

Qualidade da água e bem-estar humano: uma avaliação na agrovila N2, zona rural de Petrolina, Semiárido de Pernambuco, Brasil

Water quality and human well-being: an assessment in agrovillage N2, rural area of Petrolina, semi-arid region of Pernambuco, Brazil

Kleythyany Lacerda Nunes

Universidade do Estado da Bahia
Juazeiro, Brasil
kleythyany@gmail.com

 ORCID: 0009-0007-5760-1471

Natan Silva Pereira

Universidade do Estado da Bahia
Salvador, Brasil
nspereira@uneb.br

 ORCID: 0000-0002-3307-2655

Silvana Souza Martins

Universidade do Estado da Bahia
Juazeiro, Brasil
martins.silvana@bol.com.br

 ORCID: 0009-0007-7831-309X

Informações do artigo

Recibido: 25/08/2023

Revisado: 30/09/2024

Aceptado: 02/10/2024

Online: 27/02/2025

Publicado: 10/07/2025

ISSN 2340-8472

ISSNe 2340-7743

DOI 10.17561/at.27.8246

 CC-BY

© Universidad de Jaén (España).
Seminario Permanente Agua, Territorio y Medio Ambiente (CSIC)

RESUMO

A qualidade da água é vital para a saúde e prevenção de doenças. O PLANSAB de 2013 visa ampliar o acesso ao saneamento básico, incluindo água potável, até 2033. Contudo, após uma década, muitas regiões permanecem desassistidas. Este estudo foi realizado na agrovila N2, localizado no semiárido brasileiro com o objetivo de avaliar a qualidade da água em áreas não cobertas pelo PLANSAB. Foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas em amostras de água. Os resultados indicaram riscos à saúde humana devido à presença de contaminação microbiana e alterações nos parâmetros de cor e turbidez da água, tornando-a inadequada para consumo humano. Regiões rurais enfrentam desafios específicos que demandam estudos, regulamentações e políticas públicas para assegurar o direito ao acesso à água limpa.

PALAVRAS-CHAVE: Água limpa, Saúde pública, Parâmetros físico-químicos e microbiológicos, Gestão hídrica.

ABSTRACT

Water quality is vital for health and disease prevention. The 2013 PLANSAB aims to expand access to basic sanitation, including drinking water, by 2033. However, after a decade, many regions remain unserved. This study was conducted in agrovillage N2, located in the Brazilian semiarid region, with the aim of evaluating water quality in areas not covered by PLANSAB. Physicochemical and microbiological analyses were performed on water samples. The results indicated risks to human health due to the presence of microbial contamination and changes in the color and turbidity parameters of the water, making it unsuitable for human consumption. Rural regions face specific challenges that require studies, regulations, and public policies to ensure the right to access clean water.

KEYWORDS: Clean water, Public health, Physicochemical and microbiological parameters, Water management.

Calidad del agua y bienestar humano: una evaluación en la agroaldea N2, zona rural de Petrolina, región semiárida de Pernambuco, Brasil

RESUMEN

La calidad del agua es vital para la salud y la prevención de enfermedades. El PLANSAB de 2013 tiene como objetivo ampliar el acceso al saneamiento básico, incluida el agua potable, para 2033. Sin embargo, después de una década, muchas regiones siguen sin recibir asistencia. Este estudio se llevó a cabo en la agroaldea N2, ubicada en la región semiárida de Brasil, con el objetivo de evaluar la calidad del agua en áreas no cubiertas por PLANSAB. Se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos en muestras de agua. Los resultados indicaron riesgos para la salud humana debido a la presencia de contaminación microbiana y cambios en los parámetros de color y turbidez del agua, haciéndola no apta para el consumo humano. Las regiones rurales enfrentan desafíos específicos que requieren estudios, regulaciones y políticas públicas para garantizar el derecho al acceso al agua potable.

PALABRAS CLAVE: Agua limpia, Salud pública, Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, Gestión del agua.

Qualité de l'eau et bien-être humain : une évaluation dans l'agrovillage N2, zone rurale de Petrolina, région semi-aride de Pernambuco, Brésil

RÉSUMÉ

La qualité de l'eau est vitale pour la santé et la prévention des maladies. Le PLANSAB 2013 vise à élargir l'accès à l'assainissement de base, y compris à l'eau potable, d'ici 2033. Cependant, après une décennie, de nombreuses régions restent sans aide. Cette étude a été réalisée dans l'agrovillage N2, situé dans la région semi-aride brésilienne, dans le but d'évaluer la qualité de l'eau dans les zones non couvertes par PLANSAB. Des analyses physicochimiques

et microbiologiques ont été réalisées sur des échantillons d'eau. Les résultats ont indiqué des risques pour la santé humaine dus à la présence d'une contamination microbienne et à des changements dans les paramètres de couleur et de turbidité de l'eau, la rendant impropre à la consommation humaine. Les régions rurales sont confrontées à des défis spécifiques qui nécessitent des études, des réglementations et des politiques publiques pour garantir le droit d'accès à l'eau potable.

MOTS-CLÉ: Eau propre, Santé publique, Paramètres physicochimiques et microbiologiques, Gestion de l'eau.

Qualità dell'acqua e benessere umano: una valutazione nell'agrovillaggio N2, area rurale di Petrolina, regione semi-arida del Pernambuco, Brasile

SOMMARIO

La qualità dell'acqua è vitale per la salute e la prevenzione delle malattie. Il PLANSAB del 2013 mira ad espandere l'accesso ai servizi igienico-sanitari di base, compresa l'acqua potabile, entro il 2033. Tuttavia, dopo un decennio, molte regioni rimangono senza assistenza. Questo studio è stato condotto nell'agrovillaggio N2, situato nella regione semiarida brasiliana, con l'obiettivo di valutare la qualità dell'acqua nelle aree non coperte da PLANSAB. Sui campioni di acqua sono state effettuate analisi fisico-chimiche e microbiologiche. I risultati hanno indicato rischi per la salute umana dovuti alla presenza di contaminazione microbica e ai cambiamenti nei parametri di colore e torbidità dell'acqua, rendendola inadatta al consumo umano. Le regioni rurali devono affrontare sfide specifiche che richiedono studi, normative e politiche pubbliche per garantire il diritto di accesso all'acqua pulita.

PAROLE CHIAVE: Acqua pulita, Sanità pubblica, Parametri fisico-chimici e microbiologici, Gestione dell'acqua.

Introdução

A qualidade de vida e o bem-estar humanos dependem da saúde do meio ambiente¹. Por isso, saúde e sustentabilidade são critérios essenciais para a manutenção de um ecossistema saudável e benéfico². No entanto, o crescimento populacional e as crescentes demandas nos setores agropecuários, industriais, pesqueiros e outros têm causado problemas significativos de poluição nas águas superficiais e subterrâneas³. Isso leva à redução da disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos⁴.

A poluição de águas superficiais e subterrâneas por fontes específicas, como esgotos e descargas de águas residuais industriais, é uma ameaça para os recursos de água doce⁵. A poluição das águas superficiais, causada pelo crescimento populacional e atividades humanas, impactam o consumo e podem prejudicar a qualidade das águas subterrâneas. Como consequência, as ações antrópicas provocam modificações em variáveis químicas e microbiológicas da qualidade da água. Para garantir a segurança da água, é necessário avaliar parâmetros microbiológicos utilizando bactérias indicadoras, como o grupo dos coliformes, que engloba espécies ambientais e fecais, servindo como indicador de qualidade da água⁶.

Monitorar os recursos hídricos é fundamental para garantir a segurança, a conservação dos ecossistemas aquáticos e a saúde pública. Não basta ter água em quantidade; é necessário que ela atenda aos padrões de qualidade estabelecidos por meio de parâmetros que revelem a presença potencial de substâncias ou microrganismos prejudiciais⁷. O monitoramento da qualidade da água é um processo que envolve a coleta e análise sistemática de amostras para verificar contaminantes e assegurar a conformidade com os parâmetros exigidos⁸. Através de indicadores físicos, químicos e microbiológicos, é possível avaliar a adequação da água para cada uma de suas aplicações⁹.

A preocupação com a qualidade da água, sua gestão e a saúde humana são temas abordados por órgãos internacionais há mais de 30 anos. Diante disso, para fortalecer essas temáticas, a Organização Mundial de Saúde (OMS)

lançou a “*Water, Sanitation and Hygiene*” (WASH) em 1990 e introduziu os “*Water Safety Plans*” (WSPs) em 2004¹⁰.

No entanto, mesmo com esses esforços globais, a realidade no país revela um cenário preocupante. Embora a Agenda 21 e o Comentário Geral nº 15 da Organização das Nações Unidas (ONU) reconheçam o direito à água potável, no Brasil esse direito não é explicitamente garantido como um direito social na Constituição, sendo tratado como um recurso econômico a ser protegido. A implementação desse direito enfrenta falhas, principalmente na distribuição equitativa, com a privatização da água agravando desigualdades e vulnerabilidades sociais¹¹.

Nesse contexto, a gestão da água doce atual enfrenta a falta de mecanismos para assegurar a sustentabilidade, em consonância com a busca pelo equilíbrio entre mercado, sociedade e ambiente natural. Esse equilíbrio está incorporado no próprio conceito, que harmoniza dimensões ambientais, econômicas, sociais e ético-culturais¹².

Essa situação é particularmente notada no acesso à água potável, que apresenta maior cobertura em áreas urbanas do que em áreas rurais, refletindo desigualdades significativas. Nos países desenvolvidos, os serviços de água e saneamento são quase universais, contrastando com os países em desenvolvimento, onde a cobertura atinge 74 % nas áreas urbanas e 25 % nas áreas rurais. Em nações menos desenvolvidas, esses números diminuem para 33 % nas áreas urbanas e somente 4 % nas áreas rurais¹³.

Outro fator significativo é que o mal funcionamento do modelo tradicional de gestão da água tratada se deve ao fato de os vários serviços que envolvem os usos das águas terem sido pensados e executados de forma isolada por diversas entidades, normas e agentes. Como consequência, a água com elevados padrões de qualidade foi aplicada de forma indiscriminada a atividades não essenciais¹⁴.

Dessa forma, ocorre um agravamento dos problemas nas áreas rurais, onde a população está dispersa e enfrenta desafios complexos, incluindo aspectos sociais e econômicos específicos da região. Os serviços de abastecimento de água enfrentam uma escassez de regulamentação e políticas públicas que considerem as particularidades dessas circunstâncias.

¹ Kaczmarek et al., 2023.

² Cosgrove; Loucks, 2015

³ Tyagi et al., 2013.

⁴ Paca et al., 2019.

⁵ Bouwer, 2000.

⁶ Şener; Şener; Varol, 2020. Seben et al., 2021.

⁷ Branco et al., 2015.

⁸ Braga; Porto; Tucci, 2015.

⁹ Paca et al., 2019. Albaggar, 2021.

¹⁰ Wang et al., 2022.

¹¹ Cini; Rosaneli; Fischer, 2019.

¹² Jalomo-Aguirre et al., 2018.

¹³ Aleixo et al., 2016.

¹⁴ Cosgrove; Loucks, 2015.

Por consequência, os cidadãos dessas regiões são desassistidos por entidades governamentais e lançados à própria sorte¹⁵.

Embora seja reconhecida a relevância do acesso à água de qualidade para a saúde pública e bem-estar das pessoas, existe uma carência de estudos, normas regulatórias e políticas públicas que abordem as dificuldades específicas das regiões rurais. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade da água fornecida à agrovila N2, zona rural de Petrolina, localizado no semiárido de Pernambuco, e analisar os riscos para a saúde humana. É relevante notar que a população local utiliza a mesma água tanto para abastecimento quanto para irrigação das plantações. Ademais, os dados obtidos no estudo podem orientar os gestores públicos na criação de estratégias visando garantir o direito essencial ao acesso à água limpa para o consumo humano em regiões rurais.

Material e métodos

Área de Estudo

O estudo foi realizado na agrovila N2, zona rural de Petrolina, semiárido de Pernambuco, região integrante do Vale do São Francisco. Amostras de água foram coletadas nas residências dos moradores e nos canais de irrigação da localidade. As águas são provenientes do Rio São Francisco, a região também é conhecida como Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho (PISNC).

O Rio São Francisco é considerado uma das principais fontes de recursos hídricos do Brasil. Devido à sua grande vazão, com média é de 2.846 m³/s¹⁶, a região conhecida como Vale do São Francisco (VSF) possui bons recursos para o abastecimento de água, além de favorecer a agricultura irrigada, importante atividade econômica que utiliza cerca

de 213,7 m³/s. Isso representa 77 % do total de demandas da região¹⁷. A bacia hidrográfica do rio São Francisco ocupa uma área total de 636.099,73 km², abrangendo 508 municípios com população estimada em 20.330.051 habitantes¹⁸.

O município de Petrolina faz parte do Submédio São Francisco, com a fonte hídrica sendo o Lago

de Sobradinho, possuindo uma vazão outorgada de 405.484.212 m³/ano. A região conta com uma estrutura que engloba 976 km de canais, 818 km de adutoras, 39 estações de bombeamento e etc., iniciou o funcionamento no ano de 1984¹⁹. No Mapa 1, é exibido a localização da agrovila N2, situada no município de Petrolina, Pernambuco.

No ano de 2023, a agrovila N2 abrangia uma população estimada em 1.254 habitantes, distribuído entre 367 moradias, incluindo as vilas velha (lotes originais) e nova (expansão desordenada). No Mapa 2, a seguir, estão destacados o ponto de coleta no canal 1-10, o reservatório EB 16 e a agrovila N2.

Amostragem e coleta

A seleção da localidade foi baseada em critérios que apontam riscos à saúde humana, como a ausência de tratamento mínimo exigido pela portaria de potabilidade, o tipo de manancial utilizado para abastecimento, queixas da população sobre os serviços, condições precárias da população rural em termos de saneamento, e deficiências nos serviços de saneamento, entre outros²⁰.

Os pontos de coleta foram definidos de acordo com os critérios estabelecidos no Plano de Amostragem Nacional e na Portaria GM/MS n° 888/2021, considerando fatores como: garantir a cobertura espacial das amostras, que se refere à distribuição física e à distância entre os pontos de coleta; inclusão de pontos da rede de distribuição mais antiga; monitoramento de reservatórios e trechos vulneráveis, como áreas afetadas por manobras operacionais; zonas com variações de pressão hidráulica (baixa e alta pressão); e domicílios conectados à rede de abastecimento de água²¹.

Para representar a sazonalidade da região, foram coletadas amostras de água em dois trimestres intermitentes, totalizando seis meses de acompanhamento. Os períodos de coleta foram escolhidos com base nas condições climáticas: janeiro a março de 2022, período chuvoso, e junho a agosto de 2022, período seco²².

Foram definidos dez pontos de coleta para amostras de água na zona rural de Petrolina, Pernambuco, abrangendo as fontes de abastecimento da agrovila N2. Um dos pontos de coleta foi selecionado no canal de irrigação 1-10, a céu aberto, que conduz a água para

¹⁵ Narzetti; Marques, 2021.

¹⁶ INFOSF, 2023.

¹⁷ ANA, 2020.

¹⁸ CODEVASF, 2019

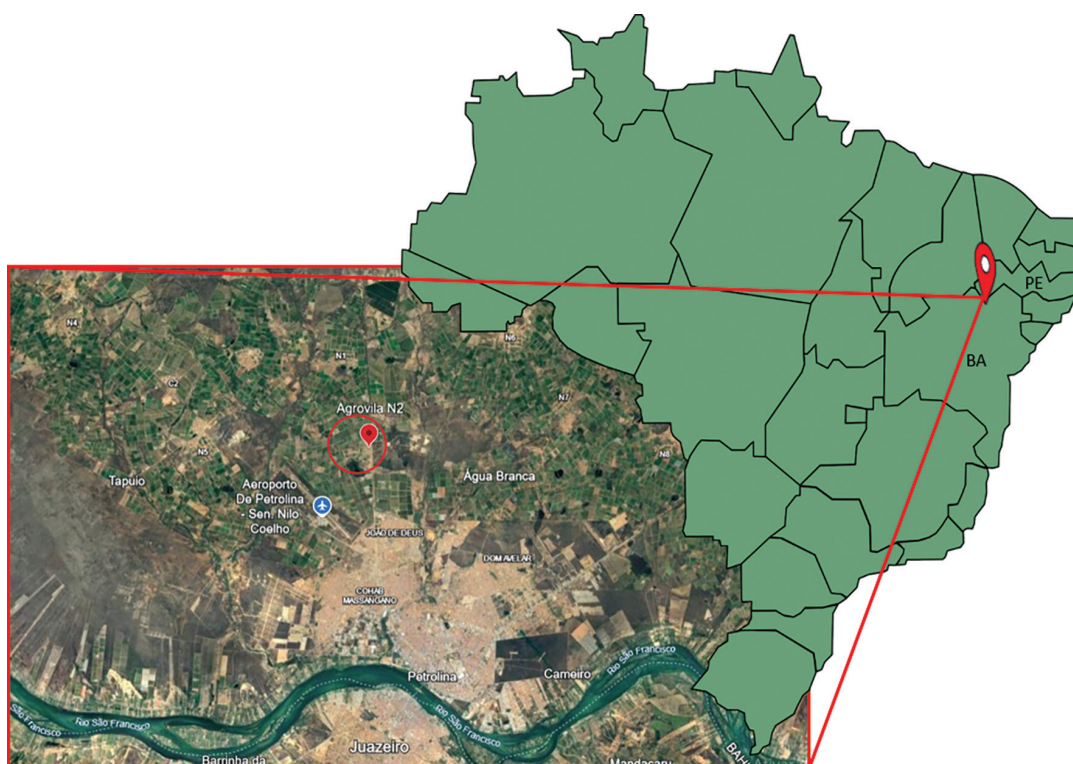
¹⁹ CODEVASF, 2018.

²⁰ Brasil, 2016.

²¹ Brasil, 2016. União, 2021.

²² APAC, 2022.

Mapa 1. Município de Petrolina PE, agrovila N2



Fonte: Elaboração própria a partir de Google Earth e pixabay, (2024).

Mapa 2. Pontos de coleta no Perímetro de Irrigação Senador Nilo Coelho (PISNC)



Fonte: Elaboração própria a partir de google Earth (2024).

o reservatório da Estação de Bombeamento (EB) 16, conforme indicado no Mapa 2, responsável pelo abastecimento de toda a comunidade. Ambos os pontos de coleta estão localizados em áreas a céu aberto, sujeitas a contaminação devido ao descarte inadequado de resíduos nas proximidades, além da presença de vias não pavimentadas, compostas por terra, vegetação densa e a circulação de animais.

Os demais pontos foram selecionados na vila velha, oito residências dentre as oitenta dos antigos colonos, conforme Mapa 3, e a coleta ocorreu nas torneiras das casas que possuem abastecimento direto da rede. Os procedimentos de coleta de água foram realizados seguindo diretrizes específicas para garantir a representatividade e integridade das amostras.

Primeiramente, é fundamental utilizar frascos limpos e identificados; no caso de análises microbiológicas, eles devem ser estéreis. É essencial seguir as orientações de preservação adequadas para cada tipo de análise. A coleta deve ocorrer em pontos previamente

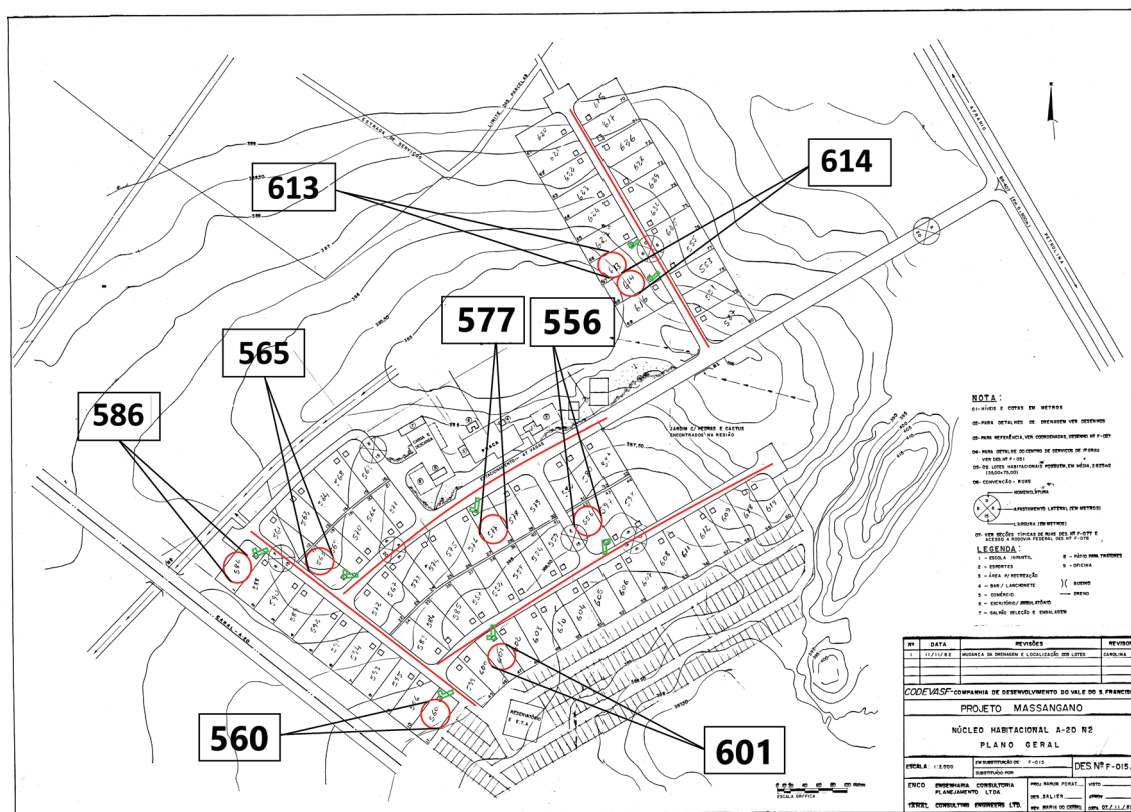
definidos, assegurando que a amostra seja representativa do corpo d'água ou sistema de abastecimento²³.

Antes da coleta, é importante a higienização dos pontos de amostragem, como torneiras, evitando qualquer contaminação. Em amostras de sistemas pressurizados, como redes de abastecimento, deve-se permitir que a água flua por cerca de 2 a 3 minutos para eliminar o volume estagnado. Após a coleta, o transporte das amostras deve ser feito em caixas isotérmicas, mantendo a temperatura adequada conforme o tipo de análise, para preservá-las até o momento da análise²⁴.

Padrões de qualidade da água

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram consultadas a Resolução nº 357 de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, além de estabelecer condições e padrões de lançamento de efluentes, visando

Mapa 3. Localização dos pontos de coleta de água nas residências da agrovila N2



Fonte: Companhia de Desenvolvimento do Vales do São Francisco e do Parnaíba, 1982, adaptado pelo autor.

²³ CETESB, 2011. Brasil, 2016.

²⁴ APHA, 2017. Silva et al., 2017.

a proteção da qualidade das águas. Também foi considerada a Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021, que trata dos procedimentos e responsabilidades relacionados ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, estabelecendo parâmetros de qualidade e os respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP).

A Tabela 1 e a Tabela 2 ilustram esses parâmetros, detalhando os padrões de qualidade definidos por cada uma dessas normas. A Tabela 1 apresenta os padrões de qualidade da água potável, conforme estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que determina os limites aceitáveis para consumo humano. Entre os parâmetros analisados estão cloretos, dureza total, pH, cor aparente, turbidez, sólidos totais e presença de coliformes, que devem estar dentro dos VMPs para garantir a segurança da água consumida pela população.

Já a Tabela 2 refere-se à qualidade da água de irrigação ou bruta, classificada como água doce de classe 2, conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005. Esses

parâmetros são relevantes para o uso agrícola ou em sistemas de irrigação, nos quais os limites para pH, cor aparente, turbidez e sólidos totais são mais amplos do que os definidos para água potável, devido à diferença nos requisitos de qualidade para esse tipo de uso.

A necessidade de utilizar normas diferentes decorre do contexto local, onde a água não tratada é destinada ao consumo humano. Embora os parâmetros avaliados sejam semelhantes, os limites aceitáveis variam entre as normas devido às diferenças nas finalidades de uso da água. Neste estudo, a Portaria de Potabilidade GM/MS nº 888/2021 serve como referência principal para verificar a conformidade da água com os padrões de potabilidade, enquanto a Resolução CONAMA nº 357/2005 é utilizada para parâmetros de água bruta empregada na irrigação.

Os ensaios apresentados nas Tabelas 1 e 2 foram realizados ao longo de 6 meses, divididos em dois trimestres intercalados, totalizando 480 análises em dez pontos de coleta. Esse intervalo foi planejado para abranger tanto o período seco quanto o chuvoso, proporcionando uma avaliação mais abrangente da qualidade da água em diferentes condições climáticas. As análises seguiram métodos padronizados descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*²⁵ e do Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos²⁶, assegurando a precisão e confiabilidade dos resultados obtidos.

Tabela 1. Parâmetros e padrões para água potável

Parâmetros	Unidade	VMP
Cloretos (Método de Mohr)	mg/L Cl	250 máx.
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	300 máx.
pH	--	6,0 a 9,5
Cor Aparente	mgPt-Co/L	15,0 máx.
Turbidez	NTU	5,0 máx.
Sólidos Totais a 105°C	mg/L	500 máx.
Coliformes Totais	NMP/100mL	Ausência

Fonte: Elaboração própria com base na Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021.

Tabela 2. Parâmetros e padrões para água de irrigação ou bruta (águas doces – classe 2)

Ensaio	Unidade	VMP
Cloretos (Método de Mohr)	mg/L Cl	250 máx.
pH	--	5,0 a 9,0
Cor Aparente	mgPt-Co/L	75 máx.
Turbidez	NTU	100 máx.
Sólidos Totais a 105°C	mg/L	500 máx.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1000 máx.

Fonte: Elaboração própria com base na resolução 357, de 17 março de 2005 do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011.

Resultados e discussão

Parâmetros físico-químicos

No parâmetro cloreto, observa-se na Tabela 3 que nos meses de janeiro e fevereiro de 2022 foram obtidas as maiores concentrações, com valores entre 5,01 e 5,56 mg/L, em comparação com demais períodos coletados.

O limite máximo aceitável para o parâmetro cloreto é de 250 mg/L de Cl, conforme estabelecido pela Portaria nº 888/2021 e na resolução do 357/2005. Os cloretos podem ter origem natural, através da dissolução de minerais contendo cloreto, ou podem ser resultado de atividades humanas, tais como esgotos domésticos e resíduos industriais²⁷.

²⁵ APHA, 2017.

²⁶ Silva et al., 2017.

²⁷ APHA, 2017. Instituto Adolfo Lutz, 2008.

Tabela 3. Resultados das análises de cloreto na água (2022)

Cloreto (mg/L Cl) - Valor Máximo Permitido: 250						
Amostra	Janeiro	Fevereiro	Março	Julho	Agosto	Setembro
C-A/1-10	3,02	1,98	2,08	2,13	2,43	2,68
EB 16	5,01	3,47	2,23	2,13	2,28	1,99
NH 556	4,46	2,98	2,28	1,89	2,08	2,23
NH 560	4,66	2,98	2,03	2,53	2,83	3,13
NH 565	4,61	3,62	2,03	1,24	1,89	2,43
NH 577	3,87	5,56	2,23	1,84	2,63	2,33
NH 586	5,45	3,42	2,08	2,18	2,33	2,43
NH 601	3,92	2,98	2,83	1,79	2,23	2,43
NH 613	4,21	3,57	2,08	1,84	2,38	2,48
NH 614	4,81	3,13	1,98	2,18	2,53	2,98

Fonte: Elaboração própria com base na Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021.

Desta forma, a água avaliada atende aos padrões e apresenta alta qualidade no que se refere ao parâmetro cloreto²⁸. No estudo realizado por Kaczmarek²⁹, água com valor entre 0 a 200 mg/L de cloreto é classificada como de excelente qualidade nos padrões e intervalos marroquinos.

Para a presença dos íons de cálcio e magnésio, expressados em carbonato de cálcio, que representa a dureza da água (Tabela 4), foram observados valores entre 20,90 e 42,81 mg/L. Esses resultados indicam

Tabela 4. Resultados das análises de dureza na água (2022)

Dureza Total (mg/L CaCO3) - Valor Máximo Permitido: 300						
Amostra	Janeiro	Fevereiro	Março	Julho	Agosto	Setembro
C-A/1-10	30,15	30,75	35,18	35,78	37,38	38,39
EB 16	36,78	33,16	33,37	34,97	38,59	41,80
NH 556	34,37	32,36	32,56	34,77	38,99	36,78
NH 560	34,97	33,37	33,57	34,37	40,80	42,81
NH 565	36,18	30,55	35,78	33,97	31,36	20,90
NH 577	35,37	33,16	34,37	34,77	39,80	41,00
NH 586	35,77	30,15	33,77	34,77	38,59	40,20
NH 601	37,18	31,96	35,58	36,78	39,40	40,40
NH 613	35,77	31,56	35,38	34,57	37,59	36,58
NH 614	33,96	31,96	32,96	35,38	36,98	38,19

Fonte: Elaboração própria com base na Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021.

baixa dureza em todas as amostras analisadas, estando dentro dos limites aceitáveis estabelecidos pela Portaria nº 888/2021 e pela Resolução 357/2005.

Com base nos resultados observados, que indicam valores de dureza entre 20,90 e 42,81 mg/L, muito abaixo do limite máximo permitido de 300 mg/L, é possível associar esses valores à geologia da bacia hidrográfica. A baixa concentração de íons de cálcio e magnésio, expressos em carbonato de cálcio, sugere a predominância de solos arenosos ou argilosos na região, típicos de áreas onde a dureza da água é reduzida. A interação da água com esses tipos de solo, seja por processos naturais ou influências humanas, provoca alterações na sua composição química, mantendo a qualidade físico-química dentro dos padrões estabelecidos, com uma dureza relativamente baixa³⁰.

No caso do parâmetro potencial Hidrogeniônico (pH), a Portaria nº 888/2021, determina que os valores de pH fiquem entre 6,0 a 9,5 para atender aos padrões de qualidade da água para consumo humano. Todas as amostras analisadas apresentaram valores dentro do limite estabelecido pela Portaria, indicando que a água possui qualidade exigida neste requisito (Tabela 5).

Seben et al.³¹ destacam que existem variações nos valores de pH adotados em âmbito nacional e internacional. A Portaria nº 888 de 2021 estabelece um valor de 6,0 a 9,5, enquanto a OMS recomenda uma faixa de 6,0 a 8,5. Embora o pH, por si só, não afete diretamente a saúde humana, ele pode interagir com outros

Tabela 5. Resultados das análises de pH na água (2022)

pH - Valor Máximo Permitido: 6,0 a 9,5						
Amostra	Janeiro	Fevereiro	Março	Julho	Agosto	Setembro
C-A/1-10	7,64	7,64	7,77	7,52	7,49	6,09
EB 16	6,93	7,28	7,17	7,31	7,29	7,26
NH 556	7,14	7,50	7,41	7,31	7,26	6,74
NH 560	7,03	7,21	7,38	7,22	7,26	7,29
NH 565	7,11	7,29	7,24	7,26	7,30	7,28
NH 577	7,32	7,12	7,34	7,42	7,40	7,39
NH 586	7,20	7,35	7,55	7,25	7,31	7,33
NH 601	7,24	7,47	7,31	7,23	7,27	7,33
NH 613	7,17	7,40	7,35	7,19	7,24	7,30
NH 614	7,17	7,55	7,23	7,20	7,21	7,17

Fonte: Elaboração própria com base na Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021.

²⁸ União, 2021.

²⁹ Kaczmarek, 2023.

³⁰ Şener; Şener; Varol, 2020. Seben et al., 2021.

³¹ Seben et al., 2021.

componentes, resultando em substâncias secundárias que são prejudiciais. O pH é uma das variáveis mais utilizadas para monitorar e garantir a qualidade da água³².

Das trinta amostras coletadas no primeiro trimestre (período chuvoso) para o parâmetro de cor aparente, oito apresentaram valores acima do limite máximo permitido: EB 16, NH 556, NH 560 e NH 613, em janeiro; C-A/1-10, NH 556 e NH 614, em fevereiro; e EB 16, em março (Tabela 6). Essas amostras

estavam em desacordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021, que estabelece um limite máximo de 15 mgPt-Co/L para cor aparente. No entanto, estavam em conformidade com a Resolução nº 357/2005, que permite até 75 mgPt-Co/L. No período seco, de julho a setembro, todas as amostras analisadas apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos tanto pela Portaria nº 888/2021 quanto pela Resolução nº 357/2005.

A Figura 1 mostra a variação dos dados para o parâmetro de cor aparente ao longo de todo o período de coleta. As maiores oscilações ocorreram entre janeiro e março, durante o período chuvoso, com um volume acumulado de 200,6 milímetros³³.

É possível evidenciar que 27 % das amostras analisadas — jan.: EB 16, NH 556, NH 560 e NH 613; fev.: C-A/1-10, NH 556 e NH 614; mar.: EB 16 — apresentaram valores acima do limite máximo permitido de 15 mgPt-Co/L, tornando essas águas inadequadas para consumo humano, conforme os padrões estabelecidos pela Portaria.

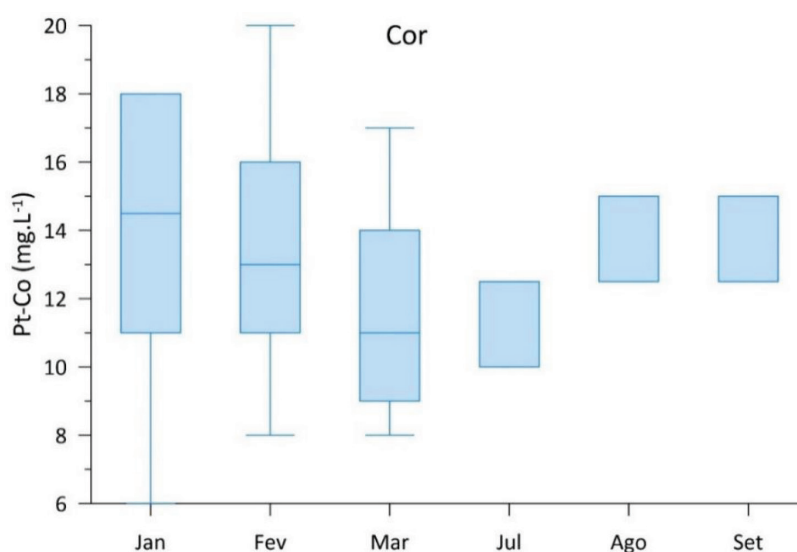
Segundo Şener; Şener; Varol³⁴, fatores externos como eventos meteorológicos e poluição, influenciam na qualidade da água, alterando a sua composição. Além disso, o parâmetro cor — indicador de degradação de corpos hídricos — é comumente alterado por matérias orgânicas e inorgânicas, principalmente

Tabela 6. Resultados das análises de cor aparente na água (2022)

Cor (mgPt-Co/L) - Valor Máximo Permitido: 15,0						
Amostra	Janeiro	Fevereiro	Março	Julho	Agosto	Setembro
C-A/1-10	6,0	20,0	8,0	12,5	12,5	12,5
EB 16	16,0	12,0	17,0	12,5	15,0	15,0
NH 556	18,0	16,0	9,0	12,5	15,0	15,0
NH 560	18,0	15,0	10,0	12,5	15,0	12,5
NH 565	14,0	10,0	14,0	12,5	12,5	15,0
NH 577	11,0	8,0	15,0	12,5	12,5	12,5
NH 586	11,0	11,0	9,0	10,0	12,5	15,0
NH 601	10,0	14,0	9,0	12,5	12,5	12,5
NH 613	18,0	12,0	12,0	10,0	12,5	12,5
NH 614	15,0	16,0	14,0	10,0	12,5	12,5

Fonte: Elaboração própria com base na Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021.

Figura 1. Variação do parâmetro de cor aparente ao longo do período de coleta (2022)



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das análises de cor.

³² Tyagi et al., 2013.

³³ APAC, 2022.

³⁴ Şener; Şener; Varol, 2020.

devido à poluição. Bouwer³⁵, Cosgrove e Loucks³⁶, alertam que o crescimento populacional desordenado e o aumento na demanda por água elevam a produção de águas residuais, resultando no aumento de partículas suspensas que alteram a aparência da água e intensificam a sua cor. Portanto, é necessária a remoção da cor para o abastecimento humano, por razões estéticas e de saúde.

Em relação ao parâmetro de turbidez (Tabela 7), os dados indicam que os maiores valores foram registrados em fevereiro de 2022, com destaque para o ponto de coleta C-A/1-10, que apresentou 8,83 NTU. Esse ponto está localizado em um canal de irrigação a céu aberto, com água em constante movimentação durante o dia devido ao acionamento das Estações de Bombeamento (EB), que auxiliam no transporte da água. Ao anoitecer, as bombas são desligadas e o fluxo de água é interrompido, deixando um pequeno volume parado até o próximo acionamento das EB.

Tabela 7. Resultados das análises de turbidez na água (2022)

Turbidez (NTU) - Valor Máximo Permitido: 5,0						
Amostra	Janeiro	Fevereiro	Março	Julho	Agosto	Setembro
C-A/1-10	0,02	8,83	0,02	0,34	0,71	0,02
EB 16	0,86	1,94	0,02	0,50	1,02	0,02
NH 556	1,17	4,77	0,02	0,76	1,13	0,02
NH 560	1,79	3,07	0,02	0,97	0,98	0,02
NH 565	0,20	2,35	0,02	0,54	0,74	0,02
NH 577	0,21	1,57	0,02	0,52	0,96	0,02
NH 586	0,30	1,39	0,02	0,49	0,76	0,02
NH 601	0,24	2,16	0,02	0,42	0,84	0,02
NH 613	0,33	1,73	0,02	0,31	0,97	0,02
NH 614	0,66	1,48	0,02	0,02	1,62	0,02

Fonte: Elaboração própria com base na Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021.

A turbidez na água pode ter diversas origens, desde processos naturais como o vento, a chuva e a erosão do solo, até o transporte de sedimentos. Em rios, a turbidez é dinâmica e pode ser alterada durante períodos de chuvas fortes. Além disso, as ações humanas, como o lançamento de efluentes industriais e domésticos sem tratamento, podem também afetar a turbidez da água³⁷.

Segundo Milojkovic, Trepsic e Milovancevic³⁸, a avaliação e o monitoramento da turbidez são importantes por várias razões, tais como garantir a qualidade da água para que ela seja esteticamente desejável, com boa aparência e transparência, além de evitar problemas no tratamento da água potável. É importante destacar que a turbidez não é um parâmetro contaminante, mas a “soma” de outros contaminantes.

É possível observar que a variação sazonal dos dados (Figura 2) para o parâmetro turbidez durante o período monitorado apresentou maior variabilidade entre as amostras nos dois primeiros meses (janeiro e fevereiro). A partir de março, os valores de turbidez das amostras se estabilizaram, indicando uma redução nas flutuações observadas nos meses anteriores, especialmente em fevereiro. Isso significa que, após março, os níveis de turbidez permaneceram consistentemente abaixo de 1,62 NTU, conforme apresentado na Tabela 7. Essa estabilização é importante, pois valores mais baixos de turbidez geralmente indicam melhor qualidade da água, tornando-a mais adequada para processos de tratamento e consumo humano.

No estudo de Paca et al.³⁹, realizado em Luanda, Angola, foram encontrados altos níveis de turbidez nas águas dos rios Kwanza, Dande e Bengo, destinadas ao consumo humano. As médias de turbidez variaram de 8,6 a 17,5 ao longo das quatro campanhas de amostragem. Isso levou à classificação dessas amostras como pertencentes à classe A3, de acordo com o Decreto Presidencial Angolano 261/11. Essa classificação refere-se a uma categoria em que as águas necessitam de tratamento mais intensivo, envolvendo o uso de produtos químicos mais fortes e um período de tratamento mais longo, visando melhorar a qualidade da água para consumo humano.

Parâmetros como cor e turbidez são importantes na avaliação da qualidade da água, pois ambos indicam a presença de substâncias suspensas, ou seja, partículas que podem gerar impurezas na água⁴⁰. No entanto, corpos d'água com níveis elevados de cor e baixa turbidez tornam o processo de tratamento mais caro e inviável, especialmente nas etapas de coagulação e floculação⁴¹.

Quanto aos resultados de sólidos totais (Tabela 8) estão dentro dos limites aceitáveis para a qualidade da água, conforme estabelecido pela Portaria nº 888/2021

³⁵ Bouwer, 2000.

³⁶ Cosgrove; Loucks, 2015.

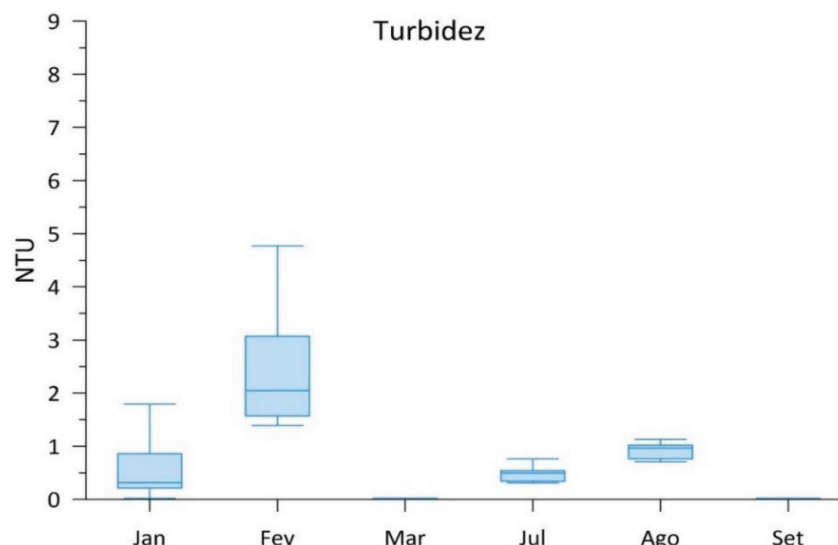
³⁷ Milojkovic; Trepsic; Milovancevic, 2019. SPLABOR, 2023.

³⁸ Milojkovic; Trepsic; Milovancevic, 2019.

³⁹ Paca et al., 2019.

⁴⁰ Seben et al., 2021.

⁴¹ Instituto Adolfo Lutz, 2008.

Figura 2. Variação da turbidez ao longo do período de monitoramento (2022)

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das análises de turbidez.

e pela Resolução n° 357/2005, para todas as amostras analisadas.

Sólidos totais em águas expressam os materiais sólidos dissolvidos e suspensos (matérias orgânicas, minerais, entre outros) presentes na água⁴². Neste estudo, observamos que não ocorreram variações significativas entre os períodos chuvosos (janeiro a março) e secos (julho a setembro), como evidenciado na Tabela 8.

Şener; Şener; Varol⁴³ determinaram os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) em amostras de água de irrigação em Kızılırmak Delta na Turquia, obtendo valores com variação de 34 a 3237 mg/L. Além disso, argumentaram que apesar de STD ser um parâmetro importante na determinação da química da água em períodos chuvosos, os valores identificados no período seco foram maiores do que os do período chuvoso em todas as águas do canal analisadas. No Brasil, uma água com valores acima de 500 mg/L para sólidos dissolvidos totais é considerada inapropriada e não pode ser destinada ao abastecimento para consumo humano sem tratamento adequado.

A presença de sólidos na água pode afetar sua qualidade de várias formas. Por essa razão, seu acompanhamento é fundamental para monitorar a qualidade da água e seus usos, como abastecimento humano, irrigação, entre outros. Águas com elevados níveis de sólidos dissolvidos e suspensos podem afetar a transparência

Tabela 8. Resultados das análises de sólidos totais na água (2022)

Sólidos totais (mg/L) - Valor Máximo Permitido: 500						
Amostra	Janeiro	Fevereiro	Março	Julho	Agosto	Setembro
C-A/1-10	58,0	62,0	79,0	74,0	69,0	66,0
EB 16	63,0	58,0	73,0	75,0	71,0	78,0
NH 556	56,0	63,0	111,0	89,0	73,0	63,0
NH 560	82,0	48,0	78,0	84,0	76,0	57,0
NH 565	63,0	45,0	55,0	89,0	79,0	62,0
NH 577	79,0	60,0	84,0	85,0	75,0	58,0
NH 586	93,0	56,0	87,0	89,0	67,0	56,0
NH 601	61,0	49,0	85,0	87,0	74,0	61,0
NH 613	68,0	50,0	71,0	85,0	78,0	57,0
NH 614	60,0	44,0	71,0	52,0	56,0	64,0

Fonte: Elaboração própria com base na Portaria GM/MS n° 888, de 04 de maio de 2021.

da água, alterar o sabor e o odor, causando uma reação fisiológica desfavorável no consumidor⁴⁴.

A condução de análises físico-químicas é fundamental para avaliar a qualidade da água, detectando variações que apontam contaminação e resguardando a segurança para o consumo humano. Neste estudo, mudanças na cor e turbidez da água foram identificadas, afetando sua qualidade intrínseca. Essas alterações

⁴² APHA, 2017. Instituto Adolfo Lutz, 2008.

⁴³ Şener; Şener; Varol, 2020.

⁴⁴ APHA, 2017. Instituto Adolfo Lutz, 2008.

podem prejudicar a saúde dos consumidores, estabelecendo assim uma relação direta com seu bem-estar. A presença de altos níveis de contaminantes na água pode levar a problemas de saúde, incluindo distúrbios gastrointestinais.

Parâmetros microbiológicos

Na análise microbiológica para coliformes totais (Tabela 9), das 60 amostras analisadas ao longo da pesquisa, 57 apresentaram resultados positivos (contaminação) e três amostras, EB 16, NH 577 e NH 601, mês de janeiro, resultados negativos.

Para alcançar os critérios de potabilidade estabelecidos no contexto brasileiro, a água deve estar em conformidade com os valores especificados pela Portaria GM/MS nº 888. No controle da qualidade da água, a Portaria determina que quando forem detectadas amostras com resultados positivos para coliformes totais, ainda que em avaliações presuntivas, medidas corretivas devem ser implementadas. Tais medidas devem ser mantidas até que os resultados de novas amostras estejam em conformidade com os limites aceitáveis estabelecidos⁴⁵.

Em um estudo conduzido para avaliar a qualidade da água em barragens na região de Albaha, Reino da Arábia Saudita, Albaggar⁴⁶ afirmou que o teste de coliformes totais tem sido bastante empregado como indicador de contaminação fecal da água. Além disso, ele ressaltou que bactérias coliformes, exceto *Escherichia coli*, podem originar-se de ambientes naturais sem a presença de materiais fecais.

Seben et al.⁴⁷ evidenciam que os coliformes totais, um dos principais indicadores microbiológicos da qualidade da água, incluem tanto espécies ambientais quanto fecais. Eles destacam que a legislação brasileira exige a ausência desses microrganismos em 100 mL de

água potável. Embora a detecção de coliformes totais possa sinalizar contaminação, ela não indica necessariamente origem fecal. Silva et al.⁴⁸ reforçam que esse grupo inclui microrganismos de origem tanto fecal quanto não fecal, e que o termo “coliformes termotolerantes” vem sendo utilizado como uma definição mais precisa para contaminação fecal.

No estudo desenvolvido por Şener; Şener; Varol⁴⁹, coliformes totais foram detectados nas águas de todos os canais avaliados. Foram observadas diferenças nos níveis de contaminação conforme a climatologia, com maior contaminação durante o período chuvoso e menor durante o período seco.

Nesta pesquisa, não foram observadas diferenças significativas nos parâmetros de coliformes totais entre os períodos seco e chuvoso. A contaminação foi detectada em quase todos os meses, exceto nas amostras EB 16, NH 577 e NH 601, coletadas em janeiro de 2022. No total, 95 % das amostras analisadas apresentaram contaminação ao longo do estudo.

Em sua pesquisa, Seben et al.⁵⁰ demonstraram que as águas das nascentes de propriedades rurais analisadas no Rio Grande do Sul, Brasil, não atenderam aos limites estabelecidos pela legislação em vigor, tornando-as inadequadas para o consumo humano. Isso foi observado ao considerar as variáveis microbiológicas de coliformes totais e *Escherichia coli*. Diante dessa situação, eles recomendaram aos moradores das áreas rurais que adotassem um tratamento específico para eliminar microrganismos patogênicos.

Esses achados ressaltam um problema abrangente que transcende as especificidades regionais. A inadequação da qualidade da água para consumo humano, como evidenciado neste estudo, é uma questão que afeta comunidades rurais em diversas localidades, exigindo uma atenção urgente e soluções efetivas para garantir a segurança da água e a saúde pública.

Tabela 9. Resultados das análises de coliformes totais na água (2022)

Coliformes totais (NMP/100mL) - Valor Máximo Permitido: Ausência										
Amostra	C-A/ 1-10	EB 16	NH 556	NH 560	NH 565	NH 577	NH 586	NH 601	NH 613	NH 614
Jan	Presença	Ausência		Presença		Ausência	Presença	Ausência		Presença
Fev/Mar Jul a Set	Presença									

Fonte: Elaboração própria com base na Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021.

⁴⁵ União, 2021.

⁴⁶ Albaggar, 2021.

⁴⁷ Seben et al., 2021.

⁴⁸ Silva et al., 2017.

⁴⁹ Şener; Şener; Varol, 2020.

⁵⁰ Seben et al., 2021.

Albaggar⁵¹ mostrou que 37,5 % das barragens avaliadas em Albaha, Arábia Saudita, estavam poluídas com bactérias coliformes. Por meio de um kit EC blue 100p e uma alíquota de 100 mL de água, a presença de coliformes foi identificada após um período de incubação de 48h a 37 °C, observada pela mudança de cor para verde ou azul. Ele ressaltou que a presença dessas bactérias em água destinada ao consumo humano pode causar doenças gastrointestinais.

Ao analisarmos o parâmetro de coliformes termotolerantes (Tabela 10), que é igualmente importante para a avaliação da qualidade da água, observamos um nível de contaminação semelhante ao encontrado nos coliformes totais. A detecção de coliformes termotolerantes é importante na avaliação da segurança da água e na investigação de fontes de contaminação.

Şener; Şener; Varol⁵² destacam que o grupo dos coliformes têm sido amplamente adotado como indicador microbiológico para avaliar a qualidade da água, devido à facilidade de sua detecção. Eles ressaltam que essas bactérias se multiplicam proporcionalmente entre si e têm origem fecal, indicando que a poluição bacteriológica provém de resíduos domésticos e da lixiviação de terras agrícolas.

Os coliformes termotolerantes pertencem ao subgrupo dos coliformes totais e são reconhecidos como indicadores de contaminação mais precisos, devido à sua maior resistência a altas temperaturas, o que lhes permite sobreviver ao processo de incubação a 44,5 °C \pm 0,2 °C⁵³.

De acordo com a resolução 357/ 2005⁵⁵ os coliformes termotolerantes são bactérias gram-negativas em forma de bacilos que crescem em meios com agentes tenso-ativos e fermentam lactose, produzindo ácido, gás e aldeído. Encontradas em fezes humanas e de

animais de sangue quente, também podem ocorrer em solos, plantas e outras matrizes ambientais não contaminadas por material fecal.

Existem também os casos de correlações entre os parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Por exemplo, para atingir a qualidade microbiológica da água, o padrão de turbidez deve ser atendido, com Valor Máximo Permitido (VMP) de 5,0 uT, obedecendo ao padrão organoléptico de potabilidade⁵⁶.

Neste cenário, Albaggar⁵⁷ identificou, em seu estudo, uma forte correlação entre bactérias coliformes e a turbidez. Ele ressaltou que águas com altas concentrações de turbidez são capazes de afetar processos de desinfecção, acarretando no risco de bactérias patogênicas sobreviverem e se replicarem na água.

A legislação brasileira, por meio da Portaria GM/MS nº 888, sustenta que a saúde e o bem-estar humano não devem ser comprometidos pela degradação da qualidade das águas. Essa normativa apresenta uma definição no que se refere à água destinada ao consumo humano, categorizando-a como potável e delineando usos que abrangem a ingestão, a preparação de alimentos e a higiene pessoal, independentemente da sua origem. Ademais, a norma estipula que a água potável é aquela que está em conformidade com os critérios de potabilidade preconizados, garantindo, assim, a ausência de riscos à saúde humana. Os padrões de potabilidade, portanto, servem como uma ferramenta essencial para promover a preservação da saúde pública e a prevenção de doenças transmitidas pela água.

Por isso, reconhecer a água como um Direito Humano é fundamental para diversos setores, como a Segurança Alimentar e Nutricional, que depende de água limpa para a produção de alimentos seguros. No Brasil, a qualidade da água em regiões rurais representa

Tabela 10. Resultados das análises de coliformes termotolerantes na água (2022)

Coliformes termotolerantes (NMP/100mL) - Valor Máximo Permitido: 1000 (Ausência ⁵⁴)											
Amostra	C-A/1-10	EB 16	NH 556	NH 560	NH 565	NH 577	NH 586	NH 601	NH 613	NH 614	
Jan	Presença	Ausência		Presença		Ausência		Presença	Ausência		Presença
Fev/Mar Jul a Set	Presença										

Fonte: Elaboração própria com base na resolução 357, de 17 março de 2005, APHA, 2017 e Silva et al., 2017.

⁵¹ Albaggar, 2021.

⁵² Şener; Şener; Varol, 2020.

⁵³ APHA, 2017. Silva et al., 2017.

⁵⁴ Para determinação de coliformes, pode-se fazer o teste padrão pela técnica de fermentação em tubo múltiplo ou procedimento de presença-ausência (APHA, 2017).

⁵⁵ Brasil, 2005.

⁵⁶ União, 2021.

⁵⁷ Albaggar, 2021.

um fator de risco à saúde das pessoas que a consomem, contribuindo para surtos de Doenças Transmitidas por Alimentos (DTAs). Em vista disso, a luta pela justiça ambiental busca garantir a água como um bem comum, promovendo sua utilização sustentável, o que é essencial para a dignidade das comunidades, além de proteger o meio contra todas as formas de desigualdade social e territorial⁵⁸.

Modelo de gestão e políticas públicas

O acesso à água de qualidade de forma difusa em todo o território tem sido um grande desafio para o Brasil. Em 1971, o país lançou a primeira grande política pública para serviços de água e saneamento, o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), que resultou em êxito no abastecimento de água para áreas urbanas⁵⁹. No entanto, o mesmo progresso não se refletiu nas regiões rurais, onde a falta de infraestrutura e ações para garantir o acesso à água potável ainda persistem. Na agrovila N2, por exemplo, a população continua sujeita ao consumo de água não tratada, que apresenta contaminação microbiológica e alterações físico-químicas.

A distribuição de água nas cidades, especialmente em regiões áridas, como o semiárido brasileiro, revela disparidades de acesso, influenciadas pela natureza, tecnologia e estrutura social. A gestão hídrica evoluiu ao longo da história, com sistemas complexos de captação e distribuição sendo desenvolvidos, mas desafios como o acesso desigual e a má distribuição permanecem. A falta de água potável hoje reflete mais desafios de acesso e distribuição social do que a própria disponibilidade do recurso hídrico natural⁶⁰.

No Brasil, a disponibilidade de água potável é significativamente maior em áreas urbanas do que nas regiões rurais, evidenciando uma desigualdade no acesso a esse recurso essencial. O PLANASA falhou em implementar soluções eficazes para atender à demanda hídrica nas áreas rurais, perpetuando a escassez em comunidades que carecem de um sistema de abastecimento. Além disso, a utilização indiscriminada de água com elevados padrões de qualidade em atividades não essenciais, como a irrigação de jardins e a lavagem de veículos e calçadas, reflete a ineficácia

do modelo tradicional de gestão hídrica. Este modelo, que opera de maneira fragmentada, com serviços de água tratadas isoladamente por diversas entidades e normas, não consegue promover um uso sustentável e equitativo da água, contribuindo para a perpetuação das desigualdades no acesso e agravando a situação de vulnerabilidade em comunidades, especialmente nas áreas rurais⁶¹.

Para enfrentar as desigualdades no acesso à água, é fundamental que os modelos de gestão sejam adaptados à realidade local. Isso envolve promover a participação da comunidade na gestão dos recursos hídricos e incentivar a utilização de fontes alternativas, como o reúso de águas. Além disso, parcerias entre o governo e a iniciativa privada são essenciais para facilitar a implementação de tecnologias adequadas, visando não apenas a melhoria da qualidade da água, mas também a capacitação das populações locais para a sua manutenção.

Uma pesquisa realizada em Tlachichilco del Carmen, uma comunidade periurbana no município de Poncitlán, Jalisco, México, revelou um problema crescente de escassez de água nessas áreas, frequentemente vistas como rurais. O estudo demonstrou que as regiões periurbanas também sofrem com a distribuição desigual de água e que fornecimento tem sido priorizado para grandes centros urbanos, como Guadalajara, deixando comunidades como Tlachichilco com acesso limitado, resultando em graves impactos na qualidade de vida e na violação do direito humano à água. Essa situação evidencia a tensão entre as demandas metropolitanas e periurbanas e a falta de políticas adequadas para assegurar uma distribuição equitativa e sustentável desse recurso⁶².

A Lei nº 9.433/1997, que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos, exerce um impacto relevante, focando na gestão, proteção e conservação das águas, e na integração entre o planejamento hídrico e o saneamento básico. A regulação e supervisão dos serviços de saneamento são realizadas pela Agência Nacional de Águas, que coordena a implementação dessa política e regulamenta os serviços de saneamento em âmbito nacional⁶³.

Em 2007, foi publicada a Lei nº 11.445⁶⁴, marco regulatório do saneamento básico, tendo como princípio

⁵⁸ Cini; Rosaneli; Fischer, 2019.

⁵⁹ Narzetti; Marques, 2021.

⁶⁰ Diniz, 2018.

⁶¹ Aleixo et al., 2016. Cosgrove; Loucks, 2015.

⁶² Jalomo-Aguirre et al., 2018.

⁶³ Brasil, 1997.

fundamental formas de acesso aos serviços de água e saneamento, no entanto, não apresentou soluções para qualidade da água. Com a aprovação do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), em 2013, atualizado em 2019, surgiu a proposta integrada de acesso ao saneamento básico de forma difundida no país, porém, 92 % dos investimentos até 2033 são para as áreas urbanas⁶⁵. Nesse contexto, destaca-se a Lei nº 14.026/2020, conhecida como a nova Lei de Saneamento Básico. Essa legislação é de grande relevância para o setor, introduzindo alterações substanciais que impactarão a implementação do PLANSAB. Além disso, representa um avanço significativo ao modernizar o arcabouço regulatório do saneamento no país, com o objetivo de aumentar a eficiência, atrair investimentos e buscar a universalização dos serviços. Essa medida responde a uma realidade preocupante, onde um número considerável de indivíduos ainda não tem acesso a serviços de água tratada e saneamento adequado.

A Lei de Saneamento Básico tem gerado debates e estudos em função de suas metas ousadas de universalização, que visam garantir 99 % da população com acesso à água potável e 90 % à coleta e tratamento de esgoto até 2033. Contudo, é permitida a prorrogação desse prazo desde que não ultrapasse o limite de 1º de janeiro de 2040, condicionada à prévia aprovação da agência reguladora. Atualmente, o Brasil possui diversas entidades reguladoras que atuam em âmbitos municipais, regionais e estaduais, inseridas no contexto regulatório. Essas entidades compartilham o objetivo de operar conforme as diretrizes nacionais para saneamento básico, em busca de alternativas que contribuam de maneira bem-sucedida para a universalização desses serviços⁶⁶.

É imprescindível considerar a conjuntura econômica e a incerteza jurídica ao buscar a otimização do saneamento básico, especialmente em relação ao acesso à água de qualidade nas regiões rurais. Esse esforço é fundamental para garantir uma saúde pública efetiva, promovendo não apenas um ambiente propício à saúde, mas também assegurando que todas as comunidades, incluindo as mais vulneráveis, desfrutem de uma qualidade de vida adequada.

Considerações finais

A segurança da água, a sustentabilidade ambiental e a proteção da saúde pública estão intrinsecamente interligadas ao monitoramento rigoroso e à transparência na divulgação de dados sobre a qualidade da água. Este estudo revela que a água não tratada fornecida aos habitantes da agrovila N2, por meio de canais de irrigação, falha em atender aos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação brasileira, representando um risco à saúde da comunidade. A falta de acesso à água tratada e segura expõe a população a riscos de doenças causadas por microrganismos. Esse problema é agravado devido às alterações nos parâmetros físico-químicos, como turbidez e cor, que comprometem ainda mais a qualidade da água.

Para superar os desafios relacionados à falta de acesso à água tratada e à segurança da água identificados neste estudo, é fundamental desenvolver e implementar estratégias que garantam tanto a ampliação do acesso à água potável quanto a eficiência em seu uso. Uma abordagem integrada, que conecte os setores de saúde, meio ambiente, educação e tecnologia, é essencial para promover um equilíbrio sustentável que assegure o bem-estar humano, ao mesmo tempo em que minimiza os riscos à saúde e ao meio ambiente.

Ademais, o comprometimento das autoridades em todas as esferas de governo é primordial para garantir a conformidade com as regulamentações existentes. É vital que o direito ao acesso à água limpa seja reconhecido como um princípio fundamental e priorizado nas ações governamentais. O fortalecimento das políticas públicas voltadas aos usos e preservação das águas deve ser uma missão coletiva, envolvendo a participação ativa da comunidade, especialistas e entidades do governo.

Outro ponto importante é a utilização da educação, ciência e tecnologia como ferramentas para melhorar a gestão das águas, por meio de pesquisas e inovações. Isso inclui o desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento da água e a implementação de sistemas de monitoramento em tempo real, que permitem a detecção precoce de contaminações e alterações na qualidade da água. Essas iniciativas favorecem a criação de políticas públicas baseadas em dados científicos, protegendo a saúde pública e o meio ambiente de forma mais eficiente.

Além das inovações tecnológicas, ações voltadas a programas de educação e conscientização são fundamentais para incentivar práticas sustentáveis e a

⁶⁴ Brasil, 2007.

⁶⁵ Aleixo et al., 2016; Narzetti; Marques, 2021.

⁶⁶ Brasil, 2020.

conservação da água. A capacitação de profissionais é necessária para garantir a adoção de melhores práticas. Fomentar pesquisas que abordem questões específicas das comunidades, estabelecer parcerias entre governos, universidades e centros de pesquisa, e criar incentivos financeiros para tecnologias sustentáveis também são passos fundamentais. A integração desses elementos possibilita a construção de um sistema de gestão mais resiliente e sustentável, capaz de atender às necessidades das gerações presentes e futuras.

Referências bibliográficas

- Albaggar, Ali Khalaf Ahmed.** 2021: "Investigation of some physical, chemical, and bacteriological parameters of water quality in some dams in Albaha region, Saudi Arabia". *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(8), 4605-4612. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.04.067>
- Aleixo, Bernardo; Rezende, Sonaly; Pena, João Luiz; Zapata, Gisela; Heller, Léo.** 2016: "Human right in perspective: inequalities in access to water in a rural community of the Brazilian northeast". *Ambiente & Sociedade*, 19, 63-84. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC150125R1V1912016>
- ANA, Agência Nacional de Águas.** 2020: São Francisco. <https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/sao-francisco/sao-francisco-saiba-mais>
- APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima.** 2022: *Boletim do climáticos*. <https://www.apac.pe.gov.br/component/busca/ancada/?459ffeb443791c43dcc7038eac35155b=1&itembusca=Boletins%20Clim%C3%A1ticos>
- APHA, American Public Health Association.** 2017: "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". Washington (USA), APHA, AWWA, WEF. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>
- Bouwer, Herman.** 2000: "Integrated water management: emerging issues and challenges". *Agricultural water management*, 45(3), 217-228. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00092-5](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00092-5)
- Braga, Benedito; Porto, Monica; Tucci, Carlos E. M.** 2015: "Monitoramento de quantidade e qualidade das águas", em Braga, Benedito; Tundisi, José Galizia; Tundisi, Takako Matsumura; Ciminelli, Virginia T. S. (Coords.), *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo (Brasil), Escrituras Editora.
- Branco, Samuel Murgel; Azevedo, Sandra M. F. O.; Hachich, Elayse Maria; Vazoller, Rosana Filomena; Tundisi, José Galizia.** 2015: "Água e saúde humana", em Braga, Benedito; Tundisi, José Galizia; Tundisi, Takako Matsumura; Ciminelli, Virginia T. S. (Coords.), *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo (Brasil), Escrituras Editora.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente.** 2005: *Resolução no 357, de 17 de março de 2005*. <http://conama.mma.gov.br>
- Brasil. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador.** 2016: *Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da qualidade da água para consumo humano*. (Brasília: Ministério da Saúde).
- Brasil. Presidência da República. Subchefia para assuntos jurídicos.** 1997. *Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997*. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm
- Brasil. Presidência da República. Subchefia para assuntos jurídicos.** 2007. *Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007*. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm
- Brasil. Presidência da República. Subchefia para assuntos jurídicos.** 2020. *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020*. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#view
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado De São Paulo.** 2011: *Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras*. <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/Guia-nacional-de-coleta-e-preservacao-de-amostras-2012.pdf>
- Cini, Ricardo de Amorim; Rosaneli, Caroline Filla; Fischer, Marta Luciane.** 2019: "Direito humano à água e bioética: revisão da literatura latino-americana com foco na realidade brasileira." *Água y territorio / Water and Landscape*, 14, 105-114. <https://doi.org/10.17561/at.14.4450>
- CODEVASF Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba.** 2018: *Projeto Público de Irrigação Nilo Coelho*. <https://www.codevasf.gov.br/linhas-de-negocios/agricultura-irrigada/projetos-de-irrigacao/em-producao/nilo-coelho/nilo-coelho>
- CODEVASF, Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba.** 2019: São Francisco. <https://www.codevasf.gov.br/area-de-atuacao/bacia-hidrografica/sao-francisco>
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente.** 2011: *Resolução no 430, de 13 de maio de 2011*. <http://conama.mma.gov.br/>
- Cosgrove, William J.; Loucks, Daniel. P.** 2015: "Water management: Current and future challenges and research directions". *Water Resources Research*, 51(6), 4823-4839. <https://doi.org/10.1002/2014WR016869>
- Diniz, José Nilo Bezerra.** 2018: "Abastecimento de água no Brasil setentrional: a gestão hídrica em Aracati (século XIX)". *Água y Territorio / Water and Landscape*, 11, 10-21. <https://doi.org/10.17561/at.11.2998>
- INFOSF, InfoSãoFrancisco.** 2023: *Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco*. <https://infosaofrancisco.canoadetolda.org.br/bacia-do-rio-sao-francisco/#:~:text=A%20vaz%C3%A3o%20m%C3%A9dia%20%C3%A9%20de,8%25%20da%20demanda%20nacional>

- Instituto Adolfo Lutz.** 2008: "*Métodos físico-químicos para análise de alimentos*", coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea. São Paulo (Brasil), Instituto Adolfo Lutz, 1020.
- Jalomo-Aguirre, Francisco; Rodrigues, Alicia Torres; Ceballos-González, Leonor; Alba, Juan Pablo.** 2018: "Derecho humano al agua potable en la localidad de Tlachichilco del Carmen en el municipio de Poncitlán, Jalisco, México: análisis preliminar de un problema en un territorio periurbano". *Agua y Territorio / Water and Landscape*, 12, 59-70. <https://doi.org/10.17561/at.12.4069>
- Kaczmarek, Nils; Mahjoubi, Imane; Benlasri, Mokhtar; Nothof, Maren; Schäfer, Ralf B.; Frör, Oliver; Berger, Elisabeth.** 2023: "Water quality, biological quality, and human well-being: Water salinity and scarcity in the Draa River basin, Morocco". *Ecological Indicators*, 148, 110050. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110050>
- Miljojkovic, Dragoljub; Trepsic, Ivana; Milovancevic, Milovancevic.** 2019: "Assessment of physical and chemical indicators on water turbidity". *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 527, 121171. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.121171>
- Narzetti, Daniel Antonio; Marques, Rui Cunha.** 2021: "Access to water and sanitation services in Brazilian vulnerable areas: The role of regulation and recent institutional reform". *Water*, 13(6), 787. <https://doi.org/10.3390/w13060787>
- Paca, Juliana. M.; Santos, Francisca M.; Pires, Jose. C. M.; Leitao, Anabela A.; Boaventura, Rui A. R.** 2019: "Quality assessment of water intended for human consumption from Kwanza, Dande and Bengo rivers (Angola)". *Environmental Pollution*, 254, 113037. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113037>
- Seben, Débora; Toebe, Marcos; Wastowski, Arci Dirceu; Hofstätter, Keli; Volpato, Fernanda; Zanella, Renato; Prestes, Osmar Damian; Golombieski, Jaqueline Irineu.** 2021: "Water quality variables and emerging environmental contaminant in water for human consumption in Rio Grande do Sul, Brazil". *Environmental Challenges*, 5, 100266. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100266>
- Şener, Şehnaz; Şener, Erhan; Varol, Simge.** 2020: "Hydrochemical and microbiological pollution assessment of irrigation water in Kızılırmak Delta (Turkey)". *Environmental pollution*, 266, 115214. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115214>
- Silva, Neusely; Junqueira, Valéria Christina Amstalden; Silveira, Neliane Ferraz de Arruda; Taniwaki, Marta Hiromi; Gomes, Renato Abeilar Romeiro; Okazaki, Margarete Midori.** 2017: "*Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água*". São Paulo (Brasil), Blucher, 15-70.
- SPLABOR, Splabor Equipamentos para Laboratórios.** 2023: *Desvendando a turbidez da água*. <https://www.splabor.com.br/blog/turbidimetro/desvendando-a-turbidez-da-agua-saiba-mais/>
- Tyagi, Shweta; Sharma, Bhavtosh; Singh, Prashant; Dobhal, Rajendra.** 2013: "Water quality assessment in terms of water quality index". *American Journal of water resources*, 1(3), 34-38. DOI:10.12691/ajwr-1-3-3
- União, Diário Oficial.** 2021: *Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021*. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>
- Wang, Yiyao; He, Wei; Chen, Chao; Zhang, Xiangin; Tang, Hong; Li, Penghui; Tong, Yingdong; Li, Ming; Lin, Yan; Yu, Jiang; Xu, Fuli; Jia, Xu.** 2022: "Different countries need strengthen water management to improve human health". *Journal of Cleaner Production*, 380, 134998. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134998>