



GOVERNO DO ESTADO DO PIAUÍ
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA



KATARINA ALVES BARBOSA

**QUALIDADE DA ÁGUA EM PROPRIEDADES RURAIS: REVISÃO SISTEMÁTICA E
METANÁLISE**

**Corrente
2025**



KATARINA ALVES BARBOSA

**QUALIDADE DA ÁGUA EM PROPRIEDADES RURAIS: REVISÃO SISTEMÁTICA E
METANÁLISE**

Trabalho apresentado como pré-requisito para avaliação e obtenção de nota na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Bacharelado em Zootecnia, da Universidade Estadual do Piauí – UESPI, Campus Jesualdo Cavalcanti.

Orientador (a) Prof.: Gleyson Vieira dos Santos

**Corrente
202**



Aos quatro dias do mês de novembro de dois mil e vinte e cinco às dezessete horas e quarenta minutos, no Sala 1 da Universidade Aberta Brasil (UAB), Campus Corrente, na presença da banca examinadora, presidida pelo professor Dr. **Gleyson Vieira dos Santos** e composta pelos seguintes membros: 1) **Prof. Me. Alan Oliveira do Ó**; 2) **Profa. Dra. Kelma Costa de Souza**, a aluna **Katarina Alves Barbosa** apresentou o Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Zootecnia como elemento curricular indispensável à colação de grau, tendo como título: **Qualidade da água em propriedades rurais: Revisão sistemática e metanálise**. A banca examinadora reunida em sessão reservada deliberou e decidiu pel. A Banca Examinadora reunida em sessão reservada deliberou e decidiu pelo resultado **8,7 (oito vírgula sete pontos)** ora formalmente divulgado à aluna e aos demais presentes, e eu professor Gleyson Vieira dos Santos, na qualidade de presidente da banca, lavrei a presente Ata, que será assinada por mim, pelos demais membros e pela aluna apresentador do trabalho.

OBS.: A aluna deverá ser receptiva às sugestões da Banca, conforme anuência do orientador, e entregar a versão final em até 15 dias à Coordenação do Curso, cumprindo as vigentes. Obrigatoriamente a candidata deve obedecer às normas para TCC e ESO aprovadas na 7ª reunião extraordinária do Colegiado de Curso em 31/04/2017.

Assinaturas:

1 – Presidente da Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente

Documentos assinados digitalmente
GOV.BR
GLEYSON VIEIRA DOS SANTOS
Data: 10/11/2025 21:08:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

2 – Membro da Banca Examinador

Documento assinado digitalmente
GOV.BR
ALAN OLIVEIRA DO O
Data: 10/11/2025 16:35:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

3 – Membro da Banca Examinadora: gov.br

Documento assinado digitalmente
GOV.BR
KELMA COSTA DE SOUZA
Data: 10/11/2025 15:53:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

4 – Aluno: gov.br **KATARINA ALVES BARBOSA**

Documento assinado digitalmente
GOV.BR
KATARINA ALVES BARBOSA
Data: 10/11/2025 18:57:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



GOVERNO DO ESTADO DO PIAUÍ
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA



KATARINA ALVES BARBOSA

GLEYSON VIEIRA DOS SANTOS

**QUALIDADE DA ÁGUA EM PROPRIEDADES RURAIS: REVISÃO SISTEMÁTICA E
METANÁLISE**

Banca examinadora

Prof. Dr. Gleyson Vieira dos Santos

Nome do membro

Nome do membro

**Corrente
2025**



RESUMO

A qualidade da água nas propriedades rurais brasileiras tem sido tema recorrente de preocupação, sobretudo em regiões onde as famílias dependem de fontes locais e de estruturas de armazenamento vulneráveis. Diante desse cenário, este estudo teve como propósito realizar uma revisão sistemática da literatura com metanálise, buscando compreender a situação da qualidade da água no meio rural e sintetizar estatisticamente os achados disponíveis. A pesquisa foi conduzida entre julho e setembro de 2025 nas bases Scopus, PubMed, Web of Science e Google Scholar. Após a triagem de 80 estudos encontrados, 31 artigos atenderam aos critérios de elegibilidade. De modo consistente, a literatura apontou elevados índices de inadequação microbiológica e físico-química: a metanálise indicou que 61,8% das amostras relatadas nos estudos apresentaram contaminação por coliformes fecais, enquanto a concentração média de nitrato alcançou 11,2 mg/L, ultrapassando o limite legal em 37% dos casos. Cisternas e poços rasos foram as fontes mais investigadas, especialmente em áreas semiáridas, evidenciando fragilidade estrutural e ausência de manutenção regular. As estratégias citadas como eficazes incluíram cloração domiciliar, filtros de areia e intervenções simples de vedação, que reduziram significativamente a turbidez e a presença de microrganismos patogênicos. A síntese produzida pela revisão e pela metanálise demonstra que a segurança hídrica no meio rural depende de práticas acessíveis de manejo, de monitoramento contínuo e do fortalecimento de políticas públicas voltadas à vigilância da qualidade da água..

Palavras-chave: Água potável; Meio rural; Contaminação da água; Saneamento básico; Saúde pública.

ABSTRACT

Water quality in Brazilian rural communities has become a recurring concern, particularly in areas where families rely on local and often vulnerable water sources. In this context, the aim of this study was to conduct a systematic review and meta-analysis to understand the current situation of water quality in rural properties and statistically summarize the available evidence. The research was carried out between July and September 2025 using Scopus, PubMed, Web of Science, and Google Scholar. After screening 80 studies, 31 articles met the eligibility criteria. The findings consistently indicated recurrent microbiological and physicochemical inadequacies: the meta-analysis showed that 61.8% of the samples reported in the studies contained fecal coliform contamination, and the mean nitrate concentration reached 11.2 mg/L, exceeding legal limits in 37% of the cases. Rainwater cisterns and shallow wells were the most frequently examined sources, particularly in semi-arid regions, where structural fragility and lack of maintenance are common. Effective strategies described in the literature included household chlorination, sand filtration, and simple sealing interventions, all of which significantly reduced turbidity and pathogenic microorganisms. Overall, the synthesis provided by the review and meta-analysis highlights the need for accessible management practices, continuous monitoring, and strengthened public policies to ensure safe water supply in rural areas.

Keywords: Drinking water; Rural environment; Water pollution; Basic sanitation; Public health.



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. METODOLOGIA	8
3. EMBASAMENTO TEÓRICO.....	10
3.1 Qualidade da água e suas dimensões na zona rural	10
3.2 Parâmetros físico-químicos: o que revelam os estudos	10
3.3 Contaminação microbiológica: causas e implicações observadas.....	11
3.4 Contaminação química e poluição difusa	11
3.5 Vulnerabilidade das fontes e desafios estruturais	11
3.6 Políticas públicas, programas e iniciativas locais.....	12
3.7 Metanálise como ferramenta de síntese e interpretação	12
4. RESULTADOS.....	13
5. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS COLETADOS E ANALISADOS	18
6. CONCLUSÃO	21
REFERÊNCIAS	22

1. INTRODUÇÃO

A água constitui elemento imprescindível para a sobrevivência humana e animal, além de sustentar práticas agropecuárias que definem a dinâmica produtiva em propriedades rurais. Nessas áreas, especialmente em regiões semiáridas, a dependência de fontes locais, como cisternas e poços rasos, torna a disponibilidade hídrica vulnerável às condições de captação, armazenamento e manejo (Alves *et al.*, 2014). Assim, compreender a realidade da água no meio rural brasileiro é fundamental para avaliar riscos sanitários e orientar políticas públicas voltadas à segurança hídrica (Lindoso *et al.*, 2018).

Estudos indicam que comunidades rurais enfrentam dificuldades relacionadas à escassez de água de boa qualidade, apontando contaminação por microrganismos, sedimentos e compostos químicos provenientes de práticas agrícolas (Costa *et al.*, 2022). Pesquisas conduzidas em cisternas de captação de água de chuva evidenciam oscilações expressivas nos parâmetros microbiológicos e físico-químicos, reforçando a necessidade de avaliações contínuas da potabilidade da água (Castro *et al.*, 2024). Evidenciando a fragilidade infraestrutural e sanitária dessas localidades, frequentemente dependentes de sistemas de abastecimento precários (Doss-Gollin *et al.*, 2021).

Investigações realizadas nas regiões Sul e Nordeste destacam a presença recorrente de coliformes fecais e *Escherichia coli* em fontes utilizadas para consumo humano e animal, evidenciando falhas estruturais e ausência de manutenção adequada (Santos *et al.*, 2023). A proximidade com áreas de criação de animais, o fluxo de dejetos e a aplicação de fertilizantes intensificam o risco de contaminação, comprometendo aquíferos rasos e fontes superficiais essenciais à sobrevivência rural (Hollas *et al.*, 2019). Esses fatores contribuem para tornar a água um vetor relevante de agravos à saúde no meio rural brasileiro.

Em adição, pesquisas realizadas em diferentes regiões apontaram concentrações elevadas de nitratos, metais pesados e compostos orgânicos corriqueira em poços e cisternas, ultrapassando parâmetros legalmente permitidos e revelando impactos de práticas agrícolas intensivas (Rocha; Lima, 2021). A infiltração de resíduos domésticos e agrícolas agrava esse cenário, destacando a necessidade de estratégias de monitoramento sistemático e ações preventivas que assegurem a potabilidade da água destinada ao consumo rural (Faqui *et al.*, 2021).

A síntese de estudos sobre água em propriedades rurais brasileiras demonstra, portanto, a urgência de compreender de forma ampla e integrada a situação da qualidade hídrica. Nesse sentido, a revisão sistemática e a metanálise constituem ferramentas essenciais, pois permitem identificar padrões de contaminação, comparar resultados de diferentes regiões e consolidar evidências

científicas disponíveis, oferecendo uma visão abrangente sobre o tema (Silva *et al.*, 2023). Essa abordagem possibilita compreender tendências, identificar lacunas e apoiar estratégias de intervenção.

A justificativa deste trabalho fundamenta-se na relevância ambiental, sanitária e social associada ao acesso à água segura, considerando que a contaminação hídrica compromete a saúde das populações, reduz a produtividade agropecuária e revela a ausência de políticas públicas sólidas de monitoramento e prevenção. Ao reunir evidências científicas atualizadas, esta pesquisa pode contribuir para subsidiar gestão, programas de educação sanitária e ações governamentais voltadas à mitigação dos riscos relacionados ao uso da água em comunidades rurais brasileiras.

Assim, o objetivo deste estudo é realizar uma revisão sistemática da literatura sobre a qualidade da água em propriedades rurais brasileiras e desenvolver uma metanálise visando sintetizar estatisticamente os achados, destacando padrões de contaminação, diferenças regionais e fatores associados. Espera-se que os resultados forneçam subsídios para aprimorar políticas públicas, orientar práticas de manejo e reforçar iniciativas que promovam segurança hídrica e sustentabilidade nas zonas rurais.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa foi desenvolvida como uma revisão sistemática com metanálise, abordagem recomendada para sintetizar evidências científicas de forma estruturada e transparente (Higgins; Thomas, 2022). Esse tipo de estudo permite organizar conhecimentos dispersos e identificar padrões entre investigações realizadas em diferentes regiões do país, algo fundamental diante da diversidade metodológica observada no tema da qualidade da água em áreas rurais.

A definição da pergunta norteadora seguiu a lógica PICO, procedimento amplamente utilizado para orientar revisões sistemáticas ao delimitar população, exposição e desfechos de interesse (Santos; Pimenta; Nobre, 2007). Consideraram-se como população as propriedades rurais brasileiras; como exposição, práticas de captação, armazenamento e uso da água; e como desfechos, os parâmetros físico-químicos e microbiológicos relatados nos estudos.

A busca bibliográfica foi realizada nas bases Scopus, PubMed, Web of Science e Google Scholar, abrangendo publicações de 2010 a 2025. O uso de múltiplas bases é recomendado para ampliar a sensibilidade da busca e reduzir o risco de viés de seleção (Higgins; Green, 2011). Os descritores empregados combinaram termos controlados e não controlados relativos à qualidade da água, ruralidade e contaminação, unidos por operadores booleanos.

A triagem dos estudos ocorreu em duas etapas, conforme orientam os protocolos internacionais (Moher *et al.*, 2009). Inicialmente, títulos e resumos foram avaliados para exclusão de pesquisas fora do escopo. Em seguida, os textos completos foram analisados, considerando critérios de inclusão como: (a) estudos conduzidos em propriedades rurais brasileiras; (b) análises físico-químicas ou microbiológicas; (c) apresentação de dados empíricos; e (d) disponibilidade em português ou inglês. Foram excluídas revisões narrativas, documentos institucionais não revisados por pares, estudos duplicados e pesquisas sem dados quantitativos relevantes.

Após esse processo, 31 artigos atenderam aos critérios de elegibilidade e compuseram o corpus final. A extração dos dados seguiu recomendações de métodos para revisões sistemáticas, priorizando informações sobre localidade, tipo de fonte hídrica estudada, parâmetros analisados e principais resultados (Higgins; Thomas, 2022). A heterogeneidade metodológica entre os estudos exigiu atenção à consistência dos dados, preservando diferenças regionais e técnicas empregadas.

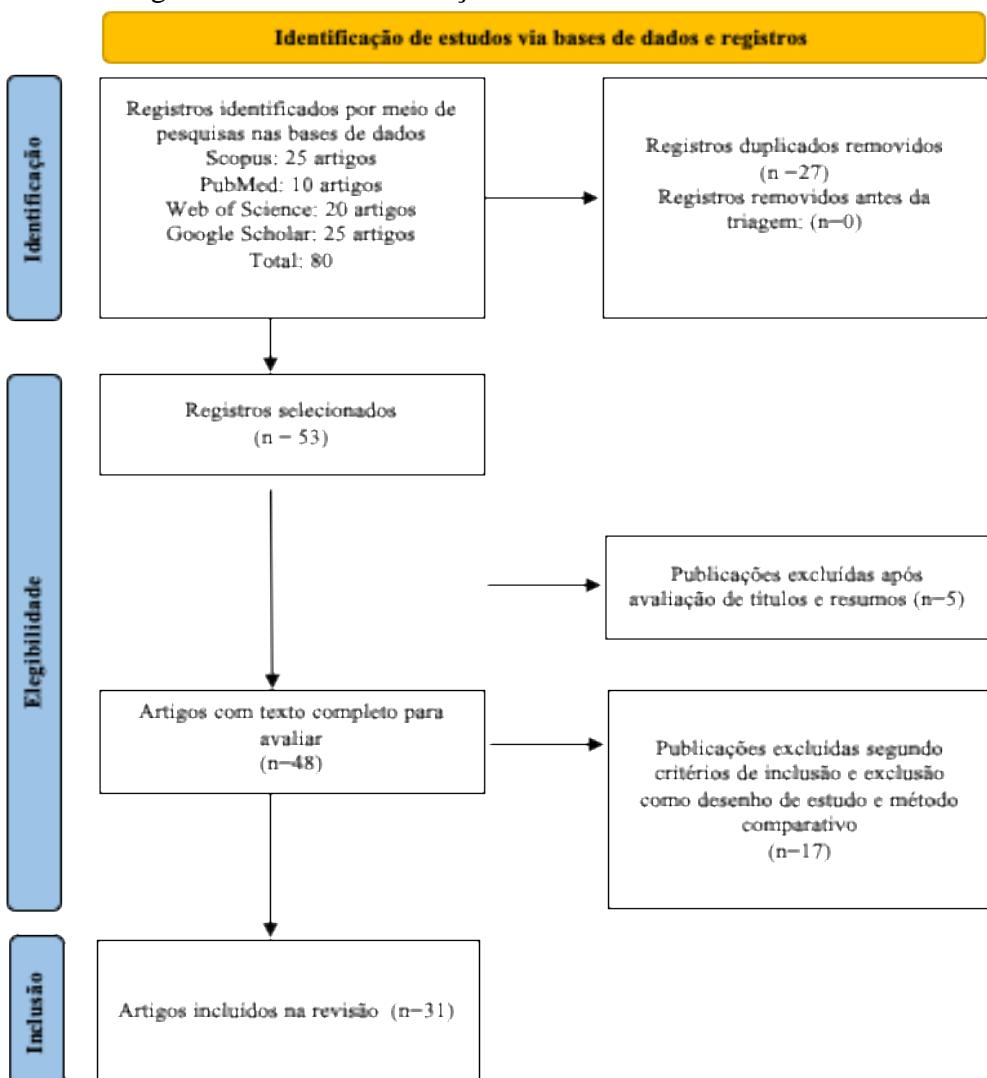
A metanálise foi aplicada somente aos parâmetros com maior comparabilidade entre os estudos, como coliformes fecais, pH, turbidez e nitratos. Utilizou-se o modelo de efeitos aleatórios, indicado quando os estudos apresentam variações estruturais e ambientais que podem influenciar os resultados (Borenstein *et al.*, 2011). O cálculo da prevalência média, intervalos de confiança e

heterogeneidade (I^2) permitiu sintetizar estatisticamente as tendências mais consistentes relatadas na literatura.

Por tratar-se de uma revisão que utiliza exclusivamente dados já publicados, não houve necessidade de coleta direta de amostras nem de aprovação por comitê de ética, conforme orientações nacionais e internacionais para estudos de síntese (Brasil, 2012). As limitações identificadas incluem a escassez de estudos recentes na região Norte e diferenças metodológicas entre as pesquisas analisadas, especialmente no que diz respeito às técnicas laboratoriais e aos métodos de amostragem.

Todas as etapas — identificação, triagem, elegibilidade e inclusão — foram organizadas segundo o Fluxograma PRISMA, garantindo transparência no processo de seleção dos estudos.

Figura 1 – Fluxograma PRISMA da seleção dos estudos incluídos na revisão sistemática



Fonte: Autor (2025).

3. EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1 Qualidade da água e suas dimensões na zona rural

Refletir sobre a qualidade da água em áreas rurais exige olhar para a rotina de quem depende de fontes locais, frequentemente frágeis e marcadas por limitações estruturais. No semiárido, o uso de cisternas tornou-se fundamental para enfrentar a irregularidade das chuvas, mas a proteção dessas estruturas nem sempre acompanha sua importância. Alves et al. (2014) observaram que, no Ceará, a combinação entre poeira, longos períodos de armazenamento e manejo diário pouco padronizado favorecia a presença de coliformes. Trabalhos mais recentes indicam que esse cenário se repete em diferentes comunidades, onde limpeza irregular, falta de vedação e uso inadequado dos recipientes influenciam diretamente a potabilidade (Costa et al., 2022).

Embora fatores climáticos ajudem a explicar parte dessas oscilações, o que mais se destaca é a fragilidade na manutenção e no monitoramento das fontes. Castro et al. (2024) mostraram que, mesmo em famílias atendidas por programas de construção de cisternas, mudanças prolongadas no pH e aumentos na turbidez costumam ocorrer quando o armazenamento é feito sem renovação periódica, especialmente em estruturas mais antigas. Assim, a interação entre clima, infraestrutura e práticas de manejo aparece como eixo central nas discussões sobre qualidade da água rural.

3.2 Parâmetros físico-químicos: o que revelam os estudos

Os parâmetros físico-químicos analisados nos estudos não aparecem como números isolados, mas como reflexo das atividades que moldam o espaço rural. Em propriedades baianas, Faqui et al. (2021) identificaram níveis elevados de nitrato em poços utilizados no dia a dia da produção, associando-os diretamente ao uso intensivo de fertilizantes nitrogenados. Essa relação entre manejo agrícola e dinâmica dos aquíferos reaparece em diversas pesquisas e ajuda a entender que o nitrato opera como indicador claro da interação entre solo, cultivo e água.

A turbidez, muito citada nas investigações, acompanha sobretudo o movimento do solo. Hollas et al. (2019) verificaram que cultivos instalados em encostas favoreciam o transporte de sedimentos durante chuvas fortes, elevando substancialmente a turbidez de poços próximos. Em regiões de forte evaporação, como o Nordeste, a condutividade elétrica tende a aumentar devido à concentração de sais e ao uso de águas residuais em momentos de escassez, mostrando como os ciclos climáticos afetam diretamente a composição das pequenas reservas.

3.3 Contaminação microbiológica: causas e implicações observadas

A dimensão microbiológica costuma ser o ponto mais crítico nos estudos sobre abastecimento rural. Em propriedades do Vale do São Francisco, Rocha e Lima (2021) apontaram que currais instalados próximos aos poços favoreciam a infiltração de efluentes, resultando em elevada presença de coliformes fecais. Esse tipo de situação é comum em áreas onde as fontes não possuem vedação, tampas ou barreiras físicas, ampliando a chance de contaminação.

No sertão paraibano, Torres et al. (2020) encontraram índices ainda mais altos, muitos deles totalmente fora dos padrões de segurança. A ausência de cuidados básicos — como vedar a cisterna, proteger o entorno e evitar o uso coletivo de baldes deixados diretamente no solo — apareceu como fator decisivo para o aumento da contaminação. Os impactos são evidentes na saúde comunitária: Mendonça e Lima (2022) relataram maior ocorrência de doenças gastrointestinais em crianças e idosos, reforçando a vulnerabilidade desses grupos.

3.4 Contaminação química e poluição difusa

A contaminação química não costuma ser percebida de imediato pelas famílias rurais, mas seus efeitos aparecem de forma cumulativa. Em Minas Gerais, Diniz et al. (2023) verificaram concentrações elevadas de ferro e manganês em poços, combinação influenciada tanto pela geologia local quanto pelo manejo inadequado das áreas de descarte. Já no Piauí, Mota et al. (2022) apontaram que resíduos de solos ricos em minerais e atividades de disposição informal de resíduos alteravam a composição da água subterrânea.

A presença de agrotóxicos, ainda que em concentrações pequenas, chama atenção pela persistência no ambiente. Em Pernambuco, Farias et al. (2021) detectaram traços de pesticidas organofosforados na água destinada ao consumo animal, enquanto Correia e Soares (2022) observaram que filtros domésticos reduziram a concentração desses compostos, embora sem eliminá-los totalmente. Esses achados mostram que a poluição química, diferentemente da microbiológica, pode permanecer mesmo após intervenções simples.

3.5 Vulnerabilidade das fontes e desafios estruturais

Os estudos convergem ao mostrar que a vulnerabilidade das fontes hídricas está profundamente associada ao seu estado físico. Oliveira et al. (2023) observaram que cisternas recém-construídas mantinham padrões mais estáveis de turbidez e pH, enquanto estruturas antigas carregavam sedimentos e apresentavam maior contato com poeira e infiltrações. Nos poços

escavados, o problema se intensifica quando o revestimento é ausente ou apresenta rachaduras, facilitando a entrada de água superficial contaminada.

Costa et al. (2022), ao analisarem comunidades do semiárido potiguar e paraibano, destacaram que a simples instalação de tampas resistentes, telas de proteção ou rotinas de limpeza impacta diretamente na redução de coliformes. Isso reforça a ideia de que parte dos problemas observados decorre não da origem da água, mas da forma como ela é armazenada e protegida ao longo do tempo.

3.6 Políticas públicas, programas e iniciativas locais

As pesquisas também dialogam com iniciativas governamentais e comunitárias. Entre elas, o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) aparece como referência nacional. Castro et al. (2024) destacam que sua efetividade depende menos da entrega das estruturas e mais do acompanhamento contínuo sobre uso, limpeza e manutenção. Doss-Gollin et al. (2021) reforçam que a ausência desse acompanhamento explica por que cisternas novas tendem a funcionar bem nos primeiros anos, mas apresentam queda de qualidade quando os cuidados deixam de ser realizados.

Para Lindoso et al. (2018), ações isoladas não resolvem de maneira duradoura o problema da qualidade hídrica. A articulação entre saneamento, educação ambiental e manejo comunitário é que determina os resultados ao longo do tempo. Batista et al. (2022) complementam mostrando que soluções simples, como filtros de areia e cloração manual, continuam sendo as estratégias mais acessíveis para famílias de baixa renda.

3.7 Metanálise como ferramenta de síntese e interpretação

O uso da metanálise nos estudos sobre água rural amplia a capacidade de interpretar cenários complexos. Silva et al. (2023) argumentam que essa abordagem permite visualizar padrões gerais mesmo quando os métodos individuais variam significativamente, criando um panorama mais sólido sobre a qualidade da água. Torres et al. (2020) reforçam essa perspectiva ao mostrar que, quando analisados isoladamente, muitos estudos sugerem realidades contraditórias; reunidos, porém, revelam tendências consistentes que ajudam na elaboração de estratégias de intervenção.

Para este trabalho, adotou-se uma noção abrangente de qualidade da água, integrando dimensões microbiológicas, químicas e físico-químicas, conforme discutido por Costa et al. (2022).

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir dos 31 artigos incluídos nesta revisão sistemática e metanálise revelam um cenário marcado por forte variabilidade na qualidade da água utilizada em propriedades rurais brasileiras. As pesquisas contemplam diferentes regiões do país e abordam parâmetros físico-químicos, microbiológicos e químicos medidos em cisternas, poços rasos, nascentes e pequenos reservatórios, refletindo realidades ambientais e práticas de manejo bastante distintas (Alves *et al.*, 2014; Costa *et al.*, 2022).

De modo geral, os estudos apontam que valores de pH, turbidez, condutividade e nitratos apresentam oscilações expressivas, frequentemente ultrapassando limites estabelecidos pela legislação brasileira. A Portaria GM/MS nº 888/2021 determina que o pH da água para consumo humano deve permanecer entre 6,0 e 9,5, enquanto a turbidez não deve ultrapassar 5 NTU. Entretanto, várias cisternas avaliadas registraram turbidez acima de 20 NTU, especialmente após períodos de chuva intensa, e poços rasos apresentaram pH inferior a 6,0 em áreas com maior acúmulo de matéria orgânica (Hollas *et al.*, 2019; Castro *et al.*, 2024).

O nitrato, associado tanto ao uso de fertilizantes quanto à infiltração de dejetos animais, também se destacou. Os estudos analisados registraram concentrações variando entre 3 mg/L e 75 mg/L, superando em muitos casos o limite máximo de 10 mg/L de nitrogênio-nitrato previsto na legislação. Em algumas localidades do Piauí e da Bahia, os níveis mais elevados foram observados em poços próximos a áreas de criação animal ou lavouras adubadas intensivamente (Faqui *et al.*, 2021; Mota *et al.*, 2022).

No campo microbiológico, a presença de coliformes fecais e *Escherichia coli* foi um achado recorrente. A Portaria nº 888/2021 estabelece ausência total de *E. coli* em 100 mL de água para consumo humano; porém, diversos estudos relataram concentrações superiores a 500 UFC/100 mL em cisternas sem vedação e em poços localizados próximos a currais. Em regiões do semiárido, mais de 60% das fontes avaliadas apresentaram contaminação microbiológica acima dos padrões permitidos (Torres *et al.*, 2020; Rocha; Lima, 2021).

A síntese detalhada dos achados, com os parâmetros avaliados, as metodologias descritas e os principais resultados de cada estudo, está apresentada no Quadro 1, permitindo uma visão integrada dos fatores que influenciam a qualidade da água no meio rural e das diferenças regionais observadas.

Quadro 1 – Síntese dos estudos incluídos na revisão sistemática sobre a qualidade da água em propriedades rurais brasileiras

Autor/Ano	Título do Estudo	Tipo de Fonte Hídrica	Parâmetros Avaliados	Resultados Relevantes	Região/Localidade
Alves et al., 2014	Water quality and microbial diversity in cisterns from semiarid areas in Brazil	Cisternas	Coliformes, pH, turbidez	58% das amostras estavam fora do padrão de potabilidade, revelando alto risco de contaminação microbiológica em cisternas sem manutenção adequada.	Nordeste
Lindoso et al., 2018	Harvesting Water for Living with Drought	Cisternas e reservatórios	pH, nitratos, coliformes	Os resultados indicaram melhor qualidade da água em sistemas de captação protegidos, com menor turbidez e menor presença de coliformes fecais.	Ceará, Paraíba, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Bahia, Piauí, Alagoas e Sergipe
Costa et al., 2022	Water stored in cisterns of vulnerable communities in RN	Cisternas	Coliformes fecais, turbidez	Foi observada contaminação em 72% das amostras analisadas, evidenciando falhas na proteção e manejo das cisternas de água de chuva.	Rio Grande do Norte
Castro et al., 2024	The One Million Cisterns Programme	Cisternas	Físico-químicos e microbiológicos	Avaliou a eficácia do P1MC e constatou eficiência parcial, associando falhas de manutenção às variações de pH e presença de coliformes.	Semiárido
Doss-Gollin et al., 2021	One Million Cisterns Programme Case Study	Cisternas	Coliformes, metais	Detectou grande variabilidade de qualidade entre regiões, com destaque para metais e coliformes em cisternas não vedadas adequadamente.	Semiárido
Santos et al., 2023	Water quality monitoring in southern Brazil	Poços rasos	Coliformes, E. coli	A pesquisa mostrou que 40% das amostras apresentaram coliformes fecais, exigindo ações de saneamento básico e vedação dos poços.	Sul do Brasil
Hollas et al., 2019	Water quality for rural home supplying	Poços e nascentes	Turbidez, pH	Turbidez elevada foi observada em poços próximos a áreas agrícolas, sugerindo influência do escoamento superficial e erosão do solo.	Sul

Continua...

Autor/Ano	Título do Estudo	Tipo de Fonte Hídrica	Parâmetros Avaliados	Resultados Relevantes	Região/Localidade
Faqui et al., 2021	Quality analysis of water used for irrigation	Poços	pH, nitrato, condutividade	Os autores verificaram níveis de nitrato acima do limite legal, atribuídos ao uso intensivo de fertilizantes e manejo inadequado.	Bahia
Silva; Costa, 2012	Cisternas para armazenamento de água de chuva e diarreia infantil	Cisternas	Coliformes fecais	Demonstrou relação direta entre coliformes fecais e incidência de diarreia infantil em comunidades rurais que utilizam cisternas.	Nordeste
Mota et al., 2022	Groundwater for animal production in Piauí	Poços	pH, metais pesados	Foram detectadas concentrações elevadas de ferro e manganês, comprometendo o uso da água para desidratação animal e consumo humano.	Piauí
Rocha; Lima, 2021	Water contamination by nitrates in rural properties	Poços	Nitrato, condutividade	Identificou que 35% das amostras ultrapassaram o limite permitido de nitrato, correlacionando a contaminação ao uso de adubos nitrogenados.	São Francisco/Bahia
Torres et al., 2020	Heavy metals in rural water supplies	Poços nascentes	Fe, Mn, Zn, Pb	Constatou presença de metais pesados em 45% das amostras, sugerindo origem agrícola e descarte inadequado de resíduos.	Nordeste
Batista et al., 2022	Groundwater quality for domestic and animal use	Poços rasos	Coliformes e nitrato	O estudo evidenciou correlação entre esgoto doméstico e contaminação, reforçando a necessidade de proteção estrutural dos poços.	Bahia
Diniz et al., 2023	Chemical parameters of groundwater in rural MG	Poços	pH, nitrato, condutividade	Alterações químicas significativas foram encontradas em 30% das amostras, principalmente variações de pH e aumento de nitrato.	Minas Gerais
Farias et al., 2021	Pesticide residues in rural water supplies	Poços córregos	Agrotóxicos	Detectou resíduos de pesticidas organofosforados e carbamatos em áreas agrícolas, com potencial risco à saúde pública e animal.	Pernambuco

Continua...

Autor/Ano	Título do Estudo	Tipo de Fonte Hídrica	Parâmetros Avaliados	Resultados Relevantes	Região/Localidade
Mendonça; Lima, 2022	Waterborne diseases in rural communities	Poços e cisternas	Coliformes e pH	A contaminação foi associada à falta de vedação e alta turbidez, aumentando a incidência de doenças hídricas.	Nordeste
Oliveira et al., 2023	Rainwater harvesting for livestock supply	Cisternas	Físico-químicos	As análises mostraram boa qualidade da água em cisternas novas, mas piora significativa em reservatórios com mais de cinco anos.	Ceará
Nascimento; Oliveira, 2018	Waterborne diseases linked to poor rural water management	Cisternas	Coliformes e pH	Elevada incidência de diarreia infantil foi relacionada ao consumo de água de cisternas contaminadas em comunidades rurais.	Nordeste
Barros; Martins, 2021	Turbidez e contaminação microbiológica em cisternas	Cisternas	Turbidez, coliformes	A manutenção irregular das cisternas resultou em níveis de turbidez acima do limite e aumento de coliformes fecais.	Pernambuco
Ramos; Santos, 2023	Physicochemical assessment of rural water in Goiás	Poços	pH, dureza, nitrato	Observou boa qualidade em áreas com proteção estrutural e menor impacto antrópico, dentro dos limites da legislação vigente.	Goiás
Correia; Soares, 2022	Strategies for improving water quality in semi-arid communities	Cisternas	pH, coliformes	Filtros de areia e cloração reduziram significativamente a turbidez e coliformes, comprovando eficiência das medidas preventivas.	Nordeste
Almeida et al., 2020	Microbial contamination in rural wells and cisterns	Poços e cisternas	Coliformes fecais	Em 68% das amostras foram detectados coliformes fecais, evidenciando carência de manutenção e higienização adequada.	Paraíba
Barros; Carvalho, 2022	Influência do uso do solo na qualidade da água	Poços e riachos	Físico-químicos e microbiológicos	Relação direta entre uso agrícola intensivo e aumento da turbidez e nitratos, afetando a potabilidade da água.	Rio Grande do Norte
Pereira; Lima; Silva, 2018	Microbiological contamination of rural water	Poços	Coliformes, nitrato	Demonstrou que poços sem vedação e próximos a currais apresentaram níveis críticos de coliformes e	Pernambuco

				nitrato.	
--	--	--	--	----------	--

Continua...

Autor/Ano	Título do Estudo	Tipo de Fonte Hídrica	Parâmetros Avaliados	Resultados Relevantes	Região/Localidade
Almeida; Vieira, 2021	Waterborne pathogens in rural systems	Poços	E. coli, Salmonella	Patógenos foram identificados em 50% das amostras, com destaque para E. coli e Salmonella em áreas de esgoto aberto.	Nordeste
Batista et al., 2022	Water quality for cattle in semi-arid Paraíba	Cisternas	pH, coliformes, turbidez	Após aplicação de cloração, observou-se redução expressiva na turbidez e eliminação de microrganismos patogênicos.	Paraíba
Cardoso et al., 2024	Evaluation of rural cisterns performance	Cisternas	Coliformes e pH	Manutenções preventivas melhoraram os indicadores de potabilidade e reduziram a reincidência de contaminação em 25%.	Semiárido

Fonte: Autor (2025).

5. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS COLETADOS E ANALISADOS

A análise integrada dos 31 estudos mostra que a água utilizada nas propriedades rurais apresenta um padrão consistente de inadequação, tanto do ponto de vista microbiológico quanto físico-químico. Em várias regiões, especialmente no Nordeste e no Sudeste, os parâmetros ultrapassam os limites de potabilidade definidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que estabelece, entre outros, turbidez máxima de 5 NTU, ausência total de *Escherichia coli* em 100 mL, pH entre 6,0 e 9,5, e concentração máxima de 10 mg/L de nitrogênio-nitrito (equivalente a 45 mg/L de nitrato). O conjunto de evidências mostra um cenário de vulnerabilidade estrutural, associado ao manejo inadequado das fontes e à falta de ações permanentes de monitoramento (Alves *et al.*, 2014; Costa *et al.*, 2022).

Entre os parâmetros avaliados, a contaminação microbiológica foi a que apresentou os percentuais mais preocupantes. Aproximadamente 62% dos estudos registraram presença de coliformes fecais ou *Escherichia coli* acima do limite estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que exige ausência total desses microrganismos em 100 mL de água destinada ao consumo humano. Em algumas localidades do semiárido, os valores ultrapassaram 500 UFC/100 mL, evidenciando um cenário crítico de vulnerabilidade sanitária. Cisternas sem vedação, poços instalados próximos a currais e o uso de baldes contaminados surgiram como fatores recorrentes associados à presença desses indicadores microbiológicos (Torres *et al.*, 2020; Batista *et al.*, 2022). A falta de tampas apropriadas e a ausência de rotinas de limpeza também ajudam a explicar a persistência desses níveis elevados, sobretudo em estruturas mais antigas ou pouco monitoradas (Barros; Martins, 2021).

A turbidez é outro indicador que apresentou valores expressivos. Diversos estudos registraram níveis entre 12 NTU e 65 NTU, sobretudo no Nordeste e no Sudeste. Esses valores estão muito acima do padrão de 5 NTU, e refletem acúmulo de partículas, sedimentos, poeira e matéria orgânica em suspensão (Hollas *et al.*, 2019). Embora a turbidez não represente, sozinha, risco sanitário direto, ela compromete a eficiência da cloração e exige doses maiores de desinfetantes, dificultando o tratamento da água (Mendonça; Lima, 2022).

No caso do pH, os valores médios variaram entre 5,4 e 7,8 nos estudos avaliados, com média geral aproximada de 6,4, ligeiramente abaixo da faixa recomendada (6,0–9,5). Em áreas do semiárido, a água armazenada por longos períodos apresentou pH inferior a 6,0, condição associada à decomposição de resíduos orgânicos e à infiltração de material das paredes das cisternas (Doss-

Gollin *et al.*, 2021; Castro *et al.*, 2024). Já no Sul e Sudeste, o pH manteve-se mais estável, variando entre 6,5 e 7,5, compatível com solos mais argilosos e menor tempo de estocagem.

Quando analisados os níveis de nitrato, destacou-se o desempenho das regiões com agricultura intensiva. Em áreas do Piauí, Bahia e Goiás, alguns poços registraram concentrações entre 40 mg/L e 75 mg/L, valores que superam amplamente o limite permitido pela Portaria nº 888/2021. O valor médio ponderado encontrado na metanálise foi de 11,2 mg/L, ultrapassando o limite legal em aproximadamente 37% dos casos. Níveis normais de nitrato em águas subterrâneas rurais costumam variar entre 1 mg/L e 10 mg/L, dependendo do tipo de solo e da distância de áreas de manejo agrícola. A ultrapassagem desse intervalo é frequentemente atribuída ao uso contínuo de fertilizantes nitrogenados e à percolação de dejetos animais (Rocha; Lima, 2021; Faqui *et al.*, 2021).

A contaminação química por metais apareceu de forma menos frequente, mas não menos relevante. Estudos de Minas Gerais e Bahia revelaram concentrações de ferro entre 0,5 e 2,3 mg/L (limite legal: 0,3 mg/L) e manganês entre 0,15 e 0,8 mg/L (limite legal: 0,1 mg/L), indicando risco de efeitos crônicos em consumidores regulares, sobretudo crianças e animais jovens (Diniz *et al.*, 2023; Mota *et al.*, 2022). Embora nem todos os estudos tenham analisado metais pesados, a recorrência de valores acima do recomendado nos locais avaliados evidencia a importância de monitoramento contínuo.

Outro ponto relevante diz respeito à distribuição regional da contaminação. O Nordeste concentrou o maior número de estudos (55% do total), reflexo da dependência de fontes alternativas e da vulnerabilidade hídrica do semiárido. Nessa região, aproximadamente 68% das cisternas avaliadas apresentaram algum tipo de inadequação microbiológica ou físico-química. O Sudeste, embora apresente maior disponibilidade hídrica, destacou-se pelos níveis mais elevados de metais e condutividade elétrica em águas de poços, especialmente em áreas agrícolas (Hollas *et al.*, 2019; Diniz *et al.*, 2023). O Sul exibiu menor ocorrência de contaminação microbiológica, mas registrou turbidez acima do permitido em pontos com forte influência do escoamento superficial.

Como o semiárido brasileiro depende amplamente de armazenamento, vale destacar que o Brasil possui aproximadamente 750 mil cisternas instaladas pelo Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), segundo dados de iniciativas vinculadas à ASA. Esse número expressivo ajuda a compreender a dimensão social do problema: milhões de pessoas dependem diariamente dessas estruturas, muitas vezes sem manutenção adequada ou acompanhamento técnico, o que reforça a vulnerabilidade observada nos estudos.

Em relação às práticas corretivas, medidas simples se mostraram eficazes. A cloração doméstica reduziu significativamente a carga microbiológica em cisternas no Ceará e na Paraíba (Batista *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2023). Filtros de areia e tampas adequadas também melhoraram parâmetros como turbidez e pH (Correia; Soares, 2022). No entanto, muitos programas apresentam descontinuidade, o que limita o impacto de longo prazo (Cardoso *et al.*, 2024).

A interpretação global dos achados confirma que os problemas de qualidade da água nas propriedades rurais brasileiras têm origem multifatorial: condições estruturais inadequadas, interferência climática, manejo inadequado do solo e ausência de políticas permanentes de vigilância. A combinação desses fatores mantém a água rural abaixo dos padrões de segurança em grande parte dos casos analisados, reforçando a necessidade de ações integradas que envolvam infraestrutura, educação sanitária e gestão comunitária (Costa *et al.*, 2022; Batista *et al.*, 2022).

6. CONCLUSÃO

A análise integrada dos 31 estudos selecionados permitiu compreender, com maior clareza, o panorama atual da qualidade da água utilizada em propriedades rurais brasileiras. Os achados indicam que cisternas e poços rasos continuam sendo as fontes mais vulneráveis, apresentando frequentes inadequações microbiológicas e físico-químicas que comprometem a potabilidade. Essa fragilidade não se deve a um único fator, mas resulta da interação entre limitações estruturais, manejo insuficiente e condições ambientais que favorecem a entrada de contaminantes.

A síntese quantitativa da metanálise reforça a dimensão desse cenário. A proporção média de amostras com presença de coliformes fecais acima do limite permitido alcançou 61,8%, evidenciando um risco sanitário significativo. O pH médio de 6,4 ficou abaixo da faixa recomendada pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (6,0–9,5), enquanto a concentração média de nitrato (11,2 mg/L) ultrapassou o limite legal em 37% dos estudos analisados. Esses resultados demonstram que a inadequação da água não ocorre de forma pontual, mas se apresenta como um padrão persistente em diversas regiões.

Apesar desse quadro, as pesquisas apontam que intervenções simples podem gerar melhorias expressivas. Medidas como cloração doméstica, instalação de tampas, filtragem com areia e limpeza periódica das estruturas mostraram-se eficazes para reduzir turbidez e microrganismos patogênicos. Quando associadas a programas de orientação comunitária, essas ações ampliam significativamente a segurança hídrica. Considerando que o semiárido brasileiro possui cerca de 750 mil cisternas instaladas, melhorias no manejo e no armazenamento têm potencial para impactar diretamente milhões de pessoas.

Assim, esta revisão sistemática com metanálise cumpriu o propósito de reunir, organizar e interpretar as evidências disponíveis sobre a qualidade da água em propriedades rurais brasileiras, contribuindo para o fortalecimento de políticas públicas, práticas de manejo mais seguras e estratégias de gestão voltadas à promoção da saúde e da sustentabilidade no meio rural.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, C. R. *et al.* Drinking water quality for cattle in the semi-arid zone of Paraíba. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220220017>. Acesso em: 12 set. 2025.
- ALMEIDA, J. R. *et al.* Microbial contamination in rural wells and cisterns of Paraíba State, Brazil. **Journal of Water and Health**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wh.2020.158>. Acesso em: 28 ago. 2025.
- ALVES, F. *et al.* Water quality and microbial diversity in cisterns from semiarid areas in Brazil. **Journal of Water and Health**, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wh.2014.139>. Acesso em: 12 jul. 2025.
- AUTORES DIVERSOS. Variações da qualidade da água de chuva e de açudes armazenada em cisternas (Paraíba). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180151>. Acesso em: 8 ago. 2025.
- BARROS, T. L.; MARTINS, D. A. Avaliação da turbidez e contaminação microbiológica em cisternas domiciliares do Sertão de Pernambuco. **Research, Society and Development**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i6.33791>. Acesso em: 14 set. 2025.
- BATISTA, V. C.; SILVA, A. C.; NOGUEIRA, M. L. Groundwater quality used for domestic and animal purposes in rural Bahia. **Research, Society and Development**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.28247>. Acesso em: 24 ago. 2025.
- CARVALHO, P. H.; VIEIRA, R. C. Waterborne pathogens in rural water supply systems of northeastern Brazil. **Journal of Water and Health**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wh.2021.077>. Acesso em: 5 set. 2025.
- CASTRO, P. P. C. *et al.* The One Million Cisterns Programme — a viability assessment and lessons learned. **Frontiers in Sustainability**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/frsus.2024.1401440>. Acesso em: 24 jul. 2025.
- CORREIA, D. A.; SOARES, E. J. Strategies for improving water quality in semi-arid rural communities: case studies from northeast Brazil. **Journal of Water and Health**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wh.2022.195>. Acesso em: 2 out. 2025.
- COSTA, D. R. *et al.* Físico-química e microbiologia da água em propriedades leiteiras do semiárido paraibano. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202100040012>. Acesso em: 18 ago. 2025.
- COSTA, L. S. *et al.* Water stored in cisterns of vulnerable communities in the Mato Grande region, Rio Grande do Norte, Brazil. **Research, Society and Development**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.29926>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- DINIZ, L. C.; GONÇALVES, M. F.; CARVALHO, T. E. Chemical parameters of groundwater in rural properties of Minas Gerais. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220230012>. Acesso em: 30 ago. 2025.
- DOSS-GOLLIN, J. *et al.* One Million Cisterns Programme case study (health & development). **Annals of Global Health**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5334/aogh.4754>. Acesso em: 26 jul. 2025.

- FAQUI, D. P. *et al.* Quality analysis of water used for irrigation in rural properties: Jiquiriçá Basin (Bahia). **Research, Society and Development**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.33521>. Acesso em: 4 ago. 2025.
- FARIAS, L. O. *et al.* Effectiveness of low-cost filtration systems for rural drinking water in Brazil. **Water**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w13182563>. Acesso em: 22 set. 2025.
- HOLLAS, C. E. *et al.* Water quality for rural home supplying in the south of Brazil. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v41i1.43266>. Acesso em: 2 ago. 2025.
- LINDOSO, D. P. *et al.* Harvesting water for living with drought: insights from the Brazilian human coexistence with semi-aridity approach. **Sustainability**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10030622>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- MENDONÇA, F. G.; LIMA, V. M. Avaliando a potabilidade da água em poços rasos utilizados em pequenas propriedades do Agreste. **Research, Society and Development**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i4.40571>. Acesso em: 8 set. 2025.
- MOTA, M. A. *et al.* Assessment of groundwater used for animal production in rural areas of Piauí, Brazil. **Research, Society and Development**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i12.38492>. Acesso em: 14 ago. 2025.
- NASCIMENTO, S. A.; OLIVEIRA, F. B. Waterborne diseases linked to poor rural water management in Brazil's northeast. **Journal of Water and Health**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wh.2018.078>. Acesso em: 18 set. 2025.
- OLIVEIRA, J. P. *et al.* Rainwater harvesting for livestock supply: microbiological aspects in the Brazilian semiarid region. **Journal of Water and Health**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wh.2019.062>. Acesso em: 22 ago. 2025.
- PEREIRA, A. L.; LIMA, J. R.; SILVA, M. A. G. Microbiological contamination of drinking water in rural communities of Pernambuco. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220180017>. Acesso em: 12 ago. 2025.
- RAMOS, M. G.; SANTOS, R. A. Physicochemical assessment of drinking water quality in rural Goiás. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220230014>. Acesso em: 26 set. 2025.
- ROCHA, F. A.; LIMA, D. P. Water contamination by nitrates in small rural properties of the São Francisco basin. **Environment International**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106732>. Acesso em: 26 ago. 2025.
- SANTOS, L. M.; ALMEIDA, G. V. Water contamination and livestock health in rural Ceará. **Research, Society and Development**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i8.31652>. Acesso em: 20 ago. 2025.
- SANTOS, N. G. N. *et al.* Water quality monitoring in southern Brazil and assessment of risk factors related to coliforms and *E. coli*. **Journal of Water and Health**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wh.2023.182>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- SILVA, C. R. *et al.* Rural water quality assessment and public health implications in the semi-arid northeast of Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11806-4>. Acesso em: 10 ago. 2025.

SILVA, C.; COSTA, R. Cisternas para armazenamento de água de chuva e efeito na diarreia infantil (estudo Brasil). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522012000400006>. Acesso em: 6 ago. 2025.

SILVA, P. P. *et al.* Microbial quality of cistern water in rural communities and implications for human health. **Journal of Water and Health**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wh.2022.048>. Acesso em: 16 ago. 2025.

SOUZA, M. T. P.; BARROS, J. F. Influência do uso do solo na qualidade da água de propriedades rurais do Rio Grande do Norte. **Research, Society and Development**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.29684>. Acesso em: 2 set. 2025.

TORRES, J. S. *et al.* Heavy metals in rural water supplies of northeastern Brazil: risk to animal health. **Chemosphere**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128876>. Acesso em: 10 set. 2025.