



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
CAMPUS DE JI-PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



CARYNE FERREIRA RAMOS

**ESTUDO DA DIREÇÃO DE FLUXO E DAS VARIÁVEIS FÍSICAS, QUÍMICAS E
MICROBIOLÓGICAS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DOS DISTRITOS DE NOVA
LONDRINA E NOVA COLINA (JI-PARANÁ\RO).**

Ji-Paraná,

2017

CARYNE FERREIRA RAMOS

ESTUDO DA DIREÇÃO DE FLUXO E DAS VARIÁVEIS FÍSICAS, QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DOS DISTRITOS DE NOVA LONDRINA E NOVA COLINA (JI-PARANÁ\RO).

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Elisabete Lourdes do Nascimento

Ji-Paraná,

2017

Á Deus, a Maria Santíssima, aos meus pais Celso e Carol, ao meu ninho
Celsinho e à família maravilhosa que Deus me deu

“Os cosmos material apresenta-se à inteligência do homem para que este leia nele os vestígios de seu criador. A luz e a noite, o vento e o fogo, a água e a terra, a árvore e os frutos falam de Deus, simbolizam ao mesmo tempo a grandeza e a proximidade Dele”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meu Pai celeste que me amou primeiro e me chamou a vida, a Jesus que me salvou e me guardou para a eternidade e ao Espírito Santo, doce hóspede da alma, doador dos dons, que vem em meu auxílio toda vez que clamo por Sua ação gloriosa, me santificando e ensinando a viver com paciência, humildade, sabedoria, entendimento e piedade.

Agradeço a Virgem Maria, o molde dos cristãos, que me acolheu como filha e tem me gerado a cada dia segundo a vontade do Pai. Agradeço a meus pais, Celso e Carol, por todo amor, dedicação, esforço, por cada dia de trabalho cansativo que passaram pensando em providenciar o melhor para nossa família, por cada dia ensinando e endireitando meus passos, com paciência, respeito e amor, pelos cuidados incansáveis, desde trocar fralda, dar banho, ajudar a atravessar a rua, passar roupa, limpar casa, até o mais doce e agradável colo, da infância até esta fase da vida, com palavras de correção, de conselho, e principalmente por terem se preocupado em me ensinar o respeito, a humildade e o amor a Deus.

A meu irmão Celsinho que mesmo com seu pouco tempo de vida na terra foi capaz de dar a sua irmãzinha os melhores exemplos, os quais me auxiliam em cada decisão tomada até os dias de hoje, por seu cuidado de irmão, incansável, e agradeço a Deus novamente por ter me dado a graça de tê-lo como irmão, de ter me dado a oportunidade de ter tido alguém tão especial cuidando de mim, me amando e de o amar de volta.

A todos os meus tios, primos, a meus padrinhos Dindo, Tânia e vó Iraci, de modo especial aos tios Arlindo e Ceixa, Ana e Altamiro, aos primos Leandro, Nataly, Sandro e Fabinha que foram fundamentais para o término deste curso, dando força, alegria, ajudando nos momentos em que precisei.

Agradeço aos meus amigos, por toda ajuda prestada, pelas palavras de consolo, encorajamento, pelo aprendizado extra classe, aquele que não está escrito em livros e nem há possibilidade de ser testado pela ciência, está nas experiências e escrito no coração, a vocês que souberem me carregar com paciência agradeço imensamente, pois poderiam me deixar só, mas escolherem ficar ao meu lado, muito obrigada.

De modo especial gostaria de lembrar da Isabely Sanches, minha amiga-irmã, que cresceu comigo e me incentiva em todas as coisas boas, me corrigi com autoridade, me lembra do que fui chamada a ser neste mundo e me encoraja a estar cada dia mais junto de Deus, me recordo também da Angélica Rabelo, a loira da turma não poderia faltar nos meus

agradecimentos, a Taynara Fontoura, Silvana Trevizane, Wagner Almeida, Tais Martins, Maylla Caroline, Gian Phablo, Graciele Faria.

Aos meus colegas e amigos da UNIR, agradeço a Camila Bermond Ruezzenne, a qual me ensinou muitas coisas com seu jeitinho de ser, que sempre consegue o que quer com garra, e um pouco de suor (risos), lembrando que nos últimos segundos, se não for assim não é Camila, a Nicolevisky (Nicoly Dal Santo), a moça do coração endurecido, mas que por dentro se derrete, a ruiva que parece ser chata, mas é a pessoa do coração grandão, muito obrigada meninas, sem vocês esses anos na UNIR não teriam a mesma alegria. Ao Lucas Joahay que me ensinou a perseverar e a sempre pedir a opinião de Deus em tudo, tudo mesmo, obrigada. Ao Nicholas Brito pelas horas de conversas a cerca da complexidade do mundo e como poderíamos ser melhores e alcançar algumas mudanças.

E por último na lista dos amigos, nem por isso a menos importante, aquela que me aturou a maior parte do tempo, aquela que soube rir das minhas limitações sem brigar comigo, aquela que tomou minhas dores como se fossem delas, aquela que fez das dificuldades do aprendizado a piada do dia, melhor rir do que chorar né Josilena, para os íntimos, Josi, muito obrigada, agradeço a Deus pela companheira de serviço que Ele me deu, Ele foi extremamente bondoso comigo, me deu mais uma mão para descer e subir as ladeiras das tantas coletas do curso, na verdade, a mão que me ajudou a descer e subir as ladeiras da vida destes últimos cinco anos, muito obrigada Josi, que Deus te abençoe.

Agradeço a toda turma 2013 da engenharia, esta turma foi a reunião de gente respeitosa e dedicada, tenho orgulho de dizer que faço parte dela. Agradeço ao pessoal do LABLIM, Luiza Pavanello, Thiago Alves, Joaquim Machado de Assis, Luis Eduardo, Clávio Momo e Amanda Sobrinho, bem como dos demais laboratórios do campus, aos técnicos Aurelino Helvécio e Gleiciane Barros.

Gostaria de nomear a todos, mas seriam poucos os números de página neste documento, por isso muito obrigada a você que me ajudou.

Gostaria de agradecer também ao Sr. Milton, ao seu Jurandir, ao Sr. Carlos, a Lu, ao Wiliam, que sempre me emprestavam alguma coisa, ou quebravam o galho para gente, foram essenciais para o término do curso, muito obrigada, aproveito para agradecer a todos os servidores da UNIR.

Agradeço imensamente a minha professora orientadora Elisabete Lourdes Nascimento que desde o início me acolheu como sua filha científica, com paciência me ensinou, confiou em mim, proporcionou que trabalhássemos com alegria e dedicação, não mediu esforços para que pudéssemos realizar as pesquisas, nunca nos deixou desorientadas mesmo nas suas

ausências, pela carga horária extra orientadora científica, né prof? Pelas vezes que enxugou nossas lágrimas, por ouvir as dificuldades e lutas que travávamos na vida fora UNIR, pelos conselhos, muito obrigada prof, muito obrigada.

Gostaria de agradecer todos os professores do departamento que com alegria e zelo se preocuparam em transmitir o que sabem, muito obrigada, sem vocês não seria possível minha formação.

Aos meus professores do curso técnico, de modo especial a Prof^a. Andreza Mendonça e ao Prof. Fernando Rebouças. Ao Itamar Machado que desde o IFRO me auxiliou para realização das pesquisas, muito obrigada.

Agradeço a Prof^a Ana Lúcia Denardin da Rosa, que me incentivou a continuar no curso, pela orientação no início, por ter acreditado e dado a honra de ter sido sua orientada, pelas ajudas prestadas mesmo a distância, muito obrigada professora.

A Raissa Fonseca Ferreira, que nos auxiliou na realização da pesquisa, nos ensinando as metodologias, compartilhando experiências e por ter aceitado contribuir com meu trabalho de conclusão de curso, muito obrigada.

A Prof. Beatriz Machado Gomes, pela orientação na monitoria, pela paciência de nos ajudar a minimizar os erros da pesquisa, pela disposição constante em ensinar, pela compreensão, sugestões, por ter aceito contribuir com a pesquisa, muito obrigada.

RESUMO: A água subterrânea tem sido amplamente utilizada nos diversos setores da sociedade, porém como consequência das atividades antrópicas tem-se a alteração da sua qualidade. A presente pesquisa teve o objetivo de avaliar a qualidade da água subterrânea e mapear a direção do fluxo visando identificar possíveis fontes de contaminação nos distritos de Nova Londrina e Nova Colina (Ji-Paraná/RO). A água foi coletada nos meses de setembro/15 (mês de seca) e fevereiro/16 (mês de cheia) em 20 poços de Nova Londrina e nos meses de dezembro/16 (mês de cheia) e abril/17 (vazante) em 15 poços de Nova Colina, com auxílio de garrafas plásticas e coletor específico, foram obtidos dados de profundidade de fundo e de superfície do poço, tampa, revestimento, distância entre poço e fossa. A análise de turbidez ocorreu por meio de um turbidímetro de bancada. O pH foi determinado por pHmetro e condutividade elétrica - CE por meio de condutivímetro, obtidas *in loco*. A análise de microbiologia foi realizada pelo método de membrana filtrante em meio cromogênico e sólidos totais dissolvidos -STD conforme o método gravimétrico. Os nutrientes, amônia, nitrito, nitrato, fósforo dissolvido e fósforo total foram determinados pelo método espectrofotométrico e o fluxo subterrâneo foi obtido pelo software Surfer 8.0 a partir da cota altimétrica e o nível estático dos poços. Dos parâmetros avaliados os que estiveram em desacordo com as legislações foram o pH, turbidez, variáveis microbiológicas em ambos os distritos estudados, fósforo dissolvido em Nova Londrina e nitrato em Nova Colina. Por meio da análise de componentes principais - ACP foi possível analisar que as variáveis STD, coliformes totais, pH e CE apresentam importante contribuição para formação dos eixos da água subterrânea de Nova Londrina e as variáveis CE, nitrato e cotas do poço e da fossa para de Nova Colina. O fluxo subterrâneo não foi diferente entre os meses estudados, sendo predominante no sentido noroeste sudeste (Nova Londrina) e sudeste para as demais regiões (Nova Colina). A partir da ACP e análise dos cartogramas e do fluxo subterrâneo é possível afirmar que a principal fonte de contaminação da água subterrânea de Nova Londrina e Nova Colina é o esgoto doméstico, sendo observado a interferência de outras variáveis, como características dos poços, uso e ocupação do solo.

PALAVRAS-CHAVE: poços, nitratos, análise multivariada, qualidade da água, saneamento

ABSTRACT: Groundwater has been widely used in the various sectors of society, but the consequence of anthropic activities have been changed its quality. The present research had the objective of evaluating groundwater quality and mapping the direction of its flow in order to identify possible sources of contamination in the districts of Nova Londrina and Nova Colina (Ji-Paraná / RO). The water was collected in September / 15 (dry month) and February / 16 (wet month) in 20 wells of Nova Londrina and in the months of December / 16 (wet month) and April / 17 (transition – wet/dry) in 15 wells of Nova Colina, with the aid of plastic bottles and specific collector, data of depth and well surface, cover, coating, distance between well and cesspool were obtained. Turbidity analysis was performed using a benchtop turbidimeter. The pH was determined by pH meter and electrical conductivity - EC by a conductivity meter, obtained *in loco*. The microbiology analysis was performed by the filter membrane method in chromogenic medium and total dissolved solids -TDS according to the gravimetric method. The nutrients, ammonia, nitrite, nitrate, dissolved phosphorus and total phosphorus were determined by the spectrophotometric method and the subterranean flow was obtained by the Surfer 8.0 software from the altimetric dimension and the static level of the wells. The parameters that were in disagreement with the legislations were pH, turbidity, microbiological variables in both studied districts, dissolved phosphorus in New Londrina and nitrate in Nova Colina. By means of the principal components of analysis - PCA, it was possible to analyze that the variables STD, total coliforms, pH and EC present an important contribution to the formation of the Nova Londrina groundwater axis and the variables EC, nitrate and well and pit of New Hill. The underground flow was not different between the months studied, being predominant in the north-western direction (Nova Londrina) and southeast for the other regions (Nova Colina). From the PCA and analysis of the cartograms and the underground flow, it is possible to affirm that the main source of groundwater contamination of Nova Londrina and Nova Colina is domestic sewage, being observed the interference of other variables, such as well characteristics, use and occupation of the soil.

KEY WORDS: wells, nitrates, multivariate analysis, water quality, sanitation.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
OBJETIVO GERAL	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
1.1 DISPONIBILIDADE DA ÁGUA	14
1.2 ÁGUA SUBTERRÂNEA	15
1.2.3 FORMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	17
1.2.4 USOS, POLUIÇÃO E IMPLICAÇÕES	18
1.2.5 QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	20
1.2.5.1 Temperatura	21
1.2.5.2 Sólidos Totais Dissolvidos - STD	21
1.2.5.3 Condutividade Elétrica - CE	22
1.2.5.4 Turbidez	22
1.2.5.5 Potencial Hidrogeniônico - pH	22
1.2.5.6 Nitrogênio (Amônio, Nitrito, Nitrato).....	23
1.2.5.7 Fósforo	24
1.2.5.8 Coliformes Totais e <i>Escherichia coli</i> – <i>E.coli</i>	25
1.3 DIREÇÃO DO FLUXO SUBTERRÂNEO	25
2 METODOLOGIA.....	26
2.1 ÁREA DE ESTUDO	26
2.2 AMOSTRAGEM	28
2.3 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	29
2.4 ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS	29
2.5 DIREÇÃO DO FLUXO SUBTERRÂNEO	29
2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	30
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
3.1 QUESTIONÁRIO SOCIOECONÔMICO AMBIENTAL	30
3.2 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DOS POÇOS.....	31
3.3 QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	34
3.3.1 Temperatura	34
3.3.2 Sólidos totais dissolvidos - STD	35
3.3.3 Condutividade elétrica	35

3.3.4 Turbidez	36
3.3.5 Potencial Hidrogeniônico – pH.....	37
3.3.6 Nitrogênio (amônia, nitrito e nitrato)	37
3.3.7 Fósforo	38
3.3.8 Coliformes Totais e <i>Escherichia coli</i>	38
3.4 ANÁLISE MULTIVARIADA	41
3.5 DIREÇÃO DE FLUXO SUBTERRÂNEO	44
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
REFERÊNCIAS	53

INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais essenciais à vida humana e ao equilíbrio dos ecossistemas, e considerando que o acesso a água potável é um direito garantido por lei a qualquer cidadão, torna-se de grande importância a realização de um balanço hídrico para refletir formas de garantir sua disponibilidade para todos (ANA, 2012).

No Brasil, a água bruta se encontra em ampla disponibilidade se comparado aos demais países, mas a distribuição espacial desse recurso ocorre de modo desigual, estando disponível em maior quantidade nas regiões que apresentam menores densidades populacionais, como é o caso da região Amazônica, no entanto, está pouco disponível de forma potável, ou seja, atendendo aos parâmetros estabelecidos para o consumo humano. Como possível observar, o balanço hídrico é regido por três principais fatores: quantidade, demanda e qualidade (IBGE, 2010; ANA, 2012; IRITANI;EZAKI, 2012).

A maior parte da água doce disponível na Terra, que corresponde em torno de 97%, encontra-se como água subterrânea, as quais se definem como água que ocorre no subsolo (BRASIL, 2008; BAIRD, 2011). A importância da água subterrânea para a sociedade é inumerável, sendo a principal responsável pela manutenção dos rios e lagos. A captação de água por meio de poços tem sido importante possibilidade econômica para indústrias e empresas, assim como alternativa de abastecimento para os 16,7% municípios do Brasil que não possui atendimento com rede de abastecimento de água tratada (TUCCI; CABRAL, 2003; BRAGA et al., 2005; IRITANI;EZAKI, 2012; SNIS, 2017).

Ocorre ainda que alguns municípios não apresentam abrangência desse serviço em todos os bairros e também acontece de muitos residentes preferirem a utilização da água subterrânea, por vários fatores como: falta de confiança na qualidade da água disponibilizada; insuficiência do serviço; e cobrança de taxa (IBGE, 2010; BIESDORF; SIMIONATO, 2013; PIFFER, 2014).

É importante ressaltar também que, dos sistemas de abastecimento de água em funcionamento no ano de 2008, 47,5% efetuaram a captação em poços profundos (IBGE, 2010).

O fato preocupante se deve a poluição da água subterrânea ocasionada em partes pelo: (a) comprometimento das águas superficiais, devido ações antrópicas e como alternativa o despejo de efluentes no subsolo, como graxas de postos de gasolina e demais rejeitos industriais; (b) precariedade do serviço de esgotamento sanitário, tornando-se relativamente significativa as cargas poluidoras por esgotos domésticos por meio de fossas construídas sem os requisitos mínimos para diminuição de impacto e (c) ampla utilização de produtos químicos, como fertilizantes, adubos, defensivos agrícolas pela atividade agropecuária (TUCCI; CABRAL, 2003; ANA, 2005).

Esta questão é agravada quando se observa que as condições de construção dos poços podem contribuir para poluição da água subterrânea e que o crescimento da utilização de águas de poço foi acompanhado da proliferação de poços construídos sem critérios técnicos adequados (ANA, 2007).

Em Rondônia já foi identificado problemas de contaminação da água subterrânea, Martins (2011), analisou a água de pontos de captação do bairro Boa Esperança, em Ji-Paraná/RO e identificou influência do lixão inativo da cidade na qualidade da água desta região, como a presença de metais pesados. Cremonese (2015), estudou a presença de mercúrio na água subterrânea da mesma área que o autor supracitado e também de área próxima ao lixão ativo do município, e foi encontrado presença de mercúrio em todas as amostras, o que se torna preocupante devido a toxicidade e capacidade bioacumulativa desta substância.

Dentre outras pesquisas realizadas no estado, citam-se as realizadas nos municípios de Presidente Médici, por Laureano et al. (2015), de Vilhena, por Oliveira et al. (2015) e na comunidade Santa Rosa, entorno da REBIO Jaru, por Ferreira et al. (2015), em que observaram contaminação da água subterrânea por coliformes totais e *E.coli*, indicando contato destas águas com esgoto doméstico.

Nunes et al. (2012), ao analisarem a água de poços próximos a uma horta no município de Ji-Paraná, observaram contaminação da água subterrânea por nitrato, os quais são prejudiciais à saúde da população devido o risco de metemoglobinemia, linfoma e câncer de estômago, conforme afirma Baird (2011).

Solucionar os impactos ocasionados na água subterrânea é um dos problemas atuais de todo o mundo, os quais prejudica diretamente a população que capta a água subterrânea para seu uso, gerando riscos e impactos a saúde (TUCCI; CABRAL, 2003).

A direção de fluxo da água subterrânea pode servir como um imprescindível instrumento de gestão, direcionando ações, que promovam a implantação de áreas de restrição e controle do uso da água subterrânea, proporcionando a prevenção e redução de riscos de contaminação e prejuízos ambientais e à saúde da população.

O presente trabalho irá contribuir com informações a cerca da água subterrânea ampliando o conhecimento regional, a fim de colaborar com a gestão desta no que se refere a sua qualidade.

OBJETIVO GERAL

Estudar o comportamento limnológico da água subterrânea e verificar a direção do fluxo, visando identificar possíveis fontes de contaminação nos distritos de Nova Londrina e Nova Colina (Ji-Paraná/RO).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar levantamento socioambiental dos participantes da pesquisa;
- b) Levantar as características construtivas dos poços estudados;
- c) Realizar coletas e análises laboratoriais da água subterrânea em períodos hidrológicos distintos;
- d) Mapear o fluxo subterrâneo e identificar possíveis fontes poluidoras;
- e) Comparar os resultados obtidos com os padrões estabelecidos pela Portaria 2.914/MS/2011 e Resolução 396/CONAMA/2008;

1 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

1.1 DISPONIBILIDADE DA ÁGUA

Sendo a água o recurso natural essencial a vida humana e ao equilíbrio dos ecossistemas, a preocupação com sua disponibilidade, apesar de recorrente, é extremamente justificável, e contribui para construção de formas para sua gestão, além de se referir a quantidade, disponibilidade de água envolve fatores como demanda e qualidade (ANA, 2012).

Quando se trata de quantidade de água estima-se em $1,5 \times 10^9 \text{ km}^3$ o volume de água no Planeta (Lvovitch, 1984 apud LIBÂNIO, 2005). Destes, 97% se refere a água salgada, 2,2% a geleiras e 0,8% a água doce (LIBÂNIO, 2005; TEIXEIRA et al., 2009; SPERLING, 2014). De toda água doce disponível para o consumo, 97% está no subsolo e apenas 3% na superfície. No entanto, a quantidade de água que pode ser explorada economicamente é em torno de 0,003%, devido a dificuldade de acesso e a poluição da água (BRAGA et al., 2005; TEIXEIRA et al., 2009; SPERLING, 2014).

Pode-se dizer que o primeiro fato preocupante é a distribuição desigual da água entre os países, apenas seis apresentam metade de toda reserva renovável de água doce do mundo – Brasil, Rússia, Canadá, Indonésia, China e Colômbia (TEIXEIRA et al., 2009).

Um dado demonstrativo da distribuição desigual da água no planeta é o seu consumo per capita em diferentes regiões, como por exemplo, um cidadão de Madagascar consome em média 5,4 L/dia, enquanto um cidadão Norte Americano, 500 L/dia e um cidadão brasileiro 140 L/dia (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento apud TEIXEIRA et al., 2009).

O Brasil concentra 53% de toda água doce disponível no continente sul americano e 12% do total mundial (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006 apud TUNDISI; TUNDISI, 2011). Todavia no país ocorre a distribuição desigual de água entre as regiões, sendo que 97% da população se concentra nas regiões que respondem por aproximadamente 27% da disponibilidade hídrica do país, e 80% da produção hídrica brasileira concentra-se em três grandes unidades hidrográficas: Amazonas, São Francisco e Paraná. A região do Amazonas e São Francisco abrange apenas 12% da população brasileira (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 1999 apud TUNDISI; TUNDISI, 2011; LIBÂNIO, 2005).

A distribuição desigual da água entre as regiões do país se deve a extensão do território brasileiro que abrange diferentes características de temperatura, relevo, solo, vegetação e pressão, as quais determinam a transformação da água entre seus estados (sólido, líquido e gasoso) e sua transferência entre diversos reservatórios que constitui o chamado ciclo hidrológico (TEIXEIRA et al., 2009).

1.2 ÁGUA SUBTERRÂNEA

De acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, as quais são águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo. Podendo ocorrer em duas zonas: zona não saturada e a zona saturada como pode ser observada na Figura 1.

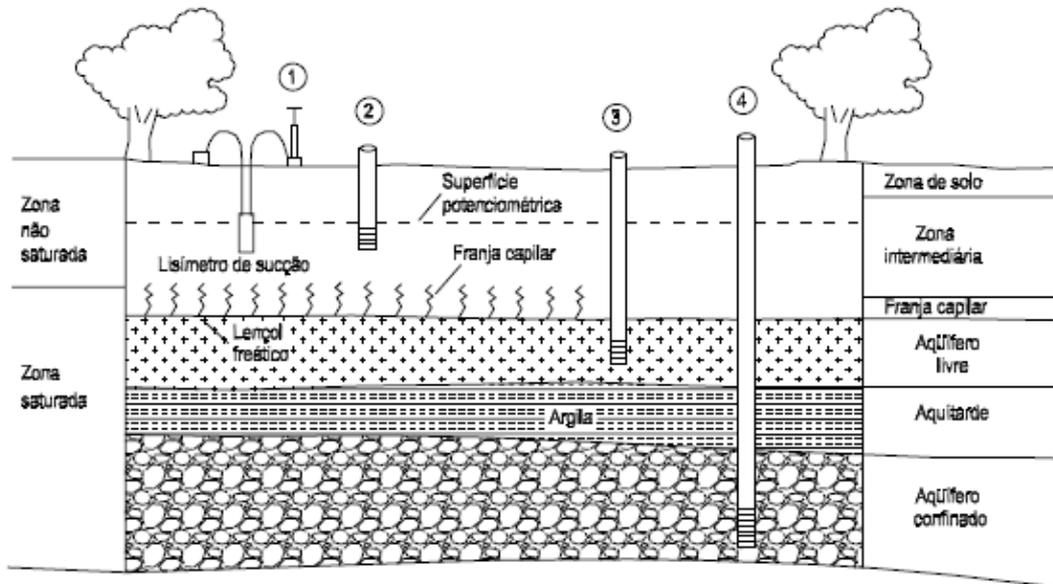


Figura 1 – Esquema da disposição das zonas, aquíferos, aquitarde. Fonte: CLEARY (1989 apud HELER; PÁDUA, 2010).

A zona não saturada (insaturada, zona de aeração ou zona vadosa) contém água e ar, é composta pela zona de solo e zona intermediária, estende-se até a parte superior da franja capilar, que é a zona de separação entre a não saturada e a zona saturada (TUNDISI; TUNDISI, 2011; HELER; PÁDUA, 2010).

Na zona não saturada os poros do solo estão preenchidos com ar e água sob pressão efetiva negativa (potencial de sucção, pressão capilar ou tensão capilar) devido a tensão superficial entre a superfície líquida e o ambiente geológico. É uma zona de transição na qual a água é absorvida, temporariamente armazenada ou transmitida para o lençol freático ou para a superfície do solo, de onde evapora. Nela se desenvolvem processos bio-físico-geoquímicos entre água e rocha, é de filtração lenta o que ocasionam a auto-depuração e alteração físico-química da água de infiltração (HELER; PÁDUA, 2010).

A zona saturada ocorre logo abaixo do lençol freático, contém somente água, pois os poros do solo e fraturas das rochas estão totalmente preenchidos por água, a qual se encontra sob pressão superior a pressão atmosférica (pressão efetiva positiva). A zona de saturação

pode se estender até a superfície do terreno, é o caso de lagos e pântanos (TUNDISI E TUNDISI, 2011; HELER; PÁDUA, 2010).

Lençol freático é definido como a superfície na qual a pressão da água no subsolo é igual à pressão atmosférica (pressão efetiva nula), onde o nível do terreno intercepta o lençol freático há a afloração da água subterrânea em forma de fontes, córregos ou rios (FIGURA 1) (HELER; PÁDUA, 2010). A superfície potenciométrica é o contorno físico do lençol freático, plano imaginário que coincide com o nível de pressão hidrostática da água no aquífero (FIGURA 1) (TODD, 1967).

As formações geológicas podem ser classificadas em função de sua permeabilidade, sendo separadas em aquitardes, aquícludes e aquíferos.

Aquitardes são as formações de baixa permeabilidade que armazenam e transmitem água lentamente de um aquífero para outro, a maior parte das formações geológicas é classificada como aquíferos ou aquitardes (FIGURA 1) (HELER; PÁDUA, 2010).

Aquíclude é a formação geológica que, apesar de saturada, com até grandes quantidades de água absorvida lentamente, são incapazes de transmitir um volume significativo de água com velocidade suficiente para abastecer poços ou nascentes, por serem rochas relativamente impermeáveis (FIGURA 1) (TEIXEIRA et al., 2009).

Aquífero é o corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos (BRASIL, 2008). Podem ser classificados em aquíferos não confinados e aquíferos confinados:

- Aquíferos não confinados (freáticos ou livres) é o limite superior definido pelo lençol freático, são os primeiros materiais encontrados da perfuração de poços.
- Aquíferos confinados é caso de um estrato permeável confinado entre duas unidades pouco permeáveis (aquitardes) ou impermeáveis (TEIXEIRA et al., 2009).

A forma como as rochas armazenam e transmitem a água subterrânea influencia na qualidade que a mesma apresenta (ANA, 2007). Em função disto, as unidades geológicas se dividem em três domínios aquíferos, sendo eles: fraturado, fraturado-cárstico e poroso, como pode ser observado na Figura 2 (ANA, 2007; TEIXEIRA et al., 2009).

Nas rochas fraturadas a água está presente nas falhas e fraturas (rochas ígneas e metamórficas) constitui os terrenos denominados de cristalinos (ANA, 2005; ANA, 2007). Nos terrenos fraturados-cársticos além das discontinuidades da rocha, ocorre também à dissolução ao longo dos planos de fraturas, corresponde á região de ocorrência de rochas

sedimentares ou metassedimentares associadas a rochas calcárias (ANA, 2007; TEIXEIRA et al., 2009).

Os aquíferos fraturados e fraturados- cársticos, constituem os terrenos cristalinos, ocupam o equivalente a 52% da área do país, sendo que o estado de Rondônia fica localizado quase que na sua totalidade sobre o aquífero fraturado (domínio cristalino) (ANA, 2005).

O domínio aquífero poroso é representado pelas rochas sedimentares, a água é armazenada no espaço entre os grãos da rocha (porosidade primária) (ANA, 2007). Os aquíferos de condutos, caracterizados pela porosidade cárstica, apresentam grandes volumes de água e vulnerabilidade à contaminação (TEIXEIRA et al., 2009). Os terrenos sedimentares apresentam os melhores aquíferos em termos de qualidade, e ocupam 48% do território nacional.

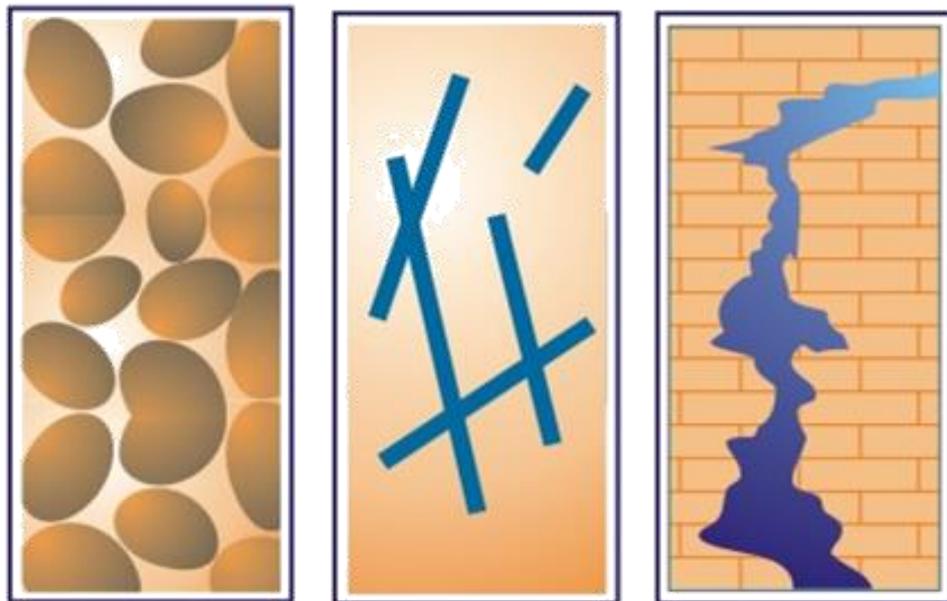


Figura 2 – Representação dos três domínios de aquíferos, à esquerda o domínio poroso (sedimentar), ao meio o fraturado (cristalino) e à direita o fraturado-cárstico.

Fonte:<http://www.abas.org/educacao.php>.

Os principais sistemas aquíferos do país estão situados nas bacias sedimentares. A ampla presença de bacias sedimentares no território, aliada as condições climáticas favoráveis do Brasil, denota grande potencial para água subterrânea (ANA, 2005). A fim de ter acesso a essa água foram desenvolvidas algumas formas de captação.

1.2.3 FORMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

As possibilidades de poluição dos mananciais e de alteração das características das águas naturais relacionam-se diretamente com o tipo de captação de água subterrânea, que se

dá, basicamente, em aquíferos confinados e não confinados, denominados respectivamente, artesianos e freáticos das seguintes formas, representados na Figura 3 (LIBÂNIO, 2005).

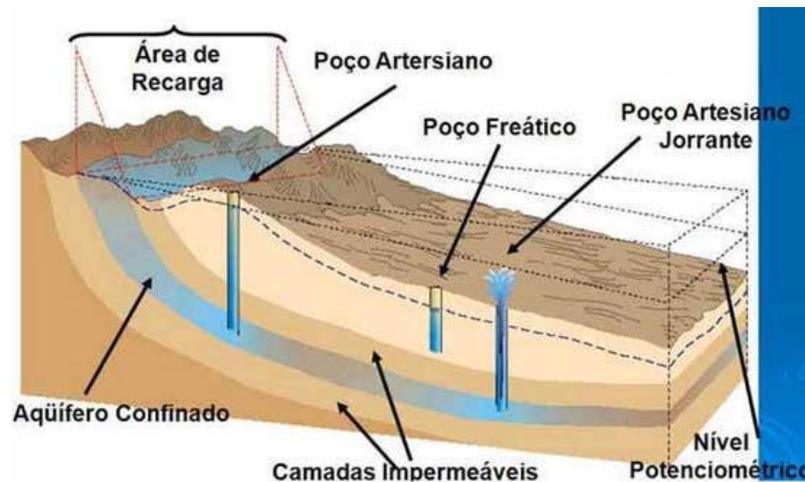


Figura 3 – Formas de captação da água subterrânea. Fonte: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/meio-ambiente/aquifero-guarani>.

Os poços escavados (poços rasos ou freáticos), possuem diâmetro mínimo de 90 centímetros e são destinados tanto ao abastecimento individual como coletivo. Permite o aproveitamento da água do lençol freático, atuando entre 10 a 20 m de profundidade, podendo obter de dois a três mil litros de água por dia, exemplo poços amazonas (BRASIL, 2004).

Poço tubular profundo (artesiano) capta água do aquífero artesiano ou confinado localizado abaixo do lençol freático entre duas camadas impermeáveis e sob pressão maior que a atmosférica. O diâmetro varia entre 150 ou 200mm, depende da vazão a ser extraída, e a profundidade varia de 60 a 300m ou mais, dependendo da profundidade do aquífero. Quando a água jorrar acima da superfície do solo sem elevação mecânica o poço é considerado jorrante ou surgente, caso a água se eleve dentro do poço sem ultrapassar a superfície do solo o poço é dito semi-surgente (BRASIL, 2006).

As águas subterrâneas estão disponíveis em todas as regiões da terra constituindo importante recurso natural, sendo utilizadas para atender aos diversos usos, os quais resultam da sua disponibilidade e da sua qualidade, sendo que a disponibilidade permanente é a razão para seu uso intenso (TUNDISI; TUNDISI, 2011).

1.2.4 USOS, POLUIÇÃO E IMPLICAÇÕES

O crescimento populacional, a aceleração da economia e o desenvolvimento cultural ampliam os diversos usos da água, que inclui utilização doméstica, irrigação, navegação, recreação e o turismo, os quais tem gerado permanente pressão sobre os recursos hídricos (TEIXEIRA et al., 2009; TUNDISI; TUNDISI, 2011).

A maior demanda de água no Brasil é exercida pela agricultura (54%), seguida do uso doméstico (23%), da indústria (17%) e pecuária (6%) (FAO, 2016). A água subterrânea tem sido uma importante alternativa econômica para indústrias, empresas e para as populações rurais que também tem fundamentado sua economia no aproveitamento da água subterrânea (RIBEIRO, 2004).

No ano de 2008, os poços, ainda se apresentavam como única alternativa de abastecimento de água para 33 municípios do Brasil, onde não existia a disponibilidade de água tratada por uma rede geral de distribuição (IBGE, 2010). Na última pesquisa do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2017), em 2015, ainda 16,7% dos municípios brasileiros não apresentavam disponibilidade de água tratada.

Ocorre ainda que alguns municípios não apresentam abrangência desse serviço em todos os bairros e também acontece de muitos residentes preferirem a utilização da água subterrânea, por vários fatores como: falta de confiança na qualidade da água disponibilizada; insuficiência do serviço; questão financeira, devido cobrança de taxa pelo serviço (RIBEIRO, 2004; IBGE, 2010; BIESDORF; SIMIONATO, 2013; PIFFER, 2014). Em Rondônia, no ano de 2012, dois a cada três habitantes ainda não tinha acesso a água tratada, tendo como alternativa a captação de água por poços (IBGE, 2010; FREITAS, 2014).

O fato preocupante se deve a poluição da água subterrânea ocasionada em partes pelo: comprometimento das águas superficiais, devido as ações antrópicas e como alternativa o despejo de efluentes no subsolo, como graxas de postos de gasolina, disposição de resíduos em áreas hidrogeologicamente vulneráveis e demais rejeitos industriais; precariedade do serviço de esgotamento sanitário, tornando-se relativamente significativa as cargas poluidoras por esgotos domésticos por meio de fossas construídas sem os requisitos mínimos para diminuição de impacto; ampla utilização de produtos químicos, como fertilizantes, adubos e defensivos agrícolas pela atividade agropecuária (TUCCI; CABRAL, 2003; ANA, 2005).

Questão agravada quando se observa que as condições de construção dos poços podem contribuir para poluição da água subterrânea, e o crescimento da utilização de águas de poço foi acompanhado da proliferação de poços construídos sem critérios técnicos adequados (ANA, 2007).

A gestão desses impactos ocasionados na água subterrânea é um dos problemas atuais de todo o mundo e prejudica diretamente a população que retira a água subterrânea para seu uso, gerando riscos e impactos a saúde (TUCCI; CABRAL, 2003).

A água contaminada transmite enfermidades e pode provocar a morte de pessoas que a utilizam para beber, 80% das doenças nos países em desenvolvimento estão associadas à

ingestão de água contaminada (RIBEIRO, 2004). As doenças de transmissão hídrica mais comuns são as infecciosas causadas por vírus, bactérias, protozoários e helmintos. Os microrganismos patogênicos são eliminados regularmente para o ambiente aquático através das fezes, frequente nos países cujo saneamento básico é deficiente, resultando em utilização de poços e fossas construídos sem condições mínimas de segurança. Assim o uso de tal água para beber, preparar os alimentos, contato durante a lavagem e banho, pode resultar em infecção (RIBEIRO, 2004; TUNDISI;TUNDISI, 2011).

Em Rondônia apenas 3% dos domicílios apresentam coleta de esgoto, em 2013 ocorreram 4,4 mil internações por doenças infecciosas associadas à falta de saneamento, com 13 casos de morte (FREITAS, 2014). Os prejuízos a saúde humana implicam em custos para o governo, pois segundo Freitas (2014), ao longo de duas semanas são perdidos 4,2 mil dias de trabalho por afastamento causado por diarreia ou vômito em Rondônia e se tem em média um custo de R\$ 163,23 reais por afastamento, e com relação aos estudantes, o afastamento causa efeito expressivo sobre seu desempenho escolar.

Considerando os danos causados quando há contaminação da água subterrânea, verificou-se a necessidade de deter instrumentos legais que garantissem a qualidade da água na natureza e para os múltiplos usos, sendo assim, o Conselho Nacional do Meio Ambiente, publicou em 3 de abril de 2008 a Resolução CONAMA n° 396 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

A cada destinação de uso a água deve apresentar características determinadas por legislações específicas, no caso da água para consumo humano, a Portaria do Ministério da Saúde n° 2.914, de 12 de dezembro de 2011, trata exclusivamente dos procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seus padrões de potabilidade. Esta portaria determina que toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimento de água, independentemente da forma de acesso da população, está sujeita à vigilância da qualidade da água, incluindo a água subterrânea captada para consumo humano.

1.2.5 QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

As características físicas, químicas e biológicas das águas subterrâneas naturais dependem da qualidade de suas águas de origem, da capacidade de dissolução de substâncias e do transporte pelo escoamento subterrâneo (TODD, 1967; LIBANIO, 2005). A qualidade da água requerida depende de sua finalidade de uso, assim a qualidade da água potável, da água

industrial e de água para irrigação varia enormemente (TODD, 1967; TUNDISI; TUNDISI, 2011).

Considerando que a presente pesquisa trata da qualidade da água subterrânea, e com especial atenção aos poços de captação utilizados para consumo humano, serão tomadas como base para a qualidade da água a Portaria n° 2.914/11/MS e o enquadramento das águas subterrâneas determinado pela Resolução CONAMA n° 396/08.

Como principais parâmetros físico-químicos e microbiológicos para determinação da qualidade da água se encontram: temperatura, sólidos totais dissolvidos - STD, condutividade elétrica - CE, turbidez, potencial hidrogeniônico - pH, amônia, nitrito, nitrato, fósforo dissolvido e total, coliformes totais e *Escherichia coli*.

1.2.5.1 Temperatura

A temperatura da água é diretamente proporcional a velocidade das reações químicas, a solubilidade das substâncias e ao metabolismo dos organismos presentes no ambiente aquático e inversamente proporcional a solubilidade dos gases (LIBÂNIO, 2005; SPERLING, 2014).

Sua alteração natural decorre principalmente da insolação, por isso é a propriedade da água subterrânea que mais se conserva, e quando por ação antrópica, sua alteração decorre de despejos industriais e águas de refrigeração de máquinas e caldeiras (TODD, 1967; LIBÂNIO, 2005; SPERLING, 2014).

A temperatura da água não é uma variável com valores preconizados pela Portaria n°2.914/11/MS nem mesmo pela Resolução CONAMA n° 396/08, visto que se trata de uma característica que varia de acordo com a região.

1.2.5.2 Sólidos Totais Dissolvidos - STD

Os sólidos totais dissolvidos são constituídos de partículas de diâmetro inferior a 10^{-3} μm e que permanecem em solução mesmo após filtração, o processo de entrada de sólidos pode ocorrer de forma natural, como por processos erosivos, organismos ou detritos orgânicos, e por forma antropogênica, como lançamento de resíduos sólidos e esgotos (BRASIL, 2014).

A Portaria n° 2.914/11/MS e a Resolução CONAMA n° 396/08 determinam um valor máximo de 1.000mg.L^{-1} para consumo humano.

1.2.5.3 Condutividade Elétrica - CE

A condutividade elétrica é a capacidade da solução de conduzir corrente elétrica, realizada pela concentração de íons presentes, sendo por isso um indicador da concentração iônica (ESTEVES, 1998; BRASIL, 2014).

Não é constituído um valor orientador pelas legislações, porém Libânio (2005) e Brasil (2014), observaram que as águas naturais apresentam condutividade inferior a $100\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Enquanto os corpos receptores de elevada carga de efluentes podem atingir $1.000\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Em caso de valores extremos de pH, os valores de condutividade são altos, mas podem não representar a concentração de íons importantes como nitrito, nitrato, ortofosfato, indicadores de poluição por carga orgânica (ESTEVES, 1998). Os valores de condutividade podem estar relacionados as concentrações de STD (LIBÂNIO, 2005).

1.2.5.4 Turbidez

A turbidez constitui em uma inferência da concentração de partículas suspensas na água expressa em unidades de turbidez (uT), pode ocorrer de origem natural, como partículas de rocha, argila e silte, e de origem antropogênica, como despejos domésticos e erosão (LIBÂNIO, 2005; SPERLING, 2014).

Não traz inconvenientes sanitários diretos, porém é esteticamente desagradável na água potável e pode servir de abrigo para os microrganismos patogênicos, diminuindo eficiência da desinfecção (BRASIL, 2014; SPERLING, 2014). A Portaria n° 2.914/11/MS determina valor máximo permitido de 5uT para amostras pontuais de água subterrânea tratadas com desinfecção.

1.2.5.5 Potencial Hidrogeniônico - pH

O potencial hidrogeniônico – pH diz respeito a concentração de íons H^+ a qual determina a acidez da água, pode ocorrer naturalmente devido dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica ou por intermédio das ações antrópicas devido despejos domésticos e despejos industriais (ESTEVES, 1998; LIBANIO, 2005; SPERLING, 2014).

O pH da água não tem implicação em termos de saúde pública, apenas em casos de pH extremamente ácido ou básico que pode vir causar irritação da pele ou nos olhos (SPERLING, 2014). A Portaria n° 2.914/11/MS estabelece um intervalo de 6,0 a 9,5 devido também a incrustação da tubulação quando pH muito básico, e corrosão quando pH muito ácido.

1.2.5.6 Nitrogênio (Amônio, Nitrito, Nitrato)

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos e pode ser encontrado sob as formas: nitrogênio orgânico na forma dissolvida, nitrogênio molecular, amônio, nitrito e nitrato (ESTEVES, 1998; LIBÂNIO, 2005; SPERLING, 2014).

O amônio é a forma reduzida do nitrogênio presente em condições anaeróbias, o nitrito é a fase intermediária e instável da oxidação do amônio, presente em ambientes anaeróbios e eutróficos e o nitrato é a forma oxidada presente em condições anaeróbias e indicador de poluição remota por esgotos domésticos (ESTEVES, 1998; LIBÂNIO, 2005).

Por ser constituinte de proteínas e vários outros compostos biológicos, o nitrogênio está naturalmente presente nos corpos d' água. Como origem antropogênica, destacam-se os despejos domésticos e industriais, os excrementos de animais e fertilizantes (LIBÂNIO, 2005; SPERLING, 2014).

A presença de nitrato no recurso hídrico está relacionada a doenças como metemoglobinemia, e ainda existem pesquisas que tem constatado o aparecimento de linfoma em pessoas que bebem, a longo prazo, água com média estabelecida de 4mg.L^{-1} de nitrato, assim como apresenta potencial relação com câncer de estômago, devido a formação de nitrosaminas (BAIRD, 2011).

Keeler et al. (2016), estimaram em torno de \$ 50.000.000 o total de custo social em Minnesota devido à contaminação da água subterrânea por amônia, nitrito e nitrato, ressaltando que este custo não pode ser generalizado, mas indica como as consequências desta poluição é prejudicial em termos socioeconômicos.

Em um corpo d' água a determinação da forma predominante do nitrogênio pode transmitir informação sobre o estágio da poluição, se recente está associada ao amônio, quando mais remota está associada ao nitrato (SPERLING, 2014).

A amonificação do nitrato é realizada por bactérias como *Enterobacter* e *Escherichia coli*, que em condições anaeróbias, reduzem o nitrato a amônia (ESTEVES, 1998).

A Portaria n° 2.914/11/MS determina valor máximo para amônio, nitrito e nitrato de, respectivamente, $1,5\text{mg.L}^{-1}$, $1,0\text{mg.L}^{-1}$, 10mg.L^{-1} e a Resolução CONAMA n° 396/08 não traz valores para amônio, mas para nitrito e nitrato para o consumo humano igual a 1,0 e $10,0\text{mg.L}^{-1}$.

A amônia é formada no processo de decomposição de matéria orgânica, e tem importância por ser o primeiro produto da decomposição de substâncias nitrogenadas por isso,

a presença desta substância indica uma poluição orgânica recente. A amônia, assim como o nitrito, costuma estar ausente, pois são rapidamente convertidos a nitrato pelas bactérias (ARAÚJO et al., 2013).

Nas águas subterrâneas, os nitratos ocorrem em teores geralmente abaixo de 5mg.L^{-1} . Altas concentrações de nitrato na água estão relacionadas à falta de sistema de esgotamento sanitário, pois a maior parte das bactérias patogênicas são formadoras de nitratos e, portanto a concentração de nitrato na água fornece uma provável contaminação bacteriana, que pode estar ocorrendo de diversas fontes (CAJAZEIRAS, 2007; ARAUJO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2015).

Pela sua grande mobilidade e lixiviação através do solo em solução nas águas de infiltração, o nitrato pode chegar a grandes profundidades da zona saturada, pois não é adsorvido pelos sedimentos, movendo-se a mesma velocidade do fluxo de água (FEAGA, 2004 apud FERREIRA, 2013).

1.2.5.7 Fósforo

O fósforo participa de processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos, toda forma de fósforo encontra-se sob a forma de: fosfato particulado, fosfato orgânico dissolvido, ortofosfato, fosfato total dissolvido e fósforo total (ESTEVES, 1998; SPERLING, 2014).

Tem como fonte natural as rochas e a decomposição de organismos e como fonte antropogênica, os despejos industriais, domésticos, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes (ESTEVES, 1998; LIBÂNIO, 2005; SPERLING, 2014).

Não apresenta problemas de ordem sanitária, no entanto pode levar a eutrofização, sendo essencial para o crescimento de microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (SPERLING, 2014).

A Portaria MS n° 2.914/11 não estabelece um valor permitido para fósforo, devido este não fornecer risco sanitário, porém é considerado o principal responsável pela eutrofização artificial, que ocorre de maneira desacelerada no ecossistema subterrâneo, por isso também não é estabelecido como parâmetro pela Resolução CONAMA n° 396/08. No entanto, tem sido tratado como importante indicador de contaminação por esgotos domésticos, industriais, detergentes, excrementos de animais (SPERLING, 2014) e quando em excesso na água subterrânea pode vir, quando em caso de fluxo de base, a contaminar os recursos superficiais levando a eutrofização destes (HEREDIA et al., 2010).

1.2.5.8 Coliformes Totais e *Escherichia coli* – *E.coli*

Coliformes totais constitui de um grande grupo de bactérias, ainda não existe uma relação quantificável com os microrganismos patogênicos, por isso não é utilizado como indicador de contaminação fecal (CAJAZEIRAS, 2007; SPERLING, 2014).

No entanto a Portaria n° 2.914/11/MS determina que água potável deve estar ausente de unidades formadoras de colônia (UFC) de coliformes totais em 100 mL de amostra, pois quando encontrados sugerem tratamento inadequado, como nutrientes em excesso na água.

A *E. coli*, é a principal bactéria do grupo de coliformes termotolerantes que está contido no grupo dos coliformes totais, sendo abundante nas fezes humanas e de animais de sangue quente. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e águas naturais sujeitas a contaminação recente por humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros (WHO, 1993 apud SPERLING, 2014; CAJAZEIRAS, 2007). É a única bactéria facilmente detectada em laboratório que dá garantia de contaminação exclusivamente fecal, no entanto não dá garantia que a contaminação seja humana (CAJAZEIRAS, 2007; SPERLING, 2014).

A Portaria n°2.914/11/MS e a CONAMA n° 396/08 determinam ausência de UFC de *E.coli*/100 mL de amostra para consumo humano.

As águas contaminadas podem se tornar um meio de cultura ideal, conforme as condições de pH, temperatura, partículas minerais, material dissolvido e matéria orgânica presentes, elementos essenciais que a biocenose necessita para seu desenvolvimento (MENEZES et al., 2013).

Existem algumas possibilidades de contaminação por esses microrganismos, Azevedo et al. (2006), ressaltaram a infiltração no poço de águas superficiais e destaca a importância da laje de proteção sanitária e a cimentação a fim de reduzir a possibilidade de contaminação.

Outros cuidados, como a distância entre o poço e a fossa podem contribuir para esta redução, no entanto, Todd (1967) e Silva et al. (2009), observaram que quanto mais superficial o nível de água, não existe distância segura entre o poço e qualquer fonte de contaminação, principalmente o caso de fossas negras. Azevedo et al. (2006), ao analisarem a água subterrânea de Uruará/AM, constataram que os melhores aquíferos em termos de qualidade da água estavam localizados em profundidades superiores a 82m.

1.3 DIREÇÃO DO FLUXO SUBTERRÂNEO

A direção na qual a água flui é a direção de máximo mergulho do lençol freático, o qual tende a seguir a superfície do terreno, subindo sob as montanhas e descendo sob os vales,

sendo que o gradiente do lençol freático é geralmente muito menor do que o da superfície do terreno (BROWN, 2000).

O conceito governante que define a direção do fluxo subterrâneo é o de superfície potenciométrica, o qual indica a elevação da pressão atmosférica do aquífero e influencia na capacidade do mesmo em receber/ceder volume de água, e está associada à porosidade e a fenômenos elásticos, tanto da água como da litologia (TODD, 1967).

A forma de obter a superfície potenciométrica ocorre por meio da diferença entre a cota do terreno e o nível de água, esta é obtida entre a diferença da profundidade de fundo e a de superfície (HEATH, 1982).

A direção do fluxo subterrâneo se demonstra um instrumento imprescindível, norteador para o planejamento da área municipal, de forma a identificar as regiões mais adequadas para empreendimentos, indústrias, como postos de gasolina, cemitérios, depósitos de resíduos e demais atividades potencialmente poluidoras da água subterrânea, de forma a evitar riscos de contaminação por hidrocarbonetos, metais pesados, os quais são substâncias tóxicas para população (ROCHA; HORBE, 2006; SANTOS et al., 2015).

Considerando este risco, a Resolução CONAMA nº 273, de 29 de novembro de 2000, determina que para o processo de emissão de licença prévia e de instalação de postos de gasolina deve ser apresentada uma caracterização hidrogeológica, com definição do sentido de fluxo das águas subterrâneas, identificação das áreas de recarga, localização dos poços de captação destinados ao abastecimento público ou privado no raio de 100m.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo consiste nos distritos de Nova Londrina e Nova Colina, pertencente ao município de Ji-Paraná, localizado na porção centro leste do estado de Rondônia (FIGURA 4). Faz parte da Bacia do Rio Machado, Região Hidrográfica do Amazonas, sendo que o distrito de Nova Londrina ocorre sob domínio de rochas cristalinas, classificação Ígnea metamórfica, plutônica, como quartzo diorito e ortognaisse granodiorítico e o relevo é caracterizado como depressão da Amazônia Meridional. Em Nova Colina, parte do distrito tem rochas de domínio cristalino e partes sedimentar e o relevo é caracterizado como planalto residual da Amazônia Meridional (IBGE, 2010).

Os tipos de solos apresentam uma distribuição espacial bastante heterogênea, com áreas onde predominam solos muito arenosos e pobres em cátions e manchas isoladas de solos com maiores teores de argila e mais ricos em cátions (SILVA, 2008).

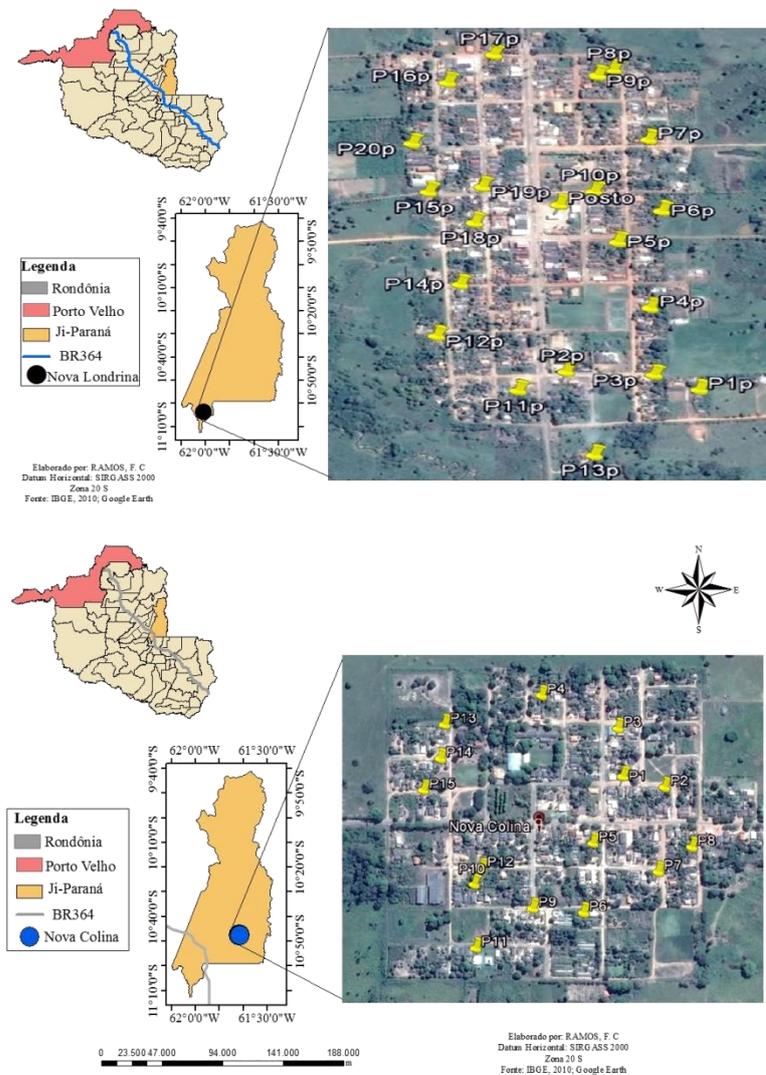


Figura 4 – Localização da área de estudo e dos pontos amostrados: distritos Nova Londrina e Nova Colina, Ji-Paraná/RO.

O clima predominante é o tropical úmido e quente, apresenta temperatura média anual de 25°C, com média máxima de 32°C e mínima de 21°C, a precipitação total anual se encontra em torno de 1.962,8 mm (SEDAM, 2012).

Na Figura 5 pode ser observada a precipitação média mensal (mm) entre os anos de 1998 e o mês de agosto de 2017 em estações micrometeorológicas em funcionamento na cidade de Ji-Paraná, corroborando para confirmação da definição dos períodos na área de estudo.

Os distritos possuem rede geral de abastecimento de água, em Nova Londrina a captação ocorre do manancial subterrâneo e em Nova Colina, superficial, sob responsabilidade da prefeitura em conjunto com a Companhia de Água e Esgoto de Rondônia – CAERD, sendo que em Nova Londrina 376 residências das 528, possuem ligação predial ativa e em Nova Colina das 256 residências, 134 possuem ligação predial ativa, restando respectivamente 152 e 122 residências que utilizam apenas água do poço nos distritos em estudo (CAERD, 2016).

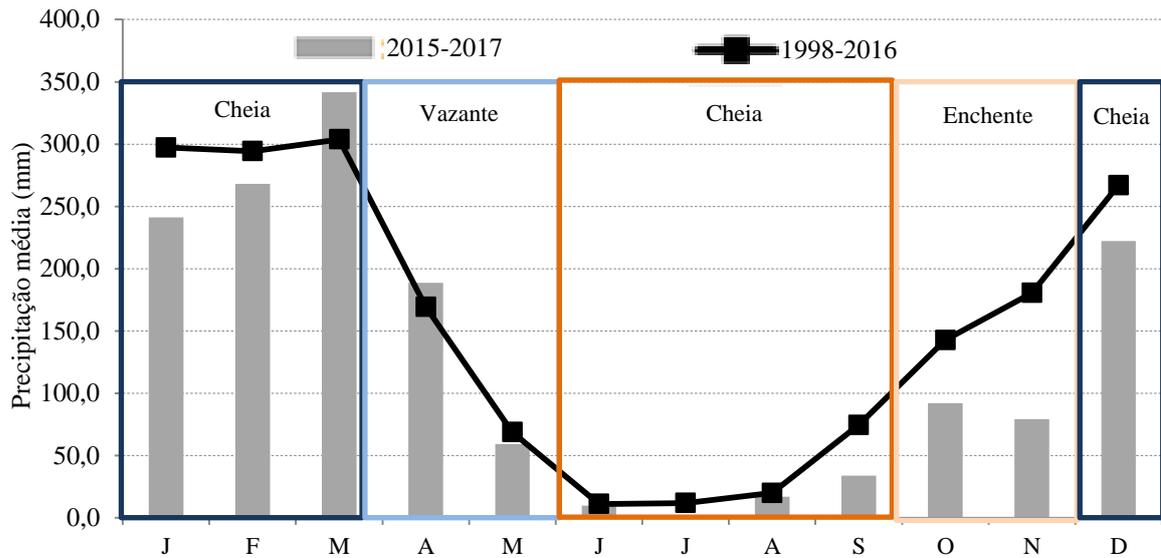


Figura 5 – Precipitação média mensal do ano de 1998 a 2016 e nos anos de estudo (2015-2017) em Ji-Paraná/RO. Fonte: COREH, LBA.

2.2 AMOSTRAGEM

A fim de realizar uma amostragem homogênea, o mapa dos distritos foram divididos em quatro quadrantes e em cada buscou-se conter em torno de quatro residências que possuam poço, amostrando 20 residências em Nova Londrina (pontos NL 1 – 20) e 15 em Nova Colina (pontos NC 1 – 15).

As coletas foram realizadas nos meses de setembro de 2015 (mês caracterizado como seca) e fevereiro de 2016 (mês caracterizado como cheia) no distrito de Nova Londrina e nos meses de dezembro de 2016 (mês caracterizado como cheia) e abril de 2017 (caracterizado como transição cheia/seca, nomeado vazante) em Nova Colina.

Se procedeu a demarcação das coordenadas geográficas e cota altimétrica por meio do aparelho GPS (Garmim Etrex Vista H 2,8”), medição do nível de água do poço utilizando uma fita métrica e observada as características dos poços, como revestimento e tampa. Também foi aplicado um questionário socioeconômico-ambiental a fim de caracterizar os hábitos dos usuários da água subterrânea nos distritos em estudo, como disposição dos resíduos, do esgoto, tratamentos antes do consumo, identificar possíveis sintomas e doenças provenientes da ingestão de água.

A água foi coletada em frasco plástico de água (500mL) aberto no momento da coleta, colocado em instrumento próprio para amostragem de água subterrânea, realizada diretamente no poço. As amostras foram mantidas refrigeradas até o procedimento no Laboratório de Limnologia e Microbiologia – LABLIM (UNIR – Campus Ji-Paraná), que ocorreu em menos de 24 horas após a coleta.

2.3 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

As variáveis *Escherichia coli* e coliformes totais foram obtidas utilizando o método de membranas filtrantes em meio cromogênico, descrito no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995).

O método consiste em filtrar por uma membrana quadriculada de éster de celulose (porosidade de 0,45µm e diâmetro de 0,47mm) 100mL da amostra com o auxílio de uma bomba a vácuo e sistema kitassato.

Em seguida as membranas são sobrepostas em placas Petri contendo meio de cultura chromocult coliform agar. Posteriormente, as amostras são incubadas em estufa bacteriológica por 24 horas a uma temperatura de 35±2°C.

A contagem do número de colônias formadas nas placas e os resultados obtidos serão expressos em unidades formadoras de colônia por 100mL (UFC/100mL). As UFCs de *E.coli* correspondem às colônias que apresentam coloração violeta/preta e as UFCs de coliformes totais apresentam coloração rosa/lilás somadas às contadas como *E.coli*.

2.4 ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

As variáveis temperatura da água e condutividade elétrica – CE foram obtidas por meio de condutivímetro (Amber Science, modelo 2052), o potencial hidrogeniônico – pH foi determinado por pHmetro (ORION, modelo 250 A), obtidos *in loco* e as análises de turbidez foram realizadas com auxílio de turbidímetro de bancada (HACH, modelo 2100 P), no LABLIM.

Os Sólidos Totais Dissolvidos foram procedidos conforme descrito em APHA (1995), as análises de amônia, nitrito, nitrato, fósforo dissolvido e fósforo total foram realizadas pelo método espectrofotométrico conforme os descritos em APHA (1995).

2.5 DIREÇÃO DO FLUXO SUBTERRÂNEO

A fim de caracterizar o fluxo subterrâneo foram utilizados a cota altimétrica e o nível de água dos poços, obtidos conforme descrição do tópico 2.2, e utilizando o programa *Surfer 8.0* foram gerados os mapas da tendência de direção de fluxo das águas subterrâneas.

Os planos de informação também foram realizados por meio deste software, pelo método de “krigagem”, que realiza interpolação dos dados, devido os valores de entrada serem pontuais.

Além da cota dos poços foi obtida a cota de possíveis pontos de contaminação como fossa, cemitério e postos de combustíveis, localizados no meio urbano.

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Como instrumento estatístico para auxílio na discussão dos resultados foi realizada a análise multivariada denominada Análise de Componentes Principais - ACP, que consiste na redução das variáveis em combinações lineares que formam as componentes, possibilitando verificar padrões temporais (períodos analisados) e espaciais (entre os poços). A projeção de cada amostra no novo sistema de eixos gera scores que podem ser organizados em forma de gráfico biplot.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 QUESTIONÁRIO SOCIOECONÔMICO AMBIENTAL

A partir do questionário socioeconômico ambiental foi possível caracterizar os hábitos dos usuários da água subterrânea nos distritos em estudo como, disposição dos resíduos, do esgoto, tratamentos antes do consumo, bem como identificar possíveis sintomas e doenças provenientes da ingestão de água.

Foi obtido que 40% e 20% das residências de Nova Londrina e Nova Colina, respectivamente, são de alvenaria; em Nova Londrina apenas um participante da pesquisa (ponto NL 20) utiliza, além da água do poço, a água fornecida pela CAERD; em Nova Colina este fato ocorre em 4 residências (pontos NC 6, 7, 11 e 12).

Foi observado que em Nova Londrina apenas 80% dos domicílios apresentam pelo menos 2 adultos (maiores de 17 anos), enquanto em Nova Colina 100% dos domicílios apresentam pelo menos 2 adultos. Com relação ao número de jovens (entre 13 e 17 anos) 30% (Nova Londrina) e 20% (Nova Colina) dos domicílios apresentam pelo menos 1 jovem e 30% (Nova Londrina) e 66,7% (Nova Colina) dos domicílios apresentam pelo menos uma criança (menores de 12 anos).

Sendo possível caracterizar as residências que utilizam poço em Nova Londrina como de predominância de adultos, enquanto Nova Colina apresenta também um considerável número de domicílios com crianças, estas são caracterizadas como faixa da população mais suscetível a doenças.

Se tratando de tempo de residência, em Nova Londrina 50% dos entrevistados residem a menos de 10 anos na casa atual e em Nova Colina 80%. Esta informação indica o tempo que

os entrevistados estão consumindo/utilizando a água do poço amostrado, apenas 15% e 13,4% em Nova Londrina e Nova Colina, respectivamente, estão a mais de 20 anos nas residências.

Dos entrevistados, 20% (Nova Londrina) e 13,4% (Nova Colina) não aplicam nenhum tratamento a água para utilização, em Nova Londrina 25% dos entrevistados disseram aplicar hipoclorito no poço e a mesma proporção aplicam cloro no filtro. Em Nova Colina a maior proporção dos entrevistados (66,7%) disseram aplicar hipoclorito no poço.

Somente 15% (Nova Londrina) e 6,67% (Nova Colina), realizam apenas a filtragem da água. Segundo Brasil (2014), a aplicação de hipoclorito não é eficiente quando diretamente no poço, pois devido o seu fluxo, não é possível conhecer o volume correto da substância que deve ser aplicado, assim como pela sua característica volátil.

Indica-se a aplicação de hipoclorito em recipientes de volume conhecido, como filtro ou caixa d'água. Apenas 30% (Nova Londrina) e 6,57% (Nova Colina) realizam a aplicação da forma recomendada, na caixa d'água ou no filtro.

Das residências que aplicam hipoclorito diretamente no poço, 10% dos entrevistados em Nova Londrina aplicam com a frequência de 1 vez por semana, enquanto em Nova Colina nenhum entrevistado utiliza esta frequência de aplicação; 10% (Nova Londrina) e 20% (Nova Colina) aplicam 1 vez a cada 15 dias e 50% e 20%, respectivamente, de Nova Londrina e Nova Colina, aplicam 1 vez por mês e em Nova Colina 13,4% aplicam 1 vez ao ano.

Nos dois distritos estudados, a coleta de resíduos sólidos pela prefeitura ocorre 1 vez por semana, sendo que em 25% dos domicílios de Nova Londrina realizam também a queima de seus resíduos e em Nova Colina este percentual é de 40%.

Com relação ao destino do esgoto, 95% dos domicílios visitados em Nova Londrina utilizam fossa negra e 5% mictório, em Nova Colina todos os entrevistados possuem fossa negra.

Quando perguntado se há casos de doenças ou agravos a saúde frequentes, 95% dos entrevistados de Nova Londrina disseram não apresentar nenhum sintoma, e 60% em Nova Colina. Somente 5% dos entrevistados de Nova Londrina (ponto NL 1) e 20% em Nova Colina (pontos NC 1, 4 e 11) disseram sofrer com frequência diarreia, vômito, gastrite e dor de cabeça. Ainda 33,3% entrevistados de Nova Colina (pontos NC 1, 5, 7, 10 e 11) disseram sofrer com frequência de dor de estômago.

3.2 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DOS POÇOS

Com relação às condições construtivas dos poços de Nova Londrina, 90% são do tipo freático e 10% (pontos NL 19 e 20) do tipo tubular profundo, 85% apresentam tampa de

alvenaria, o restante (15%) tampa de madeira. Com relação ao revestimento apenas 15% não apresentam revestimento ou apresentam revestimento parcial, com esses dados foi possível observar que a maior parte dos poços amostrados está em boas condições construtivas (totalmente revestido e tampa de alvenaria) (TABELA 1).

Tabela 1 - Características dos poços do distrito de Nova Londrina – RO, para os meses de seca (s) e cheia (c)

PONTOS	REVES	TAMPA	CF	CP	DIS. PF	PF (s)	PS (s)	PF (c)	PS (c)	OBS.
NL 1	Total	Alvenaria	158	158	18	7,2	5,43	7,2	4,31	
NL 2	Parcial	Madeira	178	177	16	12,9	12,65	secou		Resíduos pelo quintal
NL 3	Total	Alvenaria	177	177	9,9	tampa lacrada		tampa lacrada		
NL 4	Total	Alvenaria	183	181	22	6,77	5,35	7,11	4,8	
NL 5	Parcial	Alvenaria	189	190	15,4	9,35	7,1	9,17	6,28	Folhas queimadas
NL 6	Total	Madeira	190	188	40	5,88	4,73	lacrou o poço		Não utiliza água para beber
NL 7	Total	Madeira	194	193	15	6,48	5,15	6,18	4,35	Resíduos pelo quintal
NL 8	Total	Alvenaria	196	196	21	6,94	5,15	5,86	4,71	Galinheiro a 3m do poço
NL 9	Total	Alvenaria	197	197	20	7,23	6,27	7,81	5,94	
NL 10	Total	Alvenaria	196	197	30	7,56	5,96	7,49	5,95	
NL 11	Ausente	Alvenaria	195	196	22	13,4	11,55	secou		
NL 12	Total	Alvenaria	190	190	7	5,36	4,76	lacrou poço		Folhas queimadas
NL 13	Total	Alvenaria	167	172	40	6,55	5,41	6,76	5,94	
NL 14	Total	Alvenaria	192	191	9	9,65	7,81	9,55	8,1	
NL 15	Total	Alvenaria	190	189	18	3,77	2,68	3,91	2,73	Resíduos próximo ao poço
NL 16	Total	Alvenaria	201	202	18	12,7	11,41	14,08	12,81	
NL 17	Total	Alvenaria	199	199	18	11,4	8,83	11,37	10,96	
NL 18	Total	Alvenaria	196	196	6	7,43	6,47	7,63	6,53	
NL 19	Total	Alvenaria	199	197	19	tubular		tubular		
NL 20	Total	Alvenaria	200	200	45	90	tubular	90	tubular	Escola

REVES.= Revestimento; CF= Cota fossa; CP= Cota poço; DIS.PF= Distância entre o poço e a fossa; PF= Profundidade de fundo; PS= Profundidade de superfície; OBS.= Observações.

Os poços de Nova Londrina estão em média $20,46 \pm 10,75$ m distantes da fossa, a Norma Brasileira – NBR nº 7.229/93 estabelece que os poços devam estar a uma distância mínima de 15m da fossa, 80% dos poços seguiram este requisito de segurança. Outro importante fator analisado foi a cota do poço e da fossa, foi obtido que 35% dos poços estão em uma cota inferior ao da fossa.

Se tratando de nível de água, 70% dos poços apresentaram nível de superfície menor que 10m no mês de seca e 73% na cheia, ou seja, a água subterrânea se encontra próxima a superfície. Segundo Silva (2008), não há distância segura entre poço e fossa quando a profundidade do poço é inferior a 10m. Todd (1967), também observou que quanto mais raso o poço, este se torna mais suscetível a contaminação.

No mês de dezembro foi relatado pelos residentes que houve drástica diminuição da lâmina d'água, em que 50% dos poços secaram e dois deles não voltaram a emanar água no mês de cheia (fevereiro).

No distrito de Nova Colina, pode ser observado na Tabela 2 que 60% dos poços não possui nenhum revestimento, 20% revestimento parcial e os outros 20% são totalmente revestidos. Com relação a tampa, 53,4% são de alvenaria, 33,4% de madeira e em dois poços (13,4%) a abertura era apenas coberta com telha de amianto e tampa de caixa d'água de polietileno (pontos NC 9 e 6).

Tabela 2 – Características dos poços no distrito de Nova Colina, observadas nos meses de cheia (c) e vazante (v)

PONTOS	REVES.	TAMPA	CF	CP	DISPF	PF (c)	PS (c)	PF (v)	PS (v)	OBS.
NC 1	Não possui	Alvenaria	176	176	13,9	7,77	5,21	7,73	5,21	Tampa a >20cm do chão
NC 2	P/manilhado	Madeira	179	175	14,3	8,82	6,4	7,96	6,37	Tampa no nível do chão, horta próxima ao poço, galinheiro, barata no poço, bomba desligada 30min antes da coleta
NC 3	T/manilhado	Alvenaria	178	179	15,3	7,99	4,98	7,77	6,92	Tampa no nível do chão, poço dentro da varanda, galinheiro próximo, cachorros no local
NC 4	P/alvenaria	Alvenaria	174	174	11,7	11,7	8,06	13,71	8,51	Galinhheiro próximo a casa, poço dentro da área com cobertura, tampa a >20cm do chão
NC 5	T/manilhado	Alvenaria	186	187	11	9,15	4,11	9,44	4,87	Galinhheiro próximo
NC 6	Não possui	Improviso	184	184	40	6,24	3,85	6,36	4,74	Tampa no nível do chão, horta, esterco próximo, tanque para peixes com água de rejeito da CAERD, resíduos pelo quintal, galinheiros, muita matéria orgânica, não utiliza água
NC 7	Não possui	Madeira	184	184	20	8,19	5,69	8,45	6,56	Tampa no nível do chão, utiliza apenas para limpeza e lavar calçada
NC 8	T/alvenaria	Alvenaria	181	181	17	9,36	6,92	9,59	7,72	Tampa a >20cm do chão, galinheiro, horta, próximo ao posto de gasolina
NC 9	Não possui	Eternit	179	175	11	6,68	3,87	6,56	4,25	Tampa a >20cm do chão, horta próximo, possui calçada em torno do poço
NC 10	Não possui	Alvenaria	179	174	9	8,17	4,87	7,96	4,75	Galinhheiro, horta, barata dentro do poço, tampa a >20cm do chão
NC 11	Não possui	Alvenaria	177	176	12	6,5	2,92	6,36	3,77	Tem duas fossas, dentro da residência, matéria orgânica no quintal, tampa no nível do chão
NC 12	Não possui	Madeira	176	176	9	7,35	4,48	7,38	4,85	Poço dentro de casa, galinheiro, despejo da

Continua...

										cozinha no quintal, poço envolto por objetos, tampa a >20cm do chão, a partir de agosto pararam de usar a água
NC 13	Não possui	Madeira	172	173	22,5	11,1	6,93	11,13	7,75	Despejo de cozinha no terreno, tampa a >20cm do chão, criação de pato, próximo ao cemitério
NC 14	P/manilhado	Madeira	172	173	19	11,9	7,54	12,17	8,63	Galinheiro, criação de pato, ganso, pavão, poço dentro da casa, despejo de cozinha na rua, tampa a >20cm do chão, fissuras na tampa
NC 15	Não possui	Alvenaria	171	170	11	11,45	7,35	11,25	7,98	Próximo ao nível do terreno, objetos jogados, matéria orgânica, tampa no nível do chão, rachaduras na tampa, segunda coleta cheiro forte na água

REVES.= Revestimento; P/= Parcialmente; T/= Totalmente; CF= Cota fossa; CP= Cota poço; DIS.PF= Distância entre o poço e a fossa; PF= Profundidade de fundo; PS= Profundidade de superfície.

Os poços de Nova Colina estão em média a $15,78 \pm 7,83$ m das fossas, a menor distância observada foi de 9m (ponto NC 10) e a maior, 40m (ponto NC 6). Sendo assim, apenas 46,7% dos poços estão seguindo o requisito de segurança de distância entre poço e fossa.

A profundidade de superfície (PS) apresentou média igual a $5,54 \pm 1,58$ m e $6,19 \pm 1,65$ m para o mês de cheia e cheia/seca, respectivamente, todos os poços apresentaram profundidade de fundo inferior a 14m e profundidade de superfície entre 2,92 e 8,63m (TABELA 2), sendo caracterizados como poços rasos.

3.3 QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

3.3.1 Temperatura

A média de temperatura para as águas subterrâneas de Nova Londrina foi igual a $28,94 \pm 1,78^\circ\text{C}$ na seca e $28,39 \pm 0,73^\circ\text{C}$ na cheia. Em Nova Colina foi observada, na cheia, média de $28,45 \pm 0,39^\circ\text{C}$ e na vazante $27,77 \pm 0,49^\circ\text{C}$. A temperatura é a propriedade das águas subterrâneas que mais se conserva (TODD, 1967).

A temperatura média das águas subterrâneas de Rondônia está em torno de 27 até 29°C , Rodrigues (2008), observou temperaturas médias de $28,45^\circ\text{C}$ para água subterrânea do município de Porto Velho, Martins (2011), registrou de 28 e $25,58^\circ\text{C}$ analisando poços de Ji-Paraná e Laureano et al. (2015), 29,9 e $28,65^\circ\text{C}$ em Presidente Médici.

3.3.2 Sólidos totais dissolvidos - STD

Com relação aos sólidos totais dissolvidos todos os poços amostrados em Nova Londrina e Nova Colina apresentaram valores abaixo do determinado pela Portaria 2.914/11/MS e a Resolução CONAMA nº 396/08 como máximo permitido para consumo humano igual a 1.000mg.L^{-1} .

Em Nova Londrina os valores mínimos e máximos observados foram de 19 e 207mg.L^{-1} para seca e de 16 e 108mg.L^{-1} na cheia, e médias de $99,2\pm 54,4$ e $56\pm 24,4\text{mg.L}^{-1}$ para os meses de seca e cheia respectivamente.

Para Nova Colina a média observada para STD no mês de cheia foi de $237,33\pm 45,57\text{mg.L}^{-1}$ e na vazante igual a $106\pm 66,6\text{mg.L}^{-1}$, os valores mínimos e máximos encontrados foram de 170 e 340mg.L^{-1} na cheia, e de 20 a 210mg.L^{-1} na vazante.

Ao comparar as médias obtidas para água subterrânea de Nova Londrina e Nova Colina com as de outras regiões do estado pesquisada por Ferreira (2013) e Laureano et al. (2015), essa demonstrou-se elevada, que pode ser explicada pela também elevada contaminação por cargas orgânicas e nutrientes.

3.3.3 Condutividade elétrica

Em Nova Londrina foram observadas médias de $202,68\pm 113,9$ e $369,18\pm 364\mu\text{S.cm}^{-1}$ nos meses de seca e cheia, respectivamente, com valores mínimos e máximos de 35 e $414\mu\text{S.cm}^{-1}$ na seca e 46,9 e $1.560\mu\text{S.cm}^{-1}$ na cheia, demonstrando que essas águas podem estar sofrendo influência de cargas orgânicas.

As médias encontradas para a água subterrânea de Nova Londrina foram superior ao observado por diversos autores que se detiveram em analisar tal variável na água subterrânea em todo o Brasil, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) para água subterrânea entre diversos autores

AUTOR	LOCAL	ANO	CE	PERÍODO
Silva	Ji-Paraná/RO	2008	37,4-200* 130-239*	Enchente Vazante
Rodrigues	Porto Velho/RO	2008	46,09	N/I
Nunes et al.	Ji-Paraná/RO	2012	143,6 167,5	Cheia Seca
Ferreira	Região central de Rondônia	2013	69,93 72,87	Cheia Seco
Oliveira	Vilhena/RO	2014	0,81-81,8* 6,5-58,3*	Cheia Seca
Laureano et al.	P.Médici/RO	2015	137,6	Seca
Martins et al.	Ji-Paraná/RO	2015	61,8	Vazante

Continua...

			64,5	Seca
Silva	Manaus/AM	2001	34,21	Cheia
			123	Cheia
Marmos et al.	Parintins/AM	2005	70	Seca
			116	Cheia
			75	Enchente
Azevedo et al.	Urucará/AM	2006	123	Cheia
			70	Seca
			307,40	Seca
Cajazeiras	Juazeiro do Norte/CE	2007	284,30	Cheia
Linhares	Brejo do Cruz/PB	2009	400,7	Seca
Corcóvia e Celligoi	Ibipurã/PR	2012	29,8	Seca
Menezes et al.	Sul do ES	2013	140	Cheia
			163,8	Seca
Moura et al.	São José do Rio Preto/SP	2015	136,1	Cheia

*Valores médios apresentados, exceto para este autor que disponibilizou apenas os valores mínimos e máximos nos períodos analisados. N/I = Não informado

Fonte: A autora.

Em Nova Colina foi verificada média igual a $159,3 \pm 139,39 \mu\text{S.cm}^{-1}$ na cheia e de $117,8 \pm 68,55 \mu\text{S.cm}^{-1}$ na vazante, com valores mínimos e máximos de $47,7 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $564 \mu\text{S.cm}^{-1}$, $43,6 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e $291 \mu\text{S.cm}^{-1}$, nos meses de cheia e vazante, respectivamente.

3.3.4 Turbidez

No distrito de Nova Londrina a média de turbidez foi de $11,57 \pm 21,72$ e $6,23 \pm 7,46 \text{uT}$ para os meses de seca e cheia, respectivamente, sendo superiores ao valor máximo estabelecido pela Portaria n°2.914/11/MS, igual a 5uT .

Os valores mínimos e máximos observados foram de 1,14 e $86,2 \text{uT}$ para o mês de seca e de 1,0 e 26uT para cheia. Os valores de turbidez encontrados foram superiores aos observados por Ferreira (2013), médias iguais a $2,68 \text{uT}$ (cheia) e $2,73$ (seca) para água subterrânea da região central de Rondônia, Laureano et al. (2015), valores médios de 1,7 (seca) e 4,8 (cheia) para água subterrânea de Presidente Médici/RO, Martins et al. (2015), média de $1,76 \text{uT}$ (seca) para a água subterrânea do Bairro Boa Esperança (Ji-Paraná/RO) e Oliveira et al. (2015), que observou valor máximo de 7uT para água subterrânea de Vilhena/RO.

Em Nova Colina, no mês de cheia o ponto 6 foi o único poço que apresentou valor superior ao máximo permitido pela Portaria n° 2.914/11/MS, a média obtida, igual a $2,22 \pm 1,66 \text{uT}$, está dentro do estabelecido.

No mês de vazante, 33,4% (pontos 6,7,13,14 e 15) apresentaram valor superior a 5uT , no entanto a média neste mês, de $3,62 \pm 3,07 \text{uT}$, também se apresentou inferior ao valor máximo permitido.

Laureano et al. (2015), na cheia encontrou turbidez maior que as obtidas em Nova Colina. Oliveira et al. (2015) e Martins et al. (2015) para os dois períodos, obtiveram médias inferiores às analisadas em Nova Colina. A turbidez da água subterrânea de Nova Londrina e Nova Colina podem ser justificados pela profundidade rasa dos poços e intrusão da água superficial em alguns casos pontuais, devido características construtivas.

3.3.5 Potencial Hidrogeniônico – pH

Com relação ao pH, as águas de Nova Londrina se demonstraram ácidas a levemente ácidas, com valores mínimos e máximos de 4,82 e 6,17, e média de 5,44 no mês de seca e de 5,14, 6,51 e 5,82 para cheia, com apenas 15% na seca dentro do estabelecido (6-9,5) pela Portaria 2.914/11/MS e 45% para cheia.

Em Nova Colina, no mês de cheia, apenas um ponto apresentou pH na faixa estabelecida pela legislação, o qual foi o mesmo ponto com o máximo valor encontrado de 6,62 (ponto 6), a média obtida foi de 5,15 e o mínimo igual a 4,62 (ponto 8).

No entanto, no mês de vazante a situação observada foi contrária, apenas um ponto não apresentou pH na faixa estabelecida pela Portaria, que equivale ao ponto com menor valor de pH observado igual a 5,7 (ponto 1), a média encontrada foi de 6,52 e o máximo de 7,8 (ponto 14).

A presença de esgoto doméstico na água é um dos responsáveis pela acidez, devido a intensa atividade microbológica (ESTEVEZ, 1998). A acidez da água subterrânea também pode estar relacionada a ambientes drasticamente lixiviados, como foi constatado por Silva et al. (2014) e Oliveira et al. (2015).

Rodrigues (2008), para poços de Porto Velho, Silva et al. (2009) para água subterrânea do Bairro Nova Brasília (Ji-Paraná/RO), Ferreira (2013), Silva et al. (2014), Cremonese et al. (2015), Martins et al. (2015), Oliveira et al. (2015) e Laureano et al. (2015) também encontraram valores de pH em torno de 4 e 5, caracterizando a água como ácida a levemente ácida.

3.3.6 Nitrogênio (amônia, nitrito e nitrato)

Os resultados obtidos em todos os pontos nos dois distritos em análise estão abaixo do estabelecido pela Portaria nº 2.914/11/MS para amônia e nitrito, de $1,5\text{mg.L}^{-1}\text{NH}_3+\text{NH}_4^+$ e $1,0\text{mg.L}^{-1}\text{N-NO}_2^-$. Nova Londrina foram obtidas concentrações menores que $0,005\text{mg.L}^{-1}$ para ambos os nutrientes nos dois meses analisados, já em Nova Colina, apenas nitrito

apresentou concentrações abaixo deste, amônia demonstrou concentrações menores que $0,50\text{mg.L}^{-1}$.

Os baixos valores de amônia e nitrito podem ser justificados pela rápida oxidação a nitrato, assim como pela facilidade com que são adsorvidas pelas partículas do solo (Wilhelm, Schiff e Cherry, 1996 apud SILVA, 2008).

Não foi possível obter os dados de nitrato para Nova Londrina, já para Nova Colina, foi observada uma média de $10,23\pm 8,96\text{mg.L}^{-1}$ de N-NO_3^- no mês de cheia e igual a $6,61\pm 4,05\text{mg.L}^{-1}$ N-NO_3^- na vazante.

A Portaria nº 2.914/11/MS estabelece como padrão para potabilidade da água um limite de 10mg.L^{-1} de N-NO_3^- . Logo, 33,4% (pontos 1 a 5) dos poços no mês de cheia e 26,7% (pontos 2 a 5) na vazante estão em desacordo. Os valores de nitrato justificam os baixos valores de amônia e nitrito e indicam a contaminação por esgoto doméstico.

3.3.7 Fósforo

Para as águas subterrâneas de Nova Londrina também não foi possível analisar o fósforo total. Os valores mínimos de fósforo dissolvido observados foram de $0,64$ e $0,79\text{mg.L}^{-1}$ no mês de seca e cheia respectivamente, e máximos de $1,90$ e $1,55\text{mg.L}^{-1}$ e médias de $0,86\text{mg.L}^{-1}$ no mês de seca e $1,02\text{mg.L}^{-1}$ na cheia.

Em Nova Colina foram obtidos tanto fósforo total e dissolvido, os quais apresentaram concentrações menores que $0,02\text{mg.L}^{-1}$ nos dois meses analisados.

A Resolução CONAMA nº 357/05 que trata de águas superficiais, estabelece para ambientes lênticos valor máximo permitido de fósforo total de $0,02\text{mg.L}^{-1}$ e segundo Feitosa et al. (2000), águas naturais não poluídas apresentam concentrações de fósforo entre $0,01$ e $0,05\text{mg.L}^{-1}$, e quando maior que 1mg.L^{-1} indica poluição.

O fósforo dissolvido corresponde a uma das formas mais importantes do fósforo total, pois se trata da forma assimilada pelos vegetais aquáticos, microalgas e bactérias, é proveniente de minerais ou da mineralização da matéria orgânica fosfatada (ESTEVES, 1998).

3.3.8 Coliformes Totais e *Escherichia coli*

Com relação aos padrões microbiológicos analisados para o distrito de Nova Londrina, conforme Tabela 4, no mês de seca para os coliformes totais e *Escherichia coli* não foi possível contar as UFC, mesmo na maior diluição (1.000x) para 4 poços, no entanto no mês

de cheia o máximo de UFC/100mL de amostra encontrada foi de 130.000 para coliformes totais e 4.000 para *E.coli*.

Tabela 4 – Variáveis microbiológicas para água subterrânea de Nova Londrina – RO, para os meses de seca (s) e cheia (c)

PONTOS	C.TOTAIS (s)	C.TOTAIS (c)	<i>E.COLI</i> (s)	<i>E.COLI</i> (c)
NL 1	7.800	10.100	1.900	1.100
NL2	28.000	Secou	2.000	Secou
NL 3	6.000	1.011	2.000	11
NL 4	3.000	400	1.000	300
NL 5	28.000	14.200	1.000	200
NL 6	2.300	4.400	100	400
NL 7	21.000	6.500	4.000	500
NL 8	incontável	37.500	incontável	500
NL 9	incontável	3.600	incontável	500
NL 10	incontável	400	incontável	100
NL 11	36.000	Secou	1.000	Secou
NL 12	30.000	94.000	4.000	4.000
NL 13	10.000	11.000	2.000	2.000
NL 14	18.000	131.000	2.000	1.000
NL 15	incontável	30.000	incontável	1.000
NL 16	2.000	3.100	1.000	1.200
NL 17	13.000	1.500	4.000	300
NL 18	11.000	2.000	3.000	1.000
NL 19	900	1.600	700	1.400
NL 20	1.400	2.010	400	10
PORTARIA N° 2.914	AUSENTE 100mL		AUSENTE 100 mL	
CONAMA N°396	AUSENTE 100 mL		AUSENTE 100 mL	

Ferreira (2013), Oliveira (2014), Martins (2011), Silva et al. (2014) e Laureano et al. (2015) também encontraram valores elevados de contaminação por coliformes totais e *E.coli*.

A Portaria do Ministério da Saúde n°2.914/11 e a Resolução CONAMA n° 396/08 estabelecem que em 100mL da amostra de água para consumo humano deve estar ausente de UFC de coliformes totais e *E.coli*, portanto se tratando do parâmetro microbiológico a água em todos os pontos não pode ser consumida sem um devido tratamento prévio.

Os pontos que apresentaram valores elevados de CT e também *E.coli* no mês de setembro (pontos NL 8, 9, 10, 15) apresentam profundidade de superfície inferior a 10m, no ponto 8 foi identificada no momento de coleta um galinheiro a 3m do poço e queima de resíduos a 1m. No ponto NL 15 foi observado resíduo ao redor do poço, como fraldas descartáveis, restos de alimentos, este é o ponto com água mais próxima a superfície.

No mês de cheia os pontos que apresentaram elevadas densidades de CT (ponto NL 14) e *E.coli* (ponto NL 12), apresentam também profundidade de superfície inferior a 10 m, o

poço NL 14 está em uma cota inferior ao da fossa e no entorno do poço NL 12 foi observada a queima de folhas.

Devido às condições de construção dos poços discutidas anteriormente esperava-se uma menor concentração desses indicadores biológicos de poluição por esgotamento sanitário, porém observou-se o contrário, o que demonstra importante considerar as características do solo como determinantes nesse fluxo como foi indicado por Todd (1967) e Teixeira et al.(2009). Deve-se observar também o tempo de construção dos poços, pois Todd (1967) observou que quanto mais antigo o poço, este se torna mais suscetível a contaminação.

Os resultados microbiológicos do distrito de Nova Colina estão apresentados na Tabela 5, foi possível identificar CT em todos os pontos amostrados, com valor máximo encontrado no mês de cheia igual a 58.100 UFC/100mL (ponto NC 3) e mínimo no mesmo mês de 157 UFC/100mL (ponto NC 1).

Referente a *E.coli*, foi verificado que apenas o ponto NC 15 apresentou ausência deste indicador de contaminação por fezes de animais de sangue quente, no mês de cheia, e o máximo observado foi igual a 38.000UFC/100mL na vazante no mesmo ponto. A ausência de UFC de *E.coli* no poço NC 15 se deve ao fato de que horas antes da coleta o morador havia aplicado hipoclorito de sódio diretamente no poço.

Nas casas participantes da pesquisa foi comum identificar produção de galinhas, patos, gansos, os quais podem ter colaborado para a contaminação da água subterrânea por coliformes totais e principalmente *E.coli*.

Tabela 5 - Variáveis microbiológicas para água subterrânea de Nova Colina, Ji-Paraná/RO, nos meses de cheia (c) e vazante (v)

PONTOS	CT (c)	CT (v)	<i>E.COLI</i> (c)	<i>E.COLI</i> (v)
NC 1	157	4.000	9	1.000
NC 2	2.200	23.000	300	3.000
NC 3	58.100	2.075	100	2.000
NC 4	7.000	1.018	1.000	18
NC 5	4.700	8.000	2.000	2.000
NC 6	46.000	45.000	3.000	5.000
NC 7	9.200	15.089	1.600	89
NC 8	16.000	2.017	2.000	17
NC 9	3.600	54.005	1.000	5
NC 10	8.000	35.000	1.000	1.000
NC 11	8.000	3.004	1.000	4
NC 12	35.000	13.000	1.000	9.000
NC 13	9.000	51.000	1.000	31.000
NC 14	12.000	41.000	1.000	3.000
NC 15	2.000	54.000	AUSENTE	38.000

Continua...

Por meio da Figura 6 também é possível observar que existe alta correlação entre as variáveis CT e nitrito, como também entre amônia e fósforo dissolvido - PD, pois o ângulo entre os vetores indicam maior ou menor correlação entre as variáveis, sendo que quanto mais agudo, maior a correlação, é visível também que as variáveis amônia e PD sofrem influência do pH e são determinantes para os valores de CE.

Tabela 6- Contribuição das variáveis (loadings) nos dois primeiros eixos da análise de componentes principais para as variáveis físicas, químicas e microbiológicas para o distrito de Nova Londrina

Variáveis	Abreviações	Componentes principais	
		Eixo 1	Eixo 2
Distância poço x fossa	D_PF	-0,448	-0,416
Temperatura	T	-0,042	-0,263
Potencial Hidrogeniônico	pH	0,089	0,709
Condutividade elétrica	CE	0,559	0,608
Sólidos Totais Dissolvidos	STD	0,839	0,127
Turbidez	Turb	0,118	-0,329
Coliformes totais	CT	0,804	-0,050
<i>Escherichia coli</i>	<i>E.coli</i>	0,646	-0,342
Amônia	Amônia	-0,345	0,568
Nitrito	Nitrito	0,475	-0,058
Fósforo Dissolvido	PD	-0,402	0,456

O agrupamento das variáveis *E.coli*, CT, nitrito e turbidez indicam que a contaminação por partículas e carga orgânica ocorre correlata e de maneira intensa no mês de seca nos poços 1, 2, 7 ao 11 e o 15, devido a diminuição do nível de água ocorre aumento da concentração dos contaminantes na mesma. Processo inverso acontece com amônia e PD que se demonstraram elevados no mês de cheia nos poços 1, 5, 7, 9 e 10, que pode estar relacionado a processos de oxirredução, apresentando mais nitrogênio na forma de amônia no mês de cheia.

No distrito de Nova Colina os dois primeiros eixos demonstraram-se responsáveis por 49,56% da variação total dos dados, sendo que CE, nitrato, PT e turbidez foram as variáveis que mais contribuíram para a componente do eixo 1 (0,815; 0,770; 0,730 e 0,728) e cota do poço e da fossa, PD e distância poço e fossa (0,744; 0,731; -0,610 e 0,598) para o eixo 2 (FIGURA 7; TABELA 7).

Na Figura 7 é possível verificar elevada correlação entre diversas variáveis, destaca-se a estreita correlação entre CE, nitrato e amônia, indicando que a variação dos valores de CE na água subterrânea de Nova Colina ocorre influenciada pelas concentrações desses importantes nutrientes indicadores de contaminação por cargas orgânicas.

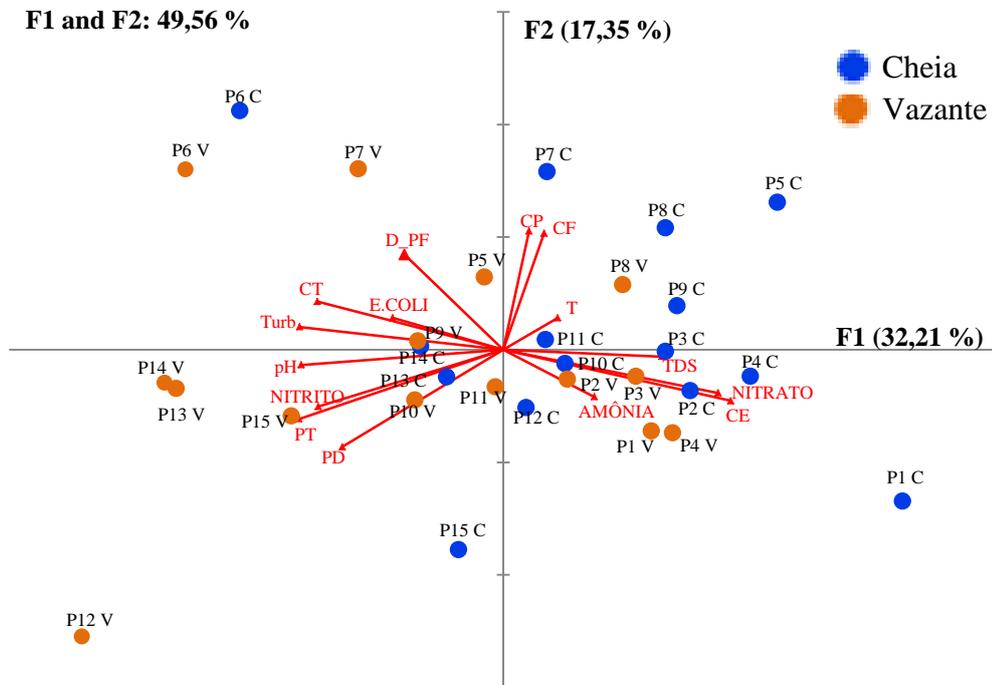


Figura 7 -Representação da ACP dos pontos de coleta de Nova Colina em relação aos valores médios dos parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados nos meses de cheia (dezembro) e vazante (abril).

Silva (2008), para água subterrânea do bairro de Nova Brasília (Ji-Paraná/RO) encontrou correlação entre condutividade e concentrações de nitrato e principalmente com o cloreto. Moura et al. (2015) ao analisar as concentrações de nitrato na água subterrânea em áreas rurais do município de São José do Rio Preto não encontrou correlação com CE, mas observou forte correlação desta variável com íons bicarbonato, os quais são provenientes da degradação da matéria orgânica, da dissolução de carbonatos e de feldspatos.

Tabela 7- Contribuição das variáveis (loadings) nos dois primeiros eixos da análise de componentes principais para as variáveis físicas, químicas e microbiológicas para o distrito de Nova Colina

Variáveis	Abreviações	Componentes principais	
		Eixo 1	Eixo 2
Distância poço x fossa	D_PF	-0,354	0,598
Cota fossa	CF	0,147	0,731
Cota poço	CP	0,092	0,744
Temperatura	T	0,196	0,200
Potencial Hidrogeniônico	pH	-0,722	-0,096
Condutividade Elétrica	CE	0,815	-0,322
Sólidos Totais Dissolvidos	STD	0,568	-0,044
Turbidez	Turb	-0,728	0,143
Coliformes Totais	CT	-0,665	0,302
<i>Eschirichia coli</i>	<i>E.coli</i>	-0,396	0,200
Amônia	Amônia	0,326	-0,297
Nitrito	Nitrito	-0,662	-0,358
Nitrato	Nitrato	0,770	-0,273
Fósforo Dissolvido	PD	-0,575	-0,610
Fósforo Total	PT	-0,730	-0,435

Destaca-se também a correlação entre as variáveis pH, nitrito, PT e PD, Marmos et al. (2005), encontrou correlação negativa ($r = -0,80$) entre pH e as concentrações de nitrato, quanto maior contaminação por nitrato, mais ácidas serão as águas, correlação explicada pela origem do íon, que representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica liberando hidrônios no meio.

Menezes et al., (2014), verificaram correlação significativa entre pH e Ca^{+2} ($r = 0,48$) e entre Ca^{+2} , STD e Na^{+} e a partir das correlações encontradas, deduziram que para a maioria das águas subterrâneas amostradas, esses parâmetros são originários de uma fonte comum, isso implica elementos que compartilham um mecanismo de liberação similar, que pode estar relacionado ao intemperismo das rochas.

Silva et al. (2009), observou que as variações do pH observadas para água subterrânea do bairro Nova Brasília, em Ji-Paraná/RO se deve ao caráter dinâmico do aquífero livre localizado numa região de alta precipitação pluviométrica e a sua pouca profundidade.

Nunes et al. (2012), ao estudar a água subterrânea de uma área próxima a uma horta no município de Ji-Paraná verificou que a sazonalidade tem pouca influência neste parâmetro, o que também foi verificado na presente pesquisa, vide os pontos que foram influenciados pela variável na Figura 7, no entanto Ferreira (2013), encontrou diferença significativa entre os valores de pH dos períodos analisados.

A variável pH para a água subterrânea de Nova Colina pode ocorrer relacionada tanto a características do solo da região como também a intensa atividade microbiana, o que não é observado para água subterrânea de Nova Londrina, conforme pode ser contestado na Figura 6, devido o ângulo próximo a 90 graus entre pH e as variáveis *E.coli* e CT.

3.5 DIREÇÃO DE FLUXO SUBTERRÂNEO

Nas figuras a seguir os pontos são representados conforme os grupos obtidos por meio da ACP, sendo que as representações descritas na legenda correspondem aos grupos da esquerda para direita dos quadrantes das figuras 6, para Nova Londrina e 7, para Nova Colina.

Com relação a direção de fluxo subterrâneo para Nova Londrina (FIGURA 8) foi observada predominância na direção noroeste para sudeste.

Tendo como altos potenciométricos os poços NL 11 e 16 e como depressões os poços NL 1 e 15. Não foi verificada diferença na direção de fluxo entre os meses representativos dos períodos em análise.

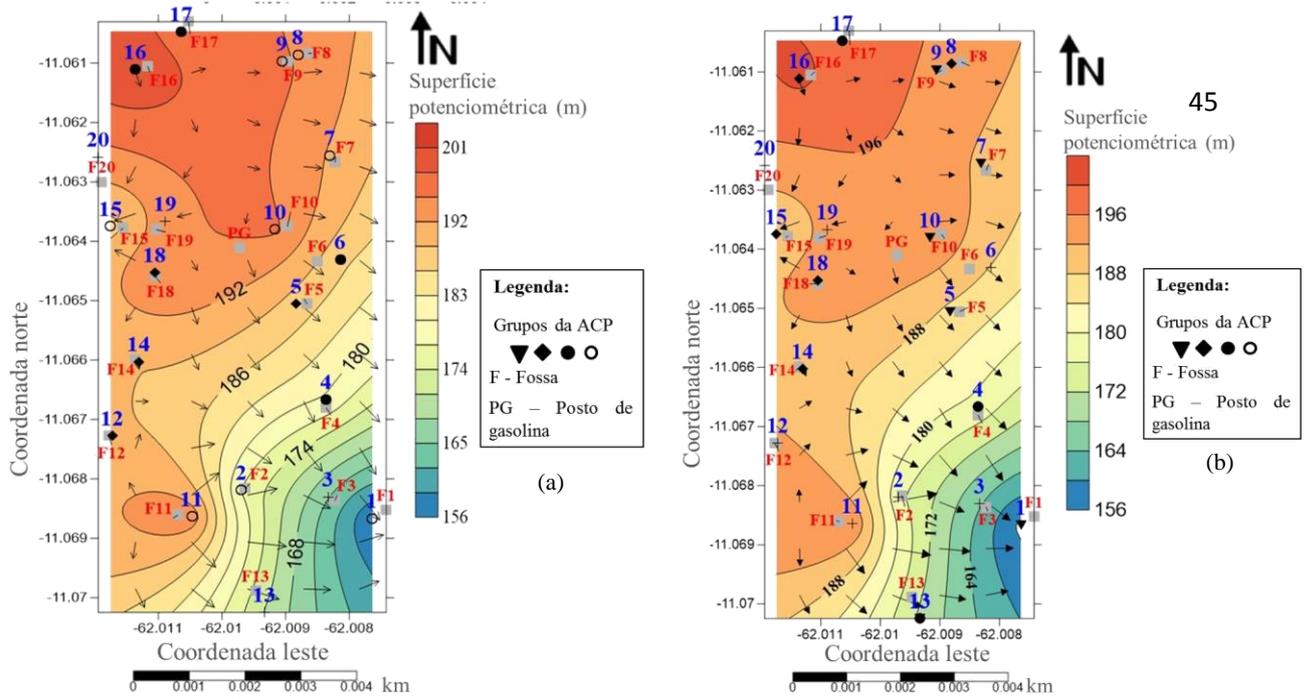


Figura 8 – Mapa de direção de fluxo do distrito de Nova Londrina no mês seca (a) e cheia (b).

A partir dos cartogramas (FIGURAS 9 a 12) das variáveis que estiveram em desacordo com as legislações, foi possível observar que os maiores valores dos contaminantes se concentraram em regiões diferentes entre os meses representativos dos períodos analisados.

A pluma de contaminação formada pelos íons que interferem na CE (FIGURA 9), indicam que a direção de fluxo para esta variável teve predominância da região sudoeste para a área não representada no cartograma, pois verifica-se que na cheia os altos potenciométricos e as depressões não apresentaram os maiores valores de CE, e possível contaminação pontual no poço NL 19, no entanto ao considerar que o poço 19 é de característica tubular (TABELA 1), sugere-se que os elevados valores de CE na água subterrânea do poço NL 19 ocorra por característica do solo.

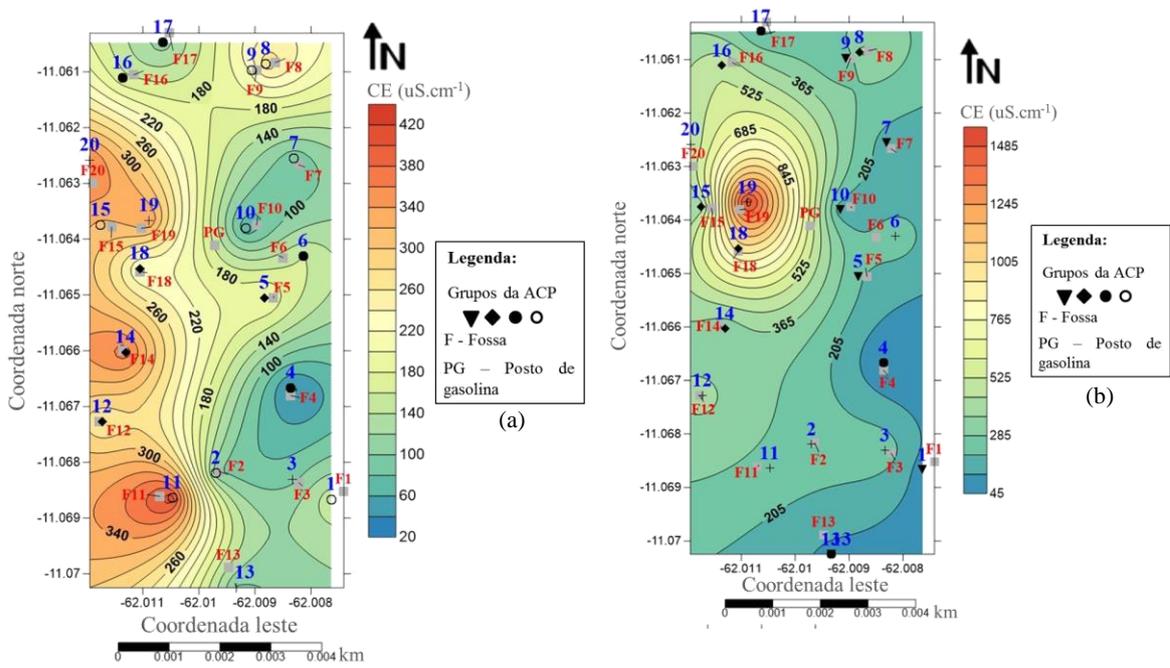


Figura 9 –Cartograma dos valores de CE ($uS.cm^{-1}$) para água subterrânea de Nova Londrina (Ji-Paraná/RO), nos meses de seca (a) e cheia (b).

A pluma de contaminação observada pela variável turbidez (FIGURA 10), torna visível a movimentação das partículas de acordo com a direção do fluxo subterrâneo, tendo como provável influente o alto potenciométrico poço 11, formando uma área na região central livre desta influência por característica da direção do fluxo (FIGURA 8).

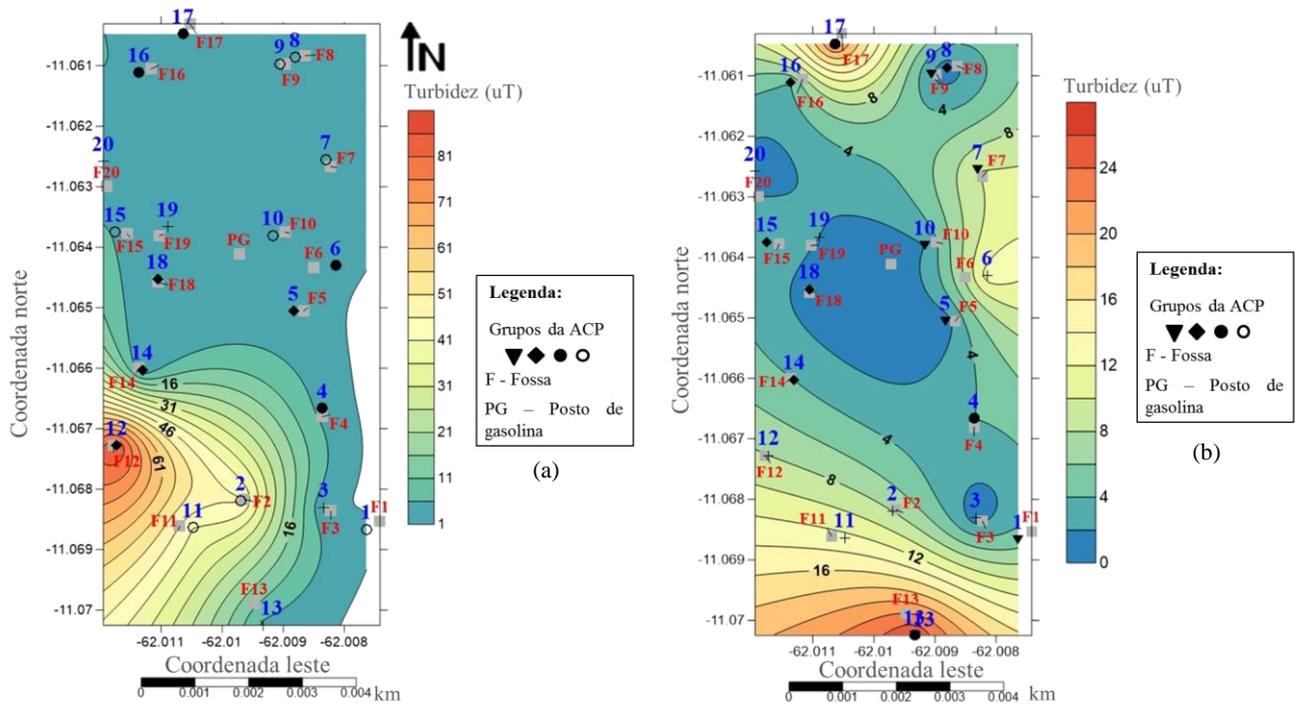


Figura 10 –Cartograma dos valores de turbidez (uT) para água subterrânea de Nova Londrina (Ji-Paraná/RO), nos meses de seca (a) e cheia (b).

Ao observar a variação de pH entre os períodos (FIGURA 11), foi possível pautar a análise de componentes principais com maior segurança, indicando que a alteração desta variável ocorre relacionada a contaminação por matéria orgânica, como resultado da intensa atividade microbológica, pois os menores valores de pH acontecem em manchas espalhadas, seguindo a direção de fluxo subterrâneo entre os meses analisados.

Em toda área de Nova Londrina foram identificadas elevadas concentrações de PD ($>0,02\text{mg.L}^{-1}$) devido contaminação por esgoto doméstico principalmente, sendo que as concentrações mais altas apresentaram-se pontualmente, como pode ser observado na Figura 12, devido algum fator de contaminação por fósforo particular, o poço 13 pode estar sofrendo influência do alto potenciométrico poço 11, e os poços 8 e 9 podem estar sofrendo influência da utilização de fertilizantes e esterco oriundos da atividade agropecuária que se encontra na região norte (área rural) não representada no cartograma.

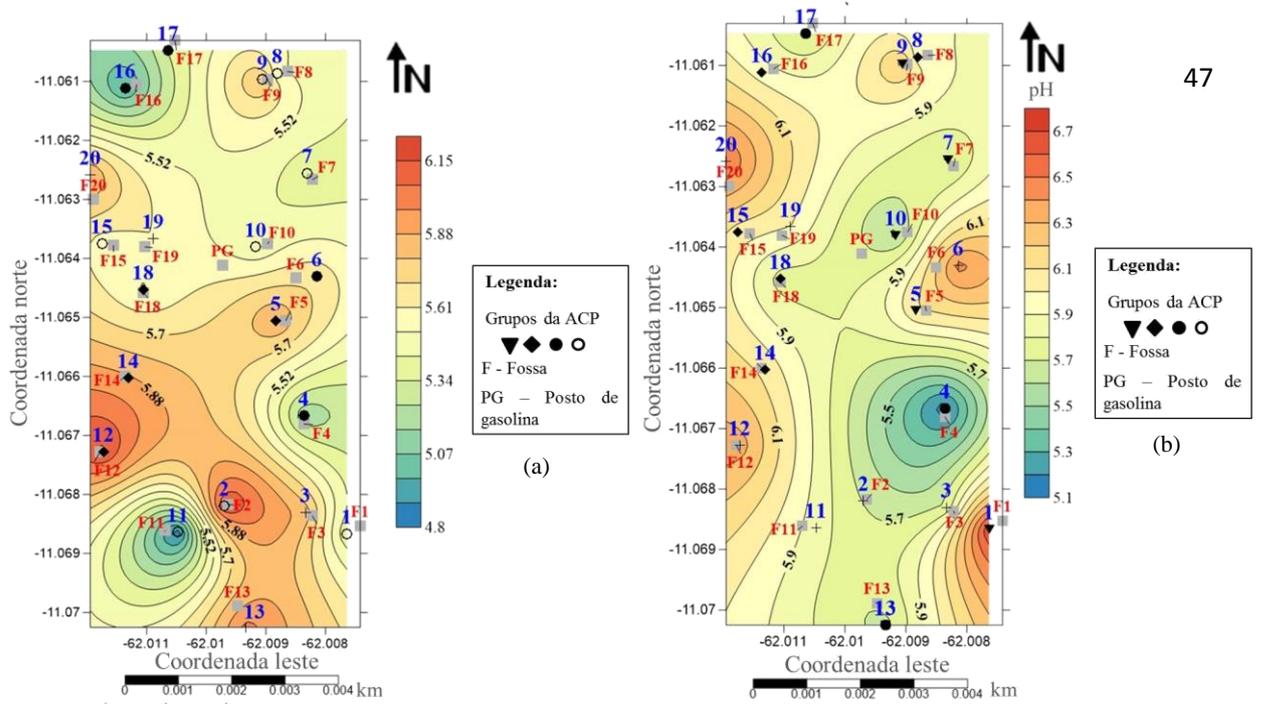


Figura 11 – Cartograma dos valores de pH para água subterrânea de Nova Londrina (Ji-Paraná/RO), nos meses de seca (a) e cheia (b).

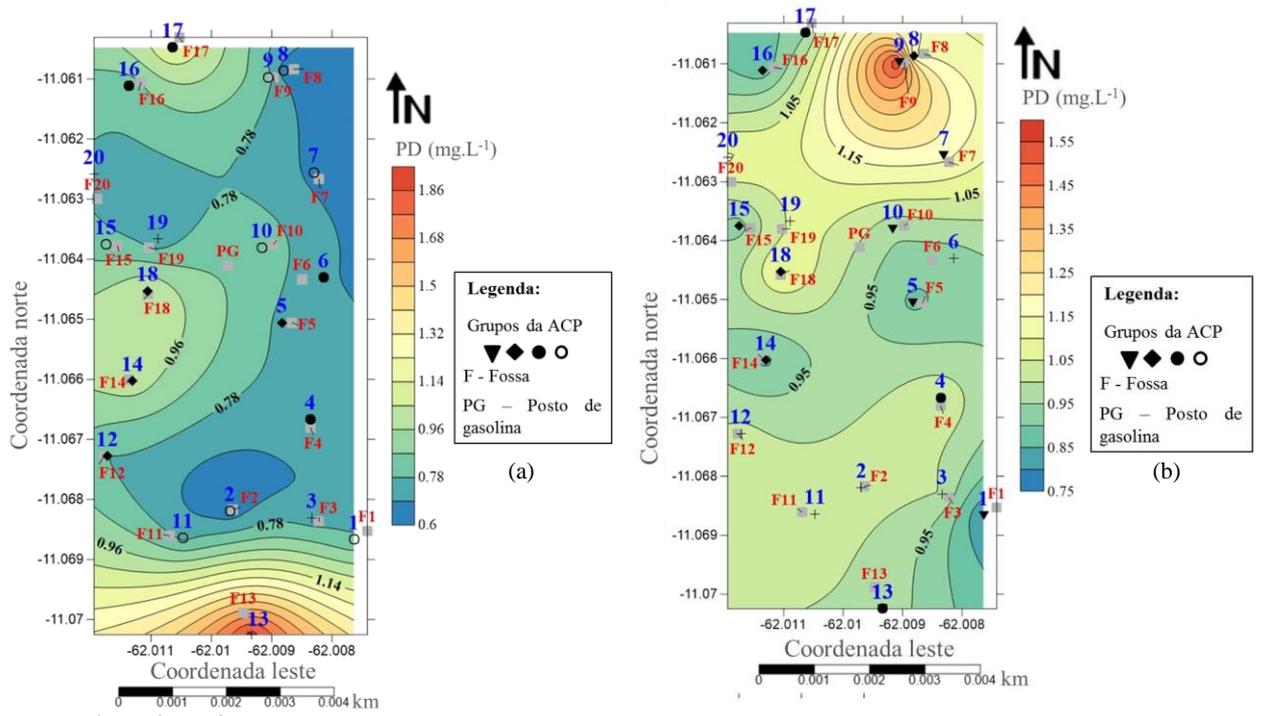


Figura 12 – Cartograma dos valores de PD (mg.L⁻¹) para água subterrânea de Nova Londrina (Ji-Paraná/RO), nos meses de seca (a) e cheia (b).

Com relação ao distrito de Nova Colina a direção de fluxo subterrâneo se demonstrou predominante da região sudeste para as demais, como altos potenciométricos destaca-se a fossa do ponto 6 e os poços 6, 5, 7 e 3, os baixos potenciométricos observados foram o cemitério e os pontos 15, 4, 1 e 2 (FIGURA 13).

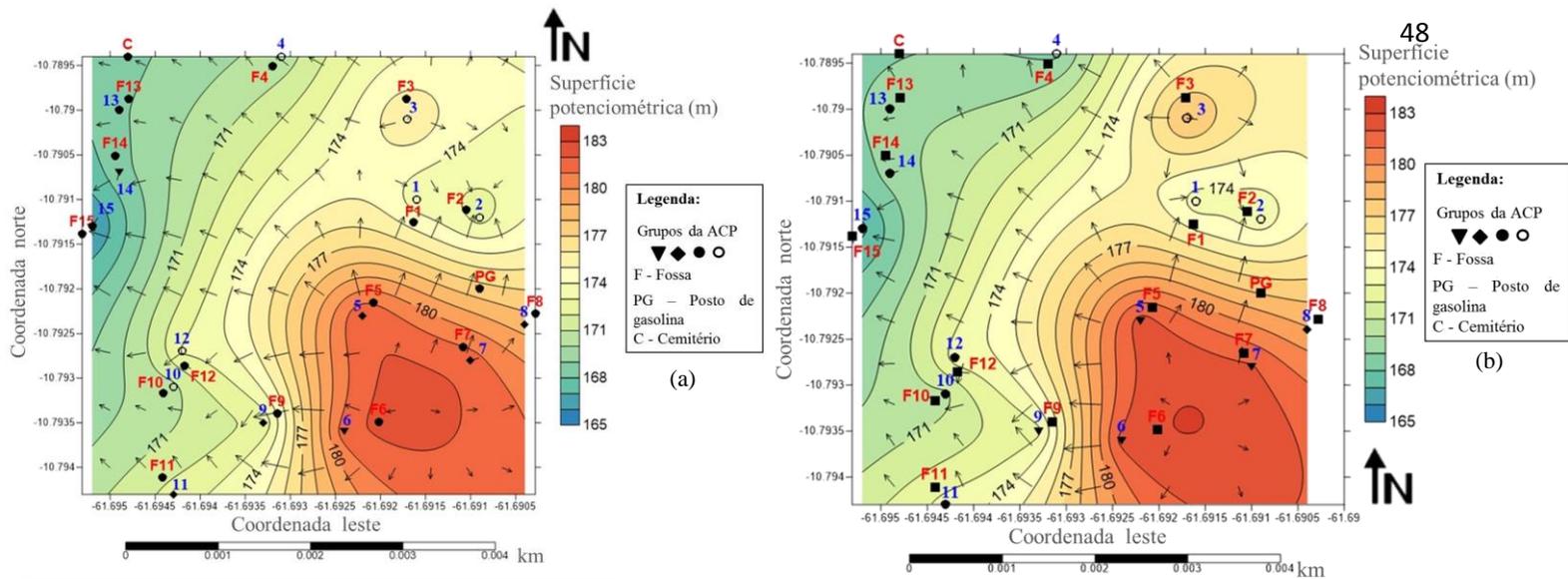


Figura 13 – Mapa de direção de fluxo do distrito de Nova Colina no mês de cheia (a) e vazante (b).

Os valores de CE para água subterrânea de Nova Colina seguiram a direção do fluxo (FIGURA 14), porém os maiores valores se concentraram na região nordeste em ambos os períodos analisados. O mesmo foi observado no cartograma de $N-NO_3^-$ (FIGURA 15), sendo que no mês de cheia esta concentração ocorreu na região de baixo potenciométrico e no mês de vazante aconteceu no alto potenciométrico, indicando forte influência da fossa do ponto 3 na pluma de contaminação em análise.

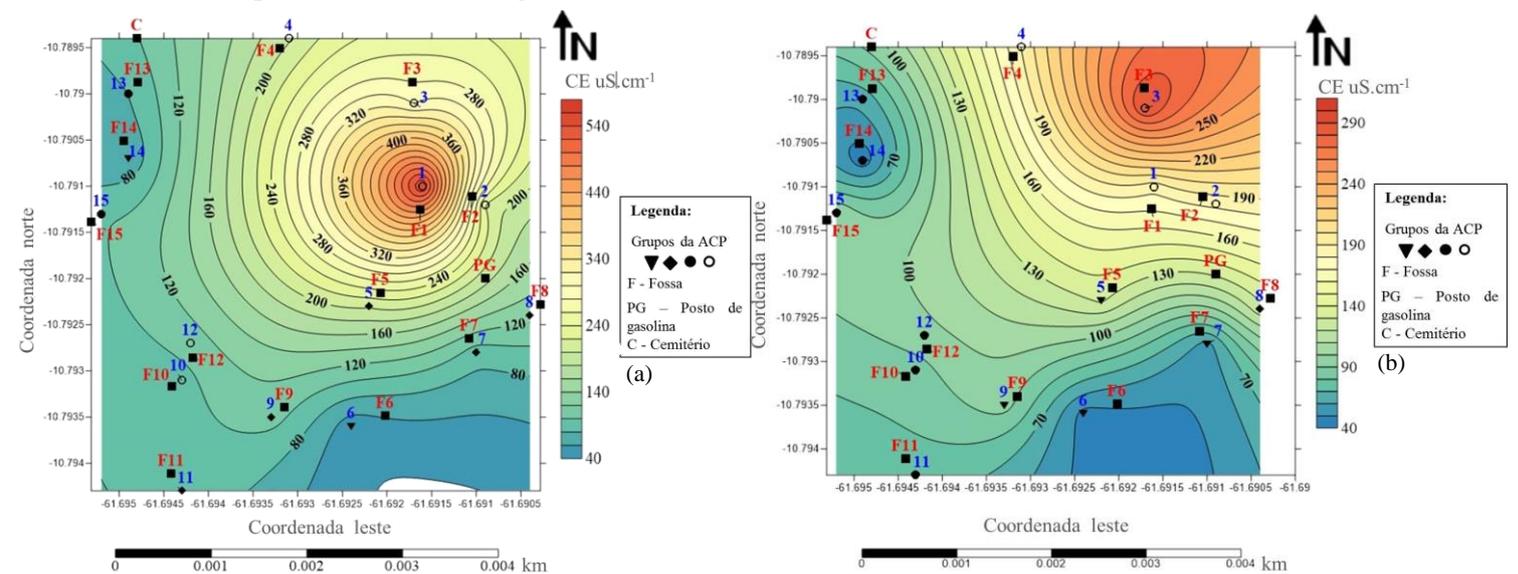


Figura 14 – Cartograma dos valores de CE ($uS.cm^{-1}$) para água subterrânea de Nova Colina (Ji-Paraná/RO), nos meses de cheia (a) e vazante (b).

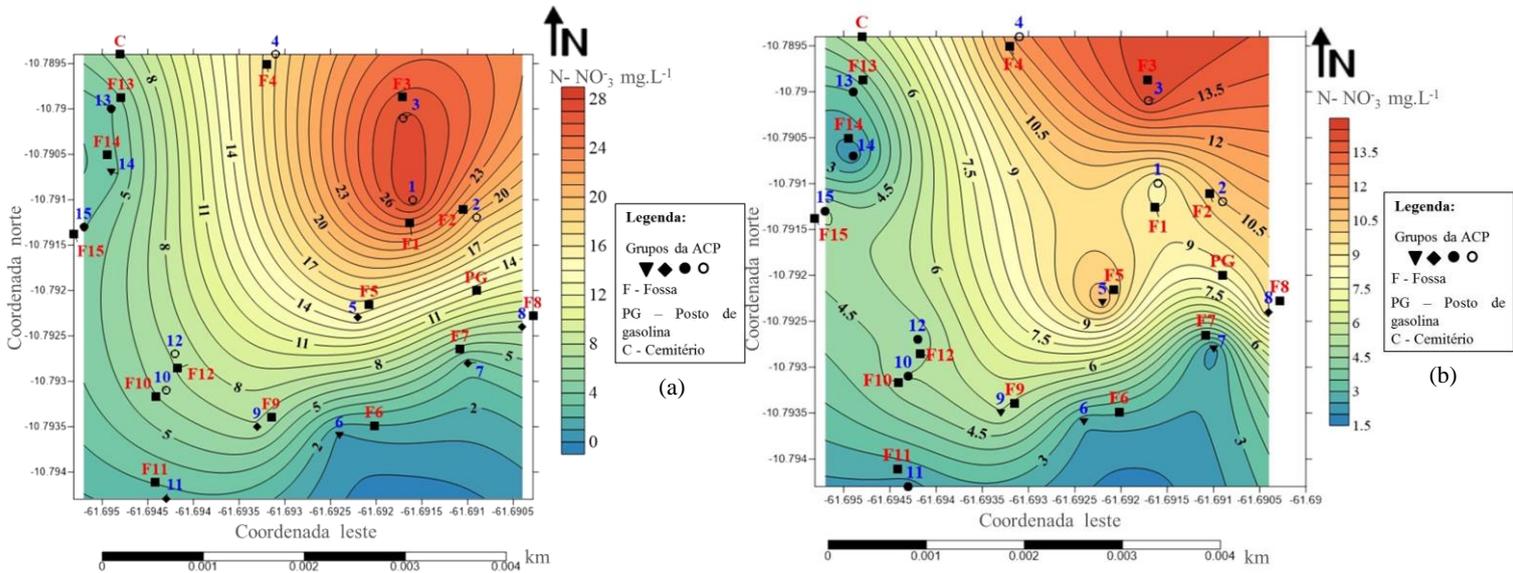


Figura 15 – Cartograma dos valores de N-NO₃ (mg.L⁻¹) para água subterrânea de Nova Colina (Ji-Paraná/RO), nos meses de cheia (a) e vazante (b).

Conforme pode ser observado na Figura 13, também não foi analisada diferença da direção do fluxo subterrâneo entre os meses representativos dos períodos em análise, e a partir dos cartogramas (FIGURAS 14 a 17) das variáveis que estiveram em desacordo com as legislações, foi possível observar que os maiores valores dos contaminantes se concentraram em regiões diferentes entre os meses representativos dos períodos analisados.

Na Figura 16 pode-se observar que os maiores valores de turbidez se concentraram na região sudeste (alto potenciométrico) e noroeste (baixo potenciométrico) na cheia e vazante, indicando que este contaminante está em processo contínuo de introdução nas águas subterrâneas, seja devido o esgoto doméstico, como foi verificado pela ACP, seja por intrusão de sólidos pela tampa dos poços ou pela característica rasa dos poços.

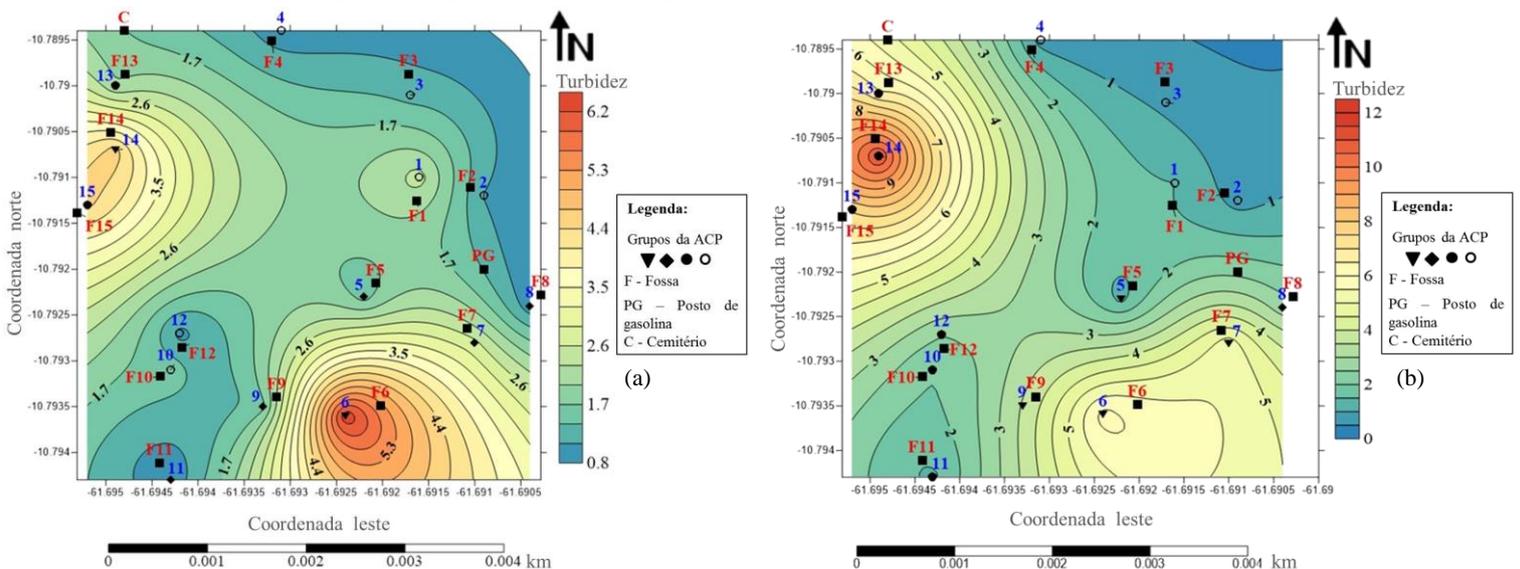


Figura 16 – Cartograma dos valores de turbidez (uT) para água subterrânea de Nova Colina (Ji-Paraná/RO), nos meses de cheia (a) e vazante (b).

Os menores valores de pH (FIGURA 17) se concentraram na região centro leste e leste no mês de cheia e na região nordeste e sudoeste no mês de vazante, sendo justamente a região que apresentou os maiores valores de N-NO_3^- .

Por meio da análise das componentes principais e da direção de fluxo subterrâneo, contando com auxílio dos cartogramas das variáveis expressivas, é indiscutível que a água subterrânea dos distritos de Nova Londrina e Nova Colina está sendo modificada física e quimicamente pelo esgoto doméstico, tendo como contribuintes para esta contaminação as características dos poços e atividade agropecuária, em pontos específicos.

Não se exclui a interferência de outros fatores na constituição da água, como características do solo, mobilidade dos elementos na água, uso e ocupação anterior da área.

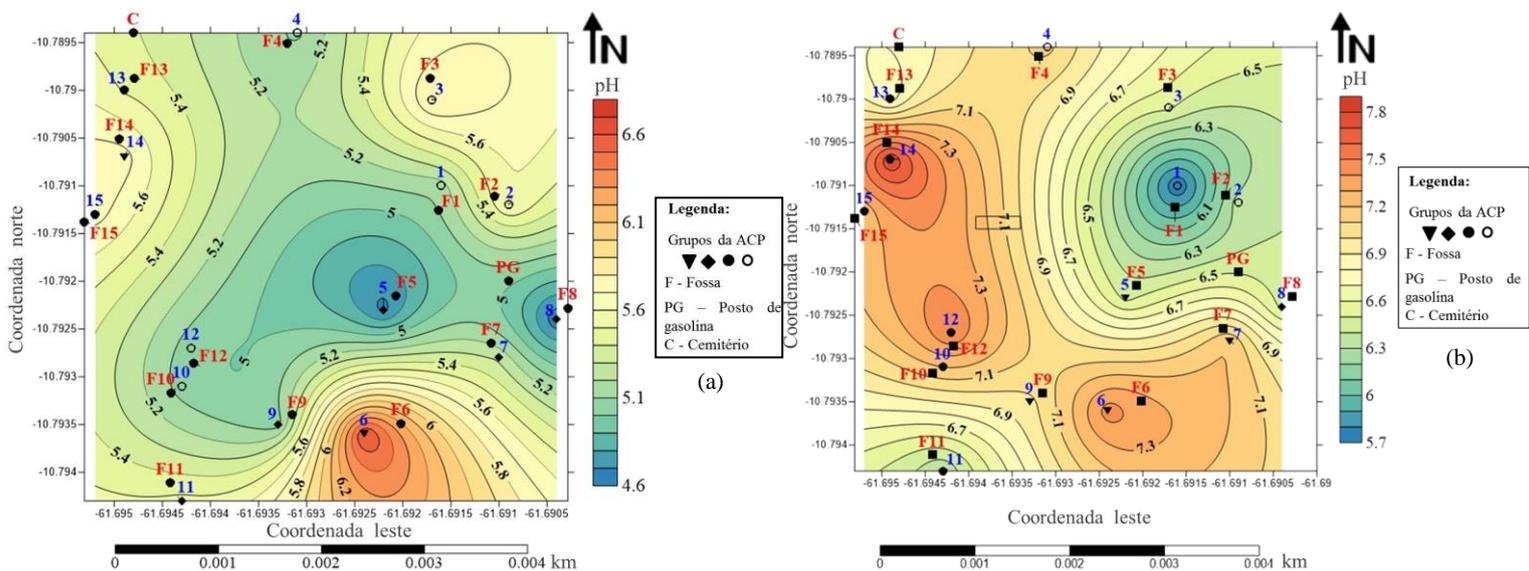


Figura 17 – Cartograma dos valores de pH para água subterrânea de Nova Colina (Ji-Paraná/RO), nos meses de cheia (a) e vazante (b).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos foi possível considerar que a água subterrânea dos distritos de Nova Londrina e Nova Colina sofrem contaminação por carga orgânica de origem fecal, estando imprópria para consumo humano sem um devido tratamento prévio. As variáveis que estiveram em desacordo com o padrão de potabilidade foram: turbidez, potencial hidrogeniônico e variáveis microbiológicas em ambas as áreas de estudo, além de fósforo dissolvido em Nova Londrina e nitrato para água subterrânea de Nova Colina.

As variáveis para a água subterrânea de Nova Londrina demonstraram apresentar maiores valores no período de seca que na cheia, no entanto para Nova Colina não foi possível identificar um padrão, o que pode ter ocorrido devido os meses analisados, de cheia e de vazante.

O fluxo subterrâneo ocorre predominantemente da região noroeste para sudeste (Nova Londrina) e sudeste para as demais regiões (Nova Colina), indicando como principal fonte de contaminação as fossas, além da intrusão da água da chuva, facilitada pela característica dos poços, como tampa e revestimento, e da contaminação relacionada ao uso e ocupação do solo no entorno da área em estudo observada pontualmente.

A análise de componentes principais possibilitou melhor entendimento do comportamento das variáveis na constituição da água subterrânea de Nova Londrina e Nova Colina, e em conjunto com os cartogramas foram suficientes no alcance dos objetivos propostos para esta pesquisa.

RECOMENDAÇÕES

A fim de melhor compreender a contaminação da água subterrânea dos distritos estudados sugere-se a realização de um estudo da característica do solo, tempo de construção dos poços, analisar a interferência da qualidade da água na saúde da população, e caracterização do fluxo até abranger o recurso hídrico superficial da região.

Portanto se vê a necessidade também de uma atividade de extensão da pesquisa com os gestores públicos e sociedade para que se encontrem formas de modificar a realidade de consumo de água sem as devidas condições estabelecidas por lei, do mesmo modo como se fazem necessárias ações de cuidado com a qualidade e quantidade da água subterrânea da área, visto que, no caso de Nova Londrina, em determinada época o recurso hídrico está sendo esgotado em alguns pontos, sendo importante analisar se é uma ocorrência natural ou está sendo superexplorado.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **A evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **Panorama da Qualidade das ÁGUAS Superficiais no Brasil**. Brasília, DF: 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **Panorama da Qualidade das ÁGUAS Subterrâneas no Brasil**. Brasília, DF: 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012**. Ed. Especial – Brasília: ANA, 2012. 215 p. ISBN 978-85-89629-89-8.

APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Edition 19. Washington, 1995.

ARAÚJO, C. F; HIPÓLITO, J. R; WAICHMAN, A. V. Avaliação da qualidade da água de poço. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 72, n. 1, p. 53-58, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7229/93**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. ABNT, 1993.

AZEVEDO, R. P. Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia central. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 3, Manaus, 2006.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4 ed. Porto Alegre: Brookman, 2011. 844p.

BIESDORF, D. L; SIMIONATO, F. A. B. **Visão da população contraposto ao conceito técnico sobre a qualidade da água distribuída no município de Medianeira-PR**. Medianeira: UTFPR. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Gestão Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

BRAGA, B; HESPANHOL, I; CONEJO, J. G. L; MIERZWA, J. C; BARROS, M. T. L; SPENCER, M; PORTO, M; NUCCI, N; JULIANO, N; EIGER, S. **Introdução a Engenharia Ambiental**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Resolução nº 273 de novembro de 2000. Dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Diário Oficial da União**, n. 005, 08 jan, 2001, p. 20-23.

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

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Diário Oficial da União**, n. 53, 18 mar, 2005, págs. 58-63.

BRASIL. Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Diário Oficial da União**, n. 66, 07 abr, 2008a. 66p.

BRASIL. Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde, Brasília.

BRASIL. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde - Funasa. Brasília: Funasa, 2014.

BRASIL. **Manual de saneamento**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.

BROWN, G; tradução e adaptação: CROSTA, A. P. Os recursos físicos da terra – Bloco 4 Parte 1 Recursos Hídricos. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2000.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DE RONDÔNIA – CAERD. Número de ligações ativas e inativas nos distritos de Nova Londrina e Nova Colina. Documento de circulação interna – Ofício, 2016.

CAJAZEIRAS, C.C.A. **Qualidade e Uso das águas Subterrâneas e a Relação com doenças de veiculação hídrica**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

CORCÓVIA, J.A; CELLIGOI, A. Avaliação preliminar da qualidade da água subterrânea no município de Ibiporã – PR. **Revista de estudos ambientais (Online)**, v. 14, n. 2esp, p. 39-48, 2012.

CREMONESE, E.R; NASCIMENTO, E.L; ROSA, A.L.D; LAUREANO, J.J; OLIVEIRA, G.A; FERREIRA, R.F; MENDONÇA, A.P; NARCISO, F.D.S; BASTOS, W.R. Avaliação da concentração de mercúrio total em águas subterrâneas dos lixões ativo e desativado do município de Ji-Paraná – RO. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21., 2015, Brasília. **Anais...** Brasília: ABRH, 2015.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FEAGA, J.; **Nitrates and groundwater: Why Should We Be Concerned with Our Current Fertilizer Practices?** Funding for this research provided by the Oregon Department of Agriculture, Salem. Special Report 1050 . 2004.

FERREIRA, R. F. **Avaliação da qualidade da água utilizada por produtores de polpa de fruta na região central de Rondônia**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental). Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2013.

FREITAS, F.G. **Benefícios econômicos da expansão do saneamento no Estado de Rondônia**. Relatório de pesquisa produzido para o Instituto Trata Brasil. Ex ante Consultoria Econômica: 2014.

HEATH, R. C. **Hidrologia Básica de Água Subterrânea**. Título original: Geological Survey Water Supply Paper. Trad. WREGE, M. & POTTER, P. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas Núcleo Sul-ABAS, 1982.

HELLER, L.; PÁDUA, V.L. **Abastecimento de água para consumo**. 2ª Edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

HEREDIA, O.S; FRESINA, M.E; SANTA CRUZ, J.N; SILVA BUSSO, A.A. Nitratos y fósforo en el agua subterránea de un área antropizada de La region Pampeana -Buenos Aires Republica Argentina. In: Joint World Congress on Groundwater, 1., 2010. **Anais...** 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010.

IRITANI, M. A; EZAKI, S. As águas subterrâneas do estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA, 3 ed., 2012.

KEELER, B. L; GOUREVITCH, J.D; POLASKY, S; ISBELL, F; TESSUM, C.W; HILL, J.D; MARSHALL, J.D. The social costs of nitrogen. **Science Advances**, v. 2, 2016.

LAUREANO, J.J; RAMOS, C. F; NASCIMENTO, E. L; ROSA, A. L. D; GOMES, J. P. O; FERREIRA, R. F; MENDONÇA, A. P; OLIVEIRA, G. A; BASTOS, W. R. Qualidade da água subterrânea: estudo de caso de Presidente Médici – RO. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21., 2015, Brasília. **Anais...** Brasília: ABRH, 2015.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** Campinas, SP: Editora Atomo, 2005

LINHARES, F.M. **Potencial hidrogeológico e a qualidade da água subterrânea do município de Brejo do Cruz – PB.** Monografia (Graduação em Geografia), Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, 2009.

MARMOS, J.L; AGUIAR, C.J.B; DIOGENES, H. S; GUSMÃO, V. F. **Avaliação da qualidade das águas subterrâneas da cidade de Parintins – AM.** Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral: Manaus, 2005.

MARTINS, I. A. V. **Avaliação da qualidade da água subterrânea em área de influência do lixão inativo no bairro Boa Esperança (Ji-Paraná/RO).** Ji-Paraná: UNIR, 2011. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2011.

MARTINS, I.A.V; NASCIMENTO, E.L; ROSA, A.L.D; OLIVEIRA, G.A; BASTOS, W.R; MALM, O; MENDONÇA, A.P; RECKTENVALD, M.C.N.N; SANTOS, A.M. Avaliação da qualidade da água subterrânea em área de influencia do lixão inativo no bairro Boa Esperança (Ji-Paraná/RO). . In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21., 2015, Brasília. **Anais...** Brasília: ABRH, 2015.

MENEZES, J. P; BERTOSSI, A. P. A; SANTOS, A. R; NEVES, M. A. Qualidade da água subterrânea para consumo humano e uso agrícola no sul do estado do Espírito Santo. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**, v.17, n.17, p. 3318-3326, dez., 2013.

MENEZES, J. P; BERTOSSI, A. P. A; SANTOS, A. R; NEVES, M. A. Correlação entre uso da terra e qualidade da água subterrânea. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.19, n.2, 2014.

MOURA, C. C; GASTMANS, D; KIANG, C. H; MODESTO, R. P; RODRIGUES, P. F; RUBY, E. C; BORGES, A. V. Concentrações de nitrato nas águas subterrâneas em áreas rurais do município de São José do Rio Preto – SP. **Revista Brasileira de Águas Subterrâneas**, v. 29, n. 3, p. 268-284, 2015.

NUNES, M. L. A; GOMES, J. B; WEBLER, A. D; ANDRADE, L. R; MARCHETTO, M. Comprometimento da Qualidade da água subterrânea por nitratos. **Revista Nucleus**, v.9, n.1, 2012

OLIVEIRA, G.A; NASCIMENTO, E.L; ROSA, A.L.D; LAUTHARTTE, L.C; BASTOS, W. R; BARROS, C.G.D; CREMONESE, E.R; BENT, A.Q; MALM, O; GEORGIN, J; CORTI, A.M. Avaliação da qualidade da água subterrânea: Estudo de caso de Vilhena – RO. **Revista Brasileira das Águas Subterrâneas**, v.29, n.2, p. 213-223, 2015.

OLIVEIRA, G. A. **Avaliação da qualidade da água subterrânea: Estudo de caso de Vilhena – RO**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2014

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO - FAO. 2016.<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/Profile_segments/BRA-WU_eng.stm>. Acesso em 12 de novembro de 2017.

PIFFER, V. **Estimativa do consumo per capita de água tratada para uso doméstico na cidade de Ariquemes – RO**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2014.

REBOUÇAS, A.C; BRAGA, B; TUNDISI, J.G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Academia Brasileira de Ciências, Inst. De Estudos Avançados, USP, Escritoras Editora e Distribuidora de Livros Ltda., 1999.

RIBEIRO, K. T.S. **Água e saúde humana em Belém**. Belém: Cejup, 2004.

ROCHA, L. C. R.; HORBE, A. M. C. Contaminação provocada por um depósito de lixo no aquífero Alter do Chão em Manaus-AM. **Acta Amazonica**. Manaus 2006, vol.36(3). p. 307-312.

RODRIGUES, E.R.D. Avaliação Espacial da Qualidade da Água Subterrânea na Área Urbana de Porto Velho – RO. Dissertação (Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente), Universidade Federal de Rondônia, 2008.

SANTOS, A. G. S; MORAES, L. R. S; NASCIMENTO, S. A. M. Qualidade da água subterrânea e necrochorume no entorno do cemitério do campo Santo em Salvador – BA. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 3, n. 1, p. 39-60, 2015.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL – SEDAM.
Boletim Climatológico de Rondônia - 2010. Porto Velho: 2012. V. 12.

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

SILVA, A.C.S; DOURADO, J.C; KRUSCHE, A.V; GOMES, B.M. Impacto físico-químico da deposição de esgotos em fossas sobre as águas de aquífero freático em Ji-Paraná – RO. **Revista de estudos ambientais (online)**, v. 11, n.2, p. 101-112, 2009.

SILVA, D.D; MIGLIORINI, R.B; SILVA, E.C; LIMA, Z.M; MOURA, I.B. Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá – MT. **Revista de Engenharia Sanitária Ambiental**, v.19, n.1, 2014.

SILVA, M.L. Características das águas subterrâneas numa faixa norte-sul na cidade de Manaus (AM). **Revista Escola de Minas**, v. 54, n. 2, Ouro Preto, abr.-jun. 2001.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS.
Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015. Disponível em:
<<http://snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em: 03 de abr. de 2017.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** UFMG/Belo Horizonte-MG, 470p, 2014.

TEIXEIRA, W;FAIRCHILD, T.R;TOLEDO, M.C.M;TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**, 2 ed, Companhia Editora Nacional, São Paulo, 2009.

TODD, D.K. **Hidrologia de águas subterrâneas.** Agência Norte-Americana para o Desenvolvimento Internacional – USAID, Rio de Janeiro, 1967.

TUCCI, C. E. M; CABRAL, J. J. S. P. **Qualidade da Água Subterrânea.** Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. 2003.

TUNDISI, J.G; TUNDISI, T.M. **Recursos Hídricos no Século XXI.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

WORLD HEALTH ORGANISATION – WHO. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Report of a WHO Scientific Group. Geneva, 1989.

WILHELM, S. R; SCHIFF, S.L; CHERRY, J.A. Biogeochemical evolution of domestic wastewater in septic systems: 1 Conceptual Model. **GroundWater**, 32 (6): 906- 916. 1996.