

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS - ICE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E QUALIDADE DA
ÁGUA DE POÇOS TUBULARES EM ALDEIAS INDÍGENAS NA
REGIÃO DA AMAZÔNIA CENTRAL

CONSUELO ANDRADE SIMÕES CLEBSCH

MANAUS – AM
2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS – ICE
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS – PPGGEO

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E QUALIDADE DA ÁGUA DE
POÇOS TUBULARES EM ALDEIAS INDÍGENAS NA REGIÃO DA
AMAZÔNIA CENTRAL

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito
do Programa de Pós-Graduação em Geociências da
Universidade Federal do Amazonas, como

Orientador: Profa. Dra. Keila Cristina Pereira Aniceto
Coorientador: Prof. Dr. Ingo Daniel Wahnfried

MANAUS – AM
2018

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C623c	Clebsch, Consuelo Andrade Simões Caracterização hidrogeoquímica e qualidade da água de poços tubulares em aldeias indígenas na região da Amazônia Central / Consuelo Andrade Simões Clebsch. 2018 86 f.: il. color; 31 cm. Orientadora: Keila Cristina Pereira Aniceto Coorientador: Ingo Daniel Wahnfried Dissertação (Mestrado em Geociências - Geologia Ambiental) - Universidade Federal do Amazonas. 1. Água subterrânea. 2. Hidrogeoquímica. 3. Potabilidade. 4. Aldeias indígenas. I. Aniceto, Keila Cristina Pereira II. Universidade Federal do Amazonas III. Título
-------	--

CONSUELO ANDRADE SIMÕES CLEBSCH

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E QUALIDADE DA ÁGUA DE
POÇOS TUBULARES EM ALDEIAS INDÍGENAS NA REGIÃO DA
AMAZÔNIA CENTRAL

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geociências da
Universidade Federal do Amazonas,
como requisito parcial para obtenção do
Título de Mestre em Geociências, área de
concentração em Geociências.

Aprovada em 15 de maio de 2018.

BANCA EXAMINADORA



Dr.^a Keila Cristina Pereira Aniceto, Presidente.
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. Helder Manuel da Costa Santos, Membro.
Universidade Federal do Amazonas



Prof.^a Dr.^a Tereza Cristina Souza de Oliveira, Membro.
Universidade Federal do Amazonas

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, autor da vida por tudo que Ele me proporcionou para que eu chegasse até aqui. Ao meu amado esposo, Juliano Clebsch por estar sempre ao meu lado nos momentos bons e ruins, por toda a compreensão, apoio, incentivo e carinho, aos meus filhos, Ana Carolina e Arthur Mário que embora quisessem e merecessem minha atenção total, me incentivaram e me permitiram estudar durante as noites após os duros dias de trabalho. À minha mãe, Ana Simões que acreditou em mim até mesmo quando eu não mais acreditava, sempre perseverante e amável; à minha tia Nazaré Viana que sempre me disse que depois que nossos filhos crescem, criamos asas para fazer voos mais altos; às minhas amigas: Ana Dilza, Chrys Picanço, Adriana Reis, Silvia Ascate, Ariadne Lopes, Lenize Felix e Rose Silva pelo apoio, incentivo e orações em meu favor.

Agradeço imensamente à minha orientadora, Professora Dra. Keila Aniceto por todo o aporte. Por estar sempre ao meu lado, me orientando, me incentivando e principalmente por não ter desistido de mim.

Ao meu pai, Simões (*in memorian*) que na sua simplicidade sempre acreditou no meu sucesso.

À Leylane Correa, Andrews Gusmão, Felipe Fontenelle e Willian Duarte por toda a ajuda recebida. Aos meus colegas de trabalho, Marcelino Sebastião e Virgínia Ribeiro pelas fotografias e apoio.

Com muito carinho aos meus amigos geólogos Andrés Camilo Hurtado, Manuel Zafra, Rafaela Santana, Rodrigo Tokuta, Plebson Maicon, Igor Torres e Ziomar Júnior que se tornaram irmãos e estarão guardados para sempre em meu coração. Sou grata à Deus por tê-los colocado em minha vida. Pois sem as palavras de incentivo, o aporte e o carinho de todos eu não teria chegado tão longe. Muito obrigada mesmo!

Ao Distrito Sanitário Especial Indígena Manaus por me permitir adquirir conhecimento e assim pudesse buscar soluções para as áreas em foco e para outras populações indígenas. Em especial à Sra. Adarcyline Rodrigues pela confiança em meu trabalho e todo aporte, à Jhones Muneymne pela minha liberação para meu aperfeiçoamento e à Shelton Rodrigues por considerar meu aperfeiçoamento acadêmico como aperfeiçoamento profissional.

“Eu segurei muitas coisas nas minhas mãos, e eu perdi tudo; mas tudo que coloquei nas mãos de Deus eu ainda possuo”.

Martin Luther King

RESUMO

Este trabalho apresenta resultados obtidos a partir da investigação das características hidrogeoquímicas e a qualidade das águas subterrâneas do Aquífero Alter do Chão referentes a cinco poços tubulares localizados em aldeias indígenas de dois municípios da Amazônia Central, os quais são sustentados por rochas siliciclásticas das Formações geológicas Alter do Chão (Cretáceo) e Novo Remanso (Neógeno) recobertas por depósitos fluviais quaternário. Foram analisados os parâmetros físicos, físico-químicos, iônicos, microbiológicos, organolépticos e hidrogeológicos. Os valores de temperatura do ar e da água mantiveram-se relativamente homogêneos, variando entre 24°C e 32,5°C e 26,6°C e 28,8°C, respectivamente. Os resultados obtidos de pH evidenciam águas de caráter ácido que variam entre 4,67 e 6,58; A condutividade elétrica em todos os períodos estudados mostrou valores variando entre 17,67 e 106,3 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), indicando águas fracamente mineralizadas. Os resultados das substâncias que representam risco à saúde (alumínio, arsênio, bário, cádmio, cobre, cromo, fluoreto, nitrato, nitrito, níquel e zinco), em sua grande maioria estão abaixo do limite de detecção do equipamento e os valores detectados para bário, cádmio, cobre, nitrato, nitrito e zinco estão abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação vigente. Todos os resultados analíticos obtidos destas águas nos períodos sazonais e transicionais foram comparados com os padrões de potabilidade previstos na legislação vigente e mostram-se próprias para o consumo humano, sem indícios de contaminantes. A fraca mineralização das águas analisadas, reflete as baixas concentrações dos constituintes dissolvidos, isto porque a água percola solos pobres, típicos do forte intemperismo ao qual a região é submetida. A utilização do diagrama de Piper mostrou um comportamento hidroquímico variado, resultando numa classificação variada em quatro poços. Em relação ao aspecto hidrogeológico, de modo geral os poços mais rasos (TU, NE e MK) com profundidades que variam entre 46 a 50 metros apresentaram os menores e melhores valores de níveis estáticos e dinâmicos dando indicativo de mais áreas de entradas de recargas, com destaque maior para o MK em todos os períodos estudados.

Palavras-chave: Água subterrânea, Hidrogeoquímica, Potabilidade, Aldeias indígenas.

ABSTRACT

This paper presents results obtained from the investigation of the hydrogeochemical characteristics and the groundwater quality of the Alter do Chão Aquifer referring to five tubular wells located in indigenous villages of two municipalities of Central Amazonia, which are supported by siliciclastic rocks of Alter geological formations (Cretaceous) and Novo Remanso (Neogene) covered by quaternary fluvial deposits. Physical, physical-chemical, ionic, microbiological, organoleptic and hydrogeological parameters were analyzed. The values of air and water temperature remained relatively homogeneous, varying between 24 °C and 32.5 °C and 26.6 °C and 28.8 °C, respectively. The pH results show acidic water ranging from 4.67 to 6.58; The electrical conductivity in all studied periods showed values varying between 17.67 and 106.3 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), indicating weakly mineralized waters. The results of substances posing a health risk (aluminum, arsenic, barium, cadmium, copper, chromium, fluoride, nitrate, nitrite, nickel and zinc) are mostly below the detection limit of the equipment and the values detected for barium, cadmium, copper, nitrate, nitrite and zinc are below the maximum values allowed by current legislation. All the analytical results obtained from these waters in the seasonal and transitional periods were compared with the potability standards established in the current legislation and are suitable for human consumption, with no evidence of contaminants. The poor mineralization of the analyzed waters reflects the low concentrations of the dissolved constituents, because the water percolates poor soils, typical of the strong weathering to which the region is submitted. The use of the Piper diagram showed a varied hydrochemical behavior, resulting in a varied classification in four wells. In relation to the hydrogeological aspect, in general, the shallower wells (TU, NE and MK) with depths ranging from 46 to 50 meters presented the lowest and best values of static and dynamic levels, indicating more areas of recharge entries, with a higher score for MK in all periods studied.

Key words: Groundwater, Hydrogeochemistry, Potability, Indigenous villages.

LISTA DE FIGURAS I

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia Sedimentar do Amazonas.....	13
Figura 2 - Mapa de localização das sedes municipais: (1) Manaus e (2) Itacoatiara e arredores da área de estudo evidenciando os depósitos Cretáceo e Mioceno.....	14
Figura 3 - Variabilidade espacial das chuvas na Bacia Amazônica.	17
Figura 4 - Mapa de localização da área de estudo e poços amostrados	18
Figura 5 - Vista da aldeia indígena Três Unidos – rio Cuieiras. A) Período chuvoso; B) Período de estiagem.....	20
Figura 6 - Vista das aldeias indígenas: Nova Esperança – rio Cuieiras. A) Período de estiagem; B) Período chuvoso; Makira – Rio Urubu C) Período de estiagem; D) Período chuvoso e terra Preta – Rio Cuieira E) Período de estiagem; F) Período chuvoso.	20
Figura 7 - Coleta de resíduos sólidos (Parceria com a Fundação Amazônia Sustentável –FAS e Aldeia Três Unidos, rio Cuieiras: A) Local de coleta seletiva – Parte frontal; B) Depósitos individuais para papel, vidro, pilhas e baterias, metal e plástico; C) Paisagem dos resíduos sólidos.....	21
Figura 8 - Queima de resíduos sólidos - Aldeia Nova Esperança - Cuieiras: A) Local de queima de resíduos sólidos visto de cima; B) Local de queima de resíduos sólidos	22
Figura 9 - Equipamentos utilizados nas análises dos íons. A) Espectro de absorção atômica; B) Cromatógrafo iônico; C) Software dos equipamentos utilizado nas interpretações dos dados obtidos; D) Fotômetro de chama.....	23
Figura 10 - Etapas resumidas de coleta de amostras. A) Leitura de nível estático e dinâmico; B) Assepsia da saída do poço; C) Leitura de temperatura; D) Amostragem.....	24

LISTA DE FIGURAS II: ARTIGO

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo e pontos amostrados	36
Figura 2 – A) Resultados de sólidos totais (TDS) e B) Turbidez das águas subterrâneas da de estudo.....	42
Figura 3 – Diagrama de Piper para classificação das águas subterrâneas no período de estiagem.....	47
Figura 4 - Diagrama de Piper para classificação das águas subterrâneas no período chuvoso.....	47
Figura 5 – Comportamento hidrológico dos poços durante os períodos de estiagem, transição chuvoso, chuvoso e transição estiagem	51
Figura 6 – Correlação Geológica dos poços TU, TP e NE.....	52
Figura 7 - Correlação Geológica do poço MK	53
Figura 8 - Correlação Geológica do poço CASAI.....	54

LISTA DE TABELAS I

Tabela 1 - Distribuição dos recursos hídricos e densidade demográfica do Brasil.	7
Tabela 2 – Comparação dos valores de pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) na Formação Alter do Chão na cidade de Manaus/AM.	11
Tabela 3 - Ânions e Cátions dissolvidos nas amostras analisadas na cidade de Manaus/AM. .	11
Tabela 4 - Informações de referência das aldeias indígenas estudadas e descrição dos solos da área de estudo	19
Tabela 5 - Métodos para determinação hidroquímica	23
Tabela 6 – Padrões para águas destinadas ao consumo humano estabelecido pelo Ministério da saúde (Portaria MS nº 2914/11)	32

LISTA DE TABELAS II: ARTIGO

Tabela 1 – Métodos para determinação hidroquímica.....	38
Tabela 2 – Resultados obtidos durante os quatro períodos sazonais A) Estiagem; B) Transição chuvoso; C) Chuvoso e D) Transição estiagem.....	40
Tabela 3 – Comparação dos valores de Temperatura do ar, Temperatura da água, pH e condutividade elétrica no Sistema de aquífero Alter do Chão na cidade de Manaus/AM.....	41
Tabela 4 - Resultados de substâncias que representam risco à saúde em mg/L obtidos durante os períodos: A) Estiagem, B) Chuvoso.....	43
Tabela 5 – Concentração de SiO ₂ nos períodos de Estiagem e chuvoso.....	44
Tabela 6 - Resultados iônicos obtidos nos períodos sazonais A) Estiagem; B) Chuvoso	45
Tabela 7 – Comparação dos valores de cátions e ânions do Sistema de Aquífero Alter do Chão na cidade de Manaus/AM.....	46
Tabela 8 - Classificação das águas estudadas durante os períodos de estiagem e chuvoso.	46
Tabela 9 – Resultados microbiológicos obtidos durante os períodos de A) Estiagem; B) Transição chuvoso; C) Chuvoso e D) Transição estiagem.....	48
Tabela 10 – Profundidade (m), nível estático (m), nível dinâmico (m) dos poços tubulares da área de estudo	50

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	2
1.1 INTRODUÇÃO	2
1.2 JUSTIFICATIVA	4
1.3 OBJETIVOS	5
1.3.1 Objetivo Geral	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 ESTUDOS VOLTADOS A POÇOS TUBULARES E QUALIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	5
1.4.1 A importância da água subterrânea	5
1.4.2 Relevância dos estudos da qualidade da água subterrânea no Brasil	7
1.4.3 Utilização das águas subterrâneas no Amazonas	12
CAPÍTULO 2	13
2.1 ÁREA DE ESTUDO	13
2.1.1 Contexto geológico da área de estudo	25
2.1.2 Aspectos hidrogeológicos	16
2.1.3 Clima e vegetação da área de estudo	17
2.1.4 Localização e acesso da área de estudo	18
2.1.5 Aspecto cultural dos aldeados	21
2.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISES	22
2.2.1 Propriedades físico e físico-químicas – Metodologias utilizadas	24
2.2.2 Parâmetros microbiológicos – Metodologias utilizadas	27
2.2.3 Parâmetros iônicos - Metodologias utilizadas	27
2.2.4 Levantamento dos dados dos poços e monitoramento dos níveis de água	30
2.2.5 Parâmetros organolépticos	31
2.2.6 Análise de dados	31
CAPÍTULO 3	33
3.1 INTRODUÇÃO	34
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.2.1 Aspectos gerais da área de estudo	35
3.2.2. Amostragem e Análises	37
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
3.3.1 Parâmetros de qualidade da água	39
3.3.2 Parâmetros iônicos	45
3.3.3 Parâmetros microbiológicos	48
3.3.4 Parâmetros hidrogeológicos	49
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas do Amazonas exercem destaque por serem a principal fonte de abastecimento humano em cerca de 71% dos municípios (WAHNFRIED e SOARES, 2012). Representam um recurso hídrico confiável e de grande aceitabilidade, tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais e indígenas quando comparadas com as águas superficiais. Além disso, dispensam tratamento e são consideradas fontes mais econômicas através da perfuração de poços tubulares, os quais devem ser bem projetados e construídos para evitar a contaminação dos meios aquíferos.

Com este fim, a Associação Brasileira de Normas Técnicas, instituiu a NBR 12.212/06 e a NBR 12.244/06. Ratifica-se que o não atendimento destas normativas podem tornar os aquíferos vulneráveis a contaminação, termo este que foi definido por Foster e Hirata (1987), como “conjunto de características essenciais dos estratos que separam o aquífero saturado da superfície do solo, determinando sua suscetibilidade aos efeitos adversos de uma carga contaminante aplicada na superfície”. Essa problemática está relacionada intrinsecamente à alteração da qualidade da água subterrânea por ação antrópica.

No trabalho de Tucci e Cabral (2013), o indício da poluição bacteriológica e físico-química de nitratos, metais e outros compostos se dá pela ausência de saneamento básico, vazamento de redes de esgoto, lixões. Para identificar a vulnerabilidade dos recursos hídricos é necessário que se faça um monitoramento rotineiro.

A International Organization for Standardization (ISO) define monitoramento como "um processo programado de amostragem, medições e armazenamento de dados sobre várias características da água" (UNEP/WHO, 1996). No entanto, UNEP/WHO (1996) e SWRCB (2003) ratificam que “o monitoramento da qualidade e quantidade da água é a base para o gerenciamento deste recurso, subsidiando a tomada de decisões e avaliando a eficácia dessas decisões na proteção, manutenção, melhoria e remediação dos recursos hídricos”. No monitoramento também deve ser fornecidas informações sobre a dinâmica do aquífero em relação às variações sazonais e efeitos antrópicos (UIL et al., 1999).

A Política Nacional de Recursos Hídricos alicerça a importância do monitoramento da água, que define dentre os seus objetivos, "assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos" (Art. 2º, Cap. II, Tít. I, Lei nº 9.433/97).

Segundo as considerações das Nações Unidas sobre as tendências atuais, mais de 45% da população do mundo não poderá contar com a quantidade mínima de água para o consumo diário em 2050. Atualmente, a escassez de água já é realidade em termos quantitativos e qualitativos em muitas regiões do planeta. O que torna a preservação da qualidade da água uma necessidade global, que exige cuidado especial por parte das autoridades sanitárias e consumidores em geral. Sobretudo, à água dos mananciais destinados ao consumo humano (BRUZANELLO et al., 2008). Dessa forma, estabeleceu-se a necessidade de qualidade da água como o propósito primário para a proteção da saúde do homem e das populações.

Neste contexto, esta pesquisa teve o objetivo principal o estudo da caracterização hidrogeoquímica e qualidade natural das águas brutas de poços tubulares em áreas indígenas para verificar se essas águas são próprias para o consumo humano, visto que quatro dos poços em foco há a inexistência de informações sobre a construção dos mesmos, bem como os perfis construtivos. Esta caracterização ocorre de forma inédita em aldeias indígenas da região da Amazônia central e apresentam dados obtidos através do monitoramento da qualidade de água de cinco poços, estes dados foram comparados tomando como base os valores máximos permitidos (VMP) estabelecidos na Portaria do Ministério da Saúde N°2.914/2011, a qual estabelece normas de potabilidade para consumo humano. Os dados que motivaram este estudo foram obtidos nos períodos sazonais regionais, bem como os transicionais desde julho/2016 até de junho/2017 para verificação do comportamento hidrogeoquímico destas águas. Estes dados pertencem à Secretaria de Saúde Indígena (SESAI).

Foram analisados não só a influência de poluição na qualidade da água, mas também as variações hidrogeológicas sazonais, bem como a verificação de possíveis doenças vinculadas às características geológicas destas águas. Todas estas informações contribuirão para a formulação de ações baseadas nos resultados obtidos para projetar novos poços e utilizar adequadamente os recursos hídricos subterrâneos em áreas indígenas desta região.

O levantamento de dados constituiu-se do conjunto de práticas que visaram o acompanhamento de determinadas características dos objetos de estudo. Estas práticas incluíram levantamento dos níveis hidrológicos, coleta de amostras de águas em locais georreferenciados e análises físicas, físico-químicas, químicas e microbiológicas. Os resultados destas análises permitiram o conhecimento da qualidade hidrogeoquímica dos aquíferos e serão apresentados no Capítulo III na forma de artigo.

1.2 JUSTIFICATIVA

O monitoramento contínuo dos parâmetros químicos para a caracterização hidroquímica e qualidade das águas subterrâneas permitem o conhecimento estrutural e hidrogeoquímico dos aquíferos, permitindo avaliar as alterações (DIAS et al., 2002). Visto que a água é uma substância quimicamente muito ativa, que tem a capacidade de dissolver e reagir com outras substâncias de origem orgânicas ou inorgânicas (CPRM, 2000), refletindo o meio percolado.

Trabalhos anteriores realizados no Brasil como o de Bueno (2007), Silva e Silva (2007) e o de Bahia et al., (2011), obtiveram resultados através do estudo da água subterrânea nos períodos de estiagem e de chuva, os quais foram comparados com os parâmetros das legislações vigente da época e favoreceram a classificação e/ou verificação da qualidade desta água.

Com o mesmo intuito e baseado no propósito primário para a proteção da saúde do homem, que é a qualidade da água para consumo, este levantamento de dados da qualidade da água em aldeias indígenas estabeleceu-se do conjunto de práticas que visaram o acompanhamento de determinadas características de um sistema com o objetivo de averiguar a qualidade das águas naturais destes povos.

Estas práticas incluíram coleta de amostras de águas em locais georreferenciados, determinação das características físicas, físico-químicas, hidrogeoquímicas e microbiológicas das águas estudadas para comprovar se estavam dentro das exigências de potabilidade previstas na Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/11 e a possíveis causas em caso de alterações, para averiguar se poderiam ser decorrentes de fenômenos naturais ou atividades antrópicas.

As aldeias e a Casa de Saúde do Índio Manaus (CASAI-MAO) em foco, estão gradativamente mudando seus hábitos em relação a disposição de resíduos sólidos e atividades de saneamento básico devido a oficinas realizadas pelo Distrito Sanitário Especial Indígena Manaus e parcerias. Culturalmente, os resíduos eram enterrados ou queimados em áreas de suas localidades e seus dejetos sanitários eram despejados em fossas negras (escavação feita diretamente no terreno, sem revestimento), o que causava o risco de contaminação iminente do lençol freático.

Excetuando a CASAI-MAO que já possuía fossa séptica, hoje as aldeias estudadas já estão inserindo este tipo de fossa no seu cotidiano. Mas por causa dos seus antigos e errôneos

hábitos quanto aos resíduos sólidos e dejetos sanitários, a verificação dos resultados destas ações antrópicas na degradação do aquífero é de suma importância.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivos Gerais

Investigar as características hidrogeoquímicas e a qualidade das águas subterrâneas de poços tubulares de aldeias indígenas e da Casa de Saúde do Índio – Manaus (CASAI/MAO), localizadas na região da Amazônia Central, para determinar quais são os melhores poços em termos qualitativos, verificando se são próprias para o consumo humano.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a qualidade natural das águas subterrâneas brutas de cinco poços de aldeias indígenas da região da Amazônia Central;
- Verificar se os valores obtidos estão dentro dos padrões dos Valores de Referência de Qualidade (VRQ) estabelecidos pela Portaria MS nº2.914/11 para substâncias que representam riscos à saúde, microbiológicos e organolépticos;
- Avaliar as concentrações das substâncias se comportam nos períodos sazonais (estiagem, transição para chuvoso, chuvoso e transição para estiagem).
- Contribuir com a formulação de ações baseadas nos resultados obtidos para projetar novos poços e utilizar adequadamente os recursos hídricos subterrâneos em áreas indígenas desta região.

1.4 ESTUDOS VOLTADOS A POÇOS TUBULARES E QUALIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

1.4.1 A importância da água subterrânea

As águas subterrâneas representam 97% da água doce no planeta. O homem as utiliza para fonte de consumo desde a idade antiga, túneis e poços construídos no Irã (antiga Pérsia) e Egito datados de 800 a.C., ratificam que este recurso já era utilizado (MANOEL FILHO,

2000). Nas últimas décadas, sua importância foi evidenciada em vários países e são utilizadas tanto para o abastecimento das populações como também para outros fins (MILLON, 2004). A UNEP/WHO (1996) estimou que foram perfurados cerca de 300 milhões de poços no período de 1970-1995. Esta água subterrânea abastece mais da metade da população mundial e irriga aproximadamente 90 milhões de hectares.

Os sistemas de abastecimento público de água na União Europeia que utilizam águas subterrâneas correspondem a 75%. Sendo que os sistemas públicos de água na Dinamarca, Bélgica, Alemanha e Áustria esse percentual é superior a 90% (OECD, 2000).

O Brasil é um país privilegiado quando se refere a recursos hídricos, de acordo com os estudos de ANA (2002), isto se dá porque possui 12% das reservas mundiais de água doce e 53% das reservas da América do Sul, apresentando uma disponibilidade hídrica de 40.732 m³/hab/ano, aproximadamente 80% das águas brasileiras estão na Bacia Amazônica. É detentor também de dois terços de um manancial subterrâneo que passa pelos países do Mercosul, o Aquífero Guarani, com extensão superior à área da Inglaterra, França e Espanha juntos. Mais da metade da água de abastecimento público no Brasil provém das reservas subterrâneas. Embora o Brasil disponha de grande quantidade de recursos hídricos, ressalta-se que a distribuição natural ocorre de forma desigual e apresenta maior concentração na região norte, justamente a região menos povoada. (Tabela 1). E é justamente na região norte que se encontra o maior aquífero mundial, o sistema de aquífero Alter do Chão que possui uma área estimada pela Agência Nacional de água (ANA, 2005) de 312.574 Km² na Bacia sedimentar do Amazonas. Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA, em 2001 existiam cerca de um milhão de poços profundos.

Tabela 1: Distribuição dos recursos hídricos e densidade demográfica do Brasil.

Região	Densidade demográfica (hab/Km ²)	Concentração de recursos hídricos do país (%)
Norte	4,12	68,5
Nordeste	34,15	3,3
Centro-Oeste	8,75	15,7
Sudeste	8,75	6
Sul	86,92	6,5

Fonte: IBGE/ANA (2010).

1.4.2 Relevância dos estudos da qualidade da água subterrânea no Brasil

Devido à grande quantidade de água subterrânea no Brasil, vários estudos foram impulsionados visando conhecer a qualidade e quantidade dos principais aquíferos brasileiros. Um deles é o trabalho Dias et al. (2002), o qual obtiveram resultados através do monitoramento de 38 poços tubulares que captam água do Aquífero Guarani.

Os resultados químicos foram comparados com os padrões de potabilidade da época, indicando uma excelente qualidade dessas águas para consumo humano, com concentrações de metais alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo total, ferro total, manganês e mercúrio abaixo do limite de detecção do método analítico para a maioria das amostras. Esse estudo classificou dois tipos de famílias de águas através do diagrama de Piper, visto que este aquífero apresenta-se confinado e livre em determinadas regiões da área de estudo.

No aquífero confinado, apresentou-se uma predominantemente bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e outra bicarbonatadas sódicas; já no aquífero livre, caracterizou-se a família das águas cloro-sulfatadas cálcicas ou magnesianas. Para a elaboração do uso do diagrama de Piper foram utilizados os cátions (Na^+ , Ca^{2+} , K^+ e Mg^{2+}) e os ânions (Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^-).

Bueno (2007) avaliou a qualidade de água do Aquífero Guarani no contexto da Legislação Brasileira quanto aos aspectos radiológicos, correlacionando aos dados geoquímicos disponíveis. O estudo se baseou em 29 amostras de água deste aquífero, oriundo de 23 municípios do Estado de São Paulo, com dados de parâmetros físico-químicos, levando em consideração que vários radionuclídeos naturais possuem tendências de mobilidade que variam de acordo com esses parâmetros. Os dados de atividade beta e alfa total obtidos neste

trabalho, conclui-se que nos locais onde foram realizadas as análises as águas do Aquífero Guarani encontram-se com baixa radioatividade tanto para beta como para alfa total de que algumas amostras cujas atividades alfa total foi menor que o limite de detecção no sistema espectrométrico utilizado. A correlação entre os dados e os parâmetros físico-químico e físicos indicou que não há relação linear entre eles. A análise resultante da inserção dos dados obtidos no mapa potenciométrico permitiu concluir que os valores de atividades betas e alfa total não se relacionam com o fluxo das águas do aquífero. Nos locais onde foram realizadas as análises, as águas do aquífero Guarani encontram-se adequadas para o consumo humano no que se refere aos aspectos radiológicos, como recomendado pela Organização Mundial de Saúde.

Gastmans (2007) realizou um estudo na porção leste do Estado do Mato Grosso do Sul, na porção sul do Estado de Goiás e o extremo sudeste do Mato Grosso. Com o objetivo principal de elaboração de um modelo hidrogeológico e hidroquímico conceitual do Sistema de Aquífero Guarani, em sua porção ocidental. O quadro hidroquímico nesta porção foi elaborado a partir da interpretação de um conjunto de análises químicas de 80 amostras de águas subterrâneas, 7 amostras de águas de chuva e 5 amostras de águas superficiais, coletadas nas principais drenagens que cortam a faixa de afloramentos da formação Botucatu e Piramboia no Mato Grosso do Sul. Das 80 amostras de águas subterrâneas, 69 são provenientes de poços perfurados no Sistema de Aquífero Guarani, no estado do Mato Grosso do Sul as águas foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas e ou sódicas, sendo a distinção entre dois grupos relacionada principalmente ao grau de confinamento ao qual o aquífero está submetido. Enquanto as características magnesianas estavam relacionadas possivelmente com a combinação para águas provenientes do Sistema de Aquífero Serra Geral (SANESUL/TAHAL, 1998; GASTMANS & CHANG, 2005). As características físicas e químicas principais das águas subterrâneas: A temperatura variou entre 20°C até 66°C, pH variou de 4,9 a 9,2, os valores mais ácidos foram encontrados próximos as áreas de recarga e com o aumento do confinamento ao qual o aquífero está submetido passam a ocorrer águas alcalinas. A condutividade elétrica teve variações entre 7,4 até 1134 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com a maior parte das amostras apresentando valores de 50 a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mostrando concordância com as principais direções dos fluxos, com as menores condutividades elétricas relacionadas às zonas de recarga e ocorrendo um aumento na área de maior confinamento. O principal íon encontrado foi o ânion bicarbonato, proveniente principalmente das reações de equilíbrio da série carbonática, iniciadas nas áreas de recarga com a dissolução do CO_2 presentes nos solos

e na água da chuva, caracterizando maior a maior parte das águas como bicarbonatadas. Quanto aos cátions, as relações apresentam respostas distintas em relação ao grau de confinamento ao qual o aquífero está submetido com a ocorrência do comportamento hidroquímico e foram separados em dois grupos principais: $rCa^{2+}+Mg^{2+}>rNa^{+}+rK^{+}$ (Correspondendo a 87% das amostras livres ou pouco confinados); $rNa^{+}+rK^{+}>rCa^{2+}+Mg^{2+}$ (Zona de confinamento).

Goffermann et al., (2012), realizaram a caracterização hidrogeológica e hidroquímica das águas subterrâneas da região de São Gabriel/RS. O estudo tratou-se da análise de 55 amostras de 55 poços tubulares desta região com vários contextos hidrogeológicos. Na área de estudo, o flúor e sódio foram os parâmetros que comprometeram a utilização das águas subterrâneas para consumo humano, dessedentação de animais e irrigação, totalizando 30% das amostras, conforme os valores máximos permitidos pelo Ministério da Saúde do Brasil. Os resultados analíticos dessas águas subterrâneas mostraram uma grande variedade composicional, destacando-se os íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-} , F^{-} e Cl^{-} . Os parâmetros com significativas variações e que determinam diferentes tipos hidroquímicos foram sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, alcalinidade e pH. Devido às águas subterrâneas da região de São Gabriel apresentarem comportamento geoquímico bastante variado, possibilitou através dos métodos analíticos o estabelecimento de quatro grupos distintos. As águas foram classificadas predominantemente bicarbonatadas variando de cálcicas, sódicas e mistas. As sulfetadas apareceram em menor proporção. Os 30% das amostras consideradas impróprias para o consumo, apresentaram teores de sólidos totais dissolvidos, fluoretos e sódio superiores a 100 mg/L, 1,5 mg/L e 200 mg/L, respectivamente.

No estudo realizado por Silva & Rocha (2006) na cidade de Manaus, com coletas realizadas no mês de maio (cheia local) mostra que os poços em foco são da Formação Alter do Chão (FAC). Os resultados apresentaram: **a)** Temperaturas (T) do ar entre 28,5 e 32°C e da água no período de estudo variando entre 27 e 30 °C e uma média de 31° C e 28° C respectivamente. O estudo realizado por Silva & Silva (2007) também em Manaus evidenciou que a T do ar e água semelhantes são devidas a uma correlação linear no período de coleta de 32,20%. Sugerindo rápida influência da temperatura atmosférica nestas águas; **b)** O pH detectado de caráter ácido, variou entre 4,2 a 5,7 (relacionado à geologia da região e cobertura vegetal, evidenciando uma recarga rápida); **c)** Os valores obtidos para condutividade elétrica ficaram entre 11,10 a 57,7 $\mu s.cm^{-1}$ (média 32,19 $\mu s.cm^{-1}$), tendo correlação de 96% com K^{+} , 89% com o pH, 84% com a profundidade do filtro, 75% com Ca^{2+} e Na^{+} , 70% com o

bicarbonato e 67% com Mg^{2+} . As correlações indicam a importância dessas variáveis químicas; **d)** Considerando os valores médios obtidos para os principais cátions a ordem de abundância encontrada foi de $K^+ > Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+}$. Em estudo anterior, Silva (1999) encontrou $K^+ > Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$. As maiores concentrações de potássio provavelmente estão relacionadas ao intemperismo químico do substrato rochoso, pois apresenta correlação de 89% com o pH, 72% com a profundidade dos filtros e -0,61% com nível freático em período de cheia e seca, respectivamente.

Silva & Bonotto (2000) realizaram uma investigação hidrogeoquímica e comportamento geoquímico dos isótopos de urânio ^{238}U e ^{234}U das águas subterrâneas de Manaus, para caracterizar contaminantes ou poluentes que possam estar afetando a qualidade dos recursos hídricos em subsuperfície, bem como a potencialidade do uso de isótopos naturais de urânio como traçadores hidrológicos no aquífero da Formação Alter do Chão. Os resultados obtidos mostraram que a temperatura da água relativamente homogênea (27 a 29°C); temperatura do ar variando de 28 a 35°C. Castany (1971) considerou que a água meteórica em seu trajeto (zona não saturada- zona saturada), tende a entrar em equilíbrio térmico com as rochas do aquífero; o pH encontrados foram ácidos (4,1 à 5,4); condutividade elétrica ficaram entre 15,1 a 82,9 $\mu S/cm$, são valores baixos e indicam que as águas são fracamente mineralizadas (Tabela 2). A condutividade alta está relacionada com a elevação da temperatura (CASTANY, 1971). Os principais ânions e cátions dissolvidos apresentaram valores baixos (Tabela 3), o maior deles é o K^+ (13,4mg/L); os menores valores são para o bicarbonato e indicaram área de recarga e aquíferos livres e semiconfinados, coincidindo com as áreas de topografia mais elevada e crescendo de acordo com os fluxos subterrâneos; sulfato – estiveram abaixo do limite de detecção (1mg/L); cloreto – corresponde ao ânion mais abundante com média de 1mg/L, estes valores sugerem um não confinamento do aquífero e que as águas são recém infiltradas, refletindo as características da cheia com a pouca interação com os estrados do aquífero; os valores médios, em termos de abundância, obtidos para os principais cátions, foram de $K^+ > Na^+ > Ca^{2+} = Mg^{2+}$ (situação não comum para a água subterrânea), uma vez que o potássio ocorre em rochas numa forma não facilmente solubilizada, sendo recombinável com outros produtos de intemperismo, particularmente os minerais argilosos, conforme sugere Hem (1959); sódio variou de 0,5 a 4,5 mg/L; Cálcio de 00,1 a 5,45 mg/L; Bicarbonato que embora se apresenta com valores baixos, este ânion favorece a solubilização do cálcio, pois, segundo este trabalho se obteve um coeficiente de relação de 0,80 entre os parâmetros.

Dados de Santos et al., (1981) das análises de ecossistemas florestais perto de Manaus sugeriram que o cálcio que circula num sistema fechado, onde se torna imobilizado, principalmente, nas folhas mais velhas das plantas (na forma mais frequente de oxalato de cálcio, fosfato de cálcio e sais orgânicos).

Outros estudos hidrogeoquímicos foram realizados em poços da Formação Alter do Chão na cidade de Manaus. Dentre eles, pode-se citar os estudos isotópicos realizados por Silva (2005) na região do entorno de Manaus, e restringiram-se aos isótopos de urânio. Também com relação aos isótopos ^{234}U e ^{238}U , as águas analisadas indicaram boa qualidade química para consumo humano, ou seja, nos padrões de potabilidade pela legislação vigente.

Tabela 2. Comparação dos valores de pH, Condutividade elétrica ($\mu\text{s.cm}^{-1}$), Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) na Formação Alter do Chão na cidade de Manaus/AM.

pH	C.E	Temp. H ₂ O	Temp. Ar	Referência
Min-Máx	Min-Máx	Min-Máx	Min-Máx	
4,1-5,4	15,1-82,9	27-29	28-35	Silva & Bonotto, 2000
3,8-6,5				Rocha & Horbe, 2006
4,2-5,7	11,1-57,7	27-30	28,5-32	Silva & Silva, 2007

Tabela 3. Ânions e Cátions dissolvidos nas amostras analisadas na cidade de Manaus /AM

Íons (mg/L)	Máxima	Média	Mínima
Cloreto	3,056	1	0,71
Nitrato	1,02	1,66	0,019
Sulfato	<1,0	<1,0	<1,0
Cálcio	5,45	0,52	0,001
Magnésio	2,82	0,52	0,019
Potássio	13,4	5,5	0,1
Sódio	4,5	1,2	0,5

Fonte: Silva & Bonotto (2000)

Outros estudos hidrogeoquímicos foram realizados em poços da Formação Alter do Chão na cidade de Manaus. Dentre eles, pode-se citar os estudos isotópicos realizados por Silva (2005) na região do entorno de Manaus, que restringiram-se ao estudo dos isótopos de urânio. Também com relação aos isótopos ^{234}U e ^{238}U , as águas analisadas indicaram boa qualidade química para consumo humano, ou seja, nos padrões de potabilidade pela legislação vigente.

A razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ficou entre 1 e 3,5 e a concentração de urânio ^{238}U entre 0,01 µg/L e 1,4 µg/L. Entretanto, Rocha & Horbe (2006) realizaram estudos sobre contaminação provocada por um depósito de lixo numa área periférica de Manaus, na qual foi evidenciado que a água estava comprometida em quase sua totalidade nos poços amostrados.

Outro estudo de relevância nesta área foi o de Silva e Rocha (2006) realizado no período chuvoso, no qual apresentou valores de temperatura de ar e de águas subterrâneas relativamente homogêneas, com médias de 31,1°C e 28,6°C, respectivamente e valores de pH ácidos variando entre 4,2 e 5,7, dureza variando entre 1,55 e 15,26 mg/L.

Segundo Lages (2016), ainda são escassas as informações sobre ciclagem de elementos, interação de íons, interfaces geoquímicas e influência do ciclo hidrológico na composição das águas do Sistema de Aquífero Alter do Chão. Tais interações influenciam de sobremaneira na qualidade dos aquíferos e na própria composição da água de rios e igarapés, que são inúmeros no Estado do Amazonas.

Os dados aqui apresentados de trabalhos voltados para a caracterização da hidrogeoquímica de poços são relevantes e corroboram para o conhecimento das informações neste sistema de aquíferos.

1.4.3 Utilização das águas subterrâneas no Amazonas

Apesar do Estado do Amazonas ser favorecido em grandes quantidades de águas superficiais, a captação subterrânea através de poços tubulares é amplamente utilizada, correspondendo a um total aproximado de 71% entre todos os municípios do estado (WAHNFRIED; SOARES, 2012). A Companhia de Pesquisa em Recurso Minerais (CPRM) em 2012 estimou a existência aproximada de 15.000 poços com profundidades variando entre 10 e 240 metros somente na capital amazonense, e este número tem crescido tanto nos núcleos urbanos amazonenses, quanto em comunidades rurais e indígenas.

Isso se dá pela excelente qualidade e por sua construção ser considerada simples, de baixo custo e execução rápida. Além disso, apresentam um menor custo operacional em virtude da menor complexidade do sistema de produção de água. Dessa forma, podem ser construídos de acordo com a demanda de consumo.

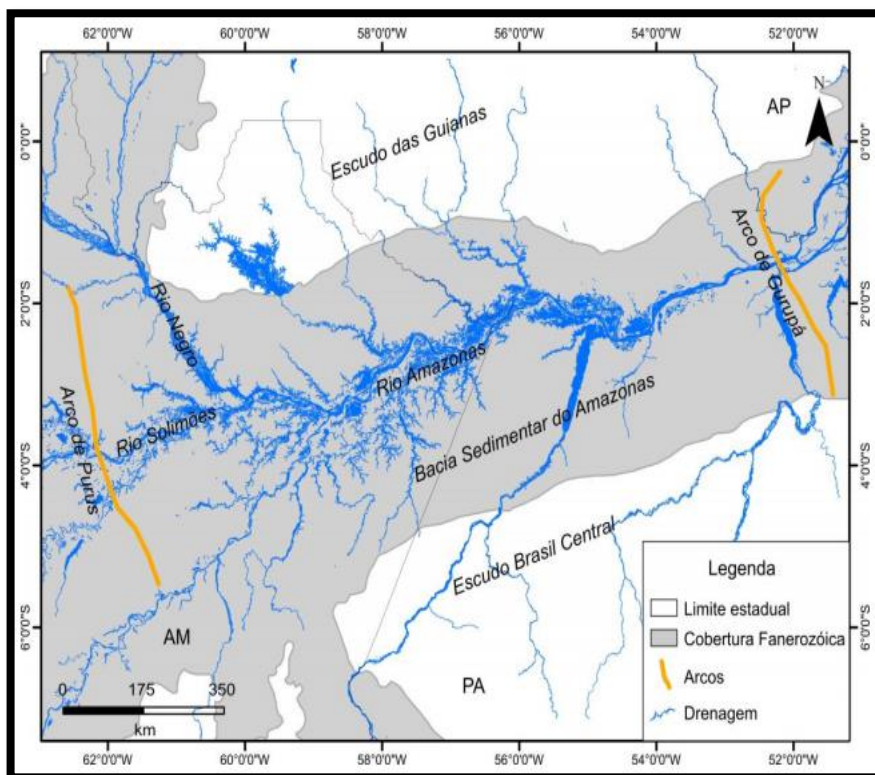
CAPÍTULO 2

2.1 ÁREA DE ESTUDO

2.1.1 Contexto geológico regional da área de estudo

A Bacia Sedimentar do Amazonas (Figura 1) está localizada ao norte do Brasil e constitui uma unidade intracratônica, compreendendo uma área com cerca de 500.00 Km² (CUNHA et al., 2007). Caputo (2009) descreveu sua forma alongada no sentido WSW-ENE com eixo deposicional em forma de dogleg, marcado pelo curso atual do rio Amazonas. Com delimitações ao norte pelo Escudo das Guianas e ao sul pelo Escudo Brasil Central. A leste a bacia é limitada pelo Arco de Gurupá, que separa a Bacia Sedimentar do Marajó, e a oeste pelo Arco do de Purus separando-a da Bacia Sedimentar do Solimões (CPRM 2006).

Figura 1: Mapa de localização da Bacia Sedimentar do Amazonas.



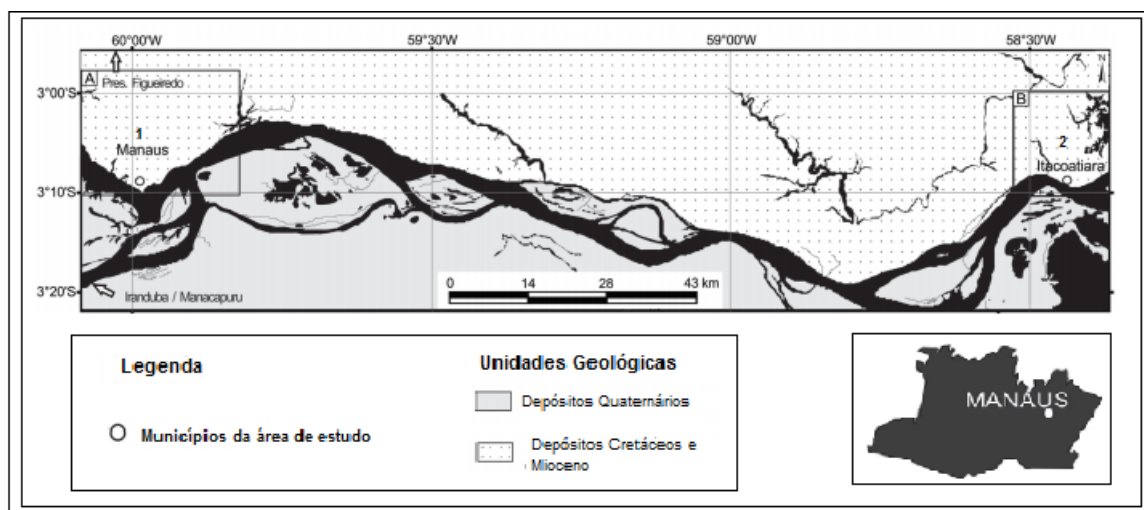
Fonte: Barbosa (2016).

O início da evolução da Bacia do Amazonas ocorreu no proterozoico a partir da implantação de um rift que evoluiu para uma sinéclise intracontinental sob o regime de

subsidência térmica de escala regional (CUNHA et al., 2007). Segundo os autores, o arcabouço estratigráfico da bacia apresenta duas megassequências de primeira ordem, totalizando cerca de 5.000 metros de espessura, sendo uma paleozoica e outra mesozoica.

Soares et al., (2016) elaboraram uma carta estratigráfica regional que ilustra o relevo da região de Manaus e adjacências sendo sustentado por rochas siliciclásticas das formações Alter do Chão (Cretáceo) e Novo Remanso (Neógeno), que são recobertas por depósitos fluviais quaternários distribuídos predominantemente ao longo das calhas dos rios, áreas lacustres e planícies aluviais (SOARES et al., 2001; ROSSETTI et al., 2005; CPRM, 2006; SOARES, 2007; SOARES et al., 2010). O arcabouço pós-paleozoico da região de Manaus e Itacoatiara (Amazônia Central) foi produzido por Soares et al. (2016) com base em quatro seções geológicas contendo principalmente dados geofísicos e litológicos de 15 poços tubulares com até 300 metros de profundidade. As unidades geológicas desta área são representadas por depósitos Cretáceos e Mioceno (Figura 2).

Figura 2: Mapa de localização das sedes municipais:(1) Manaus e (2) Itacoatiara e arredores da área de estudo evidenciando os depósitos Cretáceo e Mioceno.



Fonte: Soares et al., (2016).

Os municípios escolhidos para este estudo estão inseridos na região da Amazônia Central. Em geral, nestes dois municípios ocorrem os sedimentos da Formação Alter do Chão, Novo Remanso e depósitos fluviais quaternários (SOARES et al., 2001; ROSSETTI et al., 2005; CPRM, 2006; SOARES, 2007; SOARES et al. 2010, SOARES et al.2016).

Kistler (1954) foi o primeiro a definir a Formação Alter do Chão. Segundo Cunha et al. 2007, esta formação pertence ao Grupo Javari. É constituída principalmente por arenitos feldspáticos/cauliníticos, quartzo-arenitos e conglomerados com estratificações cruzadas, acanaladas e tabulares, que foram interpretadas como depósitos de canais fluviais com fácies

subordinadas de siltitos, folhelhos e argilitos relacionados a ambiente lacustre (CAPUTO 1984, VIEIRA 1999, NOGUEIRA et al., 1999, CUNHA et al., 2007, PAZ e CUNHA 2009).

Os afloramentos na BR-174 entre Manaus e Presidente Figueiredo (municípios do Amazonas) foram descritos por Souza (1974) como espessas camadas de material areno-argiloso com estratificação cruzada, as quais foram associadas a um paleoambiente deposicional fluvial. Nesta formação ocorrem fácies de arenito silicificado, com denominação “Arenito Manaós” por Albuquerque (1922). Rossetti e Netto (2006), utilizaram como base as análises faciológicas e principalmente icnológicas de afloramentos da região do Careiro da Várzea, localizada ao sul de Manaus, realizaram a descrição de fácies marinhas (shoreface e foreshore) para os depósitos desta formação.

Daemon e Contreiras (1971), por meio de dados palinológicos, atribuíram idades que variam do Meso-Albiano ao Cenomaniano Inferior para a porção basal da unidade e do Cenomaniano Superior ao Turoniano para a porção superior. Contudo, Dino et al. (2000) reconheceram duas sequências distintas para Formação Alter do Chão: a sequência 1 (inferior), caracterizada por influxo de terrígenos associados a ciclos de um paleossistema fluvial meandrante que evoluem para anastomosados com retrabalhamento eólico, onde foram atribuídas as idades palinológicas correspondentes ao Alagoas (Aptiano) Superior - Albiano.

Enquanto, para a sequência 2 (superior), composta de ciclos progradacionaisflúvio-deltáicos-lacustre, corresponde ao Cenomaniano Superior. Entretanto, Caputo (2009) por meio de interpretações de seções sísmicas, dados litológicos de poços realizados pela Petrobrás, além de dados palinológico obtidos por Daemon e Contreiras (1971), Daemon (1975) e Dino et al. (1999, 2000) propuseram uma nova unidade geológica denominada Formação Jazida da Fazendinha, relacionada à porção basal da Formação Alter do Chão, enquanto à sequência siliciclásticas superior, pobremente fossilífera e de idade paleocena-miocena permaneceria como Formação Alter do Chão.

O termo “Formação Novo Remanso” foi proposto por Rozo (2004), Rozo et al., (2005), Nogueira et. al., (2006), Soares (2007), Abinader (2008), Andrade e Soares (2009) e Dino et al. (2006) aos depósitos siliciclásticos sobrepostos discordantemente de forma irregular às rochas cretáceas da Formação Alter do Chão nas proximidades de Manaus, desdobrando uma nova perspectiva para interpretações paleogeográficas e paleoambientais para a Bacia do Amazonas.

Esta unidade possui uma espessura de 10 metros, e é constituída principalmente por camadas de arenitos ferruginosos grossos e arenitos finos a médios, moderadamente

selecionados, com estratificação cruzada tabular, em ciclos granodecrescentes ascendentes capeados por argilitos maciços, laminados e mosqueados.

Esta sucessão foi interpretada como depósitos arenosos de canal e sedimentos de planície de inundação ou de canal abandonado, relacionados a sistema fluvial meandrante (ROZO et al., 2005).

Dino et al. (2012) realizaram estudos palinoestratigráficos e análise de fácies em depósitos sedimentares no SW de Manaus, os quais identificaram e subdividiram a Formação Novo Remanso em duas porções, sendo elas inferior e superior, limitadas no topo e na base por superfícies de descontinuidades (crostas lateríticas). Descreverem também a predominância de fácies arenosas, com fácies pelítica e conglomeráticas subordinadas, constituindo barras em pontal e planície aluvial relacionada a um paleossistema fluvial meandrante.

A idade Mioceno Médio a Superior para esta unidade é indicada pela presença da espécie *Grimsdaleamagnaclavata* na palinoflora. Baseados em dados litológicos e geofísicos de furos de sondagens nas regiões de Manaus e Itacoatiara realizado por Andrade e Soares (2009) complementaram a definição desta unidade na Amazônia Central, definindo ainda uma extensa cobertura miocena (Formação Novo Remanso), sobreposta discordantemente a unidade cretácea nesta região.

2.1.2 Aspectos hidrogeológicos

No aspecto hidrogeológico, a área de estudo está inserida no Sistema de Aquífero Alter do Chão, que possui um volume de água estimado em 33.000 Km³ (SOUZA et al., 2013). Estes mesmos autores, também caracterizaram o Aquífero Alter do Chão como sendo livre a confinado, representado por intercalações de arenitos, argilitos, siltitos e, subordinadamente, conglomerados; com valores de transmissividade (T) variando entre $1,5 \times 10^{-3}$ e $9,1 \times 10^{-3}$ m²/s, condutividade hidráulica (K) de 1×10^{-4} m/s e armazenamento (S) de 5×10^{-4} .

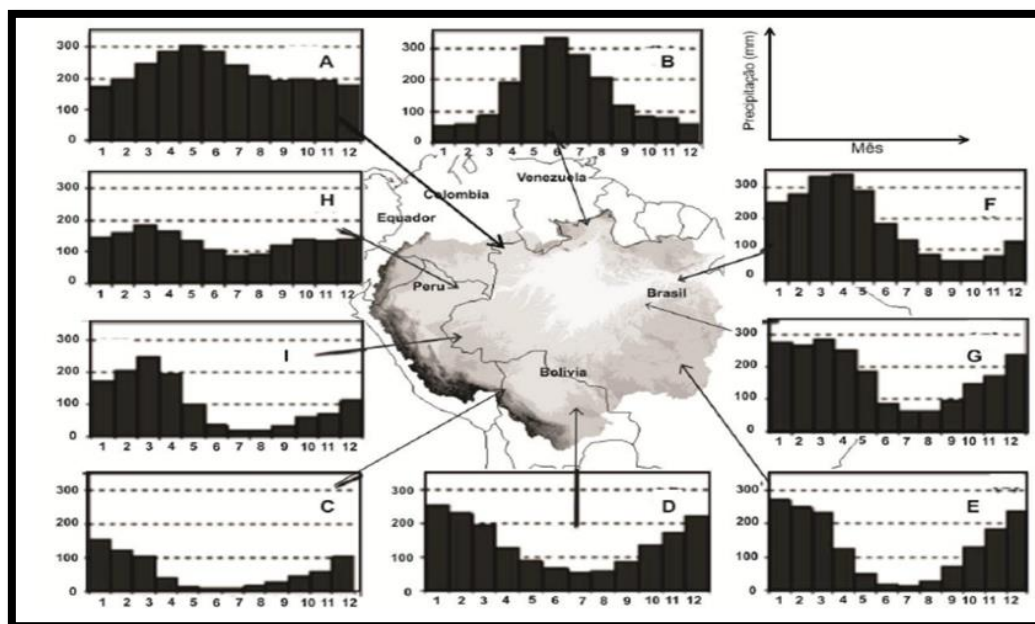
Os aspectos hidrodinâmicos do Aquífero Alter do Chão na capital amazonense, apresentam-se com uma espessura média de aproximadamente 160 m na porção saturada e arenosa da formação (CPRM, 2012). De acordo com a carta hidrogeológica de Manaus, que foi elaborada com base nos dados do SIAGAS (CPRM, 2002), a profundidade média do nível d'água é de 30 m e possui fluxo principal das águas subterrâneas no sentido de nordeste para sudeste, em direção ao rio Negro.

De acordo com Barata & Caputo (2007), apesar da quantidade de precipitação na região Amazônica, o efeito do ciclo hidrológico nas propriedades físicas e químicas das águas neste sistema de aquífero é baixo. Apresenta baixos teores de cátions e ânions, predominando Na^+ , K^+ e HCO_3^- , águas ácidas, com valores predominantes de pH entre 4,1 e 5,9, enquanto os valores de condutividade elétrica variam entre 11,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ROCHA & HORBE 2006; ANA, 2007; SOUZA et al., 2013).

2.1.3 Clima e vegetação da área

O clima onde está distribuída a área de estudo pertence ao tipo climático Am (Clima Tropical Úmido), da classificação climática de Köppen (1948). A alta variabilidade climática na Amazônia (Figura 3) pode ser traduzida na distribuição espacial das precipitações anuais. A precipitação média mensal calculada para toda a Bacia Amazônica apresenta um período chuvoso de dezembro a abril (entre 220 e 270 mm mês⁻¹) e menos chuvas a partir de julho (105 mm) e agosto (95 mm) (Espinoza et al., 2009). Semelhantemente, esta variabilidade climática ocorre na área de estudo (Figura 3G).

Figura 3. Variabilidade espacial das chuvas na Bacia Amazônica.



Fonte: Espinoza et al., (2009).

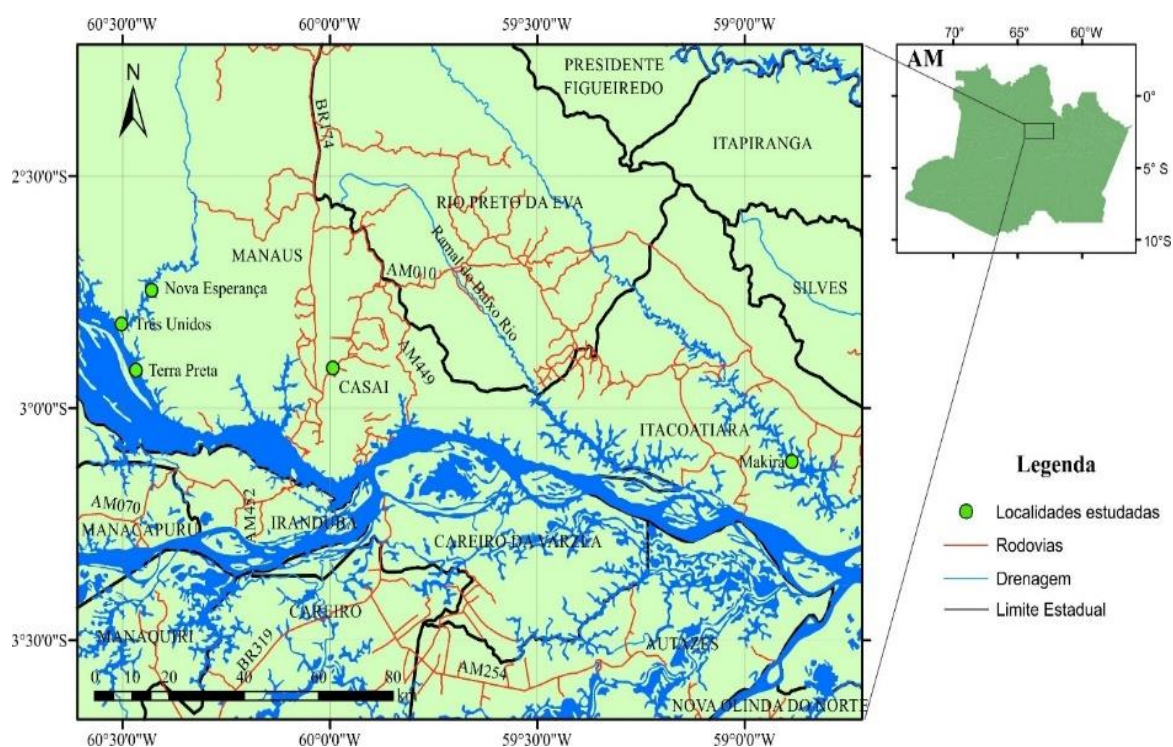
De acordo com os estudos fitoecológicos de Coelho et al. (1976), predomina na área de estudo a vegetação de floresta tropical densa desenvolvida principalmente em solos

originário da alteração de rochas das formações Alter do Chão. De forma secundária, há o desenvolvimento de florestas sobre solos de regiões aluvionares e de terraços que têm espécies vegetais características e tem como exemplares a castanheira, a acariquara, a sucupira e maçaranduba. Nesta região a floresta é densa, o que contribui de forma decisiva para a produção de matéria orgânica nesses solos.

2.1.4 Localização e Acesso da Área de Estudo

Foram selecionados cinco poços tubulares de quatro aldeias indígenas que são denominadas Terra Preta (TP), Três Unidos (TU) e Nova Esperança (NE), localizada nos arredores da área urbana de Manaus e uma localizada no município amazonense de Itacoatiara, denominada Makira (MK) e um poço tubular da Casa de Saúde do Índio de Manaus (CASAI/MAO) (Figura 4).

Figura 4: Mapa de localização da área de estudo e poços amostrados.



Estas aldeias e a casa de saúde são de abrangência do Distrito Sanitário Especial Indígena Manaus/Ministério da Saúde/Secretaria Especial de Saúde Indígena (DSEI-MAO/MS/SESAI).

Dos cinco poços selecionados três localizam-se nos arredores da sede municipal de Manaus, sendo dois localizados às margens do Rio Cuieiras e um na margem direita do rio Negro; um no Km 25 da AM-010 e o último no município de Itacoatiara, todos localizados no estado do Amazonas.

Dos locais escolhidos, a CASAI/MAO é a única que se situa na rodovia (AM-010) e apresenta solo argilo-arenoso, as demais aldeias indígenas possuem solos arenosos e areno-argilosos (Tabela 4) e estão estabelecidas nas margens dos rios de referência.

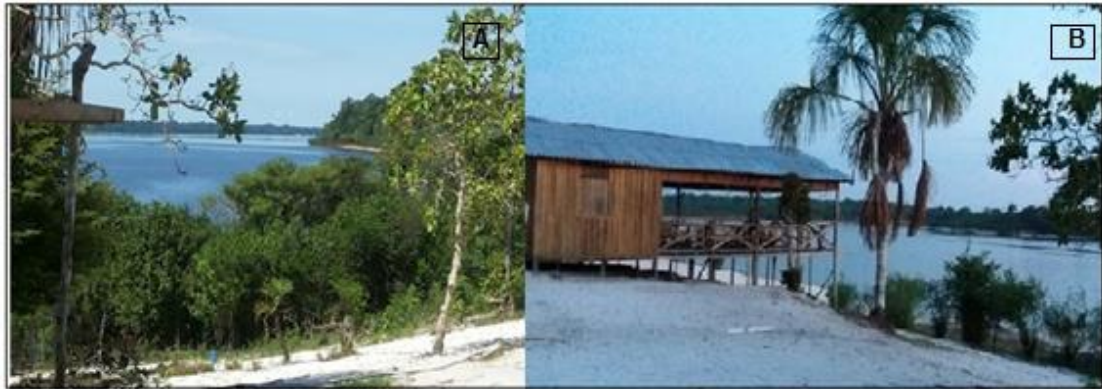
Tabela 4. Informações de referência das aldeias indígenas estudadas e descrição dos solos da área de estudo.

Aldeia/ Nº habitantes	Município	Referência	Coordenadas	Altitude (m)	Solos
TP/194	Manaus	Rio Negro	S 02°55'08,4" W 60°28'02,7"	85	Areno-argiloso de coloração alaranjada, granulometria fina a média.
bTU/58	Manaus	Rio Cuieiras	S 02°49'09,5" W 60°30'06,8"	47	Arenoso de coloração branca, granulometria média a grossa.
N.E/161	Manaus	Rio Cuieiras	S 02°44'48,5" W 60°25'46,6"	46	Areno-argiloso de coloração alaranjada de granulometria fina a média
MK/70	Itacoatiara	Rio Urubu	S 03°06'57,0" W 58°53'07,8"	51	Areno-argiloso de coloração alaranjada e granulometria fina a média
CASAI/300	Manaus	AM-010	S 02°54'50,3" W 59°59'31,2"	45	Argilo-arenoso de coloração alaranjada e granulometria fina a média.

Durante o período de estiagem com a descida dos níveis dos rios de referências, estas aldeias mostram-se como “praias” de água doce por apresentarem nas margens de seus rios areias finas a médias de coloração branca. Ressalta-se que a aldeia Três Unidos mostra-se

desta forma durante o ano todo e por isso, tornou-se ponto turístico (Figura 5). As vistas das demais aldeias estiagem e período chuvoso podem ser observadas na Figura 6.

Figura 5. Vista da aldeia indígena Três Unidos – rio Cuieiras. A) Período chuvoso; B) Período de estiagem.



Fonte: Consuelo A.S. Clebsch, 2017.

Figura 6: Vista das aldeias indígenas: Nova Esperança – rio Cuieiras. A) Período de estiagem; B) Período chuvoso; Makira – Rio Urubu C) Período de estiagem; D) Período chuvoso e Terra Preta – Rio Cuieira E) Período de estiagem; F) Período chuvoso.



Fonte: Consuelo A.S.Clebsch (2017).

2.1.5 Aspecto cultural dos aldeados

As aldeias localizadas nos arredores da área urbana de Manaus são formadas por aldeados da etnia Saterê-Mawé/Cambeba, enquanto que a aldeia de Itacoatiara é da etnia Mura. A CASAI-MAO atende cerca de 35 etnias. Com exceção da CASAI que recebe indígenas que ainda vivem de forma isolada, as demais aldeias mantêm costumes semelhantes aos costumes dos ribeirinhos da região. Poucos destes conhecem o dialeto tradicional de sua etnia, sendo que somente os anciões e alguns professores indígenas comunicam-se através de sua língua materna. A caça, pesca e agricultura não é mais uma realidade do cotidiano para estes aldeados. Tendo como principal fonte de renda os benefícios e atividades remuneradas oriundas do governo federal, estadual ou municipal.

As figuras 7 e 8 retratam, respectivamente o costume original de queima e enterro de resíduos sólidos, assim como também as mudanças de hábitos após oficinas realizadas entre o DSEI e parcerias – Coleta seletiva, que é uma outra forma rentável para os aldeados das localizações próximas a zona urbana de Manaus.

Figura 7: Queima de resíduos sólidos - Aldeia Nova Esperança - Cuieiras: A) Local de queima de resíduos sólidos visto de cima; B) Local de queima de resíduos sólidos.



Fonte: Marceliano Sebastião, 2015.

Figura 8: Coleta de resíduos sólidos (Parceria com a Fundação Amazônia Sustentável –FAS e Aldeia Três Unidos, rio Cuieiras: A) Local de coleta seletiva – Parte frontal; B) Depósitos individuais para papel, vidro, pilhas e baterias, metal e plástico; C) Pesagem dos resíduos sólidos.



Fonte: Virgínia Moraes Ribeiro, 2017.

2.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISES

Para a realização deste trabalho, foram selecionados cinco poços tubulares do Sistema de aquífero Alter do Chão na Região da Amazônia Central, todos localizados no estado do Amazonas.

As coletas de amostras de águas subterrâneas foram realizadas entre os meses julho a agosto/16 (estiagem); outubro a novembro/16 (transição para chuvoso); fevereiro a março/17 (chuvoso) e maio a junho/17 (transição para estiagem). As amostras foram coletadas nos poços através do seu bombeamento, o qual efetuou-se por 30 minutos para retirar a água estagnada das tubulações e posteriormente realizar a coleta das amostras. Após determinadas as temperaturas em termômetro digital multifuncional, coletou-se 1L de amostra para parâmetros físico-químicos, 1L para parâmetros químicos e 500 mL para parâmetros microbiológicos. Após coleta, as amostras foram levadas para os laboratórios: Laboratório Central do Amazonas – Fundação de Vigilância em Saúde (LACEN/AM-FVS) para a realização das análises físico-químicas e microbiológicas (Coliformes totais e *Escherichia coli*); determinação de SiO_2 no Laboratório de Análises de Água e Qualidade Ambiental do Centro de Apoio Multidisciplinar (LAQUA/CAM) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM); as análise dos cátions Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , foram realizadas no Laboratório de Limnologia da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA/UFAM) e finalmente no de Águas Minerais da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (LAMIN-CPRM-Manaus) e no Laboratório de Geoquímica (ICE/UFAM) foram realizadas as análises dos ânions. Todos os frascos utilizados para análises físico-químicas, microbiológicas e químicas são novos e

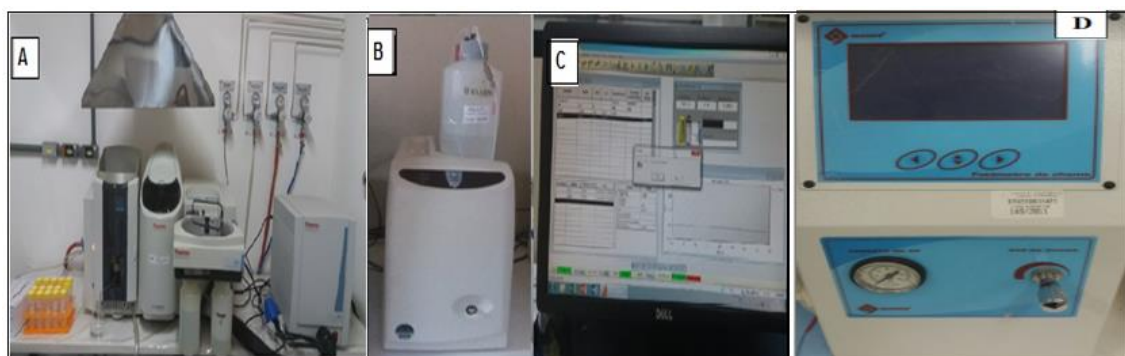
limpos, ambientados com a água amostrada e cheios até sua capacidade máxima para a realização das análises laboratoriais.

Os parâmetros e metodologias selecionados são descritos na Tabela 5.

Tabela 5: Métodos para determinação hidroquímica.

Variável medida	Método	Laboratório	Unidade
Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Titulação complexométrica EDTA	Limnologia/FCA (UFAM)	mg/L
SiO ₂	UV-visível	LAQUA-CAM (UFAM)	mg/L
F ⁻ , Cl ⁻ , NO ₂ ⁻ , Br ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ e SO ₄ ²⁻	Cromatografia iônica	LAMIN-CPRM/Geoquímica-UFAM	mg/L
Na ⁺ e K ⁺	Fotometria de chama	Limnologia/FCA (UFAM)	mg/L
Alcalinidade	Titulometria	LACEN/AM	mg/L
Sólidos Totais Dissolvidos (TDS)	Gravimetria	LACEN/AM	mg/L
Turbidez	Turbidimetria	LACEN/AM	UTN
Condutividade elétrica	Condutimetria	LACEN/AM	μS/cm
pH	Potenciometria	LACEN/AM	mg/L
Gosto e Odor	Sensorial	LACEN/AM	mg/L
Pesquisa de Coliformes totais e Escherichia coli (Presença ou Ausência)	Substrato cromogênico	LACEN/AM	--
Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Níquel e Zinco	Plasma indutivamente acoplado	LACEN/AM	mg/L

Figura 9. Equipamentos utilizados nas análises dos íons. A) Espectro de absorção atômica; B) Cromatógrafo iônico; C) Software dos equipamentos utilizado nas interpretações dos dados obtidos; D) Fotômetro de chama.

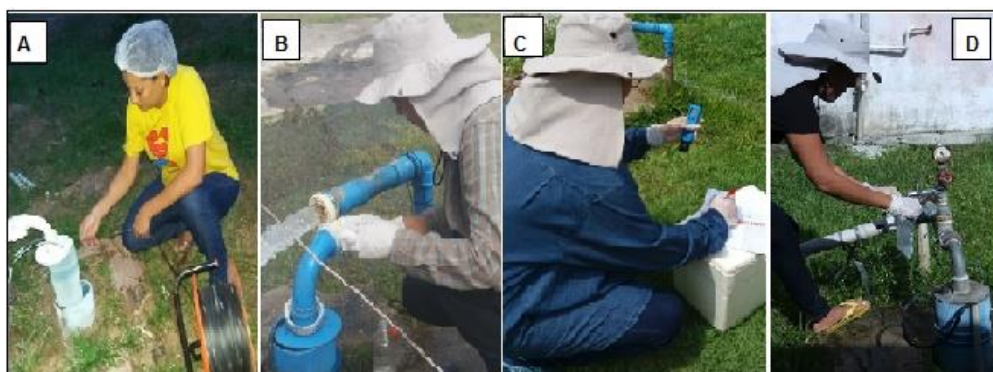


Além dos parâmetros físico-químicos, hidrogeoquímicos e microbiológicos, verificou-se durante as coletas os parâmetros hidrogeológicos de nível estático (*NE*) e nível dinâmico (*ND*). Para obtenção destes níveis, utilizou-se um equipamento composto por um carretel com armação auto suportante, cabo elétrico tipo fita e com marcação a cada 0,5 metro, tendo em uma extremidade um eletrodo sensor e na outra conectado a um sistema eletrônico para sinalização sonora quando o eletrodo entra em contato com a lâmina de água.

As metodologias analíticas utilizadas pelo LACEN/AM-FVS para a determinação dos parâmetros (Coliformes totais, *Escherichia coli*, alcalinidade, sólidos totais dissolvidos (TDS), turbidez, condutividade elétrica, pH, gosto e odor) atendem às normas nacionais e internacionais mais recentes, estabelecidas no art. 22 da Portaria MS N°2.914/11. Este laboratório utiliza a metodologia STANDARD - 22ª Edição.

As descrições e análise dos parâmetros foram realizadas segundo as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) através do Ministério da Saúde. As amostras foram coletadas, identificadas e cuidadosamente acondicionadas em caixa térmica com gelo reciclável para garantir que cheguem aos laboratórios com suas propriedades preservadas.

Figura 10. Etapas resumidas de coleta de amostras. A) Leitura de nível estático; B) Assepsia da saída do poço; C) Leitura de temperatura; D) Amostragem.



2.2.1 Propriedades Físico e Físico-Químicas – Metodologias utilizadas

Essas propriedades são importantes na definição do comportamento e condições das águas subterrâneas, permitindo, através da sistematização e análise dos dados, importantes inferências sobre seu funcionamento. Os valores para estas propriedades foram obtidos através de médias simples. Tais propriedades elencadas neste trabalho são descritas a seguir.

- **Condutividade elétrica**

A Condutividade refere-se à capacidade que a água tem de transmitir corrente elétrica devido aos cátions (cargas positivas) e aos ânions (cargas negativas) presentes nela, a partir da dissociação de outras substâncias.

Utilizou-se cerca de 100 mL da amostra para análise realizada por condutivímetro, para tal, utilizou-se soluções Padrão de KCl = 1,409 $\mu\text{S}/\text{cm}$; água destila e efetuou-se a leitura. O Condutivímetro deve foi checado com um padrão de condutividade elétrica conhecida, antes da realização da leitura de uma amostra. O padrão utilizado estava na faixa de condutividade da amostra. Utilizou-se um padrão de condutividade com valores próximos ao da amostra.

- **Alcalinidade**

Titulação com ácido sulfúrico a) Usou-se 50 ml da amostra e colocar no Erlenmeyer;
b) Adicionou-se 3 gotas da solução indicadora de verde de bromocresol/vermelho de metila;
c) Titulou-se com a solução de ácido sulfúrico 0,02 N até a mudança da cor azul-esverdeada para róseo;
d) Anotou-se o volume total de H_2SO_4 gasto (V) em ml.

Cálculo:

Alcalinidade total em mg/l de CaCO_3 = $V \times 20$

- **pH**

O pH foi determinado pelo método de potenciometria direta, utilizando-se um pHmetro acoplado a um eletrodo combinado de vidro. Amostrou-se- cerca de 100 mL em um béquer e realizou-se o procedimento para leitura: Verifica-se a temperatura da amostra com o auxílio de um termômetro, não sendo idêntica do equipamento (20°C). Espera-se atingir a temperatura; Imerge-se o eletrodo no béquer contendo a amostra, agitando ligeiramente, cessa-se a agitação e aguarda-se a estabilização; Faz-se a leitura após a estabilização. e anota-se o pH da amostra.

- **Temperatura**

Em um Becker de 100 mL, coletou-se a água do poço e efetuou-se a leitura imediata com o auxílio de um termômetro.

- **Turbidez**

A Turbidez foi determinada por turbidímetro usando método nefelométrico que envolve a comparação com soluções padrão de turbidez conhecida.

Procedimento:

a) Calibrou-se o turbidímetro de acordo com as instruções do fabricante;

b) Medida de turbidez menor que 40 UTN: agitou-se a amostra suavemente e esperar até que as bolhas de ar desapareçam e colocou-se na célula de amostra do turbidímetro; faz-se a leitura da turbidez diretamente na escala do instrumento ou na curva de calibração apropriada.

c) Medida de turbidez acima de 40 UTN: Dilui-se a amostra com um ou mais volumes de água isenta de turbidez até que a turbidez da amostra diluída ficasse entre 30 e 40 UTN. Faz-se a leitura e multiplicar o resultado pelo fator de diluição.

$$\text{Cálculo: UTN} = \frac{A \times (B + C)}{C}$$

Onde:

UTN = Unidade de Turbidez Nefelométrica;

A = Turbidez da amostra diluída;

B = Volume da diluição (ml);

C = Volume da amostra tomado para a diluição.

- **Sólidos Totais dissolvidos**

Os valores de sólidos totais foram adquiridos por Gravimetria, onde foram determinados os sólidos suspensos totais como na Seção 2540D. Despejando-se uma amostra bem misturada em um recipiente de vidro de não menos que 9 cm de diâmetro usando não menos que 1 L e amostra suficiente para dar uma profundidade de 20 cm. Como alternativa, use um recipiente de vidro de maior diâmetro e maior volume de amostra. Deixou-se repousar até sua estabilização do flutuante, com o auxílio de um sifão 250 mL do centro do recipiente em um pontoa meio caminho entre a superfície do material sedimentado e a superfície do líquido. Determinou-se o total dos sólidos suspensos (miligramas por litro) deste licor sobrenadante (Seção 2540D). Estes são os sólidos não separáveis.

Para o cálculo utilizou-se:

$$\frac{\text{sólidos precipitados (mg)}}{L} = \frac{\text{total sólidos suspensos(mg)}}{L} - \frac{\text{sólidos suspensos}}{L}$$

2.2.2 Parâmetros Microbiológicos – Metodologia utilizada

- **Coliformes totais e Escherichia coli**

Método do substrato cromogênico - Teste de presença/ausência

Execução do ensaio

a) coletou-se a amostra em ou saco de coleta de 500 mL e encaminhou-se para o LACEN/AM; b) No laboratório adicionou-se no mesmo saco o conteúdo de um frascote contendo o substrato cromogênico; c) Fechou-se o saco e agitou-se levemente; d) Incubou-se a $35,0 \pm 0,5^\circ \text{C}$ durante 24 horas.

Interpretação e expressão dos resultados

Decorreu-se 24 horas de incubação, retirou-se da estufa o material: e observou-se a cor, nas amostras de cor amarela, o resultado foi presença de coliformes totais na amostra. Com o auxílio de uma lâmpada ultravioleta 365 nm, observou-se a existência de fluorescência azul no frasco amarelo, aproximou-se a lâmpada ao saco. Se houvesse caso positivo, indicaria que há presença de Escherichia coli na amostra examinada. Ou se as amostras permanecem transparentes, o resultado é negativo, tanto para coliformes totais como para E. coli.

2.2.3 Parâmetros Iônicos – Metodologias utilizadas

Estes parâmetros refletem o meio percolado e expressam grande importância, isso deve-se a água que é um solvente quimicamente muito ativo capaz de reagir com o meio ao qual percola incorporando tanto substâncias orgânicas quanto inorgânicas. Desta forma, quando considerados exclusivamente processos naturais, os principais constituintes presentes nas águas resultam de processos físicos e químicos de intemperismo de rochas. O intemperismo físico está associado à fragmentação das rochas. Já o intemperismo químico se dá por meio de reações de hidratação/hidrólise, dissolução, precipitação, oxirredução e complexação resulta em processos de alteração mineral (Faust & Aly, 1981). Assim, são formados minerais secundários (de alteração) e liberados íons solúveis que são incorporados ao ambiente aquático. Sabe-se que as rochas apresentam-se instáveis na presença de água, o intemperismo químico pode ser interpretado como a tendência do sistema água/rocha a alcançar o equilíbrio físico-químico. Em águas subterrâneas, os solutos e suas concentrações são oriundas das características inerentes aos aquíferos, bem como o tipo de alteração mineral, do fluxo e taxa de recarga do aquífero. As reações químicas de alteração mineral vão depender do tempo de contato água/rocha, temperatura, do CO_2 disponível e da presença de

ácidos inorgânicos e orgânicos. A composição física e química das águas subterrâneas são reflexo da mobilidade e solubilidade dos elementos envolvidos no processo de intemperismo (DREVER, 1997). Drever, 1997 mostrou que os cátions Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} são móveis e tendem a ser liberados facilmente por intemperismo; K^+ é intermediário; Al^{3+} e Fe^{3+} apresentam menor mobilidade e tendem a permanecer no solo. Desta forma, os plagioclásios podem constituir fontes de Na^+ e Ca^{2+} para o ambiente aquático, enquanto que biotita e feldspato potássico podem ser fontes de Mg^{2+} e K^+ . O clima que é um fator externo influencia na presença de constituintes dissolvidos nas águas subterrâneas ao meio percolado. As águas pluviométricas podem promover a concentração ou a diluição dos constituintes iônicos das águas subterrâneas. Além disso, as águas meteóricas são possíveis fontes importantes de espécies químicas dissolvidas, tais como Cl^- , SO_4^{2-} e Na^+ .

- **Cátions cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+})** – Titulometria complexiometria EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético)

Para realização da titulometria de cálcio e magnésio, realizou-se primeiramente a análise de dureza (APHA, 1995). Utilizou-se o método de cálcio e magnésio titulométrico com EDTA-Na, usando calcon e preto de eriocromo T como indicadores, respectivamente.

$$\text{Mg/L CaCO}_3 = \frac{\text{ml EDTA amostra} - \text{mL EDTA (branco)} \times 1000 \times \text{Fc}}{\text{mL da amostra}}$$

Onde: Fc é o fator de correção.

Determinação do cálcio (Método Titulométrico do EDTA -Na 0,01N)

- **Cátions sódio (Na^+) e potássio (K^+)** – Fotometria de chama

Os íons Na^+ e K^+ foram determinados por fotometria de chama. No qual utilizou-se um fotômetro de chama acoplado a um compressor de ar; A água deionizada (cateter) foi atomizada por alguns minutos e verificando se o excesso de líquido estava escorrendo pela mangueira "ladrão" acoplada na parte inferior do aparelho; Abriu-se a alavanca do regulador de gás, aguardou-se e depois foi acionado o de ignição da chama; Ajustou-se o formato da chama através do botão de controle de fluxo de gás e por fim, leu-se os resultados.

- **Ânions fluoreto (F^-), cloreto (Cl^-), brometo (Br^-), fosfato (PO_4^{3-}), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) e sulfato (SO_4^{2-})** – Cromatografia iônica

A cromatografia de íons é o processo de separação dos componentes de uma mistura através de sua partição entre duas fases: uma móvel (gasosa ou líquida e outra estacionária (líquida ou sólida).

O LAMIN utiliza a cromatografia de íons para dosagem dos ânions. Em águas subterrâneas são considerados sete ânions: fluoreto (F^-), cloreto (Cl^-), nitrito (NO_2^-), brometo (Br^-), nitrato (NO_3^-), fosfato (PO_4^{3-}), e sulfato (SO_4^{2-}). São representados em ordem crescente de afinidade com a coluna. Portanto, o fluoreto sairá da coluna primeiro que o cloreto e assim sucessivamente. Em sua calibração, o tempo de retenção de cada ânion é estabelecido por meio de padrões. Cada padrão é constituído apenas pelo ânion que será quantificado e isso é repetido para todos os ânions de interesse, e o tempo de retenção de cada um é registrado no programa do equipamento. Quando uma amostra de composição desconhecida passa pelo equipamento, os seus ânions ficam retidos na coluna. O tempo de retenção desses ânions é comparado com aquele fornecido pelo padrão. Assim, a cromatografia de íons é um método quantitativo e não qualitativo.

Utilizou-se um pequeno volume de amostra (25 μ L) foi injetado no cromatógrafo de íons - modelo Dionex. A eluição da amostra através da coluna (AS18 – 4x250 mm) foi feita com solução de KOH (24 mM), preparado com sistema de gerador automático de reagente (reagent free IC – EG 50 Eluent Generator). Para supressão utilizou-se a supressora ASRS ultra II – 4mm e a corrente aplicada foi de 60 mA. A vazão do eluente utilizada foi 1,00 mL/min e o tempo total de análise por amostra foi de 19 minutos. Curva de calibração: Para calibração do instrumento, foram preparadas cinco soluções padrões a partir de reagentes P.A. previamente secos em estufa a 105°C por uma hora. Os reagentes usados e as concentrações das soluções iniciais foram do Método EPA 300.0, Revisão 2.2 Parte A (1999). As soluções mistas foram preparadas e diluídas para obter as seguintes faixas de concentração (mg/L): F^- : 0,1 – 2,0 Cl^- : 1,0 – 20,0 NO_2^- -N: 0,2 – 4,0 SO_4^{2-} : 2,0 – 40,0 Br^- : 0,2 – 4,0 NO_3^- -N: 0,5 – 10,0 PO_4^{2-} -P: 0,5 – 10,0.

• Substâncias que representam risco à saúde - Plasma de indução acoplada associado a espectrômetro de emissão atômica - ICP-AES

O alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, níquel e zinco foram analisados por espectrometria de plasma. Este método é baseado no princípio segundo o qual a determinação da região apropriada na chama do plasma de argônio permite que as linhas de emissão atômica e iônica das amostras possam ser medidas contra intensidades de emissão do background muito baixas. As altas temperaturas da chama asseguram eficiente atomização, de modo a diminuir muito as interferências químicas.

Para tal análise, primeiramente foi calibrado o instrumento utilizando-se uma amostra de composição conhecida que contenha os elementos analisados. Além de fornecer

uma curva de resposta geral, a curva de calibração pode ser utilizada para compensar os pequenos efeitos de interferência, particularmente a variação na nebulização e eficiência no transporte das amostras causada pela diferença no conteúdo de sólido total dissolvido e concentração ácida. É preferível que haja uma semelhança na composição do padrão e da amostra para obtenção de melhores resultados. No caso da análise das águas deste estudo foram utilizados padrões na

faixa de 0,5 a 40 mg/L para os sete elementos analisados, feitos a partir de soluções certificadas. Os limites de detecção para cada elemento são: Al (0,1), As (0,01), Ba (0,002), Cd (0,01), Pb (0,0005), Ni (0,002) e Zn (0,001).

- **SiO₂ – UV visível**

Para a análise de SiO₂ foi necessário o preparo da curva padrão, amostras e subsequente o procedimento de análise no equipamento.

Preparo de Curva Padrão: A partir da solução padrão concentrada de Si 1000 mg/L, efetuar diluições de modo que se obtenha as seguintes concentrações: 0,5 mg/L 0,75 mg/L 1,0 mg/L 1,5 mg/L 2,0 mg/L Somente com água MiliQ é preparado o Branco 0,0 mg/L.

Preparo de amostras: Reagentes Molibdato de Amônia 5g/50mL Ácido clorídrico 1:1 Ácido Oxálico 5g/50mL Ácido Ascórbico P.A. Foram adicionados ao volume de 12,5 mL de amostra: 0,5 mL de molibdato de amônia e agitou-se; em seguida acrescentou-se 0,25 mL de ácido clorídrico, agitou-se e deixou em repouso por 5 minutos. Passados os 5 minutos, acrescentou-se 0,375 mL de ácido oxálico. Agitou-se e aguardou-se 2 minutos. Em seguida acrescentou-se 0,018 mg de ácido ascórbico. Quando a amostra apresentou a coloração azul realizou-se a leitura em UV/Visível na faixa de 710 nm, no qual primeiramente foi introduzido os padrões em ordem crescente de concentração para realizar a curva de calibração. Quando finalizada a curva de calibração, acrescenta-se à sequência de leitura das amostras, após este procedimento, coletou-se os resultados.

2.2.4 Levantamento dos Dados dos Poços e Monitoramento dos Níveis de Água

Os dados de profundidade dos poços, altura da boca do poço, coordenadas geográficas, altitude e níveis de água dos poços da área de estudo foram obtidos *in loco*. Sendo que os dados de níveis de água são monitorados em cada período sazonal. Esta observação sazonal mostrará como a recarga hidráulica se comporta durante os períodos.

2.2.5 Parâmetros Organolépticos

Padrão organoléptico segundo a Portaria MS nº 2914/2011 é definido como o conjunto de parâmetros caracterizados por provocar estímulos sensoriais que afetam a aceitação para consumo humano, mas que não necessariamente implicam risco à saúde. Dos parâmetros organolépticos, somente gosto e odor estão previstos com VMPs nesta portaria e são classificados como padrão de aceitação para consumo humano. Para ser classificada como própria para consumo humano, devem apresentar resultados descritos como não objetáveis (NO), como podem ser observados na Tabela 6.

2.2.6 Análise de dados

O banco de dados usado neste trabalho consiste em planilhas com todas as informações relevantes, as análises foram feitas com uso de fórmulas e gráficos para caracterizar a qualidade natural das águas subterrâneas das aldeias indígenas em foco, verificar se os valores obtidos estão dentro dos padrões dos valores de referência de qualidade (VRQ), além de avaliar as tendências de concentrações das substâncias nos períodos sazonais. Serão consideradas como inapropriadas para o consumo humano todas as amostras com valores acima do limite de valores máximos permitidos (VMP) de potabilidade estabelecido pela portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde - MS para consumo humano (Tabela 6).

Tabela 6. Padrões para águas destinadas ao consumo humano estabelecidos pelo Ministério da Saúde (Portaria MS nº2.914/11).

Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde		
PARÂMETROS MS	VMP	UNIDADE
Arsênio	0,01	mg/L
Bário	0,7	mg/L
Cádmio	0,005	mg/L
Cobre	2	mg/L
Cromo	0,005	mg/L
Fluoreto	1,5	mg/L
Níquel	0,07	mg/L
Nitrato	10	mg/L
Nitrito	1	mg/L
Padrão microbiológico		
PARÂMETROS MS	VMP	UNIDADE
Coliformes totais	Ausência em 100 ml	-
Escherichia coli	Ausência em 100 ml	-
Padrão organolépticos de potabilidade		
PARÂMETROS MS	VMP	UNIDADE
Alumínio	0,2	mg/L
Cloreto	250	mg/L
Gosto e sabor	Não objetável	-
Sódio	200	mg/L
Sólidos totais dissolvidos	1000	mg/L
Sulfato	250	mg/L
Turbidez	5	UTN
Zinco	5	mg/L

¹ Unidade de turbidez nefelométrica.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

Os resultados deste trabalho estão apresentados em forma de artigo que, após a autorização da Fundação Nacional do Índio – FUNAI, será submetido a um periódico.

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS TUBULARES EM ALDEIAS INDÍGENAS NA REGIÃO DA AMAZÔNIA CENTRAL

Consuelo Andrade Simões Clebsch¹, Keila Cristina Pereira Aniceto², Ingo Daniel Wahnfried³, Leylane Araujo⁴.

RESUMO

Este trabalho apresenta resultados obtidos com o estudo hidrogeoquímico das águas subterrâneas do Aquífero Alter do Chão referentes a cinco poços tubulares localizados em áreas indígenas na Amazônia Central, avaliando os padrões de qualidade da água previsto na legislação brasileira. Os resultados analíticos destas águas nos períodos sazonais e transicionais mostram-se fracamente mineralizadas, típicas da geologia e clima da área. Mostraram ainda que são próprias para o consumo humano e não apresentam indícios de contaminantes, refletindo baixas concentrações dos constituintes dissolvidos. A utilização do diagrama de Piper mostrou um comportamento hidroquímico variado. No geral, nota-se a presença significativa dos íons sulfato e cloreto, cálcio e sódio, caracterizando estas águas como sulfetadas ou cloretadas, cálcicas ou sódicas na maioria.

Palavras-chave: Água subterrânea. Hidrogeoquímica. Potabilidade. Aldeias indígenas.

¹ Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Amazonas, *Campus* Universitário Setor Norte, Bloco 7 – ICE 69077-000, Manaus, Amazonas, Brasil - Autor correspondente: consueloclebsch@yahoo.com.br

² Departamento de Geociências-DEGEO, Universidade Federal do Amazonas. Av. General Rodrigo Octávio, 3.000, CEP 69.077-000, Manaus, Brasil

³ Departamento de Geociências-DEGEO, Universidade Federal do Amazonas. Av. General Rodrigo Octávio, 3.000, CEP 69.077-000, Manaus, Brasil

⁴ Departamento de Geociências-DEGEO, Universidade Federal do Amazonas. Av. General Rodrigo Octávio, 3.000, CEP 69.077-000, Manaus, Brasil. Leylane.correa@hotmail.com

ABSTRACT

This paper presents results obtained with the hydrogeochemical study of the groundwater of the Alter aquifer of the ground concerning five tubular wells located in indigenous areas in the Central Amazon, evaluating the water quality standards laid down in Brazilian legislation. The analytical results of these waters in the seasonal and transitional periods are weakly mineralised, typical of the geology and climate of the area. They have also shown that they are suitable for human consumption and do not present evidence of contaminants, reflecting low concentrations of dissolved constituents. The use of the Piper diagram showed a varied electrochemical behavior. In general, there is a significant presence of the ions sulfate and chloride, calcium and sodium, characterizing these waters as sulfate or chloride, calcium or sodium in most.

Key words: Groundwater. Hydrogeochemistry. Potability. Indigenous villages.

3.1 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas do Amazonas exercem destaque por serem a principal fonte de abastecimento humano correspondendo a um total aproximado de 71% entre todos os municípios do estado (WAHNFRIED e SOARES, 2012). Representam um recurso hídrico confiável e de grande aceitabilidade, tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais e indígenas quando comparadas com as águas superficiais. Além disso, dispensam tratamento e são consideradas fontes mais econômicas através da perfuração de poços tubulares, os quais devem ser bem projetados e construídos seguindo as normativas brasileiras NBR 12212/06 e NBR 12244/06 para evitar a contaminação dos meios aquíferos. O termo vulnerabilidade a contaminação foi definido por Foster e Hirata (1987), como o conjunto de características essenciais dos estratos que separam o aquífero saturado da superfície do solo, determinando sua suscetibilidade aos efeitos adversos de uma carga contaminante aplicada na superfície. Essa problemática está relacionada intrinsecamente à alteração da qualidade da água subterrânea por ação antrópica. Tucci e Cabral (2013), mostraram que o índice da poluição bacteriológica e físico-química de nitratos, metais e outros compostos se dá pela ausência de saneamento básico, vazamento de redes de esgoto, lixões. Para identificar a vulnerabilidade dos recursos hídricos é necessário que se faça um monitoramento rotineiro. No entanto, UNEP/WHO (1996) e SWRCB (2003) ratificam que o monitoramento da qualidade e

quantidade da água é a base para o gerenciamento deste recurso, subsidiando a tomada de decisões e avaliando a eficácia dessas decisões na proteção, manutenção, melhoria e remediação dos recursos hídricos. No monitoramento também deve ser fornecido informações sobre a dinâmica do aquífero em relação às variações sazonais e efeitos antrópicos (UIL et al., 1999).

Qualidade da água é uma necessidade global, sobretudo quando relacionada ao consumo humano. E isso exige o cuidado especial por parte das autoridades sanitárias e consumidores (BRUZANELLO et al., 2008). A necessidade da qualidade da água é o propósito primário para a proteção da saúde do homem e das populações (AMORIM et al., 2009). Neste contexto, este trabalho teve o objetivo principal o estudo da caracterização hidrogeoquímica e qualidade natural das águas brutas de poços tubulares em áreas indígenas para verificar se essas águas são próprias para o consumo humano, visto que nos poços em foco há a inexistência de informações sobre a construção dos mesmos, bem como os perfis construtivos. Esta caracterização ocorre de forma inédita em aldeias indígenas da região da Amazônia central e apresenta dados obtidos através do monitoramento da qualidade de água de cinco poços, estes dados foram comparados tomando como base os valores máximos permitidos (VMP) estabelecidos na Portaria do Ministério da Saúde N°2.914/2011, a qual estabelece normas de potabilidade para consumo humano. Os dados que motivaram este estudo foram obtidos nos períodos sazonais regionais, bem como os transicionais desde julho/2016 até junho/2017 e pertencem à Secretaria de Saúde Indígena (SESAI). Foram analisados não só a influência de poluição na qualidade da água, mas também as variações hidrogeológicas sazonais, bem como a verificação de possíveis doenças vinculadas às características geológicas destas águas. Todas estas informações contribuirão para a formulação de ações baseadas nos resultados obtidos para projetar novos poços e utilizar adequadamente os recursos hídricos subterrâneos em áreas indígenas desta região.

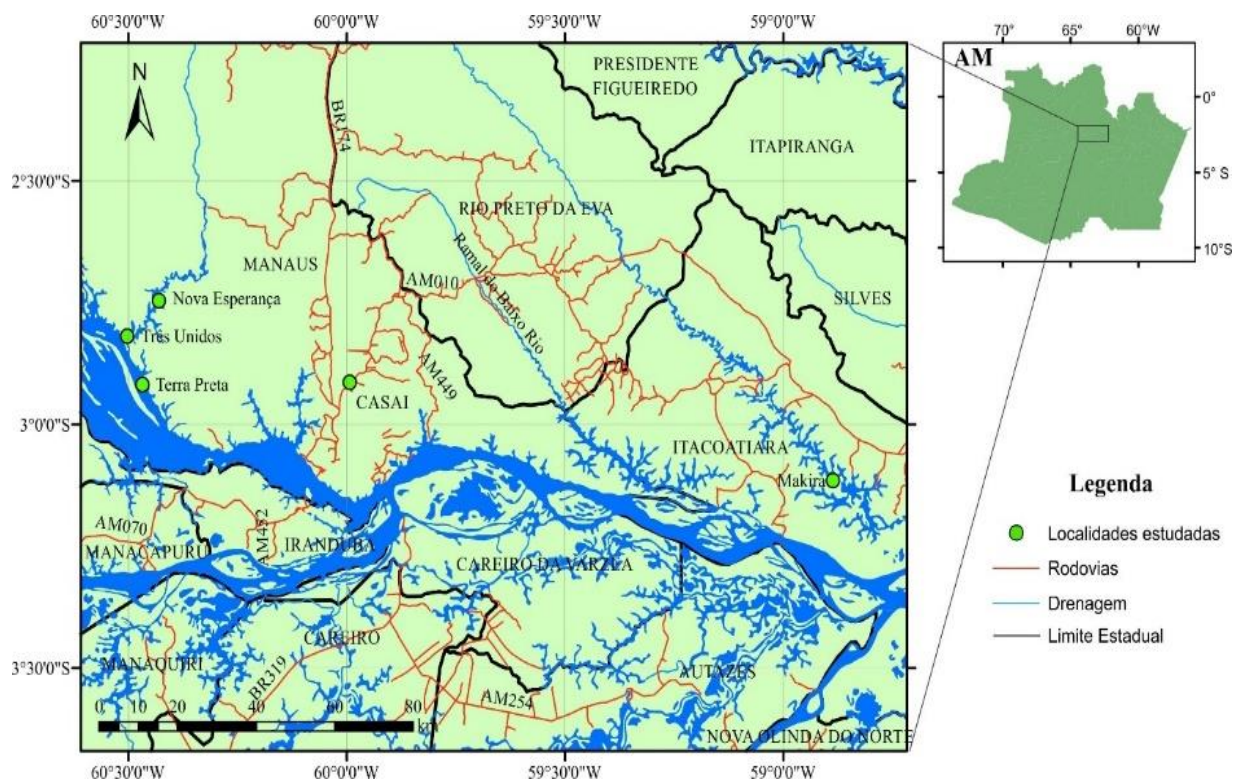
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Aspectos gerais da área de estudo

A área de estudo está na Amazônia Central e está inserida na Bacia Sedimentar do Amazonas (Figura 1). O relevo da região de Manaus e adjacências é sustentado por rochas siliciclásticas das Formações geológicas Alter do Chão (Cretáceo) e Novo Remanso

(Neógeno), segundo os estudos de Soares et al., (2016), que são recobertas por depósitos fluviais quaternários distribuídos predominantemente ao longo das calhas dos rios, áreas lacustres e planícies aluviais (SOARES et al., 2001; ROSSETTI et al., 2005; CPRM, 2006; SOARES, 2007; SOARES et al., 2010). A formação Novo Remanso refere-se aos depósitos silicilclásticos sobrepostos discordantemente de forma irregular às rochas cretáceas da Formação Alter do Chão nas proximidades de Manaus, desdobrando uma nova perspectiva para interpretações paleogeográficas e paleoambientais para a Bacia do Amazonas. Esta unidade possui uma espessura de 10 metros, e é constituída principalmente por camadas de arenitos ferruginosos grossos e arenitos finos a médios, moderadamente selecionados, com estratificação cruzada tabular, em ciclos granodecrescentes ascendentes capeados por argilitos maciços, laminados e mosqueados. Esta sucessão foi interpretada como depósitos arenosos de canal e sedimentos de planície de inundação ou de canal abandonado, relacionados a sistema fluvial meandrante (ROZO et al. 2005).

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo e pontos amostrados.



No aspecto hidrogeológico, a área de estudo está inserida no Sistema de Aquífero Alter do Chão, que é do tipo livre a confinado com um volume de água estimado em 33.000 Km³, representado por intercalações de arenitos, argilitos, siltitos e subordinadamente

conglomerados; com valores de transmissividade (T) variando de $1,5 \times 10^{-3}$ e $9,1 \times 10^{-3}$ m²/s, condutividade hidráulica (K) de 1×10^{-4} m/s e armazenamento (S) de 5×10^{-4} (SOUZA et al., 2013).

De acordo com Barata e Caputo (2007), apesar da quantidade de precipitação na região Amazônica, o efeito do ciclo hidrológico nas propriedades físicas e químicas das águas neste sistema de aquífero é baixo. Apresenta baixos teores de cátions e ânions, predominando Na⁺, K⁺ e HCO₃⁻, águas ácidas, com valores predominantes de pH entre 4,1 e 5,9, enquanto os valores de condutividade elétrica variam entre 11,1 µS/cm e 100 µS/cm (ROCHA & HORBE, 2006; ANA, 2007; SOUZA et al., 2013).

Segundo a classificação climática de Köppen (1948), a área de estudo apresenta tipo climático Am (Tropical húmido), com alta variabilidade climática (Figura 3). A precipitação média mensal calculada para toda a Bacia Amazônica apresenta um período chuvoso de dezembro a abril (entre 220 e 270 mm mês⁻¹) e menos chuvas a partir de julho (105 mm) e agosto (95 mm) (Espinoza et al., 2009).

3.2.2. Amostragem e Análises

Para a realização deste trabalho, foram selecionados cinco poços tubulares do Sistema de aquífero Alter do Chão na Região da Amazônia Central, todos localizados no estado do Amazonas.

As coletas de amostras de águas subterrâneas foram realizadas entre os meses julho a agosto/16 (estiagem); outubro a novembro/16 (transição para chuvoso); fevereiro a março/17 (chuvoso) e maio a junho/17 (transição para estiagem). As amostras foram coletadas nos poços através do seu bombeamento, o qual efetuou-se por 30 minutos para retirar a água estagnada das tubulações e posteriormente realizar a coleta das amostras. Após determinadas as temperaturas em termômetro digital multifuncional, coletou-se 1L de amostra para parâmetros físico-químicos, 1L para parâmetros químicos e 500 mL para parâmetros microbiológicos. Após coleta, as amostras foram levadas para os laboratórios: Central do Amazonas – Fundação de Vigilância em Saúde (LACEN/AM-FVS) para a realização das análises físico-químicas e microbiológicas (Coliformes totais e *Escherichia coli*); determinação de SiO₂ no Laboratório de Análises de Água e Qualidade Ambiental do Centro de Apoio Multidisciplinar (LAQUA/CAM) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM); as análises dos cátions Na⁺, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, foram realizadas no Laboratório de Limnologia da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA/UFAM) e finalmente no de Águas Minerais da

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (LAMIN-CPRM-Manaus) e no Laboratório de Geoquímica (ICE/UFAM) foram realizadas as análises dos ânions. Todos os frascos utilizados para análises físico-químicas, microbiológicas e químicas são novos e limpos, ambientados com a água amostrada e cheios até sua capacidade máxima para a realização das análises laboratoriais. Os parâmetros e metodologias selecionados são descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Métodos para determinação hidroquímica.

Variável medida	Método	Laboratório	Unidade
Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Titulação complexométrica EDTA	Limnologia/FCA (UFAM)	mg/L
SiO ₂	UV-visível	LAQUA-CAM(UFAM)	mg/L
F ⁻ , Cl ⁻ , NO ₂ ⁻ , Br ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ e SO ₄ ²⁻	Cromatografia iônica	LAMIN-CPRM/Geoquímica-UFAM	mg/L
Na ⁺ e K ⁺	Fotometria de chama	Limnologia/FCA (UFAM)	mg/L
Alcalinidade	Titulometria	LACEN/AM	mg/L
Sólidos Totais Dissolvidos (TDS)	Gravimetria	LACEN/AM	mg/L
Turbidez	Turbidimetria	LACEN/AM	UTN
Condutividade elétrica	Condutimetria	LACEN/AM	µS/cm
pH	Potenciometria	LACEN/AM	mg/L
Gosto e Odor	Sensorial	LACEN/AM	mg/L
Pesquisa de Coliformes totais e Escherichia coli (Presença ou Ausência)	Substrato cromogênico	LACEN/AM	--
Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Níquel e Zinco	Plasma indutivamente acoplado	LACEN/AM	mg/L

Além dos parâmetros citados, verificou-se durante as coletas os parâmetros hidrogeológicos de nível estático (*NE*) e nível dinâmico (*ND*). Para obtenção destes níveis, utilizou-se um equipamento composto por um carretel com armação auto suportante, cabo elétrico tipo fita e com marcação a cada 0.5 metro, tendo em uma extremidade um eletrodo sensor e na outra extremidade conectada a um sistema eletrônico para sinalização sonora quando o eletrodo entra em contato com a lâmina de água.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O banco de dados usado neste trabalho consiste em planilhas e gráficos com todas as informações relevantes que serviram para caracterizar a qualidade natural das águas subterrâneas das áreas indígenas em foco. Os valores das concentrações das substâncias obtidos nos períodos sazonais foram comparados aos valores máximos permitidos (VMP) de potabilidade, estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde – MS para consumo humano.

3.3.1 Parâmetros de qualidade da água

Os resultados dos parâmetros obtidos nos quatro períodos sazonais das águas estudadas estão apresentados na Tabela 2.

- **Temperaturas do ar e da água**

Os valores obtidos de temperaturas do ar e da água se mantiveram relativamente estáveis em todos os períodos estudados, com a temperatura do ar mais elevada nos períodos de transição para estiagem (33°C) e estiagem (32,5°C). Da mesma forma, a temperatura das águas manteve-se variando entre 26,6°C no período de transição para estiagem (poço TP) e 28,8°C no período chuvoso (poço MK) e transição estiagem (poço TU). As temperaturas de ar e água no período de estiagem e período chuvoso se mostram semelhantes às obtidas para os mesmos períodos por SILVA & BONOTTO (2000) e SILVA & SILVA (2007). (Tabela 3).

Tabela 2: Resultados obtidos durante os quatro períodos: A) Estiagem; B) Transição chuvoso; C) Chuvoso e D) Transição estiagem.

A) ESTIAGEM						B) TRANSIÇÃO CHUVOSO					
Poço	TP	TU	N.E	MK	CASAI	Poço	TP	TU	N.E	MK	CASAI
Data da coleta	12.07.16	12.07.16	12.07.16	16.08.16	16.08.16	Data da coleta	05.11.16	04.11.16	04.11.16	26.10.16	27.10.16
Temp. ar (°C)	30	30	30	27	32,5	Temp. ar (°C)	26	26	26,3	26	28
Temp. água (°C)	27	27	28	27,8	27,5	Temp. água (°C)	27,7	27,1	27,8	28,5	27,5
Alcalinidade (mg/CaCO ₃)	5,25	7,98	28,67	10,8	9,45	Alcalinidade (mg/CaCO ₃)	3,9	2,94	21,63	12,2	2,31
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	14,22	12,57	44,14	9,16	11,61	Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	15,76	13,54	35,26	11,91	12,07
Turbidez (UTN)	0,8	2,39	0,82	1,21	0,58	Turbidez (UTN)	0,64	1,25	1,4	1,79	0,65
pH	6	5,78	6,06	5	5,62	pH	5,6	5,84	6,1	4,85	5,39
CE (µS/cm)	19,22	24,31	89,86	22,32	24,16	CE (µS/cm)	22,3	18,07	64,56	22,6	22,97
Sabor e Odor	NO	NO	NO	NO	NO	Sabor e Odor	NO	NO	NO	NO	NO
C) CHUVOSO						D) TRANSIÇÃO ESTIAGEM					
Poço	TP	TU	N.E	MK	CASAI	Poço	TP	TU	N.E	MK	CASAI
Data da coleta	14.03.17	14.03.17	14.03.17	22.03.17	21.02.17	Data da coleta	20.06.17	20.06.17	20.06.17	17.05.17	20.06.17
Temp. ar (°C)	24,7	24	24	24	27,3	Temp. ar (°C)	28,7	29,9	31,1	29,5	33
Temp. água (°C)	27,4	27	27,6	28,8	27	Temp. água (°C)	26,6	28,8	28,5	28	28,2
Alcalinidade (mg/CaCO ₃)	9,46	9,67	14,3	14,81	2,63	Alcalinidade (mg/CaCO ₃)	10,95	10,94	24,18	11,05	5,89
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	10,62	19,73	47,04	118,23	10,61	Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	11,61	11,13	53,22	8,5	101,6
Turbidez (UTN)	0,65	1,1	1,08	32,2	0,46	Turbidez (UTN)	0,72	1,04	1,1	0,53	0,54
pH	6,15	6,58	6,08	5,3	5,38	pH	5,36	5,55	6	4,67	5,39
CE (µS/cm)	22,22	20,08	95,56	18,65	29,28	CE (µS/cm)	21,94	41,75	106,3	17,67	18,95
Sabor e Odor	NO	NO	NO	NO	NO	Sabor e Odor	NO	NO	NO	NO	NO

NO (Não objetável)

Tabela 3: Comparação dos valores de Temperatura do ar, Temperatura da água, pH e condutividade elétrica no Sistema de Aquífero Alter do Chão na cidade de Manaus

T Ar (°C)	T Água (°C)	pH	CE (µS/cm)	Referência
Mín- Máx	Mín- Máx	Mín- Máx	Mín- Máx	
28-35	27-29	4,1-5,4	15,1-82,9	Silva & Bonotto, 2000
28,5-32	27-30	4,2-5,7	11,1-116,7	Silva & Silva, 2007

- **Condutividade elétrica**

Os valores obtidos para condutividade (CE) comparando-os em todos os períodos apresentaram menor e maior valor no período de transição estiagem (17,67 µS/cm) e (106,30 µS/cm) respectivamente, indicando que as águas são fracamente mineralizadas. O poço N.E obteve os maiores valores quando comparados os demais poços deste estudo (que mantiveram valores bastante semelhantes), apresentando o valor mais elevado durante o período de transição para estiagem (106,30 µS/cm) e o menor no período de transição para chuvoso (64,56 µS/cm).

Estes baixos valores de CE refletidos em 80% dos poços estudados confirmam ambiente de alta lixiviação, causado pelas altas temperaturas e pluviosidade inerentes a região amazônica. Onde o Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ (elementos maiores), responsáveis pelas características básicas de aquíferos, já fizeram migração para o sistema hidrogeológico. Os resultados obtidos estão semelhantes aos encontrados por Silva & Bonotto (2000) e Silva & Silva (2007) na cidade de Manaus. Vale ressaltar que os valores de C.E não são referenciados na Portaria MS N° 2914/11.

- **pH**

Os valores de pH obtidos são considerados ácidos e variam de 5 a 6,06 (estiagem); 4,85 a 6,1 (transição chuvoso), 5,3 a 6,58 (chuvoso) e 4,67 a 6,00 (transição estiagem). O mesmo caráter ácido obtido nas águas de Manaus por Silva & Bonotto (2000) e Silva & Silva (2007) nos períodos de estiagem e chuvoso, respectivamente. Os valores obtidos de pH no poço N.E são os únicos que estão em acordo com a legislação vigente (6 a 9,5) em todos os períodos estudados. O poço TP apresentou pH em conformidade com a legislação nos períodos de estiagem e chuvoso e TU somente no período chuvoso. Ressalta-se que estes três poços estão situados aos arredores da cidade de Manaus e que embora os demais poços não tenham apresentado valores dentro da legislação não significa que não extraem água potável, pois é reflexo da geologia da região amazônica com o processo de interação água/rocha, bem como a recarga caracterizada rápida e a cobertura vegetal inerente.

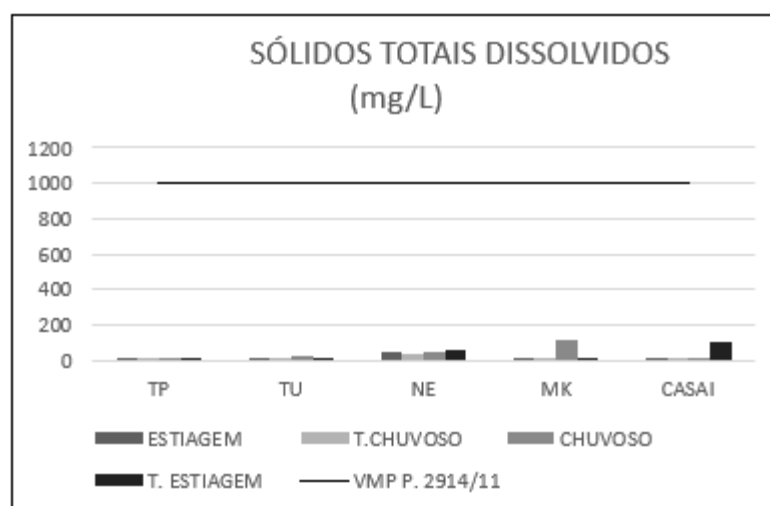
- **Alcalinidade**

Embora não exista um valor de referência de qualidade (VRQ) para a alcalinidade, observou-se que estes valores obtidos são relativamente baixos. O valor mais baixo foi obtido no período de transição chuvoso (2,31 mg/L de CaCO_3) no poço CASAI e o mais elevado no período de estiagem (28,67mg/ CaCO_3) no poço N.E. Este poço apresentou os valores mais elevados em relação aos demais poços estudados nos períodos de estiagem, transição chuvoso e transição estiagem, porém observa-se um decaimento na concentração da alcalinidade deste poço no período de estiagem até o período chuvoso. Os baixos valores de alcalinidade são reflexos do pH ácido da maioria das águas analisadas. Os valores encontrados obtidos neste trabalho semelhantes aos encontrados por Silva & Silva (2007) na mesma formação geológica.

- **Sólidos totais dissolvidos (TDS)**

Os valores obtidos para sólidos totais dissolvidos (TDS) são muito baixos em relação ao VMP pela legislação vigente (1000 mg/L) e estão expressos na Figura 2. O poço MK apresentou valor anômalo de TDS no período chuvoso (118,23 mg/L) e embora tenha se mostrado elevado em relação aos demais poços, ainda assim estaria dentro do valor máximo permitido. Possivelmente, esta divergência se deu devido a problemas com a bomba, que fez o poço permanecer parado por uma semana, como uma medida preventiva, foi retirado um tubo edutor (6m) e o poço voltou a ter água límpida. Excetuando esta alteração, as águas subterrâneas da área de estudo se mostram límpidas, idênticas as dos poços estudados por Rocha & Horbe (2006).

Figura 2: Resultados de sólidos totais dissolvidos (TDS) das águas subterrâneas da área de estudo.



- **Turbidez**

Excetuando o poço MK que apresentou uma anomalia durante o período chuvoso (32,20 UTN), provavelmente devido a problemas com a bomba do poço. Todos os valores de turbidez estão muito abaixo do VMP (5 UTN) para todos os períodos estudados

- **Sabor e Odor**

Os resultados de sabor e odor para todos os períodos estão de acordo com a legislação vigente.

- **Substâncias que representam risco à saúde**

Algumas substâncias puderam ser analisadas somente no período chuvoso devido a problemas técnicos com o equipamento. Entretanto o nitrato e nitrito foram analisados nos dois períodos principais e se mostram em todos os poços estudados abaixo dos valores máximos permitidos e não representam risco à saúde das populações (Tabela 4).

Tabela 4: Resultados de substâncias que representam risco à saúde em mg/L obtidos durante os períodos: A) Estiagem, B) Chuvoso.

A) ESTIAGEM						
Poço	TP	TU	N.E	MK	CASAI	VMP (mg/L)
Data da coleta	12.07.16	12.07.16	12.07.16	16.08.16	16.08.16	
Alumínio	NR	NR	NR	NR	NR	0,2
Arsênio	NR	NR	NR	NR	NR	0,01
Bário	NR	NR	NR	NR	NR	0,7
Cádmio	NR	NR	NR	NR	NR	0,005
Cobre	NR	NR	NR	NR	NR	2,0
Cromo	NR	NR	NR	NR	NR	0,0005
Fluoreto	NR	NR	NR	NR	NR	1,5
Nitrato	4,29	0,5	0,25	4,1	0,82	10,0
Nitrito	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	1,0
Níquel	NR	NR	NR	NR	NR	0,07
Zinco	NR	NR	NR	NR	NR	5,0
B) CHUVOSO						
Poço	TP	TU	N.E	MK	CASAI	VMP (mg/L)
Data da coleta	14.03.17	14.03.17	14.03.17	22.03.17	21.02.17	
Alumínio	ND	ND	ND	ND	ND	0,2
Arsênio	ND	ND	ND	ND	ND	0,01
Bário	0,0034	ND	ND	ND	ND	0,7
Cádmio	0,0006	ND	ND	ND	ND	0,005
Cobre	0,0156	ND	ND	ND	ND	2,0
Cromo	ND	ND	ND	ND	ND	0,0005
Fluoreto	ND	ND	ND	ND	ND	1,5
Nitrato	3,24	0,22	0,67	3,24	0,62	10,0
Nitrito	ND	ND	ND	ND	ND	1,0
Níquel	<0,01	ND	ND	<0,01	ND	0,07
Zinco	0,001	ND	ND	ND	ND	5,0

NR (Não realizado); ND (Não detectável); VMP (Valor máximo permitido) em mg/L

As análises realizadas das substâncias que representam risco à saúde foram obtidas integralmente no durante o período chuvoso, mostram que a sua maioria não foram detectadas e os valores registrados para bário, cádmio, cromo e zinco somente para o poço TP estão de acordo com a legislação e não oferecem risco a população. Os valores de nitrato e nitrito foram obtidos nos períodos principais (estiagem e chuvoso) e não sugerem risco à saúde dos indígenas por estarem muito abaixo do valor máximo permitido pela legislação vigente.

- **SiO₂**

Os valores de SiO₂ referentes ao período de estiagem variam de 2,45 a 11,15 mg/L. Enquanto que os valores obtidos no período chuvoso variam de 1,58 a 11,44 mg/L. Estes valores são considerados baixos e apresentam-se desta forma por estarem numa área de forte intemperismo.

Não foram encontradas informações de dados de SiO₂ nos aquíferos de Manaus e Itacoatiara no período de estiagem para tomar como parâmetro comparativo. No entanto, Rocha & Horbe (2006) obtiveram na cidade de Manaus valores de SiO₂ para o período chuvoso variando de 1,14 a 4,98 mg/L, os quais são mais baixos dos que os obtidos neste estudo para o mesmo período. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Concentrações de SiO₂ nos períodos de estiagem e chuvoso.

Poço	Período sazonal	SiO ₂ (mg/L)
TP	Estiagem	4,23
	Chuvoso	6,46
TU	Estiagem	3,57
	Chuvoso	1,58
N.E	Estiagem	9,93
	Chuvoso	8,94
MK	Estiagem	2,45
	Chuvoso	2,29
CASAI	Estiagem	11,15
	Chuvoso	11,44

3.3.2 Parâmetros iônicos

Os resultados iônicos obtidos nos períodos de estiagem e chuvoso estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados iônicos obtidos durante os períodos: A) Estiagem, B) Chuvoso

A) ESTIAGEM					
Poço	TP	TU	N.E	MK	CASAI
Data da coleta	12.07.16	12.07.16	12.07.16	16.08.16	16.08.16
Ca ²⁺ (mg/L)	2,81	0,4	0,5	0,4	2
Mg ²⁺ (mg/L)	0,27	0,002	0,15	0,01	0,05
Na ⁺ (mg/L)	0,3	0,56	0,52	0,36	0,4
K ⁺ (mg/L)	0,5	1,4	4,1	0,5	3,6
F ⁻ (mg/L)	<0,01	0,2	0,05	<0,01	0,01
Cl ⁻ (mg/L)	0,31	0,31	0,46	0,5	0,51
Br ⁻ (mg/L)	0,01	ND	ND	<0,01	ND
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	0,5	0,1	9,83	0,18	0,1

B) CHUVOSO					
Poço	TP	TU	N.E	MK	CASAI
Data da coleta	14.03.17	14.03.17	14.03.17	22.03.17	21.02.17
Ca ²⁺ (mg/L)	2,9	0,8	1,54	0,7	3,4
Mg ²⁺ (mg/L)	0,75	0,025	0,225	0,025	0,1
Na ⁺ (mg/L)	1,08	0,36	0,64	0,2	0,36
K ⁺ (mg/L)	2,7	0,4	5,1	0,3	3,4
F ⁻ (mg/L)	<0,01	0,02	0,04	<0,01	0,28
Cl ⁻ (mg/L)	0,5	0,27	0,44	0,45	0,44
Br ⁻ (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	0,14	0,1	7,81	0,14	0,04

- **Cálcio e Magnésio**

Os íons Ca⁺ e Mg⁺ não são referenciados nos parâmetros da portaria de potabilidade. Os valores encontrados para estes íons são muito baixos e assemelham-se aos resultados obtidos no mesmo aquífero por Silva & Silva (2007) no período chuvoso e ao encontrados por Silva & Bonotto (2000) no período de estiagem.

- **Sódio e Potássio**

Nas águas analisadas, os teores de sódio variaram de 0,3 a 0,56 mg/L (estiagem); 0,2 a 1,08 mg/L (chuvoso) e estão muito abaixo do VMP (200mg/L). Os valores de potássio variaram de 0,5 a 4,1 mg/L (estiagem); 0,3 a 5,1mg/L (chuvoso). Os valores de sódio e potássio estão semelhantes aos encontrados por Silva & Bonotto (2000) e Silva & Silva

(2007) na cidade de Manaus nos períodos de estiagem e chuvoso, respectivamente. Ressalva-se que o íon K^+ não possui referência na Portaria MS nº 2.914/11.

- **Cloreto, fosfato e brometo**

Os íons Cl^- e PO_4^{3-} encontrados nos períodos de estiagem e chuvoso estão abaixo dos valores máximos permitidos. O Br^- foi somente detectado nos poços TP e MK em baixas concentrações (00,1 e <0,01, respectivamente) durante o período de estiagem e durante o período chuvoso não foi detectado em nenhum dos poços estudados.

Tabela 7: Comparação dos valores de cátions e ânions no Sistema de Aquífero Alter do Chão na cidade de Manaus

Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	Referência
Mín- Máx	Mín- Máx	Mín- Máx	Mín- Máx	Mín- Máx	Valor único	Mín- Máx	
0,5-4,5	0,1-13,4	0,001-5,45	0,019-2,82	0,710-3,056	<1,0	0,019-1,020	Silva & Bonotto, 2000
0,3-7,1	0,10-13,40	0,22-4,02	0,08-2,06	0,852-10,792	0,1	0,030-0,917	Silva & Silva, 2007

Baseado nos resultados iônicos, construiu-se o diagrama de Piper com a caracterização iônica das águas subterrâneas dos cinco poços estudados durante os períodos de estiagem (Figura 3) e chuvoso (Figura 4).

Em relação aos íons dissolvidos nos dois períodos analisados, as águas dos poços amostrados mostram-se pouco mineralizadas e com classificações divergentes nos dois períodos (Tabela 8). Os resultados mostram que o poço da aldeia Nova Esperança (NE) manteve sua classificação de sódica sulfetada e CASAI manteve classificação em sódica cloretada em ambos os períodos. Por outro lado, o aumento nas concentrações de Ca^{2+} nas águas dos poços das aldeias TU e MK, foram responsáveis por sua mudança na classificação de sódica cloretada para cálcica cloretada durante o período chuvoso. No geral, nota-se a presença significativa dos íons sulfato e cloreto, cálcio e sódio, caracterizando estas águas como sulfetadas ou cloretadas, cálcicas ou sódicas na maioria.

Tabela 8: Classificação das águas estudadas durante os períodos de estiagem e chuvoso

Poço/Período	Estiagem	Chuvoso
TP	Cálcica sulfetada	Mista sulfetada
TU	Sódica cloretada	Cálcica cloretada
NE	Sódica sulfetada	Sódica sulfetada
M.K	Sódica cloretada	Cálcica cloretada
CASAI	Sódica cloretada	Sódica cloretada

Figura 3: Diagrama de Piper para classificação das águas subterrâneas estudadas no período de estiagem

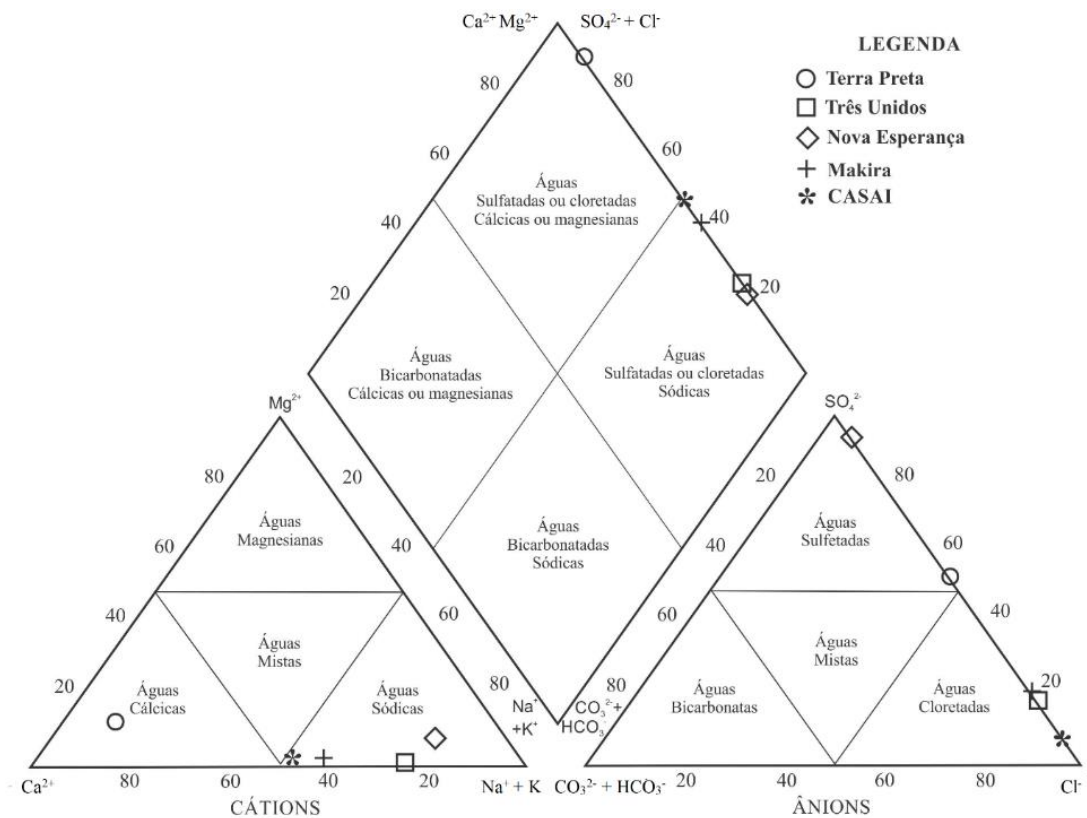
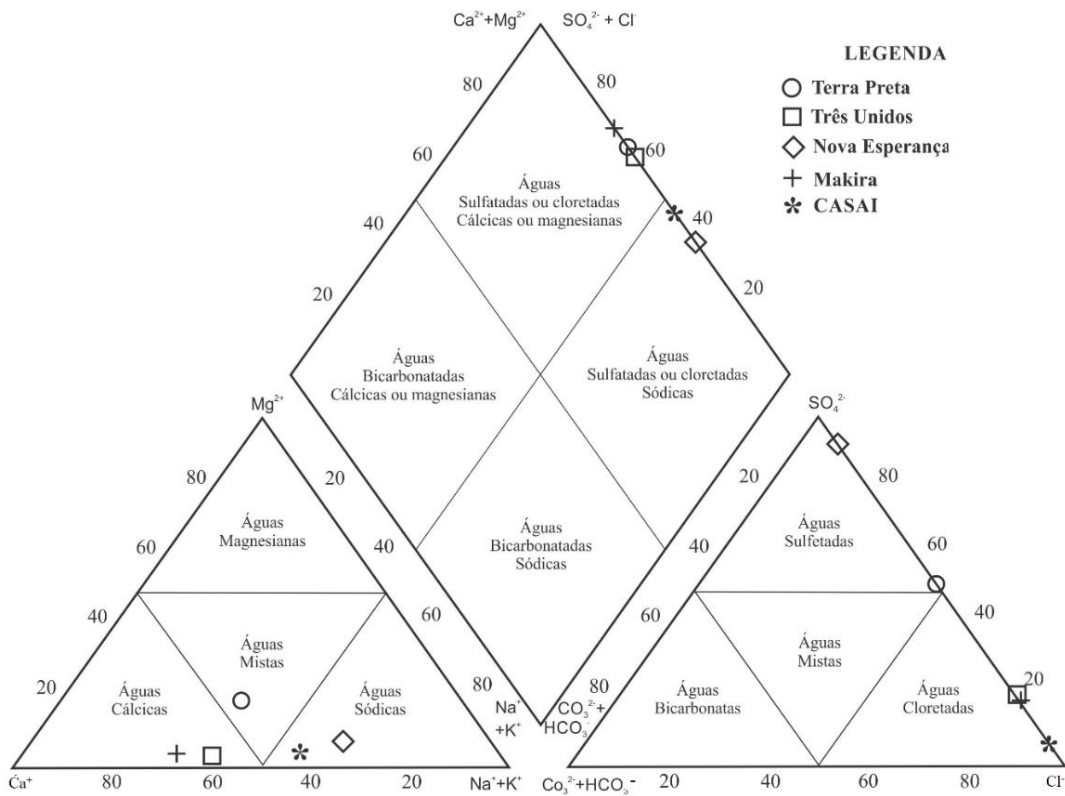


Figura 4: Diagrama de Piper para classificação das águas subterrâneas estudadas no período chuvoso.



3.3.3 Parâmetros microbiológicos

Os dados microbiológicos aqui apresentados (Tabela 9), não demonstram riscos à saúde da população indígena. Durante os estudos, as únicas manifestações de doenças hídricas presumíveis foram os poucos casos de alteração das fezes em todas as aldeias estudadas e que pode ter como causa outra origem, visto que em nenhum dos períodos foi detectado a presença de coliformes termotolerantes. Ressalta-se que os dados da CASAI neste aspecto não foram registrados casos de doenças de veiculação hídrica por se tratar de uma casa de saúde e muito dos indígenas realizam somente o tratamento de outros tipos de doenças ou agravamento destas. Ressalta-se também que para este poço, as amostras apresentaram ausência tanto para coliformes totais quanto para *Escherichia coli* em todos os períodos estudados, ou seja, não promoveram risco à saúde dos pacientes em tratamento.

Tabela 9: Resultados microbiológicos durante os períodos de estiagem, transição para chuvoso e chuvoso e transição para chuvoso.

Poço	Nº de habitantes	Nº de casos (DVH*)	Período sazonal	Coliformes totais (Presença/Ausência)	Escherichia coli	População acometida (%)
TP	54	0	Estiagem	Ausência	Ausência	0
		1**	T. Chuvoso	Ausência	Ausência	1,9
		3**	Chuvoso	Ausência	Ausência	5,6
		2**	T. Estiagem	Ausência	Ausência	3,7
TU	194	0	Estiagem	Presença	Ausência	0
		1**	T. Chuvoso	Ausência	Ausência	0,5
		1**	Chuvoso	Ausência	Ausência	0,5
		3**	T. Estiagem	Presença	Ausência	1,4
N.E	161	1**	Estiagem	Ausência	Ausência	0,6
		6**	T. Chuvoso	Ausência	Ausência	3,7
		0	Chuvoso	Ausência	Ausência	0
		1**	T. Estiagem	Presença	Ausência	0,6
MK	70	4**	Estiagem	Ausência	Ausência	5,7
		6**	T. Chuvoso	Ausência	Ausência	8,5
		0	Chuvoso	Presença	Ausência	0
		0	T. Estiagem	Ausência	Ausência	0
CASAI	300	-	Estiagem	Ausência	Ausência	-
		-	T. Chuvoso	Ausência	Ausência	-
		-	Chuvoso	Ausência	Ausência	-
		-	T. Estiagem	Ausência	Ausência	-

(*) Doenças causadas por veiculação hídrica presumível; (**) Fezes diarreicas (***) Dados do Sistema de Informação da Atenção à Saúde Indígenas (SIASI).

3.3.4 Parâmetros hidrogeológicos

Os resultados hidrogeológicos obtidos *in loco* e estão descritos na Tabela 10.

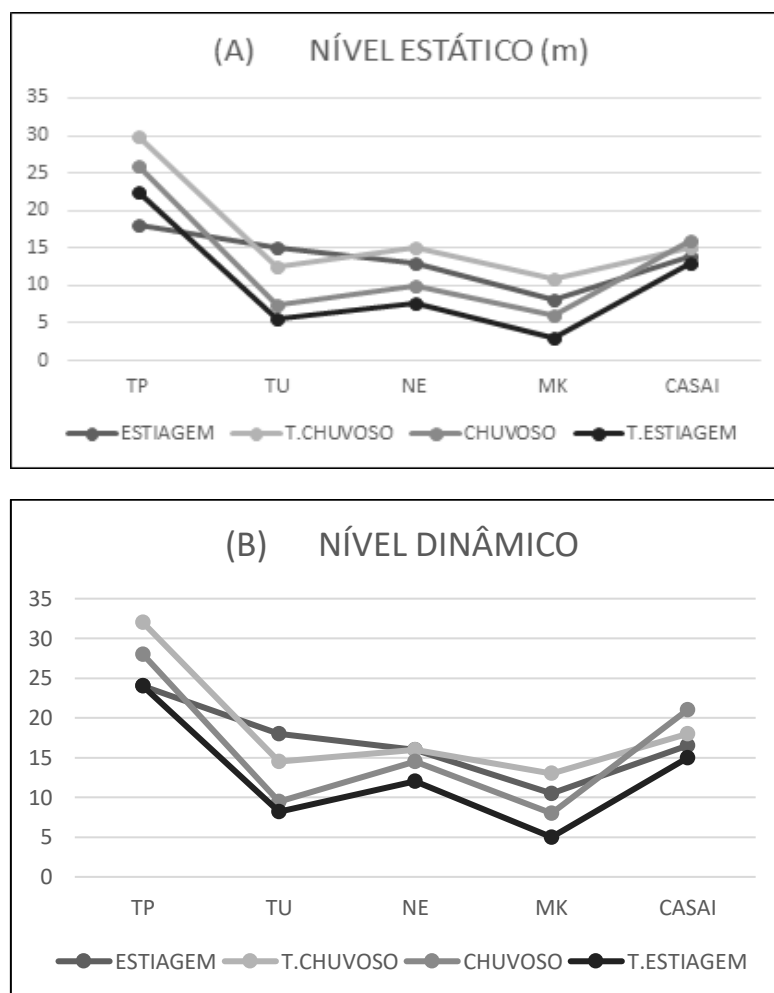
Os cinco poços estudados apresentam profundidades variando de 46 a 84 m. Observou-se que dos cinco poços estudados em todos os períodos sazonais, destacaram-se o poço TP com os valores mais elevados de nível estático (*NE*) e nível dinâmico (*ND*) o que denota uma recarga mais lenta e pressupõem-se que por ser o poço mais profundo, também há a possibilidade da entrada de água acontecer no final deste poço, acarretando menor volume de água disponível e menor recuperação. Já o poço MK apresenta os menores valores de *NE* e *ND* e consequentemente os menores rebaixamentos em todos os períodos, contrapondo-se a recarga do TP. O poço TP foi o único que mostrou os melhores resultados de *NE* e *ND* no período de estiagem, enquanto que os demais apresentaram este resultado para o período de transição para estiagem. No geral os poços mais rasos (TU, NE e MK) com profundidade variando entre 46,0 e 50,0 metros apresentaram os menores e melhores valores de *NE* e *ND*, estando estes mais próximos da superfície quando comparados aos mais profundos. Porém o poço MK destacou-se por apresentar os menores níveis estáticos e dinâmicos no decorrer deste estudo, o que pode indicar ter mais áreas de entradas de recarga, visto que não se pode comprovar com exatidão pela inexistência de relatórios construtivos dos poços. Seria de grande relevância para este estudo tais informações para compreensão da dinâmica destes poços.

Tabela 10. Profundidade (m), nível estático (m), dinâmico (m) e altitude (m) poços tubulares da área de estudo.

Aldeia indígena	Data da coleta	Profundidade do poço (m)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Altitude (m)
<i>Estiagem</i>					
Três Unidos (Rio Cuieiras)	12.07.16	50	15	18	47
Nova Esperança (Rio Cuieiras)	12.07.16	46	13	16	46
Terra Preta (Rio Negro)	12.07.16	84	18	24	85
Makira (Rio Urubu)	16.08.16	50	8,2	10,5	51
CASAI/AM	16.08.16	69	14	16,5	45
<i>Transição Chuvoso</i>					
Três Unidos (Rio Cuieiras)	05.11.16	50	12,5	14,5	47
Nova Esperança (Rio Cuieiras)	04.11.16	46	15	16	46
Terra Preta (Rio Negro)	04.11.16	84	30	32,5	85
Makira (Rio Urubu)	26.10.16	50	11	13	51
CASAI/AM	27.10.16	69	15	18	45
<i>Chuvoso</i>					
Três Unidos (Rio Cuieiras)	14.03.17	50	7,5	9,5	47
Nova Esperança (Rio Cuieiras)	14.03.17	46	10	14,5	46
Terra Preta (Rio Negro)	14.03.17	84	26	28	85
Makira (Rio Urubu)	22.03.17	50	6	8	51
CASAI/AM	21.02.17	69	16	21	45
<i>Transição Estiagem</i>					
Três Unidos (Rio Cuieiras)	20.06.17	50	5,5	8,2	47
Nova Esperança (Rio Cuieiras)	20.06.17	46	7,7	12	46
Terra Preta (Rio Negro)	20.06.17	84	22,5	24	85
Makira (Rio Urubu)	17.05.17	50	3	5	51
CASAI/AM	20.06.17	69	13	15	45

O comportamento hidrogeológico obtido nos quatros períodos sazonais estão expressos na Figura 5:

Figura 5: Comportamento hidrogeológico dos poços durante os períodos de estiagem, transição chuvoso, chuvoso e transição estiagem.



Somente um poço da área de estudo (TU) possui perfil geológico, por isso os demais foram correlacionados à poços próximos as suas localidades de estudo e foram elaboradas correlações geológicas para ter o entendimento da geologia de cada poço estudado (Figuras 6 a 8).

De acordo com a correlação do poço TU aos poços TP e NE, sugere-se que a entrada da água ocorre entre 25 a 45 metros. Para o poço MK a suposta entrada de água ocorre a partir dos 37 a 40 metros; já a correlação do poço da CASAI a um poço situado na AM-010, apresenta suposta entrada de água a partir de 13 metros a aproximadamente 40 metros.

Em todos os poços que serviram para correlação, apresentam intercalação entre arenitos e siltitos, típicos da constituição da Formação Alter do Chão.

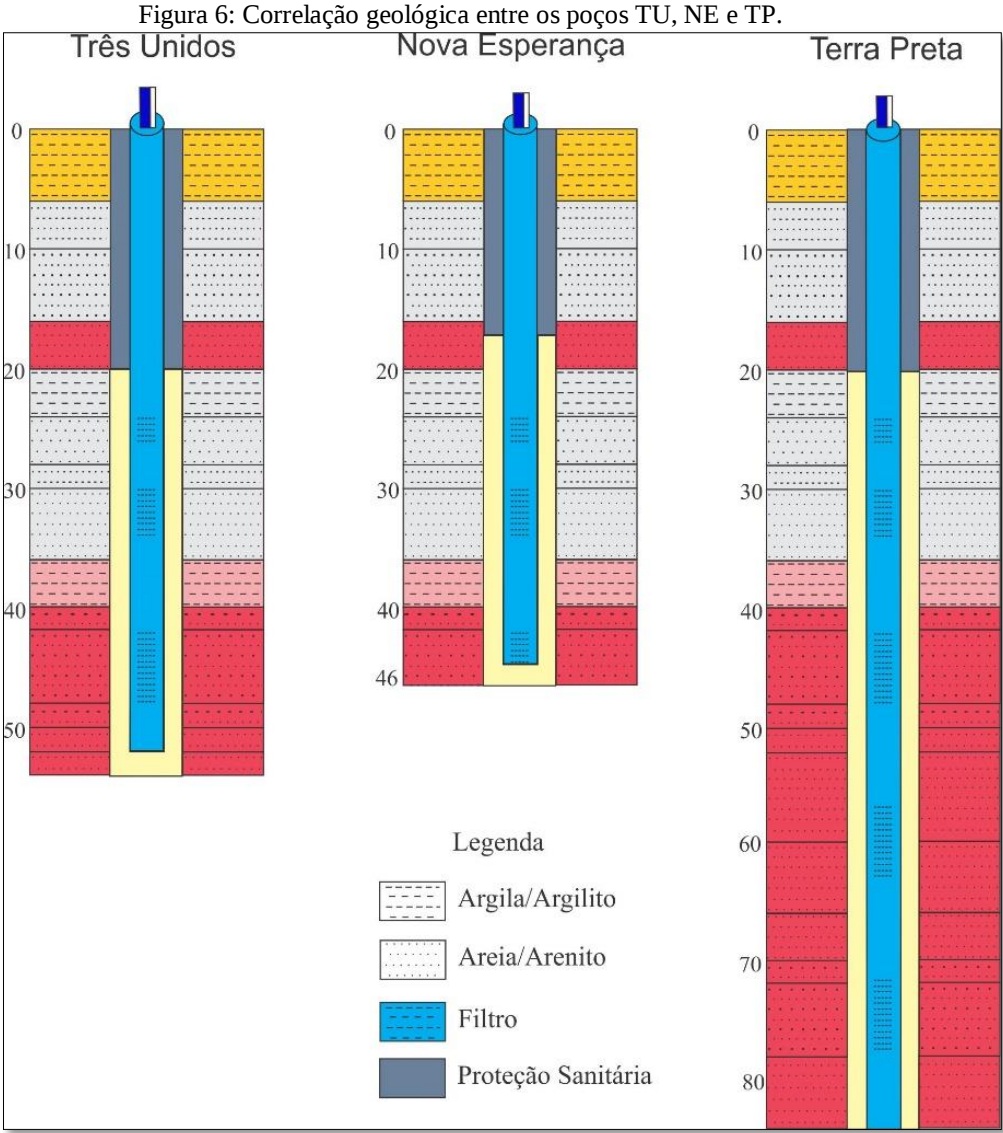


Figura 7: Correlação geológica entre os poços MK e Taboca.

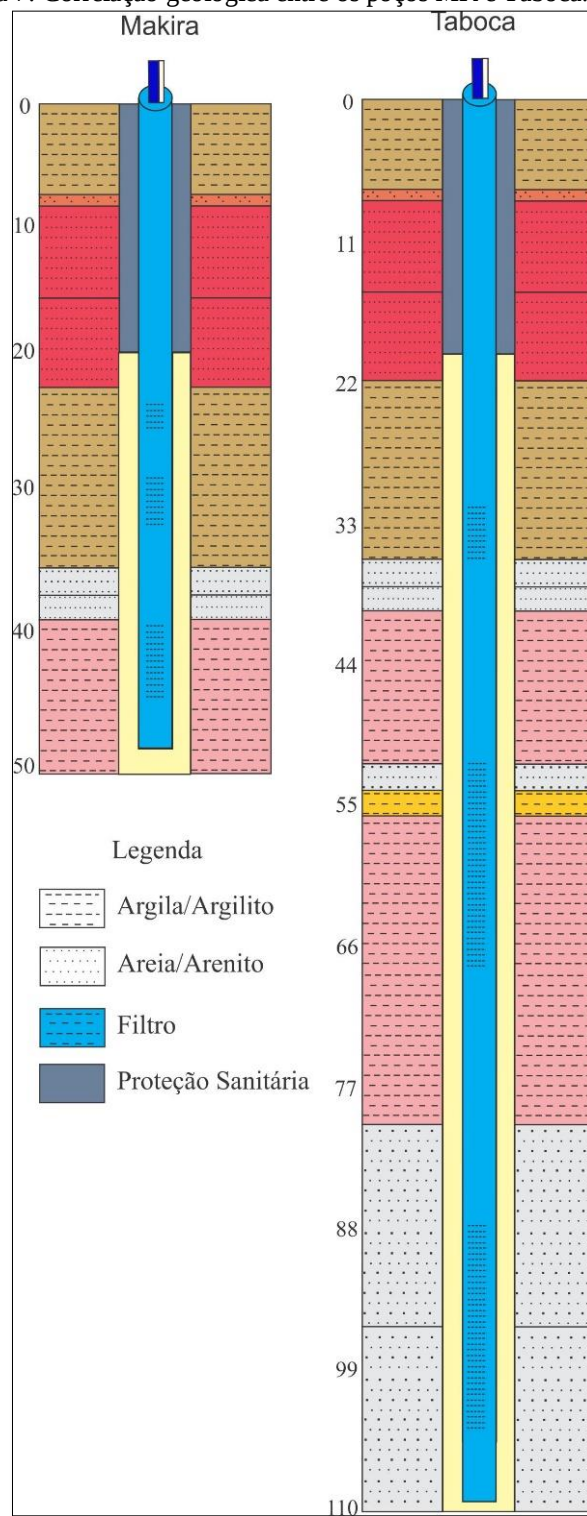
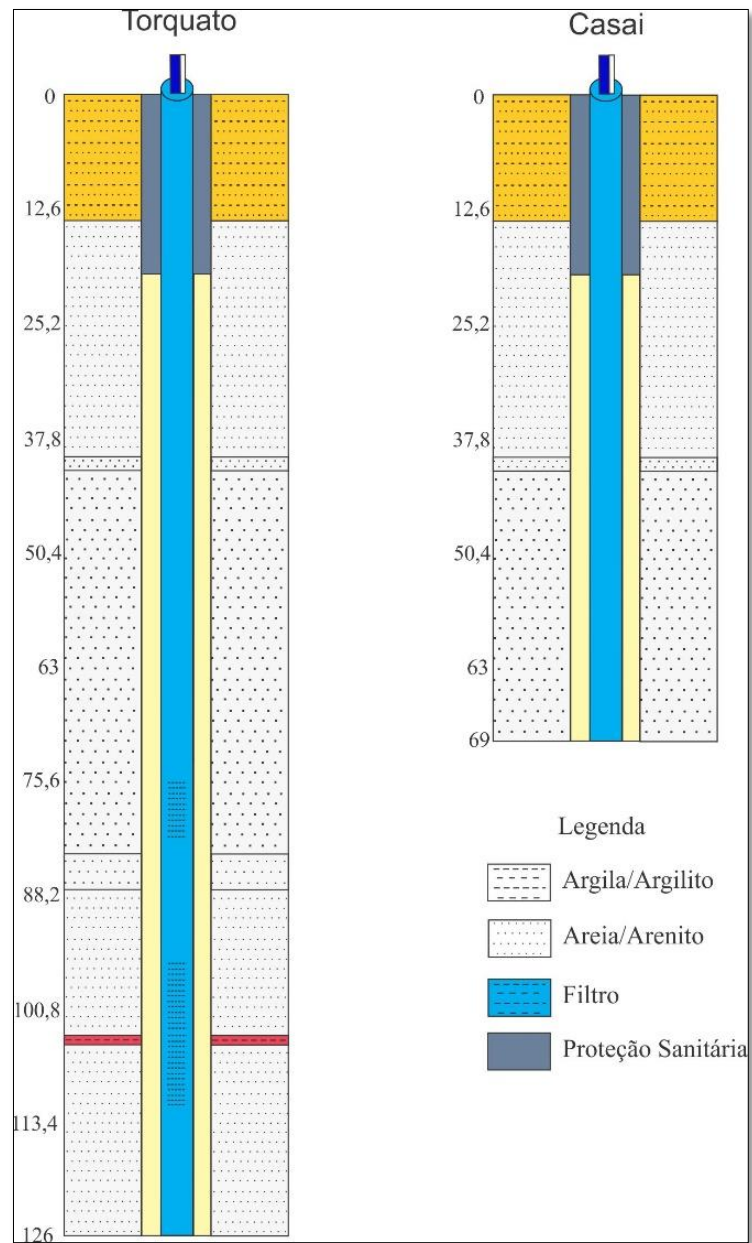


Figura 8: Correlação geológica entre os poços da AM-010 e CASAI.



3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo mostra os resultados analíticos das águas subterrâneas dos cinco poços tubulares das comunidades indígenas da Amazônia Central e compreende os períodos sazonais e transicionais entre eles do período de um ciclo hidrológico. Quando confrontados aos padrões de qualidade da legislação vigente (Portaria MS nº2.914/11), os resultados encontram-se em conformidade em todos os aspectos de potabilidade selecionados (microbiológico, organoléptico e de substâncias que oferecem riscos à saúde), classificando-as como potáveis e próprias para o consumo humano. Os resultados obtidos para as propriedades físicas e químicas das águas dos poços, em sua maioria, são semelhantes aos encontrados na revisão literatura para as águas subterrâneas do Aquífero Alter do Chão na cidade de Manaus. Os valores de condutividade elétrica encontrados tanto no período de estiagem e chuvoso apresentam-se semelhantes aos valores encontrados por Silva & Bonotto, (2000) e Silva & Silva (2007). Da mesma forma os valores de pH, porém com um caráter menos ácido. As concentrações encontradas para os íons Mg^{2+} , Na^+ , K^+ e Cl^- são mais baixos que os encontrados por Silva & Bonotto, (2000) e Silva & Silva (2007). No entanto, as concentrações de SO_4^{2-} apresentam valores mais elevados e Ca^{2+} um pouco menores que aqueles encontrados pelos mesmos autores. A partir das concentrações destes íons, elaborou-se o diagrama de Piper e pôde-se observar uma variação no comportamento destes íons entre os períodos de estiagem e chuvoso, o que implica numa classificação variável das águas. O aumento nas concentrações de Ca^{2+} no período chuvoso implicaram em uma mudança na classificação de sódicas para cálcicas das águas dos poços de TU e MK, enquanto NE e CASAI permaneceram com a classificação sódica cloretada nos dois períodos. As amostras de águas subterrâneas não apresentam indício de poluição, e estão em conformidade com o estabelecido na legislação brasileira. A única alteração/anomalia no parâmetro de turbidez se deu no poço MK durante o período chuvoso provavelmente devido a problemas com bomba submersa, no entanto este episódio mostra-se sem relação com os padrões microbiológicos.

No aspecto hidrológico, os poços mais rasos com profundidades variando entre 46 e 50 metros apresentam os menores valores de níveis estáticos e dinâmicos, sugerindo maior recarga. De acordo com a correlação geológica, os poços NE e TP foram correlacionados ao poço TU, o poço CASAI com o poço situado na mesma região e o MK foi correlacionado a um poço de uma aldeia próxima cerca de 100 metros de distância. A partir das correlações foi observada uma constituição argilo-arenosa a arenosa, típica da Formação Alter do Chão e o

posicionamento dos filtros sugerem no geral, a entrada de água a partir de 22 metros de profundidade.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABINADER, H. D. Depósitos cenozoicos da porção oeste da Bacia do Amazonas. Dissertação (Mestrado). Manaus: Programa de Pós-graduação em Geociências – UFAM, 2008.
- ALBUQUERQUE, O. R. Reconhecimento geológico no Vale do Amazonas (Campanhas de 1918 e 1919). Boletim 3. Rio de Janeiro: Serviço Geológico e Mineralógico/Divisão de Geologia e Mineralogia, 1922.
- AMORIM, Mirian C. C. de; PORTO Everaldo. R.; MATOS Ana N.B. Conformidade de Padrões Microbiológicos de Água para Consumo Humano de uma Solução Alternativa de Abastecimento em Atalho, Petrolina, PE. 7º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Pernambuco, p. 1-3, 2009.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil disponível em <http://www.ana.gov.br/sprtw/recursoshidricos.asp>
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA), Resolução ANA nº82 24/04/2002
- ANDRADE, L.S. & SOARES, E.A.A. Estratigrafia de Subsuperfície da Sequência sedimentar Cretácea e Neógena na Cidade de Manaus. In: Sbg, Simpósio De Geologia da Amazônia, 11, Manaus, Resumos Expandidos, (Cd-Rom), 2009.
- APHA STANDART METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTERWATER. 19ª ed. Washington, America public Health Association/AWWA/WEF. 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12.212/ 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12.244/ 2006
- BAHIA, V.E., FENZL, N., LEAL, L.R.B., MORALES, G.P., LUIZ, J. G. – Caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na área de abrangência do reservatório de abastecimento público do Utinga – Belém/PA. Águas Subterrâneas, v 25, nº1, p 43-56, 2011.
- BARATA, C. F.; CAPUTO, M. V.; Geologia do petróleo da Bacia do Solimões: “O Estado da Arte”, Anais 4º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás (Campinas, 2007), p 1.1.0147.
- BARBOSA, R, O. – Estudos sedimentológicos e estratigráficos dos depósitos sedimentares quaternários do arquipélago de Anavilhanas, município de Novo Airão (Amazônia Central). Dissertação (Mestrado). Manaus: Programa de Pós-graduação em Geociências – UFAM, 2016.
- BUENO, T. O. - Caracterização da radioatividade das águas do aquífero Guarani. Rio Claro: [s.n.], 42 f. Trabalho de conclusão (bacharelado – Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2007.

- BRUZANELLO, E. B., MARTINHAGO, M. W., ALMEIDA, M. M. & PINTO, F. G. S. Determinação de coliformes totais e termotolerantes na água do lago Municipal de Cascavel, Paraná – Nota científica, Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 6, supl. 1, p. 59-60, set. 2008.
- CAPUTO, M. V. (1984). Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil. Tese Doutorado). Santa Bárbara: Universidade da Califórnia, 1984.
- CAPUTO, M.V. Discussão Sobre a Formação Alter do Chão e o Alto de Monte Alegre. In: Contribuições à Geologia da Amazônia, Vol. 7, Sociedade Brasileira De Geologia – Núcleo Norte, 201 1 Belém, Pará, P. 7-23, 2009.
- COELHO F.DE J.F., FERREIRA H. DE C., SILVA S.B., RIBEIRO A.G., TEREZO E.F.M. Vegetação. Projeto Radam Brasil, Folha SA-21-Santarém. Rio de Janeiro, DNPM, Levantamento de Recursos Naturais, 10. 1976
- CPRM. Carta Geológica Do Brasil Ao Milionésimo. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas, Programa Geologia Do Brasil. Brasília: Ministério De Minas E Energia/CPRM/Serviço Geológico Do Brasil, 2006.
- CASTANY, G. Tratado práctico de las águas subterrâneas. Barcelona: Omega, 675 p., 1971.
- CPRM, 2012. Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: Relatório diagnóstico Aquífero Alter do Chão no Estado do Amazonas. Bacia Sedimentar do Amazonas. AGUIAR, C. J. B; MOURÃO, M. A. A. 30 f, il. v.6. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2012.
- CUNHA P.R.C., MELO, J.H.G., SILVA, O.B. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências de Petróleo Brasileiro S.A, Rio de Janeiro, 15 (2):227-251, 2007.
- DAEMON, R. F. & CONTEIRAS, J. A. Zoneamento Palinológico Da Bacia Do Amazonas. In: SBG, Congresso Brasileiro De Geologia, 25, São Paulo, anais, 3:79-88, 1971.
- DAEMON, R. F. Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, bacia do Amazonas. Revista Brasileira de Geociências. 5: 58-84. Simpósio sobre o Cretáceo no Brasil. 5, 261-266. 1975.
- DIAS, C. L., da SILVA, M.F.B., CASARINI, D.C.P., LEMOS, M.M.G. Caracterização hidrogeoquímica e qualidade do Sistema de Aquífero Guarani em poços tubulares para abastecimento público do Estado de São Paulo. XII Congresso Brasileiro de águas subterrâneas 14p, 2002.
- DINO, R.; SILVA, O.B.; ABRAHÃO, D. Caracterização Palinológica E Estratigráfica De Estratos Cretáceos Da Formação Alter Do Chão, Bacia Do Amazonas. In: Simpósio Sobre O Cretáceo Do Brasil, 5. 1999, Rio Claro. Boletim De Resumos Expandido. Rio Claro: SBG, 1999.
- DINO, R., SILVA, O. B, ABRAHÃO. Palynostratigraphic Characterization Of The Cretaceous Strata From The Alter Do Chão Formation, Amazonas Basin. In: SBG,

International Geological Congress, 31, Rio De Janeiro, Tectonic Evolution of South America. Rio De Janeiro, (Cd Rom), 2000.

DINO, R.; SOARES, E. A.; ANTONIOLI, L.; RICCOMINI, C.; NOGUEIRA, A. C. Palynostratigraphy and Sedimentary Facies of Miocene Fluvial Deposits of The Amazonas Basin, Brazil. 2012. Journal of South American Earth Sciences. Vol. 34, P. 61-80. 92. 2012.

DREVER, J.I. (Ed.). The Geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments. Prentice-Hall, New Jersy, 436pp, 1997.

ESPINOZA, J. C. *et al.* Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004). Journal of Hydrology, Amsterdam, v. 375, p. 297–311, 2009.

FAUST, S.D. & ALY, O.M. (Eds.). Chemistry of Natural Waters. Butterworths Publishers, Sydney, 400pp, 1981.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. Hidrologia: conceitos e aplicações. 2. ed., Fortaleza: CPRM: REFO, LABHID-UFPE, 812p. 2000.

FOSTER, S.S.D; HIRATA, R. Contaminación de las águas subterrâneas. Organização Mundial de laSalud. Organização Panamericana de laSalud, Centro Panamericano de Ingenieria Sanitária y Ciências Del Ambiente. Lima, Peru, 1987.

GASTMANS D.; CHANG. H.K. Avaliação da hidrogeologia e hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado de Mato Grosso do Sul. Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, v. 19, nº 1, p. 35-48, 2005.

GASTMANS, D.- Hidrogeologia e hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani na porção ocidental da Bacia Sedimentar do Paraná – Rio Claro: [s.n.], 194 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exata, 2007.

GOFFERMANN, M., VIERO, A.P. & TREIN, H. Caracterização Hidrogeológica do Sistema Aquífero Palermo-Rio Bonito na Região Sul do Município de São Gabriel, RS. XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. ANAIS. ABAS. Bonito, MS. 2012.

HEM, J.D. Study and interpretation of the chemical charecteristcs of natural water. U.S.G.S. Water Supply Paper, v. 1, 463 p, 1959.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Censo Demográfico Brasileiro. Boletim técnico, 2010.

KISTLER, P. Historical Resume of The Amazon Basin. 1954

KÖPPEN, W. Climatologia: Con um estudio de los climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948.

LAGES, A. S. Sistema de Aquífero Grande Amazônia. Um estudo sobre a composição química das águas da cidade de Itacoatiara e Manacapuru –Am. Anderson da Silva Lages, 2016.

MILLON, M. M.B. Águas Subterrâneas e Política de Recursos Hídricos. Estudo de Caso: Campeche. Florianópolis - SC. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2004.

MINISTÉRIO DA SAÚDE - BRASIL. Portaria n.º2.914, de 12 de dezembro de 2011. Procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: D.O.U, 2011.

NOGUEIRA, A.C.R.; VIEIRA, L.C.; SUGUIO, K. Paleossolos da Formação Alter do Chão, Cretáceo-Terciário da Bacia do Amazonas, regiões de Presidente Figueiredo e Manaus. In SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5, Serra Negra, Resumos.Serra Negra, v. 1. p. 261 -266. 1999.

NOGUEIRA A. C. R., HORBE, A. M. C., PAZ, J. D. S., MOTTA, M. B., ROZO, J. M. G. O Neógeno da Amazônia Ocidental. IX Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém: SBG, 2006.

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development (2001). Knowledge and Skills for Life: First results from PISA, 2000.

PAZ, J.D.S; CUNHA, E.F.S. Análise de fácies da formação Alter do Chão, Km 46, BR 174. Simpósio de Geologia da Amazônia. Manaus/AM, 2009.

ROCHA, L. C. R & HORBE, A. M. C. Contaminação provocada por um depósito de lixo no aquífero Alter do Chão em Manaus - AM. ACTA Amazônica, 2006.

ROSSETTI, D. F., TOLEDO, P. M., GOES A. M. Newgeological framework for Western Amazonia (Brazil) and implications for biogeography and evolution. Quaternry Research, 63(1), 2005.

ROSSETI, D. F.; NETTO, R. G. First evidence of marine influence in the Cretaceous of the Amazonas Basin, Brazil. Cretaceous Research. London, v. 27, n. 4, p. 513-528, 2006.

ROZO, J.M.G. Evolução holocênica do Rio Amazonas entre a ilha do Careiro e a foz do Rio Madeira. Dissertação (Mestrado). Manaus: Departamento de Geociências – UFAM. 93p, 2004.

ROZO, J.M.G., NOGUEIRA, A.C.R, CARVALHO, A. S. Análise Multitemporal Do Sistema Fluvial Do Amazonas Entre A Ilha Do Careiro E A Foz Do Rio Madeira. In: Xii Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, Goiânia...Anais...Inpe, P.1875- 188, 2005.

SANTOS, A., RIBEIRO, M. N. G., RIBEIRO, J. S., BRINGEL, S. R. B. Hidroquímica da Amazônia Central III. Química de água de lavagem de floresta no ecossistema Campina Amazônia (Stem flow). Acta Amazônica, v. 11, p. 335-46, 1981.

SANESUL/TAHAL- Estudos Hidrogeológicos de Mato Grosso do Sul. Relatório Final, Campo Grande, mapas V. I e II, 736p, 1998.

SANTOS, A.C.. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C. e FILHO, J. M. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3 ed. Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil, p.325-357, 2008.

SILVA, M. L. Hidroquímica elementar e dos isótopos de urânio nos aquíferos de Manaus – AM. Master's Thesis, Universidade de São Paulo, Rio Claro, São Paulo. 135pp. 1999.

SILVA, M. L; BONOTTO, D. M. Caracterização hidrogeoquímica na Formação Alter do Chão, município de Manaus (Am). 1st Joint World Congress of Groundwater, 2000.

SILVA, M. L. Estudo Hidroquímico e dos isótopos de urânio nas águas subterrâneas em cidades do Estado do Amazonas (AM). Rio Claro: UNESP, 2005. 200p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2005.

SILVA, M. L; SILVA, M. S. R. Perfil das águas subterrâneas de Manaus. HOLOS Environment, v.7 n.1, 2007a.

SILVA, M. L.; SILVA, M. S; Hidrogeoquímica das águas subterrâneas da cidade de Iranduba (AM), Brasil. Revista Caminhos da Geografia, 8(22), 87-96. 2007b.

SOARES, E. A. A. Depósitos pleistocenos da região de confluência dos rios Negro e Solimões, porção oeste da Bacia do Amazonas. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP. 2007.

SOARES, E. A. A., TATUMI, S. H., RICCOMINI, C. OSL Age determinations of Pleistocene fluvial deposits in central Amazonia. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 82(3), 691-699. 2010.

SOARES, E.A.A., WAHNFRIED, I.D., DINO, R. Estratigrafia de subsuperfície da sequência sedimentar cretácea-neógena das regiões de Manaus e Itacoatiara, Amazônia Central. Revista do Instituto de Geologia – USP, Sér.Cient., São Paulo, v. 16, n.1, p. 23-41, março, 2016.

SOUZA et al. 2013. Síntese da Hidrogeologia nas bacias sedimentares do Amazonas e Solimões: Sistemas de aquíferos Içá-Solimões e Alter do Chão. Revista do Instituto de Geociências – USP.

SWRCB- State of California – California Regional Water Quality Control Board, Los Angeles Region Resolution nº 2003010, July 10, 2003.

TUCCI, C.E.M & CABRAL, J.J.S. Qualidade da Água Subterrânea. Documento Final. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – Recursos Hídricos, Prospecção Tecnológica, p. 53, 2013.

UIL. H.; GEER. F.C; GEHERELS J.C. KLOOSTERMAN. State of art on monitoring and assessment of groundwaters. UN/ECE Task Force on Monitoring and Assessment. Working

Programme 1996/1999. Volume 4. The Netherlands Institute of Applied Geoscience: Lelystad, September 1999. 84 p. ISBN 9036952778, 1999.

UNEP/WHO. Water Quality Monitoring – A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. Organização Mundial da Saúde. Genebra, 1996.

VIEIRA, L.C. Depósitos fluviais da Formação Alter do Chão, Cretáceo-Terciário da Bacia do Amazonas. Trabalho Final de Graduação (TFG), Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 62p, 1999.

WAHNFRIED, I. D.; SOARES, E. A. A. Água subterrânea na Amazônia: Importância, estado atual do conhecimento e estratégias de pesquisa. Ciência e ambiente, v.44, p.36, 2012.

ANEXOS

Manaus, 23 de novembro de 2017

Aos indígenas da aldeia Nova Esperança
Polo Base N. Sra da Saúde do DSEI-MANAUS.
Manaus- AM.

Assunto: Solicitação de uso de dados.

Prezados Senhores.

Solicito de Vossas Senhorias autorização para que eu, Consuelo Andrade Simões Clebsch (Geóloga/Distrito Sanitário Especial Indígena Manaus -DSEI MAO); responsável pelo monitoramento da qualidade da água em aldeias indígenas (MQAI) deste DSEI e discente do Curso de Pós- Graduação em Geociências (UFAM), utilize os dados do poço tubular desta aldeia obtidos no período de julho de 2016 a dezembro de 2017.

Essas informações contribuirão para o desenvolvimento da pesquisa "CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS TUBULARES EM ALDEIAS INDÍGENAS NA REGIÃO DA AMAZÔNIA CENTRAL", com a finalidade de verificar a melhoria na saúde dos indígenas com a implantação do MQAI nesta aldeia.

Atenciosamente,



Consuelo A. Simões Clebsch
Geóloga e responsável pelo MQAI do DSEI MAO

Assinatura do alencados

De acordo:

Domitila Rodrigues da Silva
 Getulio Nascimento da Silva
 Mercedes dos Santos
 Arlete Espirito
 Luanania Brito de Assis
 Maria Ruzmide Oliveira de Souza
 Nuzuleno de Souza Rodrigues
 Medeiros de Oliveira Rodrigues
 Franciene Gomes Lima
 Jessica Garrido da Silva
 Deuany Garrido da Silva
 Rosmary da Silva Correia
 Mauro Silva Melo
 Raíla Silva Melo
 Deidiane Silva Melo
 Karissa Garrido Melo
 Carolina da Silva Correia
 Sergio Garrido Melo da Silva
 Jose Garrido da Silva
 Lucine Garrido da Silva
 Gezielene Garrido da Silva
 Galim Garrido da Silva
 Gessiane Garrido da Silva
 Francisco dos Santos
 Xerany Garrido Melo
 Jonas Garrido Melo
 Mariatne Pereira da Silva
 Jany Garrido Melo
 Raquel Garrido Telentino
 Raulo Gabriel Rodrigues
 Dayane Garrido Telentino
 Anderson Garrido Melo
 Edmar Jesus da S. Barreto
 Sandiane Brito da Cruz
 Aldo dos Anjos de Souza Alencar
 Aldair José Pereira Alencar
 Clesiane Pereira de Souza
 Aldemar Alencar de Souza Alencar Junior
 Aguilma Garrido
 Jovany Teresinha Melo
 Sivaney Garrido Melo
 Francisco Alberto dos Santos Alencar
 Jose Lindoso Garrido Melo
 Manoel de Jesus Garrido Melo
 Marlison Garrido Melo
 Antonio Marcos Garrido Melo
 Mariana Garrido Melo
 Cristiane Oliveira de Souza
 Maíra Garrido Melo
 Emerson Garrido Melo
 Elizabeth Garrido Melo
 Antonio Carlos Garrido Melo
 José Pancracia da Silva

Manaus, 23 de novembro de 2017.

Aos indígenas da aldeia Três Unidos
Polo Base N. Sra da Saúde do DSEI-MANAUS.
Manaus- AM.

Assunto: Solicitação de uso de dados.

Prezados Senhores.

Solicito de Vossas Senhorias autorização para que eu, Consuelo Andrade Simões Clebsch (Geóloga/Distrito Sanitário Especial Indígena Manaus -DSEI MAO); responsável pelo monitoramento da qualidade da água em aldeias indígenas (MQAI) deste DSEI e discente do Curso de Pós- Graduação em Geociências (UFAM), utilize os dados do poço tubular desta aldeia obtidos no período de julho de 2016 a dezembro de 2017.

Essas informações contribuirão para o desenvolvimento da pesquisa "CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS TUBULARES EM ALDEIAS INDÍGENAS NA REGIÃO DA AMAZÔNIA CENTRAL", com a finalidade de verificar a melhoria na saúde dos indígenas com a implantação do MQAI nesta aldeia.

Atenciosamente,


Consuelo A. Simões Clebsch
Geóloga e responsável pelo MQAI do DSEI MAO

- 1 JUIVO CRUZ DA SILVA
- 2 JAMALYTA CRUZ
- 3 Mikael Oliveira Vieira
- 4 Ezequiel Gomes Carvalho
- 5 Raimunda Rodrigues Marques
- 6 Adeline Marques da Silva
- 7 Aurivaldo Gomes Pontes
- 8 RAYNIE DIAS DA SILVA
- 9 KAYARA DA SILVA PONTES
- 10 Mikaelle Oliveira Vieira
- 11 Leticiane Cristina Gomes Vaz
- 12 Valquiria Gomes de Moraes
- 13 Yone Cruz
- 14 ANILRPI DA SILVA DA COSTA
- 15 Edigone Marinho Lavalcanti
- 16 Evelynly Gndy Lavalcanti
- 17 Tailane de Costa Cruz
- 18 Tatiane Pereira da Costa
- 19 Tamara da Costa Cruz
- 20 Jansenia da Costa Cruz
- 21 Leticiane de Oliveira Leandro
- 22 Leticia Gomes da Costa
- 23 Anabilson Santos da Costa
- 24 Manoel dos Santos Cruz
- 25 Brunilde dos Santos Silva
- 26 Cristiane Silva Cruz
- 27 Burea Brunora Silva Cruz
- 28 Cristiane Reduga Silva Cruz
- 29 Gláucia Lima dos Santos
- 30 Andry Santos da Costa
- 31 Rosamundo dos Santos Melo
- 32 Ademilson dos Santos
- 33 Andry Santos da Costa
- 34 Kelliane Silva da Silva
- 35 Ademilson Silva de Moraes
- 36 Guizmaria Cruz Barbosa
- 37 GEOVANE BARBOSA DA SILVA
- 38 Geovani Barbosa da Silva
- 39 Geovane Barbosa da Silva
- 40 Raimunda Gomes da Silva
- 41 Suleta Dias da Silva
- 42 INGRID DIAS DA SILVA
- 43 Leticiane Gomes Cruz
- 44 Ricardo Gomes Cruz da Costa
- 45 Jader Gomes Cruz
- 46 Luciana Cruz
- 47 MOREI Denes Cortez
- 48 Ana Clara Pontes
- 49 Gabriel Gomes
- 50 Manoel Cruz
- 51 Dauzenara Santos da Silva
- 52 Denes Gomes da Silva
- 53 Riquelme Gomes da Silva
- 54 Silvana Gomes Pontes
- 55 Suelly Gomes Pontes
- 56 Francisca Gomes
- 57 JOSE NEIVA
- 58 FRIK Cruz
- 59 Manoel Cruz
- 60 Waldemar da Silva Teixeira Etim

Manaus, 29 de novembro de 2017.

Aos indígenas da aldeia Terra Preta
Polo Base Nossa Sra. da Saúde do DSEI Manaus
Manaus-Amazonas

Assunto: Solicitação de uso de dados.

Prezados senhores.

Solicito de Vossa Senhoria autorização para que eu, Consuelo Andrade Simões Clebsch (Geóloga/Distrito Sanitário Especial Indígena Manaus -DSEI MAO); responsável pelo monitoramento da qualidade da água em aldeias indígenas (MQAI) deste DSEI e discente do Curso de Pós- Graduação em Geociências (UFAM), utilize os dados do poço tubular desta aldeia obtidos no período de julho de 2016 a dezembro de 2017.

Essas informações contribuirão para o desenvolvimento da pesquisa "CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS TUBULARES EM ALDEIAS INDÍGENAS NA REGIÃO DA AMAZÔNIA CENTRAL", com a finalidade de verificar a melhoria na saúde dos indígenas com a implantação do MQAI nesta aldeia.

Atenciosamente,


Consuelo A. Simões Clebsch
Geóloga e responsável pelo MQAI do DSEI MAO

Assinatura do aldeados

De acordo:

Samuel Aleixo Bruno Paulino

Chopomura Silva Melo

Timoteus Taurumare Araújo

Laurentino Taurumare Araújo

Neuvelene Cruz da Silva

Gilmarlee Bruno

Cláudio da Silva

Cláudio Almeida Paulino

Percinda Aleixo Bruno

Questiona dos Santos Andrade

Valter Casimiro da Silva

Deborah Bruno da Silva

Elizabete da Silva

Elaine da Silva Brazão

Meiry Taje P. da Silva

Edis Aleixo da Silva

Samilly Rocha de Oliveira Paulino

Samuel de Oliveira Paulino

Samuel Paulo

Regimunda Gomes de Oliveira

Rosane de Oliveira Paulino

Teodoro Paulino Aleixo

Manoel Paulino de Oliveira

William Paulino Aleixo

Natália Paulino da Silva

Roberto Paulino da Silva

Alcides Paulino de Oliveira

Samuel Paulino de Oliveira

Osvaldo Aleixo Bruno Paulino

Alida Paulino

SABINA DE OLIVEIRA PAULINO

Teodoro

Bruno Fideiro Aleixo

Rezael Cordeiro Aleixo

Marcelo da Silva Clemente

Wilson Escobar Laurence

Sheila Cordeiro Aleixo

Agline Américo Cordeiro

Serenias Silva Aleixo

Patricia Yacumany

Joqueline Yacumany Aleixo

Marino Carlos

Eunice Pereira

Marionna Carlos

Alfonso Pereira

André Vilas

Rosine Pereira

Adriano Silva

Renato Silva

Ernani Silva Aleixo

Isabel Pereira Aleixo

Sônia Pereira

Marcelo Silva

Fernando Gomes de Souza

Manuel Gomes de Oliveira

Sansão Araújo Caldas

Gleice Yacumany Caldas

Flora Yacumany

Feliciano Serafim
Dália Yaurumaly
Sonia Bruno Aleixo
Cristiano Moraes
Sonia Pereira
Cleiane Pereira Moraes
Demétrio Ventura
Arnaldo Yaurumaly
Rosa Fernandes
Jéssica Maria
Jana Maria da Costa da Silva
Francisca do Carmo da Silva

Manaus, 29 de novembro de 2017.

Aos indígenas da aldeia Makira
Polo Base Makira do DSEI Manaus
Manaus-Amazonas

Assunto: Solicitação de uso de dados.

Prezados senhores.

Solicito de Vossa Senhoria autorização para que eu, Consuelo Andrade Simões Clebsch (Geóloga/Distrito Sanitário Especial Indígena Manaus -DSEI MAO); responsável pelo monitoramento da qualidade da água em aldeias indígenas (MQAI) deste DSEI e discente do Curso de Pós- Graduação em Geociências (UFAM), utilize os dados do poço tubular desta aldeia obtidos no período de julho de 2016 a dezembro de 2017.

Essas informações contribuirão para o desenvolvimento da pesquisa "CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS TUBULARES EM ALDEIAS INDÍGENAS NA REGIÃO DA AMAZÔNIA CENTRAL", com a finalidade de verificar a melhoria na saúde dos indígenas com a implantação do MQAI nesta aldeia.

Atenciosamente,



Consuelo A. Simões Clebsch
Geóloga e responsável pelo MQAI do DSEI MAO

Assinatura do aldeados

72

Manaus, 02 março de 2018.

A Conselho Distrital de Saúde Indígena - DSEI Manaus

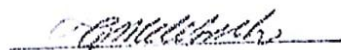
Assunto: Solicitação de uso de dados.

Prezada Coordenadora dra Vera Castelo Branco,

Solicito de Vossa Senhoria autorização para que eu, Consuelo Andrade Simões Clebsch (Geóloga/Distrito Sanitário Especial Indígena Manaus - DSEI MAO); responsável pelo monitoramento da qualidade da água em aldeias indígenas (MQAI) deste DSEI e discente do Curso de Pós- Graduação em Geociências (UFAM), utilize os dados do poço tubular Casa de Saúde do Índio Manaus (CASA/MAO) referente ao período de julho de 2016 a dezembro de 2017.

Essas informações contribuirão para o desenvolvimento da pesquisa "CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS TUBULARES EM ALDEIAS INDÍGENAS NA REGIÃO DA AMAZÔNIA CENTRAL", com a finalidade de verificar a melhoria na saúde dos indígenas com a implantação do MQAI nesta aldeia.

Atenciosamente,



Consuelo A. Simões Clebsch
Geóloga e responsável pelo MQAI do DSEI MAO

Manaus, 02 março de 2018.

A Conselho Distrital de Saúde Indígena -DSEI Manaus

Assunto: Solicitação de uso de dados.

Prezado Presidente Ronaldo Barros.

Solicito de Vossa Senhoria autorização para que eu, Consuelo Andrade Simões Clebsch (Geóloga/Distrito Sanitário Especial Indígena Manaus -DSEI MAO); responsável pelo monitoramento da qualidade da água em aldeias indígenas (MQAI) deste DSEI e discente do Curso de Pós- Graduação em Geociências (UFAM), utilize os dados do poço tubular Casa de Saúde do Índio Manaus (CASA/MAO) referente ao período de julho de 2016 a dezembro de 2017.

Essas informações contribuirão para o desenvolvimento da pesquisa "CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS TUBULARES EM ALDEIAS INDÍGENAS NA REGIÃO DA AMAZÔNIA CENTRAL", com a finalidade de verificar a melhoria na saúde dos indígenas com a implantação do MQAI nesta aldeia.

Atenciosamente,



Consuelo A. Simões Clebsch
Geóloga e responsável pelo MQAI do DSEI MAO

*Ciente
De Acordo*

Ronaldo Barros
Presidente
CONDISI - MANAUS