

Article

Qualidade da Água para Consumo Humano em Comunidades Rurais no Sudoeste da Amazônia

Benone Otávio Souza de Oliveira¹ , Cássia Helena da Silva Nunes² , Railam Xavier Correa³ ,
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva⁴ , Renato Francisco da Silva Souza⁵ , Lucilene dos Santos do Nascimento⁶ ,
Milton César Costa Campos⁷ 

¹ Doutor em Ciências Ambientais na Universidade Federal do Amazonas - UFAM. ORCID: 0000-0002-5404-0409. E-mail: benone@ufam.edu.br

² Graduanda em Engenharia Ambiental na Universidade Federal do Amazonas – UFAM. ORCID: 0000-0003-0047-1542. E-mail: cassiahs.nunes@gmail.com

³ Graduando em Engenharia Ambiental na Universidade Federal do Amazonas – UFAM. ORCID: 0000-0001-5416-5562. E-mail: railamcorrea@gmail.com

⁴ Doutor em Agronomia na Universidade Federal do Amazonas – UFAM. ORCID: 0000-0001-8147-5726. E-mail: douglasmcarcelo@gmail.com

⁵ Doutor em Agronomia na Universidade Federal do Amazonas – UFAM. ORCID: 0000-0001-8213-1722. E-mail: renatofssouza@live.com

⁶ Mestranda em Ciências Ambientais na Universidade Federal do Amazonas – UFAM. ORCID: 0000-0001-7490-596X. E-mail: lucilenesantost10@gmail.com

⁷ Doutor em Agronomia na Universidade Federal da Paraíba – UFPB. ORCID: 0000-0002-8183-7069. E-mail: mcesarsolos@gmail.com

RESUMO

Objetivou-se avaliar a qualidade da água de poços domésticos, por meio de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, em quatro comunidades rurais do sudoeste da Amazônia. Foram coletadas um total de 24 amostras de água nos períodos seco e chuvoso, e analisados os parâmetros temperatura, pH, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, alcalinidade, ortofosfato, amônia, nitrito, nitrato, nitrogênio total, coliformes tolerantes e coliformes totais. A temperatura da água foi maior no período chuvoso em todas as comunidades estudadas. A condutividade elétrica oscilou entre 10 a 93 $\mu\text{S cm}^{-1}$, a alcalinidade entre 6,41 a 27,3 mg L^{-1} e o nitrogênio total entre 1,2 a 7,57 mg L^{-1} . O pH nas comunidades Paraíso Grande e Paraísozinho estão em conformidade com a Resolução do Ministério da Saúde, mas a cor aparente excedeu o limite permitido nessas mesmas comunidades. Os sólidos totais dissolvidos, nitrito e nitrato estão abaixo do nível de tolerância do Ministério da Saúde, enquanto o valor médio de 2,90 mg L^{-1} de amônia está acima do permitido na comunidade Paraíso Grande. A presença de coliformes totais foi detectada em pelo menos um período nas comunidades Paraíso Grande, Cristolândia e Paraísozinho, e apenas nesta última detectou-se *Escherichia coli*.

Palavras-chave: Amazônia; monitoramento ambiental; águas subterrâneas; população rural.

ABSTRACT

Equitable and safe access to safe drinking water is essential to achieving sustainable development goals. Thus, the objective was to evaluate the quality of water from domestic wells, through physical-chemical and microbiological parameters, in four rural communities in the southwest of the Amazon. A total of 24 water samples were collected in the dry and rainy periods, and the parameters analyzed were temperature, pH, total dissolved solids, dissolved oxygen and electrical conductivity, alkalinity, orthophosphate, ammonia, nitrite, nitrate, total nitrogen, tolerant coliforms and coliforms totals. The water temperature was higher in the rainy season in all communities studied. Electrical conductivity ranged from 10 to 93 $\mu\text{S cm}^{-1}$, alkalinity from 6.41 to 27.3 mg L^{-1} and total nitrogen from 1.2 to 7.57 mg L^{-1} . The pH in Paraíso Grande and Paraísozinho complies with the Resolution of the Ministry of Health, but the apparent color exceeded the limit allowed in these same communities. Total dissolved solids, nitrite and nitrate are below the Ministry of Health's tolerance level, while the average value of 2.90 mg L^{-1} of ammonia is above what is allowed in the Paraíso Grande community. The presence of total coliforms was detected in at least one period in the Paraíso Grande, Cristolândia and Paraísozinho communities, and only in the latter was *Escherichia coli* detected.

Keywords: Amazonian; environmental monitoring; groundwater; rural population.



Submissão: 27/07/2023



Aceite: 05/10/2023



Publicação: 27/10/2023



Introdução

Na antiguidade a humanidade considerava a água como um recurso inesgotável, usando de forma irracional e insustentável, proporcionando consequências de proporções globais (Miranda et al. 2018; Simões et al. 2020). No entanto, no atual cenário a água passou a ser um dos recursos naturais mais preciosos do mundo, pois, contempla 71% da superfície da terra, mas apenas uma pequena parcela 0,3% da quantidade de água está disponível para atender as necessidades humanas (Vieira et al. 2020; Kolothumthodi & Pulikkal, 2022).

Por desempenhar um importante papel no desenvolvimento de diversas atividades econômicas e sociais, a necessidade de água limpa se intensificou e, portanto, o acesso à água de qualidade, bem como sua conservação tornou-se um problema chave em escala global. Assim, para garantir a segurança hídrica, a Agenda das Nações Unidas (ONU) para 2030 adotou 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que tem como ODS 6, “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água a todos até 2030 (Arora & Mishra, 2022).

Os problemas relacionados a sua disponibilidade e qualidade nas concentrações urbanas, podem ser potencializadas pelo excesso de cargas de poluição doméstica, industrial e da ocorrência de enchentes urbanas que contaminam os sistemas de abastecimentos, trazendo vulnerabilidade socioambiental a muitas populações (Ramos et al. 2021). Neste termo, o cenário de poluição resulta na redução da disponibilidade de água, o que torna necessária a realização da gestão dos recursos hídricos, por meio da sustentabilidade das águas subterrâneas e superficiais (Vieira et al. 2020; Oliveira et al. 2022).

Na atualidade, a água subterrânea tornou-se uma fonte confiável de água potável no mundo, especialmente nos países em desenvolvimento (Ferreira et al. 2021). Assim, no Brasil a água subterrânea é fonte de abastecimento em aproximadamente 39% dos municípios brasileiros, principalmente em áreas rurais (Simões et al. 2020).

O cenário brasileiro de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2021) 5.335 municípios participaram do diagnóstico referente aos serviços públicos de abastecimento de água, perfazendo 98,6% da população total do país. Neste contexto, em termos de população total do Brasil atendida com redes públicas de abastecimento de água este percentual atinge 177 milhões de habitantes (84,2%), sendo constatado que 15,8% da população rural população no Brasil não tem acesso à água e 44,2% vivem sem rede de coleta de esgoto (Brasil, 2022).

Para Ferreira et al. (2021) no cenário brasileiro, a região norte se destaca com 70% dos recursos hídricos, causando a ilusão de uma infinita reserva hídrica. Ademais, os mesmos autores apontaram que as águas subterrâneas geralmente são utilizadas tradicionalmente para abastecer as comunidades rurais em áreas de várzea e terra firme para o consumo humano, pela facilidade de obtenção.

Por outro lado, Scalize et al. (2021) e Lima et al. (2022) apontam que populações em ambientes rurais são obrigados a buscar fontes alternativas para obter água, visto que, as coberturas de serviços de abastecimento de água nessas localidades são insuficientes, o que causa baixa qualidade de vida, saúde e bem-estar para os comunitários. Portanto, o monitoramento contínuo da qualidade de água por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos nestas comunidades rurais é de grande importância para o equilíbrio ambiental e promoção de saúde pública (Miranda et al. 2018; Ferreira et al. 2021; Scalize et al. 2021; Crispim e Fernandes, 2022; Fohrer et al. 2022; Oliveira et al. 2022).

A complexidade dos parâmetros monitorados, traduzem as principais características da água, as quais devem estar de acordo com Portaria n. 888 de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde que apresenta as normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano (Brasil, 2021).



Neste contexto, sabendo da necessidade de abastecimento de rede de água pública de qualidade em ambientes rurais como na região amazônica, o estudo teve como embasamento o panorama de acesso ao consumo de água enfrentadas pela população rural, a falta de infraestrutura física e institucional, com foco na formulação de políticas públicas. Com base nisso, o estudo objetivou avaliar a qualidade da água, a partir dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, de poços domésticos utilizados pelas comunidades rurais de Paraíso Grande, Paraísozinho, Cristolândia e Ipixuna, no município de Humaitá, sudoeste da Amazônia brasileira.

Material e Métodos

Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida na área territorial do município de Humaitá, região sul do Estado do Amazonas, sob as coordenadas 07°32'01"S de latitude e 63°03'02"W. Apresenta elevada extensão territorial de 33.072 km², possui uma população estimada de 57.195 habitantes no ano de 2021, e distante aproximadamente 700 km de Manaus, capital do estado do Amazonas (IBGE, 2022).

Na pesquisa foram escolhidas quatro comunidades rurais (Figura 1), duas em áreas de terra firme (Cristolândia e Ipixuna) e em várzea (Paraíso Grande e Paraísozinho), conforme as características a seguir:

- Ipixuna: Localizado as margens da BR-230 Transamazônica sob as coordenadas 7° 31' 31.10" S / 63° 20' 51.40" W, com 40 km de distância da cidade de Humaitá, apresenta uma população fixa estimada de 335 habitantes. O uso e ocupação do solo na comunidade corresponde a moradia e ao potencial turístico.
- Paraísozinho: Situada na margem direita do rio Madeira, com cerca de 3.760 km de distância do município de Humaitá com as coordenadas geográficas 7° 31' 53.35" S e 62° 59' 40.28" W, e população com um pouco menos de 100 habitantes. Na comunidade o uso da terra está diretamente relacionada a moradia, agricultura familiar e extrativismo.
- Paraíso Grande: Localizada a margem direita do rio Madeira com as coordenadas geográficas 7° 32' 48.53" S e 62° 58' 6.09" W, 7 km de distância do município de Humaitá e aproximadamente 150 habitantes. Apresentando o uso e ocupação do solo, com destaque para a moradia, agricultura familiar e extrativismo.
- Cristolândia: Estando localizada a margem direita da BR 319 sentido Humaitá-Porto velho/RO sob as coordenadas geográficas 7° 53' 22.7" S e 63° 17' 12.49" W, possui aproximadamente cerca de 450 habitantes, com uso do solo diretamente voltado para a moradia.

É importante destacar que as comunidades estudadas não apresentam sistemas de tratamento de água, efluentes e resíduos sólidos, dispendo em ambientes a céu aberto.

De acordo com os critérios de classificação de Koppen, o clima da região é caracterizado como tropical úmido apresentando um período chuvoso prolongado e com pouca duração de período seco (AM), temperatura média anual variando entre 25 a 27°C, pluviosidade variando em torno de 2.200mm e umidade relativa do ar atmosférico entre 85 e 90% (Alvares et. al. 2013).

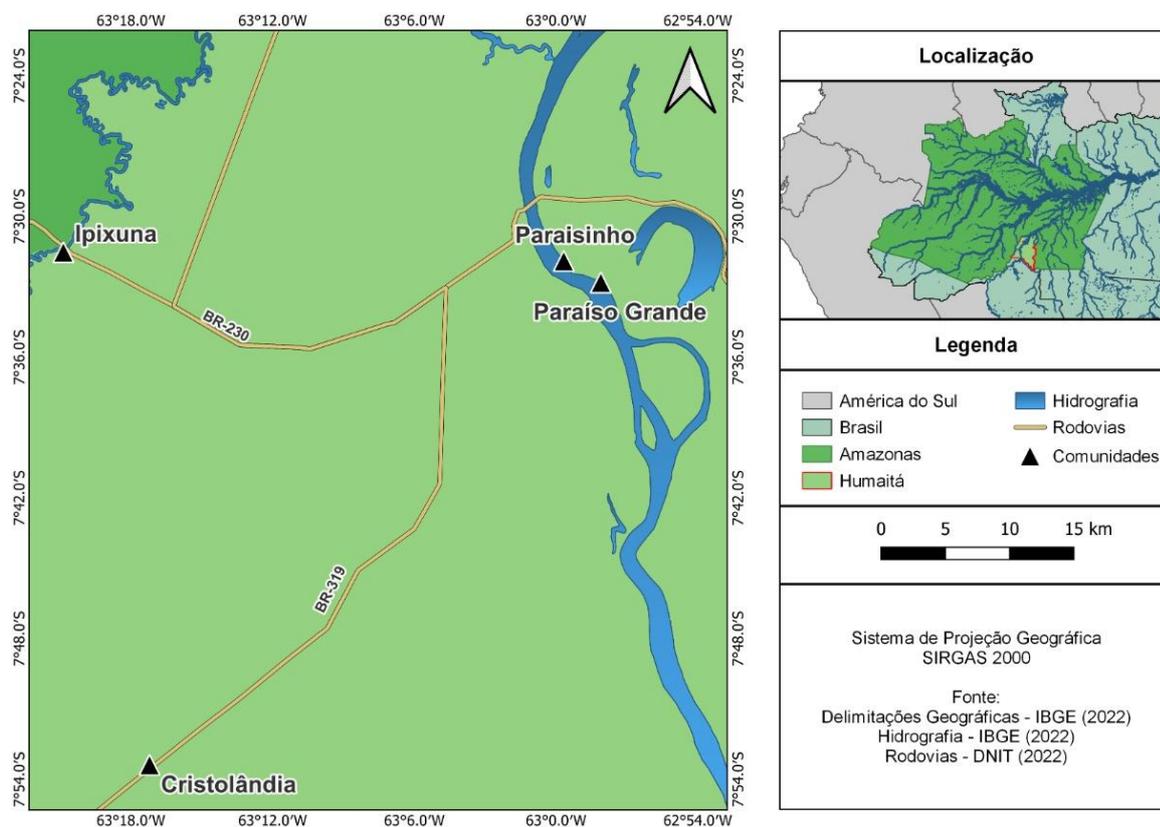


Figura 1. Localização das comunidades rurais estudadas. Fonte: Autores.

A geologia da região é formada por materiais sedimentares de diferentes naturezas, uma de terra firme formada por argilitos e siltitos da Formação Solimões, do Plioceno Médio – Pleistoceno Superior, provenientes de deposições de ambientes continentais, fluviais e lacustres, e outra parte por uma planície fluvial constituída por sedimentos aluviais recentes, holocênicos (Brasil, 1978). Esse fator, associado aos demais fatores de formação dos solos ocasionou a predominância de solos profundos e acentuadamente drenados, classificados como Latossolos Amarelos nas áreas de terra firme, e de Neossolos Flúvicos altamente férteis nas áreas de várzea (Campos et. al. 2012).

Amostragem de água

Primeiramente foram realizadas coletas de dados pré-existentes na literatura científica, onde posteriormente foi realizado visitas *in loco* nas comunidades, com registro fotográfico para avaliar a infraestrutura, caracterizar as formas de consumo de água e determinar os pontos de coleta.

A amostragem de águas subterrâneas foi realizada nas comunidades Paraíso Grande, Paraisinho, Cristolândia e Ipixuna (Figura 1), em três pontos de monitoramento em cada comunidade. Duas amostragens foram realizadas no período chuvoso (novembro de 2021) e outra no final do período seco (maio de 2022), com base na pesquisa desenvolvida por Martins et. al. (2019), totalizando 24 amostras coletadas.

As comunidades não têm sistema de armazenamento e tratamento de água, ela é captada via bombeamento do aquífero e destinada diretamente para as residências. Portanto, para as coletas, foram selecionados três pontos de captação de água nas proximidades dos poços. Antes de cada coleta, os pontos de captação passaram



por assepsia com álcool 70% e a água acumulada na tubulação escoada por cerca de 2 minutos. As amostras foram armazenadas em frascos de polietileno com capacidade de 500 mL e com tampa vedante.

Durante as coletas de água tomaram-se todos os cuidados com a preservação das amostras, armazenamento e transporte, a fim de não haver alteração na qualidade física, química e bacteriológica das mesmas. Os recipientes foram identificados com o número do ponto da coleta com a sua respectiva localização e data com a indicação dos parâmetros analisados.

Análise final da água

As análises de alcalinidade, ortofosfato, amônia, nitrito, nitrato, nitrogênio total, coliformes tolerantes e coliformes totais foram analisadas no Laboratório Análise de Água, Efluentes, Solo, Ar e Derivados do Petróleo –LAPEF em Porto Velho – RO, conforme procedimentos descritos na 22ª edição do *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Apha, 2012).

Os parâmetros temperatura, pH, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica (CE) foram analisados *in loco* por meio de uma sonda móvel *Multiparameter*, HI 98193 – HANNA e medidor multiparâmetro de bolso – AKSO, calibrados, de acordo com o determinante de estudo. Enquanto a determinação da cor aparente e verdadeira foram determinadas no laboratório de engenharia ambiental da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, usando o medidor de cor portátil para água (modelo AK530 – AKSO). Na avaliação da potabilidade da água para consumo humano, os resultados foram comparados aos parâmetros de potabilidade da Portaria vigente do Ministério da Saúde n. 888/2021.

Resultados e Discussões

Todas as comunidades estudadas utilizam águas subterrâneas como principal fonte de abastecimento para suprir todas as necessidades humanas dos moradores. Oliveira e Ramires (2019) e Simões et al. (2020) enfatizam que as manutenções e construções apropriadas dessas fontes de abastecimento refletem em qualidade de vida e da saúde pública, além disto se faz necessário o monitoramento das características físicas, químicas e microbiológicas.

Os resultados físico-químicos das amostras de águas coletadas e analisadas nos períodos de estiagem e hidrológicos estão apresentados na Tabela 1 e 2 e microbiológicos na Tabela 3.

A temperatura não está incluída dentro dos parâmetros organolépticos de potabilidade definidos pela Portaria MS n. 888/2021, todavia, apresentam uma relação direta com a multiplicação bacteriana (Miranda et al. 2018).

Em comparação com outros estudos na região, os valores obtidos de temperatura corroboram com os estudos de Ferreira et al. (2021), quando avaliaram a qualidade de potabilidade da água subterrânea em áreas rurais no município de Humaitá, Amazonas.

Ademais, a temperatura da água nas comunidades estudadas, apresentaram, no período de chuva (hidrológico), valores superiores à temperatura no período de seca (estiagem). Esses aumentos de temperatura no período chuvoso ocorrem devido a incidência da radiação solar na superfície, onde parte da energia armazenada na estação seca é liberada durante a estação chuvosa, elevando a temperatura da água dos poços (Ferreira et al. 2021).

O parâmetro de condutividade elétrica CE registrou valores entre 10 a 93 $\mu\text{S cm}^{-1}$, com média total em todas as comunidades de 42,79 $\mu\text{S cm}^{-1}$. É importante frisar que a Portaria n. 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde não determina um valor de referência para a CE. No entanto, valores superiores a 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$ são indicativos de contaminação hídrica (Simões et al. 2020).


Tabela 1. Parâmetros físicos da água das comunidades rurais, nos períodos de seca e de chuva.

| Comunidades | Período | Amostra | T | CE | Cor | STD |
|------------------------------|---------|---------|------|-----------------------|------|--------------------|
| | | | °C | $\mu\text{S cm}^{-1}$ | uH | mg L^{-1} |
| Paraíso Grande | Seca | P1 | 23,2 | 47 | 43 | 70 |
| | Chuva | | 28,5 | 93 | 84 | 26 |
| | Seca | P2 | 23,2 | 57 | 57 | 70 |
| | Chuva | | 26,8 | 79 | 74 | 26 |
| | Seca | P3 | 23,2 | 48 | 39 | 70 |
| | Chuva | | 26,4 | 78 | 70 | 26 |
| Paraísoinho | Seca | P1 | 23,3 | 92 | 97 | 80 |
| | Chuva | | 27,5 | 51 | 446 | 21 |
| | Seca | P2 | 23,3 | 86 | 193 | 80 |
| | Chuva | | 27,0 | 47 | 1187 | 21 |
| | Seca | P3 | 23,3 | 55 | 120 | 80 |
| | Chuva | | 28,1 | 60 | 0 | 21 |
| Ipixuna | Seca | P1 | 22,9 | 49 | 0 | <5,0 |
| | Chuva | | 25,6 | 61 | 0 | 9,0 |
| | Seca | P2 | 22,9 | 14 | 4 | <5,0 |
| | Chuva | | 24,6 | 11 | 0 | 9,0 |
| | Seca | P3 | 23,1 | 11 | 2 | <5,0 |
| | Chuva | | 24,8 | 13 | 12 | 9,0 |
| Cristolândia | Seca | P1 | 23,1 | 14 | 2 | <5,0 |
| | Chuva | | 25,4 | 13 | 0 | 6,7 |
| | Seca | P2 | 23,1 | 13 | 4 | <5,0 |
| | Chuva | | 26,2 | 10 | 0 | 6,7 |
| | Seca | P3 | 23,0 | 14 | 2 | <5,0 |
| | Chuva | | 26,1 | 11 | 12 | 6,7 |
| Valor Máximo Permitido (VMP) | | | NFR | NFR | 15 | 500 |

T: Temperatura; CE: Condutividade elétrica; STD: Sólidos totais dissolvidos; NFR: Não faz referência na Portaria N. 888/2021. Fonte: Autores.

As condutividades elétricas (CE) nas comunidades Paraíso Grande e Paraísoinho apresentaram valores superiores a $47 \mu\text{S cm}^{-1}$ em todos os períodos avaliados, e na comunidade de Ipixuna somente no P1. Esses resultados indicam uma maior quantidade de íons presente na água, tais como cloretos (Cl^-), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}) e outros íons dissolvidos na água e podem ser decorrentes de atividades antrópicas, por meio dos lançamentos de efluentes domésticos in natura (Santos et al. 2020; Simões et al. 2020; Ferreira et al. 2021).

Os sólidos totais dissolvidos (STD) apresentaram valores relativamente baixos se comparados como padrão organoléptico da potabilidade de 500 mg L^{-1} definido pela Portaria MS n. 888/2021. A predominância de baixas concentrações de (STD), apresentam valores característicos dos recursos hídricos da região amazônica, conforme relatados por outros autores no Brasil (Simões et al. 2020; Ferreira et al. 2021; Crispim & Fernandes, 2022).



Os sólidos totais são caracterizados pela presença de constituintes sólidos na água, sejam estes minerais ou substâncias que não sejam eletrólitos, e em excesso torna a água desagradável devido à alteração no gosto, desencadeia problemas de corrosão de tubulações e o seu consumo pode causar o acúmulo de sais na corrente sanguínea, causando a formação de cálculos renais (Oliveira & Ramires, 2019; Silva et al. 2022).

A Portaria MS n. 888/2021 estabelece cor aparente em vez de verdadeira cor como padrão organoléptico de potabilidade, com valor máximo de 15 uH. Neste contexto, os valores de cor aparente nas comunidades Paraíso Grande e Paraísozinho foram superiores ao permitido pela legislação, em ambos os períodos estudados (seca e chuvoso). Esses resultados devem-se, provavelmente, a remoção de agentes cimentantes e ligantes da matriz do solo (sílica coloidal, sesquióxidos de Fe e Al e C orgânico) pela ação da água, durante as inundações periódicas inerentes de solos de várzea, como descrito por Campos et al. (2012). Por outro lado, os valores de cor nas comunidades de Ipixuna e Cristolândia foram detectados valores bem inferiores a 15 uH, exigido pela legislação.

Os resultados da cor corroboram com os estudos de Vieira et al. (2020) e Ferreira et al. (2021) onde enfatizam que as características do solo, formação geológica e componentes biológicos, podem causar as mudanças acentuadas de cor em águas superficiais e subterrâneas.

Nos estudos, os valores de pH nas comunidades Paraíso Grande e Paraísozinho estão em conformidade com a Resolução MS nº 888/2021. Para tanto, as comunidades Ipixuna e Cristolândia apresentaram um pH levemente ácido (Tabela 2), em decorrência do gás carbônico dissolvido, processos de lixiviação dos solos, concentrações elevadas de matéria orgânica dissolvida, as quais promovem diminuição do pH das águas subterrâneas e superficiais, além disto, podem causar a alteração do sabor da água, corrosão dos sistemas de distribuição de água e lixiviar os metais (Sousa et al. 2019; Simões et al. 2020; Vieira et al. 2020; Ferreira et al. 2021; Crispim & Fernandes, 2022).

A alcalinidade mede a capacidade da água em neutralizar ácidos, resultante da presença de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos (Bezerra et al. 2018; Sousa et al. 2019; Scalize et al. 2021).

A Portaria MS n. 888/2021 não faz referência para o valor máximo permitido da alcalinidade total em águas para consumo humano. Para tanto, Assis et al. (2017) apontaram que a alcalinidade em concentrações moderadas não possui significado sanitário, porém, em níveis elevados, pode ocasionar um sabor desagradável.

Na tabela 2 observou-se que a concentração do oxigênio dissolvido (OD) em águas subterrâneas das comunidades estudadas oscilaram entre 2,44 mg L⁻¹ a 7,65 mg L⁻¹, nota-se que o OD não é um parâmetro de potabilidade conforme a Portaria MS n. 888/2021.

Em todas as comunidades no período chuvoso o oxigênio dissolvido (OD) variou consideravelmente, apresentando baixa taxa, em virtude de as águas de poços subterrâneos não possuem fontes de oxigenação como algas e turbulência (Santos et al. 2020; Simões et al. 2020). Outros autores relatam que as baixas oxidações podem ser indicativas de contaminação hídrica, devido a elevada concentração de substâncias orgânicas e inorgânicas, provenientes do lançamento de efluentes líquidos que eventualmente podem atingir o aquífero livre utilizado para captação deste recurso (Batista et al. 2017; Costa et al. 2018; Scalize et al. 2021).

Nas comunidades estudadas foram registrados valores de ortofosfato menores que ≤0,7 mg L⁻¹, todavia, na Portaria MS n. 888/2021 não faz referência a valores máximos permissíveis para consumo humano. Neste termo, os resultados indicam menor incidência de poluição da água oriundos de efluentes líquidos, além da redução de matéria orgânica (Scalize et al. 2021).


Tabela 2. Parâmetros químicos da água das comunidades rurais no período de seca e de chuva.

| Comunidade | P | Am | pH | Alc | OD | Ort | NH ₃ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | NT |
|--------------------------|-------|----|--------------------|------|------|-------|-----------------|------------------------------|------------------------------|------|
| | | | mg L ⁻¹ | | | | | | | |
| Paraíso Grande | Seca | P1 | 6,27 | 26,8 | 5,64 | 0,1 | 2,69 | <0,10 | 0,33 | 2,93 |
| | Chuva | | 6,17 | 27,3 | 2,54 | <0,01 | 3,10 | <0,10 | <0,10 | 4,50 |
| | Seca | P2 | 6,41 | 26,8 | 5,58 | 0,1 | 2,69 | <0,10 | 0,33 | 2,93 |
| | Chuva | | 6,12 | 27,3 | 3,07 | <0,01 | 3,10 | <0,10 | <0,10 | 4,50 |
| | Seca | P3 | 6,50 | 26,8 | 2,92 | 0,1 | 2,69 | <0,10 | 0,33 | 2,93 |
| | Chuva | | 6,18 | 27,3 | 2,44 | <0,01 | 3,10 | <0,10 | <0,10 | 4,50 |
| Paraisinho | Seca | P1 | 6,87 | 26,6 | 6,20 | 0,7 | 0,5 | <0,10 | 0,42 | 7,57 |
| | Chuva | | 6,97 | 21,2 | 5,23 | 0,5 | <0,5 | <0,10 | 1,14 | 6,11 |
| | Seca | P2 | 7,32 | 26,6 | 5,90 | 0,7 | 0,5 | <0,10 | 0,42 | 7,57 |
| | Chuva | | 6,87 | 21,2 | 4,47 | 0,5 | <0,5 | <0,10 | 1,14 | 6,11 |
| | Seca | P3 | 7,48 | 26,6 | 7,65 | 0,7 | 0,5 | <0,10 | 0,42 | 7,57 |
| | Chuva | | 7,10 | 21,2 | 3,98 | 0,5 | <0,5 | <0,10 | 1,14 | 6,11 |
| Ipixuna | Seca | P1 | 5,49 | 10,5 | 6,42 | <0,01 | <0,5 | <0,10 | 0,64 | 2,24 |
| | Chuva | | 5,50 | 10,7 | 5,56 | 0,1 | 0,5 | <0,10 | 0,16 | 3,16 |
| | Seca | P2 | 5,35 | 10,5 | 5,64 | <0,01 | <0,5 | <0,10 | 0,64 | 2,24 |
| | Chuva | | 5,54 | 10,7 | 5,82 | 0,1 | 0,5 | <0,10 | 0,16 | 3,16 |
| | Seca | P3 | 5,33 | 10,5 | 5,58 | <0,01 | <0,5 | <0,10 | 0,64 | 2,24 |
| | Chuva | | 5,51 | 10,7 | 5,57 | 0,1 | 0,5 | <0,10 | 0,16 | 3,16 |
| Cristolândia | Seca | P1 | 5,86 | 16,1 | 5,04 | <0,01 | <0,5 | <0,10 | 0,70 | 1,2 |
| | Chuva | | 5,73 | 6,41 | 3,64 | 0,2 | 0,72 | <0,10 | 0,27 | 2,96 |
| | Seca | P2 | 5,57 | 16,1 | 4,95 | <0,01 | <0,5 | <0,10 | 0,70 | 1,2 |
| | Chuva | | 5,55 | 6,41 | 5,34 | 0,2 | 0,72 | <0,10 | 0,27 | 2,96 |
| | Seca | P3 | 5,92 | 16,1 | 5,32 | <0,01 | <0,5 | <0,10 | 0,70 | 1,2 |
| | Chuva | | 6,06 | 6,41 | 5,18 | 0,2 | 0,72 | <0,10 | 0,27 | 2,96 |
| r Máximo Permitido (VMP) | | | 6 a 9 | NFR | NFR | NFR | 1,2 | 1,0 | 10 | NFR |

P: Períodos estudados; Am: Pontos de amostragem; Alc.: Alcalinidade; Ort: Ortofosfato; NH₃: Amônia; NO₂⁻: Nitrito; NO₃⁻: Nitrito; NT: Nitrogênio total; NFR: Não faz referência na Portaria N. 888/2021. Fonte: Autores.

Os valores de amônia para a comunidade Paraíso Grande, apresentaram valores acima do permitido, com média de 2,69 mg L⁻¹ no período de seca e 3,1 mg L⁻¹ no período de chuva. Em contraste, os resultados de amônia nas demais comunidades apresentaram quantidades bem abaixo do valor máximo permitido pela Portaria MS n. 888/2021.

No que concerne ao nitrogênio total a Portaria MS n. 888/2021 não estabelece valor de referência. Todavia, nas comunidades em estudos, todas as coletas, de ambos os períodos, apresentaram valores oscilando entre 1,2 mg L⁻¹ e 7,57 mg L⁻¹, com potencial de contaminação da qualidade da água oriundos de efluentes líquidos.



Os valores de nitrito e nitrato obtidos em todos os poços das comunidades estudadas foram inferiores ao estabelecido pela Portaria n. 888/2021, do Ministério da Saúde, onde se define o valor máximo permitido de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ e 10 mg L^{-1} , respectivamente.

Resultados semelhantes para nitrito e nitrato foram obtidos por Costa et al. (2018) na avaliação de água de poços e cacimbas do município de Humaitá, Amazonas, por Ferreira et al. (2021) na avaliação da qualidade de potabilidade da água subterrânea em áreas rurais no município de Humaitá, Amazonas, com valores que variaram de $0,01$ até $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ para nitrito e de $0,01$ a $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, para nitrato, bem como pelas pesquisas de Grott et al. (2018) em estudos da variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá, Amapá, Brasil.

Araújo et al. (2013) enfatiza que as concentrações de nitrato em águas subterrâneas normalmente ficam abaixo de 5 mg L^{-1} . Ademais, os resultados de nitrito e nitrato indicam redução da incidência de problemas de saúde e de prejuízos ambientais (Santos et al. 2020). Corroborando com outros estudos onde se apontam que a presença de nitritos e nitratos em águas subterrâneas indicam processos biológicos ativos influenciados por poluição orgânica, uso e ocupação do solo (Sousa et al. 2019; Cunha et al. 2020; Ferreira et al. 2021).

Na tabela 3 são apresentados os resultados de coliformes totais e *Escherichia coli* da água nas comunidades rurais. Neste estudo em todas as análises das águas das comunidades de Paraíso Grande e Cristolândia, os resultados apresentaram presença de coliformes totais, em todos os períodos estudados, em relação a comunidade de Paraíso Grande houve presença de coliformes totais somente no período seco, ambos os casos não estão em conformidade com a Portaria n. 888/2021 do Ministério da Saúde. É importante frisar que a norma brasileira cita que, em águas procedentes de poços e outras fontes alternativas de abastecimento, poderá ocorrer a presença de coliforme totais, sendo necessário ter a ausência total para *Escherichia coli* (Brasil, 2021).

De acordo com a Tabela 3, é possível observar que a comunidade de Ipixuna apresentou ausência de ambos os microrganismos. Simões et al. (2020) apontam que tal ausência pode estar relacionados com os aspectos higiênicos-sanitários dos comunitários.

No que concerne à *Escherichia coli*, as comunidades Paraíso Grande, Ipixuna e Cristolândia, em ambas as coletas há ausência destes, podendo ser evidenciado que as referidas amostras se encontram em conformidade com a Portaria MS nº. 888 de maio de 2021.

Por outro lado, na comunidade de Paraíso Grande se evidenciou a presença de coliformes totais e *Escherichia coli*, indicativo de poluição fecal das águas, e com potencial de exposição de doenças de veiculação hídrica junto à população (Ferreira et al. 2021; Specian et al. 2021). Simões et al. (2020) e Santos et al. (2020) relataram que as condições de usos, estruturas, manutenção dos poços e lançamento de efluentes líquidos, comprometem diretamente seu uso.

Tabela 3. Parâmetros microbiológicos das comunidades rurais no período de seca e de chuva.

| Comunidades | Período | Amostra | Coliformes Totais | <i>Escherichia coli</i> |
|----------------|---------|---------|-------------------|-------------------------|
| | | | NMP/100ml | |
| Paraíso Grande | Seca | P1 | Presença | Ausente |
| | Chuva | | Ausente | Ausente |
| | Seca | P2 | Presença | Ausente |
| | Chuva | | Ausente | Ausente |
| | Seca | P3 | Presença | Ausente |
| | Chuva | | Ausente | Ausente |
| | Seca | P1 | Presença | Ausente |



| | | | | |
|-------------------------------------|-------|----|----------------|----------------|
| Paráísinho | Chuva | | Presença | Presença |
| | Seca | | Presença | Ausente |
| | Chuva | P2 | Presença | Presença |
| | Seca | | Presença | Ausente |
| | Chuva | P3 | Presença | Presença |
| | Seca | | Ausente | Ausente |
| Ipixuna | Chuva | P1 | Ausente | Ausente |
| | Seca | | Ausente | Ausente |
| | Chuva | P2 | Ausente | Ausente |
| | Seca | | Ausente | Ausente |
| | Chuva | P3 | Ausente | Ausente |
| | Seca | | Ausente | Ausente |
| Cristolândia | Seca | P1 | Presença | Ausente |
| | Chuva | | Presença | Ausente |
| | Seca | P2 | Presença | Ausente |
| | Chuva | | Presença | Ausente |
| | Seca | P3 | Presença | Ausente |
| | Chuva | | Presença | Ausente |
| Valor Máximo Permitido (VMP) | | | Ausente | Ausente |

Fonte: Autores.

Conclusões

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas subterrâneas apresentam frequentes mudanças na qualidade da água das comunidades próximas a Humaitá/AM durante os períodos de estiagem e hidrológicos.

Os parâmetros sólidos totais dissolvidos, nitrato e nitrito apresentaram-se adequados para o consumo humano em todas as comunidades, exceto o parâmetro pH que está abaixo do permitido em todos os períodos na comunidade de Ipixuna, e a cor aparente nas comunidades de Paraíso grande e Paráísinho.

As comunidades de terra firme apresentaram melhor qualidade de água subterrânea em comparação com as comunidades em área de várzea, em decorrência da presença acentuada de efluentes líquidos, hábitos e manuseio inadequados das fontes de abastecimento, vulnerabilidade dos poços, vazante e cheia do Rio Madeira.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal do Amazonas pela concessão da bolsa de iniciação científica e apoio de infraestrutura para realizar esse trabalho.

Referências

APHA, AWWA, WEF 2012. American Public Health Association; American Water Works Association; World Economic Forum. Standard Methods for examination of water and wastewater. 22 ed. Washington APHA.

Alvares, CA, Stape, JL, Sentelhas, PC, Gonçalves, JDM, Sparovek, G 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22(6):711-728.



Araújo CF, Hipólito JR, Watchman AV 2013. Avaliação da qualidade da água de poço. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 72(1):53-58.

Arora NK, Mishra I 2022. Current scenario and future directions for sustainable development goal 2: a roadmap to zero hunger. *Environmental Sustainability [online]*, 5:129–133.

Assis DMS, Lima AB, Silva ERM, Santos Silva A, Barbosa, ICC 2017. Avaliação dos parâmetros físico-químicos da água de abastecimento em diferentes bairros do Município de Salvaterra (Arquipélago do Marajó, PA). *Revista Virtual de Química*, 9(5):1825-1839.

Batista DF, Cabral JBP, Rocha T, Barbosa G 2017. Avaliação do oxigênio dissolvido nas águas do ribeirão Paraíso em Jataí-GO e córrego Tamanduá em Iporá-GO. *Caminhos de Geografia*, 18(64):296-309.

Bezerra ADA, Rocha JC, Nogueira ER, Sousa DML, Araujo FGDM, Brandao MGA, Pantoja LDM 2018. Análise situacional da qualidade de água subterrânea oriunda de poços da região metropolitana de fortaleza, ceará, brasil. *Acta Biomedica Brasiliensia [online]*, 9(1):94-104.

BRASIL 1978. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radam Brasil, folha SB. 20, Purus. Brasil, Rio de Janeiro, RJ.

Brasil 2021. Ministério da saúde. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília- DF.

Brasil 2022. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. SNIS – Sistema nacional de informações em saneamento básico. Diagnostico do Manejo de Resíduos Sólidos, 2021. Brasil, Brasília, DF.

Campos MCC, Ribeiro MR, Souza Júnior VS, Ribeiro Filho MR, Almeida MC 2012. Topossequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. *Acta Amazônica [online]*, 42(3):387-398.

Costa TACR, Oliveira BOS, Valente KS 2018. Avaliação da qualidade de águas de poços cacimbas e rasos no município de Humaitá-AM. *EDUCA Amazônia*, 20(1):157-172.

Crispim DL, Fernandes LL 2022. Application of the Rural Water Sustainability Index (RWSI) in Amazon rural communities, Pará, Brazil. *Water Policy [online]*, 24(2):282-304.

Cunha GD, Castro DB, Santos AV, Caramello NDA, Stachiw R, Quadros Tronco KM 2020. Qualidade da água de poços em Rolim de Moura do Guaporé, Rondônia. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon [online]*, 9(2):1-9.

Ferreira LA, Pimentel ET, Silva RBP, Santos AA 2021. Avaliação da qualidade de potabilidade da água subterrânea em áreas rurais no município de Humaitá/AM. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais [online]*, 12(1):721-729.

Fohrer N, Wagner PD, Kiesel J, Haas M, Guse B 2022. A guideline for spatio-temporal consistency in water quality modelling in rural areas. *Hydrological Processes [online]*, 36(11):1-6.



Grott SL, Façanha EB, Furtado RN, Cunha HFA, Cunha ACD 2018. Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá, Amapá, Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental [online]*, 23(4):645-654.

IBGE 2022. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama do município de Humaitá. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/humaita/panorama>. Acesso em 28 de novembro de 2022.

Kolothumthodi SA, Pulikkal AK 2022. Water quality assessment of open wells in Malappuram district, Kerala, India. *AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society [online]*, 71(12):1325-1331.

Lima FS, Scalize PS, Gabriel EFM, Gomes RP, Gama AR, Demoliner M, Spilki FR, Vieira JDG, Carneiro LC 2022. Escherichia coli, Species C Human Adenovirus, and Enterovirus in Water Samples Consumed in Rural Areas of Goiás, Brazil. *Food and Environmental Virology [online]*, 14:77-88.

MARTINS, PAS, QUERINO, CAS, MOURA, MAL, QUERINO, JKAS, MOURA, ARM 2019. Variabilidade espaço-temporal de variáveis climáticas na mesorregião sul do Amazonas. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais [online]*, 10(2):169-184.

Miranda FS, Silva JJB, Mota LHS, Santos RS, Amor ALM, Silva IMM 2018. Quality of water for human consumption in a rural area community from Brazil. *African Journal of Microbiology Research [online]* 12(29):688-696.

Oliveira JFD, Coelho G, Lima Domingos AL, Silva Amorim J 2022. Water quality in microbasins and springs of the mineral water region of Minas Gerais State, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment [online]*, 194(3):222.

Oliveira PT, Ramires I 2019. Análise da qualidade das águas de poços rasos no assentamento Itamarati em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental [online]*, 8(3):88-114.

Ramos CF, Laureano JJ, Rosa ALD, Gomes BM, Gomes JPO, Oliveira GA, Mendonça AP, Bastos WR, Nascimento EL 2021. Evaluation of the quality of groundwater in the municipality of Ji-Paraná, Rondônia, in the Brazilian Amazon region. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais [online]*, 12(7):225-235.

Santos LF, Marinho ER, Moreira FSA, Carneiro BS, Faial KCF 2020. Avaliação da qualidade da água da baía do Guajará em Belém/PA. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais [online]*, 11(2):367-380.

Scalizer PS, Gabriel EFM, Lima FS, Arruda PN, Lopes HTL, Paula Reis Y, Carneiro LC, Bezerra NR, Fiaccadori FS, Baumann LRF 2021. Physicochemical, microbiological quality, and risk assessment of water consumed by a quilombola community in midwestern Brazil. *Environmental Science and Pollution Research [online]* 28:35941-35957.

Silva CDMB, Costa DR, Costa HP, Carmo SJM, Ferreira JEDSM, Sousa Dantas DR, Frota SS, Vieira Filho JGB, Garcia CVLC 2022. Avaliação da qualidade da água consumida em comunidades rurais do Brasil: revisão bibliográfica. *Estudos Avançados sobre Saúde e Natureza [online]*, 6.

Simões MC, Morales GP, Bicara CNC 2020. Avaliação da qualidade da água de poços domésticos em comunidades rurais no Arquipélago de Marajó – PA. *Revista Brasileira de Geografia Física [online]*, 13(5):2462-2475.



Sousa CRNA, Matias AO, Santos Filho FC, Sarmiento RG, Gomes MFC, Costa MF 2019. Análise da qualidade da água de três propriedades rurais do município de Floriano, Piauí. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS) [online]*, 9(2):17-23.

Specian AM, Specian AMP, Nascimento AL, Dal Col R, Daros VDSMG, Mattos EC, Silva VR 2021. Ocorrência de bactérias heterotróficas, coliformes totais e *Escherichia coli* em amostras de água de abastecimento público de dois municípios do Estado de São Paulo. BEPA. *Boletim Epidemiológico Paulista*, 18(205):13-22.

Vieira IFB, Rolim Neto FC, Carvalho MN, Caldas AM, Costa RCA, Silva KSD, Parahyba RBV, Pachecho FAL, Fernandes LFS, Pissarra TCT 2020. Water security assessment of groundwater quality in an anthropized rural area from the atlantic forest biome in Brazil. *Water [online]*, 12(3):623.