificuldades de se caracterizar a carga contaminante em relação com as águas subterrâneas, é possível estabelecer uma gradação em termos de sua periculosidade (MAZUREK, 1979). A partir das informações sobre os contaminantes envolvidos, a suas concentrações, associadas à carga hidráulica, pode-se estabelecer três níveis (reduzido, moderado, elevado), distinguindo fontes potencialmente perigosas de outras que oferecem pequenos riscos. Nas zonas onde o índice de vulnerabilidade é baixo, as águas dos aquíferos podem ser atingidas de forma lenta por contaminantes degradáveis, como bactérias e vírus, não sendo vulneráveis à maioria dos contaminantes. Em zonas onde o índice de vulnerabilidade é moderado, as águas dos aquíferos podem, em longo prazo, sofrer modificações por contaminantes moderadamente móveis, mais persistentes como hidrocarbonetos halogenados ou não halogenados e alguns metais pesados. Sais menos solúveis são incluídos nesse grupo. Nas zonas onde o índice de vulnerabilidade é alto, as águas dos aquíferos são suscetíveis a muitos contaminantes, exceto àqueles que são muito absorvíveis e/ou facilmente transformáveis (COSTA, 1997, *apud* ARAÚJO, 2001).

#### 3.4.1 Fontes pontuais de poluição

São as que atingem o aquífero através de um ponto, a exemplo de sumidouros de esgotos domésticos, comuns em comunidades rurais, aterros sanitários, vazamentos de depósitos de produtos químicos, vazamentos de dutos transportadores de esgotos domésticos ou produtos químicos. Estas fontes são responsáveis por poluições altamente concentradas na forma de plumas.

#### 3.4.2 Fontes lineares de poluição

São as provocadas pela infiltração de águas superficiais de rios e canais contaminados. A possibilidade desta poluição ocorrer dependerá do sentido de fluxo hidráulico existente entre o curso d'água e o aquífero subjacente. É necessário enfatizar que, ao longo de um mesmo curso, há lugares onde o fluxo se dá do aquífero para o talvegue e outros onde se passa o inverso, isto é, as águas do rio se infiltram em direção ao aquífero. A existência de poços profundos em funcionamento nas

proximidades do curso d'água poderá forçar a infiltração de água contaminada no aquífero invertendo o seu fluxo ou aumentando sua velocidade.

### 3.4.3 Fontes difusas de poluição

São as que contaminam áreas extensas. Normalmente são devidas a poluentes transportados por correntes aéreas, chuva e pela atividade agrícola. Em aglomerados urbanos, onde não haja rede de esgotamento sanitário, as fossas sépticas e sumidouros estão de tal forma regularmente espaçadas que o conjunto acaba por ser uma fonte difusa de poluição. A poluição proveniente das fontes difusas se caracteriza por ser de baixa concentração e atingir grande áreas.

### 3.4.4 O potencial de poluição da água subterrânea

O potencial de poluição da água subterrânea depende:

- Das características, da quantidade e da forma de lançamento do poluente no solo: quanto maior a persistência ou menor capacidade de degradação é maior sua mobilidade no meio solo e água subterrânea, e maior o potencial de poluição. Aliado a isso, uma pequena quantidade de poluentes em regiões muito chuvosas pode transportar rapidamente as substâncias para as águas subterrâneas, mesmo considerando a capacidade do solo em atenuar os efeitos.

- Da vulnerabilidade intrínseca do aquífero: ela pode ser entendida como o conjunto de características que determinam o quanto ele poderá ser afetado pela carga de poluentes. São considerados aspectos fundamentais da vulnerabilidade: o tipo de aquífero (livre a confinado), a profundidade do nível d'água, e as características dos estratos acima da zona saturada, em termos de grau de consolidação e litologia (argila a cascalho). Uma vez poluídas ou contaminadas, as águas subterrâneas demandam um elevado dispêndio de recursos financeiros e humanos para sua remediação. Desta forma, deve-se tomar medidas preventivas de proteção, associadas ao controle de poluição como um todo, definindo-se critérios de qualidade, iniciando-se pelo estabelecimento de Valores Orientadores (FOSTER; HIRATA, 1993).

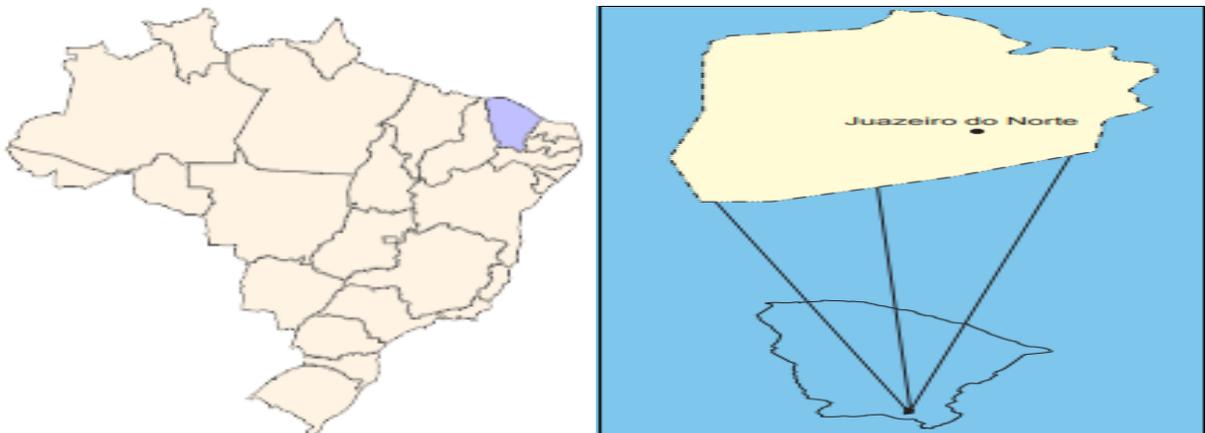
## 4 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 Localização da área

O município de Juazeiro do Norte, objeto do presente trabalho, está localizado ao sul do Ceará, conforme Figura 1, especificamente na Região do Cariri, ocupa uma área de 248,55 km<sup>2</sup> e localiza-se entre as coordenadas 7°12'47" S e 39°18'55" W. Possui uma população estimada em 274.239 habitantes (IBGE, 2019), e tem como municípios limítrofes: Norte – Caririáçu; Sul - Crato, Barbalha e Missão Velha; Leste – Missão Velha e Caririáçu; Oeste – Crato. É caracterizado ainda, por um clima tropical quente semiárido e tropical quente semiárido brando, com pluviosidade média anual de 925,1 mm e temperatura média entre os 24° a 26° (IPECE, 2011).

Em seus componentes ambientais o município possui uma formação de relevo da Chapada do Araripe e de Depressões Sertanejas. Os solos predominantes são os Aluviais e Podzólico Vermelho-Amarelo. De forma geral as tipologias vegetais da região podem ser distribuídas em Floresta Caducifólia Espinhosa. Encontra-se inserido na Bacia Hidrográfica do rio Salgado e apresenta como principais drenagens o Riacho dos Macacos, o rio Carás e o Batateira (Salgado), e como principal reservatório o açude Riacho dos Carneiros, com capacidade de 37.180.000 m<sup>3</sup> (GOMES, 2002). Possui como fonte hídrica de abastecimento d'água principal o manancial subterrâneo (FRANCA *et al.*, 2006).

**Figura 1** - Localização do Município de Juazeiro do Norte

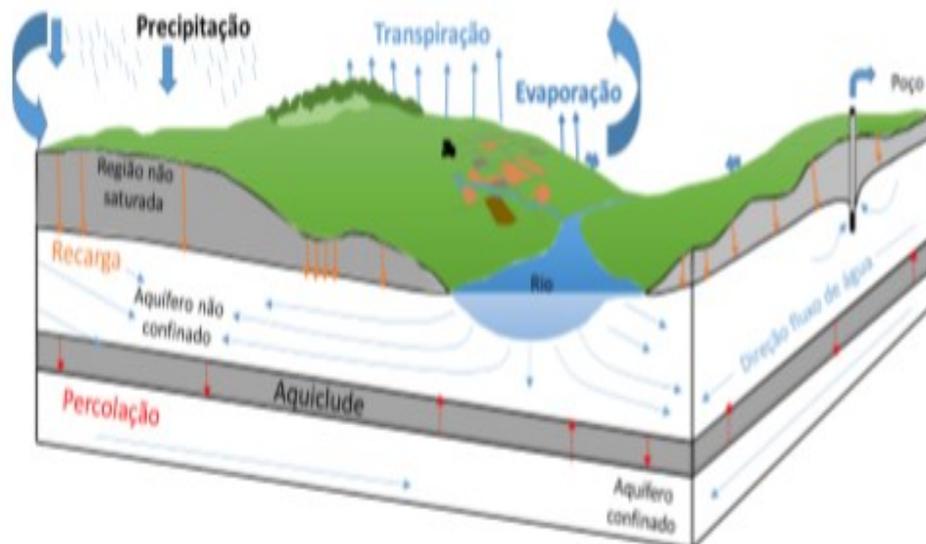


**Fonte:** Arquivo pessoal da autora.

## 4.2 Recarga dos sistemas aquíferos

Para que ocorra a recarga dos aquíferos são necessárias condições geomorfológicas (declividade, por exemplo) e geológicas favoráveis à infiltração de água no solo, resultando em um volume adicionado ao reservatório subterrâneo. Além disso, escoamentos superficiais para áreas com depressão ocasionam maiores recargas. Corpos d'água podem ser uma fonte de recarga em áreas onde o nível de água do aquífero é inferior ao nível dos rios ou lagos. Para um local de mesma precipitação, as taxas de recarga para áreas com sedimentos mais arenosos são maiores que as áreas com sedimentos mais argilosos. A Figura 2 apresenta uma síntese da dinâmica de recarga em uma determinada área (DELIN; FALTEISEK, 2007).

**Figura 2** - Exemplo da dinâmica de recarga dos aquíferos



**Fonte:** Adaptado de Delin e Falteisek (2007).

São métodos de estimativa da recarga de um aquífero a variação da superfície livre d'água, traçadores hidroquímicos, isótopos, balanço hídrico e separação de escoamento de base estimativas de recarga de aquíferos. A escolha do método depende, a princípio, dos dados existentes, dos objetivos propostos e da dimensão do

sistema envolvido. De acordo com Healy e Cook (2002), as técnicas baseadas na variação dos níveis estáticos dos poços estão entre as mais aplicadas para estimativas de recarga. A justificativa está na abundância de dados de nível disponíveis e na simplicidade de estimar a recarga a partir de séries temporais de nível de aquíferos. Cuidadosas análises dos registros de nível estático permitem a exclusão de variações no nível de água causados por flutuações no clima e por atividades antropogênicas (bombeamento, irrigação, uso do solo etc.). Dessa forma, para a obtenção de resultados robustos no uso do método, necessita-se avaliar o poço de forma bastante cuidadosa (HEALY; COOK, 2002; VARNI *et al.*, 2013).

A Bacia Sedimentar do Araripe apresenta alta taxa de exploração de suas águas subterrâneas, onde a maior parte do volume é destinado ao abastecimento humano, industrial e à irrigação. Essa exploração influencia e interfere no comportamento natural dos níveis estáticos, uma vez que podem existir interferências entre os poços de bombeamento e os de monitoramento dos níveis, introduzindo incertezas nas estimativas de recarga baseadas nos mesmos.

### **4.3 Sistemas hidrogeológicos no município de Juazeiro do Norte**

#### **4.3.1 Hidrogeologia**

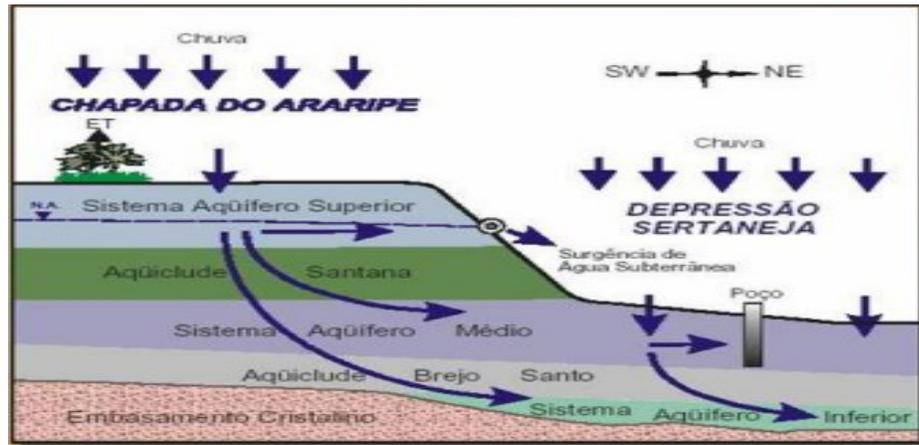
Segundo o Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará, lançado pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM) em 1999, é possível distinguir dois domínios hidrogeológicos distintos no município de Juazeiro do Norte: rochas sedimentares e depósitos aluvionares, conforme a Figura 3. As rochas sedimentares são consideradas as mais importantes como aquífero por apresentarem porosidade primária, que é caracterizada pelos espaços entre os grãos ou planos de estratificação. O tamanho e a forma das partículas, o seu grau de seleção e a presença de cimentação, influenciam na porosidade e, nos terrenos arenosos, uma elevada permeabilidade, traduzindo-se em unidades geológicas com excelentes condições de armazenamento e fornecimento d'água. Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos arenoargilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos

principais rios e riachos que drenam a região, e apresentam, em geral, uma boa alternativa como manancial, tendo uma importância relativamente alta do ponto de vista hidrogeológico, principalmente em regiões semiáridas com predomínio de rochas cristalinas. Normalmente, a alta permeabilidade dos terrenos arenosos compensa as pequenas espessuras, produzindo vazões significativas.

A bacia sedimentar do Araripe é constituída por um vasto planalto, a Chapada do Araripe, e por uma planície, o Vale do Cariri. Estima-se que mais de 1.200 poços sejam explorados; muitos destes possuem vazões superiores a 100 m<sup>3</sup>/h (CPRM, 2014). A bacia do Araripe, segundo Mont'Alverne (1996), apresenta uma diversificação litológica caracterizada por sequências alternadas de arenitos, siltitos, calcários, argilitos e folhelhos, podendo alcançar uma espessura da ordem de 1.600 m. Esta diversidade lito-estratigráfica propicia a formação de uma alternância de aquíferos, com características variáveis, dependendo de sua localização. A importância hidrogeologia da região do Cariri é muito maior, uma vez que os maiores aquíferos estão situados a pouca profundidade, visto que os poços têm profundidade média de 78 m e máxima de 250 m. O aquífero médio, predominante em todo o Vale do Cariri, também conhecido como zona de pediplano, é o mais complexo, pois envolve três unidades estratigráficas com características litológicas semelhantes e condições hidrodinâmicas muito próximas entre si. A divisão hidro-estratigráfica da Bacia do Araripe, segundo Mont'Alverne *et al.* (1996), é a seguinte: Sistema Aquífero Superior (Formações Exu e Arajara), com aproximadamente 320m de espessura; Aquiclude Santana, com cerca de 180 m de espessura; Sistema Aquífero Médio (Formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha), com aproximadamente 500m de espessura; Aquiclude Brejo Santo, com cerca de 400 m de espessura; Sistema Aquífero Inferior (Formação Mauriti e parte basal da Formação Brejo Santo), com 60 a 100 m de espessura.

O Grupo Missão Velha é considerado a unidade hidrogeológica mais importante na região do Cariri e a mais perfurada para abastecimento, fornecendo vazões nos poços que podem alcançar até 300 m<sup>3</sup>/h. As formações Santana, Exu e Batateiras apresentam-se como alternativas para captação de água subterrânea (CPRM, 1999).

**Figura 3** - Distribuição esquemática dos aquíferos definidos por MONT'ALVERNE *et al.* (1996).



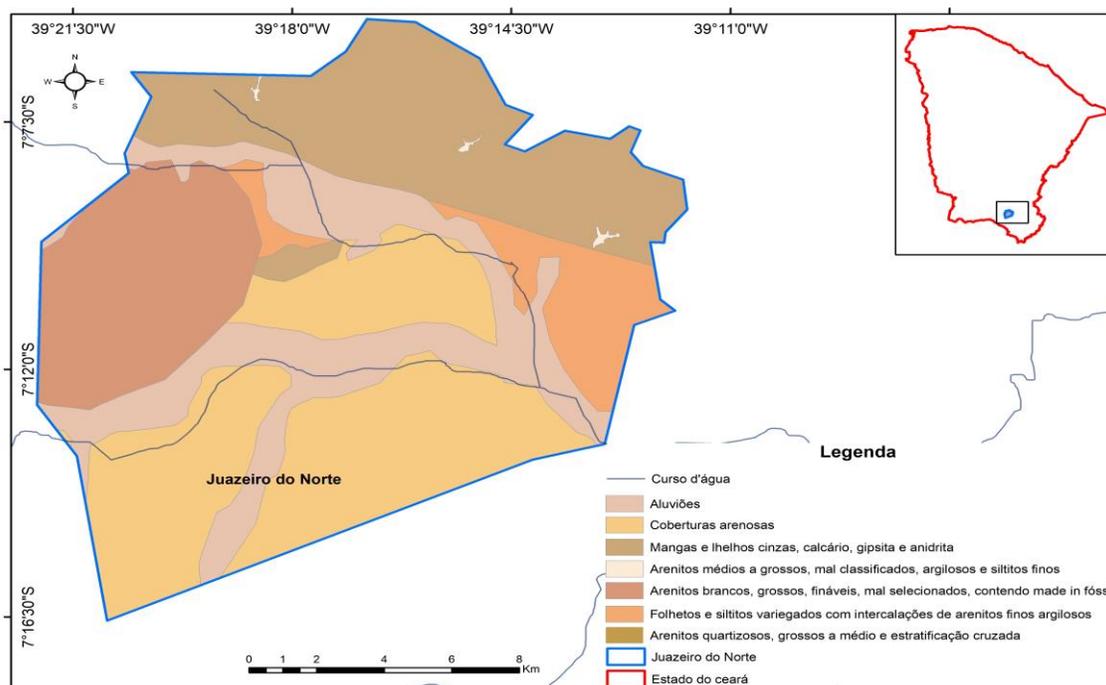
Fonte: DNPM (1996).

#### 4.3.2 Geomorfologia

No município de Juazeiro do Norte podem ser reconhecidas as formas aplainadas, pouco dissecadas da Depressão Sertaneja e a sul, mais destacado na topografia, o relevo de planalto da Chapada do Araripe. Esta zona de Chapada é constituída pelos arenitos da Formação Exu, apresentando relevo tabular quase plano, limitada em quase toda sua extensão por escarpas abruptas, de contornos irregulares com desníveis que chegam a ultrapassar 300 metros.

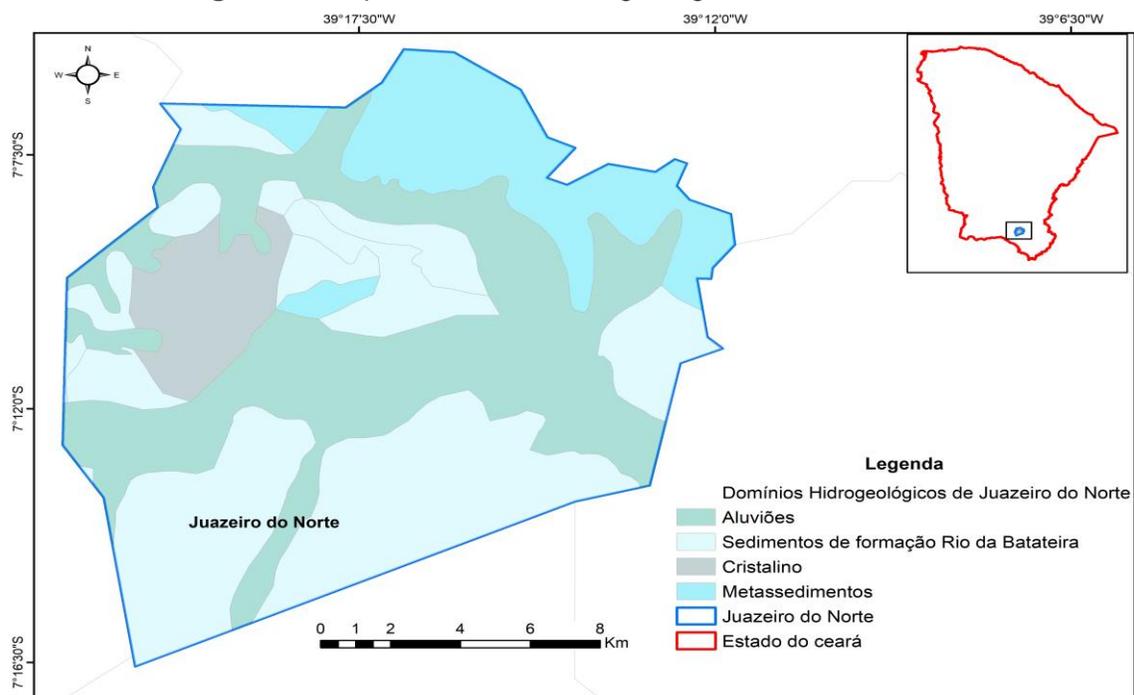
A Depressão Sertaneja apresenta como litologias predominantes as Formações Brejo Santo e Missão Velha (Jurássico), Abaiara e Rio da Batateira (Cretáceo), estando este conjunto delimitado, ora pelos arenitos da Formação Mauriti, ora pelas rochas do embasamento cristalino pré-cambriano. Os solos oriundos destas unidades têm uma composição argilo-siltica-arenosa (Formações Rio da Batateira e Abaiara), arenosa (Formação Missão Velha) ou argilosa (Formação Brejo Santo) e a vegetação nativa, onde é preservada a caatinga. O principal curso d'água que drena o vale é o Rio da Batateira, cujos riachos tributários são alimentados constantemente pelas fontes localizadas nas vertentes da Chapada do Araripe, conforme Figura 4. O município de Juazeiro do Norte apresenta quatro unidades hidro-estratigráficas de acordo com as características hidrogeológicas das diversas formações geológicas e baseando-se nos trabalhos de MONT'ALVERNE *et al.* (1996) e VERÍSSIMO (1999), conforme Figura 5.

**Figura 4 - Mapa geológico do município de Juazeiro do Norte.**



Fonte: CPRM (2003), adaptado.

**Figura 5 - Mapa - Domínios hidrogeológicos de Juazeiro do Norte.**



Fonte: CPRM (2015), adaptado.

#### 4.3.3 Sistema hidrogeológico aluviões e coberturas

Esses sistemas são formados pelas coberturas arenosas, argilo-arenosas e aluviões, apresentando permeabilidade de média a alta e potencialidade hídrica média. A profundidade dos poços nesse sistema é pequena, normalmente menores que 10 metros, e com grandes diâmetros chegando a 22 metros (poços amazonas).

#### 4.3.4 Sistema hidrogeológico Brejo Santo

Este sistema é de pequena permeabilidade (argilitos, folhelhos e arenitos argilosos), baixa potencialidade hídrica e uma predominância de litotipos, constituído pela Formação Brejo Santo. Aflora num pequeno trecho na parte central de Juazeiro do Norte, ocupando cerca de 8,0 km<sup>2</sup>, com espessura em torno de 400 metros. Devido ao seu baixo potencial, o sistema hidrogeológico Brejo Santo é também considerado como um aquíclode, pois armazena e transmite água lentamente.

#### 4.3.5 Sistema hidrogeológico Mauriti, Missão Velha e rio da Batateira

Por apresentar uma elevada permeabilidade e grande potencialidade hídrica subterrânea é o mais importante sistema hidrogeológico da área estudada. Esse aquífero é constituído pelas formações Mauriti, Missão Velha e Rio da Batateira, todas elas aflorantes no município de Juazeiro do Norte. O aquífero Rio da Batateira, dentro do sistema, é o mais importante do ponto de vista de exploração de água, e a sua alimentação ou recarga ocorre de três maneiras: pela infiltração direta das águas pluviais nas áreas aflorantes, onde o aquífero é livre; infiltrações verticais descendentes a partir do “freático” em zonas semi-confinadas; vazamentos na rede de distribuição de água, esgoto e galerias pluviais, nas zonas onde o aquífero é livre. É responsável pelo abastecimento da população local, já que a quase totalidade dos poços da área capta água desse aquífero. Ocorre na área abrangendo, aproximadamente, 110 km<sup>2</sup>, aflorando nas porções leste, oeste, sul e central, correspondendo a, aproximadamente, 70% do município.

#### 4.3.6 Sistema hidrogeológico Cachoeirinha/Granitóides

Esse sistema é considerado como um aquífero somente nos locais em que a água é captada através das fraturas. De modo geral essa unidade é denominada de aquífugo. É formado pelas rochas cristalinas do Grupo Cachoeirinha e dos Granitóides, aflorando na faixa norte e na zona ligada à Serra do Horto. Sua porosidade primária é quase nula, conferindo-lhe uma permeabilidade extremamente baixa.

#### 4.4 Aspectos demográficos e sociais

Localizado na Região Metropolitana do Cariri Cearense, Juazeiro do Norte é um dos municípios do sul do estado, com distância de 491 km da capital Fortaleza, a uma altitude de 377 metros acima do nível do mar. Tem área de 249 km<sup>2</sup>, e população estimada para 2019 de 274.239 habitantes, segundo dados do IBGE, conforme (Quadro 1 e Gráfico 1). É a terceira cidade mais populosa do Ceará, a maior do interior cearense e a 104<sup>a</sup> do Brasil. Juazeiro do Norte é um dos municípios com maior população no interior do Nordeste, ocupando o sétimo lugar. A “Terra do Padre Cícero” tem a terceira maior densidade demográfica do Ceará, ficando atrás, apenas, de Fortaleza e Maracanaú. Com 109 anos de emancipação, o Município passou por muitas transformações em seus espaços físicos. De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), obtidos através dos Censos Demográficos 1991/2000/2010, a população urbana do município de Juazeiro do Norte é apresentada da seguinte maneira:

- Censo 1991, população 164.922;
- Censo 2000, população 202.227;
- Censo 2010, população 240.128.

**Quadro 2** - Histórico e estimativa da população

<b>HISTÓRICO E ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO</b>	
<b>Anos</b>	<b>População</b>
2013	251.498

2014	255.288
2015	Não foi estimada
2016	262.869
2017	266.659
2018	270.449
2019	274.239

Fonte: (IBGE, 2019).

**Gráfico 1** - Mapa com histórico e estimativa da população de Juazeiro do Norte



Fonte: Laboratório Regional da UNBSA – CAGECE, (2019).

Juazeiro do Norte é uma cidade de médio porte, em que polariza as principais atividades de comércio, serviços, educação, indústria, habitação entre outros. Há 150 anos percebe-se seu crescimento de forma desordenada. Esse desordenamento se pode perceber quando observados os problemas urbanos gerados pela falta de estrutura da cidade como, por exemplo, falta de saneamento em uma parte da cidade, problemas relacionados aos logradouros, vias públicas, trânsito ainda se organizando, loteamentos em locais de risco ou em zonas verdes, terrenos baldios, onde há acúmulo de lixo, falta de drenagens, dentre outros.

Juazeiro do Norte possui três distritos e 37 bairros, conforme Tabela 2. Algumas ruas são de paralelepípedos e outras possuem pavimentação asfáltica. Entretanto, percebem-se muitas ruas em estrada carroçal (chão batido), outras esburacadas. Um dos bairros mais populosos é o João Cabral. A taxa de urbanização do município é de 96%, segundo a apuração do último censo. Em relação à densidade populacional foram

inseridos na Figura 1 os cinco bairros mais populosos da cidade: João Cabral, Pirajá, Frei Damião Salesiano e Timbaúba.

**Tabela 1** - População e densidade demográfica de Juazeiro do Norte segundo censo 2010.

POPULAÇÃO E DENSIDADE DEMOGRÁFICA POR BAIRRO					
Bairros	População	Densidade Demográfica hab./10.000m <sup>2</sup>	Bairros	População	Densidade Demográfica hab./10.000m <sup>2</sup>
João Cabral	17.859	258,08	Centro	5.706	36,58
Pirajá	14.800	200,81	Lagoa Seca	5.136	15,66
Frei Damião	13.879	19,25	Horto	5.073	9,83
Salesiano	13.879	92,53	José Geraldo da Cruz	4.296	22,14
Timbaúba	12.446	122,02	Juvêncio Santana	4.296	23,10
Franciscano	12.390	166,98	Vila Fátima	3.833	31,16
Limoeiro	12.143	86,74	Novo Juazeiro	3.471	45,43
Pio XII	11.099	238,18	Leandro Bezerra	3.239	19,87
Tiradentes	10.107	41,76	Profa. Francisca Maria Geli Sá Barreto	2.716	12,18
São José	10.061	23,62	Socorro	2.421	100,04
Triângulo	9.632	71,35	Campo Alegre	2.401	8,76
Pedrinhas	9.198	18,62	Vila Três Marias	2.201	5,52
São Miguel	8.261	143,67	Betolândia	2.076	11,47
Romeirão	7.110	130,94	Salgadinho	1.301	7,52
Santa Teresa	6.926	105,58	Aeroporto	1.096	2,35
Antônio Vieira	6.582	73,30	Vila Carité	938	4,24
Jardim Gonzaga	6.159	14,06	Brejo Seco / Monsenhor Francisco	900	4,02
Santo Antônio	6.081	60,87	Planalto	345	2,24
			Cidade Universitária	269	1,26

Fonte: Prefeitura municipal de Juazeiro do norte – CE, (2019).

#### 4.5 Descrição do sistema de esgotamento sanitário de Juazeiro do Norte

De acordo com os dados de dezembro de 2019 fornecidos pela CAGECE, o sistema de esgotamento sanitário da cidade tem 25.860 ligações reais, 25.197 ligações ativas, 663 ligações tamponadas, 18.500 metros de rede coletora de esgoto e 14.629 ligações disponíveis (ociosas). Há um quantitativo de economias sem esgotamento

sanitário de 82.333, sendo o Índice Ativa Esgoto 23,05%, Índice Real Esgoto 25,71% e o Índice de Cobertura de Esgoto 36,05%, conforme Figura 6 e Tabela 3:

- **Ligações Tamponadas** – Existe esgotamento sanitário disponível, mas por motivo de obstruções nas caixas e/ou o cliente não querer pagar a tarifa de esgoto, não utiliza o esgotamento sanitário, utiliza as fossas sépticas.

- **Ligações Disponíveis** – A rede coletora de esgoto está disponível para o cliente, mas ele não utiliza. Opta por usar a fossa séptica ou qualquer outro tipo de tratamento e destino.

- **Índice Ativo de Esgoto** – Quantidade de clientes interligados à rede coletora de esgoto.

- **Índice Real de Esgoto** – A rede coletora passa em frente ou no fundo da residência, o usuário pode estar ou não interligado, há disponibilidade de esgotamento sanitário.

- **Índice de Cobertura de Esgoto** – Disponibilidade de esgotamento sanitário.

Os tipos de esgotamento sanitário existentes na cidade são:

- **Esgoto Normal** – A caixa fica localizada na calçada do cliente, interligada diretamente na rede coletora de esgoto que passa na rua.

- **Esgoto Condominial:** Frente de lote e Fundo de lote:

**Frente de Lote** – A caixa está localizada na calçada do cliente e se interliga com uma outra caixa que também está localizada na calçada de um outro, até chegar no coletor de esgoto principal de uma determinada rua. Nesse tipo de esgoto quase não ocorrem obstruções.

**Fundo de Lote** - A caixa está localizada no quintal do cliente que se interliga com outra caixa que também está localizada no quintal de um outro cliente, até chegar no coletor de esgoto principal de uma determinada rua. Nesse tipo de esgoto ocorrem muitas obstruções, porque os clientes têm a cultura de varrer os seus quintais e jogar todo o lixo dentro da caixa coletora.

O que agrava ainda a contaminação do manancial subterrâneo é que na maioria das residências de Juazeiro do Norte parte das águas cinzas não são interligadas à caixa coletora de esgoto ou a sumidouros, sendo as mesmas lançadas nas sarjetas e bocas de lobo que ficam localizadas em frente ou próximas às residências.

O sistema de esgotamento sanitário de Juazeiro do Norte é composto por cinco estações de tratamento de esgoto (ETEs):

- Malvas (Lagoas de estabilização);
- Vila Três Marias (Reator UASB);
- Tenente Coelho (Reator UASB);
- Mutirão (Reator UASB);
- Prourb (Decanto digestor).

**Tabela 2** - Cobertura de esgotamento sanitário por bairro

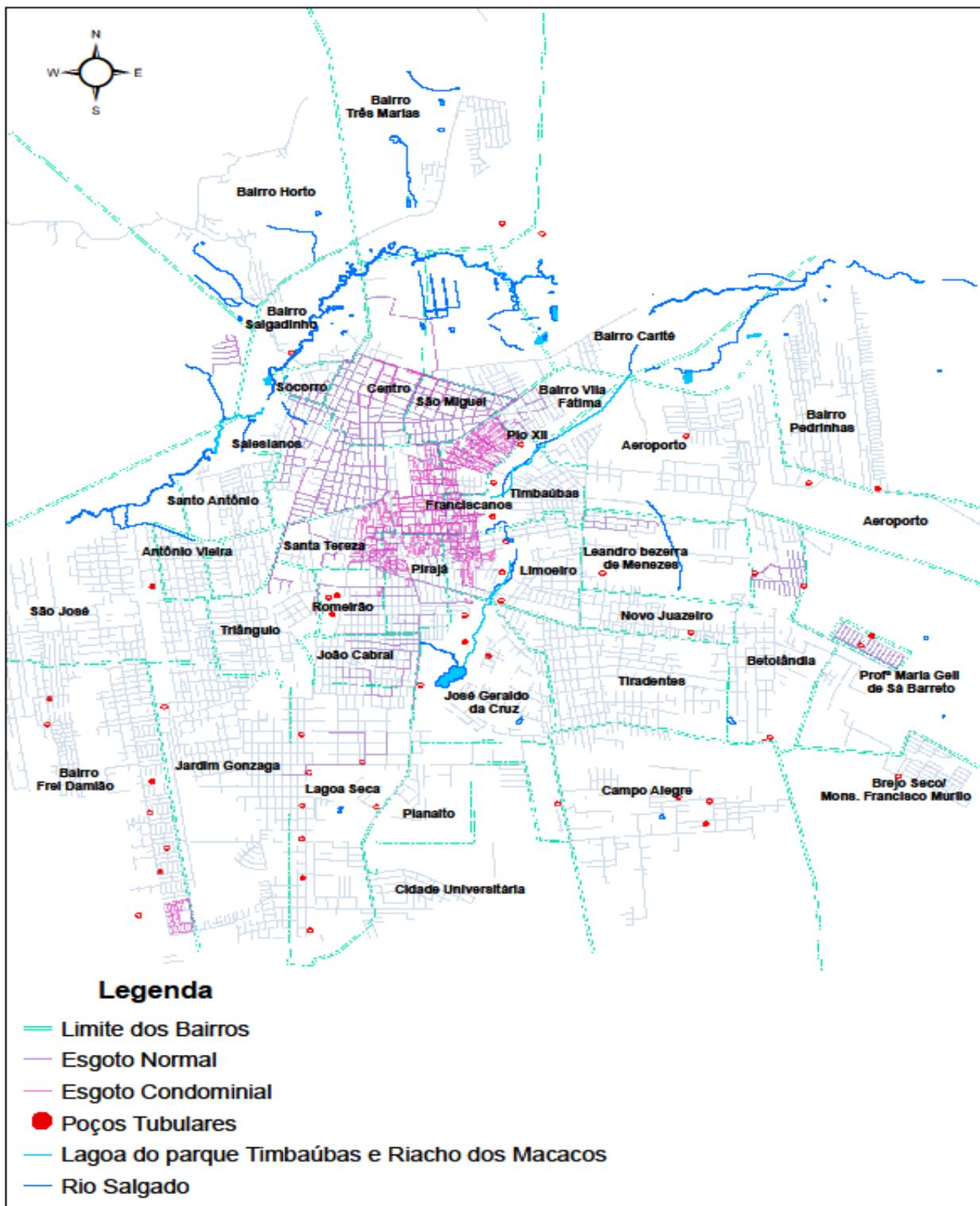
COBERTURA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO POR BAIRRO							
BAIROS	ESGOTO NORMAL CONVENCIONAL	ESGOTO CONDOMINIAL	SEM REDE DE ESGOTO	LIGAÇÕES REAIS	LIGAÇÕES ATIVAS	LIGAÇÕES TAMPONADAS	LIGAÇÕES DISPONÍVEIS
João Cabral		X		2.954	2.917	38	1.242
Pirajá		X		2.250	2.203	47	1.236
Frei Damião	X		X	368	363	5	12
Salesiano	X			2.451	2.319	132	2.407
Timbaúba		X		786	773	13	310
Franciscano		X		2.143	2.130	14	1.556
Limoeiro		X		1.125	1.114	9	648
Pio XII		X		2.469	2.430	39	870
Tiradentes			X	-	-	-	-
São José			X	-	-	-	-
Triângulo	X		X	351	350	1	164
Pedrinhas			X				
São Miguel	X			2.085	1.954	131	1.157
Romeirão		X		1.914	1.880	34	692
Santa Teresa		X		700	686	14	915
Antônio Vieira			X	-	-	-	-
Jardim Gonzaga			X	-	-	-	-
Santo Antônio			X	-	-	-	-
Centro	X			1.791	1.661	130	2.496

**Tabela 2 - Cobertura de esgotamento sanitário por bairro - CONTINUAÇÃO**

COBERTURA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO POR BAIRRO							
BAIRROS	ESGOTO NORMAL CONVENCIONAL	ESGOTO CONDOMINIAL	SEM REDE DE ESGOTO	LIGAÇÕES REAIS	LIGAÇÕES ATIVAS	LIGAÇÕES TAMPONADAS	LIGAÇÕES DISPONÍVEIS
Lagoa Seca	X			177	165	12	85
Horto			X	-	-	-	-
José Geraldo da Cruz		X	X	106	106	0	146
Juvêncio Santana	X			81	78	3	104
Vila Fátima		X		522	520	2	210
Novo Juazeiro			X	-	-	--	
Leandro Bezerra	X			476	476	0	30
Socorro	X			211	204	7	265
Campo Alegre			X				
Vila Três Marias	X			96	81	15	32
Betolândia MCMV Manoel Santana	X			736	728	8	0
Salgadinho	X			13	12	1	22
Aeroporto MCMV Tenente Coelho	X			1.279	1.274	5	30
Vila Carité			X	-	-	-	-
Brejo Seco			X	-	-	-	-
Planalto			X	-	-	-	-
Cidade Universitária			X	-	-	-	-
Profa. Francisca Geli de Sá Barreto MCMC São Sebastião	X			776	773	3	0
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>25.860</b>	<b>25.197</b>	<b>663</b>	<b>14.629</b>

Informações: CAGECE – Dezembro, (2019).

**Figura 6** - Sistema de esgotamento sanitário e localização dos poços em Juazeiro do Norte.



Fonte: Companhia de água e esgoto do Estado do Ceará, (2020).

#### 4.5.1 Estação de tratamento de esgoto Malvas

O sistema de esgotamento sanitário Malvas é o maior e o principal. É composto por uma estação de tratamento de esgoto do tipo lagoas de estabilização, sete estações elevatórias de esgoto de tratamento preliminar e uma estação de tratamento preliminar. O sistema é composto por nove unidades operacionais:

- Estação elevatória de esgoto Lagoa Seca;
- Estação de tratamento preliminar avenida Paraná;
- Estação elevatória de esgoto Manoel Santana;
- Estação elevatória de esgoto Almino Loiola;
- Estação elevatória de esgoto da Vila Fátima;
- Estação elevatória de esgoto Malvas;
- Estação elevatória de esgoto Salesianos
- Estação elevatória de esgoto Multifuncional.

#### 4.5.2 Estação de tratamento de esgoto Vila Três Marias

O sistema de esgotamento sanitário da área Vila Três Marias tem como tipo de tratamento de esgoto o de Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente - RAFA. O percentual de cobertura de rede coletora de esgoto no sistema, ou seja, disponibilidade de esgotamento sanitário é de 28%, com um total de 86 economias ativas. A área Vila Três Marias possui sistema de 714 metros de rede coletora de esgoto.

#### 4.5.3 Sistema de tratamento de esgoto Minha Casa Minha Vida Tenente Coelho

O sistema de esgotamento sanitário, MCMV Tenente Coelho tem sistema de tratamento tipo reator UASB, filtro submerso aerado, decantador convencional e desinfecção. O percentual de cobertura de rede coletora de esgoto no sistema é de 100% com um total de 1.274 economias ativas de esgoto. Existem no sistema 2.288 metros de rede coletora de esgoto.

#### 4.5.4 Estação de tratamento de esgoto Mutirão

Atualmente é composto por uma estação elevatória, unidade de tratamento preliminar composto por gradeamento e caixa de areia e uma estação de tratamento de esgoto do tipo UASB, com dois reatores anaeróbios de fluxo ascendente, funcionando em paralelo. Projetado para tratar esgoto a uma vazão máxima de 6,3L/s, a ETE é composta ainda de uma unidade de desinfecção do efluente e unidade de desidratação do lodo digerido (leito de secagem). O sistema recebe contribuição de 363 ligações ativas. Devido às obras da quarta etapa do Anel Viário, a ETE Mutirão será desativada e a estação elevatória de esgoto será realocada. A nova estação elevatória recalcará o efluente para a estação elevatória de esgoto da Lagoa Seca e passará a fazer parte do sistema de esgotamento sanitário das Malvas.

#### 4.5.5 Estação de tratamento de esgoto Prourb – Triângulo

O sistema do conjunto habitacional Prourb é composto de um conjunto de decanto-digestores, e recebe contribuição de 350 ligações ativas. Não existem dados do referido sistema, pois o mesmo foi construído pela prefeitura e repassado para a CAGECE operá-lo, sem qualquer informação.

### **4.6 Fontes potenciais de poluição**

Diversas atividades desenvolvidas nas cidades contaminam reservas de águas subterrâneas, tanto no Brasil quanto no resto do mundo (ALMASRI, 2007; CAMPONOVARA, 2004; NOBREGA, 2006; OLIVEIRA, 2005; ROCHA, 2006; ROSA FILHO, 2002). Atualmente, as ações relativas a tal problemática já passaram a ser discutidas pelas políticas públicas, principalmente no que tange à gestão dos recursos hídricos, embora mais direcionadas a águas superficiais, assim como se destaca a publicação do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2007), no item “Subprograma VIII - Ampliação do conhecimento hidrogeológico”, sobre a proteção das águas subterrâneas:

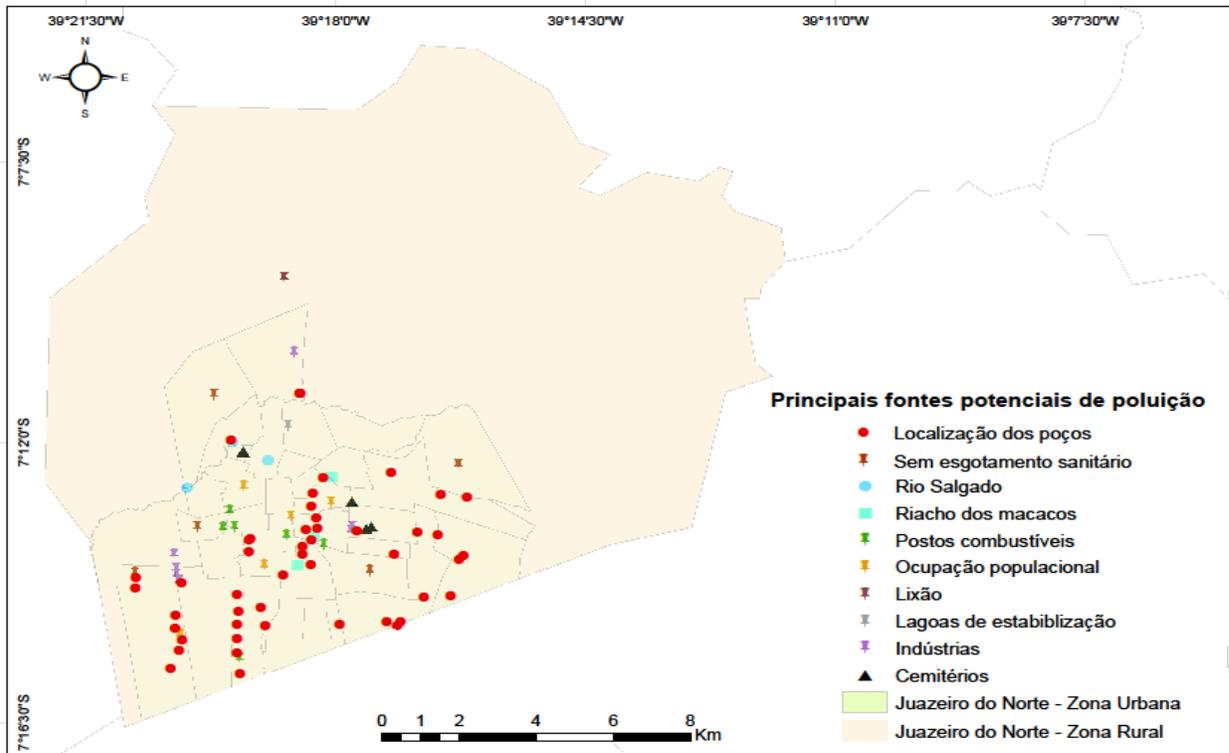
A ampliação do conhecimento hidrogeológico é a primeira etapa para subsidiar a implantação de um sistema de gestão realmente integrado entre as águas subterrâneas e as superficiais, já que atualmente a gestão é focada no componente das águas superficiais, pelo fato desta ter maior visibilidade e disponibilidade de dados e estudos.

Ressalta-se que, a água de poço tubular, mesmo que cristalina e aparentemente própria para o consumo, pode estar contaminada. Vários fatores podem ser responsáveis pela contaminação da água de poços em nível de propriedade, tanto rural quanto urbana, como a falta de manutenção do reservatório, localização inadequada do poço e falta de cuidado e higiene com a água antes do consumo. As fontes de contaminação antropogênica, em águas subterrâneas, são em geral diretamente associadas a despejos domésticos, industriais e ao chorume oriundo de aterros de lixo que contaminam os lençóis freáticos com microrganismos patogênicos (FREITAS; ALMEIDA, 1998).

Na área de estudo são detectadas fontes potenciais de poluição e nas análises físico-químicas de alguns poços (água bruta) foi detectada presença de nitrato acima do estabelecido pela legislação vigente, havendo, assim, comprometimento efetivo na qualidade das águas subterrâneas de alguns poços que abastecem a cidade. A água desses poços que apresentam teores de nitrato acima da legislação vigente (bateria dos poços tubulares do riacho dos Macacos) é misturada com água de outros poços (bateria dos poços tubulares da Lagoa Seca), que apresentam teores muito baixos de nitrato, fazendo assim com que haja a diluição desses teores de nitrato nessas águas, atendendo a legislação vigente para a água produzida e distribuída no município.

As principais fontes potenciais de poluição encontradas no município (Figura 7) são cemitérios, lixões, drenagens superficiais (rios e riachos) receptoras de esgoto, lagoas de estabilização, sistemas de saneamento "in situ", vazamento das redes coletoras de esgoto, o uso incorreto de agrotóxicos e fertilizantes, acidentes com substâncias tóxicas, atividades inadequadas de armazenamento, manuseio inadequado e descarte de matérias primas, produtos, efluentes e resíduos, atividades minerárias que expõem o aquífero, bem como a irrigação, que pode provocar problemas de salinização ou aumentar a lixiviação de contaminantes para a água subterrânea.

**Figura 7** - Mapa da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas na área de estudo.



Fonte: arquivo próprio da autora, (2020).

#### 4.6.1 Cemitérios

Dentre as fontes de poluição estão os cemitérios, que ocorrem de maneira mais assintomática para a percepção sensorial da população, de forma silenciosa, porém contínua (PACHECO; BATELLO, 2000). As águas coletadas próximas aos cemitérios revelaram a presença de índices elevados de coliformes fecais, estreptococos fecais, bactérias de diversas categorias, salmonella, elevados teores de nitratos e metais como alumínio, cromo, cádmio, manganês, bário e chumbo.

Os cemitérios, que recebem continuamente milhares de corpos que se decompõem com o tempo, são autênticos fornecedores de contaminantes de largo espectro das águas subterrâneas das proximidades, águas que, via de regra, são consumidas pelas populações da periferia, tornando-se então um caso de saúde pública. Segundo Fisher e Croukamp (1993), o passivo causado pela contaminação em cemitérios no mundo é grave, representando inclusive uma preocupação em nível de

saúde pública, devido a sua localização em locais impróprios e à insuficiente proteção. Zychowski (2012) destaca que vários países no mundo não possuem adequada legislação relacionada ao problema, o que também acontece no Brasil, que possui apenas legislações relacionadas ao licenciamento ambiental e também as relacionadas à poluição de águas subterrâneas oriunda de poluentes diversos. Dentre os impactos deste processo de decomposição, destacam-se o aumento de concentração em solos e águas subterrâneas de contaminantes patogênicos e de origem fecal, além da presença variada de íons, poluentes orgânicos e elementos químicos, bem como emissões de poluentes atmosféricos (DENT, 2004; ZYCHOWSKI, 2012; NOGUEIRA *et al.*, 2013; KEMERICH *et al.*, 2010).

No município de Juazeiro do Norte existem 4 cemitérios, conforme Figura 7, onde o principal problema está associado à localização. Situam-se sobre a unidade hidro-estratigráfica Rio da Batateira, com elevada permeabilidade e grande potencialidade hídrica subterrânea (arenitos grosseiros a médios). A exploração de água subterrânea por poços tubulares e cacimbas nas áreas adjacentes aos cemitérios é efetiva.

#### 4.6.2 Lixões, aterro sanitário e aterros não controlados

A deposição de resíduos sólidos diretamente no solo causa a sua contaminação e a das águas subterrâneas, associada aos lixiviados que percolam o resíduo sólido (FREEZE; CHERRY, 1979; HUTCHINSON; BARTA, 2000; SOUPIOS *et al.*, 2007; OLLA *et al.*, 2015; SIDHARDHAN *et al.*, 2015; HIRATA *et al.*, 2015). A disposição dos resíduos sólidos gerados pela atividade antrópica e industrial (lixo), tanto pode gerar energia quanto substâncias prejudiciais à saúde e poluição dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Em Juazeiro do Norte, a disposição dos resíduos sólidos ocorre em terrenos baldios e em áreas marginais da sede municipal, conforme Fotos A e B na Figura 8 (principal lixão da cidade).

**Figura 8** - Foto A e B: lixo e esgoto lançado no riacho dos macacos



Fonte: Imagens captadas pela autora, (2019).

#### 4.6.3 Drenagens superficiais

Os cursos d'água superficiais como rios, riachos e canais são geralmente utilizados como ponto de descarga final de esgotos domésticos, efluentes industriais e lixos de diversas origens. A cidade de Juazeiro do Norte é margeada, na parte leste, pelo riacho dos Macacos, conforme Foto C (Figura 9) e Figura 7 e na parte oeste e norte, pelo rio da Batateira (riacho Salgadinho), conforme Figura 7, que se constituem no principal meio receptor de esgotos doméstico e industrial. Alguns poços públicos e particulares estão localizados nas margens dessas drenagens. Essas drenagens podem comprometer a qualidade das águas desses poços, podendo haver captação dessas águas poluídas por infiltração.

**Figura 9** - Foto C - Riacho dos Macacos com esgoto e suas margens desmatadas e



Fonte: Imagem captada pela autora, (2019).

#### 4.6.4 Ausência de esgotamento sanitário

A falta de saneamento básico, especialmente de redes de coleta e tratamento de esgotos, faz com que o lançamento de dejetos no solo ocorra ininterruptamente. A falta dessas redes de esgotamento sanitário e as precárias condições das redes existentes são as fontes de degradação de aquíferos ambientalmente mais preocupantes, responsáveis pelos maiores casos de contaminação em volume e área no Brasil (IBGE, 2008). O uso generalizado de fossas sépticas e drenos, não somente contribui para que o esgoto filtrado alcance a superfície do terreno, como se constitui provavelmente numa das principais causas de contaminação da água subterrânea.

Ainda de acordo com o estudo do Instituto Trata Brasil, visando proteger as águas subterrâneas, deveriam ser tomadas ações, tendo por base os pilares de comunicação com vistas à conscientização da sociedade e do governo sobre o real papel social e ambiental e o valor econômico das águas subterrâneas; fortalecimento dos órgãos de controle e gestão dos recursos hídricos, sobretudo aqueles associados à fiscalização e disciplinamento do uso das águas; ampliação da cobertura de coleta e tratamento de esgotos; e criação de programas permanentes de proteção das águas subterrâneas, baseados em pesquisa e estudos técnicos. A Agência Nacional de Águas (2005) ressalta que as fontes de contaminantes da água subterrânea, derivadas da falta de saneamento, representam um risco iminente à saúde das populações. Através da infiltração do escoamento superficial das fossas negras no solo, e também pelo vazamento de redes de esgoto, a qualidade microbiológica das águas sofre grandes alterações, sendo tal situação especialmente crítica nas cidades em que existe uma elevada densidade populacional e, portanto, alta taxa de produção de esgotos (ANA, 2005).

O município de Juazeiro do Norte possui serviços de rede de esgoto, com apenas 25.197 ligações ativas, e 82.333 sem ligações de esgoto, índice ativo de esgoto de apenas 23,05% e índice de cobertura de 36,05%, de acordo com dados de dezembro de 2019 fornecidos pela CAGECE. Com o crescimento desordenado do município, parte dos esgotos é lançada sobre ou abaixo da superfície do solo de várias maneiras, como é o caso das “levadas” que são pequenos canais de água residual que

saem das casas e correm em direção às drenagens principais, conforme Fotos D e E (Figura 10) e Figura 7.

**Figura 10** - Foto D e E: ausência de esgotamento sanitário



**Fonte:** Imagens captadas pela autora, (2019).

#### 4.6.5 Lagoas de Estabilização

As lagoas de estabilização são reservatórios superficiais que servem para receber e armazenar temporariamente os resíduos sólidos e líquidos constituídos de esgotos domésticos e industriais. Os resíduos químicos são tratados e lançados nos rios ou deixados para infiltração no solo ou evaporação na atmosfera. O período de permanência do líquido na lagoa varia entre 1 a 100 dias, dependendo da função (VERÍSSIMO, 1999). A maioria das lagoas de estabilização tem uma base constituída de materiais naturais, impermeabilizados, entretanto essas condições permitem infiltração equivalente a 10–20 mm/d, sendo as lagoas as mais frequentes causas de contaminação das águas subterrâneas (FOSTER; HIRATA, 1993). Na cidade de Juazeiro do Norte existem quatro lagoas de estabilização, localizadas ao norte, de onde suas águas efluentes são lançadas no rio Salgado, conforme Figura 11.

**Figura 11** - Vista de um dos cemitérios (do Socorro) e das lagoas de estabilização localizadas no bairro Centro, próximos aos poços tubulares PTs 20, 25, 42 e 50



Fonte: Google Earth - Imagem captada pela autora, (2019).

#### 4.7 Poços tubulares que abastecem a cidade

O município de Juazeiro do Norte localiza-se numa região onde os recursos hídricos subterrâneos constituem as mais importantes fontes de água potável para o abastecimento público e privado, bem como para diversas atividades, tais como práticas agrícolas e industriais. No entanto, essas águas subterrâneas estão susceptíveis à contaminação (conforme Figura 12 - fotos F a L, que mostram alguns poços com altos teores de nitrato), por compostos nitrogenados, como por exemplo, a partir do esgoto doméstico, principalmente nas áreas urbanizadas, já que aproximadamente 63% da população do município utilizam fossas rudimentares ou não tem sistema de saneamento, despejando seus dejetos diretamente nos leitos dos rios (IPECE, 2012).

Com a perfuração indiscriminada de poços, a ausência de saneamento básico (40,32% de cobertura no cenário local de Juazeiro do Norte (IPECE, 2011), bem como atividades agrícolas que se utilizam de diversos produtos químicos para otimizar a produção e combate de insetos nas plantações, também o crescimento industrial acentuado dos mais variados setores de produção, como têxtil, couro e galvanoplastia, vêm comprometendo às principais drenagens da cidade (Riacho dos Macacos e Rio

Salgado) e conseqüentemente comprometendo também a qualidade das águas subterrâneas que abastecem não só o município de Juazeiro do Norte, mas também as cidades do entorno.

**Figura 12** - Fotos F, G, H, I, J e L - poços com teores de nitrato acima de 10mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

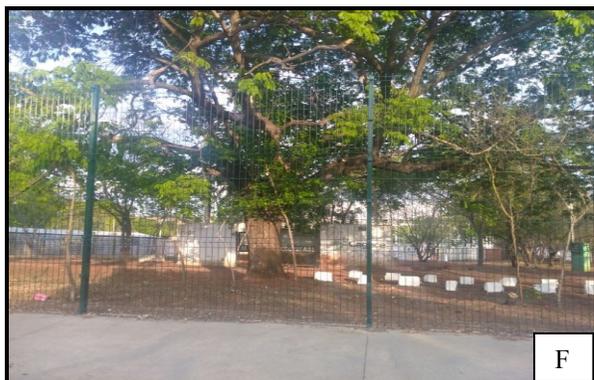
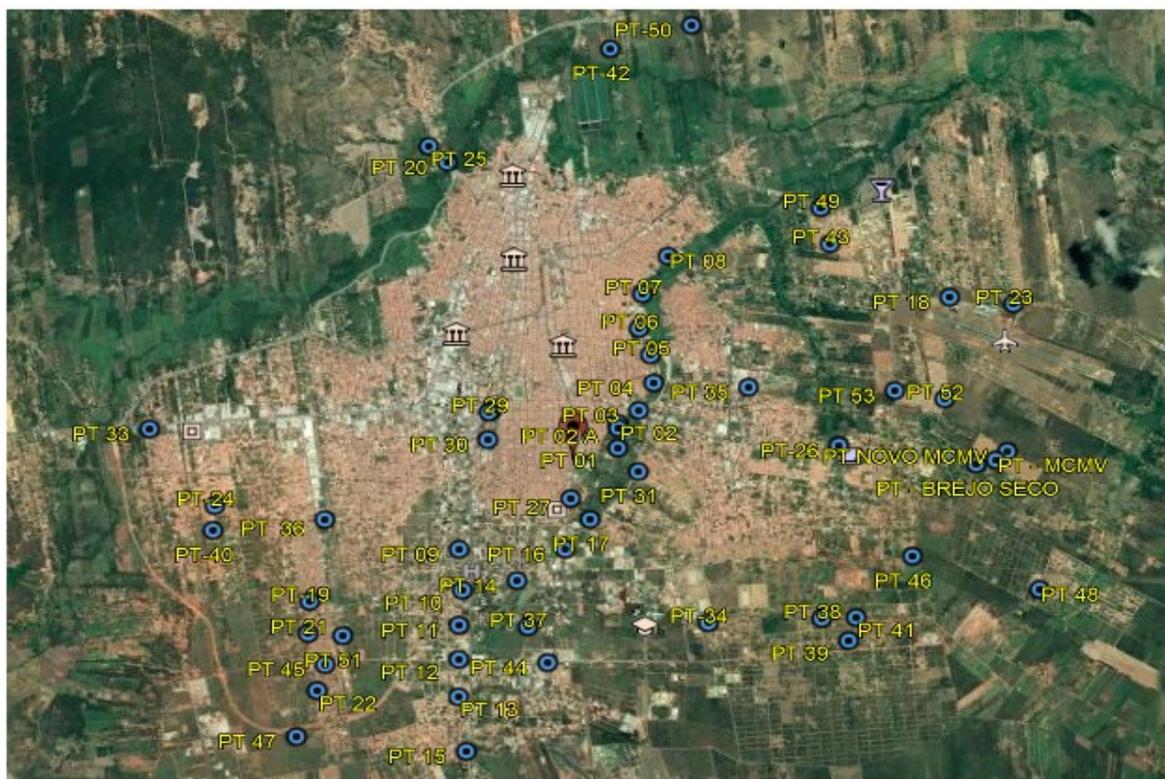


Figura 12 - Foto F – Poço tubular 27 – Localizado no parque da Timbaúba; Foto G - Poço tubular 06 – Às margens do riacho dos Macacos; Foto H - Poço tubular 03 – Às margens do riacho dos Macacos; Foto I - Poço tubular 05 – Localizado próximo ao riacho dos Macacos; Foto J – Poço tubular 28 – Localizado no bairro – João Cabral; Foto L – Poço Tubular 30 – Localizado no bairro mais populoso – João Cabral.

**Fonte:** Imagens captadas pela autora, (2019).

A exploração dos aquíferos na bacia do Cariri é intensa e se dá por meio de poços que geralmente são dispostos em baterias, especialmente ao longo das zonas aluviais dos rios – Rio da Batateira (em Crato), Riacho dos Macacos (em Juazeiro do Norte), Rio Salamanca (em Barbalha) e Riacho dos Porcos (em Milagres) (SANTIAGO, 1997). Há muitos anos, a prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no município é realizada pela CAGECE, sendo que a água captada para esse fim, e que é proveniente do manancial subterrâneo, atualmente é obtida através de uma bateria de 48 poços tubulares, com vazões que variam de 20,0 m<sup>3</sup>/h a 236,0 m<sup>3</sup>/h, cuja disposição pontual pode ser vista na Figura 13.

**Figura 13** - Vista satélite dos 48 poços tubulares (PTs), que abastecem Juazeiro do Norte



Fonte: Arquivo próprio da autora, (2019).

## 5 METODOLOGIA

Realizou-se uma pesquisa quantitativa e qualitativa exploratória, com o intuito de avaliar a incidência de valores alterados de nitrato em águas subterrâneas na sede do município de Juazeiro do Norte. Esse tipo de pesquisa pode ser entendido como um estudo de caso onde, após a coleta de dados, é realizada uma análise das relações entre as variáveis para uma posterior determinação dos efeitos resultantes.

A CAGECE utiliza para o abastecimento público 53 poços, todos monitorados; desses, 48 poços já têm um histórico de monitoramento, por serem poços perfurados há certo tempo (Anexo A). Para os outros cinco, por terem sido perfurados recentemente, não se tem um histórico. Os poços foram selecionados para entrada de dados porque apresentavam propriedades consistentes como: localização, tipo de aquífero, profundidade do poço, vazão bombeada por hora e crivo da bomba.

As análises avaliadas são do período de 2013 a 2019, totalizando 388 análises laboratoriais de 48 poços tubulares, que abastecem a sede do município. A variável de resposta foi o nível de nitrato encontrado nas amostras de água, busca especificar a concentração encontrada no período chuvoso e de seca, discutindo-se, assim, as taxas de nitrato encontradas e sua relação com a presença do esgotamento sanitário e a densidade populacional. Este estudo classificou os teores de nitrato dos 48 poços em três faixas: poços que apresentam teores de nitrato até 5,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, acima de 5,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L até 10 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L e os que apresentam teores acima de 10 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L. Foi estabelecido que o poço que não teve todas as suas análises dentro daquela faixa, considerou-se um percentual igual ou superior a 75% a ela ou que no decorrer dos sete anos analisados os teores de nitrato foram crescentes ou decrescentes, assim alguns poços saíram da faixa anterior para a posterior ou vice versa. As células em branco nas Tabelas de 4 a 11 indicam que não houve coletas nos poços naqueles anos.

### 5.1 Amostragem e procedimentos analíticos

As amostras de águas subterrâneas foram coletas em todos os semestres (de 2013 a 2019) em 48 poços tubulares, captando água em diferentes aquíferos, para determinação dos teores de nitrato. As coletas e as análises ocorreram no período de

2013 (maio e novembro), 2014 (maio e novembro) e 2015 (outubro e novembro), 2016 (abril, maio, outubro e novembro), 2017 (maio, outubro e novembro) e 2018 (maio, outubro e novembro) e 2019 (abril e maio). As determinações analíticas foram realizadas de acordo com o Procedimento Operacional Padrão – POP, no Laboratório Regional em Juazeiro do Norte da CAGECE, de acordo com Standard Methods (APHA, 2012). Foram utilizados os métodos da Brucina e da Coluna Redutora de Cádmio para quantificação dos teores de nitrato.

Para definir se o resultado analítico indicava contaminação comparou-se com os padrões de potabilidade da Portaria de Consolidação PRC nº. 05/2017, anexo XX, do Ministério da Saúde, que dispõe sobre procedimentos e responsabilidades inerentes ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano, estabelece padrão de potabilidade da água para consumo humano, e dá outras providências. Os mapas anexados ao trabalho foram elaborados a partir dos softwares AUTO CAD e ArcGIS.

## **5.2 Análise da qualidade da água e sua relação com a cobertura de esgoto e densidade populacional**

Na área de estudo foram detectadas as possíveis fontes potenciais de poluição já mencionadas anteriormente e que estão no Quadro 3: ausência ou deficiência de esgotamento sanitário, drenagem superficial – Riacho dos Macacos, Rio Salgado e esgoto a céu aberto, bem como ocupação populacional, lixões e lixos acumulados em alguns pontos da cidade, cemitérios e lagoas de estabilizações, de acordo com o que a literatura descreve.

Para cada poço no Quadro 3 foram estabelecidas as fontes de poluição e o seu possível grau de contaminação, sendo eles: elevado ou baixo. considerando que as fontes poluidoras deveriam ser localizadas a jusante das fontes de abastecimento de água, a uma distância nunca inferior a quinze metros, conforme a NBR 7229 (ABNT, 1993) e de acordo com a presença e a quantidade da fonte de poluição próxima a cada poço (in loco), foi elaborado o Quadro 2, para os seguintes critérios de poluição:

- Elevado;
- Baixo

**Quadro 3** - Critérios de poluição para os poços tubulares.

FONTES DE POLUIÇÃO	PRESEÇA		DISTÂNCIA		LOCALIZAÇÃO		QUANTIDADE		INTENSIDADE	
	ELEVADA - Presente em todo ou parte do bairro que o poço está localizado	BAIXA - Ausência em todo o bairro que o poço está localizado	< 15,0 METROS - Do poço para a fonte de poluição	> 15,0 METROS - Do poço para a fonte de poluição	A MONTANTE - A fonte de poluição do poço	A JUSANTE - A fonte de poluição do poço	ELEVADA - Presença expressiva da fonte de poluição	BAIXA - Presença pequena da fonte de poluição	ELEVADA - Ocorre durante todo o dia	BAIXA - Ocorre de forma atípica
Ausência ou Deficiência de Esgotamento Sanitário	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Drenagem Superficial - Riacho dos Macacos/Rio Salgado - Esgoto a céu aberto	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Densidade Populacional (hab./10.000m)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Lixões/Lixo a céu aberto	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Cemitério	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Lagoas de Estabilização	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Fonte: Elaborado pela autora, (2020).

Quadro 4 - Possíveis fontes de poluição

POÇOS TUBULARES	FONTES DE POLUIÇÃO							
	Localização dos Poços Tubulares por Bairros	Densidade Populacional por bairro hab./10.000m <sup>2</sup>	Ausência ou Deficiência de Esgotamento Sanitário	Drenagem Superficial – Riacho dos Macacos/Rio Salgado – Esgoto a céu aberto	Densidade Populacional (hab./10.000km <sup>2</sup> )	Lixões/Lixo a céu aberto	Cemitério	Lagoas de Estabilização
PT 01	José Geraldo da Cruz	22,14	•	•	•	•	•	•
PT 02	José Geraldo da Cruz	22,14	•	•	•	•	•	•
PT 03	Limoeiro	86,74	•	•	•	•	•	•
PT 04	Limoeiro	86,74	•	•	•	•	•	•
PT 05	Limoeiro	86,74	•	•	•	•	•	•
PT 06	Limoeiro	86,74	•	•	•	•	•	•
PT 07	Limoeiro	86,74	•	•	•	•	•	•
PT 08	Limoeiro	86,74	•	•	•	•	•	•
PT 09	Lagoa Seca	15,66	•	•	•	•	•	•
PT 10	Lagoa Seca	15,66	•	•	•	•	•	•
PT 11	Lagoa Seca	15,66	•	•	•	•	•	•
PT 12	Lagoa Seca	15,66	•	•	•	•	•	•
PT 13	Lagoa Seca	15,66	•	•	•	•	•	•
PT 14	Lagoa Seca	15,66	•	•	•	•	•	•
PT 15	Jardim Gonzaga	14,06	•	•	•	•	•	•
PT 18	Aeroporto	2,35	•	•	•	•	•	•
PT 19	Frei Damião	19,25	•	•	•	•	•	•
PT 20	Socorro	100,04	•	•	•	•	•	•
PT 21	Frei Damião	19,25	•	•	•	•	•	•
PT 22	Frei Damião	19,25	•	•	•	•	•	•

Quadro 4 - Possíveis fontes de poluição - CONTINUAÇÃO

POÇOS TUBULARES	FONTES DE POLUIÇÃO							
	Localização dos Poços Tubulares por Bairros	Densidade Populacional por bairro hab./10.000m <sup>2</sup>	Ausência ou Deficiência de Esgotamento Sanitário	Drenagem Superficial – Riacho dos Macacos/Rio Salgado – Esgoto a céu aberto	Densidade Populacional (hab./10.000km <sup>2</sup> )	Lixões/Lixo a céu aberto	Cemitério	Lagoas de Estabilização
PT 23	Pedrinhas	18,62	•	•	•	•	•	•
PT 24	São José	23,62	•	•	•	•	•	•
PT 26	Betolândia	11,47	•	•	•	•	•	•
PT 27	Pirajá	200,81	•	•	•	•	•	•
PT 28	João Cabral	258,08	•	•	•	•	•	•
PT 29	João Cabral	258,08	•	•	•	•	•	•
PT 30	João Cabral	258,08	•	•	•	•	•	•
PT 31	José Geraldo da Cruz	22,14	•	•	•	•	•	•
PT 34	Campo Alegre	8,76	•	•	•	•	•	•
PT 35	Novo Juazeiro	45,43	•	•	•	•	•	•
PT 36	Frei Damião	19,25	•	•	•	•	•	•
PT 37	Planalto	2,24	•	•	•	•	•	•
PT 38	Campo Alegre	8,76	•	•	•	•	•	•
PT 39	Campo Alegre	8,76	•	•	•	•	•	•
PT 40	São José	23,62	•	•	•	•	•	•
PT 41	Planalto	2,24	•	•	•	•	•	•
PT 42	Vila Três Maria	5,52	•	•	•	•	•	•
PT 43	Aeroporto	2,35	•	•	•	•	•	•
PT 45	Frei Damião	19,25	•	•	•	•	•	•
PT 46	Tiradentes	41,76	•	•	•	•	•	•

**Quadro 4 - Possíveis fontes de poluição – CONTINUAÇÃO**

POÇOS TUBULARES	FONTES DE POLUIÇÃO							
	Localização dos Poços Tubulares por Bairros	Densidade Populacional por bairro hab./10.000m <sup>2</sup>	Ausência ou Deficiência de Esgotamento Sanitário	Drenagem Superficial – Riacho dos Macacos/Rio Salgado – Esgoto a céu aberto	Densidade Populacional (hab./10.000km <sup>2</sup> )	Lixões/Lixo a céu aberto	Cemitério	Lagoas de Estabilização
PT 47	Frei Damião	19,25	●	●	●	●	●	●
PT 48	Brejo Seco/Monsenhor Francisco Murilo	4,02	●	●	●	●	●	●
PT 50	Vila Três Maria	5,52	●	●	●	●	●	●
PT 52	Betolândia	11,47	●	●	●	●	●	●
PT 53	Betolândia	11,47	●	●	●	●	●	●
PT 55	Profa. Francisca M <sup>a</sup> Geli Sá Barreto	12,18	●	●	●	●	●	●
PT 56	Profa. Francisca M <sup>a</sup> Geli Sá Barreto	12,18	●	●	●	●	●	●
PT 58	São José	23,62	●	●	●	●	●	●

**Fonte:** Elaborado pela autora, (2020).

- Possível Fonte de Poluição Elevada;
- Possível Fonte de Poluição Baixa.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

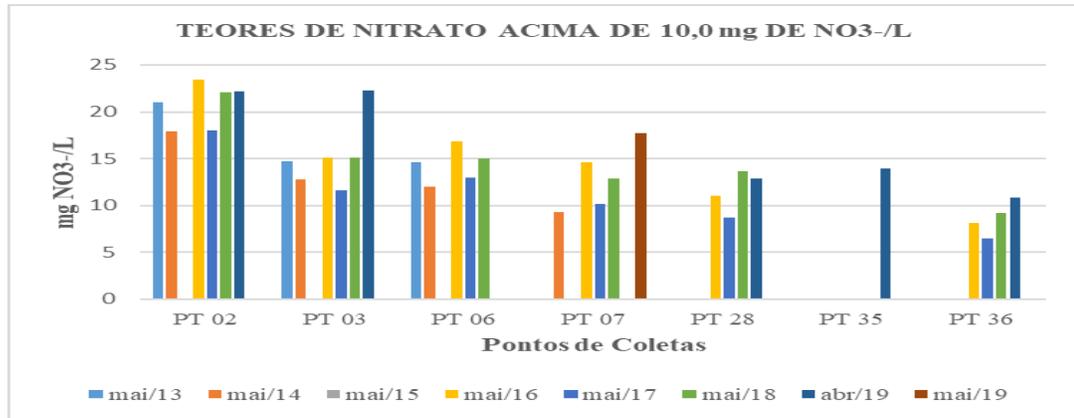
Os teores de nitrato acima de 10,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> registrados no primeiro semestre dos anos 2013 a 2019 (com exceção de 2015) estão apresentados na Tabela 4 e no Gráfico 2. Todos os poços analisados apresentaram um aumento considerável no teor de nitrato no primeiro semestre dos anos de 2013 a 2019 e uma concentração acima do valor máximo permitido pela legislação vigente, que é de 10 mg/L. Já nos anos 2016 e 2018, 83,33% dos poços analisados (PT 2, 3, 6, 7, 28, 35 e 36) também demonstraram teores fora do padrão. No ano de 2014, primeiro semestre, apenas uma análise do PT 07 apresentou teor de nitrato abaixo do valor máximo permitido pela legislação, mostrando que apenas 25,0% das amostras de 2014 estão dentro do padrão de potabilidade para nitrato. No ano de 2017, primeiro semestre, apenas duas análises, PTs 28 e 36, apresentaram teores de nitrato abaixo do valor máximo permitido pela legislação, mostrando que apenas 33,33% destas amostras estão dentro do padrão de potabilidade para nitrato.

**Tabela 3** - Resultados laboratoriais das análises químicas das amostras coletadas no primeiro semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019 com teores de nitrato acima de 10,0 mg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L.

PONTOS DE COLETAS	POÇOS COM TEORES DE NITRATO ACIMA DE 10,0 mg DE NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L							
	mai/13	mai/14	mai/15	mai/16	mai/17	mai/18	abr/19	mai/19
PT 2	20,98	17,88	—	23,46	18,04	22,06	22,18	—
PT 3	14,68	12,77	—	15,07	11,63	15,12	22,31	—
PT 6	14,58	11,98	—	16,81	13,00	15,06	—	—
PT 7	—	9,3	—	14,66	10,19	12,91	—	17,69
PT 28	—	—	—	11,05	8,7	13,67	12,85	—
PT 35	—	—	—	—	—	—	13,98	—
PT 36	—	—	—	8,15	6,5	9,19	10,84	—

Informações: CAGECE – Dezembro, (2019).

**Gráfico 2** - Teores de nitrato – primeiro semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.



**Fonte:** Laboratório Regional da UNBSA – CAGECE, (2019).

De acordo com a Tabela 5, os teores de nitrato nos poços para o período do segundo semestre de 2013 a 2018 estão bem próximo dos valores apresentados no primeiro semestre. Considerando o nível máximo de nitrato permitido pela legislação (10,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L), verifica-se que os poços tubulares 2, 3, 6 e 7 apresentaram concentrações superiores nos anos de 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018 em todo segundo semestre, o que indica provavelmente a poluição por esgotos domésticos e lixo devido à proximidade de mananciais superficiais poluídos, riacho dos Macacos, e a ausência ou deficiência do esgotamento sanitário, de acordo com o Quadro 3.

Na Tabela 5, observa-se que apenas o PT 36 em todo o período de 2013 a 2018 apresentou valores de nitrato dentro do padrão de tolerância. No ano de 2016 e 2017, 83,33% e 85,71% respectivamente das amostras ultrapassaram o limite tolerável de nitrato que podem estar relacionados às fontes de contaminação, conforme Quadro 3. 60% das amostras do PT 28 e 50% das do PT 35 apresentaram teores de nitrato dentro da normalidade. Considerando o nível máximo de nitrato permitido pela legislação (10,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L), verifica-se um quadro de contaminação provocada por esgotos domésticos e lixo para os poços 2, 3, 6 e 8, que ficam localizados às margens do riacho dos Macacos. A maior concentração de nitrato no Riacho dos Macacos ocorreu durante o mês de maio de 2016, no PT 02, atingindo 23,46 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L. Os poços que estão inseridos às margens ou próximos ao riacho dos Macacos apresentaram níveis de

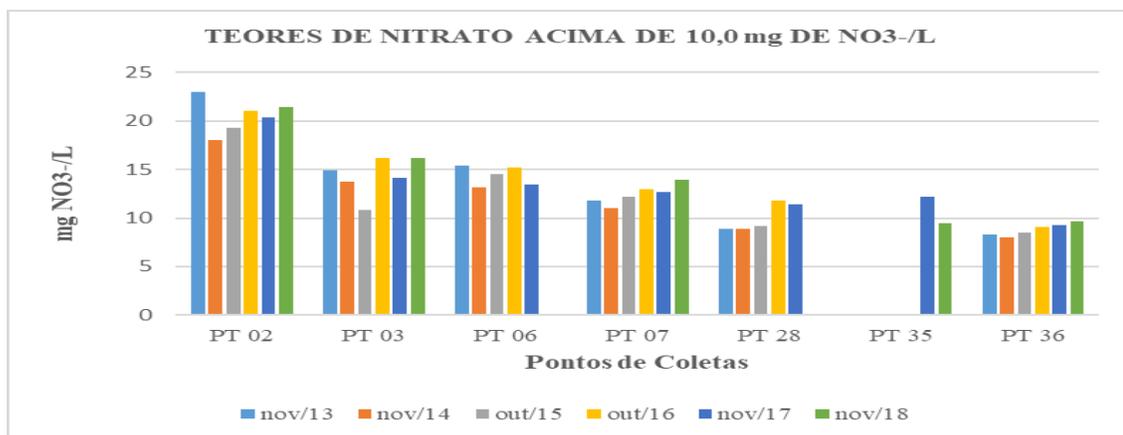
contaminação elevada, na sua maioria ultrapassando o padrão de potabilidade da água para esse parâmetro, levando em consideração o período pesquisado.

**Tabela 4** - Resultados laboratoriais das análises químicas das amostras coletadas no segundo semestre dos anos de 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018 com teores de nitrato acima de 10,0 mg de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ .

PONTOS DE COLETAS	POÇOS COM TEORES DE NITRATO ACIMA DE 10,0 mg DE $\text{NO}_3^-/\text{L}$					
	nov/13	nov/14	out/15	out/16	nov/17	nov/18
PT 2	22,96	18,05	19,30	21,01	20,39	21,48
PT 3	14,95	13,74	10,85	16,16	14,15	16,19
PT 6	15,38	13,15	14,50	15,24	13,48	—
PT 7	11,85	11,05	12,20	12,97	12,66	13,97
PT 28	8,92	8,84	9,20	11,83	11,38	—
PT 35	—	—	—	—	12,18	9,42
PT 36	8,34	7,96	8,50	9,11	9,24	9,64

Informações: CAGECE – Dezembro, (2019).

**Gráfico 3** - Teores de nitrato – segundo semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017 e 2018.

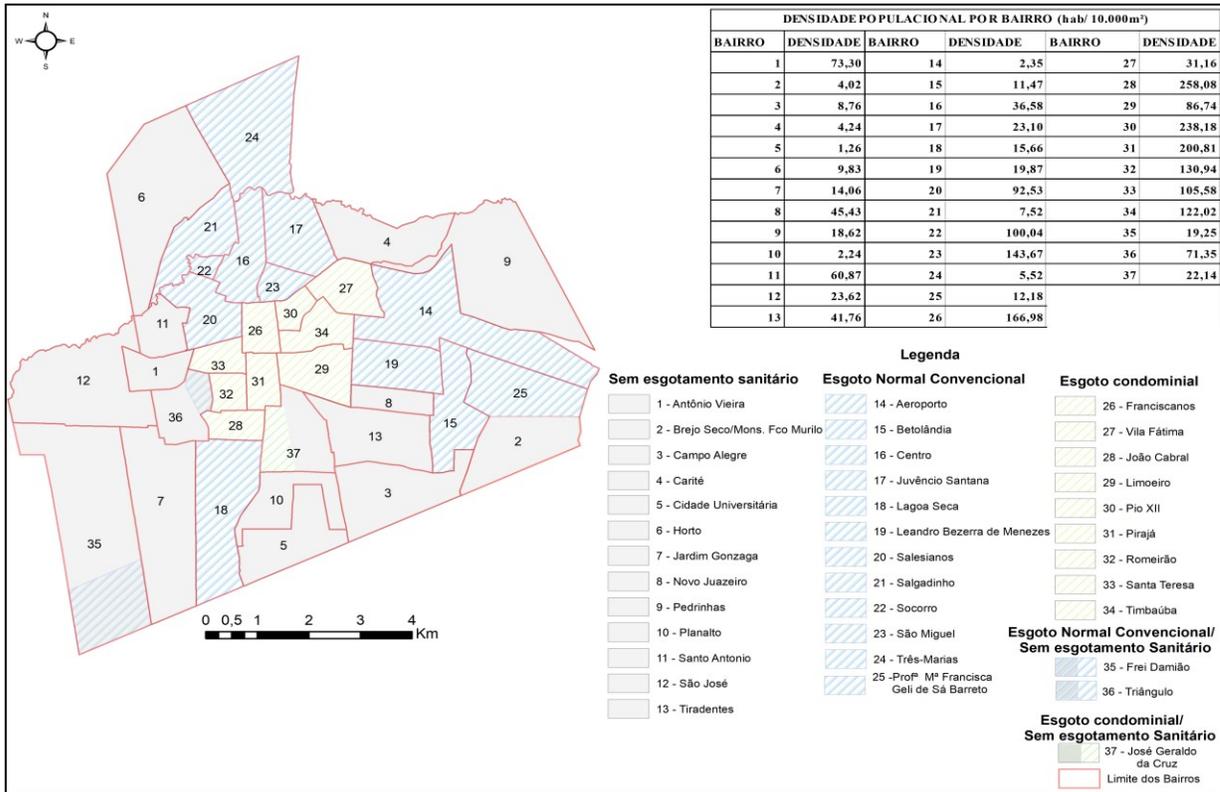


Fonte: Laboratório Regional da UNBSA – CAGECE, (2019).

Em relação à presença de nitrato encontrado no poço PT 28, pode estar relacionada com a localização. Situado no bairro João Cabral, o mais populoso da cidade, com 17.859 habitantes e uma densidade populacional de 258,08 hab./10.000m<sup>2</sup>, conforme Figura 14 e de acordo com a Tabela 2. O bairro tem disponibilidade de esgotamento sanitário, mas do tipo condominial. A maioria das

ligações são de fundo de lote, onde ocorrem muitas obstruções devido à cultura que alguns clientes têm de varrer os seus quintais e jogar o lixo dentro da caixa coletora, conseqüentemente, eles tampam o esgoto e voltam a utilizar a fossa séptica como meio de tratá-lo. Enfim, o bairro João Cabral tem 2.917 ligações ativas, 38 tamponadas e 1.242 ligações ainda disponíveis à população, de acordo com a Tabela 3.

**Figura 14** - Mapa com a densidade populacional e esgotamento sanitário por bairro.



Fonte: arquivo próprio da autora, (2020).

O PT 28 no primeiro e segundo semestres apresentou 75% e 40% respectivamente das análises acima dos valores estabelecidos pela legislação vigente. Analisando os resultados obtidos, existe uma tendência clara quanto ao aumento na concentração de íon nitrato nos poços tubulares que ficam localizados no bairro João Cabral: os PTs 28 (Tabelas 4 e 5 e respectivos Gráficos 2 e 3) e os PTs 29 e 30 (Tabelas 6, 7, 8 e 10 e respectivos Gráficos 4, 5, 6 e 7). Os três poços ficam próximos, localizados na mesma área, apresentam profundidades parecidas e as bombas estão instaladas praticamente nas mesmas profundidades, mas apresentam teores de nitrato

diferentes. O PT 28 apresenta os maiores valores, podendo ter relação com a vazão: por ser menor do que os demais poços, a mesma poderá estar sendo bombeada de uma outra zona do aquífero.

Em relação ao PT 35, localizado no bairro Novo Juazeiro, com três amostras em novembro de 2017 e 2018 e abril 2019, duas apresentaram valores acima do estabelecido pela legislação vigente. Os resultados podem estar relacionados com as fontes de poluição, registradas no Quadro 3: ausência de esgotamento sanitário e aproximação com dois cemitérios (Anjo da Guarda e São João Batista).

Analisando os resultados dos teores de nitrato dos poços tubulares nas Tabelas 6 e 7 (1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> semestres), observa-se que algumas análises dos poços tubulares 1, 4 e 27 ficaram com resultados acima de 10 mg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, 16,67%, 33,33% e 44,44% respectivamente, sendo que os demais resultados ficaram abaixo de 10 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L e, desses valores, 55,10% ficaram entre 5,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L e 10,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L. Os poços 1, 4, 5 e 8 estão localizados às margens do riacho dos Macacos e o poço 27 fica situado dentro da área do parque Ecológico, muito próximo ao riacho dos Macacos, que recebe contribuição de uma carga grande de esgoto das galerias de águas pluviais e das sarjetas dos bairros Lagoa Seca, Romeirão, João Cabral, Pirajá, Limoeiro e Pio XII.

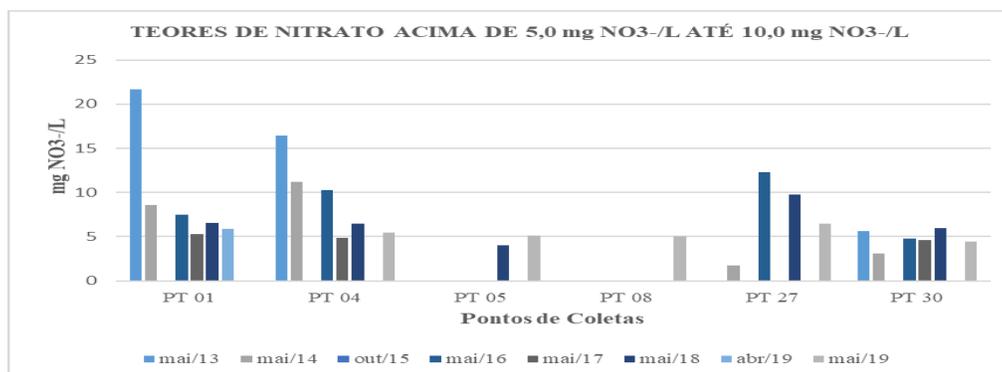
Os altos teores de nitrato presentes nos poços das Tabelas 6 e 7 e Gráficos 4 e 5 podem estar relacionados à ausência ou deficiência do esgotamento sanitário nessa área e à quantidade de esgoto e lixo a céu aberto no riacho dos Macacos, conforme Quadro 3.

**Tabela 5** - Resultados laboratoriais das análises químicas das amostras coletas no primeiro semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.

PONTOS DE COLETAS	POÇOS COM TEORES DE NITRATO ACIMA 5,0 mg de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L ATÉ 10,0 mg DE NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L							
	mai/13	mai/14	out/15	mai/16	mai/17	mai/18	abr/19	mai/19
PT 1	21,66	8,6	—	7,49	5,29	6,54	5,89	—
PT 4	16,41	11,24	—	10,27	4,86	6,45	—	5,43
PT 5	—	—	—	—	—	4,04	—	5,16
PT 8	—	—	—	—	—	—	—	5,03
PT 27	—	1,7	—	12,32	—	9,78	—	6,45
PT 30	5,66	3,1	—	4,75	4,58	5,97	—	4,46

Informações: CAGECE – Dezembro, (2019).

**Gráfico 4 - Teores de nitrato acima de 5,0 mg/L até 10 mg/L, primeiro semestre 2013 a 2019.**



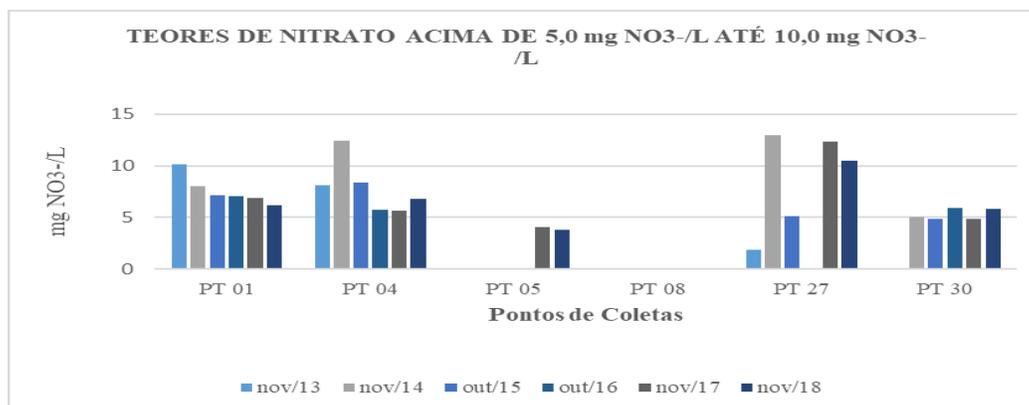
Fonte: Laboratório Regional da UNBSA – CAGECE (2019).

**Tabela 6 - Resultados laboratoriais das análises químicas das amostras coletas no segundo semestre dos anos de 2013, 2014 e 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019.**

PONTOS DE COLETAS	POÇOS COM TEORES DE NITRATO ENTRE 5,0 mg DE NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L E 10,0 mg DE NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L					
	nov/13	nov/14	out/15	out/16	nov/17	nov/18
PT 1	10,09	8,05	7,10	7,02	6,85	6,21
PT 4	8,11	12,45	8,4	5,75	5,63	6,81
PT 5	—	—	—	—	4,06	3,81
PT 8	—	—	—	—	—	—
PT 27	1,91	12,97	5,15	—	12,30	10,48
PT 30	—	5,04	4,90	5,92	4,85	5,8

Informações: CAGECE – Dezembro, (2019).

**Gráfico 5 - Teores de nitrato – segundo semestre dos anos 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.**



Fonte: Laboratório Regional da UNBSA – CAGECE, (2019).

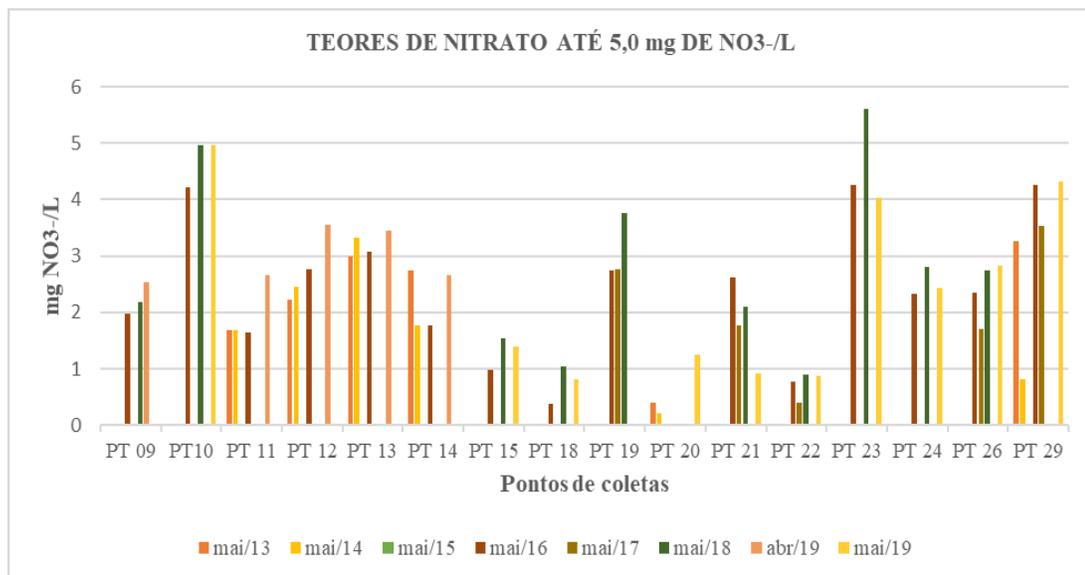
Outros poços tubulares, nas Tabelas 8, 9, 10 e 11 (1º e 2º semestres) e seus respectivos Gráficos 6, 7, 8 e 9, que estão de certa forma mais afastados da parte central da cidade, localizados nos bairros mais periféricos, alguns com disponibilidade de esgotamento sanitário e uma densidade populacional relativamente baixa, outros mesmo sem disponibilidade de esgotamento sanitário, com uma densidade populacional muito baixa, apresentam níveis de íon nitrato considerados seguros: 96,57% das amostras estão com resultados de nitrato abaixo de 5,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, e apenas 3,43% das análises apresentaram nitrato acima de 5,0 mg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, já que estão abaixo do estabelecido pela legislação vigente. Conforme pode ser visto também no Quadro 3, para esses poços poucos fatores de risco de poluição apresentam.

**Tabela 7** - Resultados laboratoriais das análises químicas das amostras coletas no primeiro semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.

PONTOS DE COLETAS	POÇOS COM TEORES DE NITRATO ATÉ 5,0 mg DE NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L							
	mai/13	mai/14	mai/15	mai/16	mai/17	mai/18	abr/19	mai/19
PT 9	—	—	—	1,98	—	2,18	2,54	—
PT10	—	—	—	4,22	—	4,97	—	4,96
PT 11	1,69	1,68	—	1,64	—	—	2,65	—
PT 12	2,23	2,45	—	2,77	—	—	3,56	—
PT 13	2,99	3,33	—	3,07	—	—	3,44	—
PT 14	2,74	1,77	—	1,77	—	—	2,66	—
PT 15	—	—	—	0,99	—	1,55	—	1,4
PT 18	—	—	—	0,37	—	1,05	—	0,81
PT 19	—	—	—	2,75	2,76	3,76	—	—
PT 20	0,4	0,22	—	0,0	—	—	—	1,24
PT 21	—	—	—	2,62	1,77	2,1	—	0,91
PT 22	—	—	—	0,78	0,39	0,89	—	0,88
PT 23	—	—	—	4,25	—	5,61	—	4,02
PT 24	—	—	—	2,33	—	2,8	—	2,43
PT 26	—	—	—	2,35	1,7	2,74	—	2,82
PT 29	3,27	0,82	—	4,25	3,54	—	—	4,32

Informações: CAGECE – Dezembro, (2019).

**Gráfico 6** - Teores de nitrato – primeiro semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.



**Fonte:** Laboratório Regional da UNBSA – CAGECE, (2019).

Analisando os resultados das análises de nitrato das Tabela 8 e 10 da bateria dos poços tubulares PTs 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15, localizados no bairro Lagoa Seca, verifica-se que todos os resultados estão abaixo de 5,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, valores esses que não trazem riscos à população. Esses resultados podem estar relacionados às seguintes situações: o bairro é mais afastado da parte central da cidade, parte do bairro possui esgotamento sanitário, tem uma densidade populacional pequena por ser o bairro com maior poder aquisitivo, suas residências ocupam um maior território.

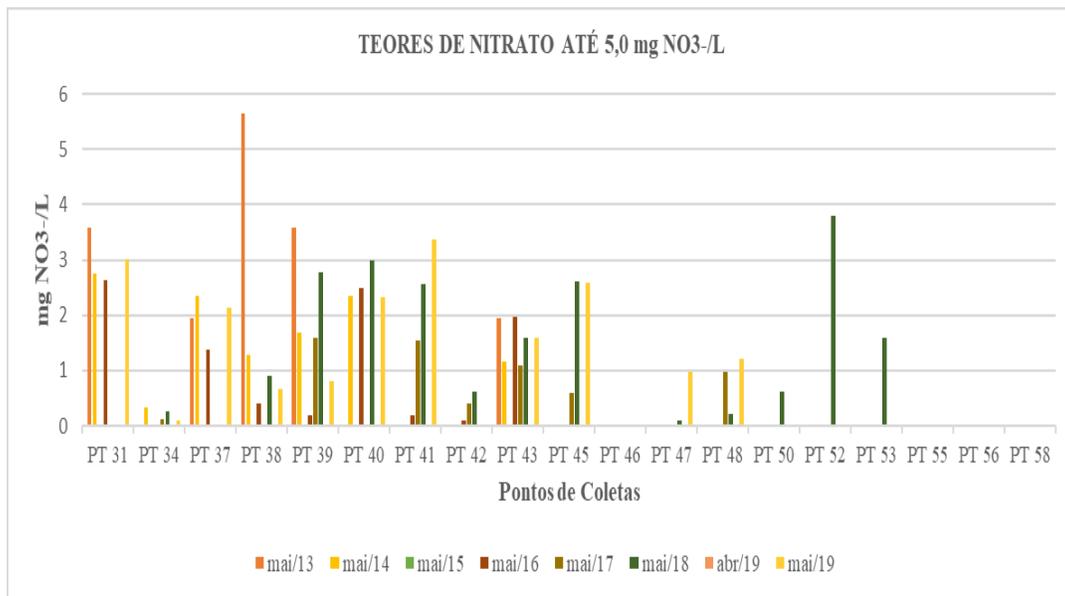
**Tabela 8** - Resultados laboratoriais das análises químicas das amostras coletas no primeiro semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.

PONTOS DE COLETAS	POÇOS COM TEORES DE NITRATO ATÉ 5,0 mg DE NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L							
	mai/13	mai/14	mai/15	mai/16	mai/17	mai/18	abr/19	mai/19
PT 31	3,59	2,75	—	2,64	—	—	—	3,01
PT 34	—	0,34	—	0,0	0,11	0,27	—	0,1
PT 37	1,94	2,36	—	1,37	—	—	—	2,14
PT 38	5,66	1,28	—	0,4	—	0,89	—	0,66
PT 39	3,59	1,69	—	0,2	1,6	2,77	—	0,8
PT 40	—	2,36	—	2,49	—	2,98	—	2,33
PT 41	—	—	—	0,2	1,55	2,56	—	3,36
PT 42	—	—	—	0,1	0,4	0,62	—	—

PT 43	1,94	1,16	—	1,98	1,1	1,59	—	1,58
PT 45	—	—	—	—	0,6	2,62	—	2,58
PT 46	—	—	—	—	—	—	—	—
PT 47	—	—	—	0,00	0,00	0,09	—	0,97
PT 48	—	—	—	—	0,98	0,21	—	1,2
PT 50	—	—	—	—	—	0,62	—	—
PT 52	—	—	—	—	—	3,79	—	—
PT 53	—	—	—	—	—	1,6	—	—
PT 55	—	—	—	—	—	—	—	—
PT 56	—	—	—	—	—	—	—	—
PT 58	—	—	—	—	—	—	—	—

Informações: CAGECE – Dezembro, (2019).

**Gráfico 7** - Teores de nitrato – primeiro semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.



Fonte: Laboratório Regional da UNBSA – CAGECE, (2019).

Os poços tubulares 19, 21, 22, 45 e 47, que ficam localizados no bairro Frei Damião, o 3<sup>o</sup> maior em população e com parte do bairro com disponibilidade de esgotamento sanitário, apresentam em 100% das análises teores de nitrato abaixo de 5,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, que é seguro para população. Os baixos valores de nitrato nesses poços relacionados no período chuvoso e de seca, das Tabelas 8, 9, 10 e 11, podem ter relação com a disponibilidade do esgotamento sanitário e com as profundidades dos

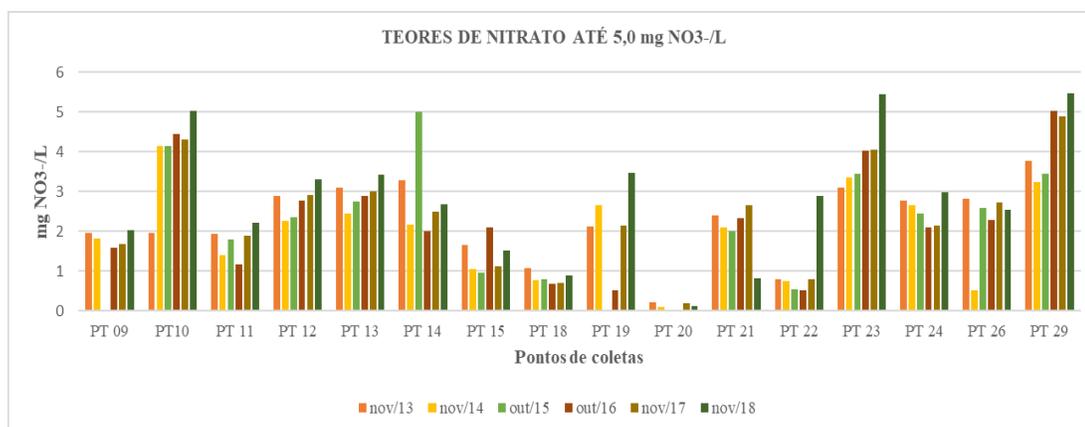
poços que são relativamente grandes e suas vazões de explorações são baixas, de acordo com Anexo A.

**Tabela 9** – Resultados laboratoriais das análises químicas das amostras coletas no segundo semestre dos anos de 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019.

PONTOS DE COLETAS	POÇOS COM TEORES DE NITRATO ATÉ 5,0 mg DE NO <sub>3</sub> /L					
	nov/13	nov/14	out/15	out/16	nov/17	nov/18
PT 9	1,95	1,82	—	1,6	1,69	2,04
PT10	1,97	4,15	4,15	4,45	4,31	5,02
PT 11	1,94	1,40	1,80	1,17	1,89	2,22
PT 12	2,89	2,27	2,35	2,77	2,92	3,30
PT 13	3,11	2,45	2,75	2,90	3,00	3,42
PT 14	3,28	2,16	5,00	2,01	2,49	2,69
PT 15	1,66	1,06	0,95	2,09	1,13	1,53
PT 18	1,08	0,78	0,80	0,68	0,71	0,88
PT 19	2,12	2,66	—	0,52	2,15	3,48
PT 20	0,22	0,10	0,00	—	0,20	0,12
PT 21	2,40	2,11	2,00	2,34	2,65	0,82
PT 22	0,79	0,76	0,55	0,51	0,80	2,90
PT 23	3,11	3,36	3,45	4,02	4,05	5,45
PT 24	2,77	2,65	2,45	2,11	2,15	2,99
PT 26	2,82	0,52	2,60	2,29	2,73	2,54
PT 29	3,78	3,25	3,45	5,04	4,88	5,47

Informações: CAGECE – Dezembro, (2019).

**Gráfico 8** - Teores de nitrato - segundo semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.



Fonte: Laboratório Regional da UNBSA – CAGECE, (2019).

Os demais poços tubulares, do 23 ao 53, que estão inseridos nas Tabelas 8, 9, 10 e 11, com exceção de 3 amostras que tiveram valores acima de 5,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, PTs 23 (Tabela 8 e 10) e 38 (Tabela 9), apresentaram valores abaixo de 5,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, valores estes seguros em relação ao teor de nitrato. Os baixos valores de nitrato podem ter relação com a densidade populacional dos bairros onde estão localizados esses poços, que é relativamente baixa, conforme Quadro 3 e Tabela 2. São esses os poços e bairros: Aeroporto, poços tubulares 18, 23 e 43, Betolândia, poços tubulares 26, 52, 53, 55 e 56, Campo Alegre, poços tubulares 34, 38, 39 e 41, Planalto, poço tubular 37, São José, poços tubulares 24, 40 e 58, Vila Três Maria, poços tubulares 42 e 50, José Geraldo da Cruz, poço tubular 31 e Monsenhor Murilo, poços tubulares 46 e 48.

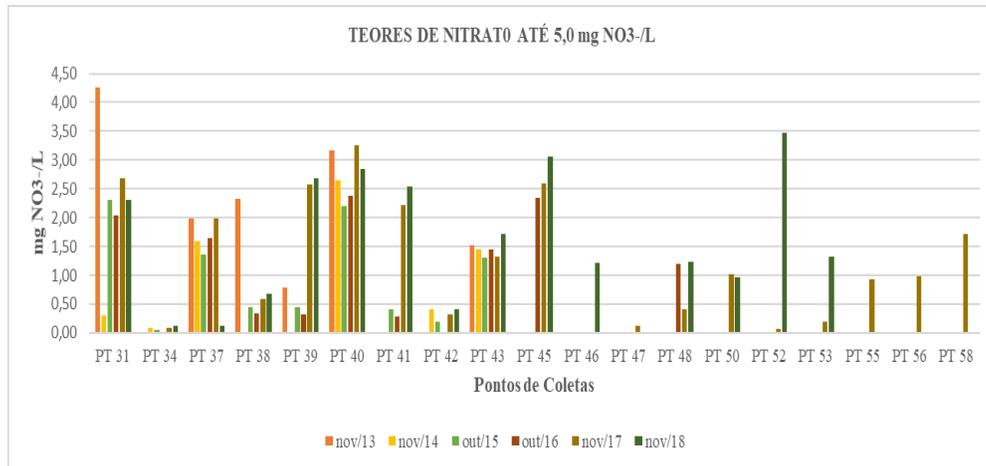
**Tabela 10** – Resultados laboratoriais das análises químicas das amostras coletas no segundo semestre dos anos de 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019.

PONTOS DE COLETAS	POÇOS COM TEORES DE NITRATO ATÉ 5,0 mg DE NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L					
	nov/13	nov/14	out/15	out/16	nov/17	nov/18
PT 31	4,26	0,30	2,31	2,04	2,68	2,31
PT 34	—	0,08	0,05	0,00	0,09	0,12
PT 37	1,99	1,59	1,35	1,65	1,98	0,12
PT 38	2,32	—	0,45	0,33	0,59	0,67
PT 39	0,78	—	0,45	0,32	2,58	2,68
PT 40	3,16	2,64	2,20	2,38	3,25	2,84
PT 41	—	—	0,40	0,28	2,22	2,54
PT 42	—	0,41	0,20	—	0,31	0,41
PT 43	1,52	1,44	1,30	1,45	1,33	1,71
PT 45	—	—	—	2,34	2,59	3,06
PT 46	—	—	—	—	—	1,21
PT 47	—	—	0,00	0,00	0,13	0,00
PT 48	—	—	—	1,20	0,41	1,24
PT 50	—	—	—	—	1,02	0,96
PT 52	—	—	—	—	0,07	3,48
PT 53	—	—	—	—	0,20	1,33
PT 55	—	—	—	—	0,93	—

<b>PT 56</b>	—	—	—	—	0,98	—
<b>PT 58</b>	—	—	—	—	1,71	—

Informações: CAGECE – Dezembro, (2019).

**Gráfico 9** - Teores de nitrato - segundo semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.

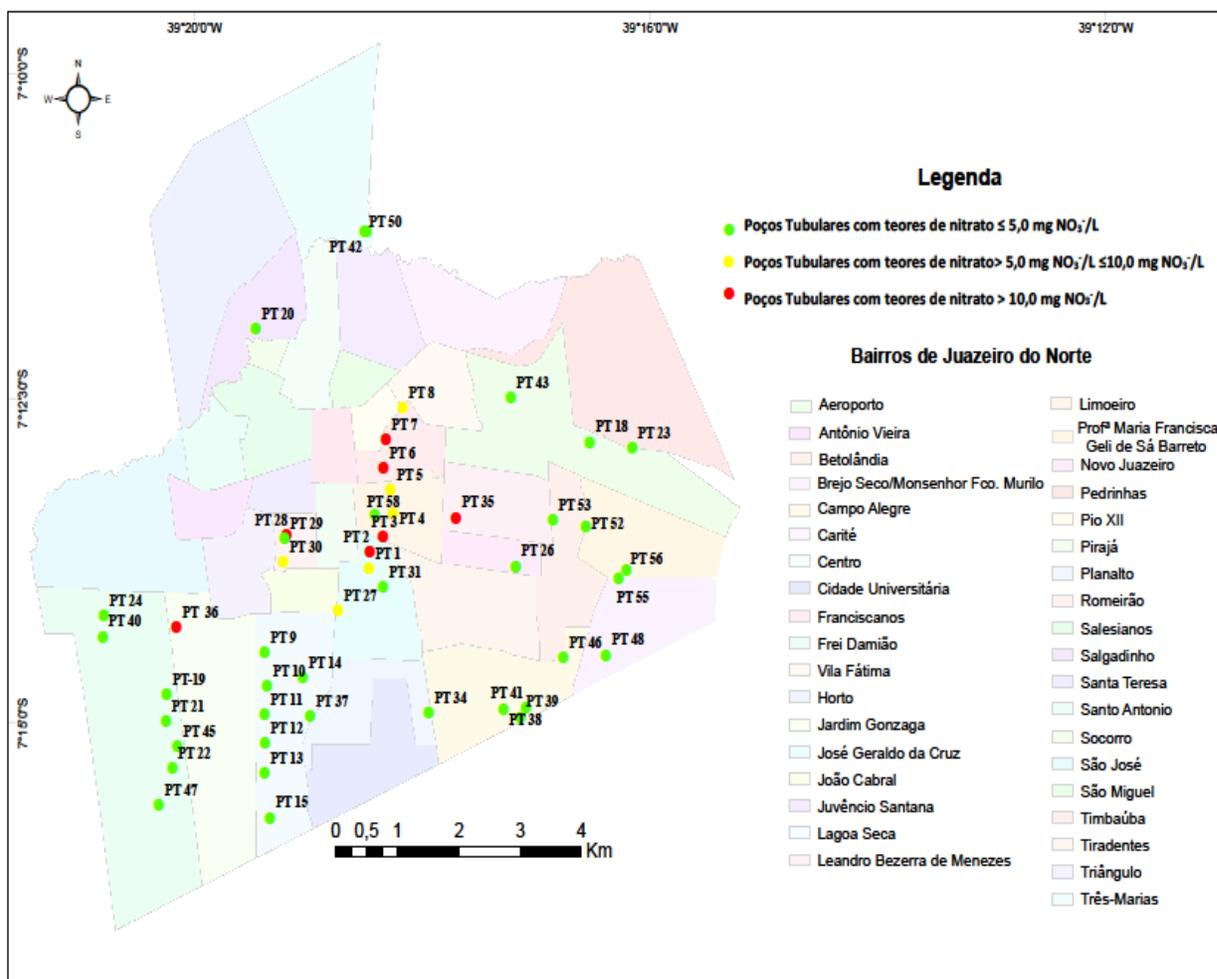


Fonte: Laboratório Regional da UNBSA – CAGECE, (2019).

De acordo com o Quadro 3 em alguns poços tubulares que abastecem Juazeiro do Norte foram encontradas fontes pontuais de poluição (PTs 28, 30, 35 e 36) e em outros poços fontes lineares de poluição (PTs 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 27). Para as fontes pontuais de poluição dos poços 28, 30 e 35, os mesmos ficam localizados em bairros populosos, com parte do esgotamento sanitário funcionando precariamente. O PT 35 fica localizado em um bairro sem esgotamento sanitário e muito próximo a dois cemitérios. Para as fontes lineares de poluição dos poços 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 27, todos os poços estão localizados às margens ou muito próximo ao Riacho dos Macacos que recebem um aporte grande de esgoto doméstico e muito lixo; parte dos bairros não dispõem de esgotamento sanitário e a densidade populacional desses bairros é grande. Todos os poços que têm as maiores fontes lineares de poluição apresentam maiores teores de nitrato: PTs 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 27 (Tabelas 4 e 5). Todos eles ficam às margens ou próximo ao Riacho dos Macacos. Os poços que têm fontes de poluição pontuais são os PTs 28, 30, 35 e 36, que apresentam teores de nitrato moderado, conforme as Tabelas 6 e 7. Os demais poços tubulares, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18,

19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 29, 31, 34, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 50, 52, 53, 55, 56 e 58, que têm poucas fontes de poluição, apresentam teores de nitrato baixo, conforme Tabelas 8, 9, 10 e 11. A Figura 15 mostra os poços tubulares que abastecem Juazeiro do Norte, conforme os seus teores de nitrato.

**Figura 15** - Mapa - poços tubulares e teores de nitrato.

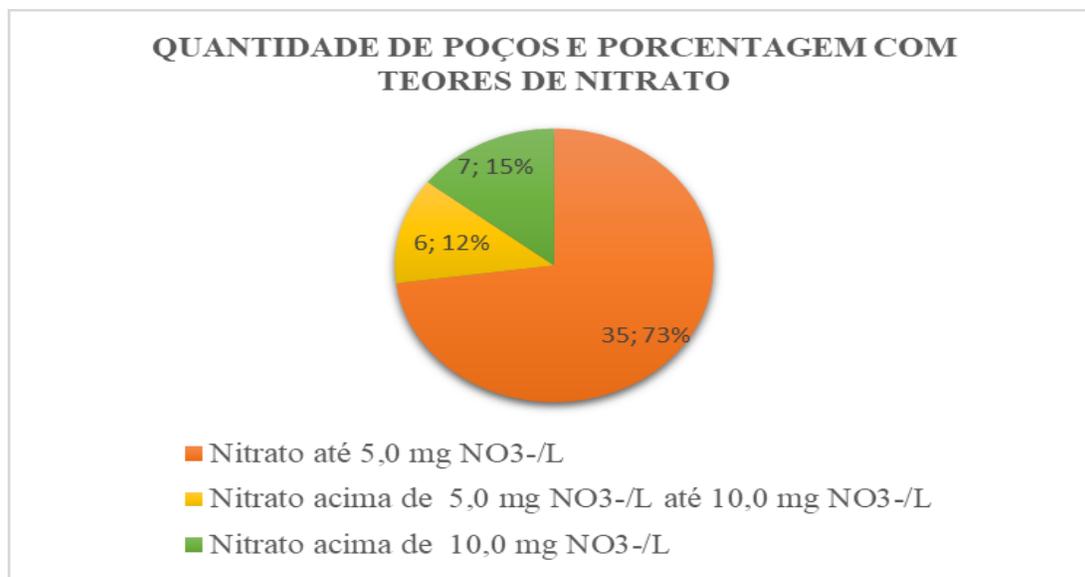


Fonte: arquivo próprio da autora, (2020).

No Gráfico 10 observa-se que a concentração de nitrato é superior a  $10,0$  mg  $\text{NO}_3^-/\text{L}$  em sete poços (15,0%), a maioria localizada às margens do riacho dos Macacos, que recebe um volume grande de esgotos domésticos. Em outros seis poços (12,0%), os teores de nitrato resultaram acima de  $5,0$  mg  $\text{NO}_3^-/\text{L}$  até  $10,0$  mg  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ . A maioria desses poços também está às margens ou próxima ao riacho dos Macacos e

nos demais trinta e sete poços (73,0%) as concentrações apresentaram-se iguais ou inferior a 5,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, poços esses mais distantes da área central da cidade, localizados mais próximos das extremidades do município.

**Gráfico 10** - Quantidade de poços tubulares e suas porcentagens em relação aos teores de nitrato.



**Fonte:** Laboratório Regional da UNBSA – CAGECE, (2019).

Um dos aspectos mais preocupantes, nas amostras analisadas neste estudo, foi o elevado percentual de amostras com nitrato acima de 10 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L (VMP), sendo que ele é o produto final da estabilização aeróbia do nitrogênio orgânico, indicando contaminação antiga (Tabelas 4, 5 e alguns valores das Tabelas 6 e 7). Nesses casos, torna-se importante detectar e diferenciar as quatro espécies nitrogenadas, para se avaliar corretamente a qualidade da água, principalmente porque o nitrito, o nitrogênio amoniacal e o nitrogênio albuminoide, são indicadores de contaminação do aquífero e de possíveis condições higiênico-sanitárias insatisfatórias (ALMASRI, 2007; APHA, 2005).

## 7 CONCLUSÃO

Avaliamos os resultados apresentados como um alerta para a necessidade urgente da ampliação e implantação de um sistema de esgotamento sanitário para garantir uma oferta de água com qualidade para a população Juazeirense.

Sete poços tubulares, são eles PTs 2, 3, 6, 7, 28, 35 e 36 localizados na área central urbana do município de Juazeiro do Norte, às margens e próximo ao riacho dos Macacos, poços tubulares no bairro João Cabral, Real Ville - Mutirão e Timbaúba, apresentaram altas concentrações de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) na água subterrânea. Esses valores encontram-se acima dos limites de potabilidade estabelecidos pela PRC 05/2017, anexo XX do Ministério da Saúde, portanto, o recurso destes locais sem diluição com outros poços que apresentem ausência ou valores baixos é considerado impróprio para o abastecimento público.

Os altos teores de nitrato, que em alguns locais atingem valores de 23,46 mg/L, estão restritos à zona central da área urbana, a qual é considerada área antiga da cidade, onde se tem ainda o uso de fossas sépticas, esgoto a céu aberto vindo de vários bairros pelas galerias de águas de chuvas, lixos acumulados e jogados às margens do riacho dos Macacos. Além de todas essas fontes de contaminação, outra provável fonte são os vazamentos nas tubulações de esgoto. O nitrato, ao atingir o solo, se infiltra até o nível freático e se concentra no aquífero superficial. Entre o aquífero superficial e o profundo foi constatada a presença de camada argilosa que impede a infiltração do contaminante. Porém, uma elevada quantidade de poços perfurados sem critérios técnicos e, principalmente, sem as condições de proteção sanitária adequada, conforme prescrito em normas, deve ter atravessado a camada argilosa; esses poços tornaram-se os caminhos preferenciais para a percolação do nitrato até as partes mais profundas do aquífero.

Mais outros seis poços tubulares, são eles PTs 1, 4, 5, 8, 27 e 30, localizados também na área central urbana do município de Juazeiro do Norte, às margens e próximo ao riacho dos Macacos e no bairro João Cabral, apresentam também em alguns períodos altas concentrações de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), ou seja, valores acima de 10,0 mg/L e os demais valores entre 5,0 mg/L e 10,0 mg/L que já indicam contaminações,

servindo de alerta. Os demais poços, ou seja, os trinta cinco que apresentaram teores de nitrato até  $5,0 \text{ mg NO}_3^-$ , não apresentam riscos à saúde da população, estando inseridos nas áreas mais afastadas do centro urbano, com densidade populacional baixa ou com disponibilidade do sistema de esgotamento sanitário.

As águas de todos os poços tubulares que ficam às margens ou próximos ao riacho dos Macacos (PTs 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8), que apresentam teores de nitrato acima de  $10,0 \text{ mg NO}_3^-$  ou acima de  $5,0 \text{ mg NO}_3^-$  até  $10,0 \text{ mg NO}_3^-$ , são diluídas com águas de uma outra bateria de poços tubulares que apresentam teores de nitrato abaixo de  $5,0 \text{ mg NO}_3^-$  (PT's 9, 10, 11, 12, 13 e 14), ficando dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente para abastecimento humano. O poço tubular 27, que apresenta teores elevado de nitrato, também se mistura com os PTs 34, 39, e 41, que apresentam teores de nitrato abaixo de  $5,0 \text{ mg NO}_3^-$ , diluindo assim o teor de nitrato e ficando dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente para abastecimento humano. O PT 35, que apresenta teores elevado de nitrato, também se mistura com a água dos PTs 34, 39, e 41, diluindo assim o teor de nitrato e ficando dentro dos limites estabelecido pela legislação vigente para abastecimento humano. O PT 36, que apresenta teores elevados de nitrato, também se mistura com a água dos PT 9 e baterias dos poços da Timbaúba e Lagoa Seca, diluindo assim o teor de nitrato e ficando dentro dos limites estabelecido pela legislação vigente para abastecimento humano. Toda a água tratada que abastece Juazeiro do Norte apresenta teores de nitrato abaixo do estabelecido pela legislação vigente, sendo assim, própria para o consumo humano.

Diante das concentrações de nitrato encontradas na água subterrânea dos poços que abastecem a cidade de Juazeiro do Norte, sugere-se que sejam feitas amostragens periódicas, em todos os poços públicos, para o monitoramento do nitrato. A CAGECE deve ficar atenta com a manutenção dos pontos de vazamentos das redes de esgotos, a proteção e a manutenção de suas áreas de captações, além de atuar nas campanhas educativas à população, conscientizando-as em relação a interligação ao sistema de esgotamento sanitário, tendo em vistas que se tem 14.629 ligações disponíveis, buscar recursos financeiros junto ao governo estadual e instituições privadas para universalizar a água e o esgotamento sanitário no município, tentando dessa maneira interromper as fontes da contaminação do nitrato.

Medidas imediatas devem ser tomadas para cessar a percolação de águas contaminadas para o aquífero, sendo a principal delas o tamponamento de poços particulares construídos sem critérios técnicos. Não é recomendado autorizar a perfuração de novos poços tubulares profundos nas zonas críticas, ou seja, nas áreas onde foram encontrados poços com concentrações de nitrato acima de 10,0 mg/L.

Os resultados obtidos neste estudo demonstram falhas nas práticas de uso da água e ressaltam a importância da conscientização dos consumidores, relativa aos riscos com a saúde ambiental, bem como a necessidade de promoção de políticas públicas que garantam acesso generalizado à água adequada ao consumo humano. Conclui-se que, se o risco não for eliminado, com certa antecedência, poderá haver a perda completa do manancial e, conforme o caso, dos mananciais vizinhos também. Assim, salienta-se a importância e a necessidade de um monitoramento contínuo físico-químico, principalmente relacionados ao parâmetro nitrato das fontes de água subterrânea na cidade de Juazeiro do Norte.

Grandes são os volumes de efluentes domésticos lançados a céu aberto e através das fossas e sumidouros na região. Os níveis de contaminação antrópica em alguns poços são altos, em outros poços mediano e em uma parcela maior os níveis são baixos, e de um modo geral ocorrem pela contaminação por nitrato. Logo, as águas subterrâneas estudadas de alguns poços estão impróprias para consumo humano. Considerando que o aquífero possui uma condição de semiconfinamento, a contaminação das águas subterrâneas da área pode ser causada possivelmente por problemas da falta de saneamento. As características hidrodinâmicas do aquífero também podem contribuir na diluição dos contaminantes visto que se trata de um aquífero com grande disponibilidade hídrica.

É preciso verificar se há necessidade do bombeamento dos poços durante 24 horas, tendo em vista que estes poderão no futuro captar água dos rios que cortam a área de estudo, onde o grau de poluição é acentuado. Outro aspecto, que deve ser considerado, é que a área já se encontra na sua grande parte pavimentada e impermeabilizada, reduzindo, assim, a taxa de recarga natural dos aquíferos e, conseqüentemente, afetando o fluxo subterrâneo e influenciando, também, no processo

de diluição dos contaminantes. Recomenda-se um estudo para se analisar os tipos e graus de contaminantes no aquífero estudado.

Por fim, vale ressaltar que a região possui alto potencial para águas subterrâneas e que, portanto, se faz necessária a implantação de um projeto de saneamento básico, bem como a intensificação no controle e fiscalização de poços existentes na região, com aplicação de medidas protetivas e análises químicas e bacteriológicas periódicas.

## REFERÊNCIAS

ABNT - NBR 7229. **Condições exigíveis para projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos, incluindo tratamento e disposição de efluentes e lodo sedimentado.** Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ABRAMOVICH, B.; CARRERA, E.; LURÁ, M.C.; HAYE, M.A. Cryptosporidium y agua: estudio de una asociación riesgosa. **Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, n. 36, p. 30-34, 1998.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Out – Orgas.** Emitidas pelas Unidades da Federação, vigentes em julho de 2016. Brasília: ANA, 2016. (Shp). Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=a13c9093-34bd-403f-88db-6ff-bad2069e6>. Acesso em mai. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Estudos hidrogeológicos na bacia hidrográfica do São Francisco - sistema aquífero Urucuia/Areado e sistema aquífero Bambuí.** Brasília: ANA, 2013. Disponível em: [http://www.ana.gov.br/estudo-da-ana-aponta-vulnerabilidades-em-aquiferos-da-bacia-do-sao-francisco/resumo-executivo\\_carste-sao-francisco.pdf](http://www.ana.gov.br/estudo-da-ana-aponta-vulnerabilidades-em-aquiferos-da-bacia-do-sao-francisco/resumo-executivo_carste-sao-francisco.pdf). Acesso em 4 ago. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional/Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape - Brasília: ANA, Engecorps/Cobrape, 2010.**

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil.** Brasília: ANA, 2005. 123 p.

ALABURDA, J. E.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, n. 32, v. 2, p. 160-165, 1998.

ALMASRI, M. N. Nitrate contamination of groundwater: A conceptual management framework. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 27, p. 220-242, 2007.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 21st ed., Washington: APHA, 2005.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA).. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 17th ed., Washington, 1992. P. 4-75 / 4-93.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA).. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 18st ed., AWWA -WPCP. 1992.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). **Water quality and treatment: a handbook of community water supplies**. 4st ed., New York, McGraw Hill, 1990.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2 ed., Porto Alegre: Bockman, 2002. 621 p.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**. 4 ed., Porto Alegre: Bookman, 2011.

BARBOSA; Cátia Fernandes. **Hidrogeoquímica e a contaminação por nitrato em água subterrânea no bairro Piranema Seropédica-RJ**. [Dissertação] Universidade Estadual de Campinas, Campinas; 2005.

BARTUCCA, M. L; MIMMO, T; CESCO, S; BUONO, D. D. Nitrate removal from polluted water by using a vegetated floating system. **Science of the Total Environment**, v. 542, p. 803-808, 2016.

BATALHA, B.H.L.; PARLATORE, A. C. **Controle da qualidade da água para consumo humano**: bases conceituais e operacionais. São Paulo, CETESB, 1993.

BHATNAGARA, A; SILLANPÄÄB, M. A review of emerging adsorbents for nitrate removal from water. **Chemical Engineering Journal**, v. 168, p. 493–504, 2011.

BIGUELINI, C. P.; GUMY, M. P. Saúde ambiental: índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região Sudoeste do Paraná. **Revista Faz Ciência**, v. 14, n. 20, p. 153-175, 2012.

BOUCHARD, D. C.; WILLIAMS, M. D.; SURAMPALLI, R. Y. Nitrate contamination of ground water sources and potential health effects. **Journal of the American Water Works Association**, v. 84, 85-90, 1992.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de consolidação PRC n. 05/2017, anexo XX. Dispõe sobre os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Brasília: Ministério da Saúde, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde.. **Agricultura e qualidade da água**: contaminação da água pelo nitrato. Planaltina: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento / Embrapa Cerrados, 2002. 29p.

BRASIL. Ministério da Saúde.. Lei nº. 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a lei nº. 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 11 jan. 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde.. **Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de águas e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente / (CONAMA), 2005.

BUROW, K. R.; NOLAN, B. T.; RUPERT, M. G; DUBROVSKY, N. M. Nitrate in groundwater of the United States, 1991-2003. **Environmental Science Technology**, v. 44, p. 4988-4997, 2010.

CABRAL, N. M. T. Teores de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) nas águas do aquífero Barreiras nos bairros do reduto, Nazaré e Umarizal - Belém/PA. **Química nova**, v. 30, n. 8, p. 1804-1808, 2007.

CAMPONOGARA, I. Mapeamento da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos e risco de poluição dos recursos hídricos subterrâneos no município de Soledade / RS. In: **ANAIS...COBRAC**, 2004: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, UFSC. Florianópolis, 2004.

CARNEIRO, Cátia Sofia Ferreira. **O ciclo urbano da água - uma abordagem pedagógica.** (Dissertação) Mestrado em Física e Química para o Ensino - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real - Portugal, 2007.

CAVINATTO, V. M. **Saneamento básico: fonte de saúde e bem-estar.** São Paulo: Ed. Moderna, 1992.

CEARÁ. **Relatórios do PRAX e laudos da qualidade da água.** Juazeiro do Norte: CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará, 2019.

CEARÁ. - ESTADO. **Perfil básico municipal 2011.** Juazeiro do Norte: IPECE, 2011. 18 p.

CEARÁ. - ESTADO. **Diário Oficial do Estado do Ceará nº. 121, ano I, série 3» (PDF).** Consultado em 14 de dezembro de 2010.

CEARÁ - ESTADO. **Plano estadual de recursos hídricos**. Fortaleza, Atlas / Secretaria dos Recursos Hídricos, 4v, v. 1, 1992.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo, 1997**. São Paulo: CETESB, 1998. 106 p. (Série Relatórios).

CITAÇÕES E FRASES DE DISSERTAÇÕES. **Dicionário Criativo**. Disponível em: <<https://dicionariocriativo.com.br/citacoes/disserta%C3%A7%C3%A3o/citacoes/disserta%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em 02 fev. 2020.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. **Relatório do projeto de estudos hidrogeológicos da região Metropolitana de Belém e Adjacências**. Belém-PA, 2001.

DELIN, G. N.; RISSER, D. W. 2007. **Ground-water recharge in humid areas of the United States: A summary of Ground-Water Resources Program studies, 2003-2006**. US Geological Survey Factsheet, 2007-2007, 4p.

DENT, B. B.; FORBES, S. L.; STUART, B. H. Review of human decomposition processes in soil. **Environmental Geology**, v. 45, p 576-585, 2004.

ENSIE, B; SAMAD, S. Removal of nitrate from drinking water using nano SiO<sub>2</sub>-FeOOH-Fe core-shell. **Desalination**, v. 347, p. 1-9, 2014.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia - conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID/UFPE, 1997. 412 p.

FEITOSA, F. A. C. *et al.* **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3 ed., Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

FINOTTI, A. R. *et al.* **Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas**. Caxias do Sul: EDUCS, 2009. 272 p.

FISHER, G; CROUCAMP, L. 1993. **Groundwater contamination and its consequences resulting from the indiscriminate placing of cemeteries in third world context, vol. 1**. África needs Groundwater Convention, Johannesburg.

FONSECA, Andréa Lessa. **Uso da tecnologia de troca iônica no tratamento de águas contaminadas com nitrato do aquífero Dunas-Barreiras**. 129 p. (Tese) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Química / Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Natal, 2008.

FOSTER, S.; HIRATA, C. A. R. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas**: um método baseado em dados existentes. Tradução de Ricardo Hirata, Sueli Yoshinaga, Seiju Hassuda, Mara Iratini. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. 90p. Il. (Boletim, 10).

FOSTER, S.; GOMES, D. C. **Monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas**: una evaluación de métodos e costos. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente - CEPIS, 1989. 111 p.

FOSTER, S. S. D. Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. **Proc. Int. Conf. "Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants"**, Noordwijk, The Netherlands, March-April, 1988.

FOSTER, M. D.; CREASE, R. I. Nitrate pollution of chalk ground water in east yorkshire: a 1st joint world congress on groundwater 11 hydrogeological appraisal. In: Nitrate pollution in Europe. **Water Information Center**, New York: Water Information Center, Post Washington, 1972. P. 269-271.

FRANCA, R. M. *et al.* Contaminação de poços tubulares em Juazeiro do Norte. **Revista Engenharia Sanitária**, v. 11, n. 1, p. 92-102, 2006.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. Importância da análise de águas para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 651-660, 2001.

FREEZE, A. R.; CHERRY, J. A. 1979. **Groundwater**. Prentice Hall, New Jersey, 604 p.

GANESAN, P; KAMARAJ, R; VASUDEVAN, S. Application of isotherm, kinetic and thermodynamic models for the adsorption of nitrate ions on graphene from aqueous solution. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 44, p. 808-814, 2013.

GOMES, C. C. **Método de elementos analíticos para modelagem matemática de fluxo hídrico subterrâneo regional**. 193 p. il. (Tese) Doutorado em Recursos Hídricos - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

GOOGLE MAPS. **Distância entre Juazeiro do Norte-CE e Fortaleza-CE**. Consultado em 24 de maio de 2014.

HEALY, R. W.; Cook, P. G. 2002. Using groundwater levels to estimate recharge. **Hydrogeology Journal**, 10(1): 91-109.

HIRATA, R.; FOSTER, S.; OLIVEIRA, F. Águas subterrâneas urbanas no Brasil: avaliação para uma gestão sustentável. **Instituto de Geociências/USP e FAPESP**, São Paulo, v. 1, 1 ed., 2015. 112 p.

HOU, Mingtao *et al.* Nitrate reduction in water by aluminum–iron alloy particles catalyzed by copper. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v.v3, p. 2401-2407, 2015.

[HTTPS://www.aecweb.com.br/revista/noticias/estudo-revela-que-deficit-sanitario-prejudica-aguas-subterraneas/18470](https://www.aecweb.com.br/revista/noticias/estudo-revela-que-deficit-sanitario-prejudica-aguas-subterraneas/18470).

[HTTP://www.tratabrasil.org.br/blog/2019/03/07/o-impacto-da-falta-de-saneamento-basico-nas-aguas-subterraneas/](http://www.tratabrasil.org.br/blog/2019/03/07/o-impacto-da-falta-de-saneamento-basico-nas-aguas-subterraneas/).

[HTTP://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/aguas-subterraneas-e-saneamento-basico/Estudo\\_aguas\\_subterraneas\\_FINAL.pdf](http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/aguas-subterraneas-e-saneamento-basico/Estudo_aguas_subterraneas_FINAL.pdf).

HUTCHINSON, P.; BARTA, L. 2000. Geophysical applications to solid waste analysis. In: I. Zandi, R.L Mersky, W.K. Shieh (eds.). **Proceedings of the Sixteenth International Conference on Solid Waste Technology and Management Philadelphia, PA**, U.S.A., December 10-13, p. 2-68 to 2-78.

IBGE. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em 21 out. 2019.

IPECE, <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/anuario/anuario2006/demografia/tabelas/12.05.xls>. **Anuário Estatístico do Ceará**, 2006.

KEMERICH, P. D. da C. *et al.* **Influência dos cemitérios na contaminação da água subterrânea em Santa Maria-RS**. *Águas Subterrâneas*, v. 24, n. 1, p. 129-141, 2010.

LEAL, F. C. T. **Sistemas de saneamento ambiental**. (TCC) - Faculdade de Engenharia da UFJF, Departamento de Hidráulica e Saneamento - Curso de Especialização em Análise Ambiental, Juiz de Fora, 4 ed., 2008. Notas de Aula.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Ed. Átomo, 2010.

LOGANATHAN, P; VIGNESWARAN, S; KANDASAMY, J. Enhanced removal of nitrate from water using surface modification of adsorbents a review. **Journal of Environmental Management**, v. 131, p. 363-74, 2013.

MATO, A. P. **Determinação de nitratos, nitritos e prováveis fontes de contaminação em águas de poços e sua influência na metemoglobinemia infantil.** (Dissertação) Mestrado em Saneamento Ambiental - Curso de Pós-Graduação em Saneamento Ambiental - Universidade Mackenzie, São Paulo, 1996.

MAZUREK, J., 1979. **Summary of the modified le grand method.** National Center for Groundwater Research, University of Oahlahoma, Norman, OK, U.S.A. WHO, 1982. Rapid assessment of sources of air, water, and land pollution. WHO Offset Publication 62, 113p.

MELO, J. G. **Impactos do desenvolvimento urbano nas águas subterrâneas de Natal, RN.** 195 f. (Tese) Doutorado em Geologia - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MELO, J. G.; QUEIROZ, M. A.; HUNZIKER, J. Mecanismos e fontes de contaminação das águas subterrâneas de Natal (RN) por nitrato. In: **ANAIS...Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 10, São Paulo, São Paulo, 1998. CD-ROOM

MELO NETO, Raimundo Renato *et al.* Nitrate removal from water using cashew bagasse chemically modified. **Revista Verde**, Mossoró, v. 8, n.4, p. 08-16, out./dez. 2013.

MENDONÇA, L. A. R. *et al.* Isotope measurements and ground water flow modeling using Modflow for understanding environmental changes caused by a well field in semiarid Brazil. **Environmental Geology**, v. 47, n. 8, p. 1045-1053, 2005.

MIGLIORINI, R. B. Cemitérios contaminam o meio ambiente: um estudo de caso. **Universitária**, Cuiabá, 2002.

MORGHI, *et al.* **Removal of nitrate ions from aqueous solution using chitin as Natural.** 2015.

MONT'ALVERNE, A. A. F. *et al.* **Projeto avaliação hidrogeológica da bacia sedimentar do Araripe.** Fase I. Recife: DNPM, 1996. 101 p. il.

NÓBREGA M. M. S.; SANTOS, J. P.; ARAÚJO, A. L. C. Qualidade das águas subterrâneas na grande Natal: o alcance da contaminação por nitrato nas águas

minerais. In: **ANAIS...** I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, Natal, 2006.

NOGUEIRA, C. de O. G.; JÚNIOR, J. E. V. C.; COIMBRA, L. A. B. Cemitérios e seus impactos socioambientais no Brasil. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 11, 2013.

OLIVEIRA, L. A. Vulnerabilidade do aquífero livre no perímetro urbano de Rio Verde-GO: Análise preliminar utilizando-se dados de espessura da zona vadosa. **Caminhos de Geografia**, v. 5, n. 14, 2005.

OLLA, T. *et al.* 2015. Geophysical and hydrochemical investigation of a municipal dumpsite in Ibadan, Southwest Nigeria. **Journal of Environment and Earth Science**, 5(14): 200-215.

ONU – Organizações das Nações Unidas. **Relatório “The Invisible and Endangered Resource”**. New York, 2001.

OMS - Organização Mundial da Saúde. **Nitratos, nitritos and N-nitroso compounds**. Geneva, 1978.

PACHECO A. **Cemitério e meio ambiente**. 120p. (Tese de Livre Docência) - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2000.

PACKHAM R. F. Public health and regulatory aspects of inorganic nitrogen compounds in drinking water. **Water Supply**, v. 10, n. 3, p. 1-6, 1992.

PATIL, I. D.; HUSAIN, M.; RAHANE, V. R. Ground water nitrate removal by using ‘Chitosan’ as an adsorbent. **International Journal of Modern Engineering Research**, v. 3, p. 346-349, 2013.

PEREIRA, L. D. A. De onde vem a água que nós bebemos? **Revista Eletrônica de Ciências**, n. 50, 2012. Disponível em: [http://www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art\\_50/agua.html](http://www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_50/agua.html). Acesso em 20 mai 2020.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Editora Blucher/Hemfibra, 2009. 340 p.

ROCHA, C. M. B. M. *et al.* Avaliação da qualidade da água e percepção higiênicosanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 9, p. 1967-1978, 2006.

ROSA FILHO, E. F. *et al.* Áreas de vulnerabilidade à contaminação de aquífero cárstico causada pela exploração de poços tubulares (Estudo de caso de Almirante Tamandaré/PR). **Revista Latino-Americana de Hidrogeologia**, n. 2, 2002.

SANT'ANNA JUNIOR, G. L. **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

SANTOS, H. R. **Lixiviação de nitrato em colunas de solo com diferentes densidades aparentes e fontes de efluente líquido de tratamento de esgoto doméstico**. (Dissertação) - Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido – Universidade Estadual de Montes Claros, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Minas Gerais, 2011. 62 p.

SANTIAGO, M. F. *et al.* Characterization of groundwater in the Cariri (Ceará, Brazil) by environmental isotopes and electric conductivity. **Radiocarbon**, v. 39, n. 1, p. 49-59, 1997.

SCHAFFRAN, G. C, DRISCOLL, C. T. Groundwater inputs of inorganic nitrogen to an acidic lake. In: American Water Resources Association Symposium: Monitoring, Modeling and Mediating Water Quality. **ANAIS...** Syracuse, NY, 1987.

SCHERTENLEIB, R. From conventional to advanced environmental sanitation. **Water Sci. Technol**, 51(10):7-14, 2009.

SHRIMALI, M.; SING H K. P. New methods of nitrat e removal from water. **Environmental Pollution**, v. 112, p. 351-359, 2001.

SIDHARDHAN, S.; ADISHKUMAR, S.; JAYGANESH, D. 2015. A Geophysical Investigation of Resistivity and Groundwater Quality near a Corporate Solid Waste Dump. **Polish Journal Environmental Studies**, 24(6): 2761-2766, 2015.

SILVA, R. C. A.; ARAUJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Rev. Ciência & Saúde Coletiva**, v. 8, n. 4, p. 1019-1028, 2003.

SINGH, Prabhat Kumar *et al.* Kinetic and equilibrium modeling for removal of nitrate from aqueous solutions and drinking water by a potential adsorbent, hydrous bismuth oxide. **The Royal Society of Chemistry**, v. 5, p. 35365-35376, 2015.

SIQUEIRA, W.S.; ANJOS, G. C.; SOUZA, E.L. **Avaliação preliminar dos riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas por postos de combustíveis**.

In: Anais... Congresso Brasileiro De Águas Subterrâneas, 12., Florianópolis, 2002. Florianópolis: ABAS, 2002.

SOCIETY FOR WATER TREATMENT AND EXAMINATION. **Water treatment and examination**. 4 ed., J & A Churchill, London 1970. P. 133-5.

SOUPIOS, P.; *et al.* Application of integrated methods in mapping waste disposal areas. **Environmental Geology**, 53(3): 522-531, 2007.

SZIKSZAY, M. *et al.* Evolution of the chemical composition of water passing through the unsaturated zone to ground water at na experimental site at the University of São Paulo, Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 118, n. 1-4, p. 175-190, 1990.

TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H.; COSTA, C. T. F.; SILVEIRA, J. G. P.; ALMEIDA JUNIOR, F. J. B. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na bacia sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil. In: **Rem: Rev. Esc. Minas [online]**, v. 62, n. 2, p. 227-236, 2009.

TEIXEIRA S. M. *et al.* The participatory process in environmental sanitation issues: how does it reverberate in printed media? **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, 2(1) :40-49, 2012

TUCCI, C. E. M.; CABRAL, J. **Qualidade da água subterrânea**. Brasília: Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, 2003. 53 p.

VARNIER, C.; HIRATA, R. Contaminação da água subterrânea por nitrato no parque ecológico do Tietê - São Paulo, Brasil. In: 1st Joint World Congress on Groundwater. **ANAIS...** p. 112, 2000.

VERÍSSIMO, L. S. **A importâncias das águas subterrâneas para o desenvolvimento sócioeconômico do eixo CRAJUBAR, Cariri Ocidental - Ceará**. 1999. (Dissertação) – Mestrado em Geologia – Universidade ederal do Ceará - UFC, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Fortaleza, 1999.

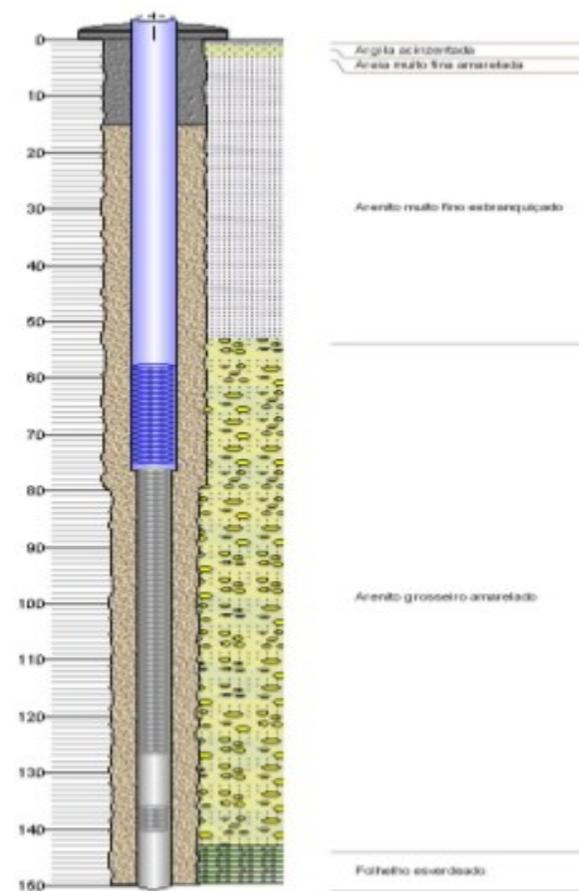
VESILIND, P. A.; MORGAN, S. M. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

ZYCHOWSI, J. Impact of cemeteries on groundwater chemistry: A review. **Catena – Journal**, Elsevier, v. 93, p. 29-37, 2012.

## APÊNDICE A:

### PERFIL LITOLÓGICOS DOS POÇOS QUE APRESENTAM TEORES DE NITRATO ACIMA DE 10,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

#### PT 2

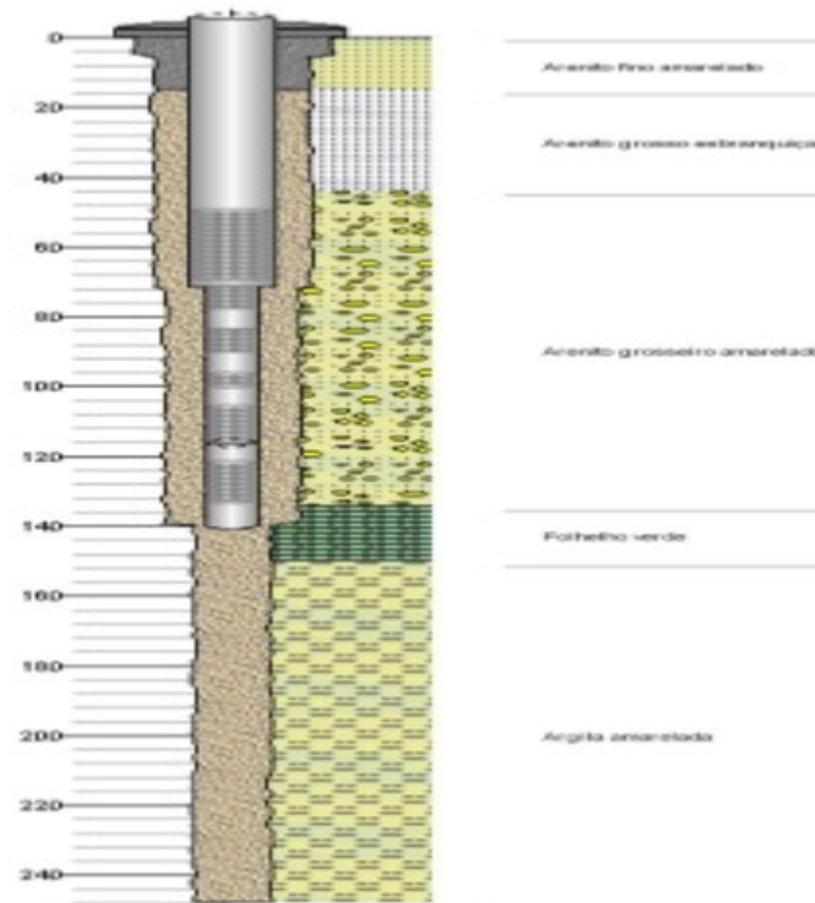


**Quadro 5** - Dados litológicos PT 2

DADOS LITOLÓGICOS		
De (metros)	Até (metros)	Descrição Litológica
0,00	1,00	Argila acinzentada
1,00	3,00	Areia muito fina amarelada
3,00	53,00	Arenito muito fino esbranquiçado
53,00	143	Arenito grosseiro amarelado
143,00	150,00	Folhelho esverdeado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

## PT 3

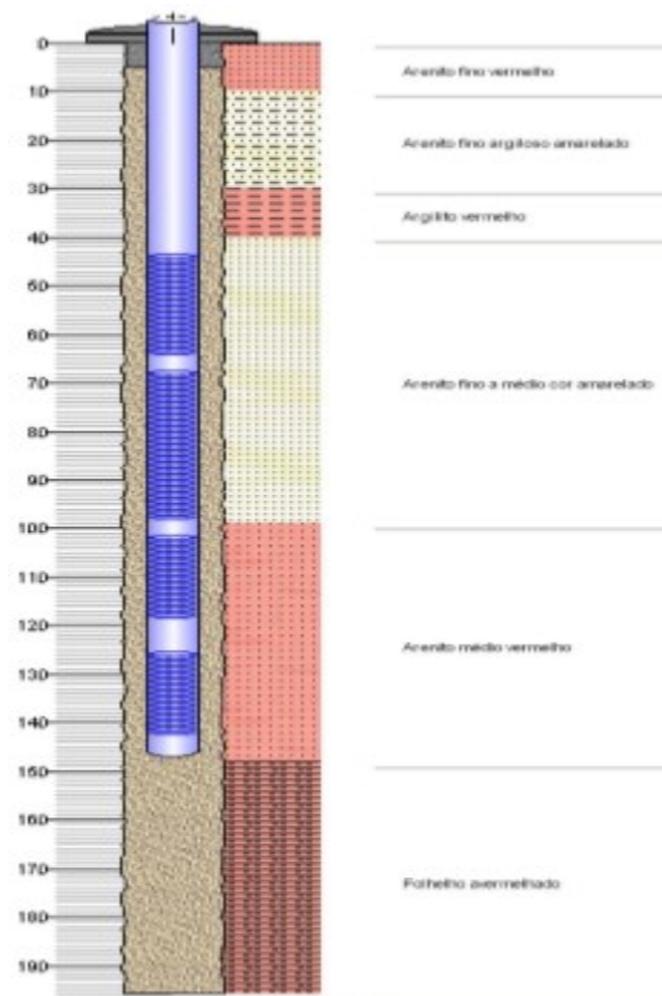


Quadro 6 - Dados litológicos PT 3

DADOS LITOLÓGICOS		
De (metros)	Até (metros)	Descrição Litológica
0,00	15,00	Arenito fino amarelado
15,00	44,00	Arenito grosso esbranquiçado
44,00	134,00	Arenito grosseiro amarelado
134,00	150,00	Folhelho verde
150,00	248,00	Argila amarelada

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

## PT 6

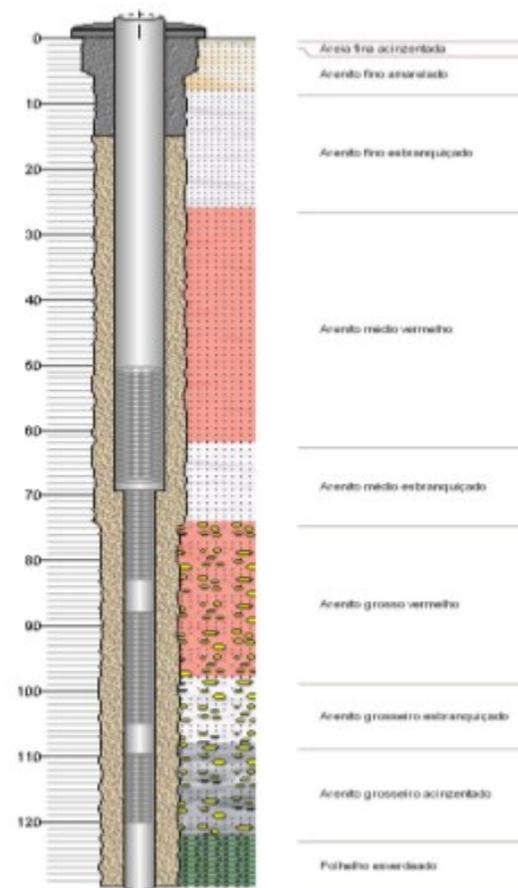


Quadro 7 - Dados litológicos PT 6

DADOS LITOLÓGICOS		
De (metros)	Até (metros)	Descrição Litológica
0,00	10,00	Arenito fino vermelho
10,00	30,00	Arenito fino argiloso amarelado
30,00	40,00	Arginito vermelho
40,00	99,00	Arenito fino a médio cor amarelado
99,00	148,00	Arenito médio vermelho
148,00	196,00	Folhelho avermelhado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

## PT 7

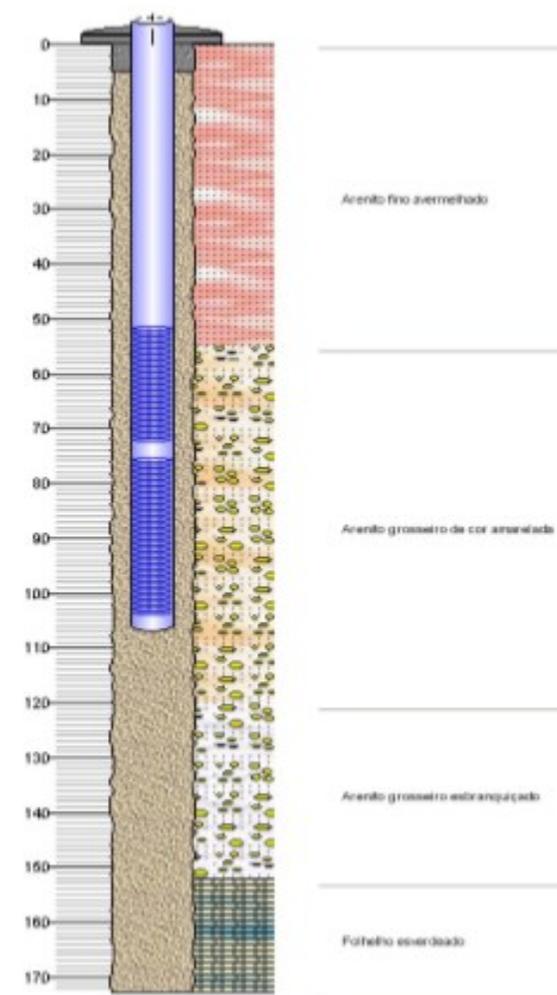


Quadro 8 - Dados litológicos PT 7

DADOS LITOLÓGICOS		
De (metros)	Até (metros)	Descrição Litológica
0,00	1,00	Arenia fina acinzentada
1,00	8,00	Arenito fino amarelado
8,0	26,0	Arenito fino esbranquiçado
26,00	62,00	Arenito médio vermelho
62,00	74,00	Arenito médio esbranquiçado
74,00	98,00	Arenito grosso vermelho
98,00	108,00	Arenito grosseiro esbranquiçado
108,00	122,00	Arenito grosseiro acinzentado
122,00	130,00	Folhelho esverdeado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

## PT 28



Quadro 9 - Dados litológicos PT 28

DADOS LITOLÓGICOS		
De (metros)	Até (metros)	Descrição Litológica
0,00	55,00	Arenito fino avermelhado
55,00	120,00	Arenito grosseira de cor amarelada
120,00	152,00	Arenito grosseiro esbranquiçado
152,00	173,00	Folhelho esverdeado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

## PT 35



Quadro 10 - Dados litológicos PT 35

DADOS LITOLÓGICOS		
De (metros)	Até (metros)	Descrição Litológica
0,00	14,00	Solo silte arenoso cor marrom avermelhado.
14,00	20,00	Arenito fino cor creme avermelhado.
20,00	28,00	Argila cor marrom avermelhado compacto.
28,00	48,00	Arenito fino cor creme, grãos arredondados, bem classificados.
48,00	72,00	Arenito conglomerado, cor creme, granuloso para avermelhado sequência deposicional de finos no topo e grosseiro na base.
72,00	84,00	Folhelho avermelhado com pequena fração arenosa intercalada duro.
84,00	102,00	Folhelho vermelho escuro, maciço.

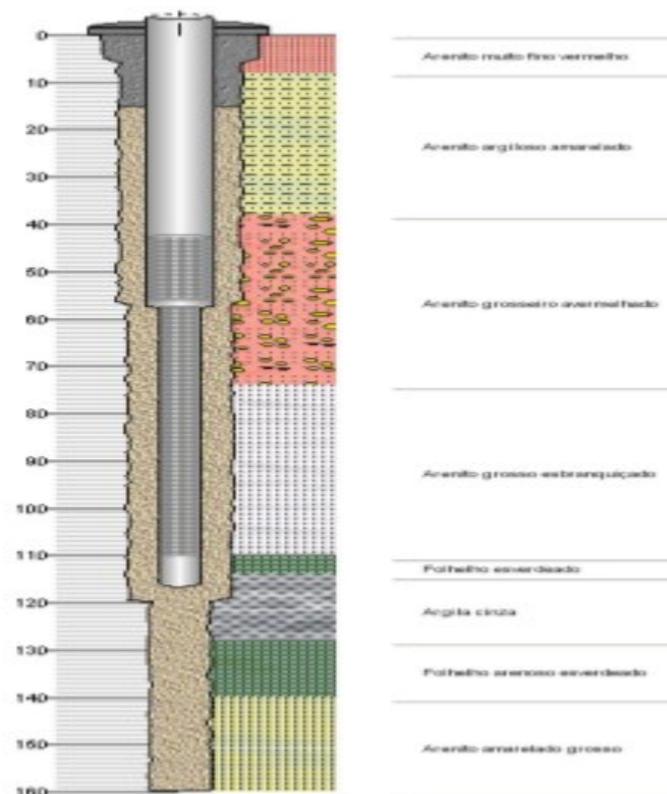
Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

## PT 36

Sem disposição do perfil litológico.

**PERFIL LITOLÓGICOS DOS POÇOS QUE APRESENTAM TEORES DE NITRATO  
ACIMA 5,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ATÉ 10,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

## PT 1

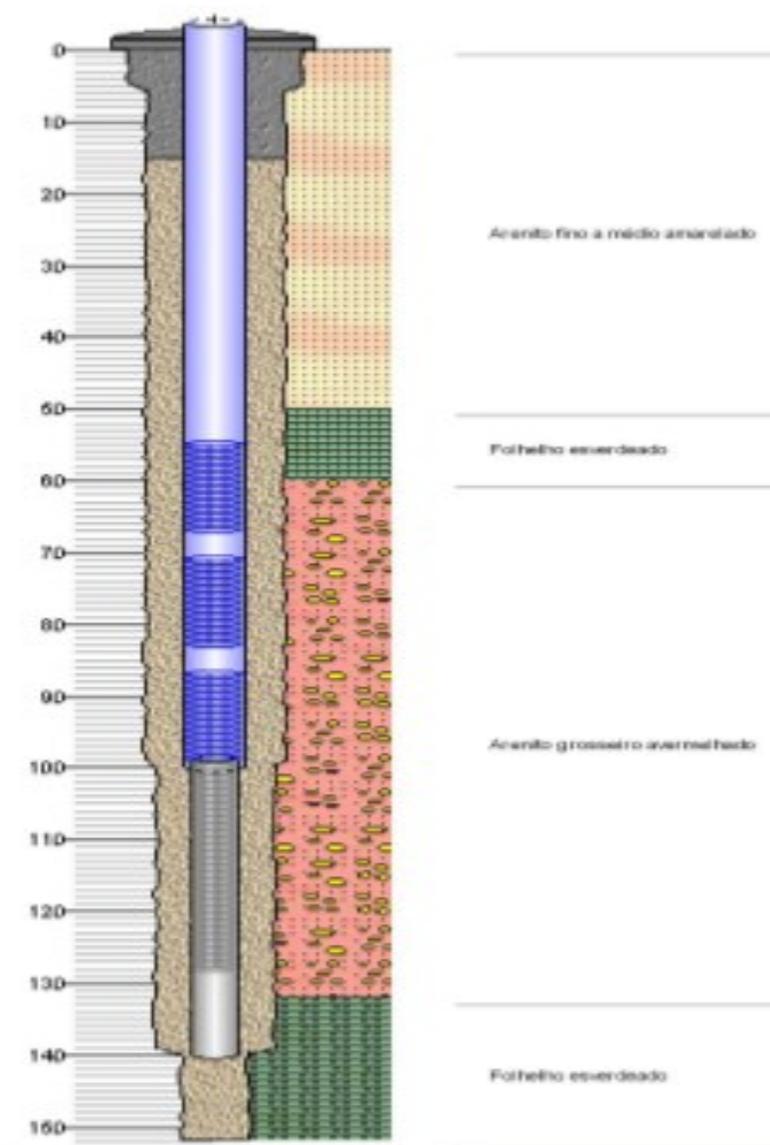


**Quadro 11** - Dados litológicos PT 1

DADOS LITOLÓGICOS		
De (metros)	Até (metros)	Descrição Litológica
0,00	8,00	Arenito muito fino vermelho
8,00	38,00	Arenito argiloso amarelado
38,00	74,00	Arenito grosseiro avermelhado
74,00	110,00	Arenito grosso esbranquiçado
110,00	114,00	Folhelho esverdeado
114,00	128,00	Argila cinza
128,00	140,00	Folhelho arenoso esverdeado
140,00	160,00	Arenito amarelado grosso

**Fonte:** Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

## PT 4

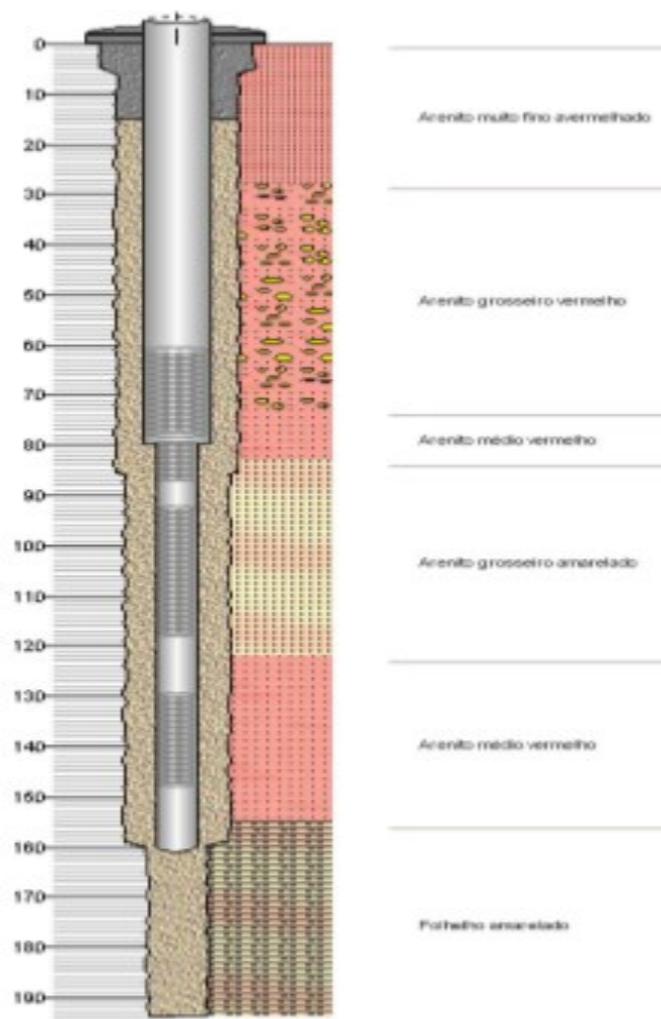


Quadro 12 - Dados litológicos PT 4

DADOS LITOLÓGICOS		
De (metros)	Até (metros)	Descrição Litológica
0,00	50,00	Arenito fino a médio amarelado
50,00	60,00	Folhelho esverdeado
60,00	132,00	Arenito grosseiro avermelhado
132,00	152,00	Folhelho esverdeado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

## PT 5

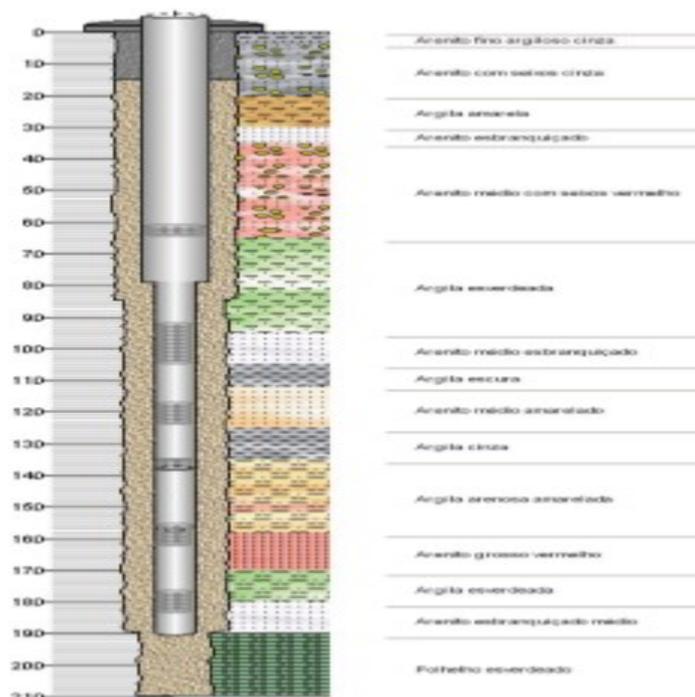


Quadro 13 - Dados litológicos PT 5

DADOS LITOLÓGICOS		
De (metros)	Até (metros)	Descrição Litológica
0,00	28,00	Arenito muito fino avermelhado
28,00	73,00	Arenito grosseiro vermelho
73,00	83,00	Arenito médio vermelho
83,00	122,0	Arenito grosseiro amarelado
122,00	155,00	Arenito médio vermelho
155,00	194,00	Folhelho amarelado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

## PT 8

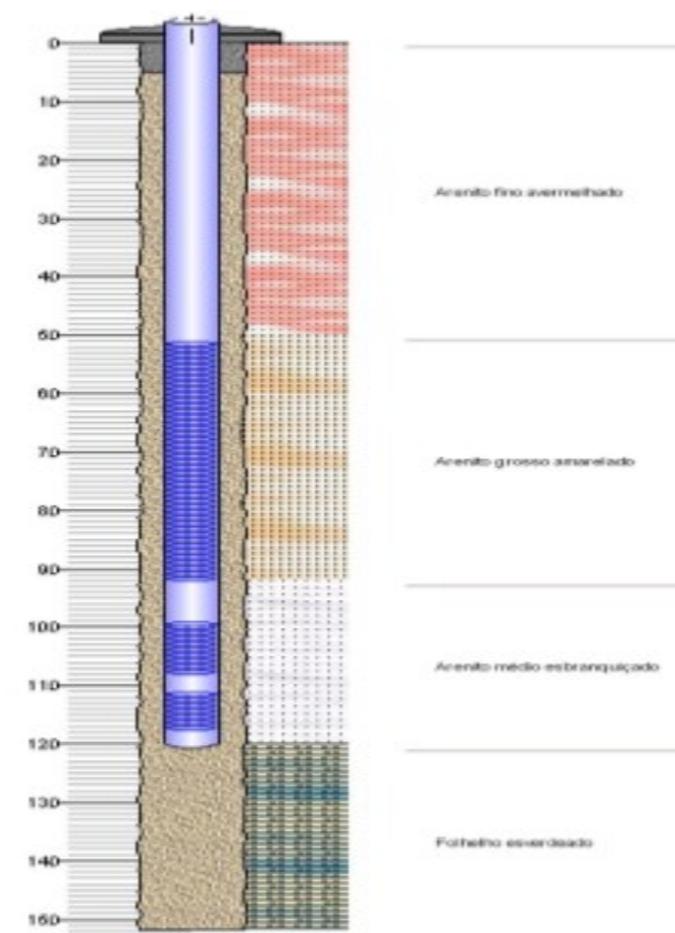


Quadro 14 - Dados litológicos PT 8

DADOS LITOLÓGICOS		
De (metros)	Até (metros)	Descrição Litológica
0,00	4,00	Arenito fino argiloso cinza
4,00	20,00	Arenito com seixos cinza
20,00	30,00	Argila amarela
30,00	35,00	Arenito esbranquiçado
35,00	65,00	Arenito médio com seixos vermelho
65,00	95,00	Argila esverdeada
95,00	105,00	Arenito médio esbranquiçado
105,00	112,00	Argila escura
112,00	125,00	Arenito médio amarelado
125,00	135,00	Argila cinza
135,00	158,00	Argila arenosa amarelada
158,00	170,00	Arenito grosso vermelho
170,00	180,00	Argila esverdeada
180,00	190,00	Arenito esbranquiçado médio
190,00	210,00	Folhelho esverdeado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

## PT 27

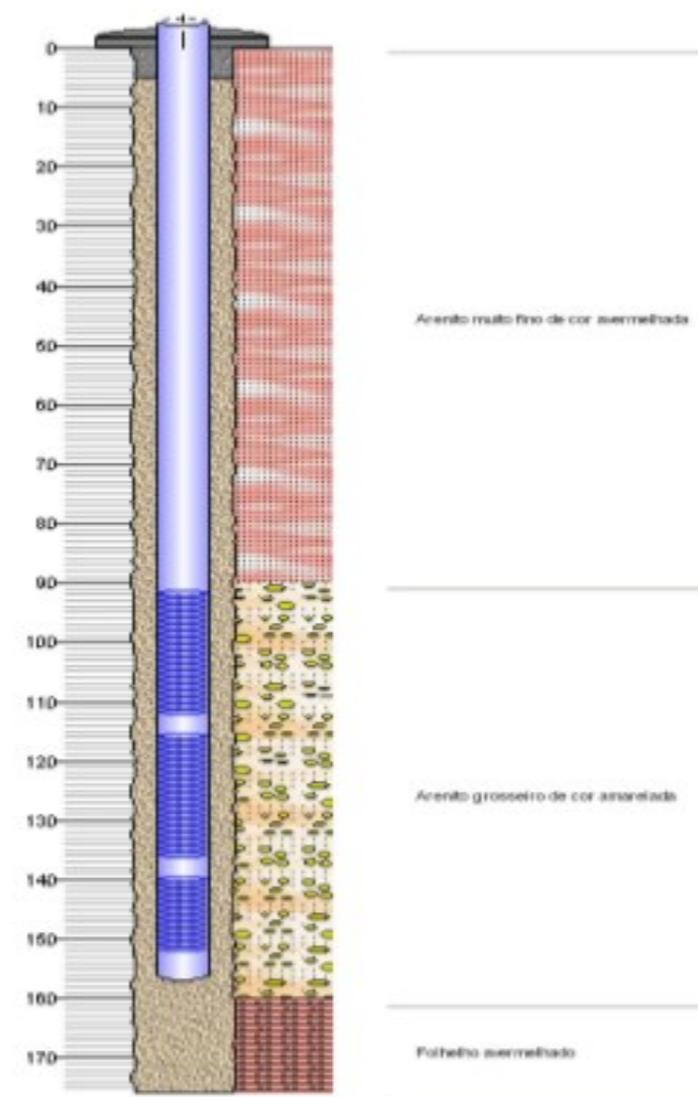


Quadro 15 - Dados litológicos PT 27

DADOS LITOLÓGICOS		
De (metros)	Até (metros)	Descrição Litológica
0,00	50,00	Arenito fino avermelhado
50,00	92,00	Arenito grosso amarelado
92,00	120,00	Arenito médio esbranquiçado
120,00	152,00	Folhelho esverdeado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

## PT 30



Quadro 16 - Dados litológicos PT 30

DADOS LITOLÓGICOS		
De (metros)	Até (metros)	Descrição Litológica
0,00	90,00	Arenito muito fino de cor avermelhada
90,00	160,00	Arenito grosseiro de cor amarelada
160,00	176,00	Folhelho avermelhado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

# **APÊNDICE B**



**RELATÓRIO TÉCNICO**  
**QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA QUE ABASTECE JUAZEIRO DO**  
**NORTE-CE: RELAÇÃO COM COBERTURA DE ESGOTO E DENSIDADE**  
**POPULACIONAL**

**Elaborado por:** Lindamar Bezerra da Silva  
Matrícula: 2693-X

Juazeiro do Norte – CE, Julho de 2020.

**DNI – Diretoria de Negócio do Interior**  
**UN-BSA – Unidade de Negócio Bacia SALGADO – Juazeiro do Norte**

**Superintendência de Negócios do Sul - SNS**  
**CARLOS JACINTO LEAL**

**EQUIPE TÉCNICA:**

**Gerente da Unidade de Negócio**

FRANCISCO GILBERTO MÁXIMO BEZERRA  
JUNIOR

**Coordenador de Suporte Administrativo**

MAIRES ALVES CORDEIRO

**Coordenador de Operações Industriais UN BSA 60**

RENATO DE SOUSA SILVA

**Coordenador de Serviço e Expansão UN BSA 20**

MARCELO GUTIERRES WUEZIUS

**Coordenador Comercial**

EJAILDO DE SOUSA CARVALHO

**Coordenador do Núcleo de Juazeiro Norte UN BSA 70**

FRANCISCO JOCÉLIO PINHEIRO VERAS

**Supervisor de Rede UN BSA 20**

ROBSON DE ARAÚJO SILVA

**Supervisor de Perdas UN BSA 20**

WILSON ANGELIM DA SILVA

**Supervisor de Eletromecânica UN BSA 60**

ALEX KRUIFF DE SOUSA

**Supervisora de Produção de Água UN BSA 60**

LINDAMAR BEZERRA DA SILVA

**Supervisor de Tratamento de Esgoto e Meio Ambiente UN BSA 60**

ERMESON NAEL DINIZ LIMA

**Supervisor da Eletromecânica UN BSA 70**

RIVELINO CARDOSO XAVIER TELES

**Supervisor de Água UN BSA 70**

CAIO MESTIELLY ARAGÃO COELHO

**Supervisora de Tratamento de Esgoto e Meio Ambiente UN BSA 70**

JULIANA FILGUEIRAS DE OLIVEIRA

**Supervisor de Perdas UN BSA 70**

RONDON MADEIRA DE BRITO

Relatório Técnico elaborado para a Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE através dos resultados obtidos na Dissertação apresentada ao Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande para obtenção de título de Mestre em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos pelo Programa ProfÁgua, sob orientação de Carlos de Oliveira Galvão.

## **1 INTRODUÇÃO**

Este relatório foi elaborado com o objetivo de mostrar a atual situação da Qualidade da Água Subterrânea que Abastece Juazeiro do Norte – CE: Relação com Cobertura de Esgoto e Densidade Populacional e propor medidas de expansão do esgotamento sanitário bem como a proteção dos poços tubulares que abastecem a cidade, de forma a subsidiar a melhoria do seu desempenho operacional e assim fortalecer a prestação de serviços em sua área de atuação, o cumprimento dos contratos de concessão celebrados com o poder público concedente, bem como as demandas dos agentes reguladores ARCE e SEMACE.

Mesmo estando naturalmente mais protegidas, as águas subterrâneas não estão livres de poluição e exploração inadequada. Além do conhecimento das condições de armazenamento, circulação e do seu uso atual, o aproveitamento desse recurso estratégico necessita de um planejamento criterioso.

A porção sul do Ceará, onde está localizada a Bacia Sedimentar do Araripe, possui a maior reserva de água subterrânea do estado. As águas subterrâneas da Bacia do Araripe são o único recurso hídrico utilizado ao longo do ano para abastecimento humano e outras atividades como uso na indústria, dessedentação animal e irrigação.

As águas subterrâneas constituem-se no principal patrimônio para essa região, onde estão localizadas cidades importantes em termos de desenvolvimento social, político e econômico, a exemplo de Juazeiro do Norte. Juazeiro do Norte é totalmente abastecida por poços tubulares que captam água subterrânea de excelente qualidade físico-química. No entanto, a crescente ocupação urbana vem causando inúmeros problemas relacionados ao uso e ocupação do meio físico, podendo comprometer a qualidade da água e a saúde da população local.

Juazeiro do Norte está localizada ao sul do Estado do Ceará, no Vale do Cariri, e é considerada a maior cidade do interior cearense em aspecto de desenvolvimento. Inserida na bacia hidrográfica do Salgado, apresenta como principais drenagens o riacho dos Macacos e o rio Salgado. Possui como fonte hídrica o manancial subterrâneo, que representa a única fonte de abastecimento d'água. Abastecida por poços tubulares, quase 100% da população urbana é abastecida basicamente com água proveniente de 53 poços tubulares, implantados pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE, a partir de

1976, com uma produção média de 2.800,00 m<sup>3</sup>/h, operados 24 h/dia. Oito poços da bateria encontram-se nas margens do riacho dos Macacos, que anteriormente drenava a área que saía do aquífero Rio da Batateira. Hoje, o fluxo natural deste riacho é substituído por águas de esgotos.

Este trabalho apresenta os resultados do monitoramento da qualidade da água do período de 2013 a 2019 de 48 desses poços tubulares, tendo em vista que os outros cinco poços foram perfurados recentemente. Analisa-se o parâmetro de Nitrato, e discute-se a influência antrópica na qualidade das águas subterrâneas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

- Avaliar a relação entre cobertura de esgotamento sanitário e densidade populacional com a poluição do aquífero em relação a presença de nitrato.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar os teores de nitrato nos poços relacionando-os à existência, ou não, do esgotamento sanitário;

- Analisar a relação dos teores de nitrato com a densidade populacional;

- Analisar a relação dos teores de nitrato com as profundidades dos poços e vazões explotadas.

## **3 SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

O sistema de esgotos sanitários é a construção e a implantação de sistemas de coleta, tratamento e destino final de esgotos sanitário. Pode ser definido também como o gerenciamento ou controle dos fatores físicos que podem exercer efeitos nocivos ao homem, prejudicando seu bem-estar físico, mental e social. O sistema de esgotos existe para afastar a possibilidade de contato de dejetos humanos com a população, com as águas de abastecimento, visando o controle de doenças e outros agravos.

Quando se tem a construção de um sistema de esgotamento sanitário em uma comunidade espera-se o afastamento do esgoto, coleta, tratamento e destino adequado. Como consequência disso temos melhoria na qualidade de vida das pessoas, logo, redução dos recursos aplicados no tratamento de doenças, conservação do meio ambiente, eliminação de focos de contaminação e poluição; ausência de problemas estéticos

desagradáveis e diminuição dos custos no tratamento de água para abastecimento (LEAL, 2008)

Saneamento significa higiene e limpeza (CAVINATTO, 1992). Dentre as principais atividades de saneamento estão a coleta e o tratamento de resíduos das atividades humanas tanto sólidos quanto líquidos (lixo e esgoto), incluem-se ainda no campo de atuação do saneamento a drenagem das águas das chuvas, prevenção de enchentes e cuidados com as águas subterrâneas.

### **3.1.1 Doenças relacionadas com a falta de saneamento básico**

Os parasitas em geral possuem duas fases de vida: uma dentro do hospedeiro e outra no meio ambiente. Enquanto estão no corpo do hospedeiro, eles possuem condições ideais para seu desenvolvimento, como temperatura e umidade adequadas, além de dispor de alimento em abundância. Quando estão no meio ambiente, ao contrário, estão ameaçados e morrem com facilidade, devido à luminosidade excessiva, à presença de oxigênio, de calor, e à falta de alimentos. O tempo que esses microrganismos passam fora do hospedeiro deve ser suficiente apenas para que alcancem novos organismos, continuando seu ciclo de vida.

Normalmente os parasitas são eliminados pelo portador junto com suas excretas, isto é, fezes, urina e catarros, e então se misturam com os microrganismos que vivem livremente no solo, na água e no ar. Assim, uma pessoa ainda sadia poderá ficar doente se ingerir água ou alimentos contaminados e também se andar descalça ou mexer diretamente na terra que contenha excretas de pessoas enfermas. É comum os parasitas serem disseminados por insetos (moscas, mosquitos, pulgas e baratas), ratos e outros animais que, por essa razão, são chamados de vetores. Muitas vezes, a transmissão de doenças ocorre quando estes animais picam uma pessoa enferma e em seguida uma pessoa sadia.

A maior parte das doenças transmitidas para o homem é causada por microrganismos, organismos de pequenas dimensões que não podem ser observados a olho nu. Os principais grupos de microrganismos que podem provocar doenças no homem são: os vírus (ex.: vírus da hepatite); as bactérias (ex.: vibrião colérico, que é o agente da cólera); os protozoários (ex.: ameba); os helmintos, que provocam as verminoses, podem ser microscópicos (ex.: filaria, que é o agente da elefantíase), ou apresentarem maiores dimensões (ex.: os parasitas que atacam o intestino humano).

### **3.1.2 Doenças relacionadas com a água**

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), grande parte de todas as doenças que se alastram nos países em desenvolvimento são provenientes da água de má qualidade, conforme (tabela 1). A água contaminada pode prejudicar a saúde das pessoas, nas seguintes situações: através da ingestão direta; na ingestão de alimentos; pelo seu uso na higiene pessoal e no lazer; na agricultura; na indústria.

Tabela 1 - Doenças relacionadas com a água

<b>Grupo de doenças</b>	<b>Formas de transmissão</b>	<b>Principais doenças</b>	<b>Formas de prevenção</b>
Transmitidas pela via feco-oral	O organismo patogênico (agente causador de doença) é ingerido.	diarréias e disenterias; cólera; giardíase; amebíase; ascaridíase (lombriga)...	- proteger e tratar águas de abastecimento e evitar uso de fontes contaminadas...
Controladas pela limpeza com a água (associadas ao abastecimento insuficiente de água)	A falta de água e a higiene pessoal insuficiente criam condições favoráveis para sua disseminação	infecções na pele e nos olhos, como tracoma e o tifo relacionado com piolhos, e a escabiose.	- fornecer água em quantidade adequada e promover a higiene pessoal e doméstica.
Associadas à água (uma parte do ciclo da vida do agente infeccioso ocorre em um animal aquático)	O patogênico penetra pela pele ou é ingerido.	esquistossomose.	- evitar o contato de pessoas com águas infectadas; - proteger mananciais.
Transmitidas por vetores que se relacionam com a água	As doenças são propagadas por insetos que nascem na água ou picam perto dela.	malária; febre amarela; dengue; filariose (elefantíase).	- combater os insetos transmissores; - eliminar condições que possam favorecer criadouros.

Fonte: Barros et al. (1995)

### 3.2 Contaminação de Águas por Nitrato no Brasil e suas Consequências no Organismo Humano

A qualidade da água é definida em função de valores máximos permitidos para variáveis físicas, químicas e biológicas. A classificação dos corpos d'água é estabelecida a partir da Resolução CONAMA Nº 357 de 15 de março 2005, que enquadra as águas em nove classes através de condições indispensáveis, visando os diferentes usos e equilíbrio ecológico dos corpos d'água. A água para consumo humano deve-se ajustar a padrões adequados de potabilidade segundo as normas do Ministério da Saúde e da Organização Mundial de Saúde.

A Portaria de Consolidação PRC n. 05/2017, anexo XX estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, bem como o seu padrão de potabilidade. A água destinada ao abastecimento humano não deve conter mais que 10,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L de nitrato.

### **Nitrato**

O nitrato é um ânion cuja fórmula química é NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Ele se origina a partir de processos inorgânicos que existem nas águas subterrâneas, é o que possui ocorrência mais generalizada e uma das mais problemáticas, uma vez que possui alta mobilidade e persistência, sob condições aeróbias.

Esse contaminante pode também causar outro importante impacto ambiental, relacionado aos processos de eutrofização nos corpos de águas superficiais ou mesmo à morte de organismos aquáticos, se presente em altas concentrações. Em condições anaeróbias, o nitrato pode ser convertido, mediante atividade microbiológica, a outros compostos nitrogenados (nitrito – NO<sub>2</sub><sup>-</sup>; óxido de nitrogênio - NO; oxigênio nitroso - N<sub>2</sub>O) até o nitrogênio molecular (N<sub>2</sub>) pelo processo denominado desnitrificação.

O Nitrato é a forma mais completamente oxidada do nitrogênio e é formado durante os estágios finais da decomposição biológica, tanto em estações de tratamento de água, como em mananciais de água natural. Sua presença não é estranha, principalmente em águas armazenadas em cisternas em comunidades rurais. Nitratos inorgânicos, assim como o nitrato de amônia, são largamente utilizados como fertilizantes. Salientando-se que baixas concentrações de nitrato podem estar presentes em águas naturais (ALMASRI, 2007).

O nitrato das águas subterrâneas é originado principalmente da aplicação de fertilizantes nitrogenados, tanto inorgânicos, como proveniente de esterco animal; deposição atmosférica; esgoto doméstico, bem como lixiviação de áreas agrícolas e lixões (FRANCA, 2006). Não somente locais com alto aporte de nitrogênio, mas também solos bem drenados e áreas com pouca vegetação contribuem maiores risco de contaminação por nitrato (BAIRD, 2002).

Em águas subterrâneas o nitrato indica que há fonte de contaminação por esgoto doméstico (fossas), lixo, fertilizantes agrícolas, agrotóxicos e efluentes ou resíduos industriais e ainda a sua presença em águas destinadas ao consumo humano pode causar uma doença chamada de metahemoglobinemia em crianças. (CETESB,1998).

O consumo de nitrato por meio das águas de abastecimento, está relacionado a indução à metahemoglobinemia, especialmente em crianças. É uma doença que resulta da redução do nitrato a nitrito no estômago dos lactentes, onde o líquido gástrico é menos ácido que o dos adultos. O nitrito combina-se no sangue com a hemoglobina, obtendo-se metahemoglobina, que não tem a capacidade de fixar o oxigênio durante a passagem pelos pulmões e, por conseguinte, de o transportar para as células. A insuficiência de oxigênio pode levar à paralisia cerebral e ao óbito, caso não haja um tratamento adequado, sobretudo em lactentes com menos de 3 meses. A falta de oxigênio na corrente sanguínea provoca mudança de cor na pele do bebê, que se torna azul, por isso essa doença é comumente designada de “síndrome do bebê azul”. (MORGHI et al., 2015; ENSIE; SAMAD, 2014; BIGUELINI; GUMY, 2012; SHRIMALI; SINGH, 2001).

Segundo Schafran e Driscoll (1987), uma elevada concentração de nitrato, junto a um alto teor de cloreto, em águas subterrâneas, nos leva a uma forte indicação de poluição de águas subterrâneas por águas residuárias domésticas. Já segundo Foster e Gomes, 1989, nitratos podem ser resultantes da degradação por microrganismos de substâncias orgânicas nitrogenadas. Isto reforça a necessidade de monitoramento destas águas e a necessidade de criação de mecanismos de controle.

É estabelecido o limite de 10 mg/L de nitrato para água destinada ao abastecimento humano, devido à capacidade do organismo em reverter o processo, produzindo nitrito por redução de nitrato, o uso contínuo de água contaminada por nitrato, mesmo em concentrações inferiores a estabelecida, pode trazer danos, devido o efeito cumulativo no organismo humano (MIGLIORINI, 2002).

Ocorre um aumento no risco de aparecimento de linfomas em pessoas que ingerem, em longo prazo, água com até 4,0ppm (partes por milhão) de nitrato. Patologias relacionadas ao nitrato quando, em estudos realizados na Austrália e Canadá, constataram aumento significativo de malformação congênita (BAIRD, 2002). Para Nugent et al. (2001), a elevação dos teores de nitrato na água é indicativo de risco potencial para a presença de outras substâncias indesejáveis, tais como muitas moléculas sintéticas de defensivos agrícolas que possivelmente comportam-se de forma análoga ao nitrato.

O nitrato normalmente ocorre em pequenas concentrações representando o estágio final da oxidação da matéria orgânica. Teores acima de 5,0mg/L podem ser indicativos de contaminação de água subterrânea por atividades antrópicas, tais como esgotos, fossas

sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos animais etc. (FEITOSA et al., 2008).

O aumento da contaminação das águas por compostos nitrogenados vem merecendo atenção especial, uma vez que está se tornando um problema mundial, devido a sua ampla e diversificada procedência (SANTOS, 2011).

Em relação aos teores de nitrato em águas de abastecimento, Brasil (2002), ressalta a importância de se trabalhar com a conscientização a respeito deste recurso natural, evidenciando que, sem efetivas mudanças comportamentais da sociedade, e sem a aplicação concreta da legislação e diretrizes de proteção ambiental, dentro de poucas décadas a população estará sujeita a um verdadeiro colapso quanto à disponibilidade de água, o que poderá colocar em perigo até mesmo a sobrevivência da humanidade.

A literatura referente aos estudos sobre a avaliação de compostos de nitrogênio em águas de poços no Brasil é reduzida, bem como a divulgação de estudos epidemiológicos com respeito à metahemoglobinemia e à ocorrência do desenvolvimento de alguns tipos de câncer, devido à ingestão de teores elevados de nitrato, são praticamente inexistentes (BIGUELINI; GUMY, 2012).

As águas subterrâneas cumprem função importante e, em inúmeros casos, é vital para o fornecimento de água potável. Por isso, recomenda-se a sua proteção, com eliminação das causas de possíveis contaminações, bem como o uso de filtração, antes da desinfecção, para reduzir, a um nível significativo, o risco de transmissão de qualquer contaminante pela água (ABRAMOVICH et al., 1998).

### **3.3 Fontes de Poluição**

Poluição é uma alteração da qualidade físico química da água, suficiente para superar os limites ou padrões pré-estabelecidos para determinado fim. Como fontes potenciais de poluição são consideradas todas aquelas que, em função de suas características físico-químicas e de localização quanto as unidades hidro-estratigráficas, poderão vir a representar uma fonte comprovada, ou efetiva, de poluição para as águas subterrâneas.

A poluição capaz de atingir as águas subterrâneas pode ter origem variada. Considerando que os aquíferos são corpos tridimensionais, em geral extensos e profundos, diferentemente, portanto dos cursos d'água, a forma da fonte poluidora tem importância fundamental nos estudos de impacto ambiental.

Na área de estudo são detectadas fontes potenciais de poluição e nas análises físico-químicas de alguns poços (água bruta) foi detectado presença de nitrato acima do estabelecido pela legislação vigente, observando assim, comprometimento efetivo na qualidade das águas subterrâneas de alguns poços que abastecem a cidade de Juazeiro do Norte. A água desses poços que apresentam teores de nitrato acima da legislação vigente (bateria dos poços tubulares do riacho dos Macacos) é misturada com água de outros poços (bateria dos poços tubulares da Lagoa Seca) que apresentam teores muito baixo de nitrato, fazendo assim com que haja a diluição desses teores de nitrato nessas águas, atendendo assim a legislação vigente para a água produzida e distribuída no município. As principais fontes potenciais de poluição encontradas no município são cemitérios, lixões, drenagens superficiais (rios e riachos) receptoras de esgoto, lagoas de estabilização e ausência de esgotamento sanitário, conforme Figura 1, Fotos de A a F e Figura 2.

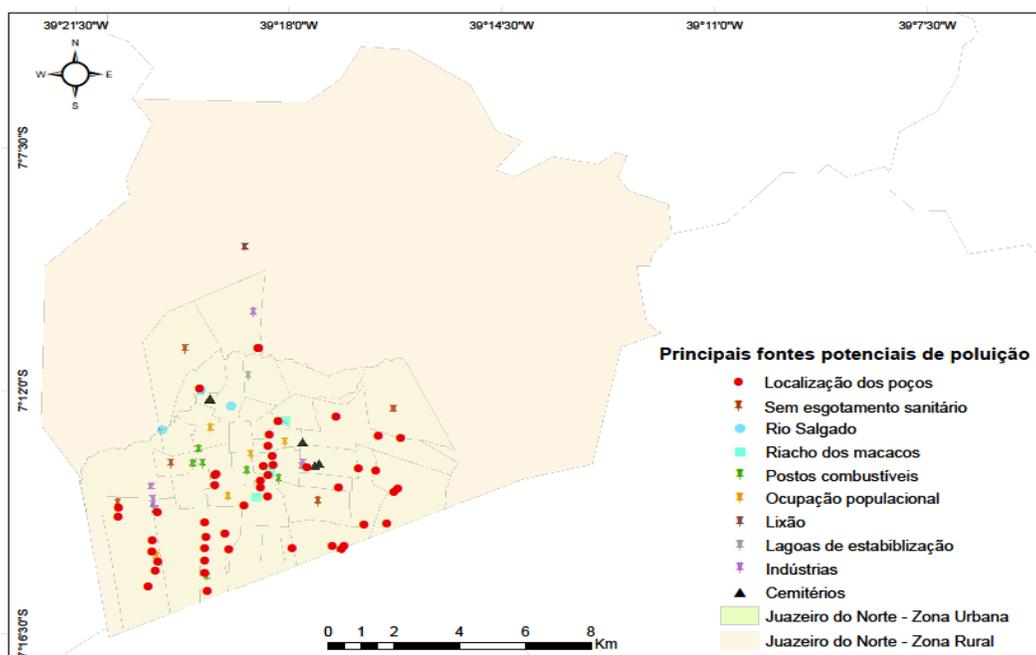


Figura 1 – Mapa da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas na área de estudo. Fonte: O autor, 2020.

**Cemitérios** - No município de Juazeiro do Norte existem 4 cemitérios, onde o principal problema está associado à localização. Situam-se sobre a unidade hidroestratigráfica Rio da Batateira, com elevada permeabilidade e grande potencialidade hídrica subterrânea (arenitos grosseiros a médios). A exploração de água subterrânea por poços tubulares e cacimbas nas áreas adjacentes aos cemitérios é efetiva.

**Lixões** - A disposição dos resíduos sólidos gerados pela atividade antrópica e industrial (lixo), tanto pode gerar fonte de energia quanto substâncias prejudiciais à saúde e poluição dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Em Juazeiro do Norte, a disposição dos resíduos sólidos ocorre em terrenos baldios e em áreas marginais da sede municipal.

**Drenagens superficiais** - Os cursos d'água superficiais como rios, riachos e canais são geralmente utilizados como ponto de descarga final de esgotos domésticos, efluentes industriais e lixos de diversas origens. A cidade de Juazeiro do Norte é margeada, na parte leste, pelo riacho dos Macacos e na parte oeste e norte, pelo rio da Batateira (riacho Salgadinho), que se constituem no principal meio receptor de esgotos doméstico e industrial. Alguns poços públicos e particulares estão localizados nas margens dessas drenagens. Essas drenagens podem comprometer a qualidade das águas desses poços, podendo haver captação dessas águas poluídas por infiltração.

**Lagoas de Estabilização** - As lagoas de estabilização são reservatórios superficiais que servem para receber e armazenar temporariamente os resíduos sólidos e líquidos constituídos de esgotos domésticos e industriais. Os resíduos químicos são tratados e lançados nos rios ou deixados para infiltração no solo ou evaporação na atmosfera. Seu período de permanência do líquido varia entre 1 a 100 dias, dependendo da função (VERÍSSIMO, 1999). A maioria dos lagos tem uma base constituída de materiais naturais, impermeabilizados, entretanto, essas condições permitem infiltração equivalente a 10–20 mm/d, sendo as lagoas as mais frequentes causas de contaminação das águas subterrâneas (FOSTER; HIRATA, 1993). Na cidade de Juazeiro do Norte existem quatro lagoas de estabilização, localizadas ao norte, de onde suas águas efluentes são lançadas no rio Salgado.

**Ausência de Saneamento Básico** – O município de Juazeiro do Norte possui serviços de rede de esgoto, com apenas 25.197 ligações ativas, e 82.333 sem ligações de esgoto, índice ativo de esgoto de apenas 23,05% e índice de cobertura de 36,05% de acordo com dados de dezembro de 2019 fornecidos pela CAGECE. Com o crescimento desordenado do município, parte dos esgotos é lançada sobre ou abaixo da superfície do solo de várias maneiras, como é o caso das “levadas” que são pequenos canais de água residual que saem das casas e correm em direção as drenagens principais.



Foto A - Riacho dos Macacos com esgoto e suas margens desmatada e queimada; Foto B - Esgoto a céu aberto às margens do riacho dos Macacos; Foto C - Ausência de esgotamento sanitário; Foto D - Lixo a céu aberto nas ruas; Foto E - Lixo e esgoto sendo lançado no riacho dos Macaco; Foto F - Bairro Timbaúba – Um dos mais populoso. Fonte: O autor (2019).



Figura 2 - Vista de uns dos Cemitério da Cidade, Cemitério Socorro, localizado no bairro Socorro e das Lagoas de Estabilização localizadas no bairro Centro próximos aos poços tubulares PTs 20, 42 e 50.

O município de Juazeiro do Norte localiza-se nessa região, onde os recursos hídricos subterrâneos constituem as mais importantes fontes de água potável para o abastecimento público e privado, bem como para diversas atividades, tais como práticas agrícolas e industriais. No entanto, essas águas subterrâneas estão susceptíveis à contaminação (conforme fotos abaixo de A à F), por compostos nitrogenados, como por exemplo a partir do esgoto doméstico, principalmente nas áreas urbanizadas, já que aproximadamente 63%

da população do município utilizam fossas rudimentares ou não tem sistema de saneamento, despejando seus dejetos diretamente nos leitos dos rios (IPECE, 2012).

Com a perfuração indiscriminada de poços, a ausência de saneamento básico (40,32% de cobertura no cenário local de Juazeiro do Norte, IPECE, 2011), bem como atividades agrícolas que se utilizam de diversos produtos químicos para otimizar a produção e combate de insetos nas plantações, também o crescimento industrial acentuado dos mais variados setores de produção, como têxtil, couro e galvanoplastia, vem comprometendo às principais drenagens da cidade (Riacho dos Macacos e Rio Salgado) e consequentemente comprometendo também a qualidade das águas subterrâneas que abastecem não só o município de Juazeiro do Norte mas também as cidades do entorno. Abaixo fotos de alguns poços com teores de nitrato:

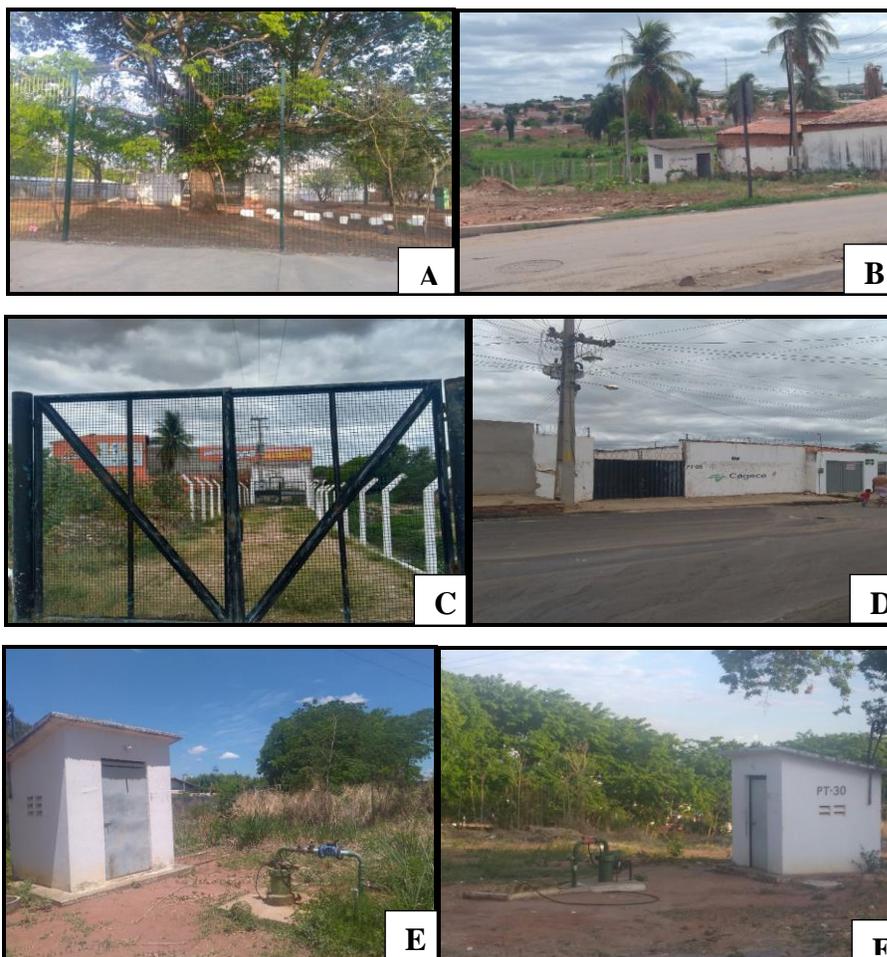


Foto A – Poço tubular 27 – Localizado no parque da Timbaúba; Foto B - Poço tubular 06 – Às margens do riacho dos Macacos; Foto C - Poço tubular 03 – Às margens do riacho dos Macacos; Foto D - Poço tubular 05 – Localizado próximo ao riacho dos Macacos; Foto E – Poço tubular 28 – Localizado no bairro mais populoso – João Cabral; Foto F – Poço Tubular 30 – Localizado no bairro mais populoso – João Cabral. Fonte: O autor (2019).

A exploração dos aquíferos na Bacia do Cariri é intensa, e esta se dá por meio de poços que geralmente são dispostos em baterias, especialmente ao longo das zonas aluviais dos rios – Rio da Batateira (em Crato), Riacho dos Macacos (em Juazeiro do Norte), Rio Salamanca (em Barbalha) e Riacho dos Porcos (em Milagres) (SANTIAGO, 1997).

Grande parte da área urbana de Juazeiro do Norte é abastecida por águas subterrâneas provenientes de poços (MENDONÇA et al. 2005). E há muitos anos, a prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no município é realizada pela CAGECE, sendo que a água captada para esse fim, e que é proveniente do manancial subterrâneo, atualmente, é obtida através de uma bateria de 48 poços tubulares, com vazões que variam de 20,0 m<sup>3</sup>/h a 236,0 m<sup>3</sup>/h, cuja disposição pontual pode ser vista na (Figura 3).

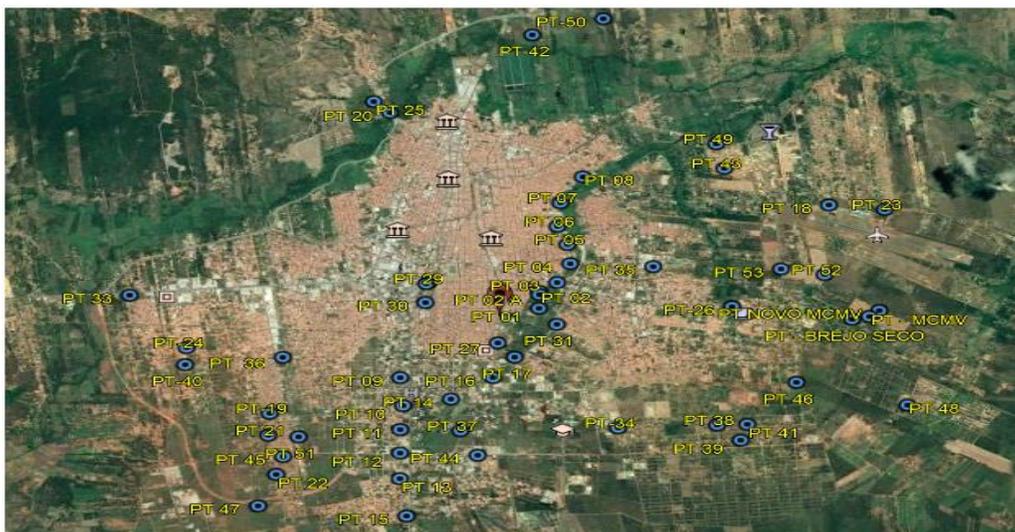


Figura 3 - Vista satélite dos 48 poços tubulares (PTs) que abastecem Juazeiro do Norte – CE.  
Fonte: O autor (2019).

## 4 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 Localização da área

O município de Juazeiro do Norte, objeto do presente trabalho, está localizado ao Sul do Ceará, conforme (figura 4), especificamente na Região do Cariri e apresenta uma área de 248,55 km<sup>2</sup> e localiza-se entre as coordenadas 7°12'47''S e 39°18'55''W. Possui uma população estimada em 274.239 habitantes (IBGE, 2019).

Ainda sobre a caracterização de Juazeiro do Norte, este se encontra inserido na Bacia Hidrográfica do rio Salgado e apresenta como principais drenagens o Riacho dos

Macacos e o Rio Salgado. Possui como fonte hídrica direta ou indireta o manancial subterrâneo, que representa a única fonte de abastecimento d'água (FRANCA, et al. 2006).

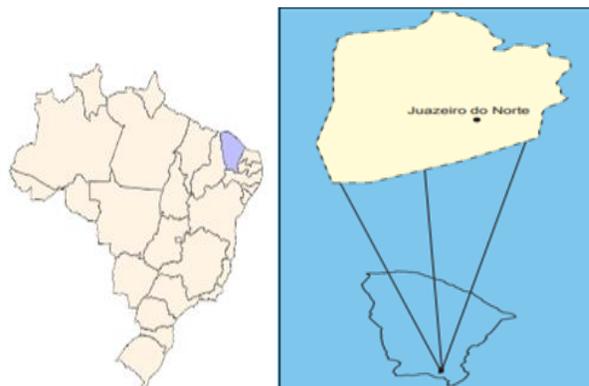


Figura 4 - Localização do Município de Juazeiro do Norte.

## 4.2 Sistemas hidrogeológicos do município de Juazeiro do Norte

O município de Juazeiro do Norte apresenta quatro unidades hidroestratigráficas de acordo com as características hidrogeológicas das diversas formações geológicas, conforme Figura 5 e baseando-se nos trabalhos de MONT'ALVERNE ET AL (1996) e VERÍSSIMO (1999).

### 4.2.1 Sistema Hidrogeológico Aluviões e Coberturas:

Formados pelas coberturas arenosas e argilo-arenosas e aluviões, apresentando permeabilidade de média a alta e potencialidade hídrica média. A profundidade dos poços nesse sistema é pequena, normalmente menores que 10 metros, e com grandes diâmetros chegando a 22 metros (poços amazonas).

### 4.2.2 Sistema Hidrogeológico Brejo Santo

É de pequena permeabilidade (argilitos, folhelhos e arenitos argilosos) baixa potencialidade hídrica e uma predominância de litotipos é constituída pela Formação Brejo Santo. Aflora num pequeno trecho na parte central de Juazeiro do Norte, ocupando cerca de 8,0km<sup>2</sup>, com espessura em torno de 400 metros. Devido ao seu baixo potencial, o sistema hidrogeológico Brejo Santo é também considerado como um aquíclode, pois armazena e transmite água lentamente.

### 4.2.3 Sistema Hidrogeológico Mauriti, Missão Velha e rio da Batateira

Por apresentar uma elevada permeabilidade e grande potencialidade hídrica subterrânea é o mais importante sistema hidrogeológico da área estudada, por apresentar grande potencialidade hídrica subterrânea e uma elevada permeabilidade. Esse aquífero é

constituído pelas formações Mauriti, Missão Velha e Rio da Batateira, todas elas aflorantes no município de Juazeiro do Norte. O aquífero Rio da Batateira, dentro do sistema, é o mais importante do ponto de vista de exploração de água, e a sua alimentação ou recarga, ocorre de três maneiras: Pela infiltração direta das águas pluviais nas áreas aflorantes, onde o aquífero é livre; Infiltrações verticais descendentes a partir do “freático” em zonas semi-confinadas; vazamentos na rede de distribuição de água, esgoto e galerias pluviais, nas zonas onde o aquífero é livre.

É responsável pelo abastecimento da população local, já que a quase totalidade dos poços da área capta água desse aquífero. Ocorre na área abrangendo, aproximadamente, 110 km<sup>2</sup>, aflorando nas porções leste, oeste, sul e central, correspondendo a, aproximadamente, 70% do município.

#### **4.2.4 Sistema Hidrogeológico Cachoeirinha/Granitóides**

Esse sistema é considerado como um aquífero somente nos locais em que a água é captada através das fraturas. De modo geral essa unidade é denominada de aquífugo. É formado pelas rochas cristalinas do Grupo Cachoeirinha e dos Granitóides, aflorando na faixa norte e na zona ligada a Serra do Horto. Sua porosidade primária é quase nula, conferindo-lhe uma permeabilidade extremamente baixa.

É uma das principais bacias sedimentares do Nordeste brasileiro, sendo constituída por um vasto planalto, e por uma planície, o Vale do Cariri, a Chapada do Araripe com cerca de 1.200 metros de espessura de sedimentos. Estima-se que mais de 1.200 poços sejam explorados; muitos destes possuem vazões superiores a 100 m<sup>3</sup>/h (CPRM, 2014).

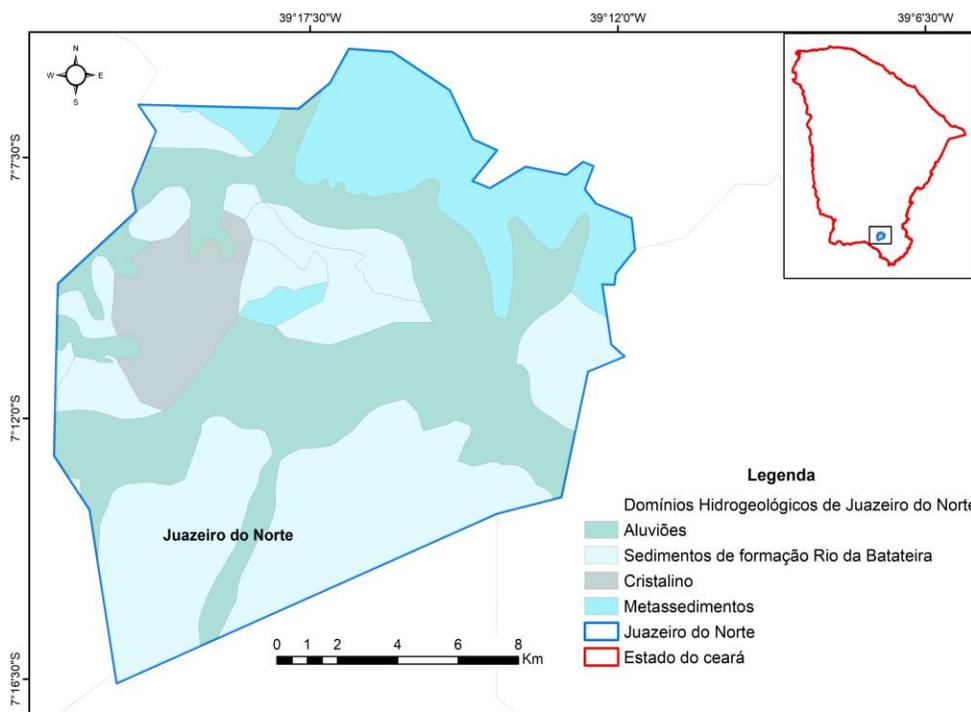


Figura 5 – Mapa - Domínios hidro geológicos de Juazeiro do Norte. Adaptado, fonte: CPRM (2015).

### 4.3 Aspectos Demográficos e Sociais

Localizado na Região Metropolitana do Cariri Cearense, Juazeiro do Norte é um dos municípios do sul do estado, com distância de 491,0km da capital Fortaleza, a uma altitude de 377 metros acima do nível do mar. Tem área de 249 km<sup>2</sup>, e população estimada para 2019 de 274.239 habitantes, segundo dados do IBGE, conforme (Quadro 1 e Gráfico 1) é a terceira cidade mais populoso do Ceará, a maior do interior cearense e a 104<sup>a</sup> do Brasil. Juazeiro do Norte é um dos municípios com maior população no interior do Nordeste, ocupando o sétimo lugar, a sua taxa de urbanização é de 96%.

A Terra do Padre Cícero tem a terceira maior densidade demográfica do Ceará, ficando atrás, apenas, de Fortaleza e Maracanaú. Com 109 anos de emancipação, o Município passou por muitas transformações em seus espaços físicos.

De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), obtidos através dos Censos Demográficos 1991/2000/2010, a população urbana do município de Juazeiro do Norte é apresentada da seguinte maneira:

- Censo 1991, população 164.922;
- Censo 2000, população 202.227;

- Censo 2010, população 240.128.

Quadro 1 – Histórico e estimativa da população

<b>HISTÓRICO E ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO</b>	
<b>Anos</b>	<b>População</b>
2013	251.498
2014	255.288
2015	Não foi estimada
2016	262.869
2017	266.659
2018	270.449
2019	274.239

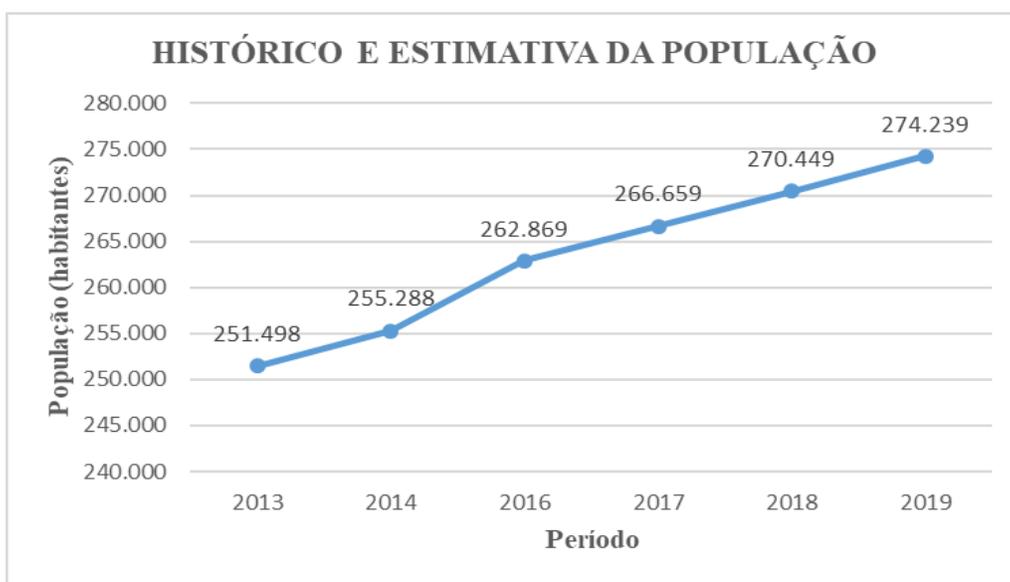


Gráfico 1 – Mapa com histórico e estimativa da população de Juazeiro do Norte

Juazeiro do Norte é uma cidade média, em que polariza as principais atividades de comércio, serviços, educação, indústria, habitação entre outros. Há 150 anos percebe-se seu crescimento de forma desordenada. Esse desordenamento se pode perceber quando observados os problemas urbanos gerados pela falta de estrutura da cidade como, por exemplo, falta de saneamento em uma parte da cidade, problemas relacionados aos logradouros, vias públicas, trânsito ainda se organizando, loteamentos em locais de risco ou em zonas verdes, terrenos baldios, onde há acúmulo de lixo, falta de drenagens, dentre outros.

Juazeiro do Norte possui três distritos e 37 bairros, conforme Tabela 2. Algumas ruas são de paralelepípedos e outras possuem pavimentação asfáltica. Entretanto, percebem-se muitas ruas em estrada carroçal (chão batido), outras esburacadas e não há um sistema de esgoto ou saneamento básico. Um dos bairros mais populosos é o João Cabral. A taxa de urbanização do município é de 96%, segundo a apuração do último censo.

Tabela 2 – População e Densidade Demográfica de Juazeiro do Norte segundo censo 2010.

<b>POPULAÇÃO E DENSIDADE DEMOGRÁFICA POR BAIRRO</b>					
<b>Bairros</b>	<b>População</b>	<b>Densidade Demográfica hab./10.000m<sup>2</sup></b>	<b>Bairros</b>	<b>População</b>	<b>Densidade Demográfica hab./10.000m<sup>2</sup></b>
João Cabral	17.859	258,08	Centro	5.706	36,58
Pirajá	14.800	200,81	Lagoa Seca	5.136	15,66
Frei Damião	13.879	19,25	Horto	5.073	9,83
Salesiano	13.879	92,53	José Geraldo da Cruz	4.296	22,14
Timbaúba	12.446	122,02	Juvêncio Santana	4.296	23,10
Franciscano	12.390	166,98	Vila Fátima	3.833	31,16
Limoeiro	12.143	86,74	Novo Juazeiro	3.471	45,43
Pio XII	11.099	238,18	Leandro Bezerra	3.239	19,87
Tiradentes	10.107	41,76	Francisca Prof.: Maria Geli Sá Barreto	2.716	12,18
São José	10.061	23,62	Socorro	2.421	100,04
Triângulo	9.632	71,35	Campo Alegre	2.401	8,76
Pedrinhas	9.198	18,62	Vila Três Marias	2.201	5,52
São Miguel	8.261	143,67	Betolândia	2.076	11,47
Romeirão	7.110	130,94	Salgadinho	1.301	7,52
Santa Teresa	6.926	105,58	Aeroporto	1.096	2,35
Amtônio Vieira	6.582	73,30	Vila Carité	938	4,24
Jardim Gonzaga	6.159	14,06	Brejo Seco/Monsenhor Francisco	900	4,02
Santo Antônio	6.081	60,87	Planalto	345	2,24
			Cidade Universitária	269	1,26

#### **4.6 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE JUAZEIRO DO NORTE**

De acordo com os dados de dezembro de 2019 fornecidos pela CAGECE, o sistema de esgotamento sanitário de Juazeiro do Norte tem 25.860 ligações reais, 25.197 ligações ativas, 663 ligações tamponadas, 18.500 metros de rede coletora de esgoto e 14.629 ligações disponíveis (ociosos). Há um quantitativo de economias sem esgotamento sanitário de 82.333, sendo o Índice Ativa Esgoto 23,05%, Índice Real Esgoto 25,71% e o Índice de Cobertura de Esgoto 36,05%, conforme Figura 6 e Tabela 3).

- **Ligações Tamponadas** – Existe esgotamento sanitário disponível, mas por motivo de obstruções nas caixas e ou o cliente não quer pagar a tarifa de esgoto, não utiliza o esgotamento sanitário, utiliza as fossas sépticas;
- **Ligações Disponíveis** – A rede coletora de esgoto está disponível para o cliente, mas ele não utiliza. Opta por usar a fossa séptica ou qualquer outro tipo de tratamento e destino.
- **Índice Ativo de Esgoto** – Quantidade de clientes interligados à rede coletora de esgoto;
- **Índice Real de Esgoto** – A rede coletora passa em frente ou no fundo da residência, o usuário pode estar ou não interligado, há disponibilidade de esgotamento sanitário;
- **Índice de Cobertura de Esgoto** – Disponibilidade de Esgotamento Sanitário.

O sistema de esgotamento sanitário de Juazeiro do Norte é composto por cinco estações de tratamento de esgoto – ETEs, são elas:

- Malvas (Lagoas de estabilização);
- Vila Três Marias (Reator UASB);
- Tenente Coelho (Reator UASB);
- Mutirão (Reator UASB);
- Prourb (Decanto digestor).

#### **4.5.1 Estação de Tratamento de Esgoto – ETE Malvas**

O sistema de esgotamento sanitário Malvas é o maior e o principal. É composto por uma estação de tratamento de esgoto do tipo lagoas de estabilização, sete estações elevatórias de esgoto de tratamento preliminar e uma estação de tratamento preliminar. O sistema é composto por nove unidades operacionais:

- Estação elevatória de esgoto Lagoa Seca;
- Estação de tratamento preliminar avenida Paraná;
- Estação elevatória de esgoto Manoel Santana;
- Estação elevatória de esgoto Almino Loiola;

- Estação elevatória de esgoto da Vila Fátima;
- Estação elevatória de esgoto Malvas;
- Estação elevatória de esgoto Salesianos
- Estação elevatória de esgoto Multifuncional.

#### **4.5.2 Estação de Tratamento de Esgoto - ETE Vila Três Marias**

O sistema de esgotamento sanitário da área Vila Três Marias tem como tipo de tratamento de esgoto o de Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente - RAFA. O percentual de cobertura de rede coletora de esgoto no sistema, ou seja, disponibilidade de esgotamento sanitário é de 28%, com um total de 86 economias ativas. A área Vila Três Marias possui sistema de 714 metros de rede coletora de esgoto.

#### **4.5.3 Sistema de Tratamento de Esgoto Minha Casa Minha Vida Tenente Coelho**

O sistema de esgotamento sanitário, MCMV Tenente Coelho tem sistema de tratamento tipo reator UASB, filtro submerso aerado, decantador convencional e desinfecção. O percentual de cobertura de rede coletora de esgoto no sistema é de 100% com um total de 1.274 economias ativas de esgoto. Existem no sistema 2.288 metros de rede coletora de esgoto.

#### **4.5.4 Estação de Tratamento de Esgoto Mutirão**

Atualmente é composto por uma estação elevatória, unidade de tratamento preliminar composto por gradeamento e caixa de areia e uma estação de tratamento de esgoto do tipo UASB, com dois reatores anaeróbios de fluxo ascendente, funcionando em paralelo. Projetado para tratar esgoto a uma vazão máxima de 6,3L/s.

A ETE é composta ainda de uma unidade de desinfecção do efluente e unidade de desidratação do lodo digerido (leito de secagem).

O sistema recebe contribuição de 363 ligações ativas. Devido às obras da quarta etapa do Anel Viário a ETE Mutirão será desativada e a estação elevatória de esgoto será realocada. A nova estação elevatória recalcará o efluente para a estação elevatória de esgoto da Lagoa Seca e passará a fazer parte do sistema de esgotamento sanitário das Malvas.

#### **4.5.5 Estação de tratamento de esgoto Prourb - Triângulo**

O sistema do conjunto habitacional Prourb é composto de um conjunto de decanto-digestores, recebe contribuição de 350 ligações ativas. Não existem dados do referido

sistema, pois o mesmo foi construído pela prefeitura e repassado para a CAGECE operá-lo, sem qualquer informação.

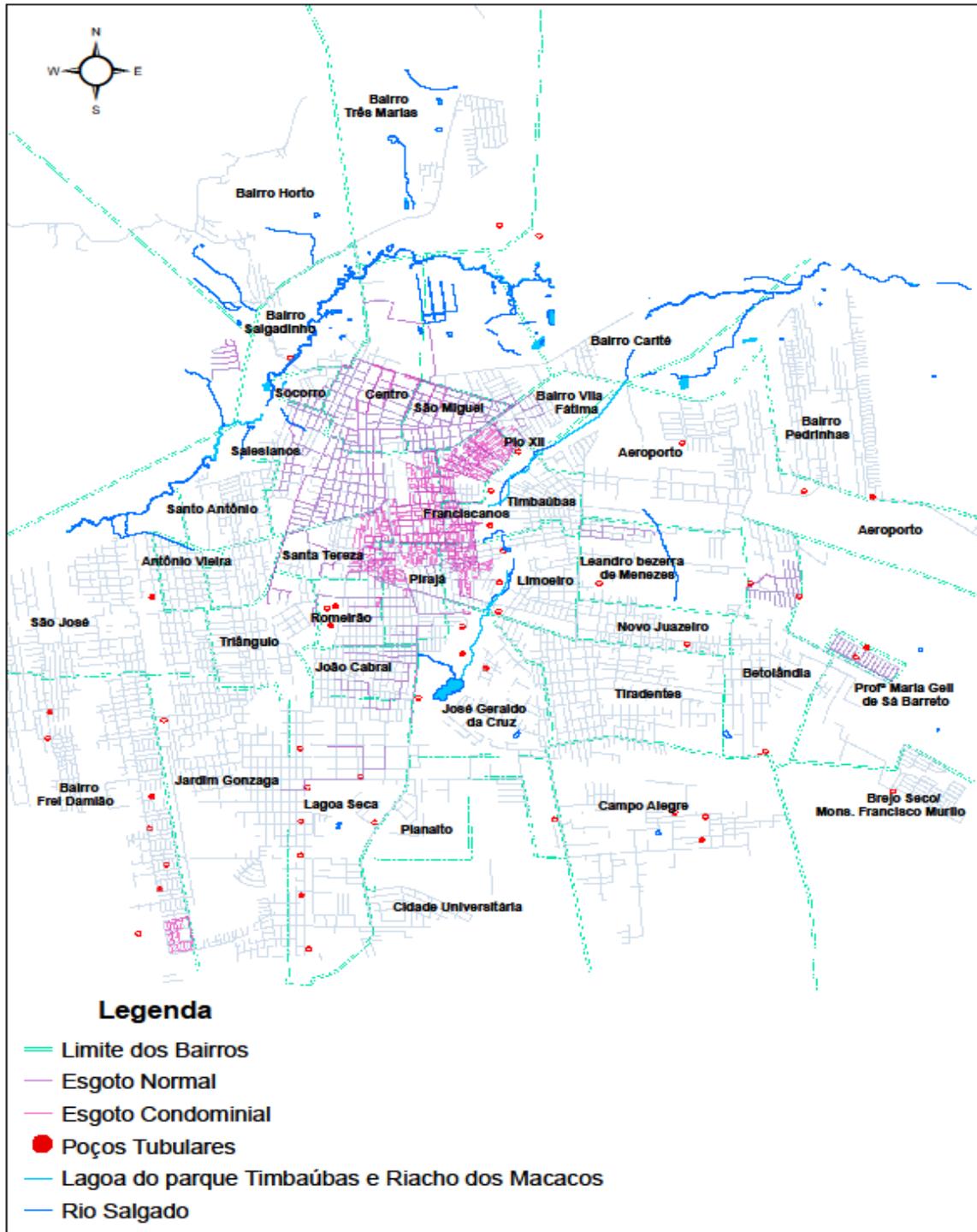


Figura 6 – Sistema de Esgotamento Sanitário e localização dos poços em Juazeiro do Norte-CE. Fonte: O autor, (2020).

Tabela 3 – Cobertura de Esgotamento Sanitário por Bairro

COBERTURA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO POR BAIRRO							
BAIRROS	ESGOTO NORMAL CONVEN- CIONAL	ESGOTO CONDO- MINIAL	SEM REDE DE ESGOTO	LIGAÇÕES REAIS	LIGAÇÕES ATIVAS	LIGAÇÕES TAMPONA- DAS	LIGAÇÕES DISPONÍVEIS
João Cabral		X		2.954	2.917	38	1.242
Pirajá		X		2.250	2.203	47	1.236
Frei Damião	X		X	368	363	5	12
Salesiano	X			2.451	2.319	132	2.407
Timbaúba		X		786	773	13	310
Franciscano		X		2.143	2.130	14	1.556
Limoeiro		X		1.125	1.114	9	648
Pio XII		X		2.469	2.430	39	870
Tiradentes			X	-	-	-	-
São José			X	-	-	-	-
Triângulo	X		X	351	350	1	164
Pedrinhas			X				
São Miguel	X			2.085	1.954	131	1.157
Romeirão		X		1.914	1.880	34	692
Santa Teresa		X		700	686	14	915
Amtônio Vieira			X	-	-	-	-
Jardim Gonzaga			X	-	-	-	-
Santo Antônio			X	-	-	-	-
Centro	X			1.791	1.661	130	2.496
Lagoa Seca	X			177	165	12	85
Horto			X	-	-	-	-
José Geraldo da Cruz		X	X	106	106	0	146
Juvêncio Santana	X			81	78	3	104
Vila Fátima		X		522	520	2	210
Novo Juazeiro			X	-	-	--	
Leandro Bezerra	X			476	476	0	30
Socorro	X			211	204	7	265
Campo Alegre			X				
Vila Três Marias	X			96	81	15	32
Betolândia – MCMV – Manoel Santana	X			736	728	8	0

Salgadinho	X			13	12	1	22
Aeroporto – MCMV Tenente Coelho	X			1.279	1.274	5	30
Vila Carité			X	-	-	-	-
Brejo Seco			X	-	-	-	-
Planalto			X	-	-	-	-
Cidade Universitária			X	-	-	-	-
Francisca Geli de Sá Barreto – MCMC São Sebastião	X			776	773	3	0
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>25.860</b>	<b>25.197</b>	<b>663</b>	<b>14.629</b>

Informações: dezembro 2019.

## 5 METODOLOGIA

Realizou-se uma pesquisa quantitativa e qualitativa exploratória, com o intuito de avaliar a incidência de valores alterados de Nitrato em águas subterrâneas na sede do município de Juazeiro do Norte, Ceará. Esse tipo de pesquisa pode ser entendido como um estudo de caso onde, após a coleta de dados, é realizada uma análise das relações entre as variáveis para uma posterior determinação dos efeitos resultantes.

As análises avaliadas foram do período de 2013 a 2019, totalizando 388 análises laboratoriais de 48 poços tubulares, que abastecem a sede do município. A variável de resposta foi o nível de nitrato encontrado nas amostras de água, de forma a especificar a concentração encontrada no período chuvoso e de seca, discutindo-se, assim, as taxas de nitrato encontradas e sua relação com a presença do esgotamento sanitário e a densidade populacional.

A CAGECE utiliza para o abastecimento público 53 poços, todos monitorados; desses, 48 poços já tem um histórico, por serem poços perfurados há um certo tempo (Anexo A). Para os outros cinco, por terem sido perfurados recentemente, não se tem um histórico. Os poços foram selecionados para entrada de dados porque apresentavam propriedades consistentes como: localização, tipo de aquífero, profundidade do poço, vazão bombeada por hora e crivo da bomba.

O presente estudo classificou os teores de nitrato dos 48 poços em três faixas, poços que apresentam teores de nitrato até 5,0mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, acima de 5,0mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L até 10mg

$\text{NO}_3/\text{L}$  e os poços que apresentam teores acima de  $10\text{mg NO}_3^-/\text{L}$ . Foi estabelecido também que para cada poço que não teve todas as suas análises dentro daquela faixa, considerou-se um percentual igual ou superior a 75% daquela faixa ou que no decorrer dos sete anos analisados os teores de nitrato foram crescentes ou decrescentes, fazendo com que alguns poços saíssem da faixa anterior para a posterior ou vice versa. As células em branco nas tabelas de 4 a 11 indicam que não houve coletas nos poços naqueles anos.

O fornecimento de água para a população é feito principalmente através da CAGECE, mas poços particulares abastecem grandes consumidores como fábricas, condomínios, etc.

### **5.1 Amostragem e Procedimentos Analíticos**

As amostras de águas subterrâneas foram coletas semestralmente (primeiro e segundo semestre dos anos de 2013 a 2019) em 48 poços tubulares, captando água em diferentes aquíferos, para determinação dos teores de Nitrato. As coletas e as análises ocorreram no período de 2013 (maio e novembro), 2014 (maio e novembro) e 2015 (outubro e novembro), 2016 (abril, maio, outubro e novembro), 2017 (maio, outubro e novembro) e 2018 (maio, outubro e novembro) e 2019 (abril e maio). As determinações analíticas foram realizadas de acordo com o Procedimento Operacional Padrão – POP, no Laboratório Regional em Juazeiro do Norte da CAGECE de acordo com Standard Methods (APHA, 2012). Foram utilizados os métodos da Brucina e da Coluna Redutora de Cádmio para quantificação dos teores de Nitrato.

Para definir-se se o resultado analítico indicava contaminação comparou-se com os padrões de potabilidade da Portaria de Consolidação PRC n. 05/2017, anexo XX, do Ministério da Saúde, que dispõe sobre procedimentos e responsabilidades inerentes ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano, estabelece o padrão de potabilidade da água para consumo humano, e dá outras providências.

Os mapas anexados ao trabalho foram elaborados a partir dos softwares AUTO CAD e ArcGIS.

### **5.2 Análise da Qualidade da Água e sua Relação com a Cobertura de Esgoto e Densidade Populacional**

Na área de estudo foram detectadas as possíveis fontes potenciais de poluição já mencionadas anteriormente e que estão no Quadro 3, são elas: Ausência ou deficiência de esgotamento sanitário, drenagem superficial – Riacho dos Macacos, Rio Salgado e esgoto a

céu aberto, bem como ocupação populacional, lixões e lixos acumulados em alguns pontos da cidade, cemitérios e lagoas de estabilizações, de acordo com o que a literatura descreve.

Para cada poço no Quadro 3 foram estabelecidos as fontes de poluição e o seu possível grau de contaminação, sendo eles: elevado ou baixo. Levando em consideração que as fontes poluidoras deveriam ser localizadas à jusante das fontes de abastecimento de água, a uma distância nunca inferior a quinze metros, conforme a NBR 7229 (ABNT, 1993) e de acordo com a presença e a quantidade da fonte de poluição próxima a cada poço (in loco), foi elaborado o quadro 2 para os seguintes critérios de poluição:

- Elevado;
- Baixo.



Quadro 3 – Possíveis Fontes de Poluição

POÇOS  TUBULA RES	FONTES DE POLUIÇÃO							
	Localização dos Poços Tubulares por Bairros	Densidade Populacional por bairro hab./10.000m <sup>2</sup>	Ausência ou Deficiência de Esgotamento Sanitário	Drenagem Superficial – Riacho dos Macacos/Rio Salgado – Esgoto a céu aberto	Densidade Populacional (hab./10.000km <sup>2</sup> )	Lixões/Lixo a céu aberto	Cemitério	Lagoas de Estabilização
PT 01	José Geraldo da Cruz	22,14	•	•	•	•	•	•
PT 02	José Geraldo da Cruz	22,14	•	•	•	•	•	•
PT 03	Limoeiro	86,74	•	•	•	•	•	•
PT 04	Limoeiro	86,74	•	•	•	•	•	•
PT 05	Limoeiro	86,74	•	•	•	•	•	•
PT 06	Limoeiro	86,74	•	•	•	•	•	•
PT 07	Limoeiro	86,74	•	•	•	•	•	•
PT 08	Limoeiro	86,74	•	•	•	•	•	•
PT 09	Lagoa Seca	15,66	•	•	•	•	•	•
PT 10	Lagoa Seca	15,66	•	•	•	•	•	•
PT 11	Lagoa Seca	15,66	•	•	•	•	•	•
PT 12	Lagoa Seca	15,66	•	•	•	•	•	•
PT 13	Lagoa Seca	15,66	•	•	•	•	•	•
PT 14	Lagoa Seca	15,66	•	•	•	•	•	•
PT 15	Jardim Gonzaga	14,06	•	•	•	•	•	•
PT 18	Aeroporto	2,35	•	•	•	•	•	•

PT 19	Frei Damião	19,25	•	•	•	•	•	•
PT 20	Socorro	100,04	•	•	•	•	•	•
PT 21	Frei Damião	19,25	•	•	•	•	•	•
PT 22	Frei Damião	19,25	•	•	•	•	•	•
PT 23	Pedrinhas	18,62	•	•	•	•	•	•
PT 24	São José	23,62	•	•	•	•	•	•
PT 26	Betolândia	11,47	•	•	•	•	•	•
PT 27	Pirajá	200,81	•	•	•	•	•	•
PT 28	João Cabral	258,08	•	•	•	•	•	•
PT 29	João Cabral	258,08	•	•	•	•	•	•
PT 30	João Cabral	258,08	•	•	•	•	•	•
PT 31	José Geraldo da Cruz	22,14	•	•	•	•	•	•
PT 34	Campo Alegre	8,76	•	•	•	•	•	•
PT 35	Novo Juazeiro	45,43	•	•	•	•	•	•
PT 36	Frei Damião	19,25	•	•	•	•	•	•
PT 37	Planalto	2,24	•	•	•	•	•	•
PT 38	Campo Alegre	8,76	•	•	•	•	•	•
PT 39	Campo Alegre	8,76	•	•	•	•	•	•
PT 40	São José	23,62	•	•	•	•	•	•
PT 41	Planalto	2,24	•	•	•	•	•	•
PT 42	Vila Três Maria	5,52	•	•	•	•	•	•
PT 43	Aeroporto	2,35	•	•	•	•	•	•

PT 45	Frei Damião	19,25	●	●	●	●	●	●
PT 46	Tiradentes	41,76	●	●	●	●	●	●
PT 47	Frei Damião	19,25	●	●	●	●	●	●
PT 48	Brejo Seco/Monsenhor Francisco Murilo	4,02	●	●	●	●	●	●
PT 50	Vila Três Maria	5,52	●	●	●	●	●	●
PT 52	Betolândia	11,47	●	●	●	●	●	●
PT 53	Betolândia	11,47	●	●	●	●	●	●
PT 55	Francisca Maria Geli Sá Barreto	12,18	●	●	●	●	●	●
PT 56	Francisca Maria Geli Sá Barreto	12,18	●	●	●	●	●	●
PT 58	São José	23,62	●	●	●	●	●	●

- Possível Fonte de Poluição Elevada;
- Possível Fonte de Poluição Baixa.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de nitrato acima de 10,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> registrados no primeiro semestre dos anos 2013 a 2019 (com exceção de 2015) estão apresentados na Tabela 4 e no Gráfico 2. Todos os poços analisados apresentaram um aumento considerável no teor de nitrato no primeiro semestre dos anos de 2013 a 2019. Nos anos de 2013 e 2019, todos os poços apresentaram uma concentração acima do valor máximo permitido pela legislação vigente, que é de 10 mg/L. Já nos anos 2016 e 2018, 83,33% dos poços analisados PT 2, 3, 6, 7, 28, 35 e 36 também demonstraram teores fora do padrão.

No ano de 2014, primeiro semestre, apenas uma análise do PT 07 apresentou teor de nitrato abaixo do valor máximo permitido pela legislação, mostrando que apenas 25,0% das amostras de 2014 estão dentro do padrão de potabilidade para nitrato. No ano de 2017, primeiro semestre apenas duas análises PTs 28 e 36 apresentaram teores de nitrato abaixo do valor máximo permitido pela legislação, mostrando que apenas 33,33% destas amostras estão dentro do padrão de potabilidade para nitrato.

Tabela 4 – Resultados Laboratoriais das Análises Químicas das amostras coletadas no primeiro semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019 com teores de nitrato acima de 10,0 mg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L

PONTOS DE COLETAS	POÇOS COM TEORES DE NITRATO ACIMA DE 10,0 mg DE NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L							
	mai/13	mai/14	mai/15	mai/16	mai/17	mai/18	abr/19	mai/19
PT 2	20,98	17,88		23,46	18,04	22,06	22,18	
PT 3	14,68	12,77		15,07	11,63	15,12	22,31	
PT 6	14,58	11,98		16,81	13,00	15,06		
PT 7		9,3		14,66	10,19	12,91		17,69
PT 28				11,05	8,7	13,67	12,85	
PT 35							13,98	
PT 36				8,15	6,5	9,19	10,84	

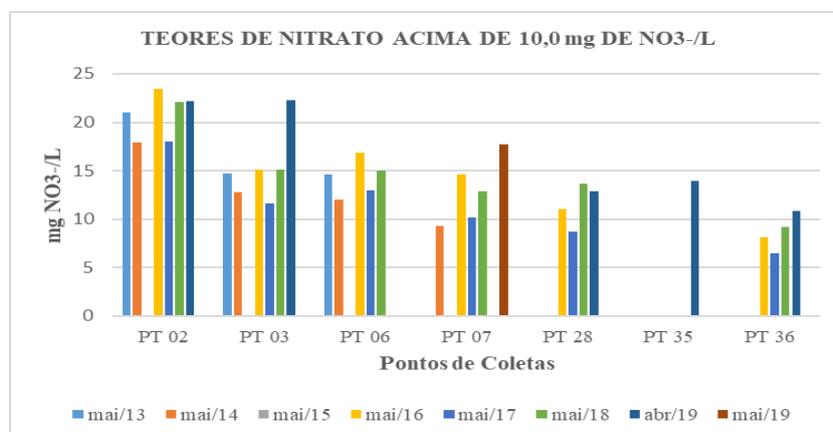


Gráfico 2 - Teores de Nitrato – primeiro semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.

De acordo com a Tabela 5 os teores de Nitrato nos poços para o período do segundo semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017 e 2018 estão bem próximo dos valores apresentados no primeiro semestre. Considerando o nível máximo de nitrato permitido pela legislação ( $10,0 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$ ), verifica-se que os poços tubulares 2, 3, 6 e 7 apresentaram concentrações superiores nos anos de 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018 em todo segundo semestre, o que indica provavelmente a poluição por esgotos domésticos e lixo devido à proximidade de mananciais superficiais poluídos, riacho dos Macacos e a ausência ou deficiência do esgotamento sanitário, de acordo com o Quadro 3.

De acordo com Tabela 5, observou-se que apenas o PT 36 em todo o período de 2013 a 2018 apresentou valores de nitrato dentro do padrão de tolerância. No ano de 2016 e 2017, 83,33% e 85,71% respectivamente das amostras ultrapassaram o limite tolerável de nitrato que podem estar relacionados as fontes de contaminação conforme Quadro 3. 60% das amostras do PT 28 e 50% das do PT 35 apresentaram teores de nitrato dentro da normalidade. Considerando o nível máximo de nitrato permitido pela legislação ( $10,0 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$ ), verifica-se um quadro de contaminação provocada por esgotos domésticos e lixo para os poços 2, 3, 6 e 8 que ficam localizados às margens do riacho dos Macacos. A maior concentração de nitrato no Riacho dos Macacos ocorreu durante o mês de maio de 2016, no PT 02, atingindo  $23,46 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$ . Os poços que estão inseridos às margens ou próximos ao riacho dos Macacos apresentaram níveis de contaminação elevada, na sua maioria ultrapassando o padrão de potabilidade da água para esse parâmetro, levando em consideração o período pesquisado.

Os valores encontrados quanto aos teores de nitrato registrados no segundo semestre dos anos de 2013 a 2018, podem ser mais bem acompanhadas na Tabela 5 e no Gráfico 3, na qual evidenciam os altos valores detectados para os poços tubulares 2, 3, 6 e 7.

Em relação à presença de nitrato encontrado no poço PT 28, deve estar ou pode estar relacionada com a sua localização, o mesmo fica no bairro João Cabral, o mais populoso da cidade, com 17.859 habitantes e uma densidade populacional de  $258,08 \text{ hab./10.000m}^2$ , conforme Figura 7 e de acordo com a Tabela 2. É um bairro também com disponibilidade de esgotamento sanitário, mas do tipo condominial, a maioria das ligações são de fundo de lote, onde ocorrem muitas obstruções devido à cultura que

alguns clientes têm de varrer os seus quintais e jogar todo o lixo dentro da caixa coletora, fazendo com que alguns clientes tampone o seu esgoto, voltando a utilizar a fossa séptica como meio de tratar o seu esgoto. No total, o bairro João Cabral tem 2.917 ligações ativas, 38 tamponadas e 1.242 ligações ainda disponíveis à população, de acordo com a Tabela 3.

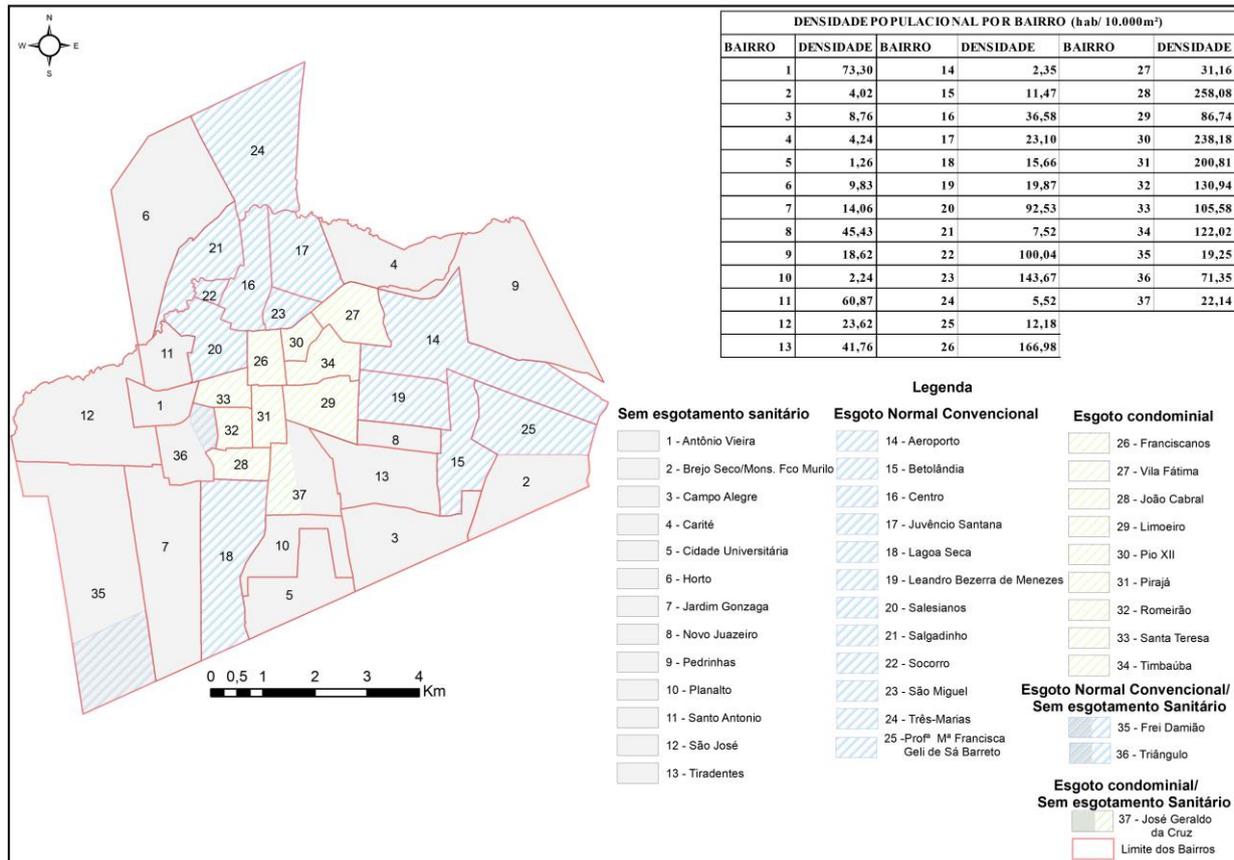


Figura 7 – Mapa com a densidade populacional e esgotamento sanitário por bairro. Fonte: O autor, 2020.

O PT 28 no primeiro e segundo semestres apresentou 75% e 40% respectivamente das análises acima dos valores estabelecidos pela legislação vigente. Analisando os resultados obtidos, existe uma tendência clara quanto ao aumento na concentração de íon nitrato nos poços tubulares que ficam localizados no bairro João Cabral, os PTs 28, Tabelas 4 e 5 e respectivos Gráficos 2 e 3 e os PTs 29 e 30, Tabelas 6, 7, 8 e 10 e respectivos Gráficos 4, 5, 6 e 7. Como os três poços ficam próximos, localizados na mesma área, apresentam profundidades parecidas e as bombas estão instaladas praticamente nas mesmas profundidades e apresentam teores de nitrato diferentes, o PT 28 apresenta os maiores valores, podendo ter relação a questão da vazão

por ser menor do que os demais poços, a mesma poderá estar sendo bombeada de uma outra zona do aquífero.

Em relação ao PT 35, localizado no bairro Novo Juazeiro, com três amostras em novembro de 2017 e 2018 e abril 2019, duas apresentaram valores acima do estabelecido pela legislação vigente. Os resultados acima podem estar relacionados com as fontes de poluição, registradas no Quadro 3, ausência de esgotamento sanitário e aproximação com dois cemitérios (Anjo da Guarda e São João Batista).

Tabela 5 – Resultados Laboratoriais das Análises Químicas das amostras coletadas no segundo semestre dos anos de 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018 com teores de nitrato acima de 10,0 mg de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ .

PONTOS DE COLETAS	POÇOS COM TEORES DE NITRATO ACIMA DE 10,0 mg DE $\text{NO}_3^-/\text{L}$					
	nov/13	nov/14	out/15	out/16	nov/17	nov/18
PT 2	22,96	18,05	19,30	21,01	20,39	21,48
PT 3	14,95	13,74	10,85	16,16	14,15	16,19
PT 6	15,38	13,15	14,50	15,24	13,48	
PT 7	11,85	11,05	12,20	12,97	12,66	13,97
PT 28	8,92	8,84	9,20	11,83	11,38	
PT 35					12,18	9,42
PT 36	8,34	7,96	8,50	9,11	9,24	9,64

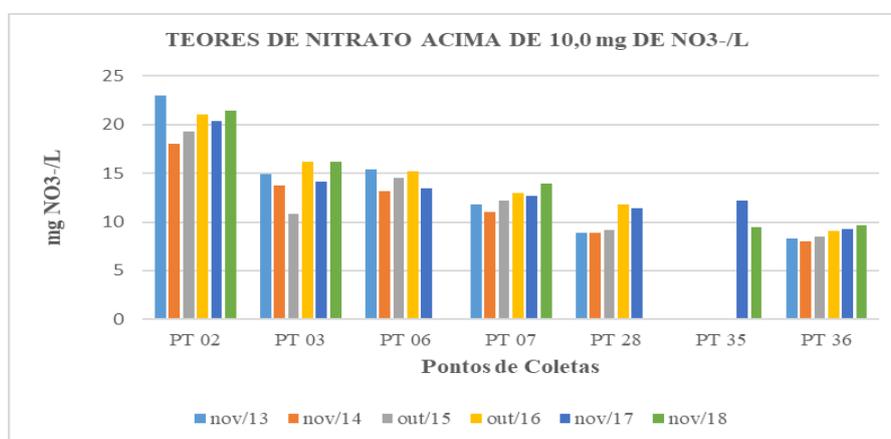


Gráfico 3 - Teores de Nitrato – segundo semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017 e 2018.

Analisando os resultados dos teores de nitrato dos poços tubulares na tabela 6 e 7 (1º e 2º semestres) observa-se que algumas análises dos poços tubulares 1, 4 e 27 ficaram com resultados acima de 10mg de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ , 16,67%, 33,33% e 44,44% respectivamente, sendo que os demais resultados ficaram abaixo de 10mg  $\text{NO}_3^-/\text{L}$  e desses valores 55,10% ficaram entre 5,0mg  $\text{NO}_3^-/\text{L}$  e 10,0 mg  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ . Os poços 1, 4, 5 e 8 estão localizados às margens do riacho dos Macacos e o poço 27 fica situado dentro da área do parque Ecológico, muito próximo ao riacho dos Macacos, que recebe

contribuição de uma carga grande de esgoto das galerias de águas pluviais e das sarjetas dos bairros Lagoa Seca, Romeirão, João Cabral, Pirajá, Limoeiro e Pio XII.

Tabela 6 – Resultados Laboratoriais das Análises Químicas das amostras coletas no primeiro semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.

PONTOS DE COLETAS	POÇOS COM TEORES DE NITRATO ACIMA 5,0 mg de NO <sub>3</sub> /L ATÉ 10,0 mg DE NO <sub>3</sub> /L							
	mai/13	mai/14	out/15	mai/16	mai/17	mai/18	abr/19	mai/19
PT 1	21,66	8,6		7,49	5,29	6,54	5,89	
PT 4	16,41	11,24		10,27	4,86	6,45		5,43
PT 5						4,04		5,16
PT 8								5,03
PT 27		1,7		12,32		9,78		6,45
PT 30	5,66	3,1		4,75	4,58	5,97		4,46

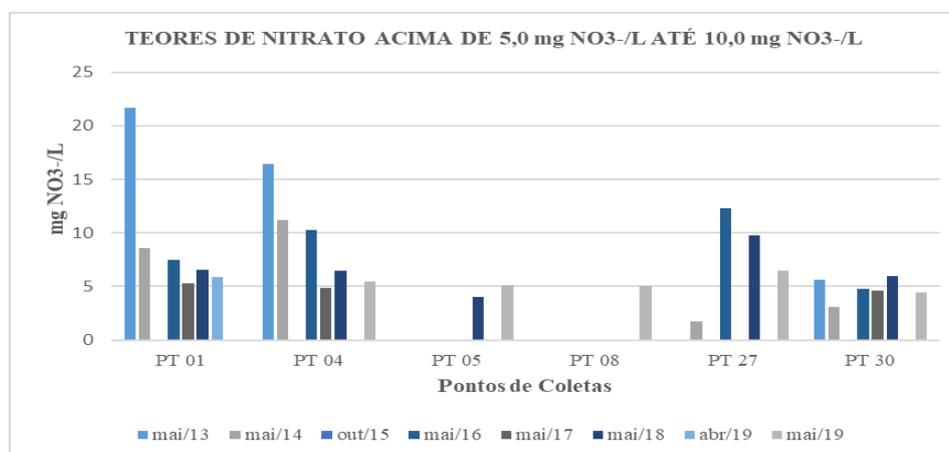


Gráfico 4 - Teores de Nitrato – primeiro semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.

Os altos teores de nitrato presentes nesses poços das Tabelas 6 e 7 e Gráficos 4 e 5 podem estar relacionados a ausência ou deficiência do esgotamento sanitário nessa área e a quantidade de esgoto e lixo a céu aberto no riacho dos Macacos, conforme Quadro 3.

Tabela 7 – Resultados Laboratoriais das Análises Químicas das amostras coletas no segundo semestre dos anos de 2013, 2014 e 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019.

PONTOS DE COLETAS	POÇOS COM TEORES DE NITRATO ENTRE 5,0 mg DE NO <sub>3</sub> /L E 10,0 mg DE NO <sub>3</sub> /L					
	nov/13	nov/14	out/15	out/16	nov/17	nov/18
PT 1	10,09	8,05	7,10	7,02	6,85	6,21
PT 4	8,11	12,45	8,4	5,75	5,63	6,81
PT 5					4,06	3,81
PT 8						
PT 27	1,91	12,97	5,15		12,30	10,48
PT 30		5,04	4,90	5,92	4,85	5,8

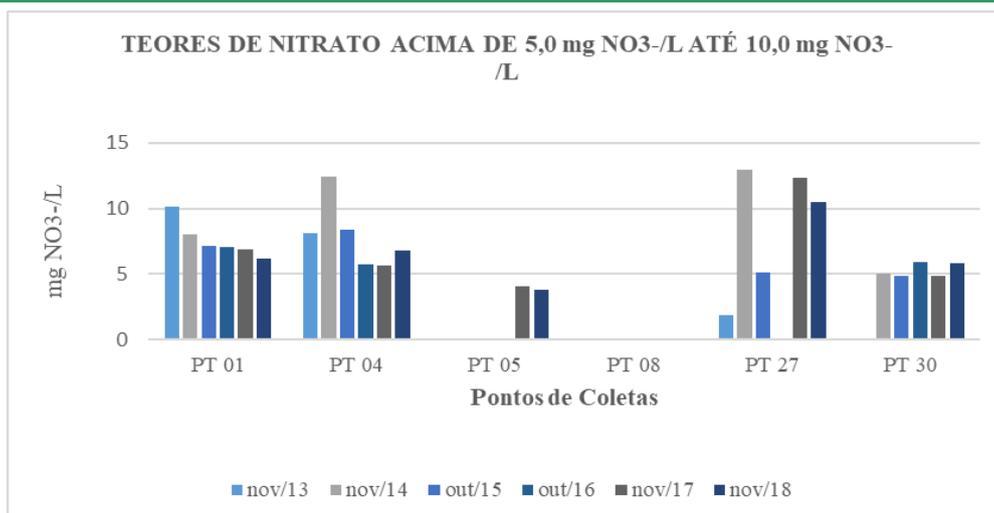


Gráfico 5 - Teores de Nitrato – segundo semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.

Outros poços tubulares, Tabelas 8, 9, 10 e 11 (1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> semestres) e seus respectivos Gráficos 6, 7, 8 e 9 que estão de certa forma mais afastados da parte central da cidade, localizados nos bairros mais periféricos, alguns com disponibilidade de esgotamento sanitário e uma densidade populacional relativamente baixa, outros mesmo sem disponibilidade de esgotamento sanitário, apresenta uma densidade populacional muito baixa, conforme Figura 7 apresentam níveis de íon nitrato considerados seguros, 96,57% das amostras estão com resultados de Nitrato abaixo de 5,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, e apenas 3,43% das análises apresentaram nitrato acima de 5,0 mg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, já que estão abaixo do estabelecido pela legislação vigente, conforme pode ser visto também no Quadro 3, para esses poços poucos fatores de risco de poluição apresentam.

Tabela 8 – Resultados Laboratoriais das Análises Químicas das amostras coletas no primeiro semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.

PONTOS DE COLETAS	POÇOS COM TEORES DE NITRATO ATÉ 5,0 mg DE NO <sub>3</sub> -/L							
	mai/13	mai/14	mai/15	mai/16	mai/17	mai/18	abr/19	mai/19
PT 9				1,98		2,18	2,54	
PT10				4,22		4,97		4,96
PT 11	1,69	1,68		1,64			2,65	
PT 12	2,23	2,45		2,77			3,56	
PT 13	2,99	3,33		3,07			3,44	
PT 14	2,74	1,77		1,77			2,66	
PT 15				0,99		1,55		1,4
PT 18				0,37		1,05		0,81
PT 19				2,75	2,76	3,76		
PT 20	0,4	0,22		0,0				1,24
PT 21				2,62	1,77	2,1		0,91
PT 22				0,78	0,39	0,89		0,88
PT 23				4,25		5,61		4,02

<b>PT 24</b>				2,33		2,8		2,43
<b>PT 26</b>				2,35	1,7	2,74		2,82
<b>PT 29</b>	3,27	0,82		4,25	3,54			4,32

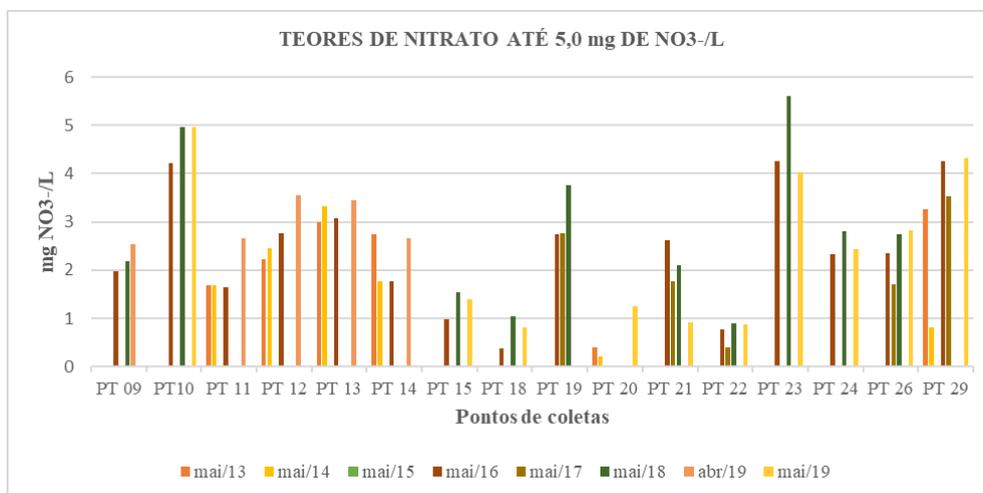


Gráfico 6 - Teores de Nitrato – primeiro semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.

Analisando os resultados das análises de nitrato da Tabela 8 e 10 da bateria dos poços tubulares PTs 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15, localizados no bairro Lagoa Seca, verificamos que todos os resultados estão abaixo de 5,0mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, valores esses que não trazem riscos à população. Esses resultados podem estar relacionados às seguintes situações: o bairro é mais afastado da parte central da cidade, parte do bairro possui esgotamento sanitário, tem uma densidade populacional pequena por ser o bairro com maior poder aquisitivo, suas residências ocupam um maior território.

Tabela 9 – Resultados Laboratoriais das Análises Químicas das amostras coletas no primeiro semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.

PONTOS DE COLETAS	POÇOS COM TEORES DE NITRATO ATÉ 5,0 mg DE NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L							
	mai/13	mai/14	mai/15	mai/16	mai/17	mai/18	abr/19	mai/19
<b>PT 31</b>	3,59	2,75		2,64				3,01
<b>PT 34</b>		0,34		0,0	0,11	0,27		0,1
<b>PT 37</b>	1,94	2,36		1,37				2,14
<b>PT 38</b>	5,66	1,28		0,4		0,89		0,66
<b>PT 39</b>	3,59	1,69		0,2	1,6	2,77		0,8
<b>PT 40</b>		2,36		2,49		2,98		2,33
<b>PT 41</b>				0,2	1,55	2,56		3,36
<b>PT 42</b>				0,1	0,4	0,62		
<b>PT 43</b>	1,94	1,16		1,98	1,1	1,59		1,58
<b>PT 45</b>					0,6	2,62		2,58
<b>PT 46</b>								
<b>PT 47</b>				0,00	0,00	0,09		0,97

<b>PT 48</b>					0,98	0,21		1,2
<b>PT 50</b>						0,62		
<b>PT 52</b>						3,79		
<b>PT 53</b>						1,6		
<b>PT 55</b>								
<b>PT 56</b>								
<b>PT 58</b>								

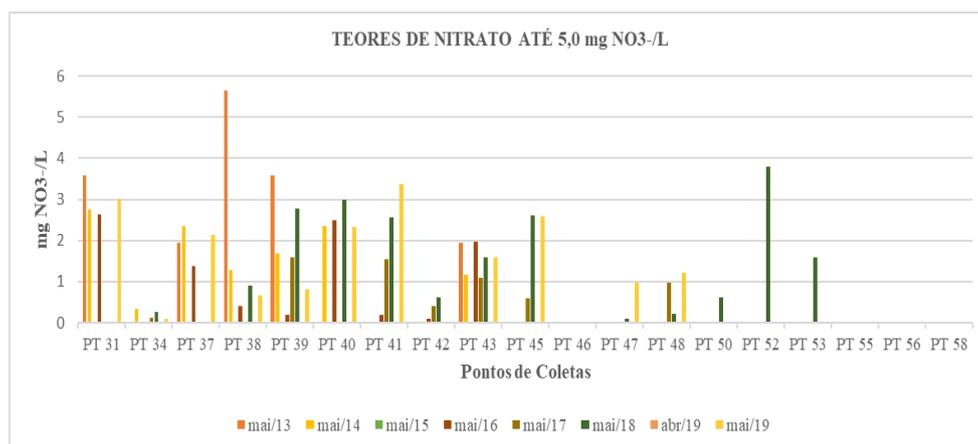


Gráfico 7 - Teores de Nitrato – primeiro semestre do s anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.

Os poços tubulares 19, 21, 22, 45 e 47 que ficam localizados no bairro Frei Damião, o 3<sup>o</sup> maior em população e com parte do bairro com disponibilidade de esgotamento sanitário, apresentam em 100% das análises teores de nitrato abaixo de 5,0mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, que é seguro para população. Os baixos valores de nitrato nesses poços relacionados no período chuvoso e de seca das Tabelas 8, 9, 10 e 11 podem ter relação com a disponibilidade do esgotamento sanitário e com as profundidades dos poços que são relativamente grandes e suas vazões de explorações são baixas, de acordo com Anexo A.

Tabela 10 – Resultados Laboratoriais das Análises Químicas das amostras coletas no segundo semestre dos anos de 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019.

PONTOS DE COLETAS	POÇOS COM TEORES DE NITRATO ATÉ 5,0 mg DE NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L					
	nov/13	nov/14	out/15	out/16	nov/17	nov/18
<b>PT 9</b>	1,95	1,82		1,6	1,69	2,04
<b>PT10</b>	1,97	4,15	4,15	4,45	4,31	5,02
<b>PT 11</b>	1,94	1,40	1,80	1,17	1,89	2,22
<b>PT 12</b>	2,89	2,27	2,35	2,77	2,92	3,30
<b>PT 13</b>	3,11	2,45	2,75	2,90	3,00	3,42
<b>PT 14</b>	3,28	2,16	5,00	2,01	2,49	2,69
<b>PT 15</b>	1,66	1,06	0,95	2,09	1,13	1,53
<b>PT 18</b>	1,08	0,78	0,80	0,68	0,71	0,88

<b>PT 19</b>	2,12	2,66		0,52	2,15	3,48
<b>PT 20</b>	0,22	0,10	0,00		0,20	0,12
<b>PT 21</b>	2,40	2,11	2,00	2,34	2,65	0,82
<b>PT 22</b>	0,79	0,76	0,55	0,51	0,80	2,90
<b>PT 23</b>	3,11	3,36	3,45	4,02	4,05	5,45
<b>PT 24</b>	2,77	2,65	2,45	2,11	2,15	2,99
<b>PT 26</b>	2,82	0,52	2,60	2,29	2,73	2,54
<b>PT 29</b>	3,78	3,25	3,45	5,04	4,88	5,47

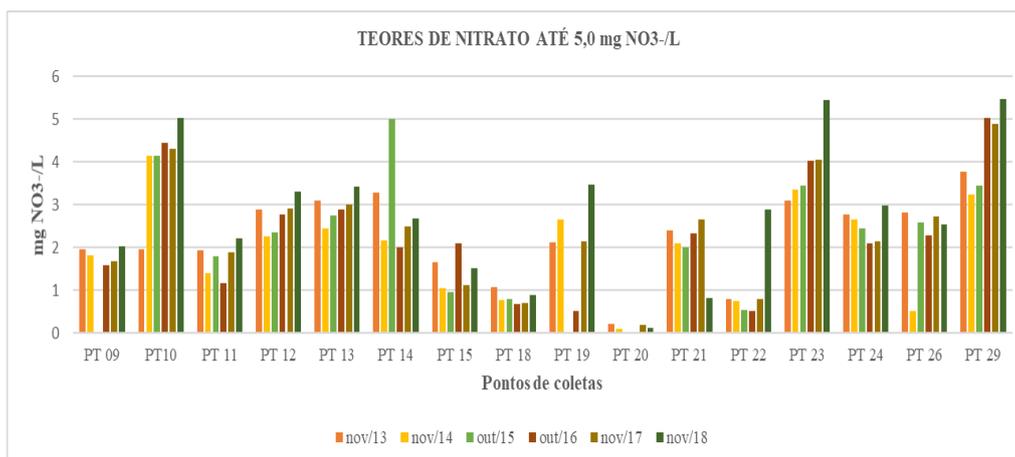


Gráfico 8 - Teores de Nitrato – segundo semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.

Os demais poços tubulares, do 23 ao 53 que estão inseridos nas Tabelas 8, 9, 10 e 11 com exceção de 3 amostras que tiveram valores acima de 5,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, PTs 23 (Tabela 8 e 10) e 38 (Tabela 9), os demais poços apresentaram valores abaixo de 5,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, valores estes seguros em relação ao teor de nitrato. Os baixos valores de nitrato podem ter relação com densidade populacional dos bairros onde estão localizados esses poços, que é relativamente baixa, conforme Quadro 3, Tabela 2 e Figura 6 são esses os poços e bairros: Aeroporto, poços tubulares 18, 23 e 43, Betolândia, poços tubulares 26, 52, 53, 55 e 56, Campo Alegre, poços tubulares 34, 38, 39 e 41, Planalto, poço tubular 37, São José, poços tubulares 24, 40 e 58, Vila Três Maria, poços tubulares 42 e 50, José Geraldo da Cruz, poço tubular 31 e Monsenhor Murilo, poços tubulares 46 e 48.

Tabela 11 – Resultados Laboratoriais das Análises Químicas das amostras coletas no segundo semestre dos anos de 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019.

PONTOS DE COLETAS	POÇOS COM TEORES DE NITRATO ATÉ 5,0 mg DE NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L					
	nov/13	nov/14	out/15	out/16	nov/17	nov/18
<b>PT 31</b>	4,26	0,30	2,31	2,04	2,68	2,31
<b>PT 34</b>		0,08	0,05	0,00	0,09	0,12
<b>PT 37</b>	1,99	1,59	1,35	1,65	1,98	0,12

<b>PT 38</b>	2,32		0,45	0,33	0,59	0,67
<b>PT 39</b>	0,78		0,45	0,32	2,58	2,68
<b>PT 40</b>	3,16	2,64	2,20	2,38	3,25	2,84
<b>PT 41</b>			0,40	0,28	2,22	2,54
<b>PT 42</b>		0,41	0,20		0,31	0,41
<b>PT 43</b>	1,52	1,44	1,30	1,45	1,33	1,71
<b>PT 45</b>				2,34	2,59	3,06
<b>PT 46</b>						1,21
<b>PT 47</b>			0,00	0,00	0,13	0,00
<b>PT 48</b>				1,20	0,41	1,24
<b>PT 50</b>					1,02	0,96
<b>PT 52</b>					0,07	3,48
<b>PT 53</b>					0,20	1,33
<b>PT 55</b>					0,93	
<b>PT 56</b>					0,98	
<b>PT 58</b>					1,71	

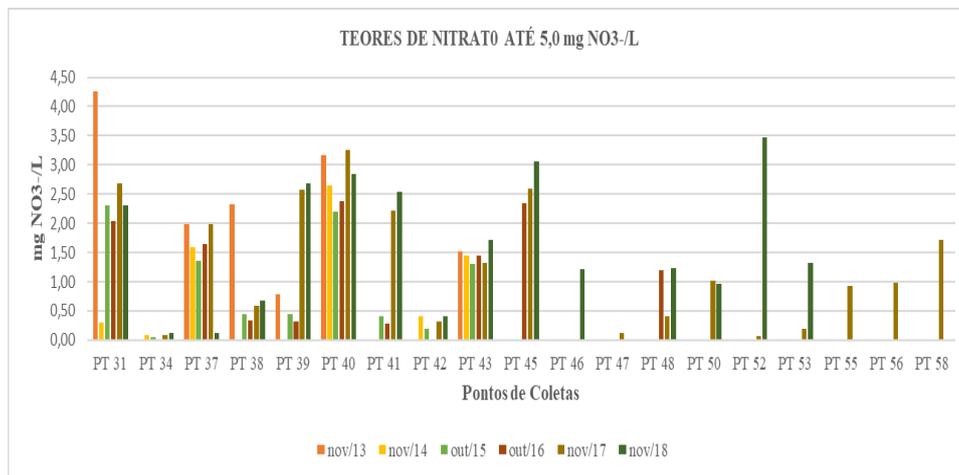


Gráfico 9 - Teores de Nitrato – segundo semestre dos anos de 2013, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019.

De acordo com o Quadro 3 em alguns poços tubulares que abastecem Juazeiro foram encontradas fontes pontuais de poluição (PTs 28, 30, 35 e 36) e em outros poços fontes lineares de poluição (PTs 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 27). Para as fontes pontuais de poluição dos poços 28, 30 e 35 os mesmos ficam localizados em bairros populosos, com parte do esgotamento sanitário funcionando precariamente. Para o PT 35 o mesmo fica localizado em um bairro sem esgotamento sanitário e muito próximo a dois cemitérios. Para as fontes lineares de poluição dos poços 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 27, todos os poços estão localizados às margens ou muito próximo ao Riacho dos Macacos que recebem um aporte grande de esgoto doméstico e muito lixo, parte dos bairros não dispõem de esgotamento sanitário e a densidade populacional desses bairros é grande. Todos os

poços que têm as maiores fontes lineares de poluição, são os poços que apresentam maiores teores de nitrato, são eles: PTs 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 27, de acordo com as Tabelas 4 e 5, todos eles ficam às margens ou próximo ao Riacho dos Macacos. Os poços que têm fontes de poluição pontuais, são eles: PTs 28, 30, 35 e 36, apresentam teores de nitrato moderado, conforme Tabelas 6 e 7. Os demais poços tubulares 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 29, 31, 34, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 50, 52, 53, 55, 56 e 58 que têm poucas fontes de poluição, apresentam teores de nitrato baixo, conforme tabelas 8, 9, 10 e 11.

A figura 8 mostra os poços tubulares que abastecem Juazeiro do Norte conforme os seus teores de nitrato.

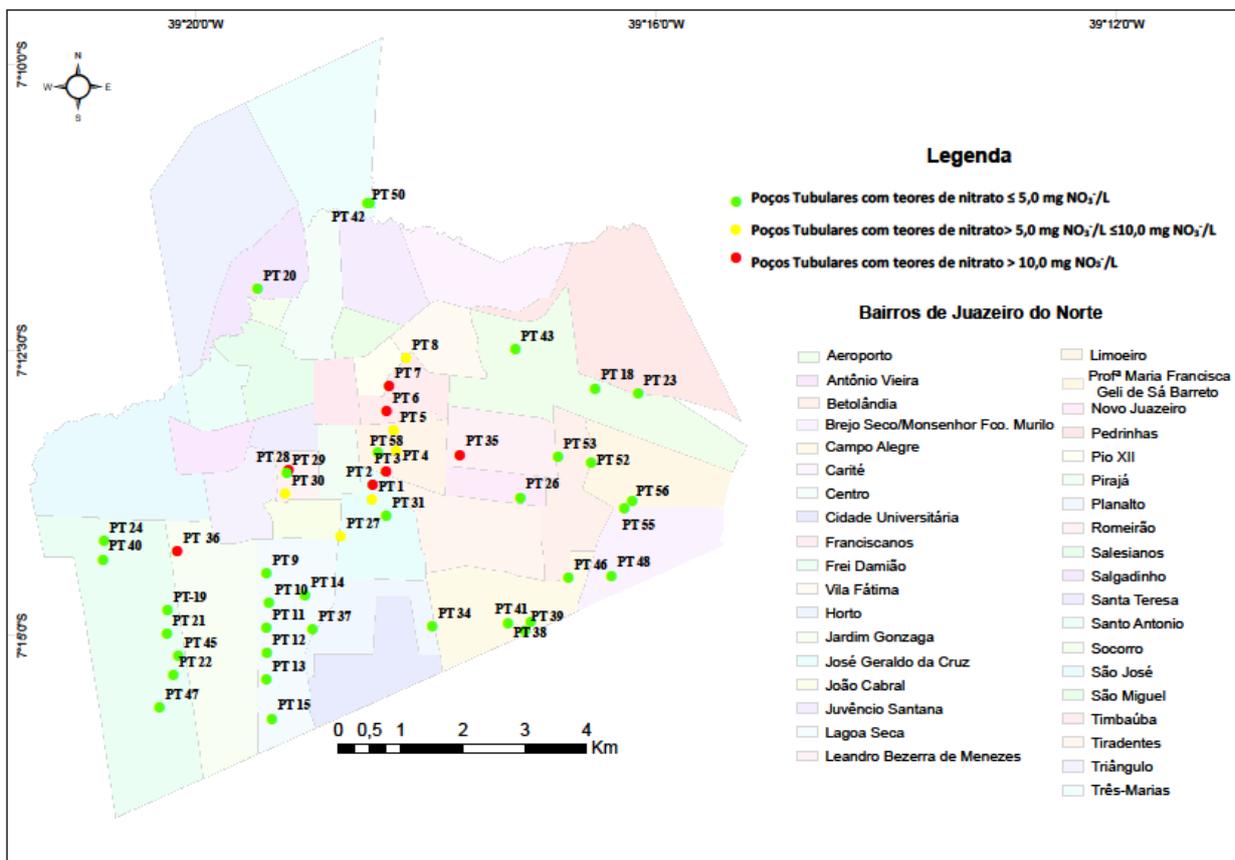


Figura 8 – Mapa - Poços Tubulares e teores de Nitrato. Fonte: O autor (2020).

No Gráfico 10 observa-se que a concentração de nitrato é superior a  $10,0 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$  em sete poços (15,0%), a maioria localizada às margens do riacho dos Macacos que recebe um volume grande de esgotos domésticos. Em outros seis poços (12,0%), os teores de nitrato resultaram acima de  $5,0 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$  até  $10,0 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$ . A maioria desses poços também está às margens ou próxima ao riacho dos Macacos e nos demais trinta e sete poços (73,0%) as concentrações apresentaram-se iguais ou inferior a  $5,0 \text{ mg NO}_3^-/\text{L}$ .

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, poços esses mais distantes da área central da cidade, localizados mais próximos das extremidades do município.

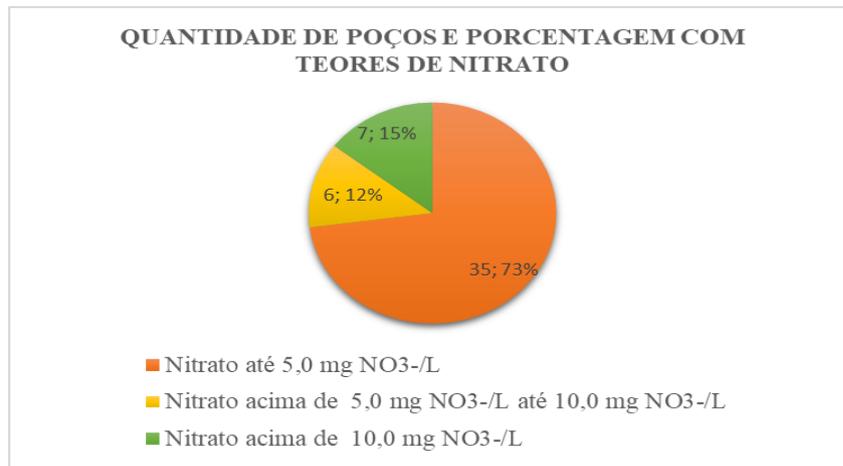


Gráfico 10 – Quantidade de poços tubulares e suas porcentagens em relação aos teores de Nitrato. Fonte: O autor, (2019).

Um dos aspectos mais preocupantes, nas amostras analisadas neste estudo, foi o elevado percentual de amostras com nitrato acima de 10 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L (VMP), sendo que ele é o produto final da estabilização aeróbia do nitrogênio orgânico, indicando contaminação antiga (Tabelas 4, 5 e alguns valores das Tabelas 6 e 7). Nesses casos, torna-se importante detectar e diferenciar as quatro espécies nitrogenadas, para se avaliar corretamente a qualidade da água, principalmente porque o nitrito, o nitrogênio amoniacal e o nitrogênio albuminoide, são indicadores de contaminação do aquífero e de possíveis condições higiênico-sanitárias insatisfatórias (ALMASRI, 2007; APHA, 2005).

## 7 CONCLUSÕES

Avaliamos os resultados apresentados como um alerta para a necessidade urgente da ampliação e implantação de um sistema de esgotamento sanitário para garantir uma oferta de água com qualidade para a população Juazeirense.

Sete poços tubulares, são eles PTs 2, 3, 6, 7, 28, 35 e 36 localizados na área central urbana do município de Juazeiro do Norte, às margens e próximo ao riacho dos Macacos, poços tubulares no bairro João Cabral, Real Ville - Mutirão e Timbaúba apresentam altas concentrações de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) na água subterrânea. Esses valores encontram-se acima dos limites de potabilidade estabelecidos pela PRC 05/2017, anexo XX do Ministério da Saúde, portanto, o recurso destes locais sem diluição com outros

poços que apresentem ausência ou valores baixos é considerado impróprio para o abastecimento público.

Os altos teores de nitrato, que em alguns locais atingem valores de 23,46mg/L, estão restritos à zona central da área urbana, a qual é considerada área antiga da cidade, onde se tem ainda o uso de fossas sépticas, esgoto a céu aberto vindo de vários bairros pelas galerias de águas de chuvas, lixos acumulados e jogados às margens do riacho dos Macacos. Além de todas essas fontes de contaminação, outra provável fonte de contaminação por nitrato são os vazamentos nas tubulações de esgoto. O nitrato, ao atingir o solo, se infiltra até o nível freático e se concentra no aquífero superficial. Entre o aquífero superficial e o profundo foi constatada a presença de camada argilosa que impede a infiltração do contaminante. Porém, uma elevada quantidade de poços perfurados sem critérios técnicos e, principalmente, sem as condições de proteção sanitária adequada, conforme prescrito em normas, deve ter atravessado a camada argilosa; esses poços tornaram-se os caminhos preferenciais para a percolação do nitrato até as partes mais profundas do aquífero.

Mais outros seis poços tubulares, são eles PTs 1, 4, 5, 8, 27 e 30 localizados também na área central urbana do município de Juazeiro do Norte, às margens e próximo ao riacho dos Macacos e no bairro João Cabral, apresentam também em alguns períodos altas concentrações de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), ou sejam, valores acima de 10,0 mg/L e os demais valores entre 5,0 mg/L e 10,0 mg/L que já indicam contaminações, servindo de alerta.

Os demais poços, ou seja, os trinta cinco que apresentaram teores de nitrato até 5,0 mg  $\text{NO}_3^-$ , são eles: 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 29, 31, 34, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 50, 52, 53, 55, 56 e 57 não apresentam riscos à saúde da população, estão inseridos nas áreas mais afastadas do centro urbano, com densidade populacional baixa ou com disponibilidade do sistema de esgotamento sanitário.

Todos os poços tubulares que ficam às margens ou próximo ao riacho dos macacos, são esses (PTs 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 que apresentam teores de nitrato acima de 10,0 mg  $\text{NO}_3^-$  ou acima de 5,0 mg  $\text{NO}_3^-$  até 10,0 mg  $\text{NO}_3^-$  são diluídos com uma outra bateria de poços tubulares que apresentam teores de nitrato abaixo de 5,0 mg  $\text{NO}_3^-$ , são os poços da Lagoa Seca (PT's 9, 10, 11, 12, 13 e 14), diluindo assim o teor de nitrato e

ficando dentro dos limites estabelecido pela legislação vigente para abastecimento humano.

O Poço Tubular 27 que apresenta teores elevado de nitrato também se mistura com os PTs 34, 39, e 41, que apresentam teores de nitrato abaixo de 5,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, diluindo assim o teor de nitrato e ficando dentro dos limites estabelecido pela legislação vigente para abastecimento humano. O PT 35 que apresenta teores elevado de nitrato também se mistura com a água dos PTs 34, 39, e 41, diluindo assim o teor de nitrato e ficando dentro dos limites estabelecido pela legislação vigente para abastecimento humano. O PT 36 que apresenta teores elevado de nitrato também se mistura com a água dos PTs 09 e baterias dos poços da Timbaúba e Lagoa Seca, diluindo assim o teor de nitrato e ficando dentro dos limites estabelecido pela legislação vigente para abastecimento humano. Toda a água tratada que abastece Juazeiro do Norte apresenta teores de nitrato abaixo do estabelecido pela legislação vigente, sendo assim, própria para o consumo humano.

Diante das concentrações de nitrato encontradas na água subterrânea dos poços que abastecem a cidade de Juazeiro do Norte, sugere-se que sejam feitas amostragens periódicas, em todos os poços públicos, para o monitoramento do nitrato. A CAGECE deve ficar atenta com a manutenção dos pontos de vazamentos das redes de esgotos, a proteção e a manutenção de suas áreas de captações, além de atuar nas campanhas educativas à população, conscientizando-as em relação a interligação ao sistema de esgotamento sanitário, tendo em vistas que se tem 14.629 ligações disponíveis, conforme Tabela 3 buscar recursos financeiros junto ao governo estadual e instituições privada para universalizar a água e o esgotamento sanitário no município, tentando dessa maneira interromper as fontes da contaminação do nitrato. Medidas imediatas devem ser tomadas para cessar a percolação de águas contaminadas para o aquífero, sendo a principal delas o tamponamento de poços particulares construídos sem critérios técnicos. Não é recomendado autorizar a perfuração de novos poços tubulares profundos nas zonas críticas, ou seja, nas áreas onde foram encontrados poços com concentrações de nitrato acima de 10,0 mg/L.

Os resultados obtidos neste estudo demonstram falhas nas práticas de uso da água e ressalta a importância da conscientização dos consumidores, relativo aos riscos com a saúde ambiental, bem como a necessidade de promoção de políticas públicas que garantam acesso generalizado à água adequada ao consumo humano. Concluindo-se

que, se o risco não for eliminado, com certa antecedência, poderá haver a perda completa do manancial e, conforme o caso, dos mananciais vizinhos também. Assim, salienta-se a importância e a necessidade de um monitoramento contínuo físico-químico, principalmente relacionados ao parâmetro Nitrato das fontes de água subterrânea na cidade de Juazeiro do Norte – CE.

Grandes são os volumes de efluentes domésticos lançados a céu aberto e através das fossas e sumidouros na região, os níveis de contaminação antrópica em alguns poços são altos, em outros poços mediano e em uma parcela maior os níveis são baixos e de um modo geral ocorrem pela contaminação por nitrato. Logo, as águas subterrâneas estudadas de alguns poços estão impróprias para consumo humano. Considerando que o aquífero possui uma condição de semiconfinamento, a contaminação das águas subterrâneas da área pode ser causada possivelmente por problemas da falta de saneamento.

Tal fato pode ser explicado pela característica semiconfinada do aquífero, marcada pela ocorrência de argila nas camadas superiores que compõe os perfis de alguns poços. As características hidrodinâmicas do aquífero também podem contribuir na diluição dos contaminantes visto que se trata de um aquífero com grande disponibilidade hídrica.

É preciso verificar se há necessidade do bombeamento dos poços ser durante 24 horas, tendo em vista que estes poderão no futuro captar água dos rios que cortam a área de estudo, onde o grau de poluição é acentuado.

Um outro aspecto, que deve ser considerado, é que a área já se encontra na sua grande parte pavimentada e impermeabilizada, reduzindo, assim, a taxa de recarga natural dos aquíferos e, conseqüentemente, afetando o fluxo subterrâneo e influenciando, também, no processo de diluição dos contaminantes. Recomenda-se um estudo para se analisar os tipos e graus de contaminantes no aquífero estudado.

Dessa forma, as análises físico-químicas permitem a avaliação da potabilidade da água, a partir da comparação com os padrões aceitáveis de acordo com a portaria vigente. Isto reforça a necessidade de monitoramento destas águas e a necessidade de criação de mecanismos de controle.

Por fim, vale ressaltar que a região possui alto potencial para águas subterrâneas e que, portanto, se faz necessária a implantação de um projeto de saneamento básico, bem como a intensificação no controle e fiscalização de poços

---

existentes na região, com aplicação de medidas protetivas e análises químicas e bacteriológicas periódicas.

## 8 REFERÊNCIAS

ABRAMOVICH, B.; CARRERA, E.; LURÁ, M.C.; HAYE, M.A. Cryptosporidium y agua: estudio de una asociación riesgosa. Ingeniería Sanitaria y Ambiental, n.36. 1998.p.30-34.

ALABURDA, J.E.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. Revista de Saúde Pública, n.32,v.2. 1998. p.160-165.

ALMASRI, M. N. Nitrate contamination of groundwater: A conceptual management framework. Environmental Impact Assessment Review, v. 27, 2007. p. 220242.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. Washington: APHA, 2005.

BIGUELINI, C. P.; GUMY, M. P. Saúde Ambiental: Índices de Nitrato em Águas Subterrâneas de Poços Profundos na Região Sudoeste do Paraná. Revista Faz Ciência. v. 14, n. 20, p. 153-175, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação PRC n. 05/2017, anexo XX. Dispõe sobre os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de águas e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará, Relatórios do PRAX e Laudos da Qualidade da Água, 2019.

CAVINATTO, V. M. Saneamento básico: fonte de saúde e bem-estar. São Paulo: Ed. Moderna, 1992.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. Plano Estadual de Recursos Hídricos: Atlas. Fortaleza, 1992, 4v, v.1.

CEARÁ. Perfil Básico municipal 2011 – Juazeiro do Norte, CE. IPECE: 2011, 18 p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo – 1997. São Paulo: CETESB, 1998. 106 p. (Série Relatórios).

Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE, PRAX, COA e Gestão Laboratorial, 2019.

DENT, B. B., FORBES, S.L., STUART, B.H. Review of human decomposition processes in soil. *Environmental Geology*, v. 45, p 576-585, 2004.

Distância entre Juazeiro do Norte/CE e Fortaleza/CE». Google Maps. Consultado em 24 de maio de 2014.

ENSIE, B; SAMAD, S. Removal of nitrate from drinking water using nano SiO<sub>2</sub>-FeOOH-Fe core-shell. *Desalination* v. 347, p.1-9, 2014.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

Fisher, G, & Croucamp, L. 1993. Groundwater contamination and its consequences resulting from the indiscriminate placing of cemeteries in third world context, vol. 1. Africa needs Groundwater Convention, Johannesburg.

FOSTER, S.; GOMES, D. C. Monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas: una evaluación de métodos e costos. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente – CEPIS, 1989. 111 p.

FOSTER, S & HIRATA, C. A. R. Determinação do risco de contaminação das águas subterráneas: Um método baseado em dados existentes. Tradução de Ricardo Hirata, Sueli Yoshinaga, Seiju Hassuda, Mara Iratini. São Paulo: Instituto Geológico. 1993. 90p. Il. (Boletim, 10).

FRANCA, R. M.; FRISCHKORN, H.; SANTOS, M. R. P.; MENDONÇA, L. A. R.; BESERRA, M. C. Contaminação de poços tubulares em Juazeiro do Norte – CE. *Revista Engenharia Sanitária*, v. 11, n. 1, p. 92-102, 2006.

FREEZE, A.R.; CHERRY, J.A. 1979. *Groundwater*. Prentice Hall, New Jersey, 604 p.

HIRATA, R.; FOSTER, S.; OLIVEIRA, F. 2015. Águas subterráneas urbanas no Brasil: avaliação para uma gestão sustentável. Instituto de Geociências/USP e FAPESP, São Paulo, v. 1, 1a ed., 112 p.

IBGE – CENSO DEMOGRÁFICO 2010. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 21 de outubro de 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Censo Demográfico 2010*. [acessado 2012 Jan 13]. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).

KEMERICH, P. D. da C., FILHO, L. L. V. D., UCKER, F. E., CORREIO, V. F. Influência dos cemitérios na contaminação da água subterrânea em Santa Maria-RS. *Águas Subterrâneas*, v. 24, n.1,p 129-141,2010.

LEAL, F. C. T. Juiz de Fora. 2008. Sistemas de saneamento ambiental. Faculdade de Engenharia da UFJF. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Curso de Especialização em análise Ambiental. 4 ed. 2008. Notas de Aula.

MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M. F.; MENDES FILHO, J. Isotope measurements and ground water flow modeling using MODFLOW for understanding environmental changes caused by a well field in semiarid Brazil. *Environmental Geology*, v. 47, n. 8, p. 1045-1053, 2005.

MIGLIORINI, R.B. Cemitérios contaminam o meio ambiente: Um estudo de caso. Universitária. Cuiabá. 2002.

MORGHI, et. al . Removal of nitrate ions from aqueous solution using chitin as Natural., 2015.

MONT'ALVERNE, A. A. F.; PONTE, F. C.; DANTAS, J. R. A.; LOPES, C. F.; MELO JÚNIOR, A. H.; PONTE, J. S. A.; FILGUEIRA, J. B. M.; SOUZA, S do R.; SILVA, E. C. C. da. Projeto avaliação hidrogeológica da bacia sedimentar do Araripe. Fase I. Recife: DNPM, 1996. 101 p. il.

NBR 7229, Condições exigíveis para projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos, incluindo tratamento e disposição de efluentes e lodo sedimentado, ABNT, 1993.

NOGUEIRA, C. de O. G., JÚNIOR, J. E. V. C., COIMBRA, L. A. B. Cemitérios e seus impactos socioambientais no Brasil. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 9, n. 11, 2013.

OLLA, T.; AYOKUNLE, A.; AKINLALU, A.; GBENGA, M.; ADEBOWALE, O.; ADELUSI, K.; ADIAT, A. 2015. Geophysical and Hydrochemical Investigation of a Municipal Dumpsite in Ibadan, Southwest Nigeria. *Journal of Environment and Earth Science*, 5(14): 200-215.

ONU – Organizações da Nações Unidas. Relatório “The Invisible and Endangered Resource”. New York, 2001.

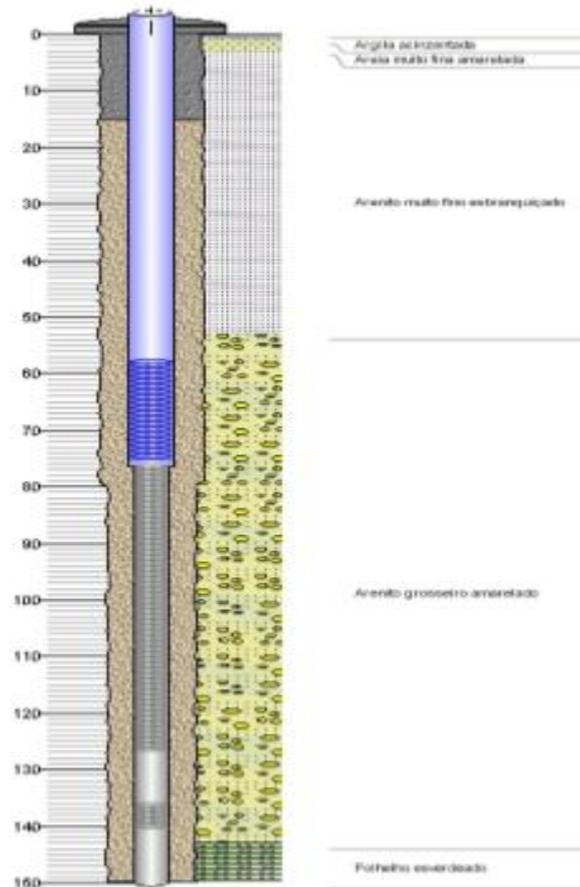
ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. *Nitratos, nitritos and N-nitroso compounds*. Geneva, 1978.

- PACHECO A. 2000. Cemitério e Meio Ambiente. 120p. Tese de Livre Docência - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo.
- SANTOS, H. R. Lixiviação de nitrato em colunas de solo com diferentes densidades aparentes e fontes de efluente líquido de tratamento de esgoto doméstico. Minas Gerais, 2011. 62 p. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal no semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal.
- SANTIAGO, M. F.; SILVA, C. M. S. V.; MENDES FILHO, J.; FRISCHKORN, H. Characterization of groundwater in the Cariri (Ceará, Brazil) by environmental isotopes and electric conductivity. Radiocarbon, v. 39, n. 1, p. 49-59, 1997.
- SCHAFFRAN, G. C, DRISCOLL, C. T. Groundwater inputs of inorganic nitrogen to an acidic lake. In: American Water Resources Association Symposium: Monitoring, Modeling and Mediating Water Quality. Anais... Syracuse, NY, 1987.
- SHRIMALI, M. ; SING H K . P . New methods of nitrat e removal from water. Environmental Pollution, v. 11 2, p.351 359, 2001.
- SIDHARDHAN, S.; ADISHKUMAR, S.; JAYGANESH, D. 2015. A Geophysical Investigation of Resistivity and Groundwater Quality near a Corporate Solid Waste Dump. Polish Journal Environmental Studies, 24(6): 2761-2766.
- SOUPIOS, P.; PAPADOPOULOS, N.; PAPADOPOULOS, I.; MANIOS, T. 2007. Application of Integrated Methods in Mapping Waste Disposal Areas. Environmental Geology, 53(3): 522-531.
- VERÍSSIMO, L. S. A importâncias das águas subterrâneas para o desenvolvimento sócioeconômico do eixo CRAJUBAR, Cariri Ocidental – Ceará. 1999. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências, Departamento de Geologia, UFC.
- ZYCHOWSI, J. Impact of cemeteries on groundwater chemistry: A review. Catena, v. 93, p. 29-37, 2012.

**9 APÊNDICE A**

**PERFIL LITOLÓGICOS DOS POÇOS QUE APRESENTAM TEORES DE NITRATO ACIMA DE 10,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

**PT 2**

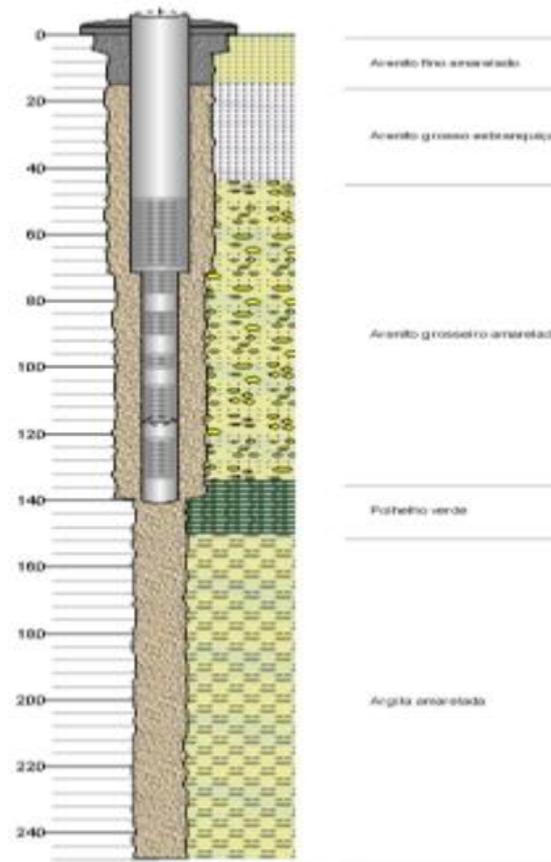


Quadro 4 – Dados litológicos PT 2

DADOS LITOLÓGICOS		
De (metros)	Até (metros)	Descrição Litológica
0,00	1,00	Argila acinzentada
1,00	3,00	Areia muito fina amarelada
3,00	53,00	Arenito muito fino esbranquiçado
53,00	143	Arenito grosseiro amarelado
143,00	150,00	Folhelho esverdeado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

**PT 3**

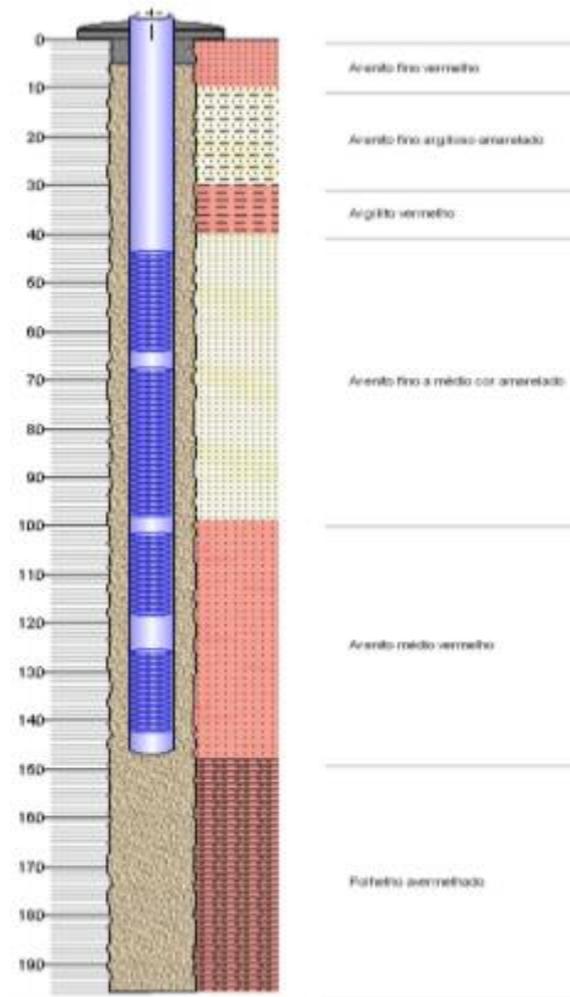


Quadro 5 – Dados litológicos PT 3

<b>DADOS LITOLÓGICOS</b>		
<b>De (metros)</b>	<b>Até (metros)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0,00	15,00	Arenito fino amarelado
15,00	44,00	Arenito grosso esbranquiçado
44,00	134,00	Arenito grosseiro amarelado
134,00	150,00	Folhelho verde
150,00	248,00	Argila amarelada

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

**PT 6**

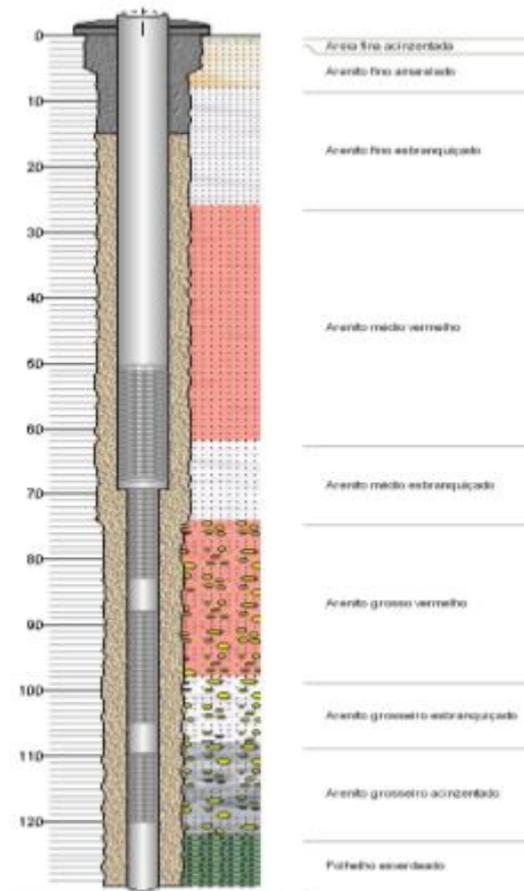


Quadro 6 – Dados litológicos PT 6

<b>DADOS LITOLÓGICOS</b>		
<b>De (metros)</b>	<b>Até (metros)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0,00	10,00	Arenito fino vermelho
10,00	30,00	Arenito fino argiloso amarelado
30,00	40,00	Argilito vermelho
40,00	99,00	Arenito fino a médio cor amarelado
99,00	148,00	Arenito médio vermelho
148,00	196,00	Folhelho avermelhado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

**PT 7**

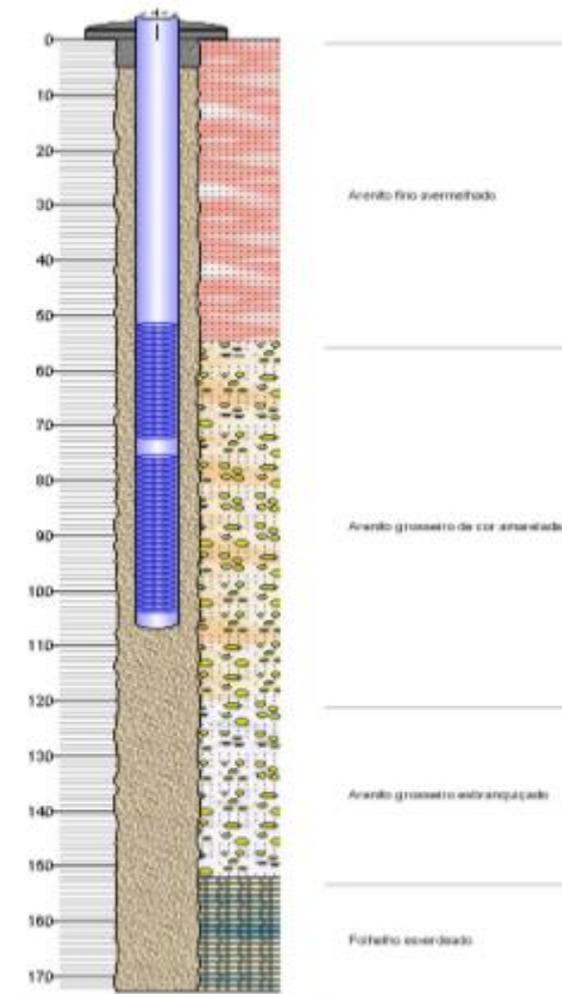


Quadro 7 – Dados litológicos PT 7

<b>DADOS LITOLÓGICOS</b>		
<b>De (metros)</b>	<b>Até (metros)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0,00	1,00	Areia fina acinzentada
1,00	8,00	Arenito fino amarelado
8,0	26,0	Arenito fino esbranquiçado
26,00	62,00	Arenito médio vermelho
62,00	74,00	Arenito médio esbranquiçado
74,00	98,00	Arenito grosso vermelho
98,00	108,00	Arenito grosseiro esbranquiçado
108,00	122,00	Arenito grosseiro acinzentado
122,00	130,00	Folhelho esverdeado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

**PT 28**

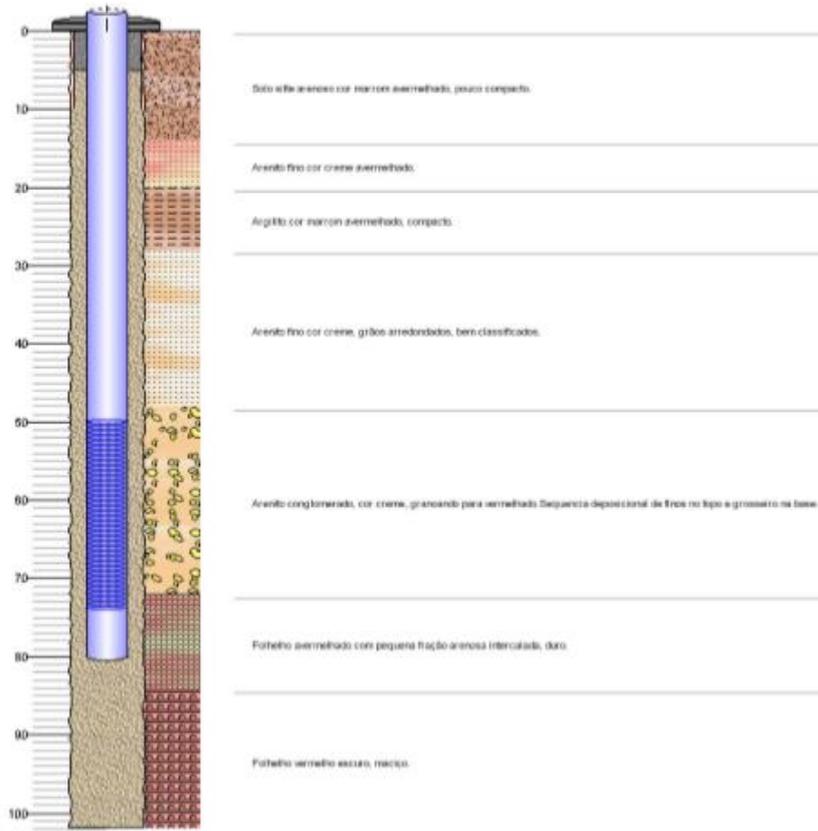


Quadro 8 – Dados litológicos PT 28

<b>DADOS LITOLÓGICOS</b>		
<b>De (metros)</b>	<b>Até (metros)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0,00	55,00	Arenito fino avermelhado
55,00	120,00	Arenito grosseira de cor amarelada
120,00	152,00	Arenito grosseiro esbranquiçado
152,00	173,00	Folhelho esverdeado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

**PT 35**



Quadro 9 – Dados litológicos PT 35

<b>DADOS LITOLÓGICOS</b>		
<b>De (metros)</b>	<b>Até (metros)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0,00	14,00	Solo silte arenoso cor marrom avermelhado.
14,00	20,00	Arenito fino cor creme avermelhado.
20,00	28,00	Argila cor marrom avermelhado compacto.
28,00	48,00	Arenito fino cor creme, grãos arredondados, bem classificados.
48,00	72,00	Arenito conglomerado, cor creme, granulado para avermelhado sequência deposicional de finos no topo e grosseiro na base.
72,00	84,00	Folhelho avermelhado com pequena fração arenosa intercalada duro.
84,00	102,00	Folhelho vermelho escuro, macio.

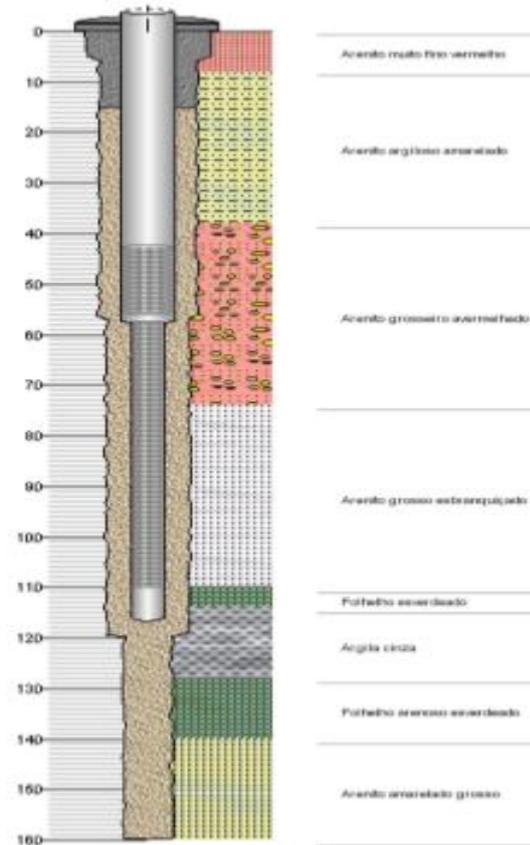
Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

**PT 36**

Sem disposição do perfil litológico.

## PERFIL LITOLÓGICOS DOS POÇOS QUE APRESENTAM TEORES DE NITRATO ACIMA 5,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ATÉ 10,0 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

PT 1

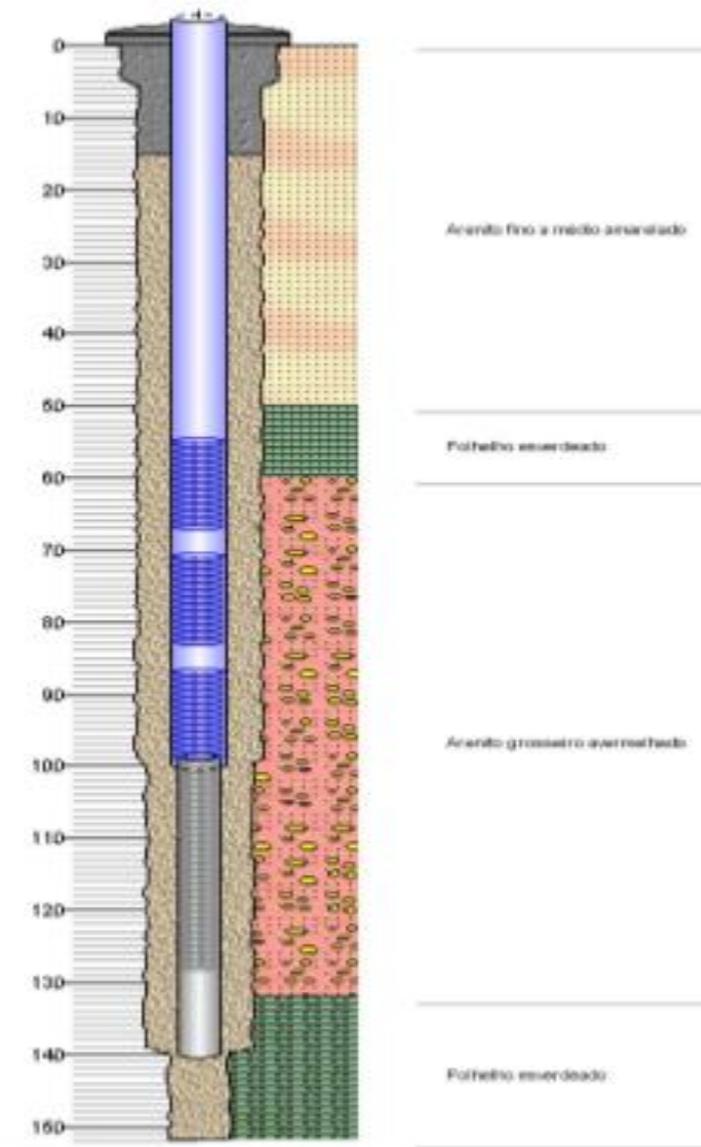


Quadro 10 – Dados litológicos PT 1

<b>DADOS LITOLÓGICOS</b>		
<b>De (metros)</b>	<b>Até (metros)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0,00	8,00	Arenito muito fino vermelho
8,00	38,00	Arenito argiloso amarelado
38,00	74,00	Arenito grosseiro avermelhado
74,00	110,00	Arenito grosso esbranquiçado
110,00	114,00	Folhelho esverdeado
114,00	128,00	Argila cinza
128,00	140,00	Folhelho arenoso esverdeado
140,00	160,00	Arenito amarelado grosso

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

**PT 4**

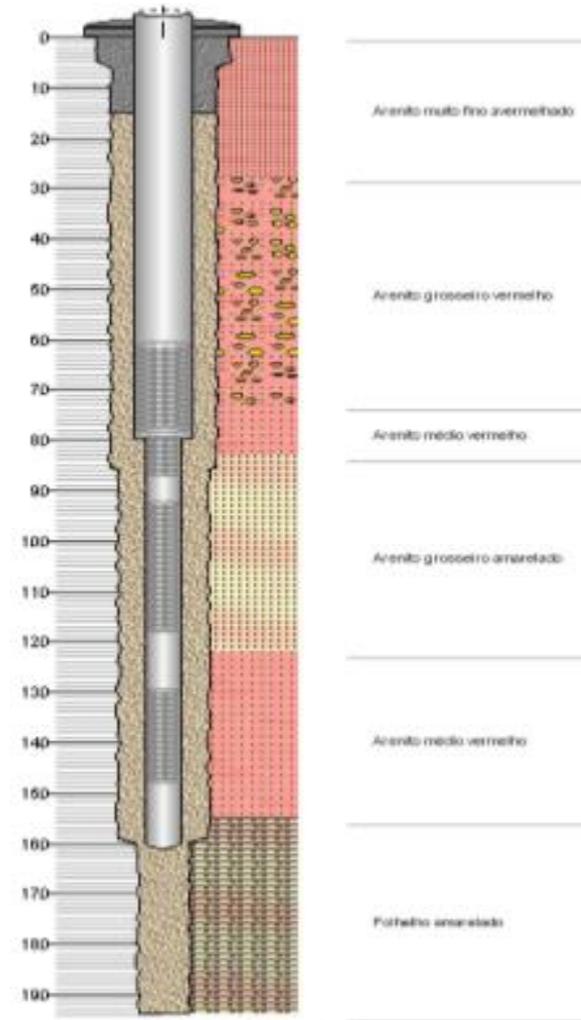


Quadro 11 – Dados litológicos PT 4

<b>DADOS LITOLÓGICOS</b>		
<b>De (metros)</b>	<b>Até (metros)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0,00	50,00	Arenito fino a médio amarelado
50,00	60,00	Folhelho esverdeado
60,00	132,00	Arenito grosseiro avermelhado
132,00	152,00	Folhelho esverdeado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

**PT 5**

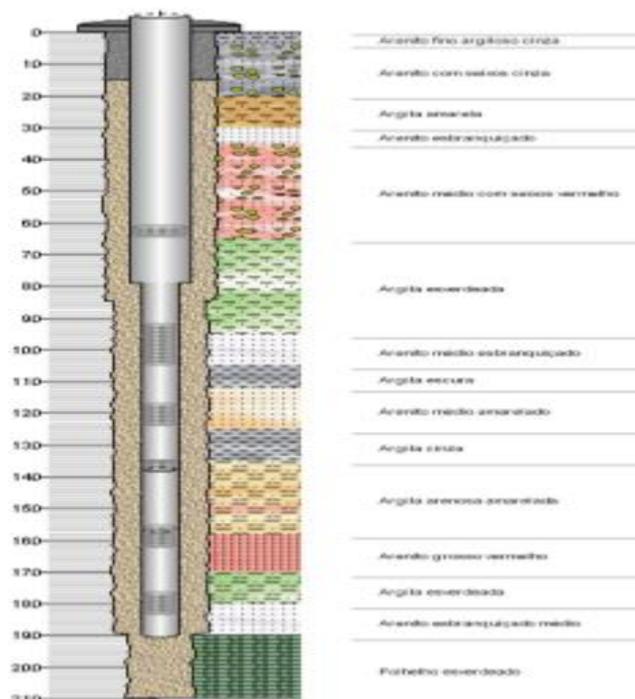


Quadro 12 – Dados litológicos PT 5

<b>DADOS LITOLÓGICOS</b>		
<b>De (metros)</b>	<b>Até (metros)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0,00	28,00	Arenito muito fino avermelhado
28,00	73,00	Arenito grosseiro vermelho
73,00	83,00	Arenito médio vermelho
83,00	122,0	Arenito grosseiro amarelado
122,00	155,00	Arenito médio vermelho
155,00	194,00	Folhelho amarelado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

PT 8

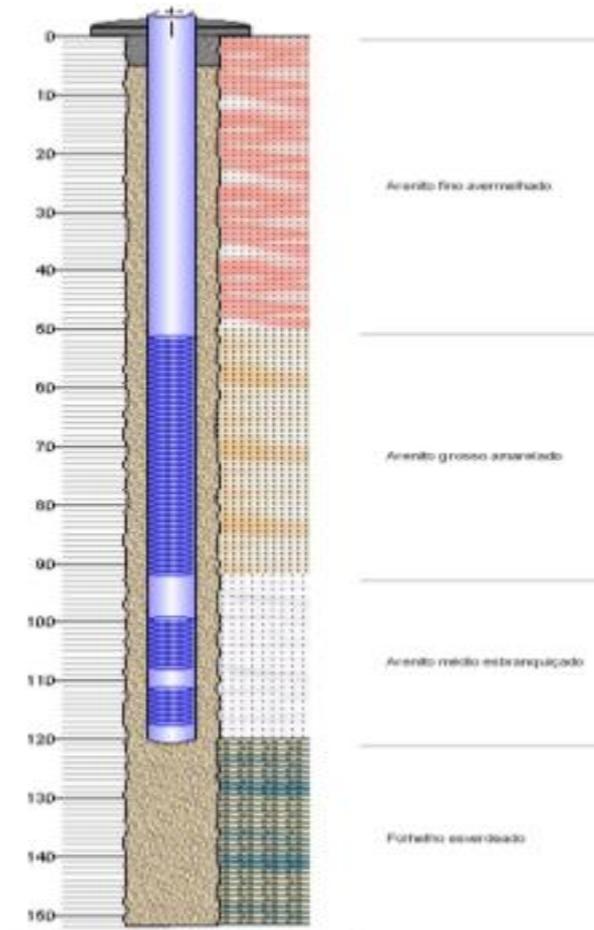


Quadro 13 – Dados litológicos PT 8

DADOS LITOLÓGICOS		
De (metros)	Até (metros)	Descrição Litológica
0,00	4,00	Arenito fino argiloso cinza
4,00	20,00	Arenito com seixos cinza
20,00	30,00	Argila amarela
30,00	35,00	Arenito esbranquiçado
35,00	65,00	Arenito médio com seixos vermelho
65,00	95,00	Argila esverdeada
95,00	105,00	Arenito médio esbranquiçado
105,00	112,00	Argila escura
112,00	125,00	Arenito médio amarelado
125,00	135,00	Argila cinza
135,00	158,00	Argila arenosa amarelada
158,00	170,00	Arenito grosso vermelho
170,00	180,00	Argila esverdeada
180,00	190,00	Arenito esbranquiçado médio
190,00	210,00	Folhelho esverdeado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

**PT 27**

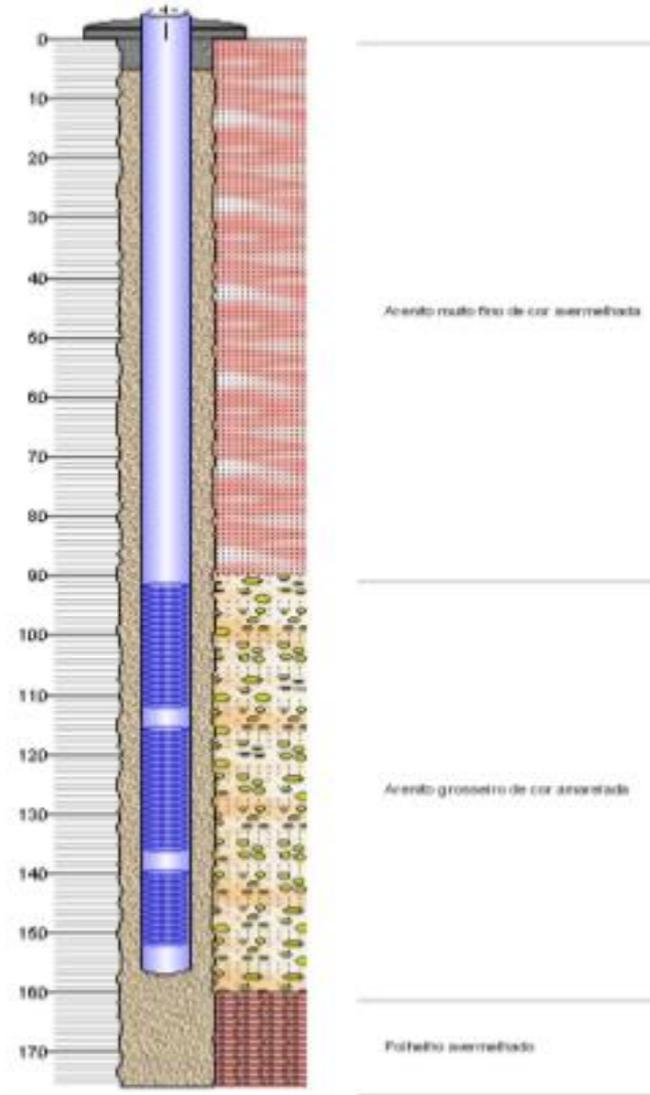


Quadro 14 – Dados litológicos PT 27

<b>DADOS LITOLÓGICOS</b>		
<b>De (metros)</b>	<b>Até (metros)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0,00	50,00	Arenito fino avermelhado
50,00	92,00	Arenito grosso amarelado
92,00	120,00	Arenito médio esbranquiçado
120,00	152,00	Folhelho esverdeado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

**PT 30**



Quadro 12 – Dados litológicos PT 30

<b>DADOS LITOLÓGICOS</b>		
<b>De (metros)</b>	<b>Até (metros)</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0,00	90,00	Arenito muito fino de cor avermelhada
90,00	160,00	Arenito grosseiro de cor amarelada
160,00	176,00	Folhelho avermelhado

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

## 11 ANEXO A

A localização geográfica (Latitude S e Longitude W) dos 48 poços tubulares analisados, bem como algumas de suas características descritivas, podem ser verificadas na tabela 12. Todos os poços exploram o aquífero semi-confinado Rio da Batateira, com profundidades entre 80 e 248 m.

Tabela 12 - Informações dos poços tubulares estudados:

<b>Descrição</b>	<b>Coordenadas Geográficas</b>	<b>Profundidade do Poço (m)</b>	<b>Crivo da bomba</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Início de Operação</b>
PT 01	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'49''; Longitude – 39 <sup>o</sup> 18' 27''	160,0 m	46,0 m	100,0m <sup>3</sup> /h	1976
PT 02	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'41''; Longitude – 39 <sup>o</sup> 18' 28''	150,0 m	60,0 m	100,0m <sup>3</sup> /h	1976
PT 03	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'33''; Longitude – 39 <sup>o</sup> 18'02''	248,0 m	55,0 m	150,0m <sup>3</sup> /h	1976
PT 04	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'24''; Longitude – 39 <sup>o</sup> 18' 01''	152,0 m	60,0 m	150,0m <sup>3</sup> /h	1976
PT 05	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'12''; Longitude – 39 <sup>o</sup> 18' 17''	194,0m	57,0m	150,0m <sup>3</sup> /h	1976
PT 06	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'02''; Longitude – 39 <sup>o</sup> 18' 21''	196,0 m	63,0 m	90,0m <sup>3</sup> /h	1976
PT 07	Latitude – 07 <sup>o</sup> 12'48''; Longitude – 39 <sup>o</sup> 18' 19''	130,0 m	57,0 m	150,0m <sup>3</sup> /h	1976
PT 08	Latitude – 07 <sup>o</sup> 12'36'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 18' 09''	210 m	60,0 m	60,0m <sup>3</sup> /h	1985
PT 09	Latitude – 07 <sup>o</sup> 12'27'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 19' 24''	227,0 m	66,0 m	100,0m <sup>3</sup> /h	1985
PT 10	Latitude – 07 <sup>o</sup> 14'43'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 19'22''	116,0 m	45,0 m	100,0m <sup>3</sup> /h	1990
PT 11	Latitude – 07 <sup>o</sup> 14'55'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 19'22''	141,0 m	63,0 m	100,0m <sup>3</sup> /h	1985
PT 12	Latitude – 07 <sup>o</sup> 15'09'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 19'23''	132,0 m	54,0 m	150,0m <sup>3</sup> /h	1985

PT 13	Latitude – 07 <sup>o</sup> 15'22'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 19'22''	119,0 m	54,0 m	150,0m <sup>3</sup> /h	1985
PT 14	Latitude – 07 <sup>o</sup> 14'39'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 19'03''	154,0 m	48,0 m	236,0m <sup>3</sup> /h	2004 (Teste de bombeamento)
PT 15	Latitude – 07 <sup>o</sup> 15'43'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 19'02''	140,0 m	60,0 m	90,0m <sup>3</sup> /h	1985
PT 18	Latitude – 07 <sup>o</sup> 12'49'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 16'32''	186,0 m	66,0 m	97,0m <sup>3</sup> /h	2003 (Teste de bombeamento)
PT 19	Latitude – 07 <sup>o</sup> 14'47'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 20'14''	160,0 m	66,0 m	60,0m <sup>3</sup> /h	2004 (Teste de bombeamento)
PT 20	Latitude – 07 <sup>o</sup> 11'57'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 19'28''	105,0 m	40,0 m	50,0m <sup>3</sup> /h	1996
PT 21	Latitude – 07 <sup>o</sup> 14'59'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 20'16''	96,0 m	66,0 m	40,0m <sup>3</sup> /h	1998
PT 22	Latitude – 07 <sup>o</sup> 15'21'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 20'13''	105,0 m	66,0 m	40,0m <sup>3</sup> /h	1999
PT 23	Latitude – 07 <sup>o</sup> 12'53'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 16'10''	166,0 m	66,0 m	90,0m <sup>3</sup> /h	2001
PT 24	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'47'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 20'48''	147,0 m	75,0 m	80,0m <sup>3</sup> /h	2001
PT 26	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'47'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 17'09''	135,0 m	36,0 m	90,0m <sup>3</sup> /h	2002
PT 27	Latitude – 07 <sup>o</sup> 14'06'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 18'47''	152,0 m	75,0 m	80,0m <sup>3</sup> /h	2003
PT 28	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'32'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 19'11''	173,0 m	84,0 m	20,0m <sup>3</sup> /h	2005
PT 29	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'33'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 19'12''	165,0 m	80,0 m	75,0m <sup>3</sup> /h	2005
PT 30	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'44'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 19'12''	176,0 m	75,0 m	80,0m <sup>3</sup> /h	2005
PT 31	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'56'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 18'20''	106,0 m	60,0 m	100,0m <sup>3</sup> /h	2015

PT 34	Latitude – 07°14'56'' Longitude – 39°17'57''	180,0 m	120,0 m	25,0m³/h	2007
PT 35	Latitude – 07°13'23'' Longitude – 39°17'41''	102,0 m	75,0 m	20,0m³/h	2007
PT 36	Latitude – 07°14'15'' Longitude – 39°20'09''	119,0 m	60,0 m	20,0m³/h	2007
PT 37	Latitude – 07°14'56'' Longitude – 39°18'59''	108,0 m	60,0 m	60,0m³/h	2007
PT 38	Latitude – 07°14'52'' Longitude – 39°17'16''	80,0 m	75,0 m	50,0m³/h	2007
PT 39	Latitude – 07°15'01'' Longitude – 39°17'07''	120,0 m	60,0 m	150,0m³/h	2009
PT 40	Latitude – 07°14'19'' Longitude – 39°20'47''	96,0 m	75,0 m	50,0m³/h	2009
PT 41	Latitude – 07°14'52'' Longitude – 39°17'04''	100,0 m	66,0 m	120,0m³/h	2009
PT 42	Latitude – 07°11'12'' Longitude – 39°18'29''	88,0 m	75,0 m	35,0m³/h	2009
PT 43	Latitude – 07°13'09'' Longitude – 39°16'38''	160,0 m	66,0 m	20,0m³/h	2009
PT 45	Latitude – 07°15'10'' Longitude – 39°20'08''	120,0 m	75,0 m	40,0m³/h	2011
PT 46	Latitude – 07°14'28'' Longitude – 39°16'44''	90,0 m	48,0 m	90,0m³/h	2011
PT 47	Latitude – 07°15'37'' Longitude – 39°20'18''	-	90,0 m	-	-
PT 48	-	110,0 m	75,0 m	35,0m³/h	2013
PT 50	Latitude – 07°10'57'' Longitude – 39°18'13''	118,0 m	40,0 m	70,0m³/h	2014
PT 52	Latitude – 07°13'29'' Longitude – 39°16'34''	-	60,0 m	-	-

PT 53	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'26'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 16'51''	-	36,0 m	-	-
PT 55	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'52'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 16'16''	-	60,0 m	-	-
PT 56	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'49'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 16'12''	-	60,0 m	-	-
PT 58	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'29'' Longitude – 39 <sup>o</sup> 20'15''	-	75,0 m	-	-

\* - Sem informações. Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE.

# **ANEXO A**

## ANEXO A

A localização geográfica (Latitude S e Longitude W) dos 48 poços tubulares analisados, bem como algumas de suas características descritivas, podem ser verificadas na Tabela 12. Todos os poços exploram o aquífero semi-confinado Rio da Batateira, com profundidades entre 80 e 248m.

**Tabela 11** - Informações dos poços tubulares estudados

Descrição	Coordenadas Geográficas	Profundidade do Poço (m)	Crivo da Bomba	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Início de Operação
PT 01	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'49"; Longitude – 39 <sup>o</sup> 18' 27"	160,0 m	46,0 m	100,0m <sup>3</sup> /h	1976
PT 02	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'41"; Longitude – 39 <sup>o</sup> 18' 28"	150,0 m	60,0 m	100,0m <sup>3</sup> /h	1976
PT 03	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'33"; Longitude – 39 <sup>o</sup> 18'02"	248,0 m	55,0 m	150,0m <sup>3</sup> /h	1976
PT 04	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'24"; Longitude – 39 <sup>o</sup> 18' 01"	152,0 m	60,0 m	150,0m <sup>3</sup> /h	1976
PT 05	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'12"; Longitude – 39 <sup>o</sup> 18' 17"	194,0m	57,0m	150,0m <sup>3</sup> /h	1976
PT 06	Latitude – 07 <sup>o</sup> 13'02"; Longitude – 39 <sup>o</sup> 18' 21"	196,0 m	63,0 m	90,0m <sup>3</sup> /h	1976
PT 07	Latitude – 07 <sup>o</sup> 12'48"; Longitude – 39 <sup>o</sup> 18' 19"	130,0 m	57,0 m	150,0m <sup>3</sup> /h	1976
PT 08	Latitude – 07 <sup>o</sup> 12'36"; Longitude – 39 <sup>o</sup> 18' 09"	210 m	60,0 m	60,0m <sup>3</sup> /h	1985
PT 09	Latitude – 07 <sup>o</sup> 12'27"; Longitude – 39 <sup>o</sup> 19' 24"	227,0 m	66,0 m	100,0m <sup>3</sup> /h	1985
PT 10	Latitude – 07 <sup>o</sup> 14'43"; Longitude – 39 <sup>o</sup> 19'22"	116,0 m	45,0 m	100,0m <sup>3</sup> /h	1990
PT 11	Latitude – 07 <sup>o</sup> 14'55"; Longitude – 39 <sup>o</sup> 19'22"	141,0 m	63,0 m	100,0m <sup>3</sup> /h	1985
PT 12	Latitude – 07 <sup>o</sup> 15'09"; Longitude – 39 <sup>o</sup> 19'23"	132,0 m	54,0 m	150,0m <sup>3</sup> /h	1985
PT 13	Latitude – 07 <sup>o</sup> 15'22"; Longitude – 39 <sup>o</sup> 19'22"	119,0 m	54,0 m	150,0m <sup>3</sup> /h	1985
PT 14	Latitude – 07 <sup>o</sup> 14'39"; Longitude – 39 <sup>o</sup> 19'03"	154,0 m	48,0 m	236,0m <sup>3</sup> /h	2004 (Teste de bombeamento)
PT 15	Latitude – 07 <sup>o</sup> 15'43"; Longitude – 39 <sup>o</sup> 19'02"	140,0 m	60,0 m	90,0m <sup>3</sup> /h	1985
PT 18	Latitude – 07 <sup>o</sup> 12'49"; Longitude – 39 <sup>o</sup> 16'32"	186,0 m	66,0 m	97,0m <sup>3</sup> /h	2003 (Teste de bombeamento)

**Tabela 11 - Informações dos poços tubulares estudados - CONTINUAÇÃO**

<b>Descrição</b>	<b>Coordenadas Geográficas</b>	<b>Profundidade do Poço (m)</b>	<b>Crivo da Bomba</b>	<b>Vazão (m³/h)</b>	<b>Início de Operação</b>
PT 19	Latitude – 07°14'47" Longitude – 39°20'14"	160,0 m	66,0 m	60,0m³/h	2004 (Teste de bombeamento)
PT 20	Latitude – 07°11'57" Longitude – 39°19'28"	105,0 m	40,0 m	50,0m³/h	1996
PT 21	Latitude – 07°14'59" Longitude – 39°20'16"	96,0 m	66,0 m	40,0m³/h	1998
PT 22	Latitude – 07°15'21" Longitude – 39°20'13"	105,0 m	66,0 m	40,0m³/h	1999
PT 23	Latitude – 07°12'53" Longitude – 39°16'10"	166,0 m	66,0 m	90,0m³/h	2001
PT 24	Latitude – 07°13'47" Longitude – 39°20'48"	147,0 m	75,0 m	80,0m³/h	2001
PT 26	Latitude – 07°13'47" Longitude – 39°17'09"	135,0 m	36,0 m	90,0m³/h	2002
PT 27	Latitude – 07°14'06" Longitude – 39°18'47"	152,0 m	75,0 m	80,0m³/h	2003
PT 28	Latitude – 07°13'32" Longitude – 39°19'11"	173,0 m	84,0 m	20,0m³/h	2005
PT 29	Latitude – 07°13'33" Longitude – 39°19'12"	165,0 m	80,0 m	75,0m³/h	2005
PT 30	Latitude – 07°13'44" Longitude – 39°19'12"	176,0 m	75,0 m	80,0m³/h	2005
PT 31	Latitude – 07°13'56" Longitude – 39°18'20"	106,0 m	60,0 m	100,0m³/h	2015
PT 34	Latitude – 07°14'56" Longitude – 39°17'57"	180,0 m	120,0 m	25,0m³/h	2007

**Tabela 11** - Informações dos poços tubulares estudados – CONTINUAÇÃO

Descrição	Coordenadas Geográficas	Profundidade do Poço (m)	Crivo da Bomba	Vazão (m³/h)	Início de Operação
PT 50	Latitude – 07°10'57" Longitude – 39°18'13"	118,0 m	40,0 m	70,0m³/h	2014
PT 52	Latitude – 07°13'29" Longitude – 39°16'34"	—	60, 0 m	—	—
PT 53	Latitude – 07°13'26" Longitude – 39°16'51"	—	36,0 m	—	—
PT 55	Latitude – 07°13'52" Longitude – 39°16'16"	—	60,0 m	—	—
PT 56	Latitude – 07°13'49" Longitude – 39°16'12"	—	60,0 m	—	—
PT 58	Latitude – 07°13'29" Longitude – 39°20'15"	—	75,0 m	—	—

\* - Sem informações.

Fonte: Gerência de Meio Ambiente – GEMAM – CAGECE, (2019).