

Rio de Janeiro, RJ / Junho, 2026



## Mapeamento e priorização de municípios brasileiros quanto às fontes de poluição difusa da água advindas da agropecuária e vulnerabilidade às mudanças climáticas

Rachel Bardy Prado<sup>(1)</sup>, Alexandre Ortega Gonçalves<sup>(2)</sup>, Pedro Gerhard<sup>(1)</sup>, Robson Rolland Monticelli Barizon<sup>(1)</sup>, Gustavo Bayma Siqueira da Silva<sup>(1)</sup> e Sandra Furlan Nogueira<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Pesquisadores, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. <sup>(2)</sup> Pesquisador, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

**Resumo** – O presente estudo objetivou selecionar, mapear e classificar alguns indicadores de fontes de poluição difusa da agropecuária, principalmente de fósforo e nitrogênio, visando a priorização de municípios no Brasil para o monitoramento de fontes de poluição difusa do meio rural, com ênfase para N e P e apontar vulnerabilidades em relação às mudanças climáticas. Foram utilizadas bases de dados secundárias nacionais, cujos dados foram espacializados e analisados com auxílio de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Em relação aos resultados obtidos, resalta-se que os municípios mais críticos do País quanto às fontes de poluição difusa, advindas da agropecuária, estão localizados nos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e na região do MATOPIBA. De forma pontual ou dispersa aparecem nessa lista alguns municípios do Paraná e São Paulo. Este documento tem como público-alvo principal órgãos estaduais e municipais de governo relacionados à agricultura e meio ambiente, no intuito de alertá-los e orientá-los sobre as regiões de produção agropecuária que necessitam desse tipo de monitoramento. Por fim, visa incentivar políticas públicas específicas, com um olhar para a redução das fontes de poluição difusa no meio rural, dado o impacto delas sobre os recursos hídricos, especialmente sobre a qualidade da água para abastecimento humano e demais usos.

**Termos para indexação:** nitrogênio, fósforo, monitoramento, gestão hídrica, sustentabilidade.

## Mapping and prioritizing Brazilian municipalities regarding sources of diffuse water pollution from agriculture and vulnerability to climate change

**Abstract** – This study aimed to select, map, and classify indicators of diffuse agricultural pollution sources, primarily phosphorus and nitrogen, with a view to prioritizing municipalities in Brazil for monitoring diffuse pollution sources in rural areas, particularly N and P, and identifying vulnerabilities related to climate change. National secondary databases were used, whose data were

### Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1024.  
Jardim Botânico  
Rio de Janeiro, RJ  
CEP: 22460-000  
Fone: + 55 (21) 2179-4500  
[www.embrapa.br/solos](http://www.embrapa.br/solos)  
[www.embrapa.br/fale-conosco/](http://www.embrapa.br/fale-conosco/)

### Comitê Local de Publicações

Presidente

*Cláudia Pozzi Jantalia*

Secretário-executivo

*Marcos Antônio Nakayama*

Membros

*Bernadete da Conceição*

*Carvalho Gomes Pedreira, David*

*Vilas Boas de Campos, Evaldo*

*de Paiva Lima, Helga Restum*

*Hissa, José Francisco Lumberas,*

*Joyce Maria Guimarães Monteiro,*

*Lucia Raquel Queiroz Pereira*

*da Luz, Maurício Rizzato Coelho,*

*Wenceslau Gerales Teixeira*

Edição executiva

*Marcos Antônio Nakayama*

Revisão de texto

*Marcos Antônio Nakayama*

Normalização bibliográfica

*Luciana Sampaio de Araujo*

(CRB-7/5165)

Projeto gráfico

*Leandro Sousa Fazio*

Diagramação

*Alexandre Abrantes Cotta de Mello*

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

spatially organized and analyzed using Geographic Information System (GIS). The results show that the most critical municipalities in the country regarding diffuse agricultural pollution sources are located in the states of Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, and in the MATOPIBA region. Some municipalities in Paraná and São Paulo appear on this list, either sporadically or dispersedly. This document is primarily aimed at state and municipal government agencies related to agriculture and the environment, with the aim of alerting and guiding them to agricultural production regions that require this type of monitoring. Finally, it aims to encourage specific public policies, with a focus on reducing diffuse sources of pollution in rural areas, since both agriculture and the population as a whole need good-quality water to carry out their activities and for their health and well-being.

**Index terms:** nitrogen, phosphorus, monitoring, water management, sustainability.

## Introdução

A escassez hídrica mundial tem sido motivo de preocupação e discussão nos diferentes níveis da sociedade. A Organização das Nações Unidas (ONU) estima que a demanda de água mundial vai aumentar em 50% até 2030 e um dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável de sua Agenda para 2030, número 6 é “Água Potável e Saneamento”, destacando a sua importância para a humanidade (Nações Unidas, 2025).

Embora o Brasil possua grandes reservas de água doce, incluindo 70% do Aquífero Guarani, o maior do mundo, a distribuição da água no território nacional ocorre de forma desigual, tanto no espaço quanto no tempo. Algumas regiões apresentam um regime de chuvas concentrado em poucos meses, seguidos de longo período de estiagem e rios intermitentes.

Também a concentração da população e a demanda hídrica são diferenciadas nas regiões brasileiras. Grande parte do território brasileiro possui elevada disponibilidade hídrica e é esparsamente povoado (região Norte) e outras regiões têm seu regime de chuvas concentrado em poucos meses, seguidos de longo período de estiagem e rios intermitentes (região Nordeste). A distribuição de renda, a gestão hídrica, o montante de investimentos em infraestrutura e recursos humanos e outros aspectos socioeconômicos podem também influenciar a disponibilidade dos recursos hídricos. Estas diferenças naturais e sociais têm sido responsáveis pela situação de escassez hídrica no País, causada

tanto pela redução da quantidade da água, quanto pela sua má qualidade, que a torna indisponível ou inadequada para os diferentes usos (Prado et al., 2017).

Estudos evidenciam os impactos das mudanças climáticas na disponibilidade e na qualidade da água, como alteração dos padrões de precipitação, eventos climáticos extremos mais frequentes e severos, que reduzem a capacidade dos ecossistemas de fornecerem água adequadamente para satisfazer as necessidades humanas, incluindo a produção e processamento de alimentos (Ingrao et al., 2023; Paule-Mercado et al., 2024). Dessa forma, o monitoramento dos aspectos que interferem na disponibilidade hídrica (quantidade e qualidade da água) é uma ferramenta de gestão hídrica essencial e que precisa ser aperfeiçoada continuamente.

Manter a qualidade da água adequada para suprir os diferentes usos da população, seja pelos governos ou pelas instituições competentes, não é tarefa trivial e trata-se de um dos maiores desafios ambientais do País, com elevada demanda de recursos financeiros, humanos e de políticas públicas eficientes. Segundo o ranking do saneamento apresentado pelo Instituto Trata Brasil (2024), utilizando os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), foram realizados investimentos médios entre 2018 e 2022 da ordem de R\$ 31,7 bilhões em valores absolutos nas capitais brasileiras. Estes investimentos costumam ocorrer historicamente nas áreas urbanas, visando melhorar as condições sanitárias e conter as fontes pontuais de poluição hídrica, no âmbito dos comitês de bacias hidrográficas, instituídos pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

Por outro lado, o uso da água no meio rural representa 83% da demanda total, sendo prioritariamente para irrigação (72% no caso do Brasil), além da dessedentação de pessoas e animais e da higienização de instalações rurais, sem considerar a sua demanda para piscicultura, pesca e recreação. Em relação à irrigação, o Brasil possui aproximadamente 8,2 milhões de hectares irrigados (3,3% do total da área plantada). Apesar disso, estima-se um potencial irrigável superior a 50 milhões de hectares, principalmente nas regiões Centro-Oeste e Nordeste. A estimativa da área irrigada no Brasil para 2030 é de 10,09 milhões de hectares (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2021), o que demandará mais água de qualidade para irrigação. Além disso, as principais fontes de poluição difusa estão no meio rural e são provenientes, principalmente, das práticas não sustentáveis na agropecuária. Esses poluentes incluem, como exemplo, contaminantes químicos como os pesticidas e os

fertilizantes; sedimentos derivados da perda de solos pelos processos erosivos; dentre outros oriundos de outras atividades humanas.

As fontes pontuais de poluição da água são de fácil identificação e controle, enquanto as fontes de origem difusa possuem dinâmica complexa com elevado potencial poluidor, que amplia a importância dos estudos relacionados ao tema (Ferreira et al., 2018). De acordo com as estimativas globais mais recentes da FAO, as atividades agropecuárias são uma importante fonte de excedentes de N e P. Segundo Ludemann et al. (2024), apenas 55% do nitrogênio aplicado nas lavouras é efetivamente absorvido pelas plantas. Isso significa que cerca de metade deste insumo é perdido para o meio ambiente, gerando poluição, desperdício e prejuízos econômicos. Além disso, a poluição difusa pode apresentar uma dinâmica de emissões temporais complexa.

É nos eventos extremos de chuva que a poluição difusa carregada para os rios também pode ter uma contribuição significativa para a degradação da qualidade da água, principalmente em bacias hidrográficas onde a cobertura vegetal original já se encontra bastante suprimida e os processos erosivos se disseminaram na paisagem. Por isso, torna-se importante buscar metodologias complementares para o monitoramento da poluição difusa que alcança os corpos hídricos brasileiros (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2024).

Lima et al. (2016) concluíram que 20% do nitrogênio e 10,9% do fósforo vêm de fontes de poluição difusa na bacia federal do Rio Paraíba do Sul, que é classificado como um rio federal. Em uma análise espacial da bacia do Rio Cotia (SP), foram estimados aportes diários de cerca de 200 kg de nitrogênio total e 10 kg de fósforo total, com a agricultura sendo uma das principais atividades responsáveis pela poluição difusa, juntamente das áreas urbanas e industriais (Toniolo et al., 2024). Portanto, a poluição por fósforo e nitrogênio na água causada pela agropecuária ocorre principalmente pelo escoamento superficial e lixiviação de fertilizantes, que elevam a concentração desses nutrientes nos corpos d'água, promovendo processos de eutrofização e comprometendo o uso sustentável dos recursos hídricos (Santos et al., 2020).

Historicamente, o monitoramento da qualidade da água tem se concentrado nas áreas urbanas, olhando principalmente para as fontes pontuais de poluição como os esgotos e para o comprometimento da saúde humana. Existem algumas redes de monitoramento no País, tais como o Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA) e a Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade da Água (RNQA),

criada pela Agência Nacional de Águas (ANA) em 2013, visando estabelecer a rede, padronizar medidas, controlar e capacitar laboratórios, criar, manter e abastecer banco de dados de qualidade de água. A RNQA é a rede mais atual e tem objetivos bem estabelecidos, tais como uma padronização mínima de instalações e métodos de coleta mais modernos.

As informações desse monitoramento servem como base para a determinação da disponibilidade hídrica no território brasileiro, fornecendo aos planejadores e gestores informações hidrológicas confiáveis, que subsidiam, por exemplo, atividades de enfrentamento aos riscos relacionados a inundações e estiagens rigorosas. A distribuição espacial dos pontos de monitoramento prioriza os locais de interesse para a gestão da qualidade da água dos rios e lagos, porém, há limitações devido à descontinuidade temporal e espacial dos dados.

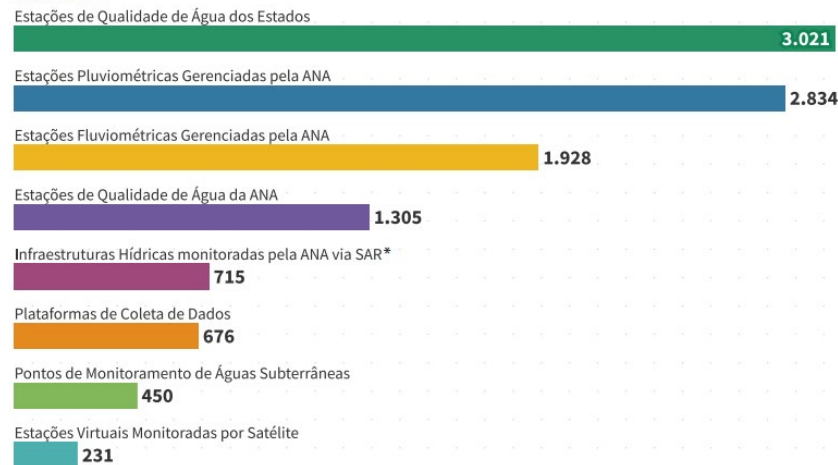
A Figura 1 apresenta o monitoramento hidrológico no Brasil em números no ano de 2023, a partir da publicação *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe anual 2024* (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2024). O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, por sua vez, ainda é incipiente no Brasil. A Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS) é uma rede quantitativa com alertas qualitativos operada pela SGB em nível nacional. O Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) é uma rede bem maior e trata-se de um sistema de informações de águas subterrâneas, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil - SGB, constituído por uma base de dados de poços permanentemente atualizada, e de módulos capazes de realizar consultas, pesquisas, extração e geração de relatórios. Algumas unidades de federação também efetuam o monitoramento qualitativo das águas subterrâneas, a exemplo de São Paulo (CETESB/DAEE), Minas Gerais (IGAM), Ceará (COGERH) e Distrito Federal (ADASA/SGB).

De acordo com os principais indicadores do setor de fertilizantes apresentados pela ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2021), a quantidade de fertilizante entregue ao consumidor final aumentou, entre 1998 e 2020, de 14,7 para 40,6 milhões de toneladas, isto é, quase triplicou nos últimos 20 anos (Figura 2). Em 2024, a entrega estimada de fertilizantes foi de 45,6 milhões de toneladas e um possível cenário de demanda por fertilizantes no Brasil para 2050 aponta o valor de 65,1 milhões de toneladas (Brasil, 2021). O GlobalFert (2024) apresenta que as principais culturas que consomem fertilizantes no Brasil são: soja, milho, cana-de-açúcar, floresta, café e algodão, sendo que a soja e o milho demandam juntos aproximadamente 63% do total de fertilizantes consumidos no País.

## ESTATÍSTICAS DO MONITORAMENTO HIDROLÓGICO

Acesse a figura interativa em: [tiny.cc/6r7jzz](https://tiny.cc/6r7jzz)

Em 2023

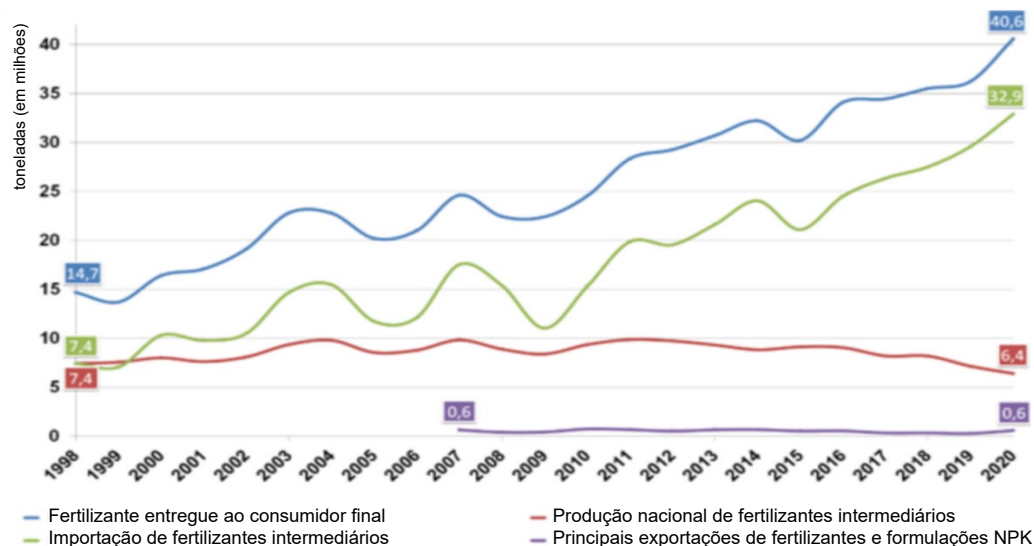


\*Sistema de Acompanhamento de Reservatórios

Acesse em: [tiny.cc/8rdnzz](https://tiny.cc/8rdnzz)

**Figura 1.** Monitoramento hidrológico no Brasil em números em 2023.

Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2024).



**Figura 2.** Evolução do mercado de fertilizantes no Brasil.

Fonte: Associação Nacional para Difusão de Adubos (2021).

Dessa forma, o monitoramento da qualidade da água em áreas rurais pode ser desafiador, mas é crucial para garantir a segurança da água potável e proteger os ecossistemas aquáticos superficiais e subterrâneos. A implementação de programas de monitoramento mais abrangentes, que incluam áreas rurais, é necessária para proteger a saúde pública e o meio ambiente. Portanto, o objetivo do presente estudo foi selecionar, mapear e classificar alguns indicadores de fontes de poluição difusa no meio rural brasileiro, principalmente de fósforo e nitrogênio, cujos dados são obtidos gratuitamente em bases de dados secundários, visando a priorização de municípios no Brasil para o monitoramento de

fontes de poluição difusa do meio rural, com destaque para N e P e apontar vulnerabilidades em relação às mudanças climáticas.

Este trabalho atende principalmente ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 6 “Água Potável e Saneamento”, meta “Garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos” e submeta 6.3: até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente.

## Material e métodos

A metodologia consistiu em três etapas, resumidas na Figura 3 e descritas na sequência da mesma figura, a saber: 1) Levantamento e organização de dados potenciais para serem usados como indicadores de fontes de poluição difusa, principalmente de fósforo e de nitrogênio; 2) Aplicação dos dados para gerar os mapas temáticos por município e aplicação de álgebra de mapas, utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG); e 3) Classificação do resultado visando identificar os municípios com maior necessidade de monitoramento da qualidade da água no meio rural, com destaque para o nitrogênio e fósforo.

### Etapa 1: Levantamento e organização de dados relacionados às fontes de poluição difusa advindas da agropecuária no Brasil, principalmente de fósforo e nitrogênio.

Os dados levantados referem-se a indicadores de fontes de poluição difusa advindas da agropecuária brasileira, principalmente as que contêm fósforo e nitrogênio, como a produção agrícola (uso de fertilizantes N, P, K) e a atividade pecuária, que gera dejetos animais, como fezes oriundas da lavagem de currais e granjas, além do descarte inadequado de resíduos, como a cama de frango. As culturas agrícolas consideradas foram: soja, milho, cana-de-açúcar, café e feijão (em grão), algodão herbáceo (em caroço), arroz (em casca) e laranja, por serem as mais exportadas e as mais presentes em termos de extensão territorial no País. Para a estimativa dos valores de entrega de fertilizantes por município,

foi utilizado o valor da entrega de fertilizantes em toneladas (t) por área plantada de cada cultura e município e depois foi realizado o somatório dos valores relacionados a cada cultura por município. Os tipos de rebanhos considerados foram: bovinos, bubalinos, equinos, suínos totais, caprinos, ovinos e galináceos totais, totalizados pelo somatório de cabeças por município. Não foi possível fazer uma ponderação das contribuições de cada categoria animal em separado, em termos do teor de nitrogênio nas excretas, por não haver esse dado disponível para as condições do Brasil. Optou-se por considerar o número absoluto de cabeças animais por município, pois o objetivo não foi ranquear municípios em termos de sustentabilidade no uso da terra ou prática da agropecuária ou fazer recomendações de manejo, onde a área de cada município pode interferir no resultado, mas sim identificar e quantificar potenciais fontes de poluição difusa da água que são geradas por município, independentemente da sua área.

De forma adicional, foi utilizado como indicador de fonte difusa de poluição da água a área de fertirrigação da cana-de-açúcar por município, a partir do *Atlas irrigação* da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021). Também foi utilizado o balanço hídrico quantitativo (BHQ) por microbacia hidrográfica, como um indicador, e extrapolado por município, uma vez que este interfere na diluição dos poluentes nos cursos de água. O BHQ é um indicador do nível de comprometimento hídrico. Seu papel é identificar quanto da disponibilidade hídrica está sendo utilizada para atendimento de usos consuntivos. Isso é dado pela razão entre a

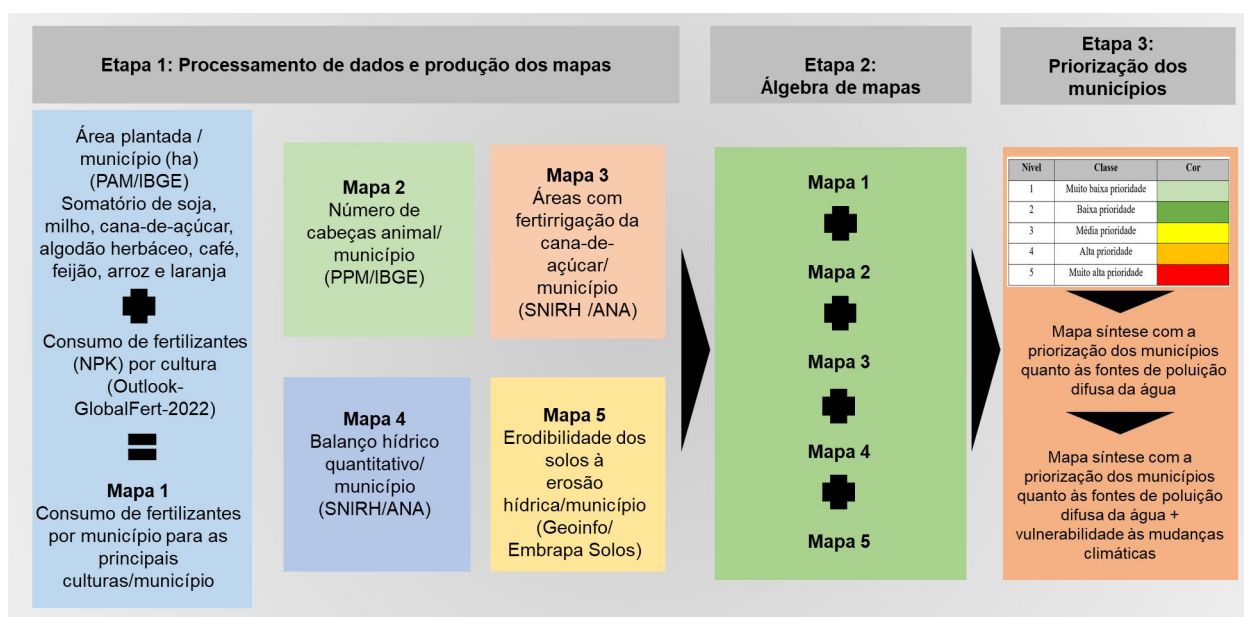


Figura 3. Esquema sintético da metodologia aplicada.

demanda e a oferta e é apresentado em termos de percentuais de comprometimento. O estudo do balanço hídrico nos ajuda a compreender os fatores que influenciam a eutrofização dos corpos hídricos. Ao identificar as fontes de excesso de nutrientes na bacia hidrográfica, como escoamento agrícola ou descargas de águas residuais, é possível implementar medidas para reduzir a entrada de nutrientes e prevenir a eutrofização (Paule-Mercado et al., 2024). Em essência, um balanço hídrico bem administrado é essencial para manter ecossistemas aquáticos saudáveis e garantir a boa qualidade da água. Mudanças climáticas, uso da terra e atividades humanas podem impactar o balanço hídrico e, conseqüentemente, afetar a qualidade dos recursos hídricos.

A erodibilidade do solo à erosão hídrica foi considerada também como indicador nesse estudo, uma vez que reflete nos processos erosivos e transporte dos nutrientes até os corpos hídricos. Trata-se da medida da sua suscetibilidade à erosão, ou seja, o quão facilmente ele é desgastado e transportado pela água (da chuva) ou pelo vento. Segundo Lal (1988), a erodibilidade do solo, é o efeito integrado de processos que regulam a recepção da chuva e a resistência do solo para desagregação de partículas e o transporte subsequente. Esses processos são influenciados pelas propriedades do solo, assim como pela distribuição do tamanho das suas partículas, estabilidade estrutural, conteúdo de matéria orgânica, natureza dos minerais de argila e constituintes químicos. O processo erosivo facilita a perda de sedimentos e, juntamente com eles, os nutrientes como P e N também são transportados até os cursos de água, causando o processo

de eutrofização. A Tabela 1 apresenta os indicadores e informações correlatas como as fontes dos dados, o ano de sua obtenção e as unidades de medida utilizadas, relacionados às fontes de poluição difusa.

### Etapa 2: Processamento dos dados para gerar os mapas temáticos e aplicação de álgebra de mapas utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Os mapas foram processados no pacote computacional ArcGIS 10.8.2 e QGIS3.34.4, utilizando-se o sistema de projeção *Albers Equal Area Conic* e datum *South America*. No caso dos dados do balanço hídrico quantitativo e da erodibilidade do solo à erosão hídrica foi necessário transformar de formato vetorial para *raster* (30x30m), para na sequência aplicar a ferramenta estatística zonal (ou calcular a estatística zonal), utilizando-se o valor da Maioria Zonal (cálculo do valor que ocorre com mais frequência (em área) dentro de cada zona definida em um *raster*), para gerar um valor único para cada município, a partir da ferramenta de Estatística Zonal do QGIS3.34.4.

A sobreposição dos mapas vetoriais foi feita utilizando-se a ferramenta *Field Calculator* no ArcGIS 10.8.2 (operação de soma dos valores dos atributos/indicadores – 1 a 5 dos diferentes temas/layers). Foram gerados dois resultados a partir dessa integração: a) Mapa síntese da priorização de municípios no Brasil para o monitoramento da qualidade da água devido à presença de fontes de poluição difusa advindas da agropecuária, com destaque para N e P e b) Mapa síntese da priorização de municípios no Brasil para o monitoramento da qualidade da água devido à presença de fontes

**Tabela 1.** Indicadores relacionados às fontes de poluição difusa, vulnerabilidade às mudanças climáticas e informações correlatas.

Indicador	Fonte do dado	Ano de obtenção	Unidade de medida
Entrega de fertilizantes por cultura (N, P, K)/área plantada das principais culturas/município	Anuário [...] (2022) IBGE (2022b)	2022	t de produto/ha
Número de cabeças animais /município	IBGE (2022a)	2022	Nº de cabeças
Área com fertirrigação da cana-de-açúcar/município	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021)	2021	ha
Balanço hídrico quantitativo/microbacias	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2020)	2020	m³/s
Erodibilidade do solo à erosão hídrica	Coelho et al. (2020)	2020	classes

Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2020, 2021), Coelho et al. (2020), Anuário [...] (2022) e IBGE (2022a, 2022b).

de poluição difusa advindas da agropecuária, com destaque para N e P, considerando a vulnerabilidade em relação às mudanças climáticas (balanço hídrico quantitativo e erodibilidade do solo à erosão hídrica).

### Etapa 3: Classificação do resultado visando identificar as áreas prioritárias ao monitoramento da qualidade da água.

Para cada mapa, foi realizado no ArcGIS o fatiamento/agrupamento dos dados (entre o menor e maior valor apresentado) em 5 classes (utilizando a classificação Natural Breaks do ArcGIS 10.8.2). O método de otimização de Jenks, também chamado de método de classificação de quebras naturais de Jenks, é um método de agrupamento de dados projetado para determinar o melhor arranjo de valores em diferentes classes. Isso é feito procurando minimizar o desvio médio de cada classe em relação à média da classe, e maximizar o desvio de cada classe em relação às médias das outras classes (Jenks, 1967). Cada faixa de valores, em cada mapa, foi classificada de 1 a 5, sendo 1 uma contribuição menor e 5 uma contribuição maior para as fontes de poluição difusa no meio rural. Nos mapas sínteses resultantes da sobreposição e somatório dos mapas, os níveis receberam também uma denominação de intensidade de contribuição e uma cor (Tabela 2).

No caso do indicador BHQ, utilizou-se a classificação de 1 a 5 original do mapa disponibilizado pela ANA, que considerou, por exemplo, o BHQ 1 como “Excelente” e o BHQ 5 como “Muito crítico”. No caso do indicador erodibilidade do solo à erosão hídrica também se fez uso da classificação original do mapa: 1 (Muito baixa), 2 (Baixa), 3 (Moderada), 4 (Alta) e 5 (Muito Alta). As classes que não eram de interesse, tais como as áreas urbanas, os

corpos hídricos e os afloramentos rochosos foram reclassificados como zero.

## Resultados e discussão

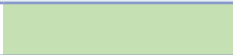




Os mapas intermediários gerados, apresentados nas figuras subsequentes, são: entrega de fertilizantes pelas culturas agregadas por município (Figura 4), número de cabeças animais por município (Figura 5), áreas com fertirrigação da cana-de-açúcar por município (Figura 6), balanço hídrico quantitativo por município (Figura 7) e erodibilidade à erosão hídrica por município (Figura 8).

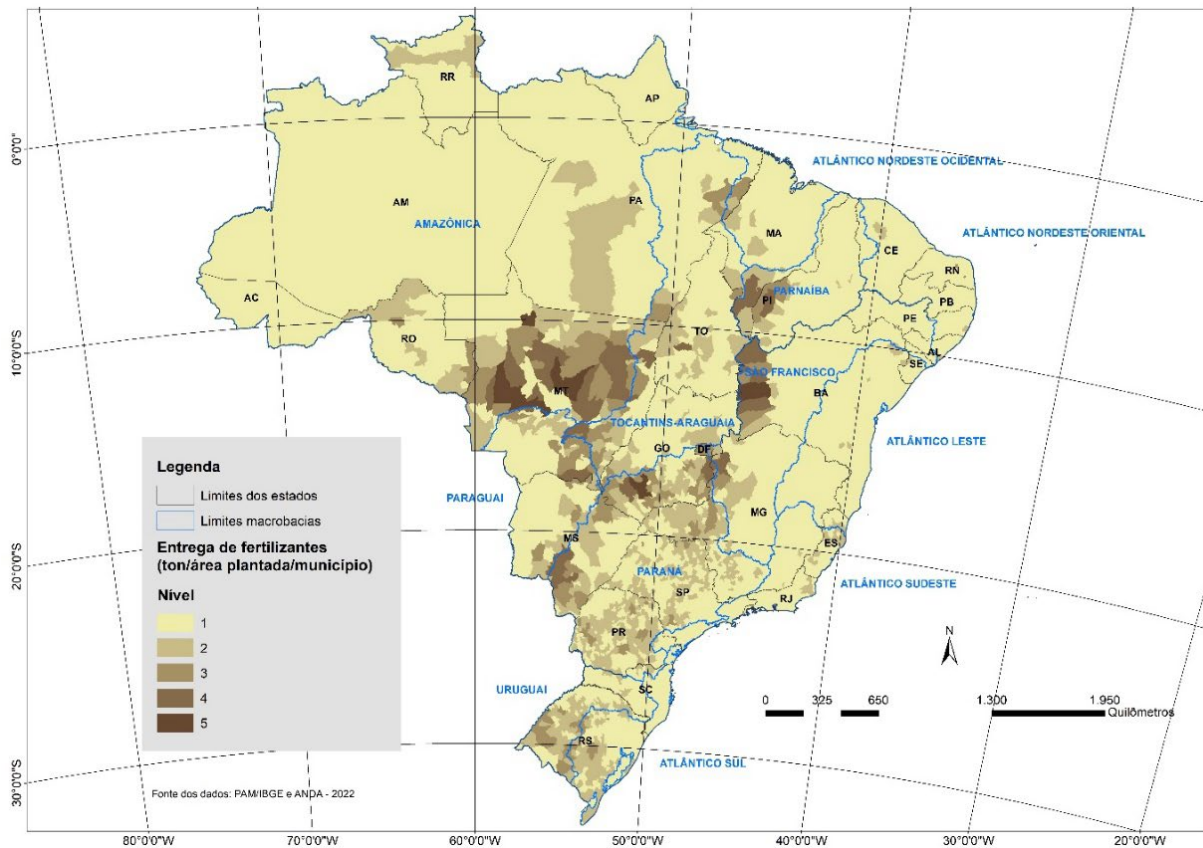
O consumo, ou entrega, de fertilizantes foi maior em 2022 nos municípios do Mato Grosso, no sul do Mato Grosso do Sul e em alguns municípios do MATOPIBA (região de expansão agropecuária que compreende territórios dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), com destaque para o Oeste da Bahia (Figura 4). Segundo GlobalFert (2024), as principais culturas que consomem fertilizantes no Brasil são: soja, milho, cana-de-açúcar, floresta, café e algodão, sendo que a soja e o milho demandam juntos aproximadamente 63% do total de fertilizantes consumidos no País. Os fertilizantes são as principais fontes de P e N no meio rural, como já mencionado. A menor faixa de entrega de fertilizantes mapeada foi de 0,00–10.494,40 toneladas de produto por hectare, e a maior faixa foi de 244.048,97–530.634,58 toneladas de produto por hectare em 2022 por município (Tabela 3).

São fundamentais ações e políticas públicas visando o uso otimizado de fertilizantes na agricultura, com recomendações mais precisas com base em dados e informações obtidas em amostragem de solos, bem como a partir do cruzamento com outras informações fisiográficas por região, tais como precipitação pluvial, relevo, processos erosivos e outros. De um modo geral, são técnicas importantes para adoção na propriedade: rotação de culturas e Sistema Plantio Direto (SPD); aplicação equilibrada de fertilizantes no momento correto para evitar perdas por lixiviação ou volatilização; análise de solo e agricultura de precisão; uso de bioinsumos e micro-organismos benéficos; bem como a utilização de práticas para conservação do solo, como cobertura vegetal, plantio em nível e controle da erosão.

Em relação ao número de cabeças animais agregado por município, geradoras de fontes de poluição difusa no meio rural, observa-se que os municípios com maior produção são dispersos no país, mas mais concentrados no Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Pará (Figura 5). A menor faixa de

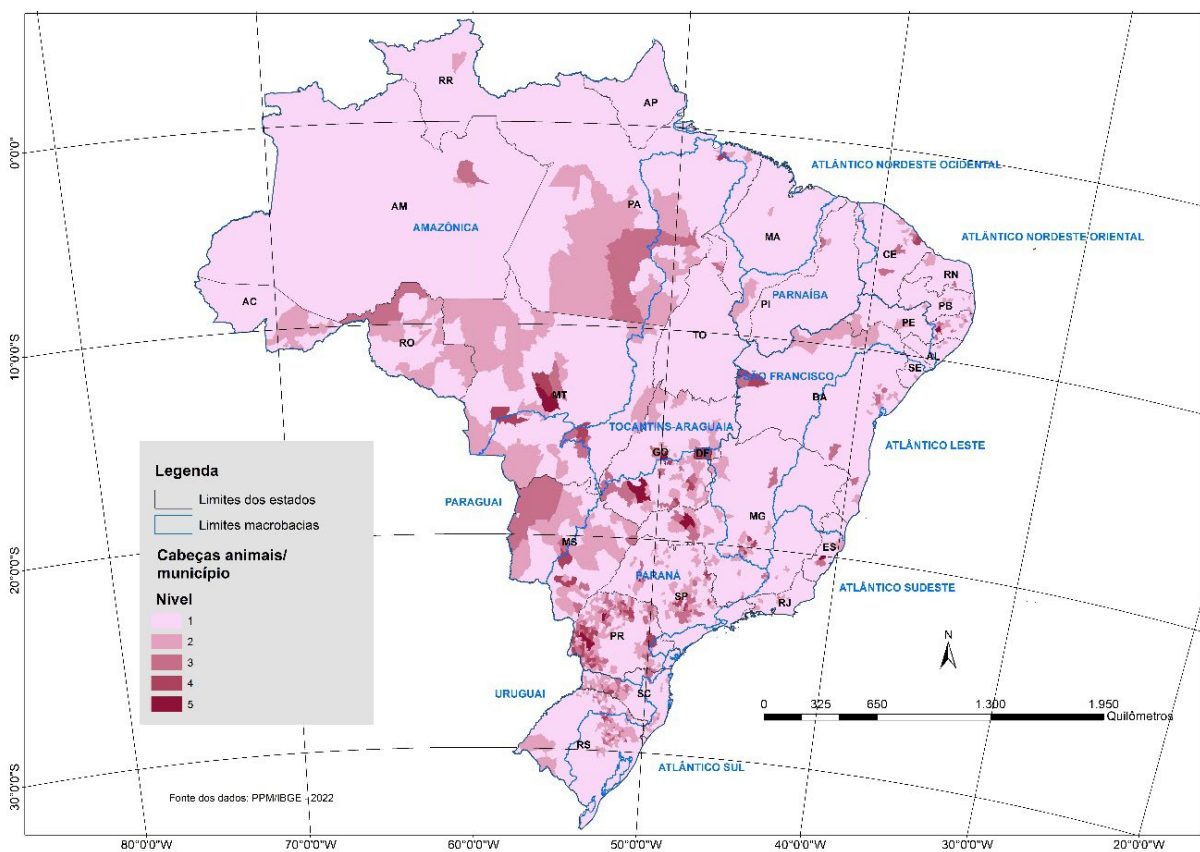
**Tabela 2.** Simbologia aplicada na elaboração dos mapas intermediários e síntese.

Nível	Classe	Cor
1	Muito baixa prioridade	
2	Baixa prioridade	
3	Média prioridade	
4	Alta prioridade	
5	Muito alta prioridade	



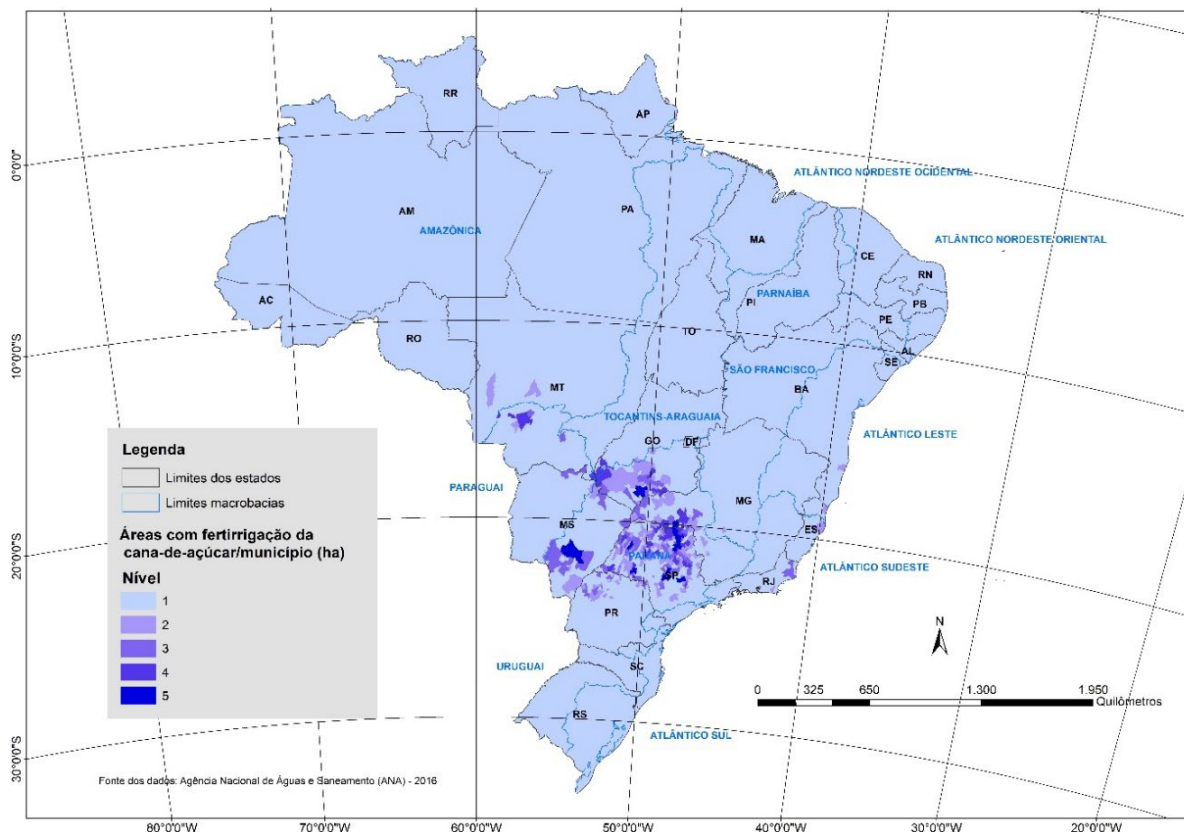
**Figura 4.** Mapa da entrega de fertilizantes pelas principais culturas por município, Brasil.

Fonte: Anuário [...] (2022) e IBGE (2022b).



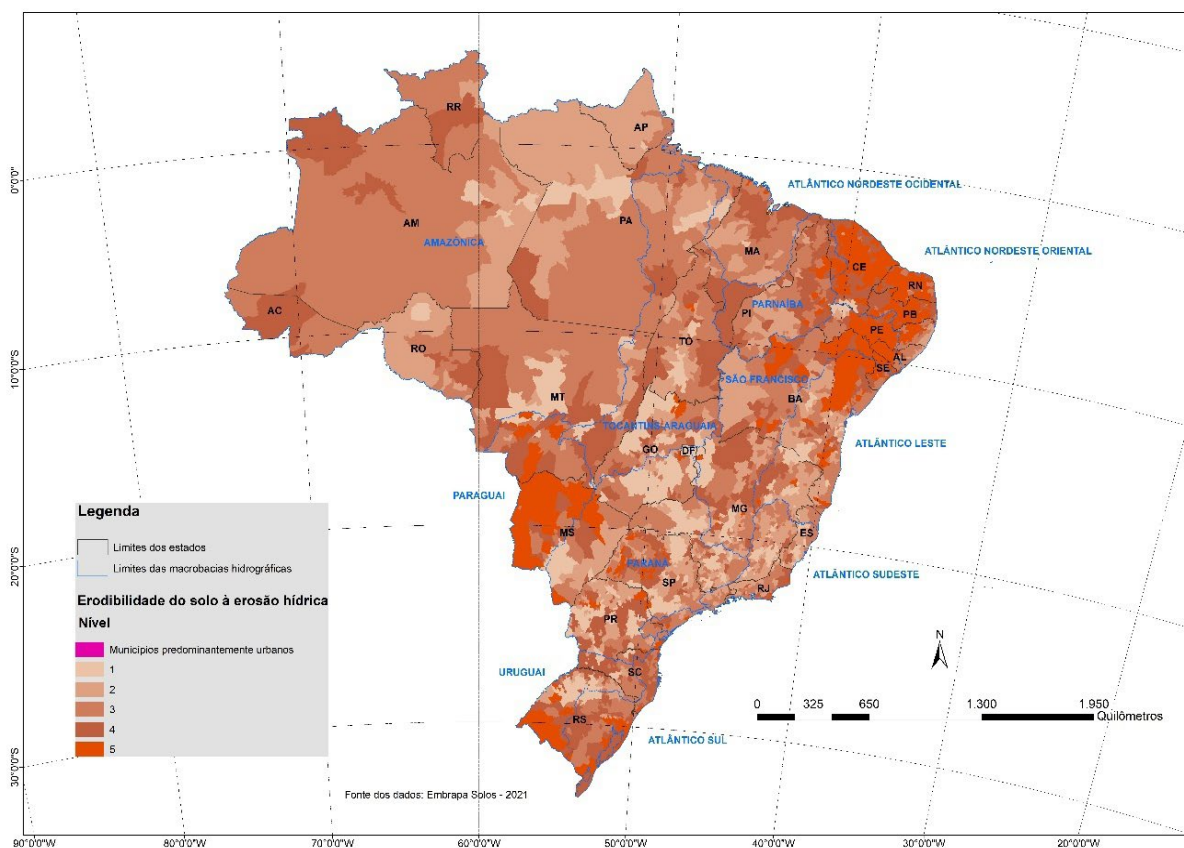
**Figura 5.** Mapa do número de cabeças animais por município, Brasil.

Fonte: IBGE (2022a).



**Figura 6.** Mapa de áreas com fertirrigação da cana-de-açúcar por município, Brasil.

Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2016).



**Figura 7.** Mapa do balanço hídrico quantitativo por município, Brasil.

Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021).

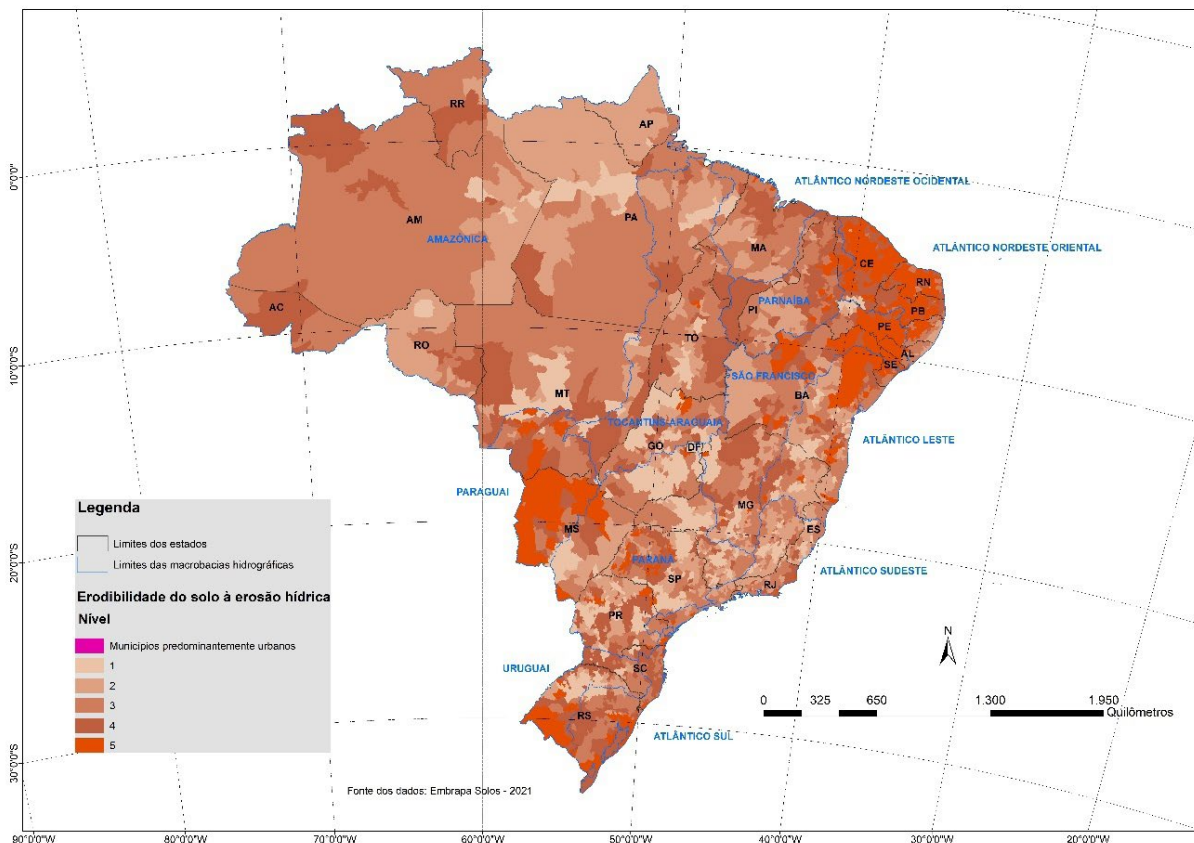


Figura 8. Mapa da erodibilidade do solo à erosão hídrica por município, Brasil.

Fonte: Coelho et al. (2020).

Tabela 3. Faixas de valores ou classificação original dos níveis para cada tema/layer considerado (mapa) e sua classificação.

Tema (Mapa)	Nível	Faixa de valor ou classificação original	Unidade de medida	Classificação para o monitoramento
Entrega de fertilizantes por cultura (N, P, K)/área plantada das principais culturas	1	0,00–10.494,40	t de produto por ha	Muito baixa prioridade
	2	10.494,40–42.591,95		Baixa prioridade
	3	42.591,95–118.250,52		Média prioridade
	4	118.250,52–244.048,97		Alta prioridade
	5	244.048,97–530.634,58		Muito alta prioridade
Número de cabeças animal/município	1	0,00–521.762,00	Número de cabeças	Muito baixa prioridade
	2	521.762,00–1.776.399,00		Baixa prioridade
	3	1.776.399,00–3.967.594,00		Média prioridade
	4	3.967.594,00–9.357.978,00		Alta prioridade
	5	9.357.978,00–21.299.347,00		Muito alta prioridade
Área de fertirrigação da cana-de-açúcar/município	1	0,00–1.983,00	ha	Muito baixa prioridade
	2	1.983,00–6.537,00		Baixa prioridade
	3	6.537,00–12.690,00		Média prioridade
	4	12.690,00–21.814,00		Alta prioridade
	5	21.814,00–42.701,00		Muito alta prioridade

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Tema (Mapa)	Nível	Faixa de valor ou classificação original	Unidade de medida	Classificação para o monitoramento
Balanço hídrico quantitativo/micro-bacias	1	Excelente	m <sup>3</sup> /s	Muito baixa prioridade
	2	Confortável		Baixa prioridade
	3	Preocupante		Média prioridade
	4	Crítica		Alta prioridade
	5	Muito crítica		Muito alta prioridade
Erodibilidade do solo à erosão hídrica	1	Muito Baixa	classes	Muito baixa prioridade
	2	Baixa		Baixa prioridade
	3	Média		Média prioridade
	4	Alta		Alta prioridade
	5	Muito Alta		Muito alta prioridade
Entrega de fertilizantes por cultura (N, P, K)/área plantada das principais culturas	1	0,00–10.494,40	t de produto por ha	Muito baixa prioridade
	2	10.494,40–42.591,95		Baixa prioridade
	3	42.591,95–118.250,52		Média prioridade
	4	118.250,52–244.048,97		Alta prioridade
	5	244.048,97–530.634,58		Muito alta prioridade
Número de cabeças animal/município	1	0,00–521.762,00	Número de cabeças	Muito baixa prioridade
	2	521.762,00–1.776.399,00		Baixa prioridade
	3	1.776.399,00–3.967.594,00		Média prioridade
	4	3.967.594,00–9.357.978,00		Alta prioridade
	5	9.357.978,00–21.299.347,00		Muito alta prioridade
Área de fertirrigação da cana-de-açúcar/município	1	0,00–1.983,00	ha	Muito baixa prioridade
	2	1.983,00–6.537,00		Baixa prioridade
	3	6.537,00–12.690,00		Média prioridade
	4	12.690,00–21.814,00		Alta prioridade
	5	21.814,00–42.701,00		Muito alta prioridade
Balanço hídrico quantitativo/micro-bacias	1	Excelente	m <sup>3</sup> /s	Muito baixa prioridade
	2	Confortável		Baixa prioridade
	3	Preocupante		Média prioridade
	4	Crítica		Alta prioridade
	5	Muito crítica		Muito alta prioridade
Erodibilidade do solo à erosão hídrica	1	Muito Baixa	classes	Muito baixa prioridade
	2	Baixa		Baixa prioridade
	3	Média		Média prioridade
	4	Alta		Alta prioridade
	5	Muito Alta		Muito alta prioridade

número de cabeças animais em 2022, agregados por município e mapeados, foi 0,00–521.762,00 e a maior faixa foi de 9.357.978,00–21.299.347,00 (Tabela 3). O manejo adequado dos resíduos na pecuária é crucial para reduzir a poluição difusa, que ocorre quando poluentes são dispersos em áreas extensas, como água e solo, sem uma fonte específica identificável. Em relação à pecuária, a gestão de resíduos sólidos, como fezes e urina dos animais, e líquidos, como o chorume, é fundamental para evitar a contaminação ambiental. Palhares (2016) apresenta diversas medidas para o manejo adequado da água na pecuária, reduzindo as fontes de poluição difusa. Esse mesmo estudo menciona que analisar e organizar os muitos conhecimentos e experiências zootécnicas, ambientais e sociais gerados pela ciência e pelas políticas nacionais, a fim de propor um modelo de gestão de bacias hidrográficas de perfil pecuário, é uma forma de melhorar a relação da atividade com as matrizes ambientais, reduzir os conflitos sociais, fomentar uma cultura de uso eficiente de insumos e recursos naturais, contribuir para a perenidade da atividade, bem como de seus benefícios econômicos e sociais.

Em relação às áreas com fertirrigação da cana-de-açúcar agregadas por município, destacam-se os estados de São Paulo, a região sul do Mato Grosso do Sul e de Goiás (Figura 6). A menor faixa mapeada de áreas com fertirrigação por município foi de 0,00–1.983,00 ha e a maior faixa foi de 21.814,00–42.701,00 ha, em 2022, por município (Tabela 3). A fertirrigação, que consiste na aplicação de fertilizantes junto com a água de irrigação, é uma prática comum na cultura da cana-de-açúcar, especialmente no Centro-Sul do Brasil, onde a irrigação suplementar e a fertirrigação são importantes para garantir o bom desenvolvimento da cultura.

O *Atlas irrigação* (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2021) oferece dados sobre a expansão da irrigação e fertirrigação na cana-de-açúcar, com foco no Centro-Oeste e em outras regiões com potencial de crescimento. O Atlas analisa a distribuição da área irrigada, o potencial de expansão e o uso da água na agricultura, fornecendo informações relevantes para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos na produção de cana-de-açúcar. A segunda edição do *Atlas irrigação* atualizou e ampliou o escopo da versão original, com informações sobre o uso da água na agricultura irrigada, incluindo a cana-de-açúcar. Segundo o estudo, a fertirrigação, que é feita exclusivamente com água de reuso (vinhaça e águas residuárias),

está presente em 79,5% da área irrigada de cana-de-açúcar no Brasil, o que equivale a 2,9 milhões de hectares ou 29,1% da área total de canaviais do Brasil (11,2 milhões de hectares) (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2021). Essas informações também são importantes para o monitoramento da qualidade da água, seja para o uso na agricultura, como também para os diversos usos no meio rural. Apesar da fertirrigação ser feita exclusivamente com água de reuso, a lixiviação da vinhaça, que contém P e N, ocorre quando a água da chuva ou irrigação transporta esses nutrientes solúveis para as camadas mais profundas do solo. Esse processo é intensificado por volumes excessivos de vinhaça, impactando negativamente a produtividade das plantas e podendo contaminar o lençol freático.

Em relação ao BHQ por município, as piores condições encontram-se nas regiões Nordeste e Sul e no estado do Espírito Santo (Figura 7). O Brasil, pelas suas dimensões continentais e diversidade de biomas, que variam de muito úmidos a muito secos, apresenta uma disponibilidade hídrica complexa. A variabilidade das vazões nos rios nem sempre acompanha o comportamento das chuvas, indicando que outros fatores além da questão climática, como os associados aos usos da água, operação de infraestruturas, uso e ocupação do solo, dentre outros, impactam de maneira significativa a disponibilidade hídrica.

A demanda de água pode sofrer alterações por conta de fatores relacionados a questões econômicas, ambientais ou climáticas. Um dos principais aspectos está relacionado ao crescimento populacional, pois o aumento do número de habitantes resulta em maior necessidade de água, seja para uso direto das pessoas, seja para produção de bens de consumo e serviços. O desenvolvimento econômico também exerce uma influência significativa sobre a demanda de água. Economias em crescimento tendem a aumentar a produção industrial e agrícola, que são grandes consumidoras de recursos hídricos (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2024).

Em relação à erodibilidade do solo à erosão hídrica por município observa-se que as regiões mais críticas são o Nordeste, Centro-Oeste e Sul (Figura 8). O mapa de erodibilidade utilizado no presente estudo expressa a capacidade do solo de resistir à erosão provocada pela água a partir de características intrínsecas, como a composição granulométrica, estrutura, conteúdo de carbono orgânico na camada superficial, permeabilidade, profundidade efetiva do solo e a presença ou ausência de camada compactada e pedregosidade.

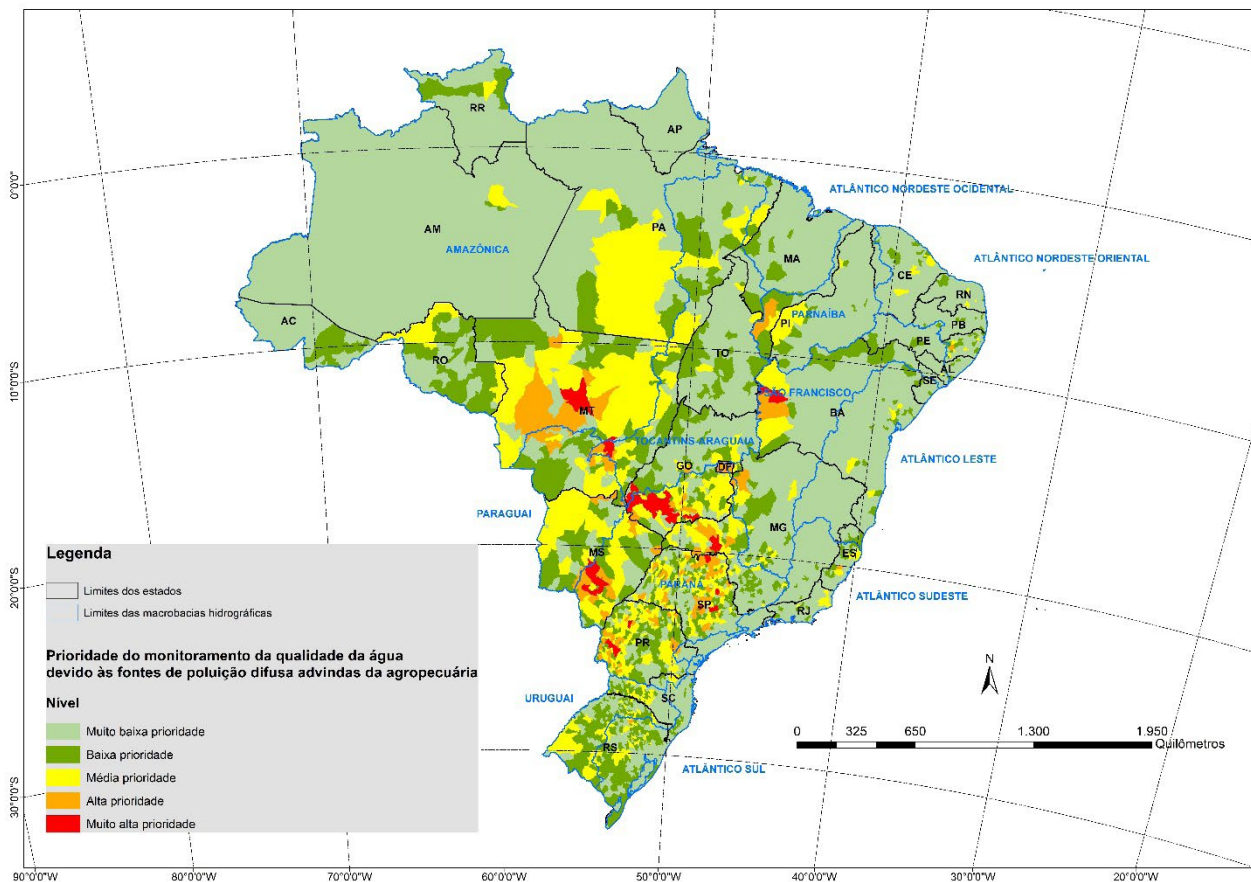
Esse modelo não considera fatores extrínsecos aos solos, como condições climáticas, relevo e cobertura vegetal. Optou-se pelo uso da erodibilidade do solo à erosão hídrica como um dos indicadores por ser um dado disponível na base de dados da Embrapa Solos para todo o Brasil, uma vez que o presente estudo foi realizado em escala nacional e pelo fato de não haver todos os dados da equação universal de perda de solos disponíveis no formato de mapas para a escala nacional.

A Figura 9 apresenta o mapa síntese da priorização de municípios no Brasil para o monitoramento da qualidade da água devido à presença de fontes de poluição difusa, com destaque para N e P, advindas da agropecuária. Destaca-se que os municípios mais críticos do País quanto às fontes de poluição difusa, advindas da agropecuária estão localizados nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e na região do MATOPIBA. De forma pontual ou dispersa, aparecem nessa lista alguns municípios do Paraná e São Paulo.

A Figura 10 apresenta o mapa síntese da priorização de municípios no Brasil para o monitoramento

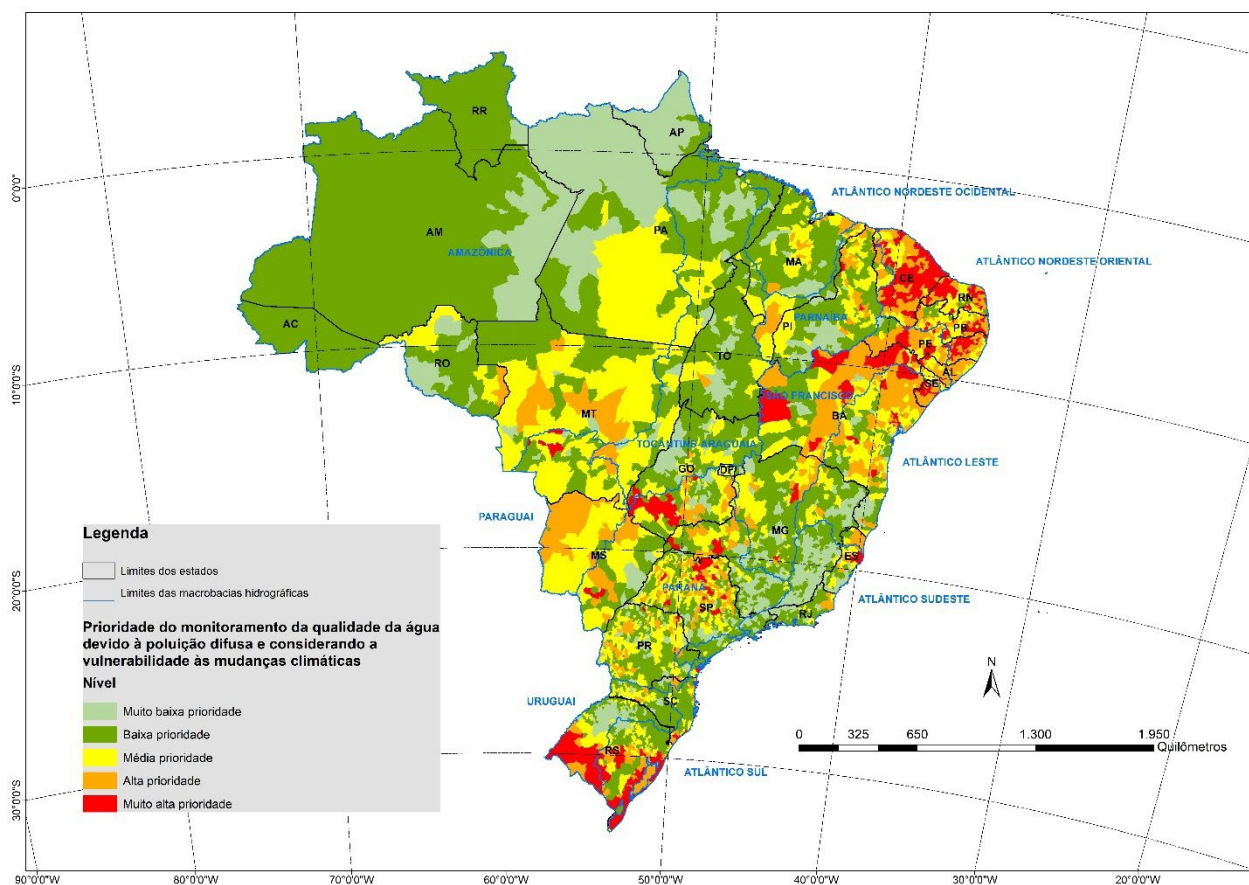
da qualidade da água devido à presença de fontes de poluição difusa, com ênfase para N e P, advindas da agropecuária, agregando a vulnerabilidade em relação às mudanças climáticas (balanço hídrico quantitativo e erodibilidade do solo à erosão hídrica). Merecem destaque municípios de alguns estados do Nordeste e do Centro-Oeste, bem como o Rio Grande do Sul.

No Repositório de Dados de Pesquisa da Embrapa (Redape)<sup>1</sup>, encontra-se uma tabela com a classificação dos municípios tanto pelos indicadores utilizados em relação às fontes de poluição difusa da água advindas da agropecuária, assim hídrico quantitativo e erodibilidade do solo à erosão à vulnerabilidade às mudanças climáticas. Destacam-se alguns dos municípios que apresentaram maior prioridade em relação às fontes de poluição difusa da água advindas da agropecuária, mas também vulnerabilidade às mudanças climáticas: Rio Verde (GO), Dourados (MS), Uberaba (MG), Piracicaba (SP), Mineiros (GO), Quirinópolis (GO), Barreiras (BA), Descalvado (SP), Guairá (SP), São Manuel (SP), Cascavel (PR), Cianorte (PR), Toledo (PR),



**Figura 9.** Mapa síntese da priorização de municípios no Brasil para o monitoramento da qualidade da água devido à presença de fontes de poluição difusa advindas da agropecuária, com destaque para N e P (Somatório 1).

<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.redape.dados.embrapa.br/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.48432/ZLID7A>



**Figura 11.** Mapa síntese da priorização de municípios no Brasil para o monitoramento da qualidade da água devido à presença de fontes de poluição difusa advindas da agropecuária, com ênfase para N e P, agregando a vulnerabilidade em relação às mudanças climáticas (balanço hídrico quantitativo e erodibilidade do solo à erosão hídrica) (Somatório 2).

Rio Brillhante (MS), Sidrolândia (MS), Lucas do Rio Verde (MT), Primavera do Leste (MT), Sorriso (MT), Tapurah (MT), Itumbiara (GO), Jataí (GO).

## Conclusões

Em relação aos indicadores utilizados, destaca-se que os dados relacionados às entregas de fertilizantes por cultura e município, assim como os dados relativos ao somatório de cabeças animais por município ainda não se encontram prontos e disponíveis, pois requerem um tempo significativo de organização e processamento, ao se considerar que o presente estudo está voltado a todos os municípios brasileiros. Dessa forma, o presente estudo deu suas contribuições ao permitir uma análise nacional sobre o tema. Observou-se também que estudos voltados a analisar as fontes de poluição difusa da água no meio rural são escassos na literatura, ainda mais no âmbito nacional. Esse fato também corrobora a importância do presente estudo.

Em termos metodológicos, a espacialização, integração e análise espacial das fontes de poluição

hídricas por município em sistema de informação geográfica, bem como outros fatores importantes para o processo de transporte e diluição dos nutrientes na água, principalmente fósforo e nitrogênio, contribuem para uma melhor visualização do problema pelos gestores e tomadores de decisão, podendo apoiar políticas públicas, com destaque para a Política Nacional de Recursos Hídricos, com um olhar voltado à contenção ou redução das fontes de poluição difusa no meio rural, utilizando como ferramenta de gestão um monitoramento adequado.

Em relação aos resultados obtidos, ressalta-se que os municípios mais críticos do País quanto às fontes de poluição difusa, advindas da agropecuária estão localizados nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e região do MATOPIBA. De forma pontual ou dispersa aparecem nessa lista alguns municípios do Paraná e São Paulo. Os governos estaduais e municipais dessas áreas de elevada produção agropecuária precisam investir esforços e recursos financeiros visando otimizar a utilização de fertilizantes nas principais culturas agrícolas, bem como estimular práticas de manejo

adequado do solo, da água e de resíduos na produção pecuária. Também os órgãos responsáveis pelo monitoramento da qualidade da água nessas regiões precisam estar atentos, ampliando o monitoramento de parâmetros que possam indicar as fontes de poluição difusa, com ênfase para o fósforo e nitrogênio, que aceleram o processo de eutrofização dos corpos d'água, inviabilizando a água para os diversos usos.

Levando-se em conta que as mudanças climáticas têm acentuado os eventos climáticos extremos nas diferentes regiões do País, e que interferem também no deslocamento e diluição dos nutrientes na água, e, agregando-se os indicadores de Balanço Hídrico Quantitativo e de Erodibilidade do solo à erosão hídrica, merecem destaque alguns estados do Nordeste e do Centro-Oeste, bem como o Rio Grande do Sul.

Recomenda-se, para um detalhamento ou prosseguimento do presente estudo, incluir nas análises outros indicadores relacionados às mudanças climáticas, bem como avaliação das capacidades institucionais como infraestrutura de laboratórios, logística necessária e recursos humanos e financeiros necessários para a realização do monitoramento da qualidade da água devido às fontes de poluição difusa da água nas regiões onde as fontes desse tipo de poluição estão mais presentes. Também seria interessante incorporar na análise uma camada sobre o relevo, comportamento ou característica da água no solo, bem como outra sobre os aquíferos (por exemplo áreas de recarga/afloramento), permitindo agregar também as vulnerabilidades da água subterrânea diante das fontes de poluição difusa advindas da agropecuária. O manejo agropecuário também não foi avaliado, mas é muito importante e quando inadequado pode ocasionar grandes problemas relacionados à poluição difusa.

## Agradecimento

Ao projeto Soluções Digitais para Criação, Estimativa e Divulgação de Indicadores Agro-Socioambientais / Inteligência Estratégica para a Sustentabilidade da Agropecuária Nacional, sob número 10.22.10.018.00.00 na Embrapa.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. 2. ed. Brasília, DF: ANA,

2021. 130 p. Disponível em: [https://biblioteca.ana.gov.br/sophia\\_web/Busca/Download?codigoArquivo=148256](https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Busca/Download?codigoArquivo=148256). Acesso em: 4 nov. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Balanço hídrico quantitativo por microbacia - 2020**. Brasília, DF: ANA, 2020. Disponível em: [https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/f6e75885b3554a01927741e47d829168\\_0/about](https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/f6e75885b3554a01927741e47d829168_0/about). Acesso em: 5 nov. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe anual 2024. Brasília, DF: ANA, 2024. 154 p. Disponível em: [https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura2024\\_04122024.pdf](https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura2024_04122024.pdf). Acesso em: 4 nov. 2025.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO SETOR DE FERTILIZANTES. São Paulo: ANDA, 2022.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (Brasil). **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. São Paulo: Anda, 2021. Disponível em: [https://anda.org.br/wp-content/uploads/2024/09/Principais\\_Indicadores\\_2021.pdf](https://anda.org.br/wp-content/uploads/2024/09/Principais_Indicadores_2021.pdf). Acesso em: 4 nov. 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. 1997. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm). Acesso em: 4 nov. 2025.

BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050**: uma estratégia para os fertilizantes no Brasil. Brasília, DF: SAE, 2021. 195 p. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/planos/plano-nacional-fertilizantes/@@download/file/Plano-Nacional-Fertilizantes.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2025.

COELHO, M. R.; BACA, J. F. M.; LUMBRERAS, J. F.; FERRAZ, R. P. D.; SIMÕES, M.; FREITAS, P. L. de; LIMA, E. de P.; DART, R. de O.; AMARAL, A. J. do. Mapa de erodibilidade dos solos à erosão hídrica do Brasil. In: EMBRAPA. **Geoinfo**. [Brasília, DF], 2020. Disponível em: <https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/?q=Erodibilidade%20dos%20solos%20do%20Brasil&page=1&d=1708%3Bdataset%3Bvector>. Acesso em: 10 nov. 2025.

FERREIRA, D. B.; MUHLENHOLFF, A. P.; FERNANDES, C. V. S. Modelos de poluição difusa: desafios, estratégias e impacto para a gestão de recursos hídricos. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 15, e10, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21168/rega.v15e10>.

GLOBALFERT. **Outlook GlobalFert 2024**. 5. ed. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://globalfert.com.br/outlook-globalfert/>. Acesso em: 4 nov. 2025.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Pesquisa da pecuária municipal**: tabela 3939 - efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho. [Rio de Janeiro, 2022a]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/3939>. Acesso em: 5 nov. 2025.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Produção agrícola municipal**: tabela 5457 - área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes. [Rio de Janeiro, 2022b]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em: 5 nov. 2025.

INGRAO, C.; STRIPPOLI, R.; LAGIOIA, G.; HUISINGH, D. Water scarcity in agriculture: an overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. **Heliyon**, v. 9, n. 8, e18507, Aug. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18507>.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do saneamento do Instituto Trata Brasil de 2024 (SNIS 2022)**. São Paulo, 2024. 88 p. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/04/Relatorio-Completo-Ranking-do-Saneamento-de-2024-TRATA-BRASIL-GO-ASSOCIADOS.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2025.

JENKS, G. F. The data model concept in statistical mapping. **International Yearbook of Cartography**, v. 7, p. 186-190, 1967.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. (ed.). **Soil erosion research methods**. Washington, DC: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141-160.

LIMA, R. N. de S.; RIBEIRO, C. B. de M.; BARBOSA, C. C. F.; ROTUNNO FILHO, O. C. Estudo da poluição pontual e difusa na bacia de contribuição do reservatório da usina hidrelétrica de Funil utilizando modelagem espacialmente distribuída em Sistema de Informação Geográfica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 139-150, jan./mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100127676>.

LUDEMANN, C. I.; WANNER, N.; CHIVENGE, P.; DOBERMANN, A.; EINARSSON, R.; GRASSINI, P.; GRUERE, A.; JACKSON, K.; LASSALETTA, L.; MAGGI, F.; OBLI-LARYEA, G.; VAN ITTERSUM, M. K.; VISHWAKARMA, S.; ZHANG, X.; TUBIELLO, F. N. A global FAOSTAT reference database of cropland nutrient budgets and nutrient use efficiency (1961–2020): nitrogen, phosphorus and potassium, **Earth System Science Data**, v. 16, n. 1, p. 525-541, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-16-525-2024>.

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6: água potável e saneamento: garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>. Acesso em: 5 nov. 2025.

PALHARES, J. C. P. (org.). **Produção animal e recursos hídricos**. São Carlos, SP: Editora Cubo, 2016. 183 p.

PAULE-MERCADO, M. C.; RABANEDA-BUENO, R.; PORCAL, P.; KOPACEK, M.; HUNEAU, F.; VYSTAVNA, Y. Climate and land use shape the water balance and water quality in selected European lakes. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, 8049, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58401-3>.

PRADO, R. B.; FORMIGA-JOHNSSON, R. M.; MARQUES, G. Uso e gestão da água: desafios para a sustentabilidade no meio rural. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, n. 2, p. 43-48, maio/ago. 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1080534/1/2017043.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2025.

SANTOS, A. C. dos; MARTINS, C. S.; MELO, N. A. de; ALAMY FILHO, J. E. Quantificação das cargas de nitrogênio e fósforo na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Bom Jardim (MG). **Revista DAE**, v. 68, n. 225, p. 15-33, set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.050>.

TONIOLO, B. P.; NERY, L. M.; SILVA, D. C. da C. e. Modelagem espacial para identificação de áreas potenciais à geração de poluição difusa na bacia hidrográfica do Rio Cotia - SP. **Urbe: Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 16, e20220207, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.016.e20220207>.