



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS RASAS:
ESTUDO DE CASO NO DISTRITO DE ICOARACI - PA**

Dissertação apresentada por:

RENATA DA COSTA E SILVA CRESPIM

Orientador: Prof. Dr. Paulo Pontes Araújo

BELÉM

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

RENATA DA COSTA E SILVA CRESPIM

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS RASAS:
ESTUDO DE CASO NO DISTRITO DE ICOARACI - PA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Recursos Hídricos do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, para obtenção do grau de Mestre em Recursos Hídricos.

Área de concentração: Hidrogeologia

Orientador: Prof Dr. Paulo Pontes Araújo

BELÉM

2017

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Crespim, Renata da Costa e Silva, 1987-

Qualidade das águas subterrâneas rasas: estudo de caso no distrito de Icoaraci - PA / Renata da Costa e Silva Crespim. – 2017.

104 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Paulo Pontes Araújo

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Belém, 2017.

1. Nitratos. 2. Nitrificação. 3. Águas subterrâneas - Icoaraci (PA). 4. Fossas sépticas - Icoaraci (PA). 5. *Escherichia coli* - Icoaraci (PA). I. Título.

CDD 22. ed. 553.64



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS RASAS:
ESTUDO DE CASO NO DISTRITO DE ICOARACI - PA**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:

RENATA DA COSTA E SILVA CRESPIM

Como requisito à obtenção do Grau de Mestre em Recursos Hídricos

Data de Aprovação: 12 / 06 / 2017

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo Pontes Araújo– Orientador
Doutor em Ciências Agrárias– UFRA

Prof. Dr. Milton Antônio da Silva Matta- Membro
Doutor em Geologia e Geoquímica– UFPA

Prof. Dra. Silvana do Socorro Veloso Sodré– Membro
Doutora em Geoquímica Ambiental – UFPA

*“Em qualquer lugar, teremos
o que dermos. Não esqueças:
tudo o que fizeres aos outros,
fazes a ti.”*

(Chico Xavier)

Dedico este trabalho à minha mãe Ana Maria, aos meus irmãos Fernando e Luan, ao Deco (meu filho de quatro patas e estrela da casa), ao meu pai Marcos (in memoriam) e às minhas duas avós Marias (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças para que eu concluísse este curso e por não permitir que eu desistisse diante aos obstáculos.

Agradeço a minha mãe, Ana Maria, minha razão de viver, por seu companheirismo, paciência, amor incondicional e total apoio. Sem ela eu não seria metade do que sou hoje. Agradeço também aos meus irmãos Fernando Crespim e Luan Campos.

Ao Deco (orelhudo), meu cachorro que foi o maior companheiro durante as madrugadas em que fiquei acordada para escrever este trabalho ao som de Queen.

Ao meu pai Marcos Crespim (*in memoriam*) e minha avó materna Maria (*in memoriam*) que apesar do pouco tempo de convivência, foram pessoas muito importantes na formação do meu caráter.

Agradeço ao Prof Dr Paulo Pontes Araujo por sua orientação, conversas e toda atenção dada a mim.

Ao Sr “Dico” da CPRM por ter me ajudado com o acesso à área de trabalho para este estudo e por todo o carinho dispensado a mim.

Aos moradores da área de trabalho situada no bairro Parque Guajará-Icoaraci, por todo apoio do início ao fim desta pesquisa.

À Secretaria do curso: Laís Torres, Carla Tayanna e Wilcley por toda a atenção a mim dispensada sempre que precisei e pelo carinho que sempre me deram.

À coordenação acadêmica do curso pelas oportunidades concedidas a mim que colaboraram para o meu desenvolvimento como profissional.

À minha turma maravilhosa de mestrado, todos muito queridos, em especial: Leila Hanna, Adria Almeida, Danielle Matos, Gerson Flôres (*in memoriam*), Evandro Brito, Ricardo Takemura e Maurício Jorge pela amizade e momentos de descontração.

Aos professores: Prof Dra Bianca Bentes e Prof Dr Estanislau Luckzinski por terem confiado em me conceder as cartas de recomendação para o meu ingresso neste curso. Sou muito grata!

Ao Prof Dr Joaquim Queiroz por ter me aconselhado sobre as análises estatísticas.

Ao Prof Geofísico José Geraldo e sua estagiária Raissa por toda atenção.

À Sessão de Meio Ambiente do Instituto de Pesquisas Evandro Chagas, em especial ao Bruno Carneiro pelo auxílio imprescindível dado a mim.

À Dica e Nete que fazem parte da minha vida há anos e me acompanharam de perto durante todo este processo árduo de estudos.

Ao amigo Rafael Alexandrino Malafaia (Garou) por me 'aturar' nos meus momentos de 'renatice' e por toda a ajuda que me deu.

Ao Pablo Ramon (bochecha), meu amigo desde a época da escola, que sempre me incentivou e confiou em mim.

Agradeço também à: Rafaella, Rosinete e Suenny pela amizade que já dura há anos e por sempre torcerem por mim.

À Prof Dra Victoria Isaac por ter sido quem me iniciou no ramo da pesquisa científica e contribuiu muito para o meu crescimento profissional durante quase sete anos de trabalho e convivência.

Ao Luciano Gemaque, pessoa tão querida e que sempre que preciso me ajuda sem hesitar.

À "tia" Mieko Takehana por acompanhar a mim e minha família de perto e à "tia" Keiko Yoshida pelos cafezinhos deliciosos.

Agradeço à Larissa Silva da Faculdade de Geologia por ter se disponibilizado a me ajudar com este trabalho e ao Paulo Isaac por me ajudar com os mapas.

Ao Junior (junheco) que me acompanhou e me ajudou durante todas as minhas coletas de campo. Grande motorista camisa 10!

À Secretaria e Zeladoria do Clube Grêmio Literário Português por todo o apoio dado a mim.

Ao amigo Prof Dr Roberto Vilhena pela ajuda com as análises estatísticas, conselhos acadêmicos e conversas descontraídas que sempre me fazem rir bastante.

Ao Sr Wilson Figueiredo pela amizade maravilhosa e por ter ajudado a mim e minha família nos piores momentos.

À Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS), em especial à Diretoria de Recursos Hídricos e ao Setor de Arquivo pela atenção e por cederem informações importantes a este estudo.

Sou grata a todos que de alguma forma torceram por mim e me incentivaram nos momentos mais difíceis durante os dois anos de curso.

Muito obrigada!

APOIO LOGÍSTICO E FINANCEIRO

CAPES Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CPRM Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais

FADESP Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa

FAGEO Faculdade de Geologia

IEC Instituto Evandro Chagas/Sessão de Meio Ambiente

IG Instituto de Geociências

PPRH Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos

UFPA Universidade Federal do Pará

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo analisar a qualidade das águas subterrâneas no bairro Parque Guajará, Icoaraci-Pa. Considerou-se as fossas como fontes potenciais de contaminação, com destaque à detecção de compostos nitrogenados. Os poços estudados apresentam profundidades que variam de 6 a 24 metros e captam águas do aquífero Barreiras. Foram realizadas quatro coletas de águas subterrâneas rasas, em 15 poços, nos períodos chuvoso (janeiro/2016 e maio/2016) e menos chuvoso (agosto/2016 e outubro/2016). Analisou-se os seguintes parâmetros físico-químicos e bacteriológicos: pH, cloreto, sódio, condutividade elétrica, nitrito, amônio, nitrato, *Escherichia coli* e coliformes totais. As análises foram realizadas no Instituto Evandro Chagas. Comparou-se os resultados aos valores máximos permitidos pela Portaria nº 2.914/11, do Ministério da Saúde. A interpretação dos dados deu-se através de gráficos de variações sazonais e mapas de isovalores. As bactérias *Escherichia coli* e coliformes totais foram detectadas no período chuvoso em 33,33% e 40% das águas, respectivamente. O pH variou de 3,93 a 6,22 durante o período chuvoso e de 3,95 a 6,42 no período menos chuvoso. O cloreto e o sódio apresentaram valores máximos de 68,46 mg/L e 68,41 mg/L, respectivamente. A condutividade elétrica atingiu seu valor máximo de 527 $\mu\text{S}/\text{cm}$ acompanhando a elevação dos valores de sódio e cloreto. O amônio variou de 0,00 mg/L a 6,01 mg/L, com valor máximo no período chuvoso. O nitrito foi mais expressivo no período menos chuvoso, com valores que alcançaram 0,44 mg/L. O nitrato (N-NO_3^-) mostrou-se presente em todos os períodos amostrais com variação de 0,91 mg/L a 64,03 mg/L. Os teores de nitrato encontrados nas amostras alcançaram índices superiores ao permitido pela legislação, sendo 80% e 86,67% no período chuvoso (janeiro/2016 e maio/2016) e 66,67% e 80% no período menos chuvoso (agosto/2016 e outubro/2016). Foi identificado o processo de nitrificação em 13,33% das águas amostradas. Quanto à classificação iônica, em janeiro/2016 (período chuvoso) e agosto/2016 (período menos chuvoso) as águas apresentaram características bicarbonatadas sódicas. Em maio/2016 (período chuvoso) a predominância foi de águas sulfatadas sódicas e em outubro/2016 (período menos chuvoso), cloretadas sódicas. Na área de pesquisa, os elevados teores de nitrato nas águas subterrâneas rasas foram atribuídos à presença de fossas, a ausência de critérios técnicos na construção dos poços

tubulares e manuais, bem como a circulação de animais domésticos as proximidades dos poços de captação de água para consumo humano.

Palavras chave: Nitrato. Nitrificação. Icoaraci. Águas subterrâneas rasas. Fossas. *Escherichia coli* e coliformes totais.

ABSTRACT

This research had as objective to analyze the quality of the groundwater in the neighborhood Parque Guajará, Icoaraci-Pa. Septic tanks were considered as potential sources of contamination, with emphasis on the detection of nitrogen compounds. The wells studied have depths ranging from 6 to 24 meters and capture water from the Barreiras aquifer. Four shallow groundwater samples were collected in 15 wells during the rainy season (january 2016 and may 2016) and less rainy (august 2016 and october 2016). The following physico-chemical and bacteriological parameters were analyzed: pH, chloride, sodium, electrical conductivity, nitrite, ammonium, nitrate, *Escherichia coli* and total coliforms. The analyzes were made at the Evandro Chagas Institute. The results were compared to the maximum values allowed by Ministry of Health Ordinance n 2.914/11. The interpretation of the data was based on seasonal variations and isovalues maps. The bacterias *Escherichia coli* and total coliforms were detected in the rainy season in 33.33% and 40% of the waters, respectively. The pH ranged from 3.93 to 6.22 during the rainy season and from 3.95 to 6.42 in the less rainy season. Chloride and sodium presented maximum values of 68.46 mg/ L and 68.41 mg/ L, respectively. The electrical conductivity reached its maximum value of 527 $\mu\text{S}/\text{cm}$ following the elevation of sodium and chloride values. Ammonium ranged from 0.00 mg/L to 6.01 mg/L, with maximum value in the rainy season. Nitrite was more expressive in the less rainy period, with values reaching 0,44 mg/L. Nitrate (N-NO_3^-) was present in all sample periods ranging from 0.91 mg/L to 64.03 mg/L. The nitrate contents found in the samples reached levels higher than allowed by legislation, being 80% and 86.67% in the rainy season (january 2016 and may 2016) and 66.67% and 80% in the less rainy season (august / 2016 and october / 2016). The nitrification process was identified in 13.33% of the sampled waters. In january / 2016 (rainy season) and august / 2016 (less rainy season) the waters presented sodium bicarbonated characteristics. To the ionic classification, in may / 2016 (rainy season) the predominance was sodium sulphated water and in october / 2016 (less rainy period), sodium chlorated water. In the research area, the high levels of nitrate in shallow groundwater were attributed to the presence of septic tanks, the absence of technical criteria for the construction of

wells and the circulation of domestic animals around the wells of water catchment for human consumption.

Keywords: Nitrate; Nitrification; Icoaraci; Shallow groundwater; Domestic sewages. *Escherichia coli* and total coliforms

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Equações da oxidação de amônia a nitrito e, em seguida, a nitrato sob atuação bacteriana.....	29
Figura 2 - Área de estudo. A - Alameda das Palmeiras. B – Alameda Santa Rosa.....	34
Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo no Distrito de Icoaraci-Pa.....	35
Figura 4 - Balanço hídrico em Belém e região de acordo com Thornthwaite & Mather (1955), a partir de médias mensais de temperatura e precipitação entre os anos de 1961 e 1990. Pp (Precipitação mm), ETP (Evapotranspiração Potencial mm) e ETR (Evapotranspiração Real mm).....	38
Figura 5 - Médias de precipitação pluviométrica por mês (Pp) de Belém no período de 1961 a 1990 (INMET, 2000). As setas indicam os meses em que foram realizadas as coletas de campo.....	38
Figura 6 - Perfil esquemático do poço de referência litológica, localizado no Grêmio Literário Português.....	42
Figura 7 - Mapa de localização dos poços amostrados.....	46
Figura 8 - Valores médios da variação sazonal de nível estático por períodos amostrados.....	49
Figura 9 - Variação sazonal de pH das águas subterrâneas rasas analisadas.....	50
Figura 10 - Variação sazonal de cloreto (Cl^-) das águas subterrâneas rasas analisadas.....	51
Figura 11 - Variação sazonal de sódio (Na^+) das águas subterrâneas rasas analisadas.....	52
Figura 12 - Variação sazonal de condutividade elétrica (CE) das águas subterrâneas rasas analisadas.....	54
Figura 13 - Variação sazonal de amônio (N-NH_4^+) das águas subterrâneas rasas analisadas.....	55
Figura 14 - Variação sazonal de nitrito (N-NO_2^-) das águas subterrâneas rasas analisadas.....	57

Figura 15 - Variação sazonal de nitrato (N-NO ₃ ⁻) das águas subterrâneas rasas analisadas.....	59
Figura 16 - Distribuição de valores de nitrato (N-NO ₃ ⁻) das águas subterrâneas rasas analisadas na área de estudo no período chuvoso (janeiro/2016).....	60
Figura 17 - Distribuição de valores de nitrato (N-NO ₃ ⁻) das águas subterrâneas rasas analisadas na área de estudo no período chuvoso (maio/2016).....	61
Figura 18 - Distribuição de valores de nitrato (N-NO ₃ ⁻) das águas subterrâneas rasas analisadas na área de estudo no período menos chuvoso (agosto/2016).....	61
Figura 19 - Distribuição de valores de nitrato (N-NO ₃ ⁻) das águas subterrâneas rasas analisadas na área de estudo no período menos chuvoso (outubro/2016).....	62
Figura 20 - Variação sazonal de amônio (N-NH ₄ ⁺) e nitrato (N-NO ₃ ⁻) nos períodos chuvoso e menos chuvoso.....	63
Figura 21 - Representação de contagem de <i>Escherichia coli</i> nos poços de coleta no período chuvoso (janeiro).....	65
Figura 22 - Representação de contagem de Coliformes totais nos poços de coleta no período chuvoso (janeiro).....	66
Figura 23 - Mapa de sentido preferencial de fluxo das águas subterrâneas rasas no período chuvoso (janeiro).....	67
Figura 24 - Mapa de sentido preferencial de fluxo das águas subterrâneas rasas no período chuvoso (maio).....	67
Figura 25 - Mapa de sentido preferencial de fluxo das águas subterrâneas rasas no período menos chuvoso (agosto).....	68
Figura 26 - Mapa de sentido preferencial de fluxo das águas subterrâneas rasas no período menos chuvoso (outubro).....	68
Figura 27 - Gráfico de análise de componentes principais (PCA) representando a correlação entre os parâmetros discutidos conforme a sazonalidade.....	71

Figura 28 - Análise de cluster hierárquica representando a correlação entre os parâmetros a partir das distâncias entre eles.....	73
Figura 29 - Diagrama de Piper representando a classificação das águas amostradas no mês de janeiro (período chuvoso).....	74
Figura 30 - Diagrama de Piper representando a classificação das águas amostradas no mês de maio (período chuvoso).....	75
Figura 31 - Diagrama de Piper representando a classificação das águas amostradas no mês de agosto (período menos chuvoso).....	76
Figura 32 - Diagrama de Piper representando a classificação das águas amostradas no mês de outubro (período menos chuvoso).....	77
Figura 33 - Gráfico de representação de renda mensal das residências na área de coleta.....	78
Figura 34 - Representação gráfica do grau de escolaridade dos moradores entrevistados.....	78
Figura 35 - Representação gráfica do número de moradores por residência.....	79
Figura 36 - Representação gráfica do tipo de moradia.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões estabelecidos pela Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde.....	32
Tabela 2 - Balanço hídrico de Belém e região de acordo com Thornthwaite & Mather, a partir de médias mensais de temperatura e precipitação entre os anos de 1961 e 1990.....	37
Tabela 3 - Identificação dos pontos de amostragem de águas subterrâneas rasas, no bairro Parque Guajará.....	45
Tabela 4 - Resultados dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos analisados no período chuvoso (Janeiro/2016).....	46
Tabela 5 - Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no período chuvoso (Maio/2016).....	47
Tabela 6 - Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no período menos chuvoso (Agosto/2016).....	47
Tabela 7 - Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no período menos chuvoso (Outubro/2016).....	48
Tabela 8 - Características dos poços estudados e distância da fonte contaminante.....	48
Tabela 9 - Estatística descritiva de resultados dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos referentes ao período chuvoso (janeiro) e valores máximos permitidos pela Portaria 2.914/11.....	69
Tabela 10 - Estatística descritiva de resultados referentes ao período chuvoso (maio) dos parâmetros físico-químicos e valores máximos permitidos pela Portaria 2.914/11.....	70
Tabela 11 - Estatística descritiva de resultados referentes ao período menos chuvoso (agosto) dos parâmetros físico-químicos e valores máximos permitidos pela Portaria 2.914/11.....	70
Tabela 12 - Estatística descritiva de resultados referentes ao período menos chuvoso (outubro) dos parâmetros físico-químicos e valores máximos permitidos pela Portaria 2.914/11.....	70
Tabela 13 - Matriz de correlação dos parâmetros físico-químicos analisados.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALT Alteração

ARM Armazenamento da água no solo

Ca⁺² Cálcio

CAD Capacidade de água disponível

CE Condutividade elétrica

°C Grau celsius

Cl⁻ Cloreto

DEF Deficiência hídrica

Def Déficit hídrico

ETR Evapotranspiração real

ETP Evapotranspiração potencial

EXC Excedente hídrico

HCO₃⁻ Bicarbonato

K⁺ Potássio

Mg⁺² Magnésio

mg/L Milgrama por litro

ml Mililitro

mm Milímetro

Na⁺ Sódio

NEG-AC Negativo acumulado

NH₄⁺ Amônio

NMP Número Mais Provável

NO_2^- Nitrito

NO_3^- Nitrato

P Precipitação pluviométrica

pH Potencial hidrogeniônico

VMP Valores Máximos Permitidos

$\mu\text{S}/\text{cm}$ Microsiemens por centímetro

SO_4^{2-} Sulfato

T Temperatura

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	22
2 INTRODUÇÃO	22
3 REVISÃO DA LITERATURA	23
3.1 Contaminação das águas subterrâneas	23
3.2 Saúde humana e água contaminada	25
3.3 Compostos nitrogenados	27
3.4 Normas de potabilidade	31
4 OBJETIVOS	33
4.1 Geral	33
4.2 Específicos	33
5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
5.1 Localização	33
5.2 Clima	36
5.3 Balanço hídrico	36
5.4 Vegetação e solo	39
5.5 Hidrologia	39
5.6 Geologia regional	40
5.6.1 Formação Pirabas	40
5.6.2 Grupo Barreiras	40
5.6.3 Sedimentos Pós-Barreiras	40
6 MATERIAL E MÉTODOS	42
6.1 Pesquisa bibliográfica	42
6.2 Cadastro e seleção dos poços	43
6.3 Trabalhos de campo	43
6.4 Análise de dados	44

7 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS RASAS.....	45
7.1 Relação poço/fossa.....	48
7.2 Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos.....	49
7.2.1 pH.....	49
7.2.2 Cloreto (Cl ⁻).....	50
7.2.3 Sódio (Na ⁺).....	52
7.2.4 Condutividade elétrica (CE).....	53
7.3 Compostos nitrogenados.....	54
7.3.1 Amônio (N-NH ₄ ⁺).....	55
7.3.2 Nitrito (N-NO ₂ ⁻).....	56
7.3.3 Nitrato (N-NO ₃ ⁻).....	57
7.3.4 Evolução temporal dos compostos nitrogenados N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻	62
7.4 Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i>.....	64
8 SENTIDO PREFERENCIAL DE FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	66
9 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	69
10 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS ESTUDADAS.....	73
11 RISCO POTENCIAL PARA A SAÚDE HUMANA.....	77
12 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
ANEXOS.....	100
ANEXO 1 - FORMULÁRIO UTILIZADO PARA CADASTRO DE POÇOS.....	101
ANEXO 2 - FORMULÁRIO SOCIOECONÔMICO E AMBIENTAL.....	103

1 APRESENTAÇÃO

Esta pesquisa foi desenvolvida em área situada no bairro Parque Guajará, Distrito de Icoaraci-Pa, com crescimento populacional desordenado, onde boa parte da população residente capta águas subterrâneas rasas de forma inadequada com a finalidade de consumi-las. Essas águas são mais suscetíveis a contaminantes, comprometendo a integridade do meio ambiente, que tem como consequência a propagação de doenças de veiculação hídrica.

Este trabalho é composto por uma breve introdução, seguida de revisão da literatura com quatro subtópicos: contaminação das águas subterrâneas, saúde humana e água contaminada, compostos nitrogenados e normas de potabilidade. Posteriormente, são apresentados os objetivos deste estudo, as características gerais da área estudada e a metodologia empregada durante os trabalhos de campo e laboratório. Em seguida é apresentado o tópico de resultados e discussões, onde estão inseridas as discussões dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos analisados, sendo eles: pH, cloreto, sódio, condutividade elétrica, compostos nitrogenados, bactérias *Escherichia coli* e coliformes totais. Da mesma forma, é feita a interpretação de mapas do sentido de fluxo hídrico subterrâneo, o resumo estatístico bem como a correlação entre os parâmetros discutidos, a classificação hidroquímica das águas estudadas, utilizando-se o diagrama de Piper e uma abordagem sobre a associação existente entre saneamento básico e doenças de veiculação hídrica, tendo como base o perfil socioeconômico e ambiental da área de estudo.

Ao final, apresentam-se as conclusões e recomendações acerca dos dados expostos e discutidos.

2 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para todos os seres vivos, portanto é considerado um recurso insubstituível. É também uma referência cultural e um bem social indispensável à adequada qualidade de vida da população (CAPOBIANCO, 2007).

De acordo com a Organização Mundial de Saúde - OMS (2001), este recurso influencia de forma direta na qualidade de vida, saúde e desenvolvimento do

ser humano. Porém, para que a água seja considerada segura para o consumo humano, deve atingir o padrão de potabilidade. A água deve ser tratada, limpa e estar livre de qualquer contaminação, seja de origem microbiológica, química, física ou radioativa, não devendo oferecer riscos à saúde humana (Brasil, 2004). Ainda, de acordo com Brasil (2004) o termo “grau de potabilidade da água” refere-se em estar isento de contaminações, não oferecendo riscos à saúde humana.

A água destinada ao consumo deve estar conforme os critérios de qualidade, apresentando o mínimo de impurezas possível. O Ministério da Saúde (2011) classifica essas impurezas em três categorias:

- i) **Químicas:** substâncias presentes na água;
- ii) **Biológicas:** referente a organismos patogênicos (bactérias, protozoários, vírus e helmintos);
- iii) **Físicas:** características da água quanto ao odor, temperatura, sabor e cor.

Segundo Torres et al. (2000) hoje sabe-se que o tratamento de água destinada ao consumo humano é essencial, por sua facilidade em veicular grandes quantidades de contaminantes físico-químicos e biológicos. A Organización Panamericana de La Salud (2000) ressalta que a ingestão de águas contaminadas é responsável por desencadear vários casos de doenças gastrointestinais.

O fornecimento de água adequada para consumo depende do saneamento básico, sendo este crucial na sociedade para prevenção de patologias oriundas da falta de qualidade da água. Segundo Zacul (2006), em países em desenvolvimento, aproximadamente metade da população é acometida por doenças relacionadas à ingestão de água ou comida contaminada, afirmação esta que traduz a estreita relação entre saúde pública e saneamento básico.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Contaminação das águas subterrâneas

Segundo Fostel et al. (2006), nos meios urbano e rural, a água subterrânea caracteriza-se como um recurso importante para o abastecimento seguro e econômico de água potável, sendo relevante para o bem estar de seres humanos. De acordo com a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS (2017), as águas subterrâneas possuem distribuição bastante variável, assim como, as águas

superficiais por estarem relacionadas ao ciclo hidrológico, dependendo das condições climáticas, porém, as águas subterrâneas apresentam-se cerca de 100 vezes mais abundantes que águas superficiais de lagos e rios.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente do Brasil – MMA (2007), o lançamento de esgotos no solo ou na água e o uso de fossas e poços construídos de forma desordenada, são os fatores que estão mais comumente relacionados à contaminação de águas subterrâneas. Dentro deste contexto, a Agência Nacional de Águas - ANA (2009) afirma que os resíduos orgânicos e inorgânicos produzidos pela população são despejados em sistemas rudimentares, fossas negras ou fossas sépticas podendo, desta forma, alcançar com facilidade os aquíferos, ocasionando não só as altas concentrações de íons, como também, o acesso de agentes patológicos às águas subterrâneas. Contudo, a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas - ABAS (2017) destaca que o nitrato é um indicador de poluição difusa, sendo oriundo de atividades agrícolas e esgotos sanitários.

Os perigos potenciais de contaminação de aquífero são representados por resíduos, tanto sólidos como líquidos, gerados através de atividades antrópicas, visto que, na maior parte dos casos, a água subterrânea é menos contaminada do que a superficial, uma vez que se encontra protegida da contaminação à superfície proveniente dos solos e da cobertura rochosa (PROSPECTO, 2007).

A Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS (2017) ressalta que, a partir do momento em que os contaminantes atingem o solo, inicia-se a sua infiltração de forma lenta no meio poroso, tendo acesso às águas do lençol freático.

De acordo com Lewis et al. (1982), o crescimento urbano desordenado em países subdesenvolvidos trouxe consigo o uso de “sistemas de saneamento *in situ*”, tendo como exemplos fossas e latrinas. Os sistemas citados funcionam por percolação do líquido efluente no solo, e, em perfis de solo permeáveis, resultam em recarga do aquífero. As partes sólidas, que deveriam ser periodicamente removidas e despejadas em outro local, em muitos casos permanecem no solo e são progressivamente lixiviadas pela água da chuva ou por outros fluidos que se infiltram (Foster et al. 2006).

Ainda, de acordo com Foster et al. (2006) deve-se levar em consideração quanto ao perigo de contaminação de aquíferos, os seguintes aspectos:

i) A carga contaminante que é, será ou poderá ser aplicada ao subsolo como resultado de atividades humanas;

ii) A vulnerabilidade do aquífero à contaminação, dependendo das características naturais dos estratos que o separam da superfície do solo.

A construção inadequada de fossas viabiliza a expansão de contaminantes em águas subterrâneas, alterando a qualidade das águas consumidas pela população. Com base na Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (2017), para a recuperação das águas subterrâneas, quando contaminadas ou poluídas, é necessário alto investimento financeiro e com resultados em longo prazo.

3.2 Saúde humana e água contaminada

A água pode afetar a saúde do homem de várias maneiras: por ingestão direta, na preparação de alimentos, na higiene pessoal, na agricultura, na higiene do ambiente, nos processos industriais ou nas atividades de lazer (FUNASA, 2006). Embora o Brasil seja detentor de 12% da água doce disponível no mundo, o país ainda apresenta muitos problemas em termos de abastecimento de água potável, decorrentes não somente da má distribuição de suas águas, mas também em função da forte demanda atual e degradação dos recursos hídricos (MARQUES, CAVALCANTE; BARBIERI, 2010). No Brasil, as águas subterrâneas são fortemente utilizadas por grande parcela da população. Essas fontes podem ser de águas profundas ou poços tradicionais com profundidades menores e com maior risco de contaminação (SILVA; ARAÚJO, 2003).

De acordo com Freitas et al. (2001), as águas subterrâneas representam um bem econômico, além de ter extrema importância para suprir a falta de acesso ou a precariedade do serviço público de abastecimento de água. O uso diversificado de águas subterrâneas é cada vez maior, muitas vezes colocando em risco sua qualidade. Fatores como os esgotos domésticos e industriais e fertilizantes utilizados na agricultura, podem torná-las impróprias para consumo humano (SILVA; ARAÚJO, 2003). Na maior parte dos casos, não existe monitoramento quanto à qualidade, expondo a população ao consumo de água contaminada.

Muitas infecções podem ser transmitidas de uma pessoa doente para outra sadia por diferentes caminhos, um dos quais é representado pelas excreções

humanas, pois o conteúdo das fossas sépticas ao se misturar ao do lençol superficial atua como veículo de contaminação hídrica (BRAGA, 2005).

A distinção de propriedades entre agentes patogênicos e outros contaminantes em águas destinadas ao consumo humano é feita pelo Guidelines For Drinking Water Quality (2011, tradução nossa) da seguinte forma:

- Patógenos podem causar tanto efeitos crônicos como agudos na saúde;
- Alguns patógenos podem crescer no meio ambiente.
- Patógenos são discretos;
- Patógenos são frequentemente agregados ou se aderem a sólidos suspensos em águas. A concentração de patógenos é variável. Portanto, a probabilidade de se ingerir água infectada não pode ser prevista por sua concentração média em águas;
- A exposição e a doença causada por um agente patogênico dependem da virulência do patógeno e da resposta imunitária de cada indivíduo;
- Em infecções estabelecidas, os patógenos se multiplicam em seu hospedeiro;
- Certos patógenos têm capacidade em se multiplicar em alimentos, bebidas e até mesmo em sistemas de águas quentes, aumentando a probabilidade de infecção;
- Diferentes de vários agentes químicos, patógenos não exibem efeitos cumulativos.

Existem diferenças entre doenças de transmissão hídrica e doenças de origem hídrica que, de acordo com Bovolato (2015), são caracterizadas da seguinte forma:

- As doenças de transmissão hídrica são as transmitidas por águas contaminadas por agentes patogênicos que chegam às águas por dejetos humanos ou de outros animais, contaminados. Protozoários, vírus, bactérias e helmintos são agentes infecciosos que podem ser transmitidos pela água e causar doenças gastrointestinais.
- As doenças de origem hídrica ocorrem a partir da presença de substâncias químicas em águas que apresentam níveis acima dos estabelecidos pelo Ministério da Saúde.

Segundo Reis e Cunha (2006), a ingestão de águas contaminadas é responsável por aproximadamente 80% dos casos de doenças de origem hídrica e mais de um terço das mortes em países que se encontram em desenvolvimento. Conforme Freitas et al. (2001), nos países em desenvolvimento, por conta das péssimas condições de saneamento, há uma grande variedade de doenças diarreicas causadas por microrganismos encontrados em águas. Esses mesmos autores também consideram o nitrato um importante composto para as discussões sobre saúde humana, que apesar de ser encontrado geralmente com baixos índices em águas superficiais, pode apresentar teores elevados em águas mais profundas.

Com base em Freitas e Freitas (2005), entre o final do século XIX e início do século XX, veio à tona a questão da qualidade da água e sua relação com a saúde pública, e isso se deu a partir do entendimento da associação existente entre águas contaminadas e doenças de vinculação hídrica.

3.3 Compostos nitrogenados

O nitrogênio é um componente significativo em reações biológicas estando presente nas células dos seres vivos, além de ser o elemento químico mais abundante na atmosfera. O nitrogênio desempenha importante papel na constituição das moléculas, proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas, enzimas e hormônios, elementos vitais aos seres vivos (Braga et al. 2005).

De acordo com Enrich-Prast (2005), este elemento pode apresentar-se em formas químicas diferenciadas, em estados de oxidação, apresentando valências com variação de -3 a +5.

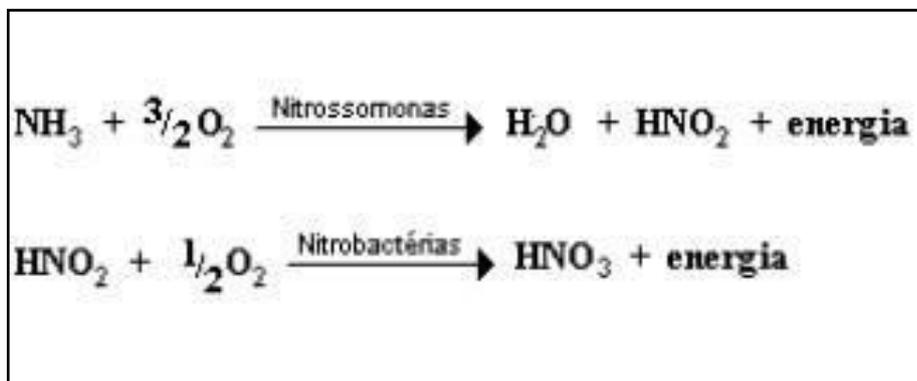
Na água, o nitrogênio se encontra nas seguintes formas combinadas: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), nitrogênio amoniacal (NH_3 , NH_4^+) e nitrogênio orgânico (Ratel & Debrieu, (20--), tradução nossa). Deste modo, eles podem ser especificados da seguinte forma:

- Nitrogênio Orgânico: Com base em Alfaia (2006), parte do nitrogênio orgânico (98%) pode ser encontrado no solo, sendo os 2% restantes encontrados nas formas minerais de amônio, nitrito e nitrato. O nitrogênio orgânico em esgotos domésticos brutos é uma das formas nitrogenadas predominantes junto com a amônia (TORRES, 2011, apud ESTEVES, 1998).

- Amônia livre e ionizada: Apesar do seu tempo de vida relativamente curto, de aproximadamente 10 dias, é o terceiro composto de nitrogênio mais abundante na atmosfera, ficando atrás apenas do N_2 e do N_2O (TORRES, 2011). De acordo com Arana (1997), quando está em estado dissolvido em águas, a amônia pode ser encontrada tanto na forma ionizada quanto não ionizada, sendo que essas condições dependem da influência de salinidade, pH e temperatura. Segundo Esteves (1998), a formação da amônia ocorre por consequência do processo de decomposição anaeróbia e aeróbia de matéria orgânica.
- Nitrito (NO_2^-): Conforme Torres (2011), a formação do nitrito se dá a partir da oxidação da amônia, e a transformação de íons amônio a nitrito, representa uma fase intermediária do processo de nitrificação.
- Nitrato (NO_3^-): A formação do íon nitrato ocorre a partir da oxidação do íon nitrito. Uma vez liberado no solo, o nitrato pode ser absorvido e metabolizado por vegetais ou ser lixiviado (TORRES, 2011). Adicionalmente, Biguelini e Gumy (2012) ressaltam que a contaminação ambiental proveniente de nitrato é resultante de sua lixiviação em solos a partir da utilização de fertilizantes, assim como, de rejeitos urbanos que podem representar até 40% de nitratos presentes em águas superficiais. Durante o seu ciclo ocorrem os seguintes processos:
- Fixação do nitrogênio: *Corresponde a passagem do nitrogênio atmosférico (N_2) ao nitrogênio combinado a ações de certos organismos* (Ratel; Debrieu, 2017, tradução nossa). De acordo com Torres (2011) este processo ocorre a partir da redução de nitrogênio durante o consumo de compostos orgânicos feitos por organismos heterotróficos e autotróficos. Depois de fixado, o nitrogênio fica disponível em forma de nitrato para plantas a partir de sua dissolução no solo.
- Amonificação: Nesta fase, o nitrogênio transforma-se em gás amônia e sais de amônio através da mineralização realizada por bactérias. Segundo Enrich-Prast (2005), este processo acontece tanto em meios aeróbios quanto anaeróbios.

- **Nitrificação:** *É a oxidação do nitrogênio amoniacal ao nitrato por intermédio de bactérias nitrificantes* (Ratel; Debrieu, 20--, tradução nossa). Há a transformação da amônia e amônio em nitritos que ocorre por meio das bactérias do gênero *Nitrossomonas*, e em seguida, os nitritos são convertidos para nitratos por bactérias pertencentes ao gênero *Nitrobacter* (Figura 1). Segundo Keeney (1986) apud Carter (1997), o nitrogênio em forma de nitrato está na condição de um dos contaminantes mais complexos quando comparado a outros contaminantes potenciais em águas subterrâneas.

Figura 1: Equações da oxidação de amônia a nitrito e, em seguida, a nitrato sob atuação bacteriana.



Fonte: Fernandes (1997).

- **Desnitrificação:** Nesta etapa, ocorre a redução de nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-) ao nitrogênio (N_2). *A desnitrificação biológica permite a eliminação de nitrato por sua redução em nitrogênio gasoso* (Ratel; Debrieu, 20--, tradução nossa). Segundo Torres (2011), este processo se dá através de bactérias e pode ser tanto de forma autotrófica quanto heterotrófica, sendo que na desnitrificação autotrófica é utilizado como fonte de energia o hidrogênio, compostos de enxofre ou ferro, e como fonte de carbono, bicarbonato ou carbono. Ainda de acordo com este autor, na desnitrificação heterotrófica há a utilização de compostos de carbono como fontes de energia.

Com base em Fernandes (1997), a presença do nitrogênio é comum em esgoto sanitário devido sua composição biológica. Ademais, observa que os compostos de nitrogênio quando presentes em águas podem sugerir despejos de

esgotos, sendo a presença exagerada de nitrogênio amoniacal indicadora de poluição recente e os nitratos, poluição mais antiga.

No Guia de Proteção da Qualidade da Água Subterrânea, Foster et al. (2006), cita os contaminantes que possuem estreita relação com o “sistema de saneamento *in situ*”, como agentes patogênicos, compostos nitrogenados e até mesmo produtos químicos orgânicos sintéticos. Porém, Foster et al. (2006) frisa que os nitratos se destacam como os elementos contaminantes mais persistentes, estáveis e com mobilidade em aquíferos.

O consumo de águas contaminadas por nitrato pode acarretar sérios problemas de saúde, tal como a metahemoglobinemia que, de acordo com Bittikofer & Sum-Ping (2001), é uma enfermidade caracterizada como uma síndrome clínica que se manifesta a partir de altas taxas de concentração de metemoglobina no sangue. A metahemoglobina é a forma não oxidada da hemoglobina na forma férrica (Fe^{+3}), aumentando sua afinidade pela molécula de oxigênio ligado (RODRIGUES et al. 2011). Além de não se ligar ao oxigênio, a metahemoglobina desvia a curva de dissociação da hemoglobina parcialmente oxidada para a esquerda, prejudicando também a liberação de oxigênio para os tecidos (SILVA et al. 2003).

A metahemoglobinemia tem como consequência o evento de cianose, definida da seguinte forma: *A palavra cianose, derivada da palavra grega “kuaneos” que significa azul escuro, refere-se à coloração azulada da pele, unhas ou mucosas* (Steinhorn, 2008, tradução nossa). Ainda sobre a cianose, *é relativamente comum em crianças jovens, e é geralmente um achado fisiológico pela diferença arteriovenosa de oxigênio, tendo seu fluxo lento em vasos sanguíneos periféricos* (Steinhorn, 2008, tradução nossa).

Os nitratos ingeridos pelo organismo são convertidos a nitritos (no estômago ou na saliva) ou absorvidos. Os nitritos podem resultar em seguida, a formação de metehemoglobina ou N-nitrosos (Ratel; Debrieu, 20--, tradução nossa). Se o nitrito for ingerido diretamente, pode ocasionar metahemoglobinemia independente da faixa etária do consumidor (BIGUELINI; GUMY, 2012).

Há registros de metahemoglobinemia tanto na forma congênita quanto na forma adquirida. Com base em Aepfelbacher et al. (2003) não existem certezas

porém, considera-se que casos adquiridos são mais comuns que os de origem congênita.

As nitrosaminas são caracterizadas como compostos químicos cancerígenos. 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 e Gumy, 2012). Ainda, de acordo com Biguelini e Gumy (2012), a faixa de pH ideal para o processo de nitrosação é de 2,5 a 3,5, sendo similar ao pH do estômago humano após alimentos serem ingeridos.

Segundo Dutra et al. (2007), a exposição humana às nitrosaminas ocorre devido o consumo de itens como nicotina, tabaco, água, artigos de borracha, cosméticos, agrotóxicos, entre outros.

3.4 Normas de potabilidade

A água é um excelente veículo de contaminantes biológicos e ou químicos que, ao serem ingeridos, trazem riscos à saúde humana. Portanto, é de extrema importância o estabelecimento de normas direcionadas ao controle de qualidade das águas destinadas ao consumo humano, tendo como objetivo verificar seu grau de potabilidade.

Para se conhecer a qualidade das águas a serem consumidas é necessário realizar certos procedimentos, tendo como principais as análises físico-químicas e microbiológicas. Tendo como base Brasil (2012), essas análises podem ser definidas da seguinte forma:

Físico-química: analisa o grau de presença de substâncias químicas na água bem como suas características organolépticas.

Microbiológica: detecta a presença de microrganismos. As análises bacteriológicas têm como foco principal a identificação de *Escherichia coli*, principal indicador de contaminação e de bactérias que fazem parte do grupo de coliformes totais.

De acordo com o Decreto nº 79.367 de 09/03/1977 são de inteira responsabilidade do Ministério da Saúde determinar as Normas de Potabilidade da Água.

Atualmente, a norma em vigor é a Portaria nº 2.914 de 12/12/2011 (Tabela 1). Sua formulação foi feita pela Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS) a partir da revisão da Portaria anterior. Segundo o Ministério da Saúde (2012) foram também levados em consideração “os avanços do conhecimento técnico-científico, experiências internacionais e recomendações da 4ª Edição do Guia de Qualidade da Água para Consumo Humano da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2004), adaptadas à realidade brasileira.”

Tabela 1: Padrões estabelecidos pela Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde.

PARÂMETROS	UNIDADE	PORTARIA 2.914/11
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ORGANOLÉPTICAS		
Cor	Pt/L	5
Odor	-	Não objetável
Sabor	-	Não objetável
Turbidez	UNT	5
Temperatura	°C	-
pH	-	6,0 - 9,5
PARÂMETROS QUÍMICOS INORGÂNICOS		
Arsênio	mg/L	0,01
Bário		0,7
Cádmio		0,005
Chumbo		0,01
Cromo		0,05
Fluoretos		1,5
Mercúrio		0,001
N-NO ₃		10
Nitritos		1
Selênio		0,01
PARÂMETROS QUÍMICOS QUE AFETAM A QUALIDADE ORGANOLÉPTICA		
Alumínio	mg/L	0,2
Surfactante		0,5
Cloretos		250
Cobre		2
Dureza total		500
Ferro total		0,3
Manganês		0,1
Sódio		200
STD		1000
Sulfatos		250
Sulfeto de H		0,1
Zinco		5
<i>Escherichia coli</i>		nº/100 ml
Coliformes totais	0	

Fontes: Modificado de Feitosa (2008, apud CPRM 2008)/ Brasil (2011).

4 OBJETIVOS

4.1 Geral

O objetivo principal deste estudo é verificar a qualidade das águas do aquífero livre, utilizadas para o consumo humano, no bairro Parque Guajará, Distrito de Icoaraci-Pa.

4.2 Específicos

- ❖ Cadastrar, georeferenciar e selecionar os poços tubulares e manuais da área de estudo;
- ❖ Identificar as fontes potenciais de contaminação aplicadas ao solo (Fossas);
- ❖ Detectar a presença de contaminantes nas águas estudadas de acordo com a sazonalidade;
- ❖ Comparar os resultados físico-químicos e bacteriológicos das amostras de águas com as determinações da Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde;
- ❖ Definir o sentido de fluxo preferencial das águas subterrâneas rasas da área de estudo, através de mapas isopiezométricos;
- ❖ Realizar a classificação hidroquímica das águas subterrâneas rasas utilizando o diagrama de Piper;
- ❖ Caracterizar o processo de nitrificação nas águas subterrâneas rasas, do aquífero livre Barreiras.

5 CARACTERIZAÇÃO DA AREA DE ESTUDO

5.1 Localização

O distrito administrativo de Icoaraci localiza-se na porção norte de Belém e possui 9 bairros, sendo eles: Cruzeiro, Maracacuera, Ponta Grossa, Campina de Icoaraci, Águas Negras, Agulha, Paracuri, Parque Guajará e Tenoné. Apresenta uma população de 167.035 mil habitantes (IBGE, 2010). A economia de Icoaraci é movimentada por um polo industrial formado principalmente por olarias, madeireiras e empresas de beneficiamento de pescados e palmito.

O local escolhido para a realização do presente estudo faz parte do bairro Parque Guajará que, de acordo com Prefeitura Municipal de Belém (2011),

compreende uma área de 5.586.455,87 (m²), 5,5865 (km²) e 58,65 (ha). É uma área de invasão habitacional (Figura 2) e nela estão inseridos os conjuntos Gabrielli I e Gabrielli II. Faz limites com o conjunto habitacional Eduardo Angelim e o clube recreativo Grêmio Literário Português (local do poço de referência litológica - PR) (Figura 3). O acesso ao interior da área de estudo é realizado através de vicinais originadas na rodovia Augusto Montenegro.

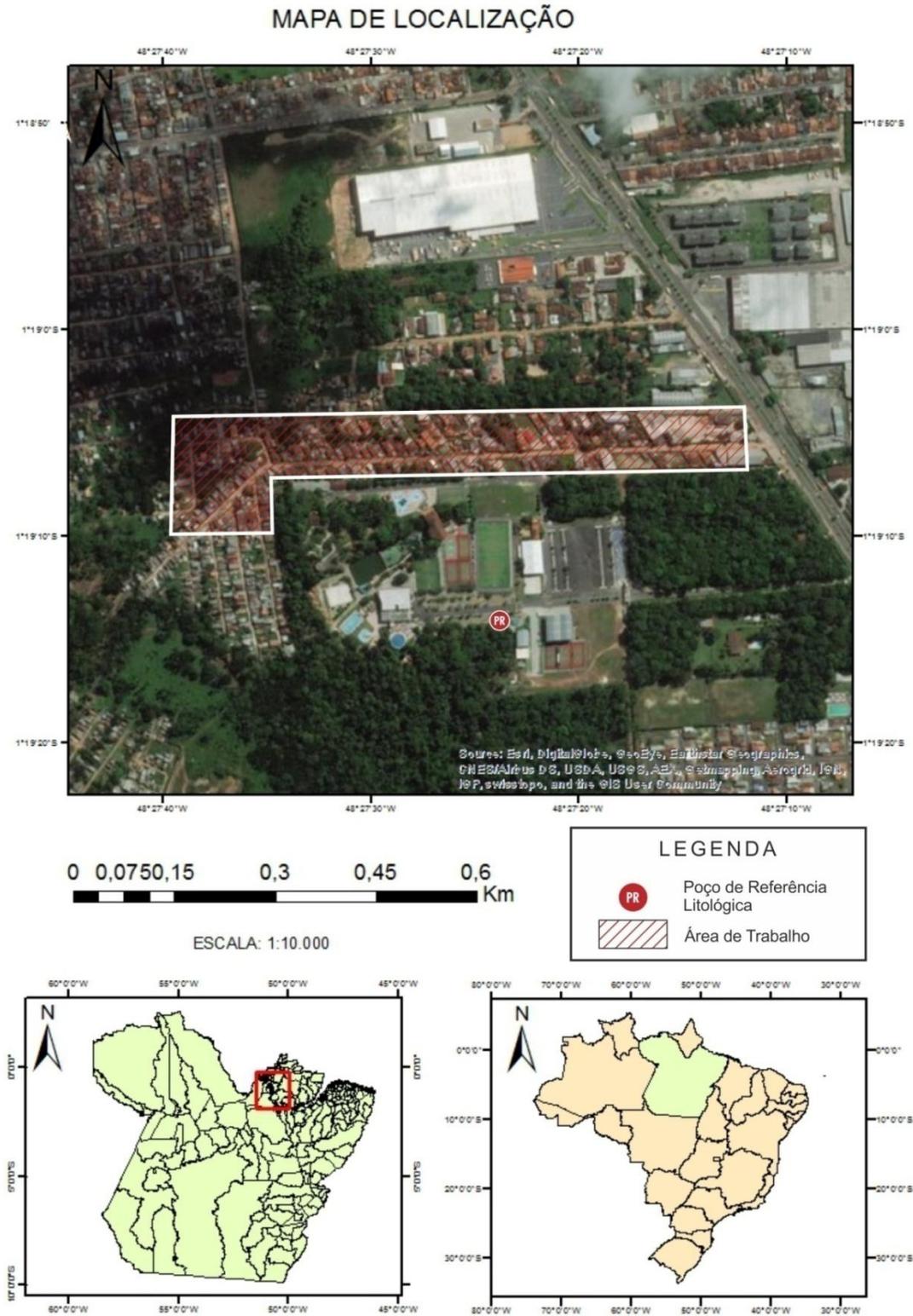
A falta de saneamento básico no local de estudo é bem marcante, apresentando esgotos a céu aberto, lixo e o abastecimento público de água é algo preocupante, pois ocorre de forma instável, levando a população residente a captar água de poços construídos sem nenhum critério técnico.

Figura 2: Área de estudo. A - Alameda das Palmeiras. B – Alameda Santa Rosa.



Fonte: Do autor (2016)

Figura 3: Mapa de localização da área de estudo no Distrito de Icoaraci-Pa.



5.2 Clima

O clima é quente e úmido com precipitação média anual alcançando os 2.834 mm. A temperatura média é de 25°C no mês de fevereiro e 26°C no mês de novembro. Está na zona climática Afi (classificação de Köppen), que coincide com o clima de floresta tropical, permanente úmido, sem estação fria e temperatura do mês menos quente, acima de 18°C. (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM, 2011).

De acordo com Bastos et al. (2002), os meses de dezembro a maio representam o período mais chuvoso tendo a precipitação provocada pela ITCZ-Zona de Convergência Intertropical. Os meses de junho a agosto compreendem o final do período chuvoso onde a ocorrência de chuvas se dá por efeitos locais. A fase de estiagem, em que a precipitação ocorre por fenômenos de mesoescala, é representada pelo período de setembro a novembro.

Segundo Nechet (1997), fatores como umidade elevada do ar, forte convecção e instabilidade, facilitam a formação de nuvens convectivas que originam precipitações em forma de pancadas especialmente no período da tarde, sendo uma peculiaridade de regimes de chuva continental.

5.3 Balanço hídrico

O balanço hídrico foi calculado de acordo com o método de Thornthwaite & Mather (1955), tendo como fundamento três componentes climáticos: evapotranspiração potencial, precipitação pluviométrica e temperatura, sendo estas duas últimas obtidas dos dados do INMET (2000).

Os valores de evapotranspiração potencial foram obtidos pela metodologia de Thornthwaite & Mather (1955) e para obtenção da capacidade da água disponível (CAD) foi considerado o valor de 100 mm.

O balanço hídrico tem como resultado os valores de cada mês do ano de deficiência hídrica (DEF), armazenamento de água no solo (ARM), evapotranspiração real (ETR) e o excedente hídrico (EXC) (Tabela 2).

Tabela 2: Balanço hídrico de Belém e região de acordo com Thornthwaite & Mather, a partir de médias mensais de temperatura e precipitação entre os anos de 1961 e 1990.

Mês	T	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Jan	25,6	385,5	123,7	261,8	0,0	100,0	0,0	123,7	0,0	261,8
Fev	25,4	412,5	108,7	303,8	0,0	100,0	0,0	108,7	0,0	303,8
Mar	25,5	447,1	122,0	325,1	0,0	100,0	0,0	122,0	0,0	325,1
Abr	25,6	353,4	119,7	233,7	0,0	100,0	0,0	119,7	0,0	233,7
Mai	25,8	305,5	127,1	178,4	0,0	100,0	0,0	127,1	0,0	178,4
Jun	26,0	155,3	126,4	28,9	0,0	100,0	0,0	126,4	0,0	28,9
Jul	25,7	155,5	125,4	30,1	0,0	100,0	0,0	125,4	0,0	30,1
Ago	26,0	126,4	130,6	-4,2	-4,2	95,8	-4,2	130,6	0,1	0,0
Set	26,0	144,8	126,4	18,4	0,0	100,0	4,2	126,4	0,0	14,2
Out	26,4	114,6	137,9	-23,3	-23,3	79,2	-20,8	135,4	2,5	0,0
Nov	26,5	118,2	135,2	-17,0	-40,3	66,8	-12,4	130,6	4,6	0,0
Dez	26,2	203,0	134,2	68,8	0,0	100,0	33,2	134,2	0,0	35,6
Ano	25,9	2921,8	1517,5	1404,3	.	.	0,0	1510,2	7,2	1411,6

T = Temperatura (°C)

P = Precipitação pluviométrica (mm)

ETP = Evapotranspiração potencial (mm)

NEG-AC = Negativo Acumulado (mm)

ARM = Armazenamento de água disponível (mm)

ALT = Alteração

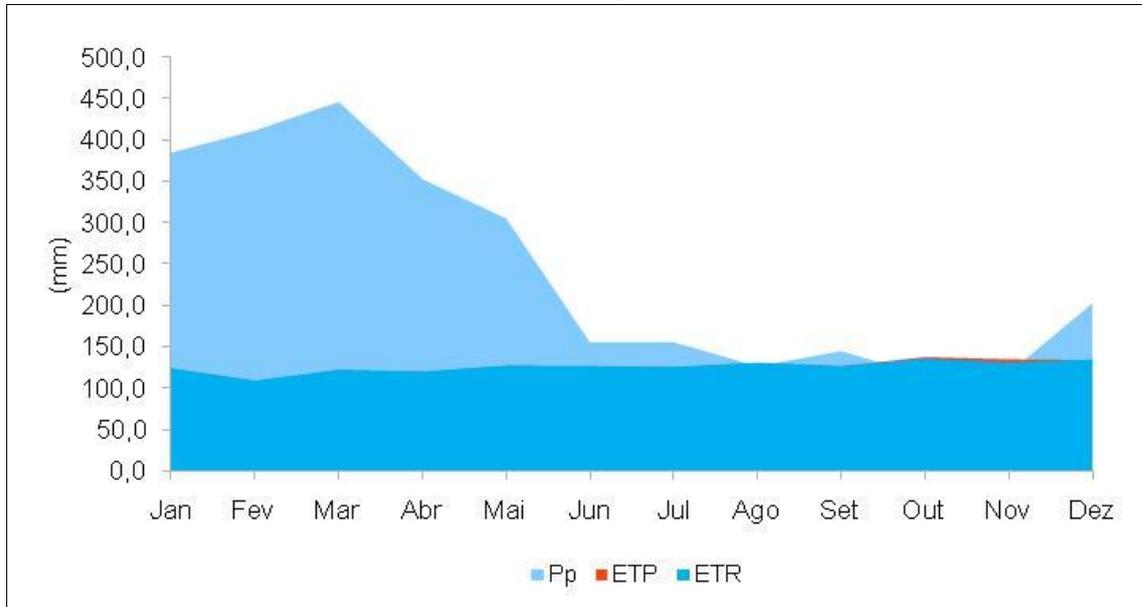
ETR = Evapotranspiração real (mm)

Def = Déficit hídrico (mm)

Fonte: Modificado de INMET (2000)

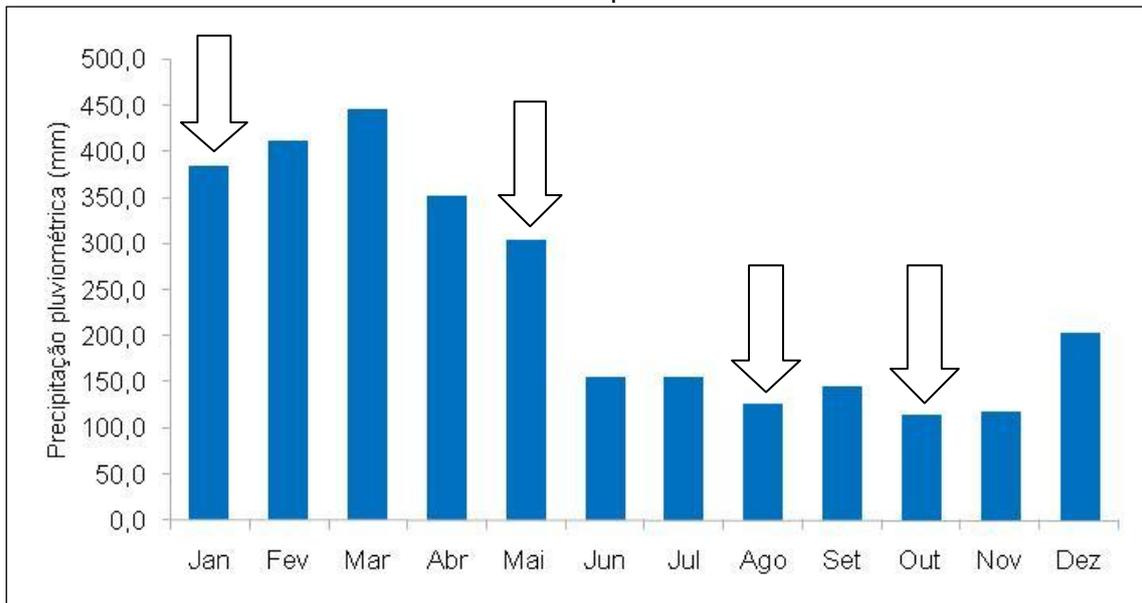
No período exposto, o balanço hídrico apontou um excedente hídrico entre os meses de janeiro a julho, e setembro a dezembro. Entretanto, constata-se uma deficiência hídrica no período de outubro a novembro (Figura 4 e Figura 5).

Figura 4: Balanço hídrico em Belém e região de acordo com Thornthwaite & Mather (1955), a partir de médias mensais de temperatura e precipitação entre os anos de 1961 e 1990. Pp (Precipitação mm), ETP (Evapotranspiração Potencial mm) e ETR (Evapotranspiração Real mm).



Fonte: Modificado de INMET (2000)

Figura 5: Médias de precipitação pluviométrica por mês (Pp) de Belém no período de 1961 a 1990 (INMET, 2000). As setas indicam os meses em que foram realizadas as coletas de campo.



Fonte: Modificado de INMET (2000)

5.4 Vegetação e solo

A floresta ombrófila domina os tratos marginais dos cursos d'água e as baixadas, onde prevalecem formações herbáceas, subarborescente e arbustiva. A cobertura vegetal compõe-se de floresta secundária ou capoeiras que substituíram a antiga floresta densa a partir do desmatamento na região (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM, 2011). No estuário, a floresta predominante é densa, com mata ciliar rica em “aninga” (*Montrichardia arborescens* Schott), “mururé” (*Eichhornia azurea* Kunth), “canarana” (*Panicum elephantipes* Nees), “ucuuba” (*Virola surinamensis* Warb), “açacu” (*Huracrepitans* L.), “açã” (*Euterpe oleracea* Mart), “buriti” (*Mauritia flexuosa* L.), helicônias, dentre outras (CORDEIRO, 1987; PINHEIRO, 1987).

O solo tem característica de latossolo amarelo distrófico com textura média, concrecionários lateríticos indiscriminados, textura indiscriminada; Gleieutrófico e distrófico, solos aluviais eutróficos, texturas indiscriminadas (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM, 2011).

5.5 Hidrologia

A região de Belém e Ananindeua localiza-se em uma típica região estuarina, correspondendo ao estuário Guajarinó (MATTA et al. 2010).

Segundo Moreira (1966), a Baía do Guajará faz parte do estuário amazônico, localiza-se na porção oeste de Belém e deságua nos rios Moju e Guamá. Com base no mesmo autor, a Baía do Guajará apresenta um formato alongado e encontra-se entre o continente e as ilhas das Onças, Cotijuba e Arapiranga, tendo comunicação com a Baía do Marajó. Como característica, as águas da Baía do Guajará apresentam turbidez devido à grande quantidade de material em suspensão, o que confere às águas o aspecto barrento e a coloração amarela-esverdeada, ocorrendo pouca penetração de luz (CORDEIRO, 1987). No sul do rio Guajará, encontra-se o rio Guamá, e suas águas barrentas mostram uma forte influência do estuário Guajarinó, com forte turvação, sendo que todo o curso inferior do rio Guamá, é influenciado pelas marés, fazendo com que as águas barrentas e turvas do estuário Guajarinó, invadam o rio Guamá (CASTRO, 2006). No entanto, Pinheiro (1987) afirma que a influência exercida pelas marés ocorre de forma mais acentuada

durante o período seco, contudo, no período chuvoso a maré salina não atinge o estuário Guajarino e o rio Guamá.

Adicionalmente, Gregório e Mendes (2009) frisam que a Baía do Guajará apresenta fundo irregular constituído por lama e areia, compondo bancos de sedimentos a partir de correntes de marés e correntes fluviais.

5.6 Geologia regional

5.6.1 Formação Pirabas

A formação Pirabas tem afloramento descontínuo nos Estados do Maranhão, Pará e Piauí e possui importante valor paleontológico da Era Cenozóica marinha no Brasil. No Pará, esta formação ocorre principalmente no litoral do nordeste do estado e tem como constituição predominante, rochas carbonáticas depositadas durante o Mioceno Inferior (MAURY, 1925; PETRI, 1957; FERREIRA, 1966; FERREIRA, 1982; FERNANDES, 1984; GÓES et al. 1990).

5.6.2 Grupo Barreiras

O Grupo Barreiras forma uma cobertura sedimentar terrígena continental e marinha (ARAI, 2006). Repousa sobre os depósitos marinhos cretácicos do Recôncavo Baiano (VILAS BOAS, 1996), bem como em Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Pará, Maranhão e Rio Grande do Norte (NUNES et al. 2011). Provavelmente, em função de sua pobreza em termos de minerais econômicos, estão mapeados abrangendo apenas desde o Estado do Rio de Janeiro até o Pará, onde penetra na Bacia Amazônica e se difunde falhadamente em direção à região Centro-Oeste, chegando ao Vale Paraíba do Sul em São Paulo e Médio Jequitinhonha em Minas Gerais (NUNES et al. 2011).

5.6.3 Sedimentos Pós-Barreiras

O nome Pós-Barreiras foi utilizado por Silva e Loewenstein (1968), para definir os depósitos de latossolos sobrepostos à Formação Barreiras.

Os Sedimentos Pós-Barreiras são divididos em três horizontes principais: Solo, Mosqueado e Pálido (ARAÚJO, 2001). De acordo com Costa et al. (1991), o Grupo Pós-Barreiras formou-se a partir de sedimentos do Grupo Barreiras, no início

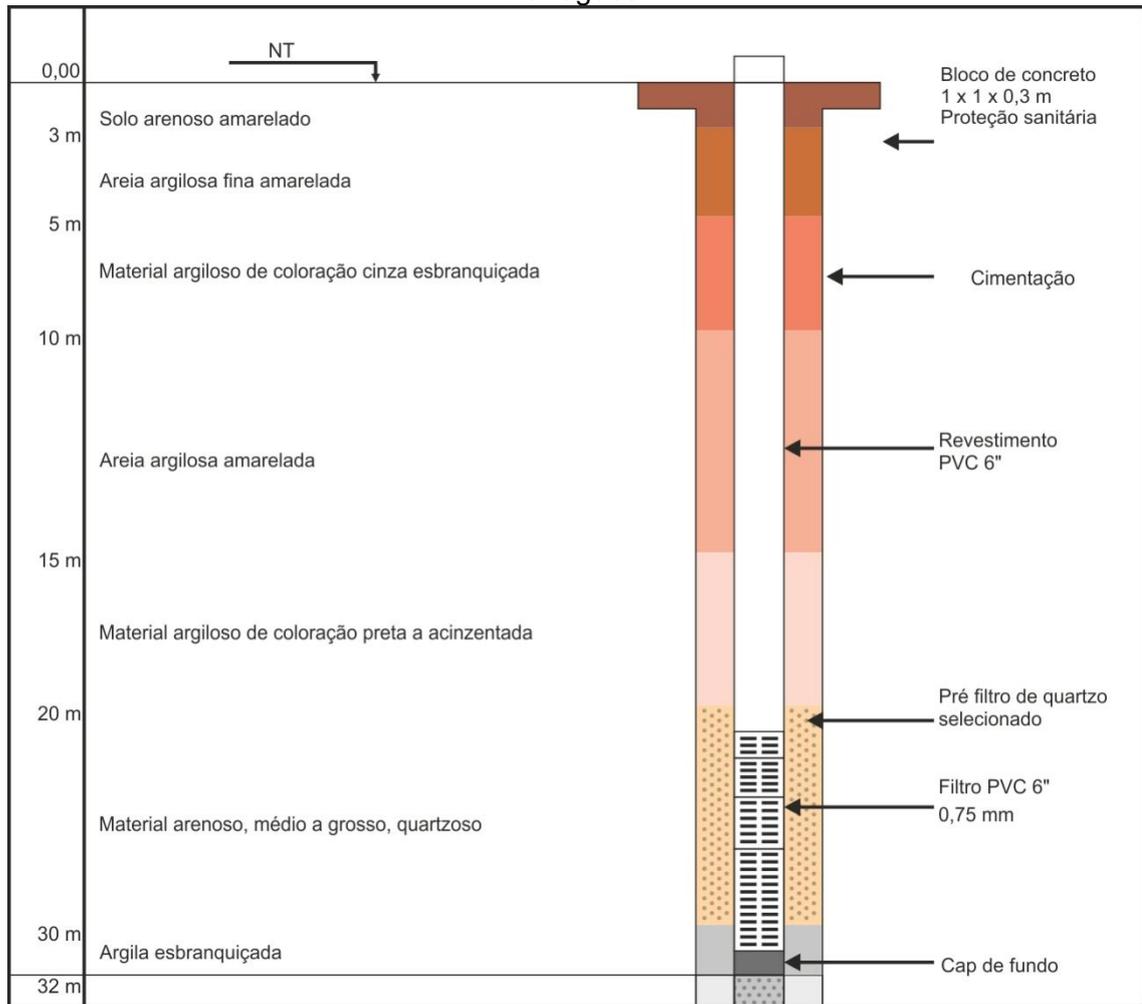
do Quaternário, quando a região passou por condições úmidas (Pleistoceno Inferior) coincidindo com a emersão do pacote sedimentar, como reação às movimentações tectônicas na fossa do Marajó.

O Pós-Barreiras é formado por sedimentos areno-argilosos, inconsolidados, com níveis pouco espessos de seixos de arenito ferruginoso (SÁ, 1969). A lixiviação *in situ* desses sedimentos teria originado as areias que ocorrem em vários pontos da região (SÁ, 1969). Além disso, devem ser citados também os sedimentos aluvionares holocênicos que de acordo com Rossetti et al. (1990), estão presentes em regiões costeiras, igarapés e rios.

As características litológicas da área de estudo são descritas como: solo arenoso amarelado, areia argilosa fina amarelada, material argiloso de coloração cinza esbranquiçada, areia argilosa amarelada, material argiloso de coloração preta a acinzentada, material arenoso médio a grosso quartzoso e argila esbranquiçada.

Esta caracterização quanto à profundidade, está representada na Figura 6 a partir do perfil esquemático do poço de referência litológica da área de estudo. Esse poço encontra-se na Região Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste II, Sub Região Hidrográfica (SBRH) Guamá, possui 32 metros de profundidade e capta águas do aquífero Pós-Barreiras.

Figura 6: Perfil esquemático do poço de referência litológica, localizado no Grêmio Literário Português.



Fonte: Modificado de Botêlho (2011).

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Pesquisa bibliográfica

O levantamento bibliográfico abrangeu a pesquisa de dados relacionados ao tema deste estudo com o intuito de dar embasamento ao trabalho, como: contaminação de águas subterrâneas rasas, saneamento básico, saúde pública, socioeconomia, potabilidade de águas subterrâneas segundo a Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde, informações da área de estudo e características físico-químicas e microbiológicas das águas subterrâneas rasas.

6.2 Cadastro e seleção dos poços

Realizou-se a ida de reconhecimento à área de trabalho. No local, foi realizada uma reunião com a comunidade evangélica da região, pastoreada pelo Pastor Raimundo Lourenço Cardoso, funcionário da CPRM. Na ocasião, a comunidade foi informada dos objetivos e métodos de abordagem do assunto e do apoio que a UFPA necessitaria para obter êxito na pesquisa, fator primordial para o sucesso ora alcançado.

Na área foram cadastrados 34 poços, sendo 6 do tipo manual e 28 tubulares. O georeferenciamento dos pontos cadastrados foi realizado através de GPS da marca GARMIN ETREX.

Além disso, durante o cadastramento foram aplicados dois tipos de formulários em campo, um para se obter informações básicas de características dos poços (Anexo 1) e outro para obtenção de dados dos aspectos socioeconômicos e ambientais (Anexo 2).

Para a realização de coletas e análises, foi selecionado o total de 15 poços, sendo 14 residenciais (11 tubulares e 4 manuais) e 01 poço tubular utilizado em uma escola municipal de educação infantil. A seleção dos poços foi feita de acordo com a facilidade de acesso e distribuição na área de pesquisa.

6.3 Trabalhos de campo

As coletas foram realizadas nos meses de Janeiro, Maio, Agosto e Outubro de 2016 para os aspectos físico-químicos, e as coletas direcionadas à detecção e contagem de bactérias *Escherichia coli* e coliformes totais ocorreram no mês de Janeiro. Todos os procedimentos de campo foram realizados de acordo com as instruções do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da CETESB (2012).

Durante os trabalhos de campo foram medidos o nível estático, a altura, o diâmetro da boca do poço e, com o auxílio de uma trena de 5 metros de comprimento, a distância entre poços e fossas, sendo estas consideradas como fontes potenciais de contaminação, no local de estudo. Foi utilizado um amostrador para a coleta de águas em poços manuais. Em poços tubulares, as coletas foram feitas em torneiras mais próximas.

As águas destinadas às análises físico-químicas foram coletadas em frascos de polietileno com capacidade de 01 litro. As amostras para análises bacteriológicas foram coletadas em sacos esterilizados com capacidade de 100 ml, usados especificamente para o método COLILERT. Ao longo do trabalho de campo houve o cuidado de utilizar luvas para procedimentos evitando a contaminação dos sacos e frascos de coleta.

As amostras foram etiquetadas, acondicionadas em caixa isotérmica de 45 L com gelotes e transportadas à Sessão de Meio Ambiente do Instituto de Pesquisas Evandro Chagas.

6.4 Análise de dados

Para as análises físico-químicas, os parâmetros pH e condutividade elétrica foram analisados por potenciometria, através de uma sonda multiparamétrica *Professional Plus* YSI®, previamente calibrada. Para os íons Nitrito (N-NO₂), Nitrato (N-NO₃), Nitrogênio Amoniacal (N-NH₃), Cloreto (Cl⁻), Sódio (Na⁺) o método utilizado foi o de cromatografia de íons em ICS2100DUAL (DIONEX®, USA).

As análises bacteriológicas foram feitas através do método de substrato cromogênico COLILERT 18/QUANTI-TRAY®, da IDEXX Laboratories, Inc.® que determina a presença ou ausência de coliformes totais e *Escherichia coli* assim como o número mais provável (NMP/100 ml).

As metodologias têm como base o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA/AWWA/WEF, 2012).

Para a elaboração de mapas de fluxo hídrico, isotores e isovalores, foi utilizado o software Surfer 11 (Golden Software). O programa utilizado para a confecção de diagramas de Piper para representar a classificação das águas subterrâneas rasas coletadas foi o AQUACHEM 2011 e para gerar os gráficos de variação sazonal dos parâmetros, foi utilizado o Microsoft Excel 2007. Para a análise estatística de correlação entre os parâmetros estudados foi utilizado o método de Pearson através do software Statistica 7.

7 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS RASAS

Os endereços dos poços estudados estão expressos na Tabela 3. A Figura 7 mostra a localização e distribuição dos poços dentro da área de trabalho.

Os resultados das análises das águas subterrâneas estudadas nos períodos chuvoso (Janeiro/2016 e Maio/2016) e menos chuvoso (Agosto/2016 e Outubro/2016) estão expostos nas Tabelas 4, 5, 6 e 7.

Tabela 3: Identificação dos pontos de amostragem de águas subterrâneas rasas, no bairro Parque Guajará.

Poço	Endereço
1	Alameda das Palmeiras s/nº
2	Alameda das Palmeiras nº 268
3	Alameda das Palmeiras nº 319
4	Alameda Carlos Gomes nº 500
5	Alameda das Palmeiras nº 532
6	Alameda Carlos Gomes nº 23
7	Alameda das Palmeiras nº 1000
8	Rua Carlos Gomes nº 6
9	Alameda das Palmeiras nº 583
10	Alameda das Palmeiras nº 740
11	Rua Belo Horizonte nº 04
12	Rua Belo Horizonte nº 10 A
13	Alameda das Palmeiras nº 07
14	Alameda Santa Rosa nº 95
15	Alameda das Orquídeas nº 13

Figura 7: Mapa de localização dos poços amostrados.

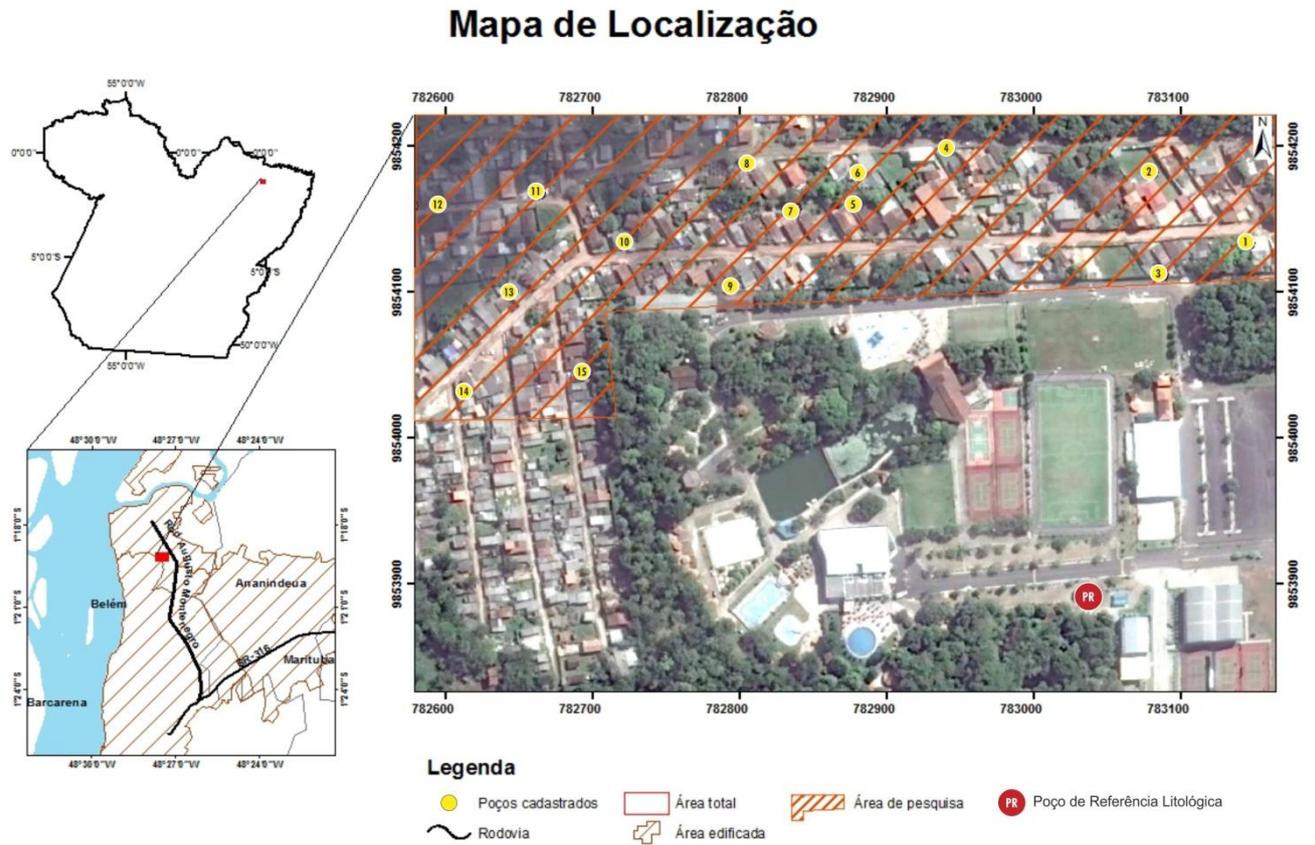


Tabela 4: Resultados dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos analisados no período chuvoso (Janeiro/2016).

Poço	pH	C.E (µs/cm)	Cl ⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	C. totais (100ml)	E. coli (100ml)	N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)
1	4,36	113,00	3,48	11,65	17,50	<1		31,25	
2	4,34	131,00	4,23		>2419,6	>2419,6		34,45	0,65
3	4,32	95,00	3,16	6,43	<1	<1		22,17	
4	5,38	42,00	1,55	2,95	<1	<1		7,39	
5	4,56	62,00	2,31	5,52	<1	<1		10,96	0,07
6	4,65	34,00	1,41	2,45	31,70	<1		7,23	
7	4,58	86,00	3,36	5,75	<1	<1		16,13	0,54
8	5,98	109,00	3,39	8,86	61,30	<1		16,09	6,01
9	5,15	193,00	2,96	13,00	1553,10	48,70		36,78	
10	4,31	116,00	4,81	7,96	14,80	<1		19,00	0,20
11	6,44	86,00	0,40	0,78	>2419,6	920,80		11,53	
12	5,74	148,00	5,30	16,58	23,10	3,10	0,40	20,97	2,46
13	4,96	503,00	24,82		86,90	11,90		21,89	1,44
14	4,98	150,00	5,40	15,25	<1	<1		17,08	2,03
15	4,92	80,00	4,39	10,87	<1	<1		4,69	0,26

Tabela 5: Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no período chuvoso (Maio/2016).

Poço	pH	C.E (µs/cm)	Cl ⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)
1	4,05	149,00	5,13	15,09	0,00	41,00	0,00
2	3,93	220,00	3,70	10,68	0,00	64,03	0,00
3	4,21	139,00	5,00	18,03	0,00	43,40	0,00
4	5,30	79,00	3,46	12,23	0,00	17,41	0,00
5	4,37	151,00	6,18	16,23	0,00	33,87	2,27
6	4,38	85,00	3,58	9,79	0,00	26,21	0,69
7	4,61	87,00	3,43	10,25	0,00	15,68	0,00
8	5,84	103,00	3,90	8,73	0,00	20,44	4,40
9	4,70	108,00	2,48	8,31	0,00	16,92	0,00
10	4,37	147,00	6,33	18,85	0,00	30,61	0,00
11	6,19	77,00	0,66	0,52	0,00	3,71	0,00
12	4,73	146,00	5,87	17,52	0,00	26,64	2,14
13	5,47	488,00	20,06	65,45	0,00	43,49	0,00
14	4,51	148,00	6,00	17,74	0,00	36,22	2,25
15	4,68	83,00	4,14	9,27	0,00	6,80	0,00

Tabela 6: Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no período menos chuvoso (Agosto/2016).

Poço	pH	C.E (µs/cm)	Cl ⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)
1	3,95	150,0	4,56	8,07	0,00	25,82	0,00
2	4,15	135,0	2,88	4,39	0,19	29,60	0,00
3	4,09	119,0	3,60	2,20	0,15	21,71	0,00
4	5,62	86,0	1,57	4,42	0,00	8,77	0,00
5	4,27	139,0	3,98	6,83	0,00	22,55	2,47
6	4,29	84,0	2,64	7,21	0,00	15,54	0,72
7	4,39	100,0	3,53	8,91	0,00	17,15	0,00
8	4,97	124,0	3,16	7,45	0,26	18,32	4,59
9	4,60	102,0	1,66	12,69	0,00	8,66	0,00
10	4,71	114,0	4,19	4,01	0,44	15,34	0,36
11	6,09	98,0	0,96	2,77	0,00	2,34	0,00
12	5,82	177,0	4,53	4,32	0,16	0,91	2,23
13	4,56	471,0	19,71	2,72	0,17	30,79	0,00
14	4,55	161,0	7,11	2,84	0,00	23,18	2,47
15	4,43	65,0	3,22	6,06	0,15	5,23	0,35

Tabela 7: Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no período menos chuvoso (Outubro/2016).

Poço	pH	C.E (µs/cm)	Cl ⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)
1	4,08	143,00	13,53	14,44	0,00	28,09	0,00
2	4,23	175,00	10,98	9,47	0,00	35,31	0,00
3	4,04	130,00	10,37	10,93	0,00	21,70	0,00
4	5,61	136,00	7,71	5,62	0,00	10,25	0,00
5	4,55	121,00	10,27	10,83	0,00	19,32	0,51
6	4,50	86,00	8,67	8,39	0,00	12,66	0,00
7	4,50	110,00	12,65	13,22	0,00	17,56	0,00
8	6,03	165,00	12,49	10,49	0,00	16,21	4,49
9	4,76	124,00	5,10	7,69	0,00	9,07	0,00
10	4,26	134,00	14,64	14,17	0,00	19,26	0,00
11	6,42	133,00	3,70	2,77	0,00	1,91	0,00
12	4,13	162,00	13,64	12,20	0,00	17,55	0,00
13	4,89	527,00	68,46	68,41	0,00	33,82	0,01
14	4,52	188,00	21,83	19,26	0,00	21,04	1,58
15	4,60	77,00	10,72	8,21	0,00	5,85	0,00

7.1 Relação poço/fossa

Informações básicas sobre as características dos poços estudados, neste trabalho, foram coletadas através de um formulário aplicado em campo e estão expressas na Tabela 8.

Tabela 8: Características dos poços estudados e distância da fonte contaminante.

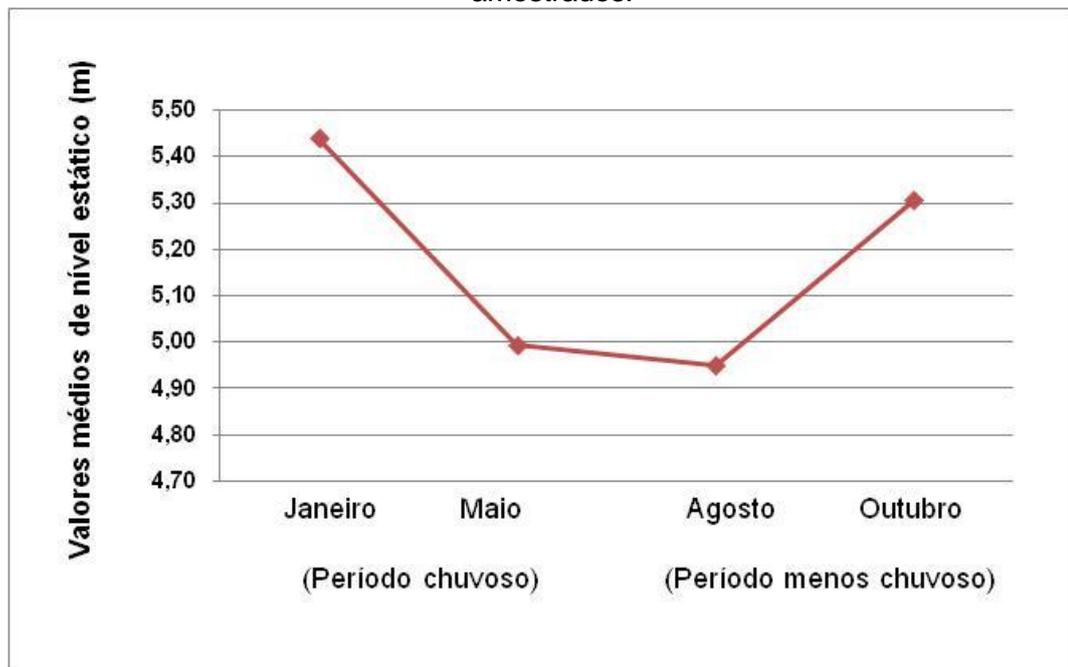
Poço	Tipo de poço	Profundidade estimada (m)	Distância fossa (m)
1	Tubular	20	18
2	Manual	11	11,39/ 28*
3	Tubular	18	15
4	Tubular	24	12
5	Tubular	18	20
6	Tubular	18	12
7	Tubular	18	15
8	Tubular	18	13
9	Manual	13	7
10	Tubular	18	5,5
11	Manual	6	20
12	Tubular	18	20
13	Manual	7	10
14	Tubular	18	9,8
15	Tubular	18	15

*Na residência existem 2 fossas próximas ao poço

A distância entre poços e fossas apresenta uma variação de 5,5 a 28 metros e a profundidade estimada dos poços varia de 6 a 24 metros.

O nível estático dos poços estudados foi obtido em cada coleta de campo, através de um medidor de nível elétrico e apresentou valores médios que variaram de 5,44 a 4,99 metros, no período chuvoso (janeiro e maio) e de 4,95 a 5,30 metros, durante o período menos chuvoso (agosto e outubro) (Figura 8).

Figura 8: Valores médios da variação sazonal de nível estático por períodos amostrados.



7.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BACTERIOLÓGICOS

7.2.1 pH

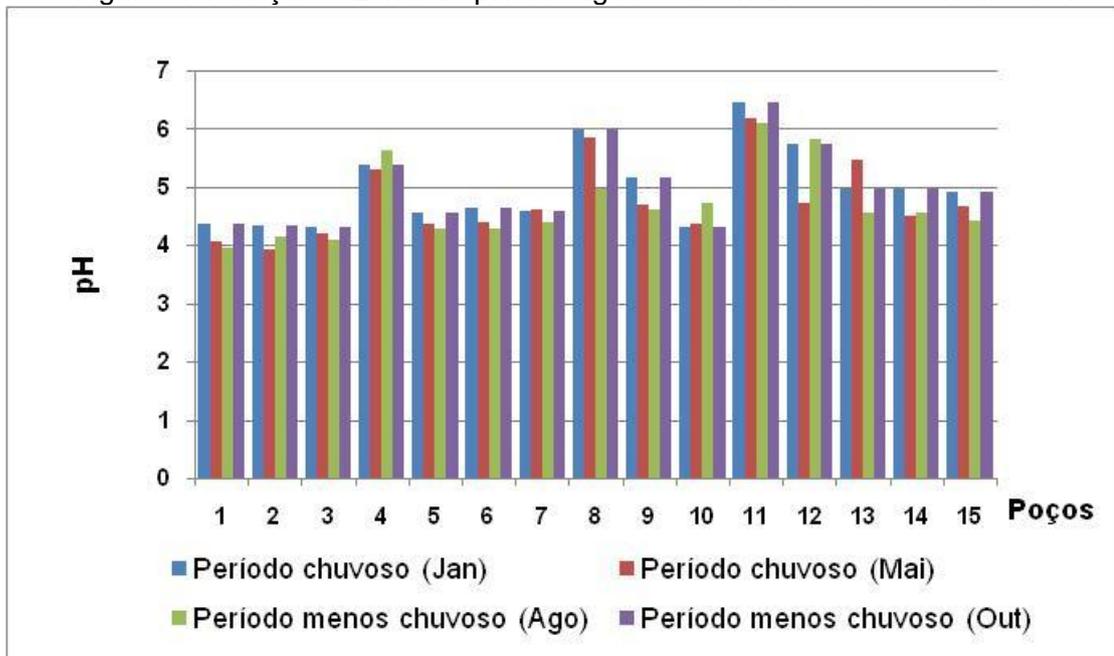
O pH das águas coletadas durante o período chuvoso (janeiro e maio), apresentou variação de 3,93 (poço 2) a 6,44 (poço 11), e uma média de 4,81. No período menos chuvoso (agosto e outubro), os valores de pH variaram de 3,95 (poço 1) a 6,42 (poço 11), com média de 4,74. Enquanto o período chuvoso apresentou valores maiores de pH, o período menos chuvoso teve valores menores.

Em estudo da qualidade de águas do aquífero do Grupo Barreiras na região de Belém, Oliveira Filho (2012) obteve resultados de pH que variaram de 4,3 a 6,2. Já em estudo feito por Bahia et al. (2008) em um bairro de Belém, o pH apresentou uma variação de 4,63 a 5,51.

Sobre valores de pH, Brasil (2012) afirma que este parâmetro, fora do limite recomendado, não torna a água imprópria para ser consumida. De acordo com Matta (2002), o pH ácido é típico das águas amazônicas e isto se dá pela cobertura vegetal densa que, a partir de sua decomposição nos solos, gera ácidos orgânicos que apresentam grupos carboxílicos (-COOH), que dissociam, liberando H^+ , e reduzindo o pH das águas.

A Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde estabelece que os valores de pH de águas destinadas ao consumo humano estejam entre 6,0 e 9,5. Portanto, com exceção do poço 11, que exibiu valores dentro do limite estabelecido pela legislação, em todos os períodos amostrados o pH apresentou-se ácido (Figura 9).

Figura 9: Variação sazonal de pH das águas subterrâneas rasas analisadas.



7.2.2 Cloreto (Cl^-)

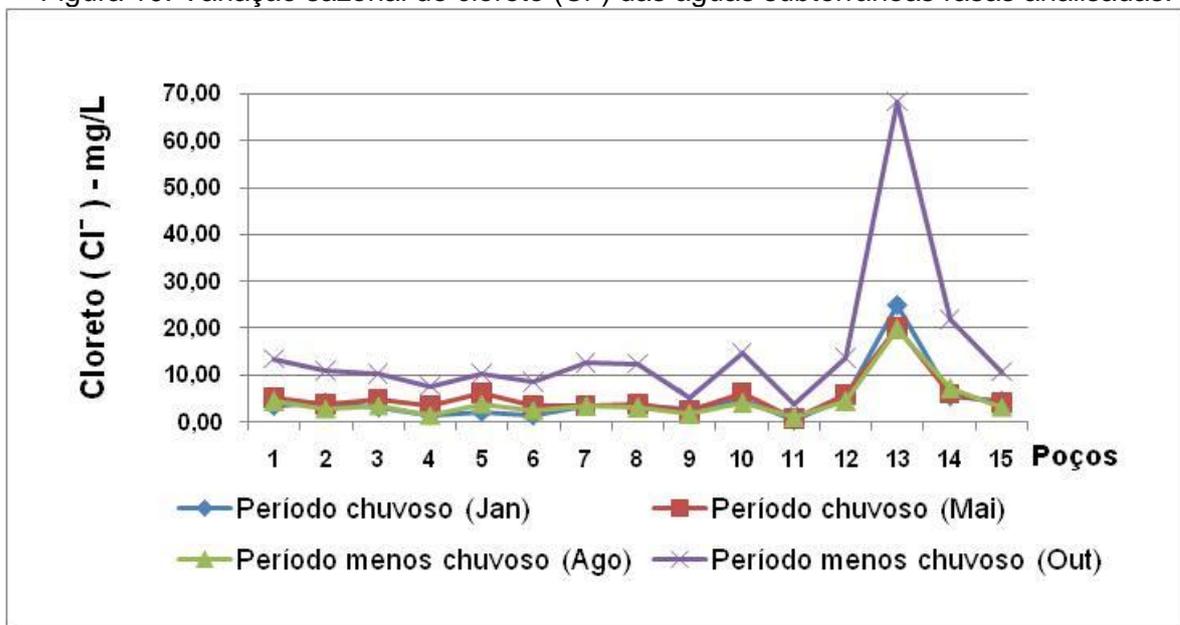
De acordo com Feitosa et al. (2008), os cloretos ocorrem em águas naturais, apresentando valores entre 10 e 250 mg/L, assim como são encontrados em grandes quantidades em águas marinhas, chegando a exibir valores entre 18.000 e 21.000 mg/L.

Segundo FUNASA (2007), os cloretos são encontrados em dejetos animais, por isso servem como indicadores de poluição orgânica. Feitosa et al. (2008) afirma que o cloreto também é bom indicador de poluição relacionada a lixões e aterros, assim como Matta (2002) também afirma que a presença de altas concentrações de cloreto em águas subterrâneas é típica de ações antropogênicas, como por exemplo, efluentes industriais e esgotos domésticos. Ainda, com base em Feitosa et al. (2008), o cloreto em geral possui teores abaixo de 100 mg/L, em águas subterrâneas.

As águas subterrâneas rasas amostradas durante o período chuvoso, apresentaram valor mínimo de 0,4 mg/L e valor máximo de 24,82 mg/L, com média de 5,33 mg/L. No período menos chuvoso, foram verificados valores que variaram entre 0,96 mg/L e 68,46 mg/L, com valor médio de 14,98 mg/L.

O Ministério da Saúde por meio da Portaria 2.914/11, recomenda que em águas para consumo humano, os teores de cloreto não devem ultrapassar a 250 mg/L. Portanto, nenhuma amostra exibiu valores acima do máximo permitido (Figura 10).

Figura 10: Variação sazonal de cloreto (Cl^-) das águas subterrâneas rasas analisadas.



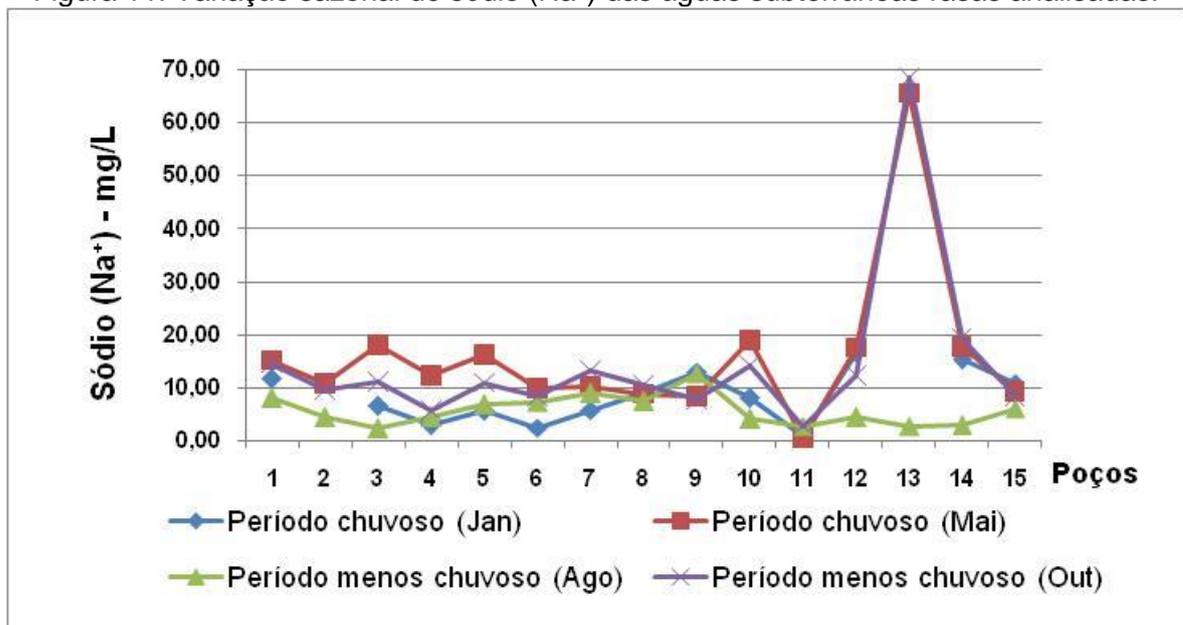
7.2.3 Sódio (Na^+)

Com base em Feitosa et al. (2008), o sódio caracteriza-se como um metal alcalino abundante em águas subterrâneas, onde geralmente tem uma concentração que varia entre 0,1 mg/L a 100 mg/L, além de ser o maior responsável por elevar os teores de salinidade em águas naturais.

Durante o período chuvoso (janeiro e maio) foram verificados nas águas subterrâneas estudadas, um valor mínimo e máximo de 0,00 e 65,45mg/L respectivamente, e média de 15,91 mg/L. No período menos chuvoso (agosto e outubro) os teores de sódio variaram entre 2,2 mg/L e 68,41mg/L, com valor médio de 14,41 mg/L. No poço 13 os teores de sódio apresentaram comportamento diferenciado quando comparados aos demais poços, pois exibiu picos em sua concentração em dois meses amostrados. O aumento nos teores de sódio neste poço acompanhou a elevação dos teores de cloreto. De acordo com Paranhos (2010), a presença de sódio em águas subterrâneas está associada ao cloreto, explanando desta forma, o sincronismo entre estes dois parâmetros.

A Portaria 2.914/11 recomenda que os teores de sódio em águas para consumo humano não ultrapassem a 200 mg/L. Todos as águas apresentaram valores dentro do limite estabelecido (Figura 11).

Figura 11: Variação sazonal de sódio (Na^+) das águas subterrâneas rasas analisadas.



7.2.4 Condutividade elétrica (CE)

De acordo com Matta (2002), a análise da condutividade elétrica representa o grau de mineralização iônica de águas que está relacionada ao grau de potabilidade para o consumo humano.

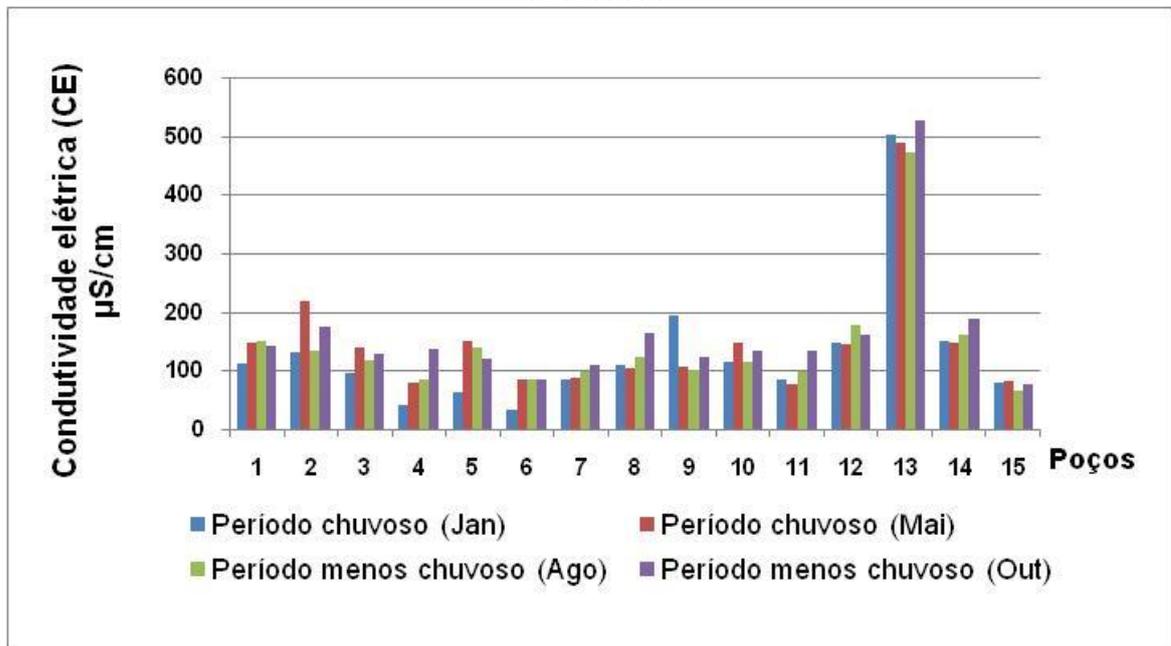
Não há valores estipulados quanto à condutividade elétrica na Portaria 2.914/11, porém, de acordo com CETESB (2009), valores que ultrapassem 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ estão relacionados a ambientes impactados negativamente.

A condutividade elétrica das águas analisadas variou entre 34 e 527 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O período chuvoso (janeiro e maio) apresentou valores de 34 a 503 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e valor médio de 147,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de condutividade elétrica. No período menos chuvoso (agosto e outubro), foram obtidos valores entre 65 e 527 $\mu\text{S}/\text{cm}$ com média de 160,73 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de condutividade elétrica. O aumento dos valores de condutividade elétrica durante o período menos chuvoso pode estar associado à concentração de sais dissolvidos nas águas amostradas.

Em pesquisa sobre a caracterização da qualidade de águas subterrâneas na bacia hidrográfica do Utinga, em Belém, Bahia et al. (2008) encontrou valores de condutividade elétrica entre 39,5 a 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante o período menos chuvoso. Carvalho et al. (2015) durante estudo feito em bairros de Belém revelou resultados de condutividade elétrica de águas subterrâneas rasas com variação de 45 a 340 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso. De acordo com este autor, o aumento da condutividade elétrica em águas aponta altos teores de sais ionizados dissolvidos.

O poço 13 foi o que exibiu os maiores valores de condutividade elétrica em todas as coletas (mínimo de 471 e máximo de 527 $\mu\text{S}/\text{cm}$) destacando-se aos demais poços estudados (Figura 12). O aumento da condutividade elétrica do poço 13 coincidiu com os valores mais elevados de sódio nos meses de maio e outubro de 2016, e cloreto durante todos os períodos amostrais. A partir de pesquisa realizada em águas subterrâneas rasas em Belém, Cabral (2006) obteve resultados que mostraram o aumento destes três parâmetros de forma simultânea e refere-se a esta relação como procedente de contaminação por efluentes domésticos. O poço 13 apresenta apenas 7 metros de profundidade e encontra-se a 10 metros de distância de fossa, e essas características deixam-no propício a contaminação.

Figura 12: Variação sazonal de condutividade elétrica (CE) das águas subterrâneas rasas analisadas.



7.3 Compostos nitrogenados

Além de ser fortemente encontrado na natureza, na forma de proteínas e outros compostos orgânicos, o nitrogênio tem uma significativa origem antropogênica, principalmente em decorrência do lançamento em corpos d'água de despejos domésticos, industriais e de criatórios de animais, assim como de fertilizantes (FUNASA, 2014).

Os nitrogênios presentes em águas residuárias domésticas provem da atividade humana. O material fecal contribui com nitrogênio orgânico através das proteínas. Esta por sua vez, sofre a ação decompositora bacteriana com consequente liberação de nitrogênio amoniacal (NAVAL; COUTO, 2005).

O estudo e detecção de compostos de nitrogênio em águas usadas para consumo humano são importantes para o controle da saúde pública e para o entendimento do nível de degradação do meio ambiente. Neste contexto, Alaburda e Nishihara (1998) afirmam que os compostos nitrogenados em seus diferentes estados de oxidação, estão entre as substâncias que podem colocar a saúde humana em risco. FUNASA (2007) esclarece que os compostos de nitrogênio têm

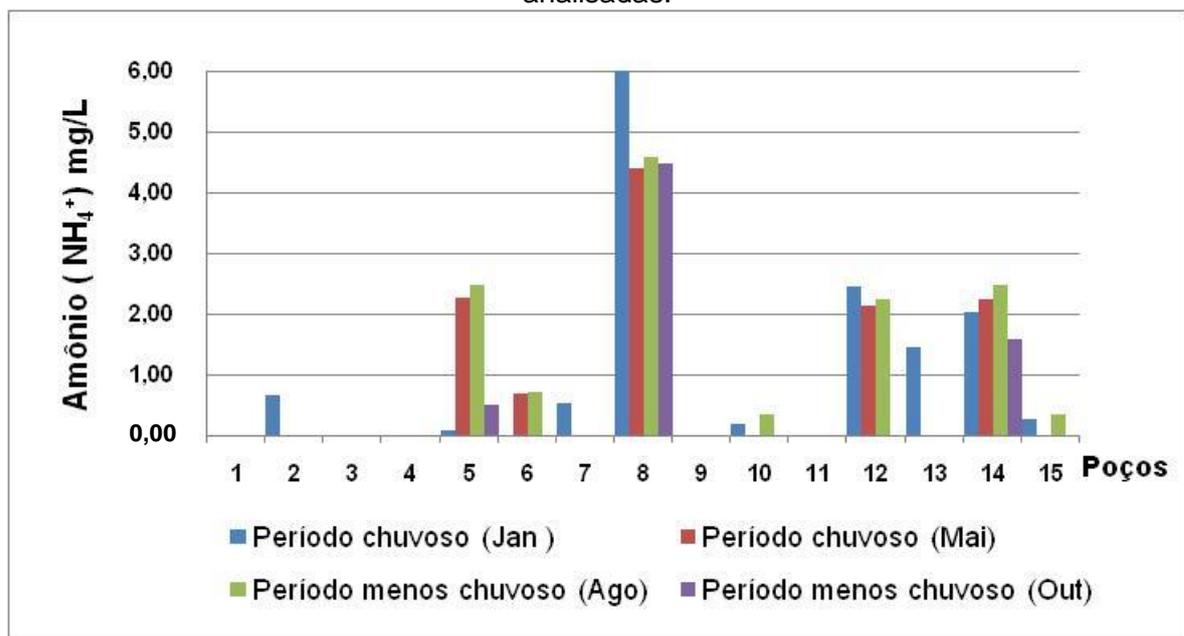
como origem a matéria orgânica e sua detecção aponta poluição recente ou antiga, e quanto mais oxidados, mais antiga é a poluição.

7.3.1 Amônio (N-NH_4^+)

Com base em Bernice (2010), em fossas sépticas 75% do nitrogênio encontram-se na forma amoniacal e 25% na forma orgânica, denotando que o amônio é o estado predominante do nitrogênio que atinge a subsuperfície. Ele pode ser descarregado diretamente na fossa ou ser transformado a amônio por meio da conversão do nitrogênio orgânico, dentro do sistema de disposição de efluentes (BERNICE, 2010 apud CANTER; KNOX, 1988).

Os teores de amônio durante o período chuvoso variaram de 0,00 mg/L a 6,01 mg/L, com média de 0,91 mg/L. Já no período menos chuvoso, os valores de amônio apresentaram um valor médio de 0,88 mg/L e variação de 0,0 mg/L a 4,59 mg/L. As águas subterrâneas rasas amostradas apresentaram maiores teores de amônio durante o período chuvoso (Figura 13). De acordo com Araújo (2001), o aumento nos valores de amônio em águas subterrâneas durante o período chuvoso pode estar relacionado à elevação do lençol freático, tornando-o mais próximo de fossas, que são fontes geradoras de amônio.

Figura 13: Variação sazonal de amônio (N-NH_4^+) das águas subterrâneas rasas analisadas.



De acordo com a Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagens de Águas – APDA (2013), a presença de amônio em águas destinadas ao consumo humano não prejudica a saúde humana, por isso a Organização Mundial de Saúde - OMS não estipula valores máximos para este composto. A Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde também não estabelece valores máximos permitidos para este parâmetro. Contudo, Cabral (2007) frisa que a alta concentração de amônio (N-NH_4^+) em águas já representa um indicativo de que pode ocorrer oxidação para nitrato (N-NO_3^-), resultando no processo de nitrificação, assim como Custódio e Llamas (1976), afirmam que em águas subterrâneas, concentrações de amônio acima de 0,06 mg/L já apontam contaminação, pois a elevação no teor deste elemento, sinaliza a interferência de fatores como fossas, esgotos domésticos, lixo, rejeitos de origem industrial ou fertilizantes agrícolas.

Os valores de amônio (N-NH_4^+) foram mais acentuados no poço 08 e está associada ao despejo de lixo doméstico ao redor do poço e criação de aves, além de sua proximidade à fossa, que corresponde a 13 metros de distância.

7.3.2 Nitrito (N-NO_2^-)

Segundo Gadelha et al. (2005), o nitrito é um parâmetro simples, porém muito relevante quanto à verificação da qualidade de águas destinadas ao consumo, pois a detecção de sua presença, aponta contaminações recentes, com procedência de material orgânico animal ou vegetal. Além disso, pode ser identificado como consequência de decomposição biológica por ação de microrganismos, ou até mesmo, oriundo de ativos inibidores de corrosão em instalações de indústrias.

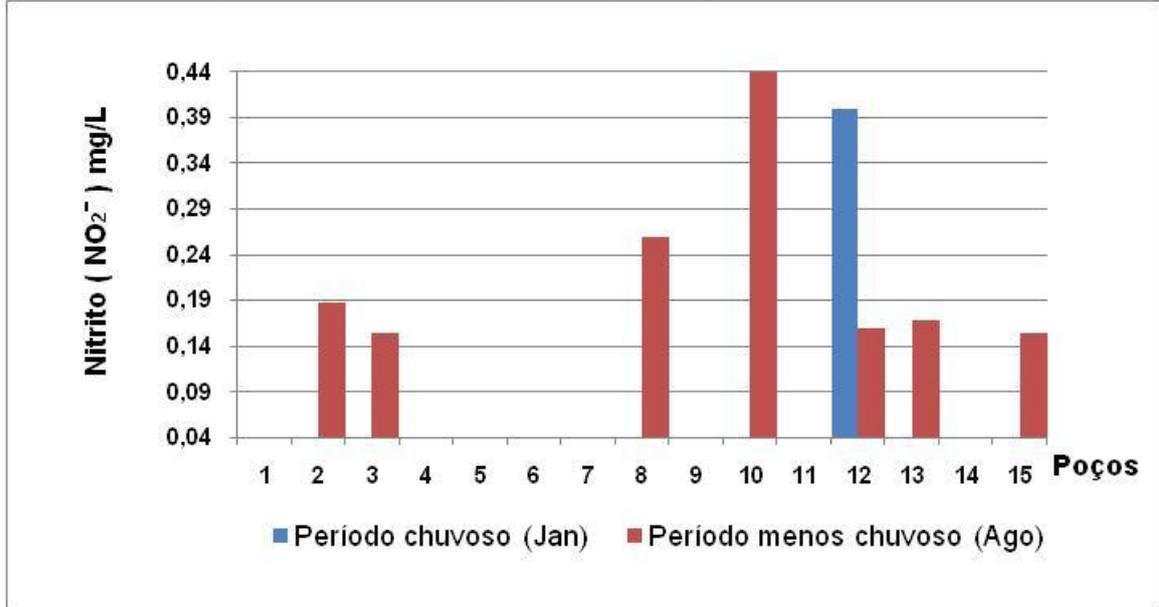
Os teores de nitrito (N-NO_2^-) foram baixos em todos os poços com valor médio de 0,10 mg/L. O período menos chuvoso (agosto), apresentou resultados que variaram de 0,15 mg/L a 0,44 mg/L. Já no período chuvoso (janeiro), apenas o poço 12 exibiu valores significantes de nitrito (N-NO_2^-) com um resultado de 0,40 mg/L (Figura 14).

De acordo com Gadelha et al. (2005), o nitrito (N-NO_2^-) representa uma condição intermediária do nitrogênio no processo de oxidação da amônia à nitrato (N-NO_3^-), assim como, pela redução de nitrato (N-NO_3^-). Portanto, a detecção de

baixa concentração de nitrito nas amostras das águas subterrâneas rasas estudadas já era esperada, visto que este composto apresenta um comportamento instável.

A Portaria 2.914/11 recomenda que os teores de nitrito (N-NO_2^-) em águas para consumo não devem ultrapassar a 1 mg/L, deste modo, conclui-se que nenhuma amostra analisada apresentou valores acima do máximo permitido.

Figura 14: Variação sazonal de nitrito (N-NO_2^-) das águas subterrâneas rasas analisadas.



Vale observar que o poço 12 está localizado em área utilizada por animais domésticos, como cães, que urinam e defecam às suas proximidades. Quanto ao poço 10, encontra-se a 5,5 m de fossa e localiza-se em área que abriga criação de aves domésticas. No terreno em que se localiza o poço 8 há criação de aves domésticas, cães, despejo de lixo, além de encontrar-se a 13 m de fossa.

7.3.3 Nitrato (N-NO_3^-)

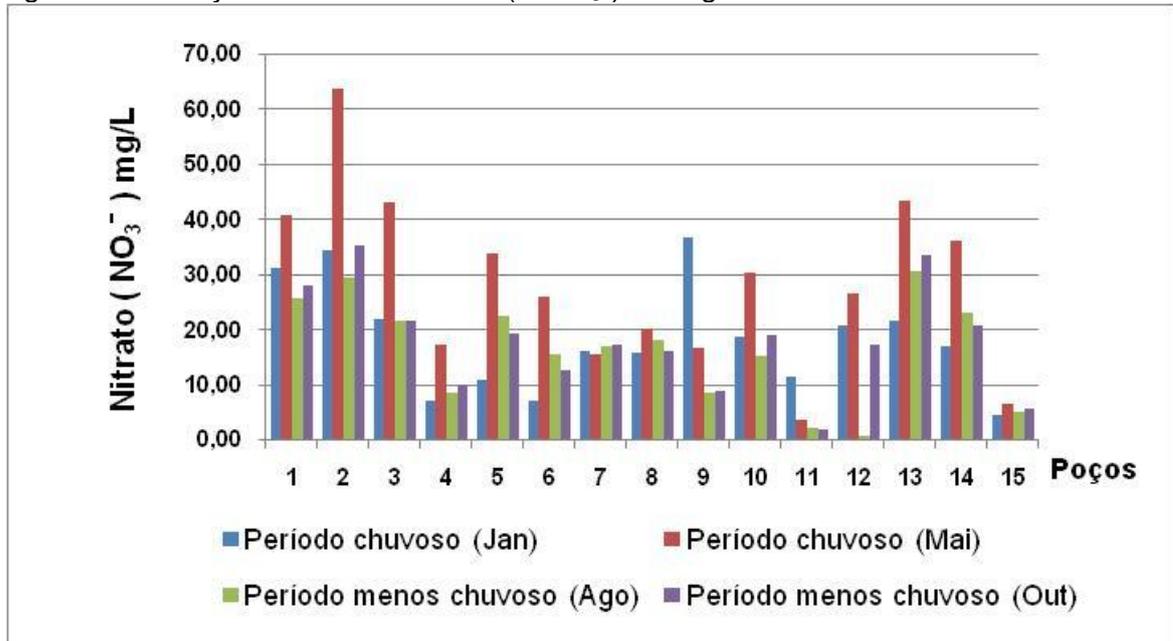
Segundo Brasil (2006) o nitrato é o poluente que apresenta maior frequência em águas subterrâneas. Franca (2006) atribui a origem de nitrato em águas subterrâneas a partir do uso de fertilizantes nitrogenados e inorgânicos com proveniência de esterco animal, interferência de esgoto doméstico, deposição atmosférica, lixiviação de regiões agrícolas e lixões. Ainda, sobre fontes de contaminação de aquíferos por nitratos, Biguelini e Gumy (2012) frisam que fossas e

valas negras, que representam sistemas de saneamento *in situ*, destacam-se como as mais comuns. Os valores de nitrato (N-NO_3^-), durante o período menos chuvoso (agosto e outubro), apresentaram variação de 0,91 mg/L a 35,31 mg/L, com média de 17,97 mg/L. O período chuvoso (janeiro e maio) exibiu os teores de nitrato (N-NO_3^-), mais expressivos com valores mínimo e máximo de 3,71 mg/L e 64,03 mg/L respectivamente, e média de 28,43 mg/L. De acordo com Araújo (2001), no período chuvoso ocorre a elevação do lençol freático, propiciando a proximidade de sistemas de saneamento *in situ*, contribuindo para o aumento dos índices de nitrato. O mês de maio foi o que apresentou valores mais elevados, tendo como destaque o poço 2 (64,03 mg/L), o que pode ser atribuído à presença de duas fossas à sua proximidade.

O poço 13 também se destacou por apresentar altos teores de nitrato (N-NO_3^-), com valores mais expressivos nos meses de maio e outubro. Percebe-se que a elevação de N-NO_3^- durante o mês de outubro acompanhou o aumento da condutividade elétrica e dos íons Na^+ e Cl^- . Esta relação deixa explícita a influência de fossas nas águas desse poço. Foster et al. (2006) refere-se às fossas como sistemas que viabilizam a percolação de efluentes no solo a partir de sua lixiviação provocada pela água da chuva, facilitando a infiltração destes efluentes.

O Ministério da Saúde por meio da Portaria 2.914/11 estabelece o valor máximo permitido de 10 mg/L para nitrato (N-NO_3^-). Portanto, grande parte das amostras apresentou valores acima do máximo permitido (Figura 15), o período chuvoso com 80% e 86,67% (janeiro e maio respectivamente) e o período menos chuvoso que corresponde aos meses de agosto e outubro 66,67% e 80% das amostras, respectivamente. O poço 15 exibiu teores máximos de nitrato nas águas subterrâneas rasas estudadas de 6,80 mg/L. De acordo com Cajazeiras (2007), teores de nitrato que ultrapassam 5 mg/L merecem atenção, pois já apontam alterações na qualidade da água.

Figura 15: Variação sazonal de nitrato (N-NO_3^-) das águas subterrâneas rasas analisadas.



De acordo com Foster et al. (2006) os nitratos terão sempre mobilidade com características frequentemente estáveis, traduzindo exatamente o que foi constatado nos resultados em que o nitrato (N-NO_3^-) apresentou comportamento persistente em todos os meses de coleta, tendo em sua maior parte, valores bastante elevados.

Vale ressaltar que a ingestão de águas contaminadas por nitrato (N-NO_3^-) pode trazer uma série de danos à saúde como a cianose, também conhecida como metahemoglobinemia que acomete bebês menores de 6 meses. Com base em Bouchard et al. (1992), a metahemoglobinemia inviabiliza a condução de oxigênio no sangue, além de também contribuir para a formação de nitrosaminas carcinogênicas. Em revisão bibliográfica sobre a exposição materna ao nitrato, Manassaram et al. (2006) abordou que estudos feitos em suínos mostraram uma possível associação entre o consumo de nitrato e aborto espontâneo. Quanto a este evento em humanos, Aschengrau et al. (1989), conforme citado por Cabral (2007), pesquisas ainda tentam constatar a relação entre aborto espontâneo, má formação congênita e metahemoglobinemia, com a ingestão de águas com teores elevados de nitrato.

O nitrato (N-NO_3^-) apresentou-se bem distribuído na área de estudo em todos os períodos amostrais. Porém, no mês de janeiro (período chuvoso) percebe-se uma elevação nos valores de nitrato (N-NO_3^-) no centro da área estudada, onde se situa

o poço 9 (Figura 16). Já no mês de maio que também é referente ao período chuvoso, a elevação de nitrato (N-NO_3^-) ocorreu na região nordeste da área, onde se encontra o poço 2 (Figura 17). Durante o período menos chuvoso, o nitrato (N-NO_3^-) exibiu valores mais elevados a oeste do local de estudo (poço 13) no mês de agosto (Figura 18), e em outubro, as regiões oeste (poço 13) e nordeste (poço 2) apresentaram os valores mais expressivos de nitrato (N-NO_3^-) (Figura 19).

Os altos índices de N-NO_3^- no poço 2 podem estar relacionados à sua pouca profundidade (11 metros) e à presença de duas fossas no mesmo terreno onde este poço se situa, a uma distância entre 11,39 e 28 metros. Os poços 9 e 13 também apresentam pouca profundidade (13 e 7 metros respectivamente) e à distância de fossas que variam de 7 a 10 metros.

Figura 16: Distribuição de valores de nitrato (N-NO_3^-) das águas subterrâneas rasas analisadas na área de estudo no período chuvoso (janeiro/2016).

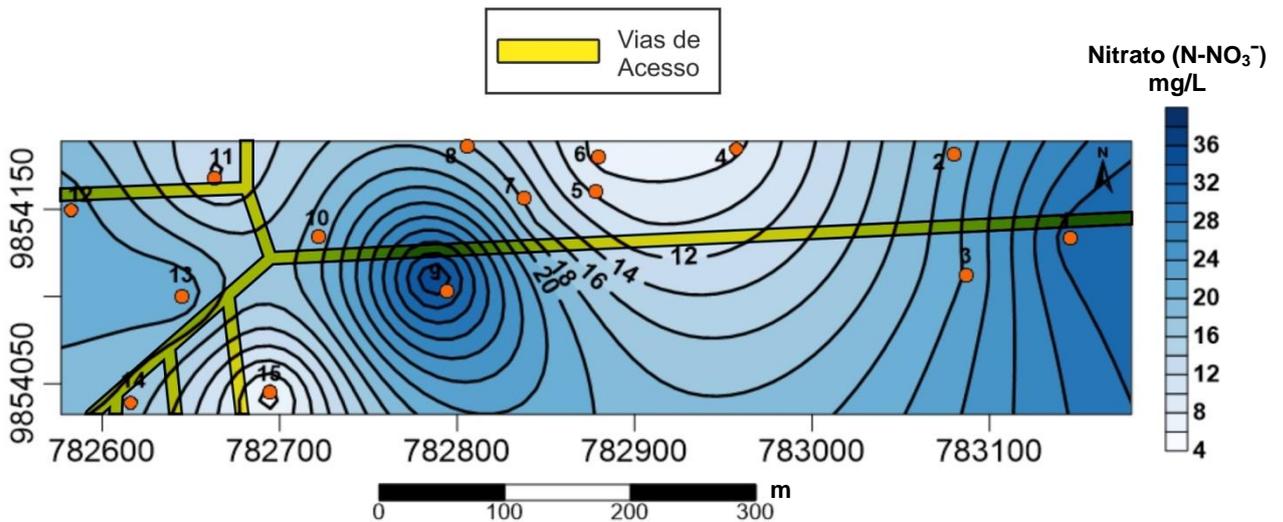


Figura 17: Distribuição de valores de nitrato (N-NO_3^-) das águas subterrâneas rasas analisadas na área de estudo no período chuvoso (maio/2016).

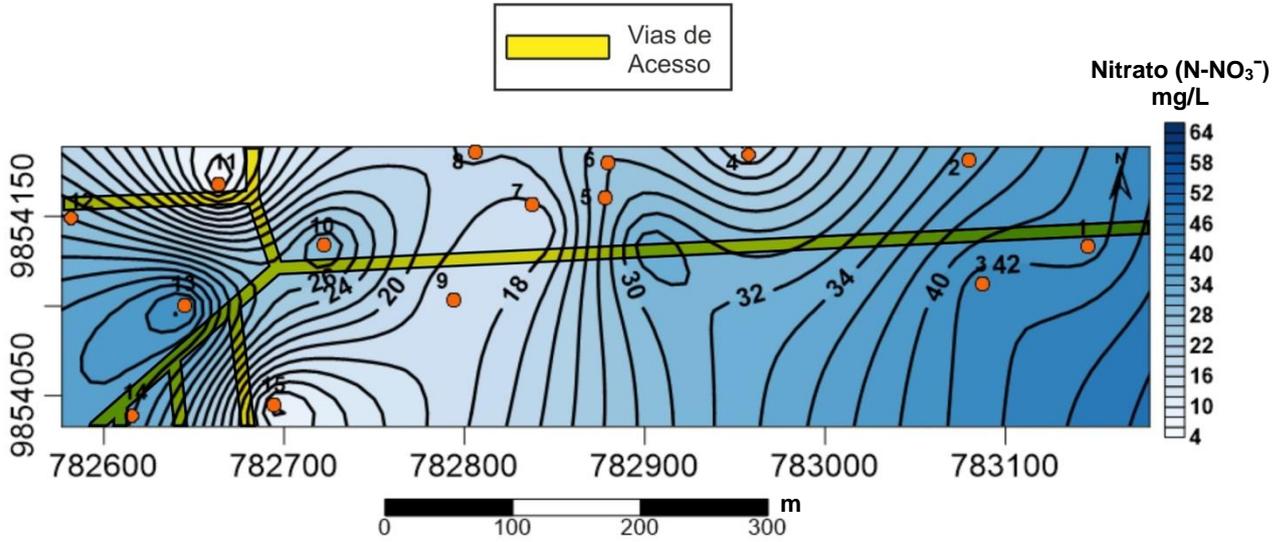


Figura 18: Distribuição de valores de nitrato (N-NO_3^-) das águas subterrâneas rasas analisadas na área de estudo no período menos chuvoso (agosto/2016).

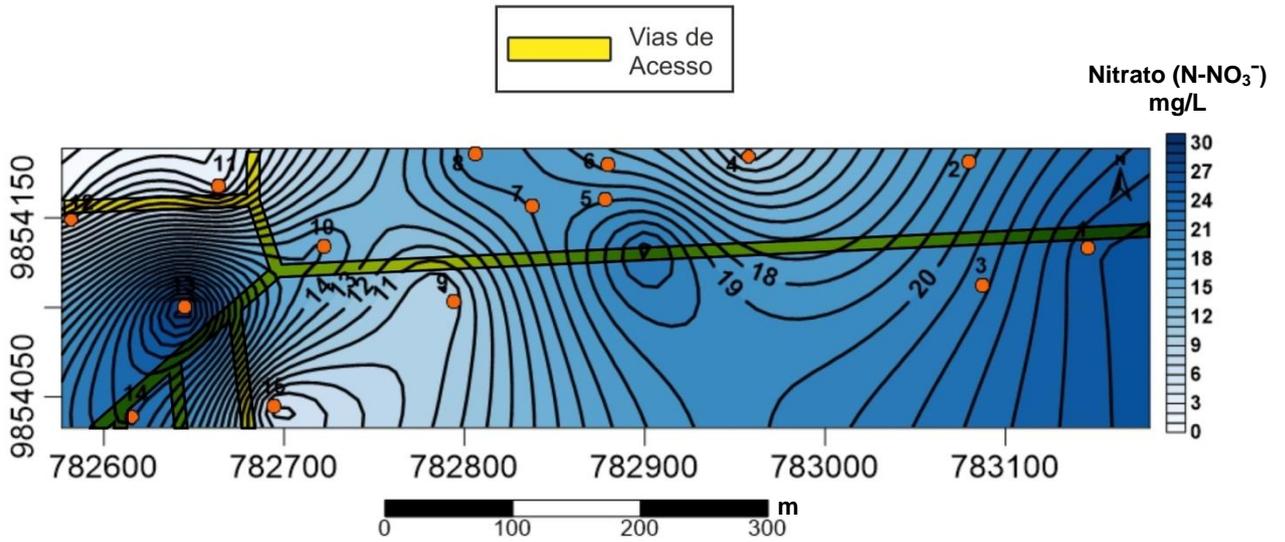
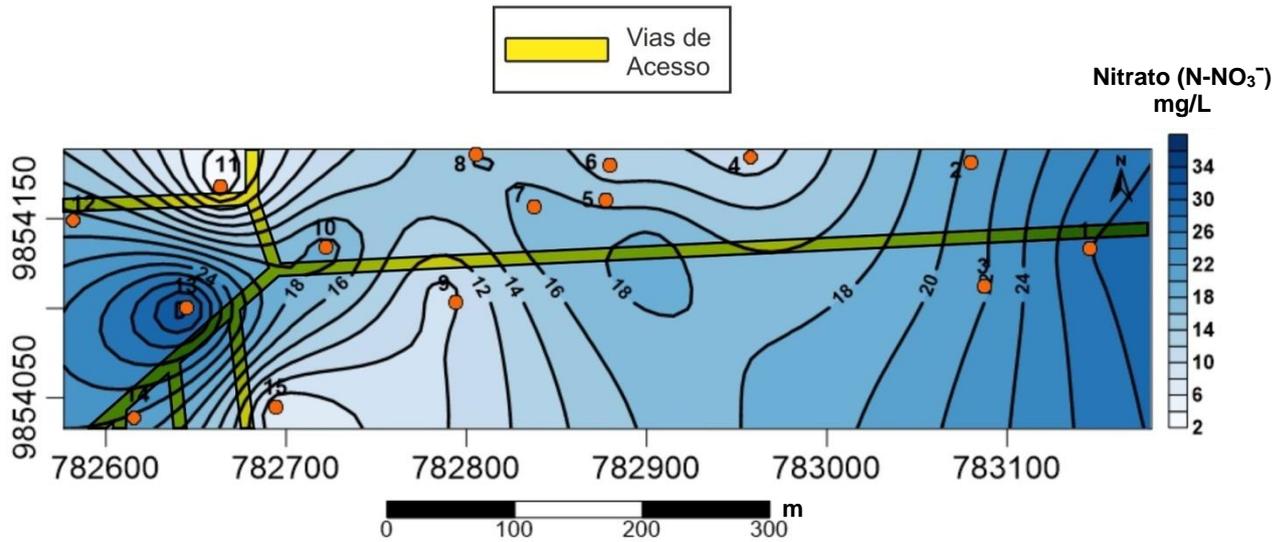


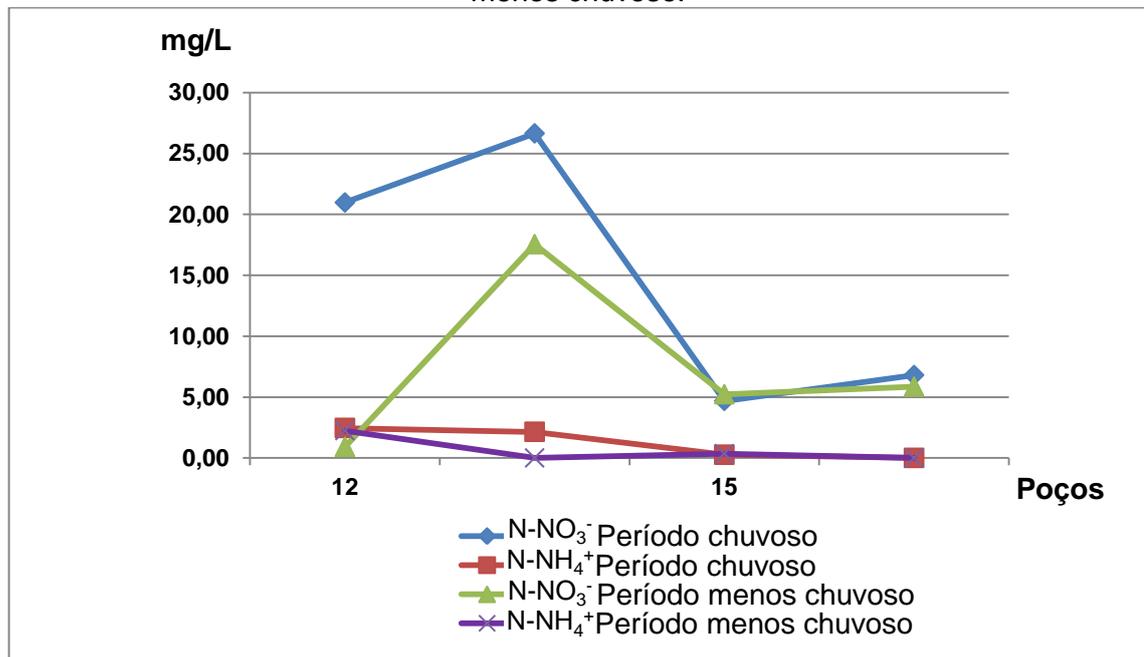
Figura 19: Distribuição de valores de nitrato (N-NO_3^-) das águas subterrâneas rasas analisadas na área de estudo no período menos chuvoso (outubro/2016).



7.3.4 Evolução temporal dos compostos nitrogenados N-NH_4^+ e N-NO_3^-

Nas águas dos poços 12 e 15 que representam 13,33% dos poços analisados, verificou-se o processo de nitrificação, onde os teores de nitrato e amônio apresentaram variações alternadas em todos os períodos amostrados (Figura 20). Percebe-se que nestes poços, a nitrificação foi independente da sazonalidade. O processo de nitrificação ocorre na presença de bactérias que oxidam o nitrogênio amoniacal a nitrito e este, a nitrato (Filho e Castro, 2005). Portanto, pode-se afirmar que estes poços apresentaram condições favoráveis para a oxidação de N-NH_4^+ a N-NO_3^- .

Figura 20: Variação sazonal de amônio (N-NH_4^+) e nitrato (N-NO_3^-) nos períodos chuvoso e menos chuvoso.



Segundo Baird (2002) a detecção de compostos nitrogenados em seus diferentes estados de oxidação, aponta não só a contaminação das águas subterrâneas, mas também as condições precárias higiênico-sanitárias do ambiente. De acordo com Araújo (2001 apud VERNIER; HIRATA, 2000) os compostos menos oxidados, como por exemplo, o amônio mostra-se predominante próximo a sistemas sépticos ou vazamentos de tubulações de esgotos. Dessa forma, a contaminação por N-NH_4^+ e N-NO_3^- observada nas águas dos poços 12 e 15 sugere estar associada às más condições sanitárias desses poços que apresentam pouca profundidade (18 m), ausência de normas técnicas construtivas e influência de fossas negras.

Gaspar (2001) verificou o processo de nitrificação em águas subterrâneas estudadas na região do Igarapé do Mata Fome em Belém. Em pesquisa realizada em Capitão Pocinho, localizado no município de Capitão Poço, Pará, Araújo (2011) constatou nitrificação em 60% das águas subterrâneas rasas, dos poços estudados. O amônio indica contaminação recente e está associado ao início do processo de decomposição da matéria orgânica e a partir de sua oxidação forma-se o nitrato (NO_3^-). Biguelini e Gummy (2012) referem-se ao nitrato como a forma mais oxidada do nitrogênio, sendo este, constituído nas fases finais da decomposição biológica.

Portanto, o nitrato (N-NO_3^-) representa contaminação antiga (vide os resultados obtidos nesta pesquisa).

De acordo com Cabral (2007) a detecção de teores de amônio pode representar um futuro aumento de nitrato (N-NO_3^-) em decorrência do processo de oxidação. Logo, há possibilidade de ocorrer a elevação das concentrações de nitrato (N-NO_3^-) na área estudada.

7.4 Coliformes totais e *Escherichia coli*

As coletas de água subterrâneas rasas para análise de bactérias *E. coli* e coliformes totais foram realizadas durante o mês de janeiro (período chuvoso). Os resultados serviram para a constatação da presença desses microorganismos.

A bactéria *Escherichia coli* foi detectada em 33,33% das águas analisadas. Os resultados variaram de $>2.419,6$ (NMP) /100 ml a $3,1$ (NMP) /100 ml (Figura 21). Os coliformes totais mostraram-se presentes em 40% das amostras estudadas e sua contagem apresentou valores com variação de $>2.419,6$ (NMP) /100 ml a $17,5$ (NMP) / 100 ml (Figura 22).

Durante pesquisa realizada em Santa Isabel do Pará, Araújo (2001) também realizou a contagem dessas bactérias no período chuvoso, obtendo o valor máximo de 1.900 (NMP) /100 ml e mínimo de 38 (NMP) /100 ml para coliformes totais, um máximo de 94 (NMP) /100 ml e mínimo de <1 (NMP) /100 ml para *Escherichia coli*. Em estudos realizados em poços rasos na região da Bacia do Paracuri, situada no Distrito de Icoaraci, Dias et al. (2004) constatou a presença de coliformes totais em 14 pontos amostrais, e bactérias *E.coli* em 5 pontos.

As bactérias *Escherichia coli* e coliformes totais são típicas da microbiota intestinal de animais de sangue quente, portanto são importantes indicadores de contaminação, e sua presença em águas subterrâneas indica a influência direta de fossas e/ou fezes. Porém, os coliformes totais também estão associados ao ambiente. A contaminação das águas por excretas de origem humana ou animal pode torná-las um veículo na transmissão de agentes de doenças infecciosas (CETESB, 2011), tais como as doenças diarréicas, muito comuns em países subdesenvolvidos.

A presença de coliformes nas águas subterrâneas estudadas está relacionada a pouca profundidade dos poços e, como sugere Araújo (2001), o período chuvoso influencia na elevação do nível freático, favorecendo a acessibilidade de microrganismos as águas subterrâneas rasas. A proximidade entre fossas e poços também contribui para esta questão.

A Portaria 2.915/11 do Ministério da Saúde estabelece que águas destinadas para o consumo humano deva estar isenta de bactérias *Escherichia coli* e coliformes totais. Portanto, 66,67% e 40% das amostras com resultados para *E. coli* e coliformes totais respectivamente, apresentaram-se dentro dos padrões estabelecidos pela legislação.

Os poços 02, 09 e 11 são do tipo manual com profundidades de 11, 13 e 06 metros, respectivamente. Esses poços também se situam próximo a fossas. Particularmente, o poço 02 localiza-se próximo a duas fossas, o que provavelmente explica ter se destacado com altas concentrações de bactérias.

Figura 21: Representação de contagem de *Escherichia coli* nos poços de coleta no período chuvoso (janeiro).

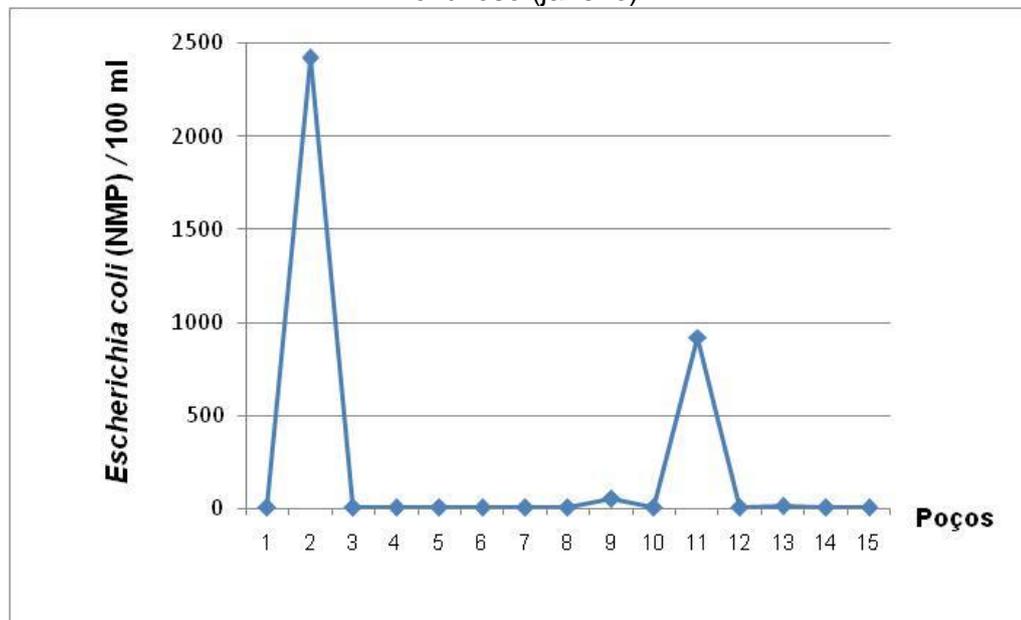
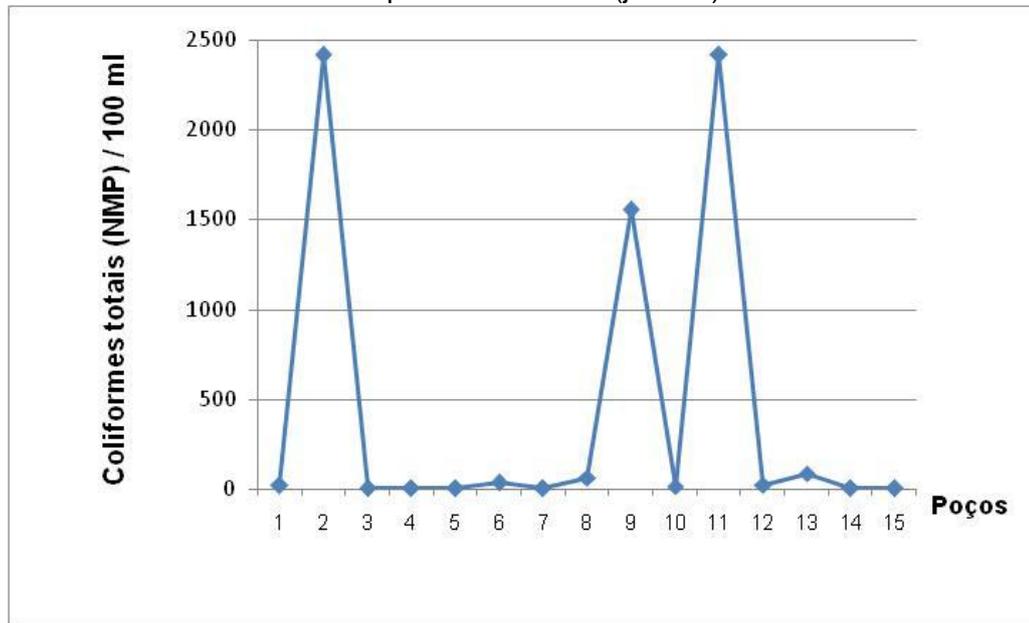


Figura 22: Representação de contagem de Coliformes totais nos poços de coleta no período chuvoso (janeiro).



8 SENTIDO PREFERENCIAL DE FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Para obtenção dos mapas de sentido preferencial de fluxo hídrico foram utilizados os valores de nível estático medidos nos períodos chuvoso e menos chuvoso e a cota topográfica de cada poço. Os mapas foram gerados no software Surfer 11 da Golden Software.

As zonas de recarga são representadas por setas divergentes e as áreas de descarga correspondem às setas convergentes, portanto, durante o período chuvoso (janeiro e maio), pode-se identificar duas zonas de recarga, nas porções central e sudoeste e duas zonas de descarga nas porções noroeste e leste (Figuras 23 e 24). O período menos chuvoso (agosto e outubro), apresentou três zonas de recarga nas regiões central, oeste e sudoeste e três zonas de descarga a noroeste, leste e norte (Figuras 25 e 26).

Figura 23: Mapa de sentido preferencial de fluxo das águas subterrâneas rasas no período chuvoso (janeiro).

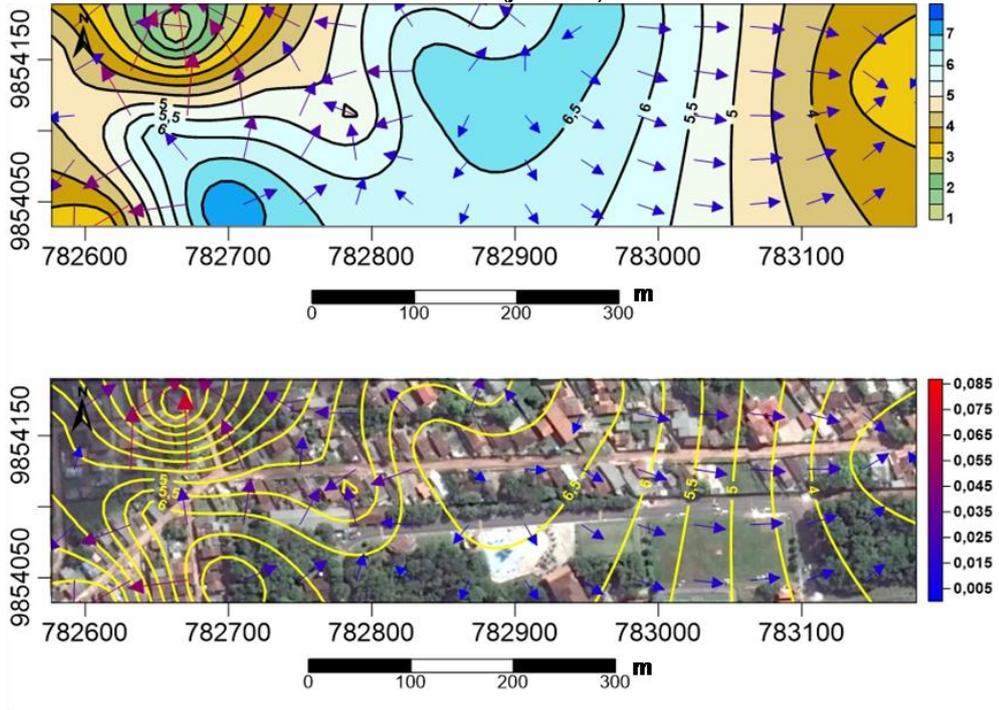


Figura 24: Mapa de sentido preferencial de fluxo das águas subterrâneas rasas no período chuvoso (maio).

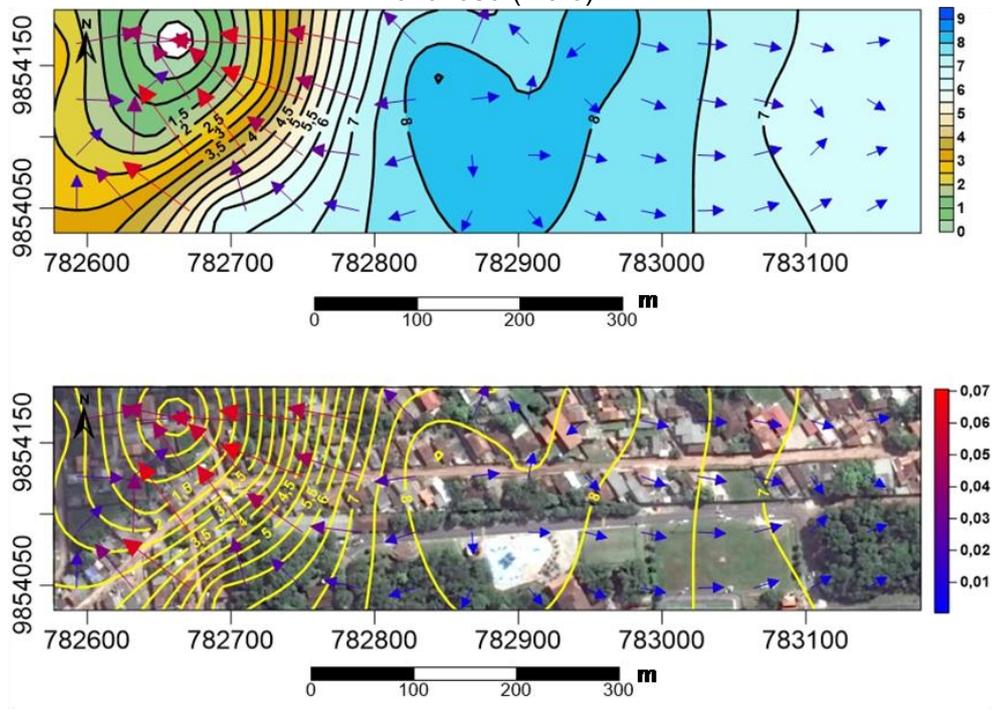


Figura 25: Mapa de sentido preferencial de fluxo das águas subterrâneas rasas no período menos chuvoso (agosto).

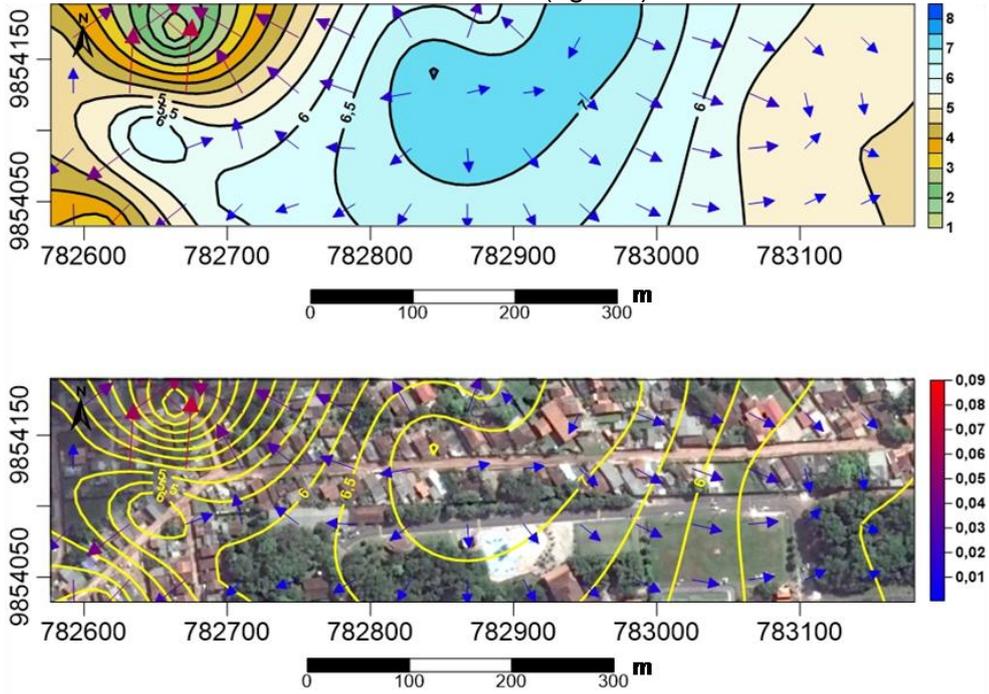
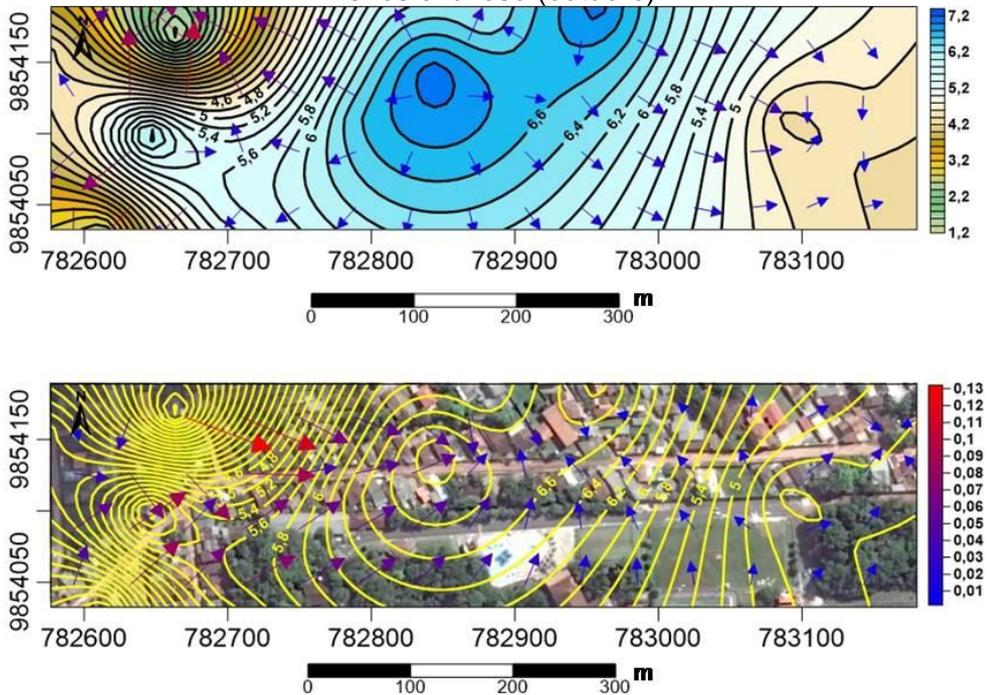


Figura 26: Mapa de sentido preferencial de fluxo das águas subterrâneas rasas no período menos chuvoso (outubro).



Em todos os meses amostrados, foi identificada uma zona de recarga na região central da área estudada. A contaminação mais acentuada por nitrato (N-NO_3^-) ocorreu nas porções leste, oeste e centro oeste, acompanhando o sentido de fluxo, ou seja, provavelmente, os poços localizados nessas áreas estão mais vulneráveis à contaminação e sofrendo de forma mais intensa com a influência de fossas.

9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para resumir e descrever os dados obtidos, foi realizada a estatística descritiva comparando os valores mínimo, média e máximo de cada parâmetro analisado aos valores máximos permitidos pela Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde.

De acordo com os dados expostos nas Tabelas 9, 10, 11 e 12, percebe-se que de todos os parâmetros físico-químicos, o nitrato foi o que mais se destacou apresentando valores bem acima dos valores máximos permitidos pela Portaria 2.914/11 em todos os períodos amostrais. Observa-se também que, o sódio, cloreto e condutividade elétrica exibiram médias mais elevadas de forma simultânea, durante os meses de maio (período chuvoso) e outubro (período menos chuvoso), explicitando a relação entre o aumento desses íons nas águas subterrâneas rasas estudadas e a elevação da condutividade elétrica.

Tabela 9: Estatística descritiva de resultados dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos referentes ao período chuvoso (janeiro) e valores máximos permitidos pela Portaria 2.914/11.

Parâmetro	Período chuvoso (Janeiro/2016)					Portaria 2.914/11 (VMP*)
	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	
pH	4,31	4,98	4,92	6,44	0,66	6,0 - 9,5
Condutividade elétrica	34,00	129,87	109,00	503,00	111,46	-
Sódio (Na^+)	0	8,31	7,96	16,58	4,95	200 mg/L
Cloreto (Cl^-)	0,40	4,73	3,39	24,82	5,74	250 mg/L
Coliformes totais	0	441,84	17,5	2419,6	894,67	Ausência
<i>Escherichia coli</i>	0	226,94	0	2419,6	650,95	Ausência
Nitrito (N-NO_2^-)	0,4	0,40	0,40	0,40	0	1 mg/L
Nitrato (N-NO_3^-)	4,69	18,51	17,08	36,78	9,79	10 mg/L
Amônio (N-NH_4^+)	0	0,91	0,20	6,01	1,62	-

*Valor Máximo Permitido

Tabela 10: Estatística descritiva de resultados referentes ao período chuvoso (maio) dos parâmetros físico-químicos e valores máximos permitidos pela Portaria 2.914/11.

Parâmetro	Período chuvoso (Maio/2016)					Portaria 2.914/11 (VMP*)
	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	
pH	3,93	4,76	4,61	6,19	0,66	6,0 - 9,5
Condutividade elétrica	77,00	147,33	139,00	488,00	102,20	-
Sódio (Na ⁺)	0,52	15,91	12,23	65,45	14,58	200 mg/L
Cloreto (Cl ⁻)	0,66	5,33	4,14	20,06	4,36	250 mg/L
Nitrito (N-NO ₂ ⁻)	0	0	0	0	0	1 mg/L
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	3,71	28,43	26,64	64,03	15,90	10 mg/L
Amônio (N-NH ₄ ⁺)	0	0,78	1,35	4,40	1,35	-

*Valor Máximo Permitido

Tabela 11: Estatística descritiva de resultados referentes ao período menos chuvoso (agosto) dos parâmetros físico-químicos e valores máximos permitidos pela Portaria 2.914/11.

Parâmetro	Período menos chuvoso (Agosto/2016)					Portaria 2.914/11 (VMP*)
	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	
pH	3,95	4,70	4,55	6,09	0,65	6,0 - 9,5
Condutividade elétrica	65,00	141,67	119,00	471,00	96,11	-
Sódio (Na ⁺)	2,20	5,66	4,42	12,69	2,90	200 mg/L
Cloreto (Cl ⁻)	0,96	4,49	3,53	19,71	4,46	250 mg/L
Nitrito (N-NO ₂ ⁻)	0,00	0,10	0,00	0,44	0,13	1 mg/L
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	0,91	16,39	17,15	30,79	9,52	10 mg/L
Amônio (N-NH ₄ ⁺)	0	0,88	0	4,59	1,40	-

*Valor Máximo Permitido

Tabela 12: Estatística descritiva de resultados referentes ao período menos chuvoso (outubro) dos parâmetros físico-químicos e valores máximos permitidos pela Portaria 2.914/11.

Parâmetro	Período menos chuvoso (Outubro/2016)					Portaria 2.914/11 (VMP*)
	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	
pH	4,04	4,74	4,52	6,42	0,72	6,0 - 9,5
Condutividade elétrica	77,00	160,73	134,00	527,00	105,75	-
Sódio (Na ⁺)	2,77	14,41	10,83	68,41	15,45	200 mg/L
Cloreto (Cl ⁻)	3,70	14,98	10,98	68,46	15,39	250 mg/L
Nitrito (N-NO ₂ ⁻)***	0	0	0	0	0	1 mg/L
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	1,91	17,97	17,56	35,31	9,47	10 mg/L
Amônio (N-NH ₄ ⁺)	0	0,44	0	4,49	1,20	-

*Valor Máximo Permitido

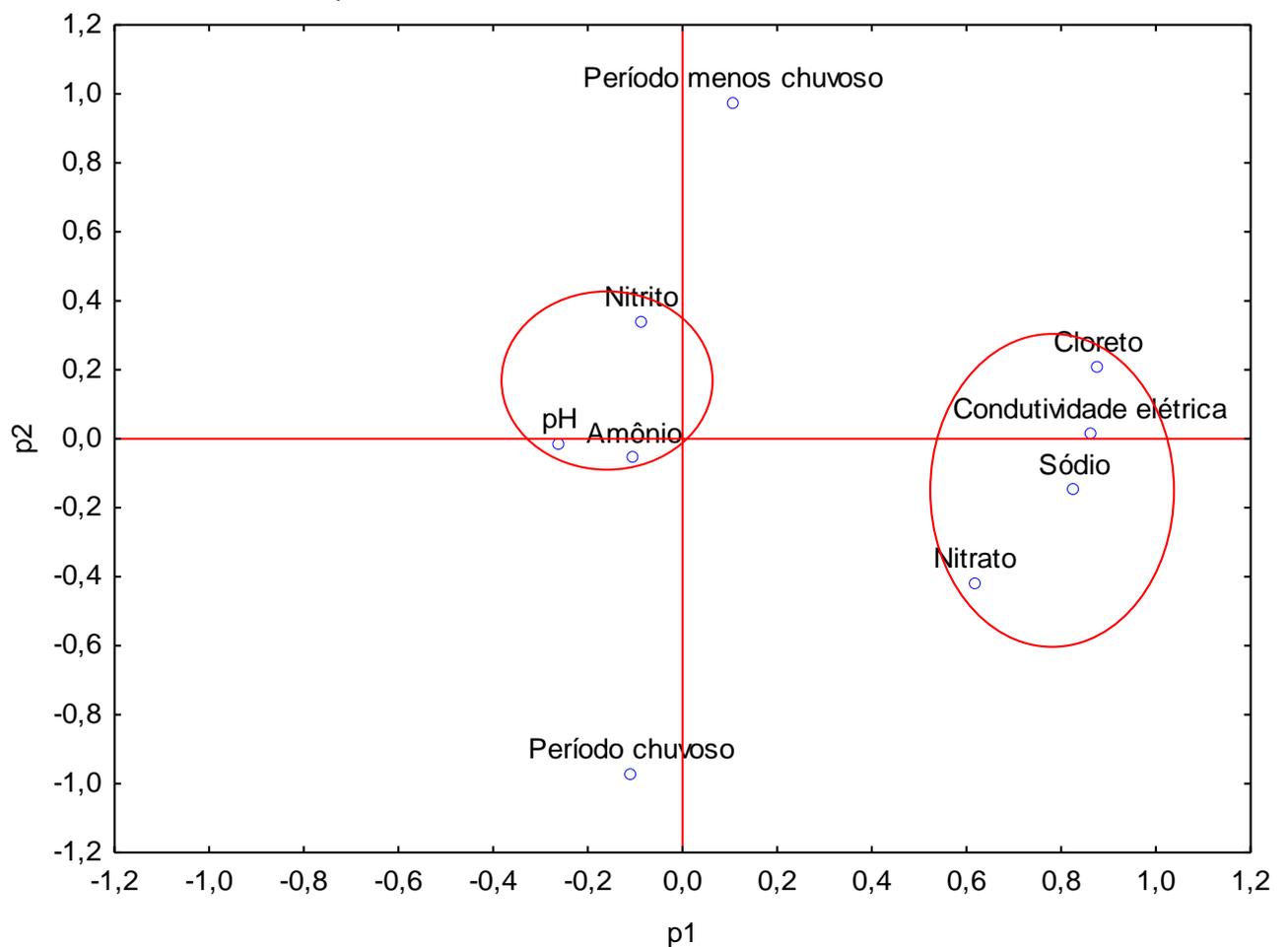
Para a verificação da relação existente entre os parâmetros discutidos em termos estatísticos, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson que determina o grau de correlação entre variáveis, podendo ser identificada como negativa ou positiva, onde as correlações mais intensas tendem a 1, as correlações

menos intensas, porém positivas tendem a 0 e as correlações negativas tendendo a -1.

Com base no gráfico de PCA (Figura 27) pode ser observada a correlação entre os parâmetros de acordo com a sazonalidade. Durante o período chuvoso (janeiro e maio) percebe-se que a maior correlação existente foi entre o amônio e pH.

Já no período menos chuvoso (agosto e outubro) nota-se que o nitrato e a condutividade elétrica tiveram uma correlação positiva, porém, o sódio e o cloreto destacaram-se por apresentar correlação mais forte com a condutividade elétrica.

Figura 27: Gráfico de análise de componentes principais (PCA) representando a correlação entre os parâmetros discutidos conforme a sazonalidade.



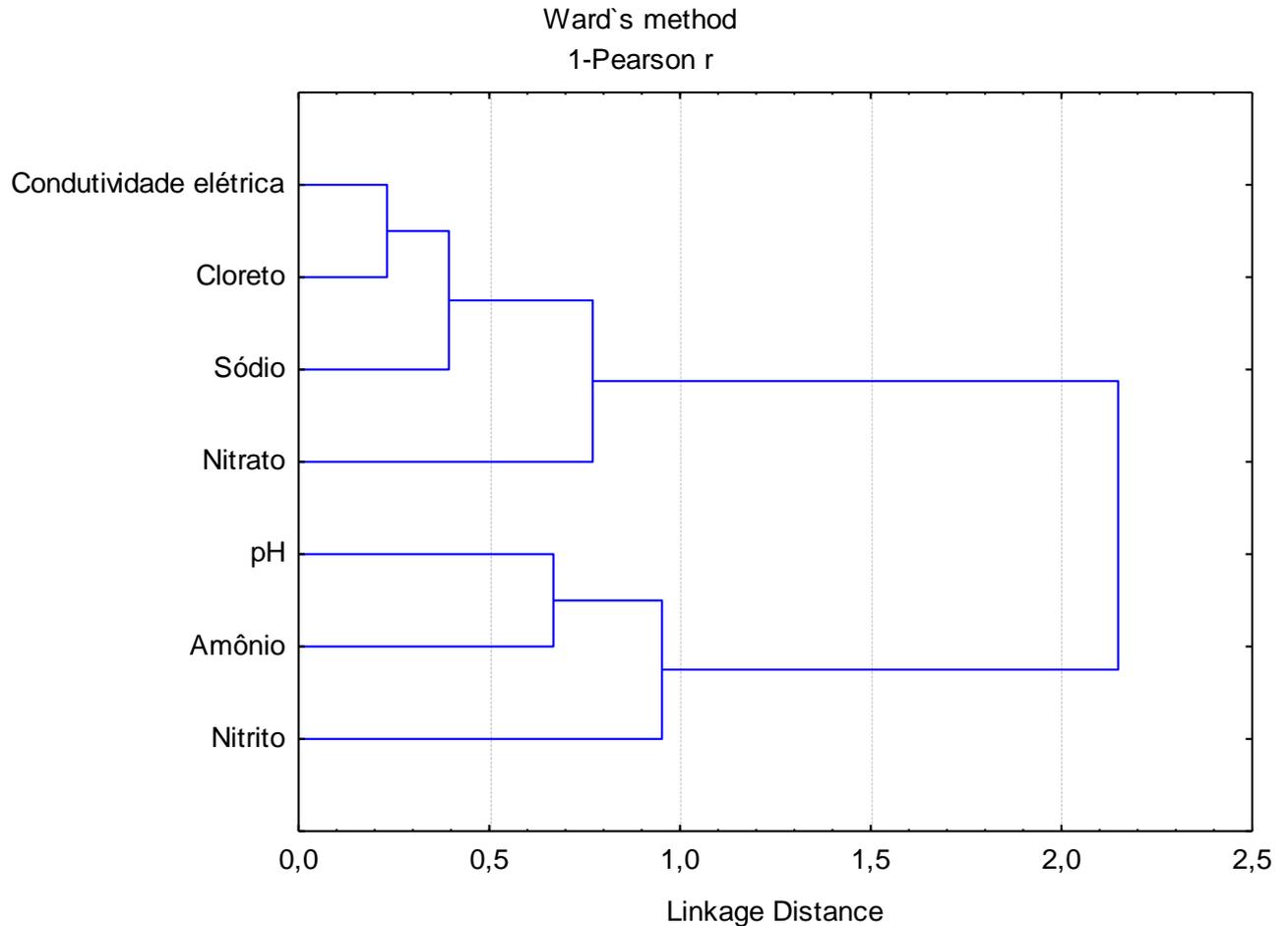
O sódio, cloreto e nitrato estão intimamente associados á interferência de fossas, e por serem íons, também estão interligados à condutividade elétrica, portanto, isso explica a correlação positiva entre estes parâmetros. O fato de este fenômeno ocorrer no período menos chuvoso, sugere a concentração destes íons nas águas estudadas.

A presença de amônio tem influência direta na variação de pH em águas, desta forma, esta característica explica a correlação positiva entre estas duas variáveis. Durante o período chuvoso, há a elevação do nível freático, e por esta razão, tende a apresentar-se mais próximo a fossas que são fontes importantes na formação de amônio, que por sua vez, interfere nos valores de pH. A Tabela 13 exhibe os valores que simbolizam o grau de correlação dos parâmetros e a Figura 28, expressa de maneira geral a correlação existente representada pela distância entre os parâmetros.

Tabela 13: Matriz de correlação dos parâmetros físico-químicos analisados.

Correlações							
Parâmetros	Condutividade elétrica	pH	Nitrito	Nitrato	Amônio	Sódio	Cloreto
Condutividade elétrica	1	0,01	0,04	0,46	0,01	0,59	0,77
pH	0,01	1	0,06	-0,47	0,33	-0,04	-0,07
Nitrito	0,04	0,06	1	-0,06	0,17	-0,11	-0,07
Nitrato	0,46	-0,47	-0,06	1	-0,01	0,43	0,25
Amônio	0,01	0,33	0,17	-0,01	1	-0,04	-0,04
Sódio	0,59	-0,04	-0,11	0,43	-0,04	1	0,7
Cloreto	0,77	-0,07	-0,07	0,25	-0,04	0,7	1

Figura 28: Análise de cluster hierárquica representando a correlação entre os parâmetros a partir das distâncias entre eles.



10 CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS ESTUDADAS

A água é classificada a partir da observação dos componentes como ânion ou cátion com concentrações de maior representatividade (> 50%) indicando o caráter predominante.

A classificação foi feita através do diagrama de Piper onde é possível fazer a comparação de grupos de águas distintos. Para este trabalho, os diagramas foram gerados no software AQUACHEM (2011).

As águas da primeira coleta (janeiro/período chuvoso) foram classificadas como bicarbonatadas sódicas tendo Na^+ e HCO_3^- como elementos predominantes. Em outros pontos pode-se observar a existência de águas cloretadas sódicas, e

também cloretadas cálcicas. Os resultados apresentaram a relação entre cátions e ânions da seguinte forma: $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$ e $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$ (Figura 29).

Nos resultados da segunda coleta (maio/período chuvoso), a característica de águas sulfatadas sódicas (SO_4^{-2} e Na^+) foi predominante, e em alguns pontos foram classificadas como bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas cálcicas. A tendência entre cátions e ânions apresentou-se como $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$ e $\text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ (Figura 30).

Figura 29: Diagrama de Piper representando a classificação das águas amostradas no mês de janeiro (período chuvoso).

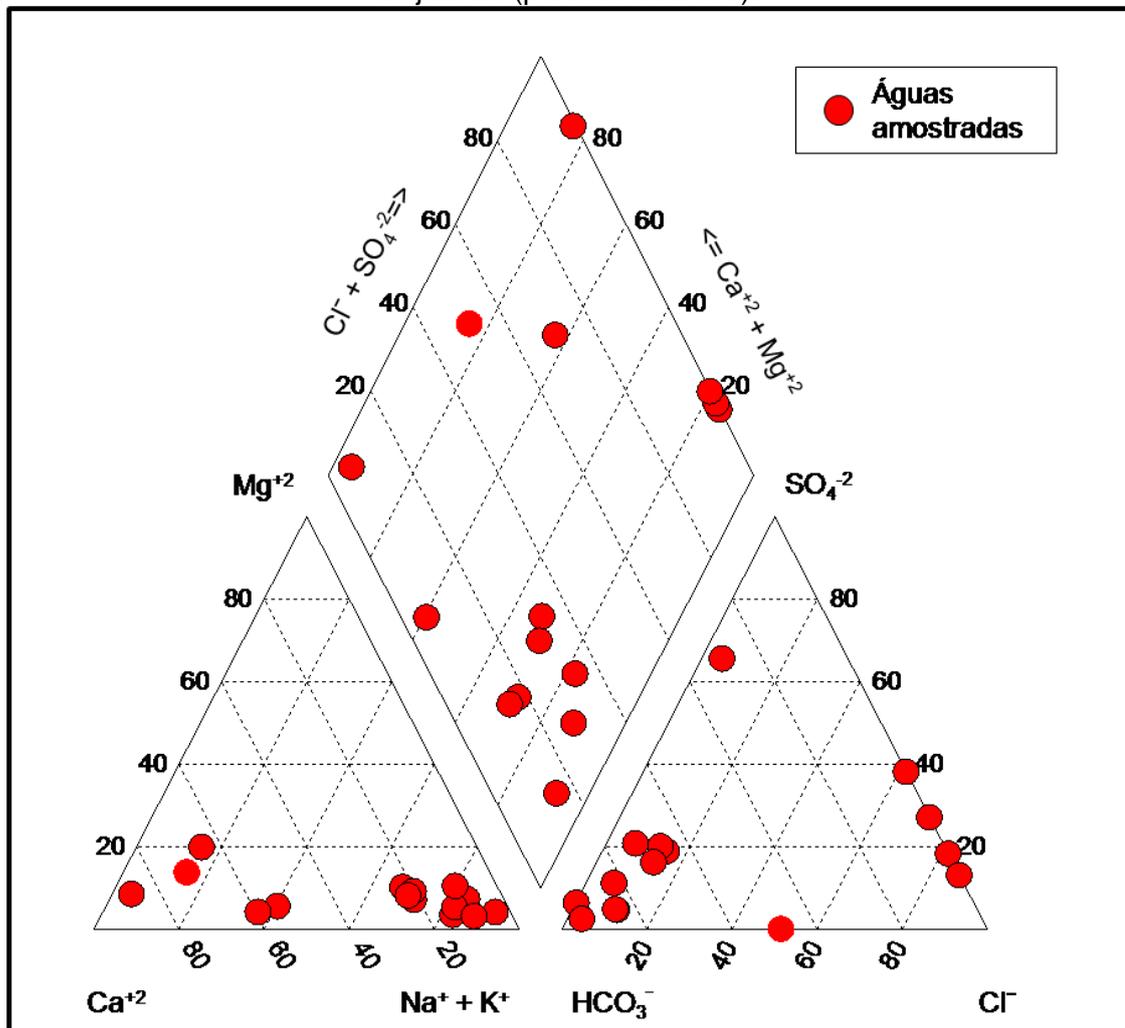
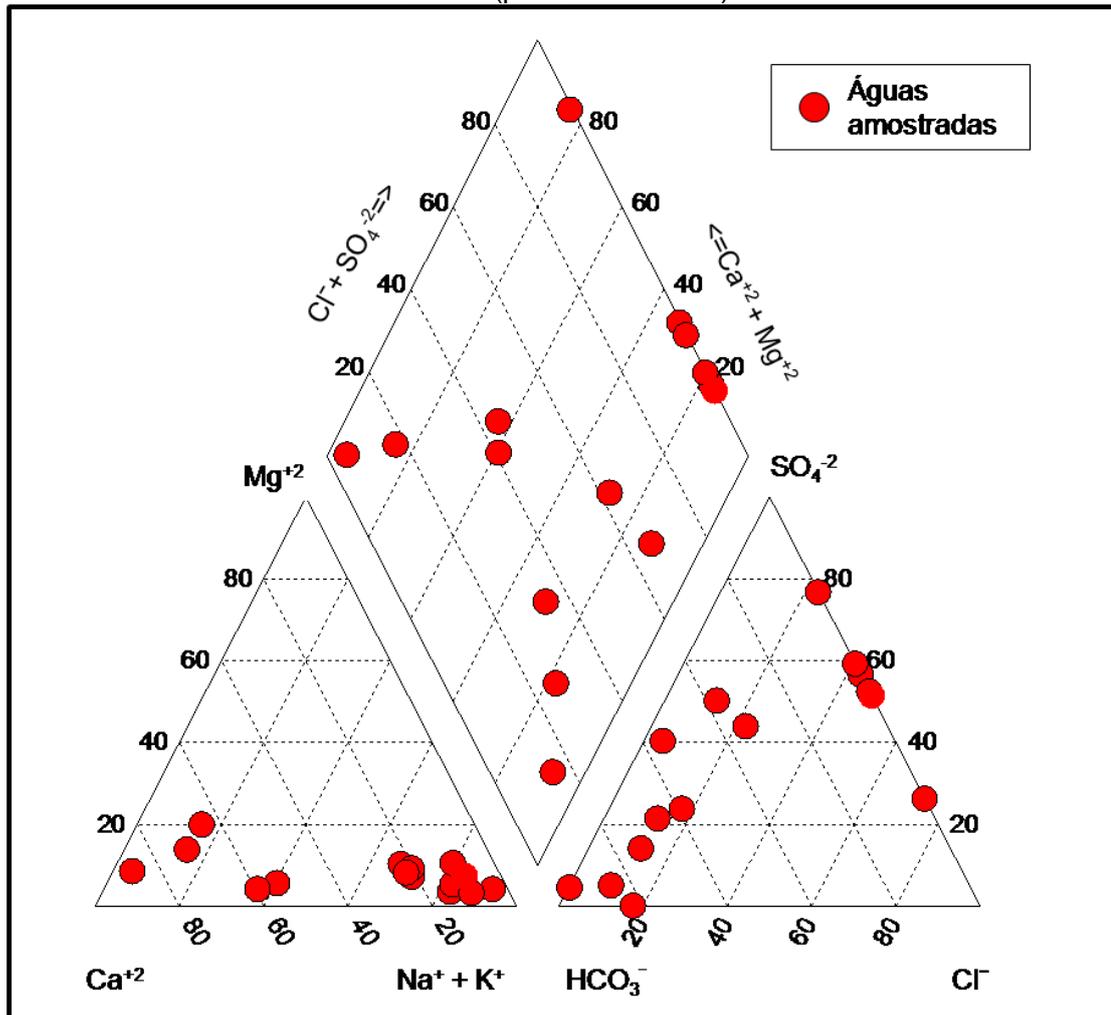


Figura 30: Diagrama de Piper representando a classificação das águas amostradas no mês de maio (período chuvoso).



A característica de águas bicarbonatadas sódicas (HCO_3^- e Na^+) foi a que predominou na terceira coleta (agosto/período menos chuvoso), sendo em alguns pontos cloretadas sódicas e em outros, bicarbonatadas cálcicas. A relação de cátions e ânions observada foi de $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$ e $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$ (Figura 31).

Já na quarta coleta (outubro/período menos chuvoso) a predominância foi de águas cloretadas sódicas (Cl^- e Na^+), tendo também como característica, águas bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas cálcicas em alguns pontos. Sendo a tendência de cátions e ânions: $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$ e $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{-2}$ (Figura 32).

Figura 31: Diagrama de Piper representando a classificação das águas amostradas no mês de agosto (período menos chuvoso).

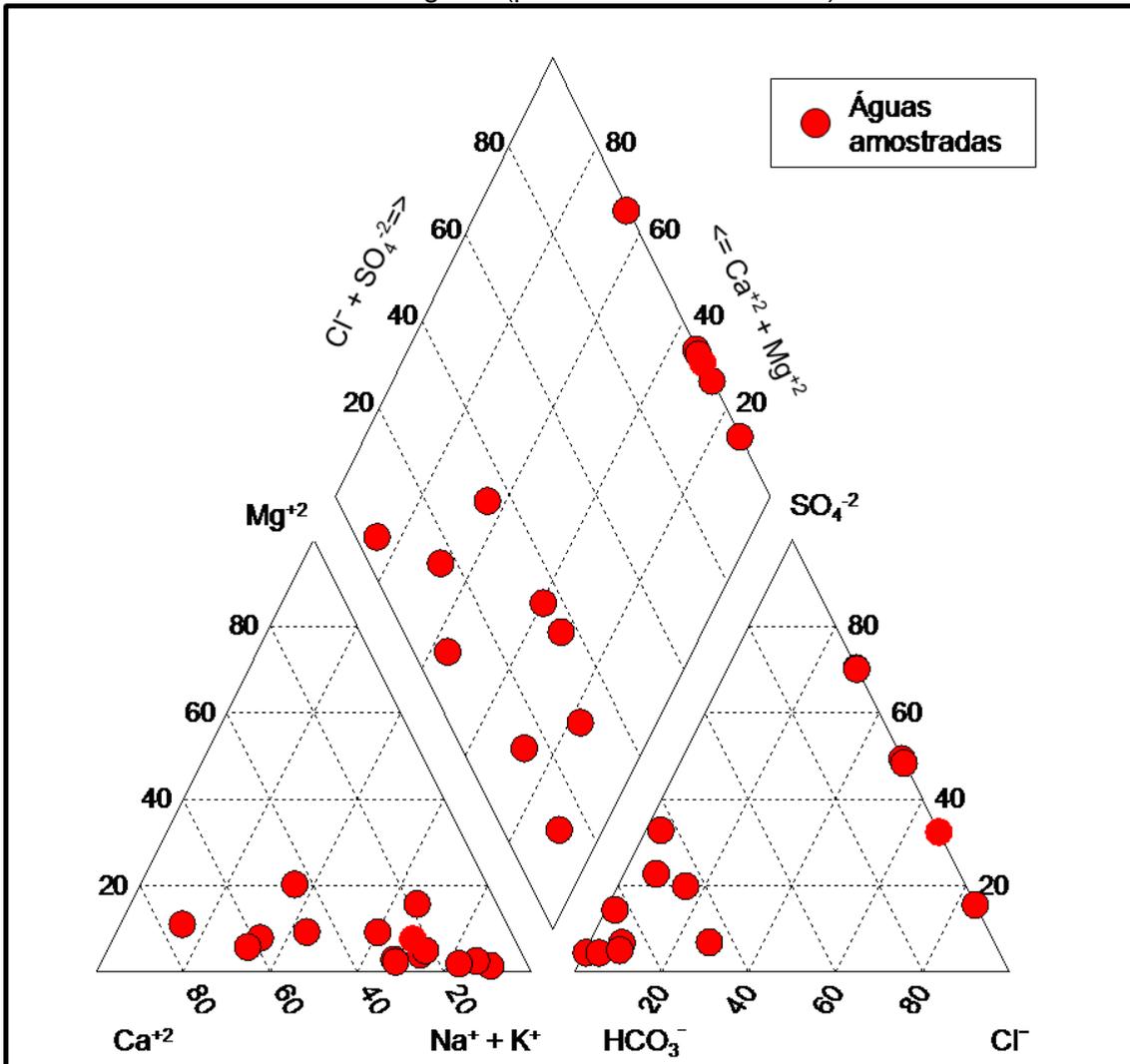
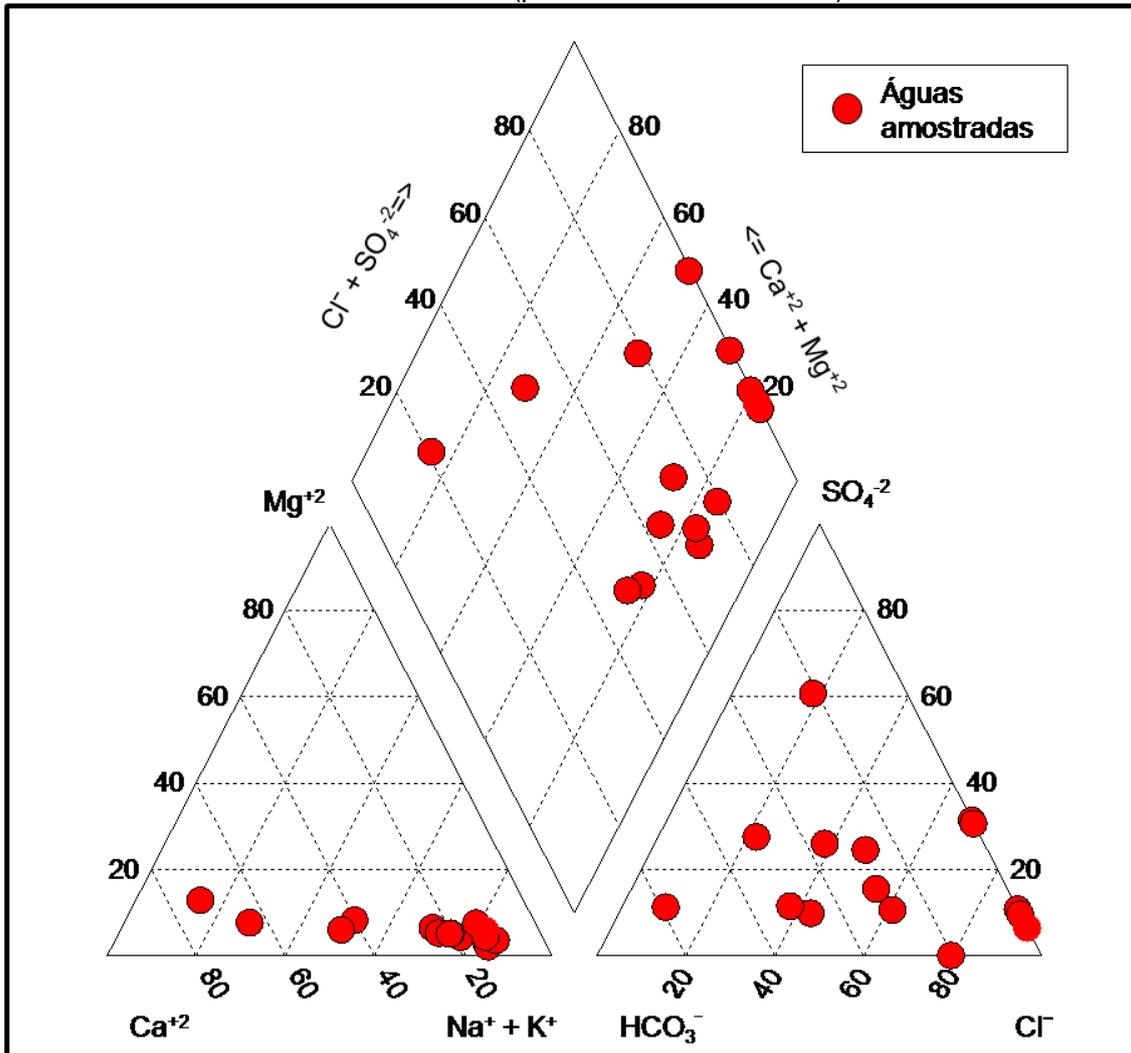


Figura 32: Diagrama de Piper representando a classificação das águas amostradas no mês de outubro (período menos chuvoso).



11 RISCO POTENCIAL PARA A SAÚDE HUMANA

Durante o trabalho de campo foi realizado um levantamento na área de estudo a partir de um formulário, com o intuito de obter informações sobre as condições socioeconômicas e ambientais das 14 residências que serviram de pontos de coleta. Através da aplicação de questionários foram obtidos os seguintes dados: renda mensal, tipo de residência, quantidade de pessoas que vivem na residência, grau de escolaridade, regularidade de coleta de lixo no local de estudo e finalidades do uso da água dos poços.

Dentre as 14 famílias entrevistadas, 07 (50%) têm como renda mensal até dois salários mínimos, 05 famílias (36%) recebem mais de dois salários e 02 famílias

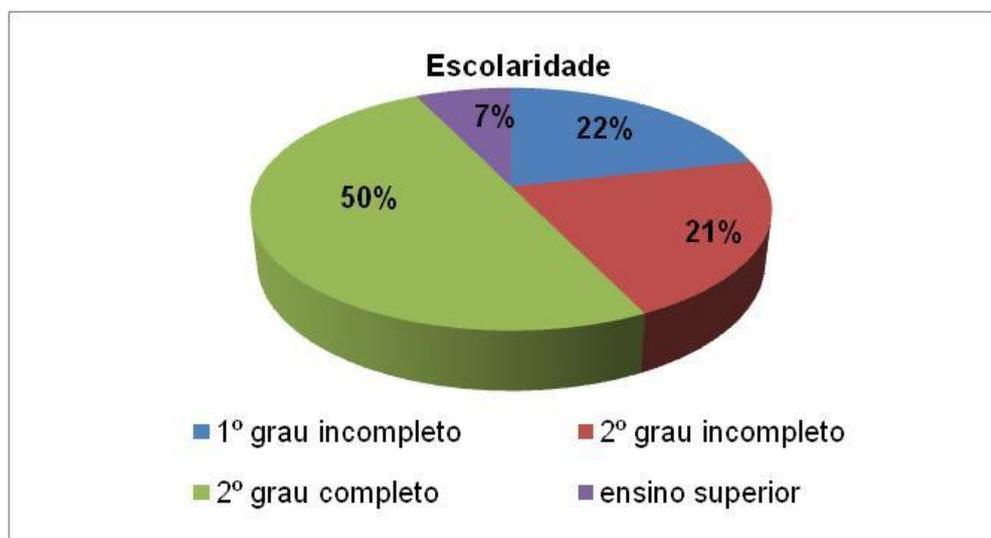
(14%) têm como renda mensal valores que não ultrapassam a um salário mínimo, R\$ 937,00 (Figura 33).

Figura 33: Gráfico de representação de renda mensal das residências na área de coleta.



O grau de escolaridade dos moradores entrevistados variou entre 1º grau incompleto (22%), 2º grau incompleto (21%), 2º grau completo (50%) e ensino superior (07%) (Figura 34).

Figura 34: Representação gráfica do grau de escolaridade dos moradores entrevistados.

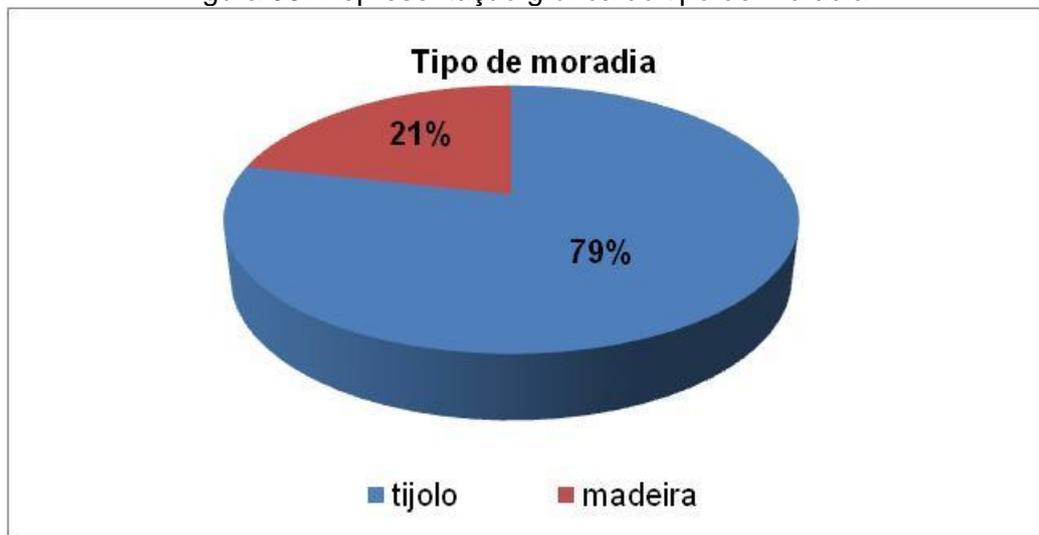


A maior parte das famílias entrevistadas possui até 05 integrantes (71%) e quatro famílias possuem até 10 integrantes (29%) (Figura 35). Quanto ao tipo de moradia, 11 (79%) são de tijolo e 03 são de madeira (21%) (Figura 36).

Figura 35: Representação gráfica do número de moradores por residência



Figura 36: Representação gráfica do tipo de moradia.



Quando questionada a finalidade do uso da água dos poços, as respostas que predominaram foram: consumo humano, dessedentação de animais e lavagem de veículos. Durante as entrevistas obteve-se a informação de que há coleta de lixo

na área de estudo ocorre 03 vezes na semana, porém, muitos moradores ainda têm o costume de realizar a queima de lixo no local.

Os dados expostos nesta parte do trabalho provocam uma discussão necessária sobre a relação entre as condições sanitárias, a falta de acesso ao abastecimento público de água e a situação socioeconômica da área estudada, pois se percebe que, em sua maioria, as famílias que tiveram as águas de seus poços estudadas são de baixa renda, além de residirem em uma área carente de saneamento básico, fato que está interligado a inúmeros problemas de cunho ambiental. De acordo com Bovolato (2015), no Brasil há uma desigualdade no acesso ao saneamento e destaca que 59,5 % da população da região Norte não tem esse acesso, enquanto essa realidade representa apenas 10,7% da região Sudeste.

A Organização Mundial de Saúde (2001) refere-se ao saneamento básico como “o controle de todos os fatores do meio físico do homem que podem exercer efeitos deletérios em seu bem estar mental físico ou social” que, além de outras prerrogativas básicas, inclui-se o abastecimento público de água. Com base em Razzolini e Günther (2008), a situação do saneamento ambiental pode colaborar de forma determinante na qualidade da água destinada ao consumo. Todavia, muitas vezes o abastecimento de água ocorre de forma precária, obrigando a população a recorrer ao uso de águas subterrâneas que muitas vezes, é feito de forma irregular. Segundo Razollini e Günther (2008), a falta de acesso à água potável, de nível satisfatório afeta as condições de higiene, ensejando o uso de águas captadas de fontes que não apresentam qualidade sanitária confiável.

A água é um excelente meio de transporte para diversos patógenos e contaminantes oriundos de dejetos humanos, implicando dessa forma, a propagação de várias doenças, principalmente diarréicas. *Na saúde pública, os desafios apresentados por patógenos em águas subterrâneas são exacerbados pelo aumento nos casos relatados de resistência aos antibióticos* (BÖCKELMANN et al, 2009; ECONOMIDES et al, 2012; BECH et al, 2014; BRADFORD & HARVEY, 2016) (2016, tradução nossa). Desse modo, essa situação expõe que os tratamentos de doenças causadas por agentes patológicos provindos de águas subterrâneas, tendem a ser mais difíceis e complexos.

Estima-se que cerca de 10 % da carga global de doenças seja devida à má qualidade da água e a deficiências na disposição de excretas e na higiene. (PRÜSS-USTIN et al. 2008). De acordo com Brasil (2006), a forma mais comum de disseminação de doenças relacionadas à qualidade da água se dá através da ingestão de elementos nocivos à saúde.

Durante estudo sobre a relação entre saneamento básico e internações hospitalares ocasionadas por doenças de veiculação hídrica Uhr et al. (2016) frisa que no ano de 2011 o Estado do Pará foi o que apresentou maior número de registros de internações por ingestão de água contaminada em toda a região Norte, representando um total de 52.190 casos.

Para Bradford e Harvey (2016 apud JIN; FLURY, 2002), *embora seja considerada menos vulnerável que águas superficiais à contaminação por patógenos, as águas subterrâneas são responsáveis por uma grande parcela de doenças transmitidas pela água* (2016, tradução nossa). De acordo com Murphy et al. (2014), *além da quantificação de patógenos em águas de poços, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos epidemiológicos que visem relacionar as águas subterrâneas aos riscos que elas podem oferecer a saúde humana* (2014, tradução nossa).

As doenças de veiculação hídrica são grandes causadoras de surtos, contribuindo inclusive para o aumento da mortalidade infantil, principalmente em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, como o Brasil.

12 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- Em sua maioria, os poços são do tipo tubular com profundidade estimada de 6 a 24 metros, apresentando distância de fossas entre 5,5 e 28 metros, exibindo variação de nível estático de 0,40 a 9,72 metros no período chuvoso e 0,88 a 8,38 metros, no período menos chuvoso.
- O pH das águas subterrâneas rasas exibiu valores baixos, com variação de 3,93 a 6,22 durante o período chuvoso e 3,95 a 6,42 no período menos chuvoso.
- O cloreto e o sódio apresentaram valores mais elevados durante o período menos chuvoso, bem como os valores de condutividade elétrica. Esses três

parâmetros demonstraram uma forte relação que foi atribuída à influência de esgotos domésticos nas águas subterrâneas rasas estudadas, ocorrendo no período menos chuvoso a concentração desses íons e, conseqüentemente, o aumento de condutividade elétrica. Apesar de ter sido verificada a elevação dos valores de sódio e cloreto, estes exibiram valores dentro dos limites estabelecidos pela Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde.

- Os valores de amônio foram mais expressivos durante o período chuvoso, com média de 0,91 mg/L. Este resultado está relacionado ao fato de ocorrer a elevação do nível freático no período chuvoso, facilitando o seu contato com fossas.
- O nitrito exibiu valores baixos, sendo mais evidente no período menos chuvoso com média de 0,10 mg/L. Os baixos valores de nitrito, provavelmente, estão relacionados ao seu comportamento instável devido a sua conversão para nitrato. Os valores verificados de nitrito mostraram-se dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde.
- O nitrato se destacou com valores médios de 17,91 mg/L no período menos chuvoso e 28,43 mg/L durante o período chuvoso, chegando a alcançar 64,03 mg/L no poço 2 e 43,49 mg/L no poço 13. A Portaria 2.914/11 estipula o valor máximo de 10 mg/L de nitrato em águas para consumo. No período chuvoso 86,67% das amostras e 80% no período menos chuvoso ultrapassaram os valores máximos permitidos pela legislação, demonstrando contaminação das águas subterrâneas rasas analisadas, tornando-as impróprias para o consumo. Cabe ressaltar que em 13,33% dos poços estudados verificou-se o processo de nitrificação, fato que está atrelado à precariedade sanitária desses poços. A detecção de nitrito e amônio nas águas analisadas aponta um possível aumento futuro nos teores de nitrato.
- As bactérias *Escherichia coli* e coliformes totais foram analisadas no período chuvoso e constatadas em 33,33% e 40% dos poços estudados, respectivamente. Através da Portaria 2.914/11, o Ministério da Saúde estabelece que águas para consumo devam apresentar ausência desses

microrganismos. A detecção dessas bactérias demonstra a interferência de fossas em águas subterrâneas rasas.

- Os mapas de sentido de fluxo hídrico mostraram que os poços situados nas regiões leste, oeste e centro oeste da área estão sendo mais afetados por influência de fossas localizadas na área de estudo.
- Quanto à classificação iônica, nos meses de janeiro (período chuvoso) e agosto (período menos chuvoso) as águas foram classificadas como bicarbonatadas sódicas. No mês de maio (período chuvoso) a predominância foi de águas sulfatadas sódicas e, no mês de outubro (período menos chuvoso), as águas foram predominantemente cloretadas sódicas.
- Em sua maioria, as famílias que consomem as águas estudadas são de baixa renda, e vivem sob condições precárias.

As águas captadas na área de estudo, em sua maioria, estão impróprias para o consumo. Portanto, sugere-se a realização de estudos para a possível detecção de outros contaminantes nessas águas, além de perfuração de poços mais profundos a fim de captar águas da Formação Pirabas, que tende a ser menos vulnerável à contaminação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEPFELBACHER FC, BREEN P, MANNING WJ. Methemoglobinemia and topical pharyngeal anesthesia. **N Engl J Med** ,v. 348, n. 1, p.85-86, Jan. 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Caderno de recursos hídricos. panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil.** 2005. Disponível em <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em 28 de nov de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil.** 2002. Disponível em <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2002/AEvolucaoDaGestaoDosRecursosHidricosNoBrasil.pdf>>. Acesso em 20 de dez de 2016.

ALABURDA, J; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Rev. Saúde Pública**, v. 32, n.2, p. 160-5, 1998.

ALFAIA, S.S. Caracterização e distribuição das formas do nitrogênio orgânico em três solos da Amazônia Central. **Acta Amazônia**. v. 36, n. 2, p. 135 – 140, 2006.

ALMEIDA, F.M. et al. Qualidade das águas subterrâneas do sistema aquífero barreiras na bacia hidrográfica do Tucunduba - Belém/Pa. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, 2004. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org>>. Acesso em: 29 de maio de 2016. (Suplemento do 13. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas).

AQUACHEM Software. **Waterloo hydrogeologic software e treinamento.** Canadá: Inc., Consultoria ambiental, 2011.

ARAI, M. A Grande elevação eustática do mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. **Geologia USP**. Série Científica, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1-6, 2006.

ARANA, L. V. **Princípios químicos de qualidade de água em aquicultura: Uma revisão para peixes e camarões.** Florianópolis: UFSC, 1997. 166 p.

ARAÚJO, P.P. **Variações sazonais dos componentes nitrogenados em aquíferos livres na zona urbana de Santa Isabel do Pará, Nordeste do estado do Pará.** 2001.113f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) -Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

ARAÚJO, P.P. **Avaliação dos compostos nitrogenados no aquífero livre em agroecossistemas de citros no alto rio capitão pocinho, Amazônia Oriental.** 2011. 175 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém. 2011.

ASCHENGRAU, A.; ZIERLER, S.; COHEN, A. Quality of community drinking water and the occurrence of the spontaneous abortion. **Arch. Environ. Health**, 44, 283, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS/ABAS. Poluição das águas subterrâneas. (2017). Disponível em: <<http://aguassubterraneas.cetesb.sp.gov.br/poluicao-das-aguas-subterraneas/>>. Acesso em 07 de fev de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (ABAS). **Contaminação e remediação de águas subterrâneas.** 2017. Disponível em: <http://www.abas.org/educacao_contaminacao.php>. Acesso em 07 de fev de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (ABAS). **Águas subterrâneas: o que são?.** 2017. Disponível em: <<http://www.abas.org/educacao.php>>. Acesso em: 07 de fev de 2017.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE DISTRIBUIÇÃO E DRENAGENS DE ÁGUAS (APDA). Comissão Especializada da Qualidade da Água. **Descrição sumária**.2013. Disponível em: <http://www.apda.pt/site/ficheiros_eventos/201302260954-ft_qi_13_amonio.pdf>. Acesso em: 18 de jan de 2017.

BAHIA, V. E. ; FENZL, N.; MORALES, G.P. **Caracterização da qualidade das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Utinga / Belém (PA) - a partir de dados hidrogeoquímicos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15.; ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 16.; FEIRA NACIONAL DA ÁGUA, 2008, Natal - RN. Fenágua, 2008.

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

BASTOS, T. X. et al. **Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos**. 1ª ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 31p. 2002.

BECH T.B. et al. Factors influencing the survival and leaching of tetracycline-resistant bacteria and *Escherichia coli* through structured agricultural fields. **Agric Ecosyst Environ** 195:10–17. 2014.

BERNICE, A. M. **Evolução da contaminação por nitrato em aquíferos urbanos: estudo de caso em Urânia (SP)**. 2010. 141 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia). Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

BIGUELINI, C.P; GUMY, M.P. Saúde ambiental: índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região sudoeste do Paraná. **Revista Unioeste**. vol 14 – num 20– Jul/Dez 2012 – pp. 153-175.

BÖCKELMANN U. et al. Quantitative PCR monitoring of antibiotic resistance genes and bacterial pathogens in three European artificial groundwater recharge systems. **Appl Environ Microbiol** 75(1):154–163. 2009.

BOTÊLHO, J.B.S.V. **Requerimento para outorga de uso de recursos hídricos. Formulário técnico B – Captação de Água Subterrânea. Processo nº 2011/0000008172.** Data do protocolo: 04/04/2011. p.54. Governo do Estado do Pará. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Diretoria de Recursos Hídricos. Belém. 2011.

BOUCHARD, D.C.; WILLIAM, S.M.K. Nitrate contamination of groundwater; sources and potential health effects. **Journal of the American Water Works Association.** 1992.

BOVOLATO, L. E. Saneamento básico e saúde. **Escritas: Revista do Curso de História de Araguaína**, [S.l.], v. 2, abr. 2015. ISSN 2238-7188. Disponível em: <<https://sistemas2.uft.edu.br:8004/index.php/escritas/article/view/1145>>. Acesso em: 31 dez. 2016.

BRAGA, B. **Introdução à Engenharia Ambiental.** São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2005.

BRASIL. Perguntas e respostas sobre a Portaria MS nº 2.914/2011. **Ministério da Saúde.** Outubro de 2012. Brasília, DF.

BRASIL. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. **Legislação para Águas de Consumo Humano.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

BRASIL. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Legislação para Águas de Consumo Humano.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

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

CABRAL, N.M.T; LIMA, L.M. Qualidade das águas do aquífero Barreiras em bairros de Belém/PA. **Águas Subterrâneas**, v. 19, n. 2, p. 37-53, 2005.

CABRAL, N.M.T. Comportamento hidrogeoquímico das águas do aquífero Barreiras nos bairros centrais de Belém, Pará. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, v. 1, n. 1, p. 149-166, jan-abr. 2006.

CABRAL, N.M.T. Teores de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) nas águas do aquífero barreiras nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal – Belém/PA. **Quim. Nova**, Vol. 30, No. 8, 1804-1808, 2007.

CAJAZEIRAS, C.C.A. **Qualidade e uso das águas Subterrâneas e a relação com doenças de veiculação hídrica, Região do Crajubar/CE**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geologia) Universidade Federal do Ceara, Fortaleza, 2007.

CANTER, L.W. **Nitrates in groundwater**. Boca Raton, Lewis Publishers. 263 p. 1997.

CANTER, L.W; KNOX, R.C. **Sept tank system effects on groundwater quality**. 3ª ed. Michigan. Lewis Publishers. 336p. 1998.

CAPOBIANCO, J.P.R. **“Importância da água”**. Disponível em: <<http://mundovestibular.com.br/articles/569/1/IMPORTANCIA-DA-AGUA/Paacutegina1.html>> 2007. Acessado em 28 de nov de 2015.

CARVALHO, F.I.M; et al. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas de Belém a partir de parâmetros físico-químicos e níveis de elementos traço usando análise multivariada. **Rev. Virtual Quim.**, 2015, 7(6), 2221-2241. Disponível em: <<http://www.uff.br/rvq>>. Acessado em 18 de jan de 2017.

CASTRO, E. **Belém de águas e ilhas**. Belém: CEJUP, 402p. 2006.

CETESB. **Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água**, 2011, ASCETESB, São Paulo.

CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo, Série Relatórios: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. CETESB: Companhia ambiental do estado de São Paulo, 2009.

CETESB. **Técnicas de análises bacteriológicas da água: membrana filtrante**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Apostila. 2009.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidades das águas interiores de São Paulo**. São Paulo, 1999. 371p.

CORDEIRO, C.A.; **Estudo da salinização no estuário do Rio Pará no trecho Belém-Mosqueiro**. 1987. 119p. Universidade Federal do Pará.1987.

COSTA, M. L; ANGÉLICA, R. S.; AVELAR, J. O. G. de 1991. Outeiro e Mosqueiro: Exemplos de evolução laterítica imatura. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, Belém, **Anais**. Belém, SBG – Núcleo Norte, 610p. p. 479 – 494.

COVERT, T.C.; SHADIX, LC.; RICE, E.W.; HAINES, J.R.; FREYBERG, R.W. Evaluation of the auto-analysis Colilert test for detection and enumeration of total coliforms. **Applied and Environmental Microbiology**. Washington, v.54, n.10. p. 215-229, 1989.

CROSS, R.; et al. The impact of improvement of water supply and sanitation facilities on diarrhea and intestinal parasites: a Brazilian experience with children in two lowcommunities. São Paulo. **Revista Saúde Pública**, v. 23, n. 3, p. 214-220, jun. 1989.

DIAS, E.R.F. et al. Caracterização geométrica e qualidade das águas dos aquíferos da bacia hidrográfica do Paracuri e adjacências, Belém/Pa, como base para a gestão dos recursos hídricos. **In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 2004. Cuiabá-MT. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas.

ECONOMIDES C. et al. Antibiotic resistance patterns of *Salmonella* and *Escherichia coli* in the groundwater of Cyprus. **Environ Geochem Health** 34(4):391–397. 2012.

ENRICH-PRAST, A. Caminhos do nitrogênio em ecossistemas aquáticos e continentais. p. 209. In: Roland, F; Cesar, D; Marinho, M. **Lições de Limnologia**. 532 p. 2005.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3° ed. Rev. E ampl. – Rio de Janeiro: CPRM, LABHID, 812p. 2008.

FERNANDES, C. **Esgotos Sanitários**, Ed. Univ./UFPB, João Pessoa, 1997, 435p. Disponível em http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/ES00_00.html. Acesso em 20 jan 2017.

FERNANDES, J.M.G. 1984. Paleoecologia da Formação Pirabas, Estado do Pará. Congresso Brasileiro de Geologia. Anais. 1: 330-340.

FERREIRA, C.S. 1966. Características litopaleontológicas da Formação Pirabas, Estado do Pará. **Anais**. VI Conferência de Geologia das Guianas. Avulso. DNPM/DGM, 41: 101-111.

FERREIRA, C.S. 1982. Notas estratigráficas sobre o Cenozóico marinho do Estado do Pará. **Anais**. Simpósio de Geologia da Amazônia. 1: 81-88.

FOSTER, S; et al. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. São Paulo. Servmar. 2006.104 p.

FRANCA, R.M. et al. Contaminação de poços tubulares em Juazeiro do Norte/CE. **Rev.Engenharia Sanitária Ambiental**. v. 11, n. 01, p. 92-102, 2006.

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

FREITAS, M.B.; FREITAS, C.M. A vigilância da qualidade da água para consumo humano – Desafios e perspectivas para o Sistema Único de saúde. **Ciência & Saúde Coletiva** 2005; 10(4): 993-1004.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE/ FUNASA. **Manual de Saneamento**. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2007. 408 p.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE/ FUNASA. **Manual de controle de qualidade de água para técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília : Funasa, 2014. 112p.

GADELHA, F.J; et al. Verificação da presença de nitrito em águas de consumo humano da comunidade de várzea do cobra em Limoeiro do Norte-CE. **Ciências Exatas e da Terra**. Fortaleza, CE. Jul. de 2005. Disponível em http://www.sbpnet.org.br/livro/57ra/programas/senior/RESUMOS/resumo_266.html. Acesso em 10 jan. 2017.

GASPAR, M.T.P. **Avaliação dos impactos da ocupação urbana sobre as águas da bacia hidrográfica do igarapé Mata Fome, Belém-PA**. 132 p. 2001. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica). Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. Belém. 2001.

GÓES, A. M. 1990. Modelo deposicional preliminar para Formação Pirabas, nordeste do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Belém, v 2 p 3 –15.

GREGÓRIO, A.M.S.; MENDES, A.C. Characterization of sedimentary deposits at the confluence of two tributaries of the Pará River estuary (Guajará Bay, Amazon). **Continental Shelf Research**, 29: 609-618. 2009.

GUIMARÃES, A.J.A.; CARVALHO, D.F.; SILVA, L.D.B. **Saneamento Básico**, ago2007. Disponível: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABwH8AG/capitulo1-saneamento-basico>>. Acesso em 19 nov 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **Atlas do Saneamento**, Rio de Janeiro. 2010.

JIN, Y; FLURY, M. Fate and transport of viruses in porous media. **Adv Agron** 77:39–102. 2002.

LIMA, C. C. U. **Caracterização sedimentológica e aspectos do Grupo Barreiras no litoral sul do estado da Bahia**. 141 p. 2002. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador

LOUREIRO, R. S. et al. Estudo dos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2009 no estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. esp., 83 - 94, 2014. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130054>. Acesso em 27 de nov de 2015.

MANASSARAM, D.M; BACKER, L.C; MOLL, D.M. A review of nitrates in drinking water: maternal exposure and adverse reproductive and developmental outcomes. **Journal of Environmental Health**. 2006. 114:320-327. doi:10.1289.

MARQUES, F.C; CAVALCANTE, P. R. S; BARBIERI, R. Qualidade das águas subterrâneas da área urbana no município de Santa Helena (MA). In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de

Poços. 2010, São Luís- MA. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/asubterraneas/article/viewFile/22903/15045>>. Acesso em: 12 out. 2015.

MARTINS, G.; et al. Impacto do saneamento básico na saúde da população de Itapetininga SP, de 1980 a1987. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Vol. 7, n. 3, jul/set e n. 4 out/dez. 2002, p.161-188.

MATTA, M. A. S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil**. 2002. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica). Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. Belém. 2002.

MATTA, M.A.S. et al. Comportamento do nível estático e do fluxo hídrico subterrâneo do sistema hidrogeológico superior da bacia hidrográfica do Murucutu Belém-Pa. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. 2010. São Luís-MA. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23122/15237>>. Acesso em: 01 de fev 2017.

MAURY, C.J. 1925. Fósseis terciários do Brasil. Serviço de Geologia e Mineralogia do Brasil, com descrições de novas formas cretáceas. **Mon. Div.Geol. Min.** Rio de Janeiro, 4: 1-35.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/MMA. **Águas Subterrâneas: Um recurso a ser conhecido e protegido**. 1.ed. Brasília: Agência Crio. 2007. 40 p.

MOREIRA, E. **Belém e sua expressão geográfica**. Belém: Imprensa Universitária. 212p. 1966.

MURPHY HM.; et al (2014) A systematic review of waterborne disease burden methodologies from developed countries. **Journal Water Health** 12(4):634–655. 2014.

NAVAL, L. P; COUTO, T. C. Remoção de nitrogênio amoniacal em efluentes de sistemas anaeróbios. In: AIDIS; **Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente**. Avanzando hacia los Objetivos de Desarrollo del Milenio en el marco de la ingeniería sanitaria ambiental. Asunción, AIDIS Paraguay, 2005. p.1-5. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/paraguay5/IIAS01.pdf>. Acesso em 20 de jan de 2017.

NECHET. D. Variabilidade diurna de precipitação em Belém-PA: aplicação em planejamento a médio e longo prazo. **Boletim Climatológico**. Presidente Prudente, SP, v.2, n.3, p.223-227, jul. 1997.

NUNES, F.C; SILVA, E.F; VILAS BOAS, G.S. Grupo Barreiras: Características, Gênese e Evidências de Neotectonismo. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. 2.ed. Rio de Janeiro. EMPRAPA, 2011. 31 p. ISSN 1678-0892.

OLIVEIRA FILHO, O.B.Q. **Investigação de mistura de águas entre o sistema Barreiras e Pirabas com base na assinatura isotópica de Estrôncio (Sr) e hidrogeoquímica em Ananindeua, Belém e backgrounds em Benevides e Capanema, Pará**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia). Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2012.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. (2001). **Water and Sanitation** - Fact sheet number 112. Disponível em: <http://www.who.int/inffs/en/fact112.html>. Acesso em 27 de nov de 2015.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. **La Salud y el Ambiente em el Desarrollo Sostenible**. Publicación Científica, n. 572, OPS, Washington D.C, 2000. 298p.

PARANHOS, P.F. **Caracterização hidroquímica do sistema aquífero Pirabas em Icoaraci, Região Metropolitana de Belém – Estado do Pará.** 2010. 120p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências, Belém. 2010.

PETRI, S. 1957. Foraminíferos miocênicos da Formação Pirabas. **Bol. Fac. Ciênc. Let.** Universidade de São Paulo. 2016 (16): 1-78.

PINHEIRO, R.V.L.; **Estudo hidrodinâmico sedimentológico do Estuário Guajará-Belém (PA).** 1987. 176p. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Belém, 1987.

PROSPECTO. **Água subterrânea - reservatório para um planeta com sede?** Ciência da Terra Para a Sociedade. Planeta Terra. 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM. **Anuário Estatístico do Município de Belém.** Disponível: <http://www.belem.pa.gov.br/app/pdfsegep/anuarioPDF/101_Caracterizacao%20do%20Territorio.pdf>. 2011. Acesso em 17 de out de 2015.

PRÜSS-USTIN, A., BOS, R., GORA, F. & BARTRAM, J. 2008. **Safer water, better health. costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health.** WHO, Geneva, 2008, 53 p. Disponível em: <http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/saferwater/en/index.html> Acesso em 31 de dez de 2016.

RATEL, O.M; DEBRIEU, C. Elimination des nitrates des eaux potables. Ministere de L'agriculture, de L'alimentation, de La Peche et des Affaires Rurales. **Direction de l'Espace Rural et de La Forêt.** Document technique. FNDAE. Hors serie n°4. France. [20--]. 71 p. Disponível em <<http://www.fnvae.fr/documentation/PDF/fndaehs04bis.pdf>>. Acesso em 02 fev 2017.

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

REIS, L.B; CUNHA, E.C.N. **Energia elétrica e sustentabilidade: Aspectos tecnológicos, socioambientais e legais.** Barueri, SP: Manole, 2006. 87p.

RICE, E. W. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater** (APHA- WPCF). 22. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2012.

RODRIGUES, D.F; VIEIRA, F.C; RODRIGUES, M.E.F. Metahemoglobinemia: Etiopatogenia e quadro clínico. SOPERJ - **Revista de pediatria.** 2011. Disponível em http://revistadepediatriasoperj.org.br/detalhe_artigo.asp?id=563. Acesso em 30 de nov de 2015.

ROSSETTI, G. A. M.; TRUCKENBRODT, W.; 1990. A Influência Marinha nos Sedimentos Barreiras. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi.** Série Ciências da Terra 2: p 17 – 29.

SÁ, J. H. S. 1969. Contribuição à geologia dos Sedimentos Terciários e Quaternários da Região Bragantina. **Boletim Instituto de Geociências.** Geologia.Rio de Janeiro, 3:21-36.

SANTOS NETO, A.O. **Avaliação bacteriológica de águas de bebedouros em escolas da rede pública estadual da zona sul de Recife-PE.** Monografia de conclusão de curso. UFPE, Recife, 2003.

SILVA, A.C. **Estudo da contaminação do lençol freático através da integração de técnicas geoquímicas e geofísicas em Ji-Paraná, RO.** 2008. 153p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

SILVA, N.; et al. **Manual de métodos de análise microbiológica da água**. São Paulo: Varela, 164p. 2005.

SILVA, O.F; LOWENSTEIN, P. 1968. Contribuição à Geologia da folha de São Luiz (SA23), no estado do Pará – novas localidades e razão magnésio-cálcio do calcário Pirabas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, 13:1-17.

SILVA, R.C.A; ARAÚJO, T.M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Cien Saude Colet** 2003; ; 8(4):1010-1028.

SILVA, S.S.; SAJAN, I.S.; UNDERWOOD III, J.P. Congenital methemoglobinemia: a rare cause of cyanosis in the newborn: a case report. **Pediatrics** 2003;112:158-161.

SIOLI, H. 1960. Pesquisas limnológicas na região da Estrada de ferro de Bragança, estado do Pará, Brasil. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte**. nº 37.91p.

STEINHORN, R.H. Evaluation and management of the cyanotic neonate. National Institutes of Health. **Clin Pediatr Emerg Med**. 2008 September; 9(3): 169–175. doi:10.1016/j.cpem.2008.06.006.

SUGUIO, K.; NOGUEIRA, A. C. R. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 461-479, 1999.

THORNTHWAITE, C. W; MATHER, J.R. 1995. **The water balance**. **Publications in Climatology**. New Jersey. Drexel Institute of Technology. 104p.

TORRES, D.A.G.V.; CHIEFFI. P.P.; COSTA, W.A.; KUDZIELICS, E. Giardíase em creches mantidas pela prefeitura do município de São Paulo, 1982/1983. **Rev.Inst.Med.Trop.** São Paulo, v.33, p.137-141, 2000.

TORRES, R.M. **Remoção biológica de nitrato em água de abastecimento humano utilizando o endocarpo de coco como fonte de carbono.** 2011. 75 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. UFRN. Natal. 2011.

TUCCI, C.E.M. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas doces do Brasil: Capital ecológico, uso e conservação.** 3.ed.São Paulo: Escrituras, 2006.cap 12, p.399-432.

TUCCI, C.E.M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O.M. **Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a visão mundial da água.**2002.

UDEH C, BITTIKOFER J, SUM-PING STJ — Severe methemoglobinemia on reexposure to benzocaine. **J Clin Anesth**, v. 13, n. 2. p. 128-130, 2001.

UHR, J.G.Z. et al. Relação entre saneamento básico no Brasil e saúde da população sob a ótica das internações hospitalares por doenças de veiculação hídrica. **RACEF – Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace**, v. 7, n. 2, p. 01-16, 2016.

VILAS BOAS, G. S. Sedimentos terciários e quaternários do interior. In: BARBOSA, J.S.F.; DOMINGUEZ, J.M.L. (eds). **Mapa geológico do estado da Bahia** - texto explicativo. Salvador: Secretária de Minas e Energia do Estado da Bahia/SGM, 1996. p.165-167.

VILAS BOAS, G. S.; SAMPAIO, F. J.; PEREIRA, A. M. S. The Barreiras Group in the Northeastern coast of the state of Bahia, Brasil: depositional mechanisms and

processes. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 73, n. 3, p. 417-427, 2001.

ZANCUL, M.S. Água e saúde. **Revista de Ciências**, São Carlos, n. 32, p. 00-00, abr. 2006.

ANEXOS

ANEXO 1 - FORMULÁRIO UTILIZADO PARA CADASTRO DE POÇOS

FICHA DE CADASTRAMENTO DE POÇOS

NÚMERO DE CADASTRO _____

DADOS PESSOAIS					
Nome					
Endereço					
Município		Estado	CEP		
DDD	Fone	E-mail			
Referência adicional para localização do local:					

TIPO DE POÇO	
Tubular ()	Manual ()

CAPTAÇÃO-CARACTERÍSTICAS						
Tipo de bomba:				Revestimento:		
LOCALIZAÇÃO						
[] SAD 69 [] WGS 84						
Formato LAT/LONG	LATITUDE			LONGITUDE		
	GRAU:	MIN:	SEG:	GRAU:	MIN:	SEG:
Formato UTM (X,Y)	X (7 dígitos)=			Y (8 dígitos)=		

POÇO MANUAL-CARACTERÍSTICAS					
Ano da perfuração:		Diâmetro (mm):		Profundidade (m):	

POÇO TUBULAR-CARACTERÍSTICAS					
Ano da perfuração:		Diâmetro (mm):		Profundidade (m):	

COTA DO POÇO(m) e NÍVEL ESTÁTICO (m)			
Cota (m) =	Nível da água (m) =	Altura boca do poço(m) =	NE (m) =

PERFIL DO POÇO

--

DISTÂNCIA ENTRE O POÇO E POSSÍVEL FONTE DE CONTAMINAÇÃO

Distância (m) =

FINALIDADES DE USO DO POÇO

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Irrigação
<input type="checkbox"/> Consumo humano
<input type="checkbox"/> Abastecimento Público
<input type="checkbox"/> Dessedentação de animais
<input type="checkbox"/> Consumo industrial/agroindustrial | <input type="checkbox"/> Lavagens de veículos
<input type="checkbox"/> Lançamento de efluentes
<input type="checkbox"/> Outro - Definir |
|--|---|

CONSUMO

Número de pessoas	Tratamento de água () Sim () não
-------------------	------------------------------------

CRIAÇÃO DE ANIMAIS

Tipo de criação	<input type="checkbox"/> Aves <input type="checkbox"/> Cachorro <input type="checkbox"/> Gato <input type="checkbox"/> Eqüinos <input type="checkbox"/> Suínos <input type="checkbox"/> Outro - Definir	Nº de cabeças:	Aves: Cachorro: Gato: Eqüinos: Suínos: Outro:
------------------------	--	-----------------------	--

LAVAGEM DE VEICULOS

Nº médio de veículos leves lavados/dia:

Nº médio de veículos pesados lavados/dia;

OBSERVAÇÕES

ANEXO 2 - FORMULÁRIO SÓCIOECONÔMICO E AMBIENTAL

**QUESTIONÁRIO SÓCIOECONOMICO E AMBIENTAL DA
COMUNIDADE PARQUE GUAJARÁ-BELÉM/PA**

NÚMERO DE CADASTRO _____

DADOS PESSOAIS					
Nome					
Endereço					
Município			Estado	CEP	
DDD		Fone			E-mail
Referência adicional para localização do local:					

TEMPO DE MORADIA:

MENOS DE 1 ANO () 1 A 5 ANOS ()

5 A 10 ANOS () 10 ANOS OU MAIS ()

TIPO DE RESIDÊNCIA: TIJOLO () MADEIRA () OUTROS ()

GRAU DE ESCOLARIDADE: 1º GRAU INCOMPLETO ()

1º GRAU COMPLETO ()

2º GRAU INCOMPLETO ()

2º GRAU COMPLETO ()

ENSINO SUPERIOR ()

RENDA MENSAL: ATÉ 1 SALÁRIO MÍNIMO ()

ATÉ 2 SALÁRIOS MÍNIMOS ()

MAIS DE 2 SALÁRIOS MÍNIMOS ()

QUANTOS ADULTOS VIVEM NA RESIDÊNCIA: _____

QUANTAS CRIANÇAS VIVEM NA RESIDÊNCIA: _____

COCEIRAS NA PELE: SIM () NÃO ()

CASO DE HEPATITE A: SIM () NÃO ()

SUBNUTRIÇÃO PRINCIPALMENTE EM CRIANÇAS: SIM () NÃO ()

DORES ABDOMINAIS COM FREQUÊNCIA: SIM () NÃO ()

VÔMITOS REGULARMENTE: SIM () NÃO ()

DIARRÉIA REGULARMENTE: SIM () NÃO ()

