REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA E SUA ASSOCIAÇÃO ESPACIAL COM O USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA DO RIO VERDE - UPGRH GD4 POR MEIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO

MAPPING THE SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF WATER QUALITY AND ITS SPACIAL ASSOCIATION WITH LAND USE AND LAND COVER IN THE VERDE RIVER BASIN (UPGRH GD4) USING GEOPROCESSING TECHNIQUES

MAPEO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SU ASOCIACIÓN ESPACIAL CON EL USO Y OCUPACION DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO VERDE (UPGRH GD4) MEDIANTE TÉCNICAS DE GEOPROCESAMIENTO

Matheus Junqueira Amzalak
Dra. Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques
Dr. Alisson Souza de Oliveira
Mestrado Meio Ambiente e saúde, UNINCOR, Brasil
E-mail: matheus.amzalak@gmail.com

Resumo

A crescente pressão exercida pelas atividades antrópicas sobre os recursos hídricos, associada às alterações no uso e na ocupação da terra e efeitos de eventos climáticos extremos, tem intensificado os desafios relacionados à gestão das bacias hidrográficas. Nesse contexto, o monitoramento da qualidade da água e a utilização de ferramentas de análise espacial tornam-se fundamentais para subsidiar ações de planejamento e conservação ambiental. O presente estudo teve como objetivo mapear e analisar a distribuição espacial e temporal da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Verde (UPGRH GD4), no Sul de Minas Gerais, avaliando sua associação espacial com o uso e a ocupação da terra por meio da aplicação de técnicas de geoprocessamento. Foram utilizados dados públicos de monitoramento da qualidade da água disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), abrangendo o período de 2001 a 2020, além de informações de uso e cobertura da terra obtidas na plataforma MapBiomas. A qualidade da água foi avaliada por meio do Índice de Qualidade da Água (IQA), calculado a partir dos parâmetros adotados no Brasil. Para a representação da distribuição espacial do IQA foi utilizado o Inverso da Distância Ponderada (IDW), utilizando o *software* QGIS®. Conclui-se que a metodologia desenvolvida constitui alternativa para a análise integrada da qualidade da água em bacias hidrográficas, podendo ser aplicada em outras regiões que disponham de bases públicas de monitoramento. Os produtos gerados fornecem

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

subsídios para o planejamento territorial, a gestão dos recursos hídricos e a definição de estratégias voltadas à conservação ambiental e ao uso sustentável da água.

Palavras-chave: Recursos hídricos; Monitoramento ambiental; Índice de Qualidade de água (IQA); Interpolação; Geoprocessamento.

Abstract

The growing pressure exerted by anthropogenic activities on water resources, associated with changes in land use and land cover and the effects of climate change, has intensified the challenges related to watershed management. In this context, water quality monitoring and the use of spatial analysis tools become essential to support environmental planning and conservation actions. This study aimed to map and analyze the spatial and temporal distribution of water quality in the Verde River watershed (UPGRH GD4), in the South of Minas Gerais, evaluating its spatial association to land use and land cover through the application of geoprocessing techniques. Public water quality monitoring data provided by the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA) covering the period from 2001 to 2020 were used, as well as land use and land cover information obtained from the MapBiomas platform. Water quality was assessed through the Water Quality Index (WQI), calculated based on parameters established by the National Sanitation Foundation (NSF) and adopted in Brazil. Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation was performed using QGIS software to represent the spatial distribution of the WQI. It is concluded that the developed methodology constitutes an alternative for the integrated analysis of water quality in watersheds, and can be applied to other regions that have public monitoring databases. The generated products provide subsidies for territorial planning, water resources management, and the definition of strategies aimed at environmental conservation and sustainable water use.

Keywords: Water resources; Environmental monitoring; Water Quality Index (WQI); Interpolation; Geoprocessing.

Resumen

La creciente presión ejercida por las actividades antrópicas sobre los recursos hídricos, sumada a los cambios en el uso y la ocupación del suelo y a los efectos de eventos climáticos extremos, ha intensificado los desafíos relacionados con la gestión de las cuencas hidrográficas. En este contexto, el monitoreo de la calidad del agua y el uso de herramientas de análisis espacial resultan fundamentales para sustentar acciones de planificación y conservación ambiental. El presente estudio tuvo como objetivo mapear y analizar la distribución espacial y temporal de la calidad del agua en la cuenca hidrográfica del río Verde (UPGRH GD4), en el sur del estado de Minas Gerais, evaluando su asociación espacial con el uso y la ocupación del suelo mediante la aplicación de técnicas de geoprocesamiento. Se utilizaron datos públicos de monitoreo de la calidad del agua proporcionados por la Agencia Nacional de Aguas y Saneamiento Básico (ANA), que abarcan el período de 2001 a 2020, además de información sobre el uso y la cobertura del suelo obtenida de la plataforma MapBiomas. La calidad del agua se evaluó mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA), calculado a partir de los parámetros adoptados en Brasil. Para representar la distribución espacial del IQA, se empleó el método de la Inversa de la Distancia Ponderada (IDW), utilizando el software QGIS®. Se concluye que la metodología desarrollada constituye una alternativa para el análisis integrado de la calidad del agua en cuencas hidrográficas, la cual puede aplicarse en otras regiones que cuenten con bases de datos públicas de monitoreo. Los resultados obtenidos proporcionan insumos para la planificación territorial, la gestión de los recursos hídricos y la definición de estrategias orientadas a la conservación ambiental y al uso sostenible del agua.

Palabras clave: Recursos hídricos; Monitoreo ambiental; Índice de Calidad del Agua (ICA); Interpolación; Geoprocesamiento.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

1. Introdução

A bacia hidrográfica é a unidade territorial onde as precipitações e o escoamento direcionam a água a um corpo receptor (FEIL; STRASBURG; SPILKI, 2017). Embora sua dinâmica envolva processos naturais, a intensificação das atividades humanas tem ampliado os impactos sobre os recursos hídricos e gerado conflitos de uso. A qualidade da água reflete essa interação entre fatores naturais e intervenções antrópicas. Diante disso, o monitoramento sistemático e o conhecimento dessas características são fundamentais para o planejamento, a gestão e a compatibilização dos múltiplos usos da água.

Nesse contexto, esta pesquisa adota como área de estudo a bacia hidrográfica do rio Verde, localizada no Sul/Sudoeste de Minas Gerais, com área de drenagem de aproximadamente 6.900 km² e nascente na Serra da Mantiqueira. A relevância do estudo fundamenta-se nos recorrentes episódios de crise hídrica e seca extrema enfrentados no Brasil, que evidenciam a necessidade urgente de ferramentas científicas para apoiar a segurança hídrica e o uso racional da água.

O objetivo principal deste trabalho é mapear e analisar a distribuição espacial e temporal da qualidade da água na bacia do rio Verde, no período de 2001 a 2020, avaliando sua associação espacial com o uso e a ocupação da terra. Para isso, são integradas técnicas de geoprocessamento e ferramentas de interpolação espacial aplicadas ao Índice de Qualidade da Água (IQA), utilizando dados públicos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e do projeto MapBiomas.

2. Revisão da Literatura

A poluição dos recursos hídricos consiste na contaminação dos corpos d’água por matéria ou energia química, elementos radioativos ou organismos patogênicos. Essa contaminação altera significativamente as características físicas, químicas e biológicas da água, podendo inviabilizar o seu uso para diversas finalidades,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

provocar prejuízos aos ecossistemas aquáticos e transmitir doenças à população. Essa poluição vem crescendo, sobretudo nas grandes cidades (HIRATA, 2009).

A poluição hídrica classifica-se em fontes difusas e pontuais. As fontes difusas originam-se de áreas extensas e chegam aos corpos d'água de forma intermitente, o que dificulta seu controle; elas decorrem de atividades agropecuárias (fertilizantes, pesticidas e pecuária extensiva) e do escoamento urbano (AMORIM, 2022). Já as fontes pontuais possuem origem localizada e identificável, caracterizando-se pelo descarte inadequado de efluentes domésticos e industriais, que introduzem patógenos, nutrientes (nitrogênio e fósforo), compostos químicos e elevada carga orgânica nos rios.

A dinâmica dessas cargas poluidoras é fortemente influenciada pelas chuvas. A precipitação lava as superfícies terrestres e promove a lixiviação e o carreamento de materiais particulados e sólidos em suspensão para os cursos d'água (DE PAULA et al., 2016). Portanto, a qualidade dos recursos hídricos responde diretamente à interação entre o regime pluviométrico e os usos e ocupação do solo da bacia.

O uso da terra afeta consideravelmente o equilíbrio do ciclo da água, atividades antrópicas diversas como agricultura, urbanização, desmatamento e atividades industriais afetam a qualidade e disponibilidade da água durante os processos do ciclo hidrológico, principalmente por alteração na cobertura do solo. De acordo com revisões de Bruijnzeel (2004), as respostas hidrológicas às mudanças de cobertura dependem de vários aspectos, sendo as taxas de evapotranspiração e as oportunidades de infiltração os fatores chave destas respostas. A infiltração dependerá tanto da manutenção da permeabilidade do solo, seja natural ou manejada, como da intensidade do regime de chuvas.

A Lei Federal nº 9.433/1997, também conhecida como Lei das Águas, importante marco na gestão dos recursos hídricos no Brasil, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, que estabelece fundamentos e objetivos para a gestão da água, reconhecendo-a como um bem público e recurso natural limitado, com valor econômico e usos múltiplos. O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Verde (CBH Verde) em conjunto com o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM),

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

trabalharam para a elaboração do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Verde (PDRH Verde), cuja primeira versão foi emitida em 2010.

A disponibilidade hídrica, em qualidade e quantidade, constitui o principal objetivo das ações para promover o uso múltiplo, racional e integrado dos recursos hídricos, bem como a redução da poluição e dos conflitos pela água. Conforme estabelecido pela PNRH, as bacias hidrográficas são constituídas como unidades territoriais de planejamento político, hídrico e social. Esses territórios apresentam elementos físicos, biológicos e humanos, os quais interagem, abrangendo processos geomorfológicos, hidrológicos e socioambientais (VALE; BORDALO, 2020; SANTOS et al., 2023).

O ciclo hidrológico é um processo dinâmico impulsionado pela radiação solar, que promove a evapotranspiração da água da superfície e da vegetação para a atmosfera, e pela ação da gravidade, que rege o seu retorno e circulação na Terra. Ao se condensar na atmosfera, o vapor d'água forma nuvens que resultam em precipitações como chuva, neve ou granizo. Ao atingir o solo, essa água pode ser interceptada pela vegetação, infiltrar-se para abastecer os aquíferos subterrâneos ou, quando a capacidade de absorção da terra é superada, gerar o escoamento superficial que alimenta diretamente os rios e cursos d'água (TUCCI, 2009).

Os fatores que influenciam o aporte de sedimentos em bacias hidrográficas são o relevo, tipo de solo, o clima e as formas de uso e ocupação do solo. Dentre os fatores descritos, a cobertura do solo tem influência decisiva nas perdas de água e solo (Silva et al., 2005), podendo influenciar a disponibilidade e a qualidade da água.

A bacia do rio Verde constitui a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos 4 (UPGRH GD4), e integra a bacia hidrográfica do rio Grande, que se estende pelos territórios dos estados de Minas Gerais e São Paulo, perfazendo 143.437,79 km², dos quais 60,2% estão em território mineiro, e 39,8% em território paulista (IPT, 2008). O rio Verde nasce no limite dos municípios de Passa Quatro e Itanhandu, na vertente ocidental da Serra da Mantiqueira, a cerca de 2.600 metros de altitude, próximo à divisa dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Após percorrer pela encosta oeste da Mantiqueira, depois de cerca de 220

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

km, o rio deságua na Represa de Furnas, no limite dos municípios de Elói Mendes e Três Pontas, onde atinge a cota aproximada de 800 metros.

Em seu trajeto, desde as áreas elevadas de Passa Quatro e Itanhandu, na cumieira da Serra da Mantiqueira, até desaguar na Represa de Furnas, no limite dos municípios de Elói Mendes e Três Pontas, o rio Verde recebe importantes afluentes, entre os quais se destacam, pela margem esquerda, rio Passa Quatro, o ribeirão do Carmo, o rio Lambari, o rio São Bento, o ribeirão do Aterrado, o rio Palmela e o ribeirão Caeté; e pela margem direita, os rios Capivari, Baependi e do Peixe, além dos ribeirões Pouso Alto e Espera.

A bacia do rio Verde divide-se em três segmentos: o alto curso, que vai de sua nascente na Serra da Mantiqueira até São Lourenço, caracterizando-se por um relevo íngreme de vales encaixados e forte queda de altitude (BEATO et al., 1999); o médio curso, que se estende até a confluência com o rio Lambari, apresentando relevo mais aplainado e grande volume de água; e o baixo curso, que segue do rio Lambari até o Lago de Furnas. Enquanto o trecho inicial é marcado pelas escarpas da serra, os cursos médio e baixo são caracterizados por paisagens de colinas com vertentes suaves e vales rasos.

Os principais setores econômicos da bacia são o agropecuário (café, pecuária leiteira, avicultura, culturas temporárias e frutíferas); os serviços e as indústrias de processamento. As atividades minerais encontram-se presentes na bacia, principalmente por meio da exploração de rochas ornamentais e da explotação das águas das fontes hidrotermais (Minas Gerais - IGAM, 2024).

Com base nos dados do Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2023), a bacia hidrográfica do rio Verde — unidade de planejamento composta por 31 municípios mineiros — apresentava um contingente populacional total de 622.660 habitantes. Registrou-se um incremento demográfico absoluto de aproximadamente 170.000 pessoas (cerca de 27%) ao longo de um período de 16 anos.

A caracterização fornece elementos para identificar possíveis fragilidades ambientais, sejam elas relacionada a deslizamentos, inundações, erosões e carreamento de sedimentos, sejam associadas a poluição da água e do solo ou a

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

alterações no ciclo hidrológico, considerando-se a amplitude dos possíveis impactos no ambiente físico.

O regime pluviométrico da bacia do rio Verde é caracterizado por uma concentração de chuvas no período de verão, entre outubro a março do ano subsequente. A precipitação média anual é de 1.450 mm.ano-1, variando entre 1.200 e 1.800 mm.ano-1. Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são os de maior precipitação, na área de estudo, com um total médio de 712,5 mm.

A bacia do rio Verde tem como bioma predominante a Mata Atlântica, caracterizada por alta biodiversidade e remanescentes altamente fragmentados devido a séculos de ocupação humana (MYERS et al., 2000; DEAN, 1996). Na porção da alta Mantiqueira, o relevo escarpado restringe atividades industriais e econômicas intensivas, preservando florestas nativas e campos de altitude distribuídos por variações altitudinais, além de abrigar a APA da Mantiqueira (KOUMROUYAN, 2015; ICMBIO, 2013). Em contraste, as porções à jusante possuem topografia suave que favorece a agropecuária — com destaque para a pastagem e a cafeicultura —, enquanto a região do baixo rio Verde apresenta forte adensamento urbano e industrial (MARQUES NETO et al., 2014).

O geoprocessamento e as geotecnologias englobam técnicas, softwares e equipamentos — como satélites, receptores GNSS (incluindo o GPS) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) — voltados à aquisição, análise e representação de dados geoespaciais (EMBRAPA, 2014). Essas ferramentas desempenham um papel fundamental no planejamento e na conservação dos recursos naturais ao permitir a elaboração e a integração de mapas temáticos (MANUEL et al., 2017). Por meio da interpretação de imagens, torna-se possível monitorar as transformações na cobertura do solo e compreender a distribuição espacial de variáveis ambientais em sua relação com as atividades humanas e a paisagem.

O MapBiomas, instituído em 2015 por uma rede de ONGs, universidades e empresas de tecnologia, disponibiliza dados e métodos de baixo custo para o monitoramento do território (MAPBIOMAS, 2019). Essa ferramenta é amplamente demandada em estudos sobre a dinâmica temporal do uso e cobertura da terra para

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

subsidiar ações de preservação em diferentes biomas e ecossistemas (ROSAN et al., 2022; BLANCO et al., 2022), incluindo aplicações específicas voltadas à análise da bacia do rio Verde (GOMES et al., 2007; LIMA et al., 2017).

A interpolação por ponderação do inverso da distância (IDW) parte do pressuposto de que objetos próximos uns dos outros são mais semelhantes entre si do que objetos distantes. Para estimar um valor para qualquer localização não amostrada, o método IDW utiliza os valores medidos nos pontos localizados ao redor do local de interesse. Os valores medidos mais próximos desse local têm maior influência sobre o valor estimado do que os valores mais distantes. Essa interdependência permite a estimativa de uma variável em locais nos quais não existem medições, com base nos valores medidos em pontos vizinhos.

Os interpoladores do tipo IDW (*Inverse Distance Weighting*) utilizam um método que atribui pesos inversamente proporcionais à distância dos pontos conhecidos. A premissa é a de que os valores estimados são mais influenciados pelos pontos mais próximos e menos afetados pelos pontos mais distantes. Isso significa que os pontos mais próximos têm peso maior na estimativa do valor desconhecido do que os pontos mais distantes.

A utilização do Índice de Qualidade da Água (IQA), originalmente desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF), consolidou-se internacionalmente nos últimos 30 anos, devido à sua aplicabilidade em transmitir informações sobre o grau de poluição de mananciais utilizados pelos seres humanos (BENETTI & BIDONE, 2001). Magalhães Jr (2003) constatou que este índice é muito valorizado pelo grupo de especialistas consultados.

O IQA adotado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), apresenta a vantagem de sintetizar, em um único valor, as nove variáveis utilizadas (Coliformes Termotolerantes; DBO5,20; Turbidez; Sólidos Totais; Fósforo Total; Nitrogênio Total; Oxigênio Dissolvido; pH; Temperatura da Amostra) em seu cálculo, favorecendo a interpretação, a compreensão e a divulgação dos resultados. Para seu cálculo, utiliza-se a seguinte equação:

(1)

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

$$IQA = \prod_{i=1}^{9} qi^{wi}$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade", em função de sua concentração ou medida;

wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade.

n: número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

O IQA incorpora os nove parâmetros, sendo basicamente uma média ponderada. A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas, indicado pelo IQA, variando numa escala de 0 a 100, conforme tabela 01.

Tabela 01: Categorias de qualidade das águas indicadas pelas diferentes faixas do IQA.

Categoria	Ponderação
Ótima	79 < IQA ≤ 100
Boa	51 < IQA ≤ 79
Regular	36 < IQA ≤ 51
Ruim	19 < IQA ≤ 36
Péssima	IQA ≤ 19

Fonte: IGAM.

O IQA consiste, basicamente, em uma média ponderada, na qual o resultado de múltiplos parâmetros é representado em um único valor. O IQA adotado pelo IGAM, cujos parâmetros são apresentados a seguir, está descrito na Tabela 02.

Tabela 02: Pesos atribuídos aos parâmetros componentes do IQA.

Parâmetro	Peso
Oxigênio Dissolvido (OD% sat)	0,17
Coliformes Fecais (NMP.100mL^{-1})	0,15
pH	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5 (mg.L^{-1})	0,10
Nitrato (mg.L^{-1})	0,10
Fosfato Total (mg.L^{-1} PO_4)	0,10
Variação na termperatura (ºC)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Sólidos Totais (mg.L^{-1})	0,08

Fonte: IGAM.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

3. Metodologia

O presente estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Verde — UPGRH GD4. Inicialmente, foram coletados, no portal HidroWeb da ANA, dados secundários de qualidade da água de um total de 33 estações de monitoramento da bacia do rio Verde e seus afluentes, porém somente 12 estações continham registros com todos os nove parâmetros para cálculo do IQA, disponibilizados entre os anos de 2001 e 2020, sendo esse o critério de seleção para a próxima etapa de cálculo do IQA.

Estações com dados de outros parâmetros que não façam parte do IQA, ou com dados incompletos para o IQA, seja por ausência de parâmetro ou por lacuna temporal, para o período de tempo de 2001 a 2020, foram descartadas do trabalho.

O cálculo do IQA foi feito em planilhas do Microsoft Excel (.xls), utilizando-se tabelas dinâmicas, para as estações que continham dados de todos os parâmetros do IQA. Os resultados foram consolidados em uma tabela, organizados por data e estação de monitoramento. Após a consolidação da base de dados, o arquivo foi convertivo em formato .csv, então carregado no software de Geoprocessamento QGIS®, no qual foram gerados mapas de localização das estações e de interpolação dos dados do Índice de Qualidade da Água (IQA) por IDW.

Todos os mapas e estações desse trabalho tem projeção cartográfica com coordenadas em UTM, Fuso 23S e Datum SIRGAS 2000. Na Tabela 03 estão as 12 estações de monitoramento aprovadas para seguirem no estudo.

Tabela 03: Estações de Monitoramento, localização em coordenadas UTM fuso 23S.

#	ID	Município	Coordenada UTM E	Coordenada UTM S
1	61232000	Rio Verde (Conceição do Rio Verde)	490476.00	7573206.00
2	61428100	Itanhandu	509490.00	7530375.00
3	61435000	São Sebastião do Rio Verde	503309.00	7542737.00
4	61450100	Soledade de Minas	494532.00	7560203.00
5	61509700	Três Corações	473264.00	7600125.00
6	61531000	Elói Mendes	447175.00	7610587.00
7	61545050	Três Corações (Flora)	462325.00	7607149.00
8	61545100	BR 383 / ribeirão do Carmo	485704.00	7553581.00
9	61231000	BR 383 / rio Baependi	511213.00	7573475.00

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

10	61474000	Ponte na Foz / rio Baependi	494360.00	7582051.00
11	61233000	BR460 / rio Lambari	472888.00	7574438.00
12	61483000	Cristina / rio Lambari	472230.00	7543159.00

Fonte: O autor, 2026 (ANA, 2025).

A Figura 01 apresenta a localização das 12 estações selecionadas para o cálculo do IQA, plotadas em imagem de Modelo Digital de Terreno (MDT), extraído do plugin *Open Topografy* e gerado com curvas de nível com equidistância de 10 metros, possibilitando uma melhor visualização do relevo da bacia do rio Verde.

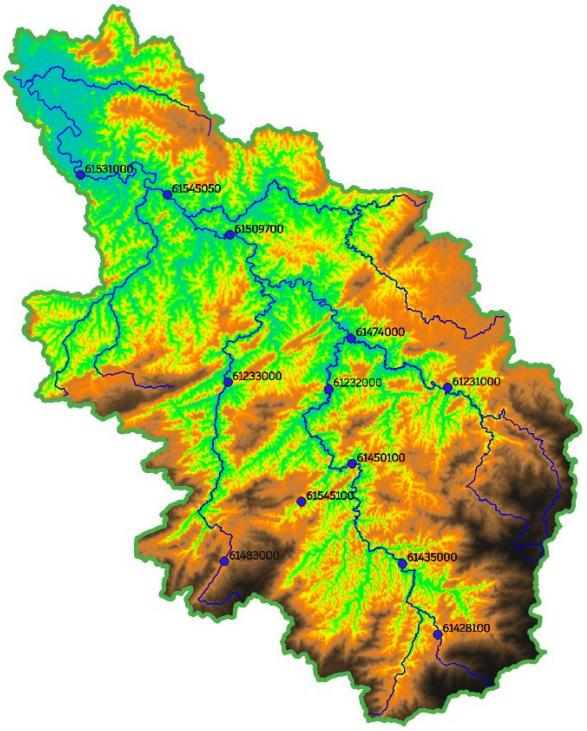


Figura 01: Detalhe das 12 estações de monitoramento plotadas no MDT da bacia do Rio Verde.
Fonte: O autor, 2026.

A qualidade da base de dados é fundamental para o sucesso e o correto embasamento de qualquer pesquisa. Falhas ou lacunas podem influenciar diretamente a validade e a confiabilidade dos resultados. Uma base de dados com informações consistentes e bem-organizadas facilita a análise, a interpretação e a consolidação dos resultados.

Os resultados do cálculo do IQA das 12 estações de monitoramento aprovadas para esse estudo, considerando o período de 2001 a 2020, geraram 444 registros. Entre 2001 e 2010, foram gerados 355 resultados; entre 2011 e 2020, foram gerados

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

89 resultados de IQA, resultando em uma base de dados concentrada (79,95%) na primeira década do estudo. Os dados também foram separados em períodos chuvoso, de outubro a março, e seco, de abril a setembro. No período de 2001 a 2010, foram gerados 178 dados referentes ao período chuvoso e 177 referentes ao período seco. Já no período de 2011 a 2020, foram gerados 44 referentes ao período chuvoso e 45 referentes ao período de seca.

O gráfico 01 a seguir representa o total de valores de IQA gerado por estação, por ano do estudo, cada estação representada por uma cor. Os anos de 2009 e 2010 foram os únicos nos quais todas as 12 estações geraram 4 dados por ano, somando um total de 48 dados de IQA. Houve uma lacuna de geração de dados durante os anos de 2011 a 2015 e no ano de 2017, nos quais não foram gerados dados de IQA.

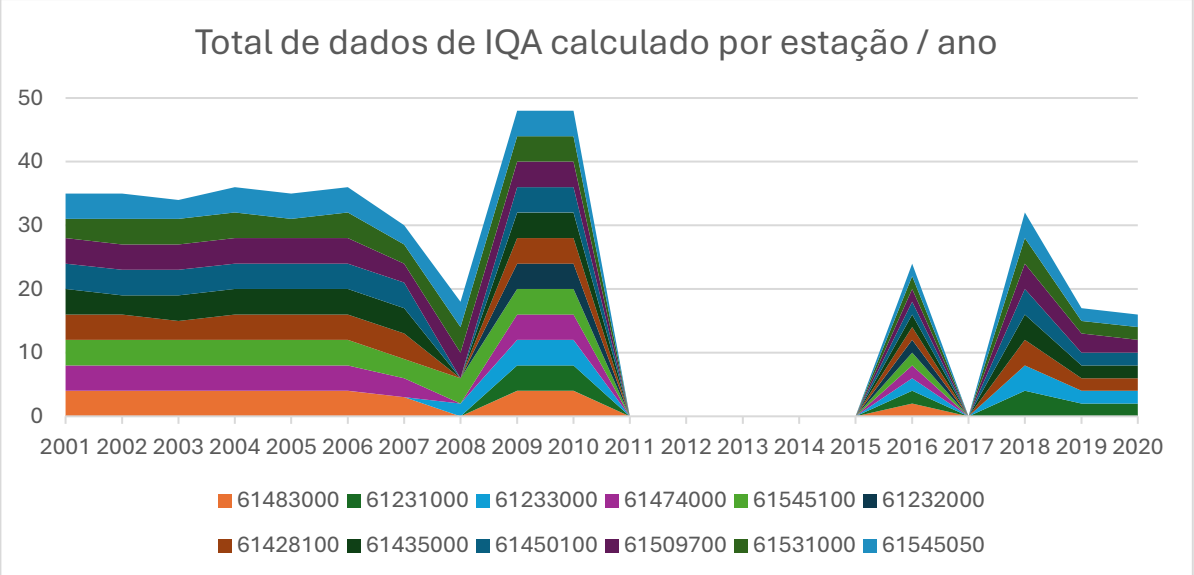


Gráfico 01: Total de dados de IQA gerados nas 12 estações de monitoramento de 2001 a 2020.
Fonte: O autor, 2026.

As estações que mais geraram dados para o trabalho são Três Corações Mancha Urbana (50); Três Corações Flora (48); Elói Mendes (47); Soledade de Minas (46); São Sebastião do Rio Verde e Baependi (45 cada), conforme gráfico 02.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

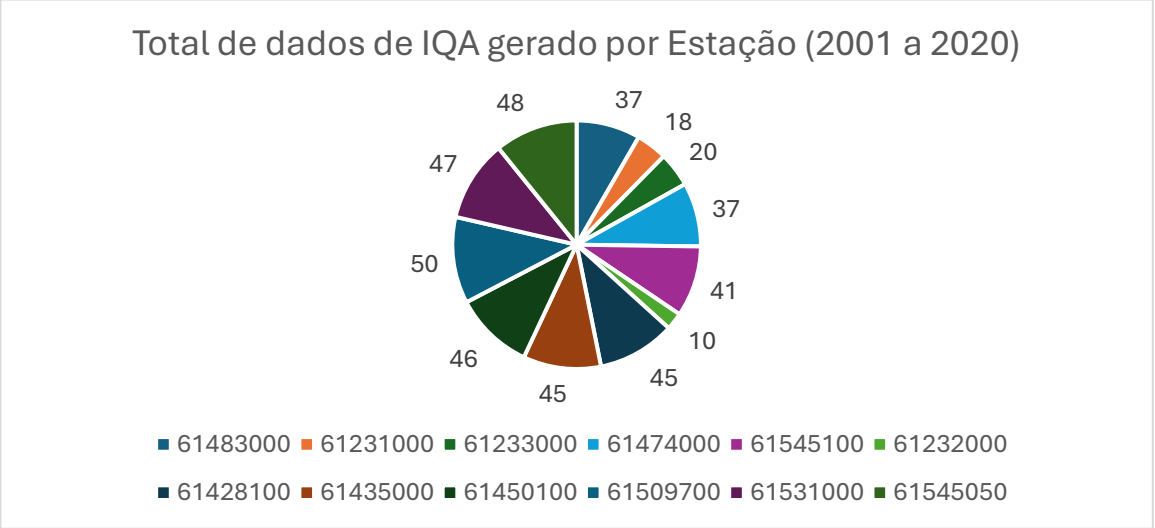


Gráfico 02: Total de dados de IQA gerados nas 12 estações de monitoramento entre 2001 e 2020.
Fonte: O autor, 2026.

O período definido para o trabalho encerra-se em 2020 devido à ausência de dados registrados em 2021. Essa ausência de dados pode estar relacionada a restrições das campanhas de monitoramento durante a pandemia de COVID-19.

No processo de avaliação das classes de uso da terra, foram utilizados mapas do MapBiomas de 2001, 2010 e 2020. O MapBiomas utiliza principalmente imagens dos satélites Landsat, com série histórica desde 1985 e com resolução espacial de 30 m de, e Sentinel-2, a partir de 2016 e com resolução espacial de 10 m., para mapear a cobertura e o uso da terra no Brasil. Os dados utilizados para a delimitação da bacia hidrográfica foram obtidos por meio do portal IDE-Sisema. Após a definição dos limites da bacia, eles foram plotados no MapBiomas para delimitar a área.

Adicionalmente foram utilizadas ferramentas de Interpolação por IDW nos resultados do IQA, para compreender os padrões de distribuição espacial, de 2001 e 2020, com a divisão dos resultados em mapas de períodos de seca e chuvas.

Para a geração dos mapas no *plug in* IDW no QGIS®, a base de dados do IQA foi carregada no software para interpolação dos valores do IQA. Foram definidos o pixel em 50 e o parâmetro da potência, p, igual a 2 (tipo de vizinhança padrão para interpolador pelo quadrado da distância). Os valores utilizados são pré-definidos pelo próprio QGIS® para geração de superfície de mapa suave, equilibrando precisão matemática e desempenho computacional (QGIS ORG, 2014, cap. 11).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

Para a definição do mapa de cores do IQA, foi utilizada a renderização de banda simples falsa-cor, com interpolação pelo método discreto e modo de distribuição contínuo. A representação do IQA foi organizada em classes de cores divididas em mapas de calor, do vermelho até o azul-escuro. Ainda que categorias do IQA estejam definidas como precisão dos rótulos, conforme figura 02, os mapas de calor do IDW geram resultados que focam na melhor visualização comparativa dos valores médios do IQA por estação de monitoramento, conforme regem os mapas de calor.

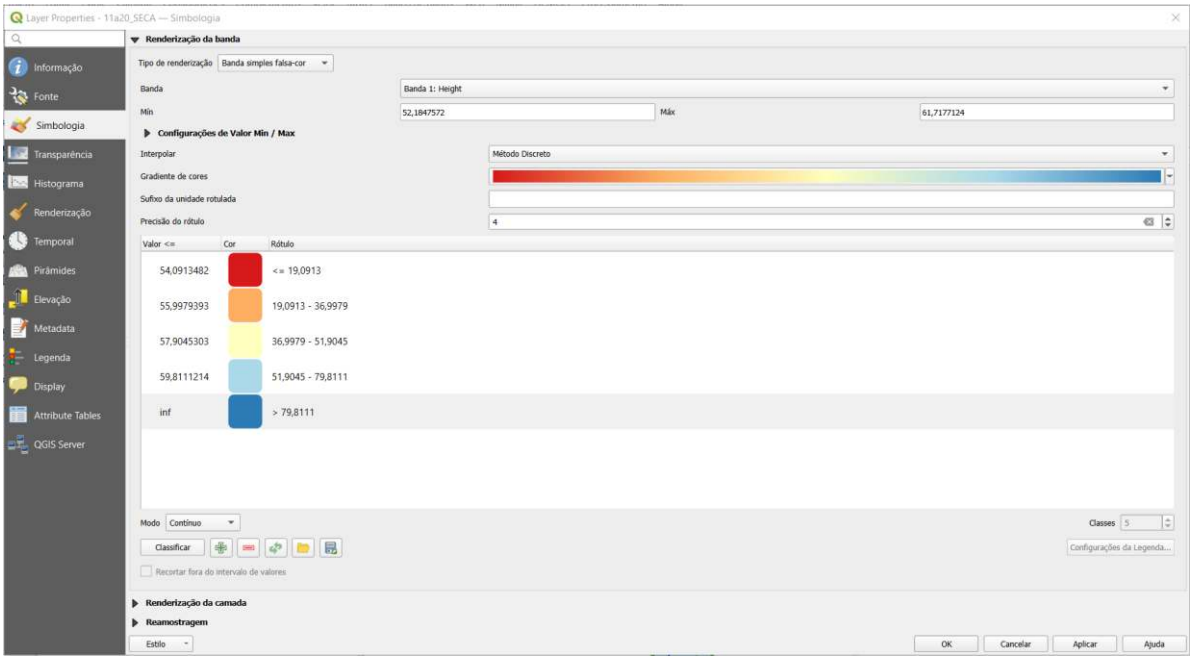


Figura 02: Detalhe dos critérios do QGIS® para interpolação por IDW do IQA de 2001 a 2020.
Fonte: O autor, 2026.

4. Resultados e Discussão

Os resultados do IQA fornecem informações relevantes sobre a qualidade da água na bacia do rio Verde. Inicialmente, evidencia-se a falta de padrão dos parâmetros avaliados no programa HIDROWeb da ANA uma vez que não existe uma padronização nos parâmetros amostrados nas estações participantes. Conforme já registrado, foram observados dados de qualidade da água em 33 estações de monitoramento, entretanto, foi possível utilizar os dados de apenas 12 estações de monitoramento, uma vez que somente essas contem os 9 parâmetros do IQA.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

Nos gráficos a seguir são apresentados os resultados dos IQAs calculados, média, mediana e a linha de tendência traçada para cada uma das estações, são também apresentados em diagramas de caixa (*blox plot*), representação estatística da distribuição de dados numéricos por meio de medidas principais e a identificação de valores atípicos, é possível analisar novamente a média e mediana, além da distribuição por quartis, o primeiro quartil representa que 25% dos dados são menores que este valor, o segundo e terceiro quartil, representam 50% do total das amostras, já o 4º representa os 25% restantes do total de amostras. Os resultados de IQA com valores muito acima ou abaixo da base de dados são representados como outliers, sendo representados separadamente dos limites externos do diagrama de caixa.

No gráfico 02 tem-se os resultados da estação Itanhandu (61428100), localizada a montante do município de mesmo nome, foram calculados 46 resultados de IQA para essa estação, com média de 68, mediana de 68 e linha de tendência (Linear (IQA) iniciando na ordem de 72 em 2001 e terminando na ordem de 57 em 2020. Registrando na linha de tendência, valores de IQA dentro da classificação BOA, ao longo das duas décadas avaliadas.

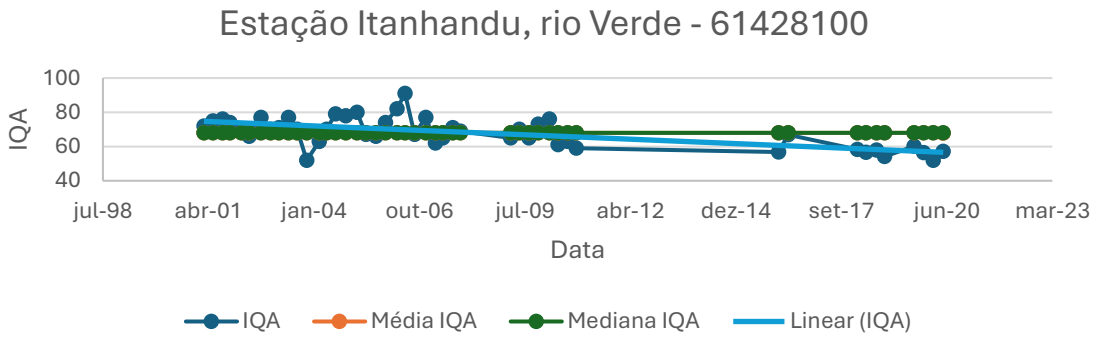


Gráfico 02: Resultados do IQA da estação Itanhandu (61428100), localizada no rio Verde.
Fonte: O autor, 2026.

Adicionalmente tem-se o diagrama de caixa, cujos os valores oscilam entre 52 e 91, o 2º e 3º quartil estão entre 61 e 74, nenhum outlier é registrado.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

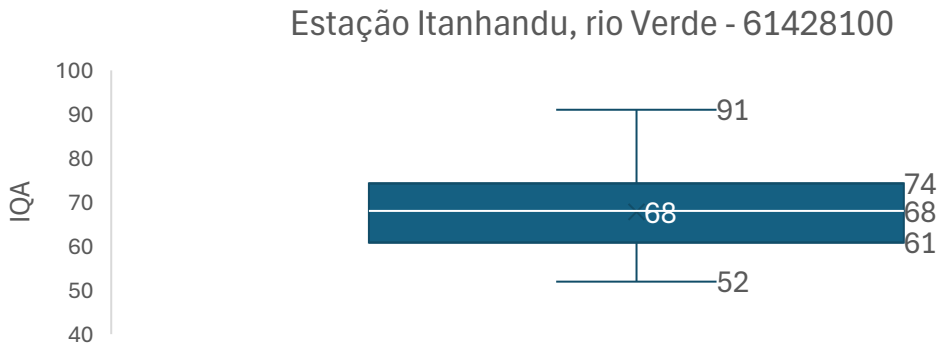


Gráfico 03: Resultados do IQA da estação Itanhandu (61428100) em diagrama de caixa, localizada no rio Verde.
Fonte: O autor, 2026.

À jusante no rio Verde, tem-se a estação São Sebastião do Rio Verde (61435000), cujos resultados estão representados no gráfico 04. Foram calculados 45 resultados de IQA para essa estação, com média de 60, mediana de 58 e linha de tendência Linear (IQA) iniciando na ordem de 62 em 2001 e terminando na ordem de 56 em 2020. Registrando na linha de tendência, valores de IQA dentro da classificação BOA, ao longo das duas décadas avaliadas.

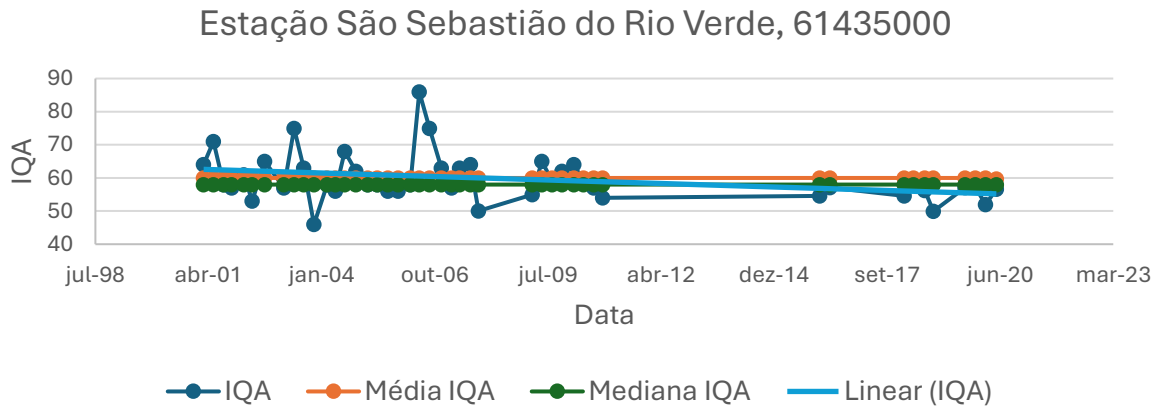


Gráfico 04: Resultados do IQA da estação São Sebastião do Rio Verde (61435000), localizada no rio Verde.
Fonte: O autor, 2026.

Adicionalmente, tem-se o diagrama de caixa, cujos valores oscilam entre 46 e 71, o 2º e 3º quartil estão entre 56 e 63, e três dados outliers foram registrados, o primeiro com 75 em maio de 2003, o segundo com 86 em maio de 2006 e o terceiro com 75 de agosto de 2006, todos na estação Seca.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

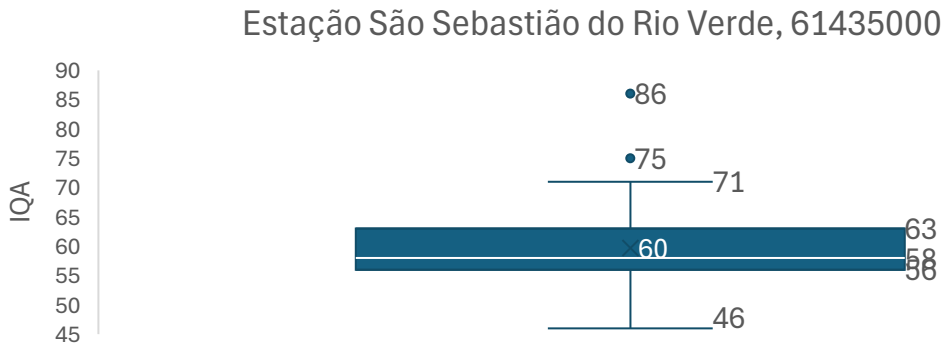


Gráfico 05: Resultados do IQA da estação São Sebastião do Rio Verde (61435000), em diagrama de caixa, localizada no rio Verde
Fonte: O autor, 2026.

À jusante no rio Verde, tem-se a estação Soledade de Minas (61450100), cujos resultados estão representados no gráfico 06. Foram calculados 46 resultados de IQA para essa estação, com média de 58, mediana de 59 e linha de tendência (Linear (IQA) com valores iniciando na ordem de 61 em 2001 e terminando na ordem de em 2020. Registrando na linha de tendência, valores de IQA dentro da classificação BOA, ao longo das duas décadas avaliadas.

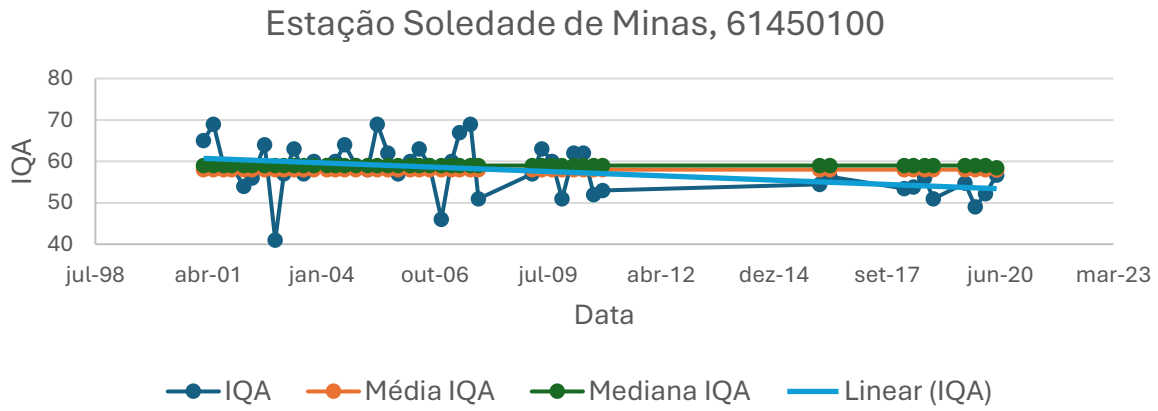


Gráfico 06: Resultados do IQA da estação Soledade de Minas (61450100), localizada no rio Verde.
Fonte: O autor, 2026.

Adicionalmente, tem-se o diagrama de caixa, cujos valores oscilam entre 46 e 69, o 2º e 3º quartil estão entre 54 e 62, e um outlier de 41 em novembro de 2002, estação de Chuvas.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

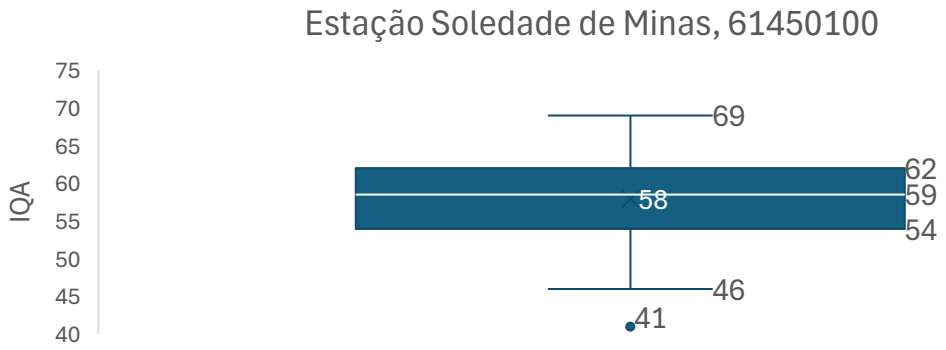


Gráfico 07: Resultados do IQA da estação Soledade de Minas (61450100), em diagrama de caixa, localizada no rio Verde.
Fonte: O autor, 2026.

À margem esquerda do rio verde, na região do município de Soledade de Minas, tem-se a estação BR 383, Ribeirão do Carmo (61545100), afluente da margem esquerda do rio Verde, cujos resultados estão representados no gráfico 08. Foram calculados 40 resultados de IQA para essa estação, com média e mediana de 67 e linha de tendência Linear (IQA) iniciando na ordem de 70 em 2001 e terminando na ordem de 62 em 2016. Registrando na linha de tendência, valores de IQA dentro da classificação BOA, ao longo das duas décadas avaliadas.

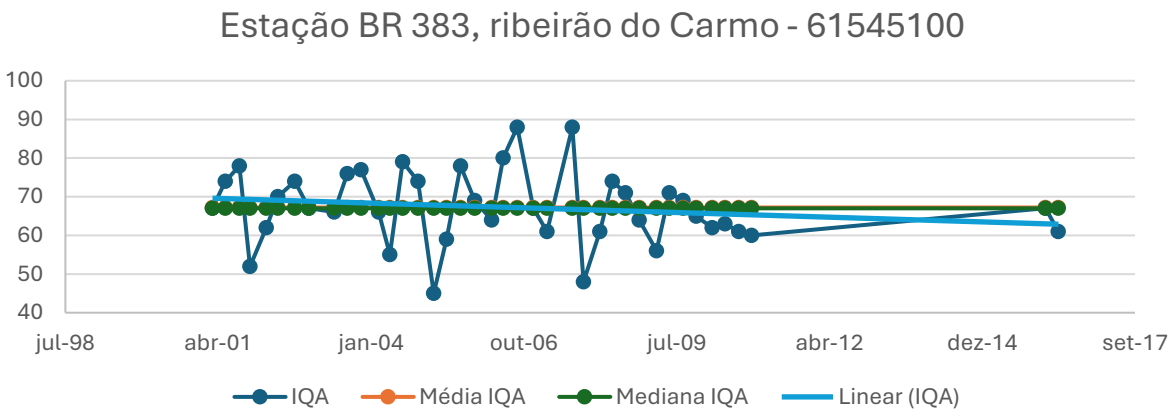


Gráfico 08: Resultados do IQA da estação BR 383, localizada no ribeirão do Carmo.
Fonte: O autor, 2026.

Adicionalmente, tem-se o diagrama de caixa, cujos valores oscilam entre 45 e 88, o 2º e 3º quartil estão entre 61 e 74, e nenhum outlier é registrado.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

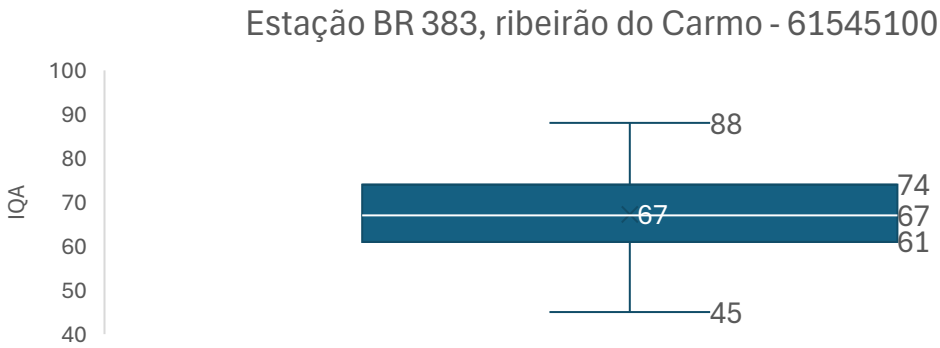


Gráfico 09: Resultados do IQA da estação BR 383, em diagrama de caixa, localizada no ribeirão do Carmo.
Fonte: O autor, 2026.

A jusante no rio Verde, tem-se a estação Conceição do Rio Verde (61232000), com somente 10 resultados de IQA calculados, cujos resultados estão representados no gráfico 10, com média e mediana de 62 e linha de tendência (Linear (IQA) iniciando na ordem de 62 em 2009 e terminando na ordem de 60 em 2016. Registrando na linha de tendência, valores de IQA dentro da classificação BOA, ao longo das duas décadas avaliadas.

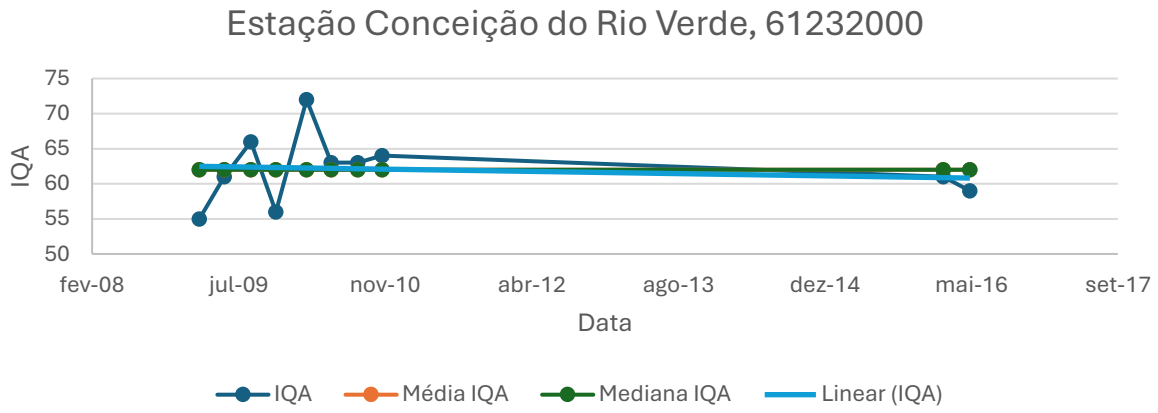


Gráfico 10: Resultados do IQA para da estação Conceição do Rio Verde, localizada no rio Verde.
Fonte: O autor, 2026.

Adicionalmente, tem-se o diagrama de caixa, cujos os valores oscilam entre 55 e 72, o 2º e 3º quartil estão entre 58 e 65, e nenhum outlier é registrado.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

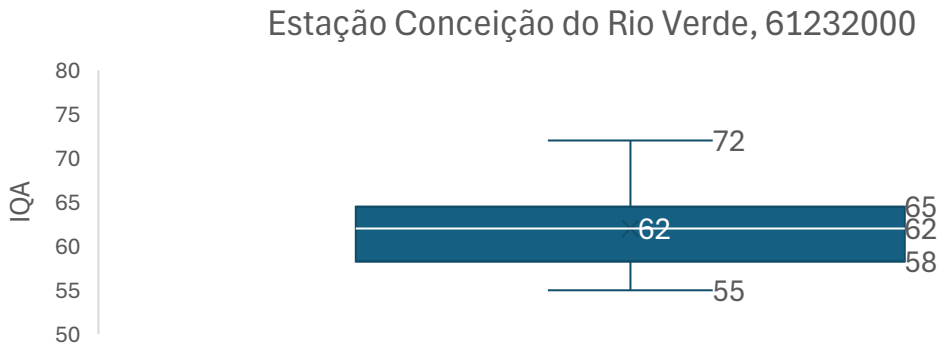


Gráfico 11: Resultados do IQA para da estação Conceição do Rio Verde, em diagrama de caixa, localizada no rio Verde.
Fonte: O autor, 2026.

À jusante no rio Verde, tem-se a estação Três Corações (61509700), localizada praticamente à montante da mancha urbana do município, cujos resultados estão representados no gráfico 12. Foram calculados 50 resultados de IQA para essa estação, sendo essa a estação com maior quantidade de dados de IQA, com média e mediana de 61 e linha de tendência (Linear (IQA) iniciando na ordem de 62 em 2001 e terminando na ordem de 59 em 2020. Registrando na linha de tendência, valores de IQA dentro da classificação BOA, ao longo das duas décadas avaliadas.

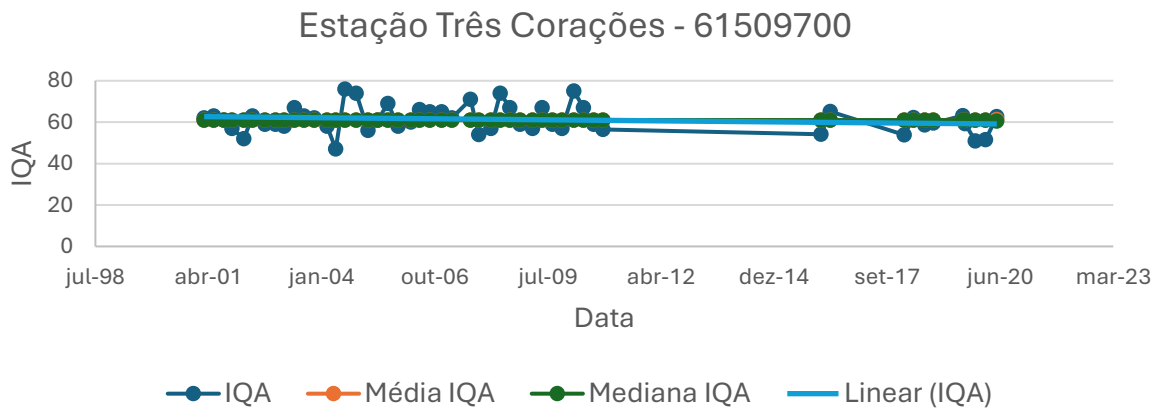


Gráfico 12: Resultados do IQA da estação Três Corações (61509700), localizada no rio Verde.
Fonte: O autor, 2026.

Adicionalmente, tem-se o diagrama de caixa, cujos os valores oscilam entre 47 e 76, o 2º e 3º quartil estão entre 57 e 65, e nenhum outlier é registrado.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

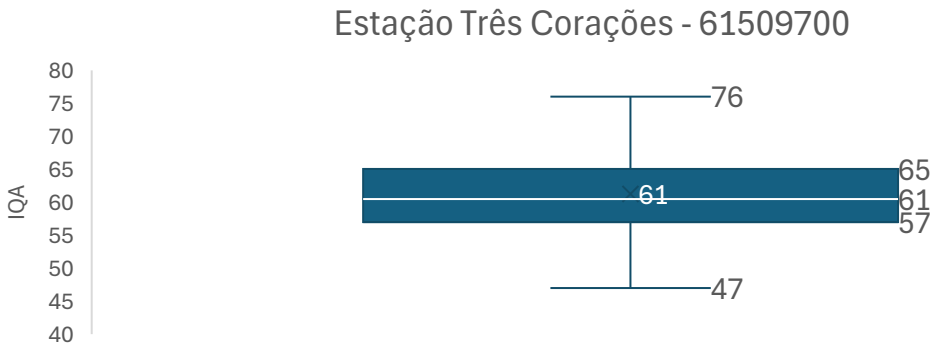


Gráfico 13: Resultados do IQA da estação Três Corações (61509700), em diagrama de caixa, localizada no rio Verde.
Fonte: O autor, 2026.

À jusante da estação Três Corações, ainda no mesmo município tem-se a estação localizada no distrito da Flora (61545050), à jusante da mancha urbana do município, cujos resultados estão representados no gráfico 14. Foram calculados 48 resultados de IQA para essa estação, com média e mediana de 60 e linha de tendência (Linear (IQA) iniciando na ordem de 64 em 2001 e terminando na ordem de 54 em 2020. Registrando na linha de tendência, valores de IQA dentro da classificação BOA, ao longo das duas décadas avaliadas.

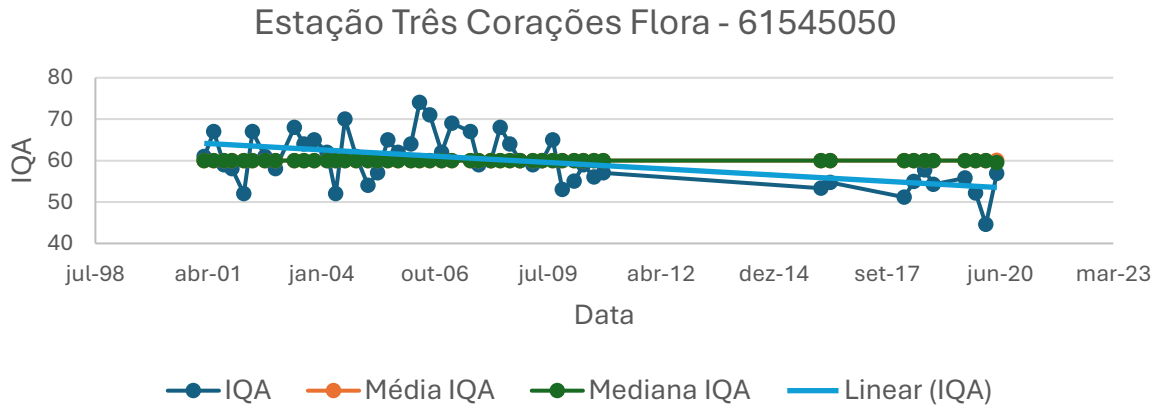


Gráfico 14: Resultados do IQA da estação Três Corações Flora, localizada no rio Verde.
Fonte: O autor, 2026.

Adicionalmente, tem-se o diagrama de caixa, cujos os valores oscilam entre 45 e 74, o 2º e 3º quartil estão entre 55 e 65, e nenhum outlier é registrado.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

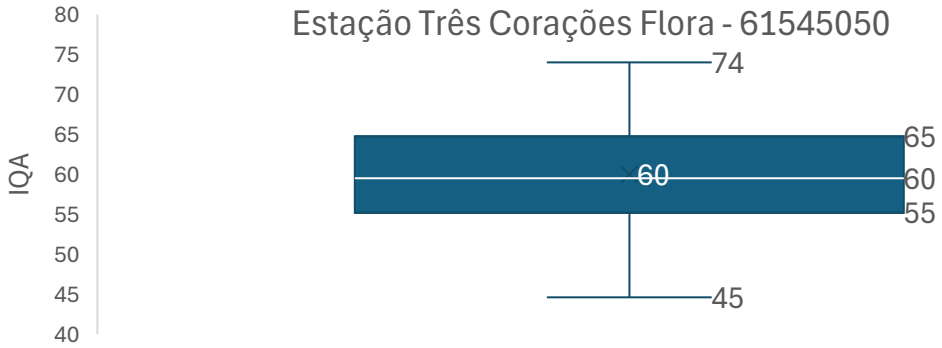


Gráfico 15: Resultados do IQA da estação Três Corações Flora, em diagrama de caixa, localizada no rio Verde.
Fonte: O autor, 2026.

À jusante da estação da Flora em Três Corações, tem-se a última estação localizada no rio Verde, em Elói Mendes (61531000), já próximo ao lago de Furnas, cujos resultados estão representados no gráfico 16. Foram calculados 47 resultados de IQA para essa estação, com média de 60, mediana de 59 e linha de tendência (Linear (IQA) iniciando na ordem de 64 em 2001 e terminando na ordem de 54 em 2020. Registrando na linha de tendência, valores de IQA dentro da classificação BOA, ao longo das duas décadas avaliadas.

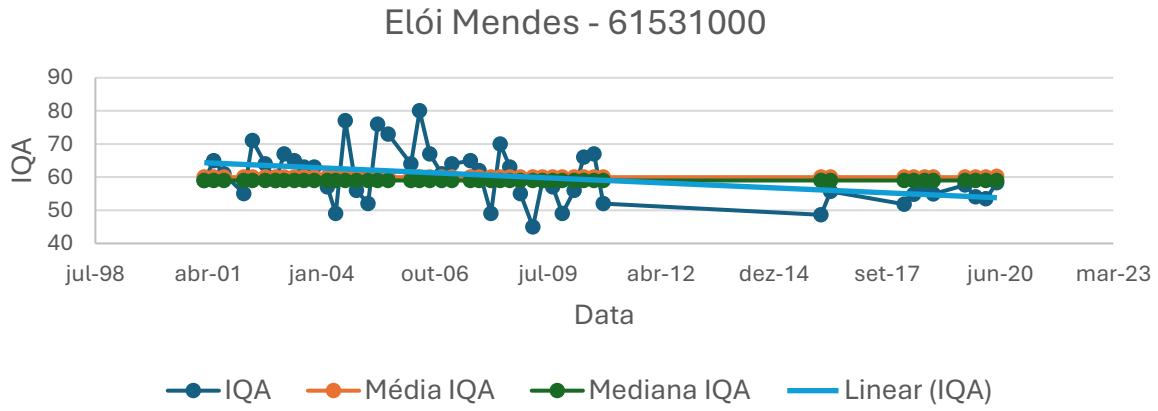


Gráfico 16: Resultados do IQA da estação Elói Mendes (61531000), localizada no rio Verde.
Fonte: O autor, 2026.

Adicionalmente, tem-se o diagrama de caixa, cujos os valores oscilam entre 45 e 80, o 2º e 3º quartil estão entre 55 e 65, e nenhum outlier é registrado.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

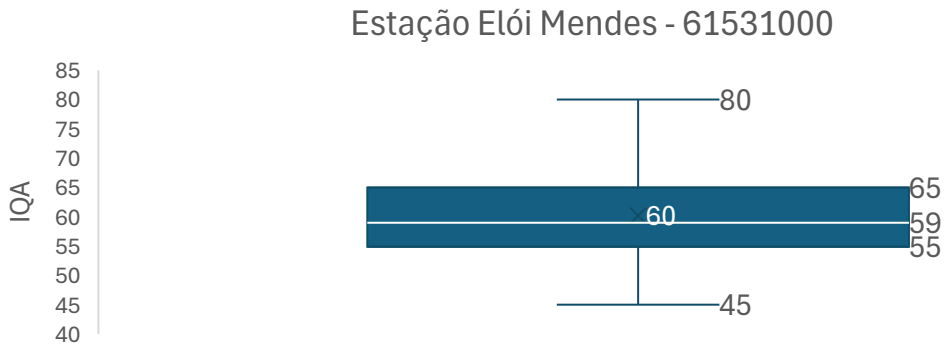


Gráfico 17: Resultados do IQA da estação Elói Mendes (61531000), em diagrama de caixa, localizada no rio Verde.
Fonte: O autor, 2026.

No rio Lambari, afluente da margem esquerda do rio Verde, tem-se duas estações representadas. Na região de montante do rio Lambari tem-se a estação de Cristina (61483000), município de pequeno porte, cujos resultados estão representados no gráfico 18. Foram calculados 37 resultados de IQA para essa estação, com média de 60, mediana de 58 e linha de tendência (Linear (IQA) iniciando na ordem de 62 em 2001 e terminando na ordem de 56 em 2020. Registrando na linha de tendência, valores de IQA dentro da classificação BOA, ao longo das duas décadas avaliadas.

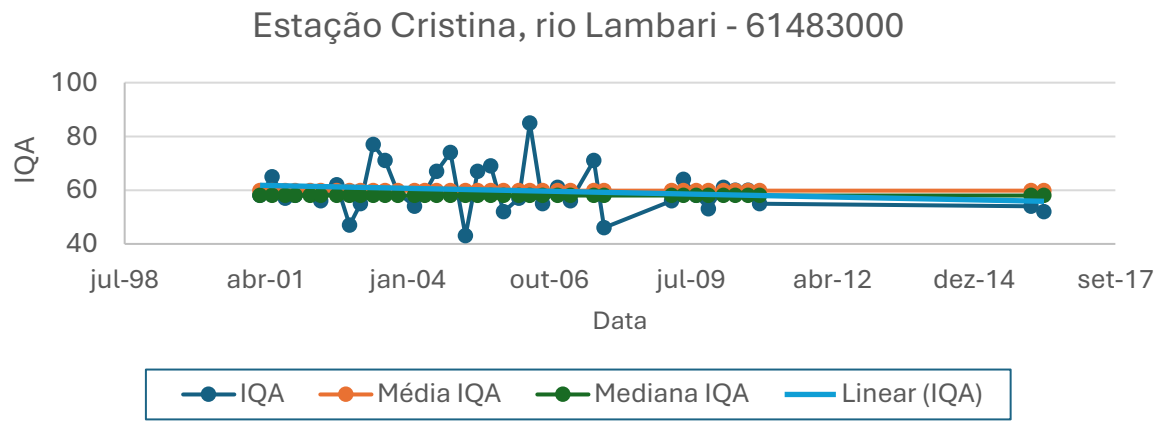


Gráfico 18: Resultados do IQA da estação Cristina (61483000), localizada no rio Lambari.
Fonte: O autor, 2026.

Adicionalmente, tem-se o diagrama de caixa, cujos os valores oscilam entre 43 e 77, e o 2º e 3º quartil estão entre 55 e 65, é registrado um outlier de 85 de maio de 2006, estação Seca.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

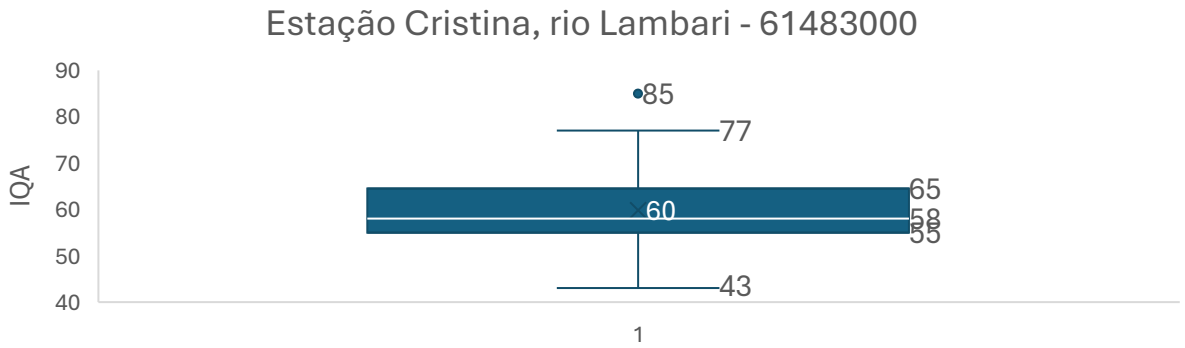


Gráfico 19: Resultados do IQA da estação Cristina (61483000), em diagrama de caixa, localizada no rio Lambari.
Fonte: O autor, 2026.

Para a estação BR 460, segunda localizada no rio Lambari, à jusante de Jesuânia e Lambari, cujos resultados estão representados no gráfico 20, foram calculados 20 resultados de IQA para essa estação, com média de 56, mediana de 57 e linha de tendência (Linear (IQA) iniciando na ordem de 57 em 2008 e terminando na ordem de 54 em 2020. Registrando na linha de tendência, valores de IQA dentro da classificação BOA, ao longo das duas décadas avaliadas.

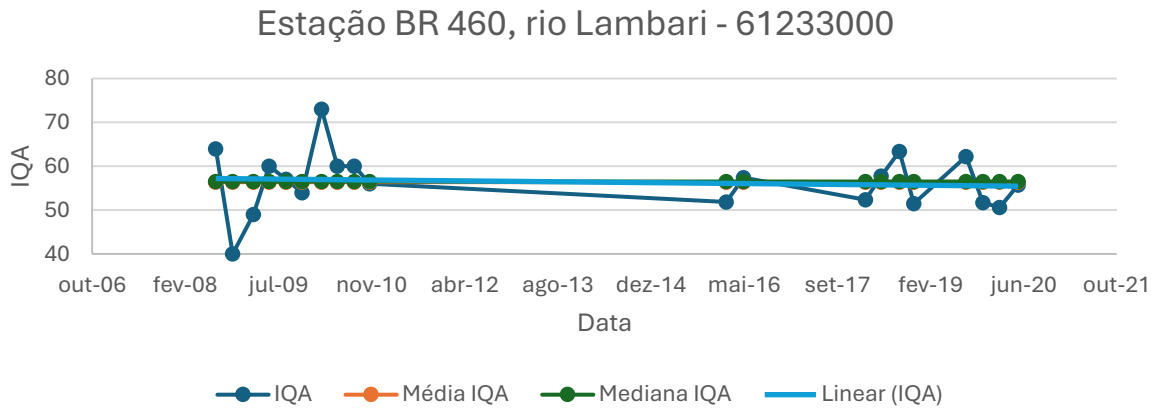


Gráfico 20: Resultados do IQA da estação BR 460, localizada no rio Lambari.
Fonte: O autor, 2026.

Adicionalmente, tem-se o diagrama de caixa, cujos os valores oscilam entre 40 e 64, o 2º e 3º quartil estão entre 52 e 60, é registrado um outlier, com valor de 73 em fevereiro de 2010, estação das Chuvas.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

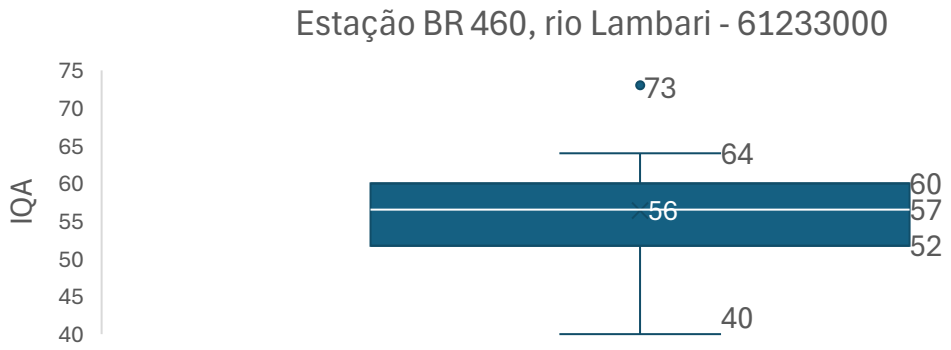


Gráfico 21: Resultados do IQA da estação BR 460, em diagrama de caixa, localizada no rio Lambari.
Fonte: O autor, 2026.

No rio Baependi, afluente da margem direita do rio Verde, tem-se duas estações de monitoramento, a primeira estação localizada na BR 383 (61231000), localizada imediatamente à jusante da mancha urbana de Baependi, cujos resultados estão representados no gráfico 22, para essa foram calculados 18 resultados de IQA para essa estação, com média de 55, mediana de 57 e linha de tendência (Linear (IQA) iniciando na ordem de 60 em 2009 e terminando na ordem de 50 em 2020. Registrando na linha de tendência, valores de IQA iniciando a série temporal na classificação BOA, mas terminando dentro da classificação REGULAR.

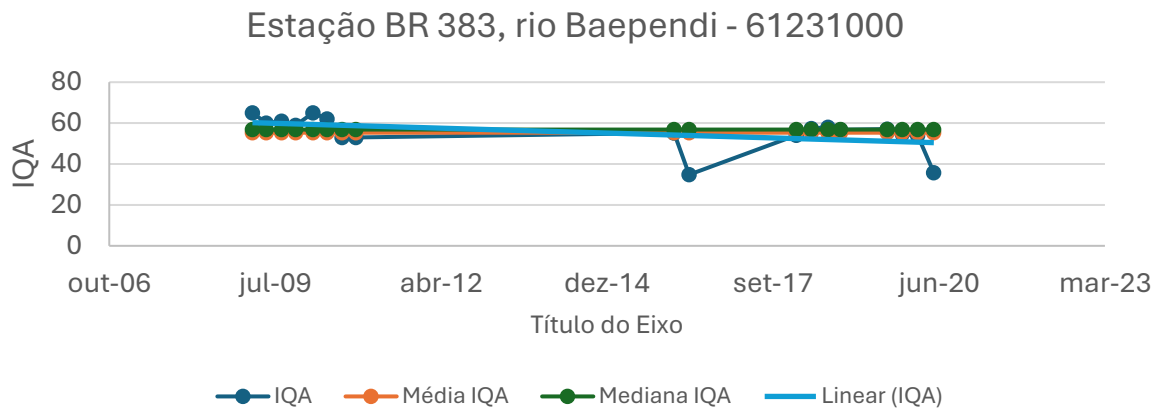


Gráfico 22: Resultados do IQA da estação BR 383 (61231000), localizada no rio Baependi.
Fonte: O autor, 2026.

Adicionalmente, tem-se o diagrama de caixa, os valores oscilam entre 53 e 65, com mediana de 57 e média de 55, são registrados dois outliers, o primeiro com 35 em maio de 2016, e o segundo com 36 em maio de 2020, ambos na estação Seca.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

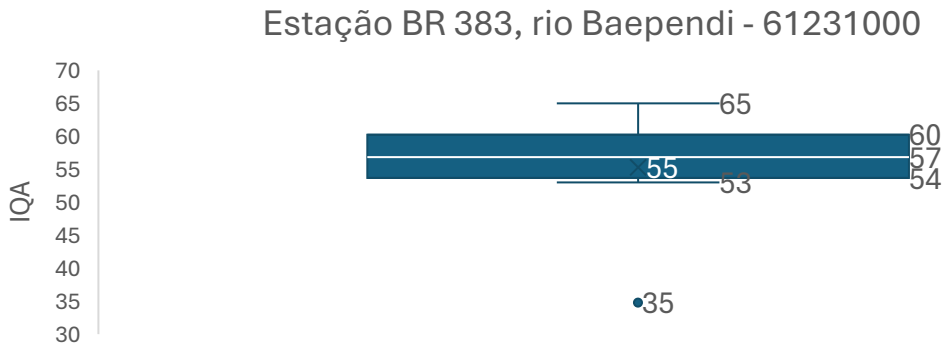


Gráfico 23: Resultados do IQA da estação BR 383 (61231000), em diagrama de caixa, localizada no rio Baependi.
Fonte: O autor, 2026.

A jusante no rio Baependi, muito próximo a foz do rio Baependi junto ao rio Verde, tem-se a estação 61474000, cujos resultados estão representados no gráfico 24, para ela foram calculados 37 resultados de IQA para essa estação, com média de 65, mediana de 64 e linha de tendência (Linear (IQA) iniciando na ordem de 66 em 2001 e terminando na ordem de 64 em 2016. Registrando na linha de tendência, valores de IQA dentro da classificação BOA, ao longo das duas décadas avaliadas.

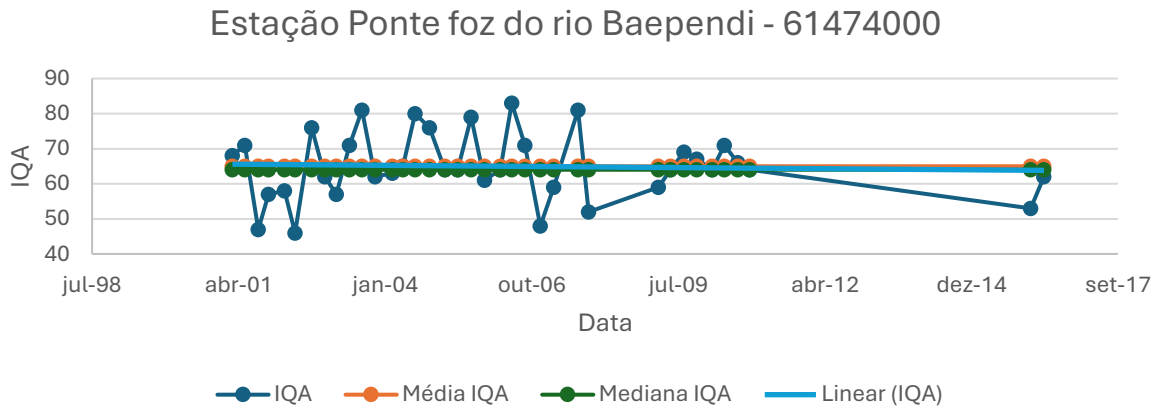


Gráfico 24: Resultados do IQA da estação Ponte Foz do rio Baependi (61474000), localizada no rio Baependi.
Fonte: O autor, 2026.

Adicionalmente, tem-se o diagrama de caixa, cujos os valores oscilam entre 46 e 83, o 2º e 3º quartil estão entre 59 e 71, e nenhum outlier é registrado.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

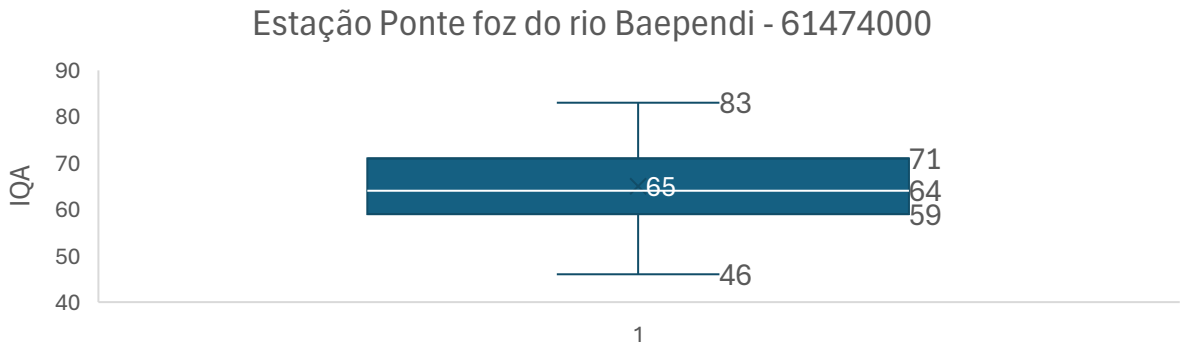


Gráfico 25: Resultados do IQA da estação Ponte Foz do rio Baependi (61474000), em diagrama de caixa, localizada no rio Baependi.
Fonte: O autor, 2026.

Observa-se visualmente nos gráficos uma tendência de redução do IQA na primeira década do estudo (2001 a 2010), essa tendência não pode ser constatada para a segunda década do estudo (2011 a 2020) devido ao pouco volume de dados dessa década. Também pode ser observado que todas as 12 iniciaram o estudo dentro da classificação de IQA - BOA, se mantendo entre 51,1 e 79, até o final do estudo, com exceção da estação BR 383, rio Baependi (61231000).

A estação BR 383, rio Baependi (61231000) foi a única que terminou o estudo, dentro da linha de curva de tendência na classificação REGULAR, cuja tendência final fica em 50 e a mesma estação ainda apresentou dois resultados de IQA outliers na classificação RUIM (entre 19 e 36), em estação seca.

De forma geral, os gráficos apresentam valores mais elevados de IQA nas regiões de cabeceira, tanto no rio Verde quanto em seus afluentes. Como exemplos, tem-se a estação Itanhandu (61428100), localizada a montante da mancha urbana do município de mesmo nome e a estação BR-383, ribeirão do Carmo (61545100), localizada a montante de Carmo de Minas.

A média anual do IQA está apresentada no gráfico 26, no qual também são apresentados os valores da média do IQA do período seco (abril a setembro) e do IQA do período de chuvas (outubro a março). O gráfico comparativo apresenta menores valor de IQA médio nos períodos de chuva quando comparados com o ano cheio e com os períodos de seca, que apresentam os melhores valores de IQA, para todos os anos que houve geração de dados de IQA do estudo. Todos os valores de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

média de IQA, seja ano cheio, chuvas ou seca, estão dentro da classificação BOA, superior a 51 e inferior a 79.

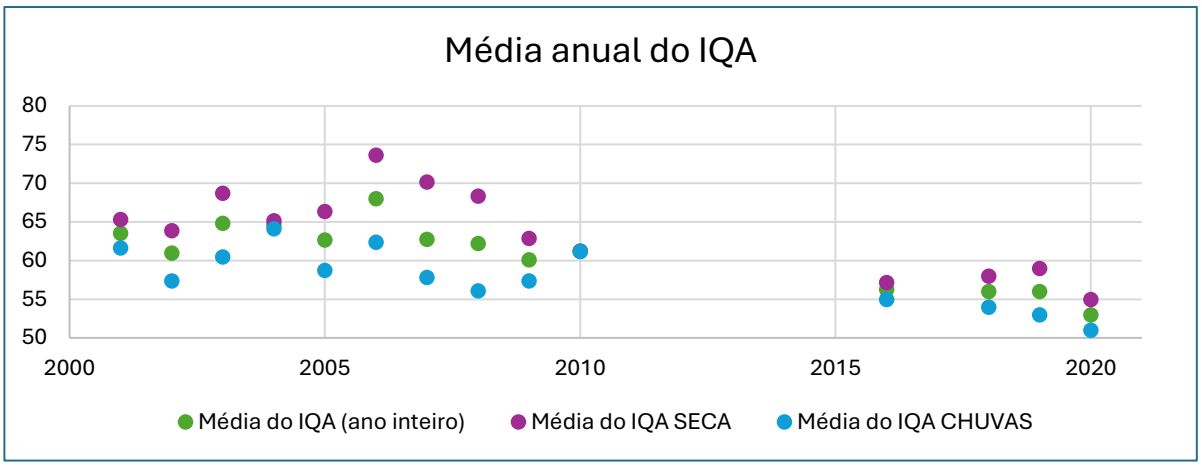


Gráfico 26: Resultados da média do IQA, por ano, para ano inteiro, periodo de Seca e de Chuvas.
Fonte: O autor, 2026.

Nas manchas urbanas em que existem estações de monitoramento, como no caso da estação Baependi (61231000), localizada à jusante da mancha urbana de mesmo nome, e a da estação Cristina (61483000) localizada na mancha urbana do município, observam-se tendencia visual exploratória de menores valores de IQA.

Referente as estações localizadas na região do baixo rio Verde, destaca-se a estação Três Corações (61509700), localizada na porção a montante da mancha urbana do município, que apresenta valores de IQA superiores aos das estações a jusante: Três Corações – Flora (61545050) e Elói Mendes (61531000). Essa hipótese interpretativa é compatível com os resultados observados de efluente orgânico sem tratamento ou da entrada de nutrientes carreados pela escoamento superficial de regiões de plantio. Ainda que Três Corações detenha de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), o município coleta 78,1%% do esgoto, mas trata somente 41,6% do total de esgoto gerado; já o município de Elói Mendes trata somente 7% do total de esgoto gerado (Instituto Trata Brasil, 2024).

Após a base de dados do IQA ser carregada no QGIS®, gerou-se os mapas no *plug in* IDW. Importante ressaltar que o resultado dos mapas de IDW se referem ao corpo hídrico em questão somente, os cursos d`água definidos para esse trabalho são: rio Verde, rio Lambari, rio Baependi e ribeirão do Carmo.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

Ainda que as cinco categorias do IQA estejam definidas na precisão dos rótulos, conforme figura 02, os mapas de calor do IDW geram resultados que priorizam a melhor visualização comparativa dos valores médios do IQA (interpolados por IDW) por estação de monitoramento, buscando representar maiores valores em azul escuro e menores em vermelho

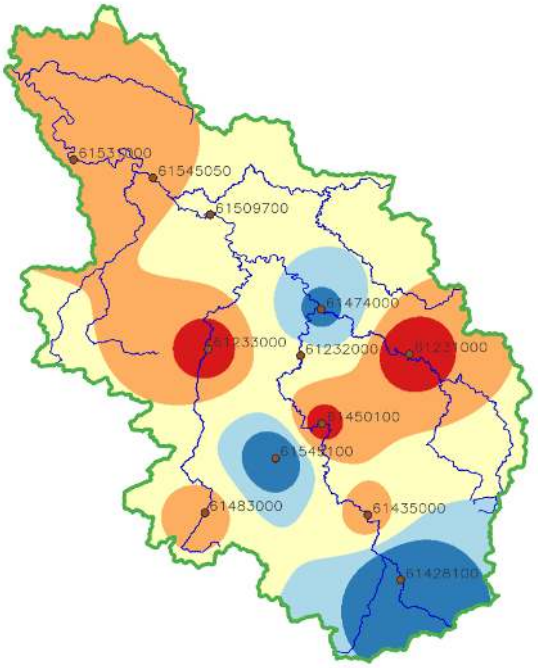


Figura 03: Mapa de interpolação por IDW do IQA do período entre os anos de 2001 a 2020 e legenda.
Fonte: O autor, 2026.

Essa premissa é importante para trazer a caracterísica comparativa presente em mapas de calor, como já descrito os valores de IQA do estudo estão dentro da classificação BOA (entre 51 e 79), o que geraria um mapa com poucas variações de cores e afetaria a interpretaçao visual dos mapas. Não foi realizada a validação cruzada devido a baixa densidade espacial da rede de monitoramento. Na figura 03 é apresentado o mapa de calor do IDW, com interpolação dos valores de IQA de 2001 a 2020. Na sequência, na Figura 04, apresenta os resultados da interpolação para o mesmo período, divididos entre o período seco e chuvoso:

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

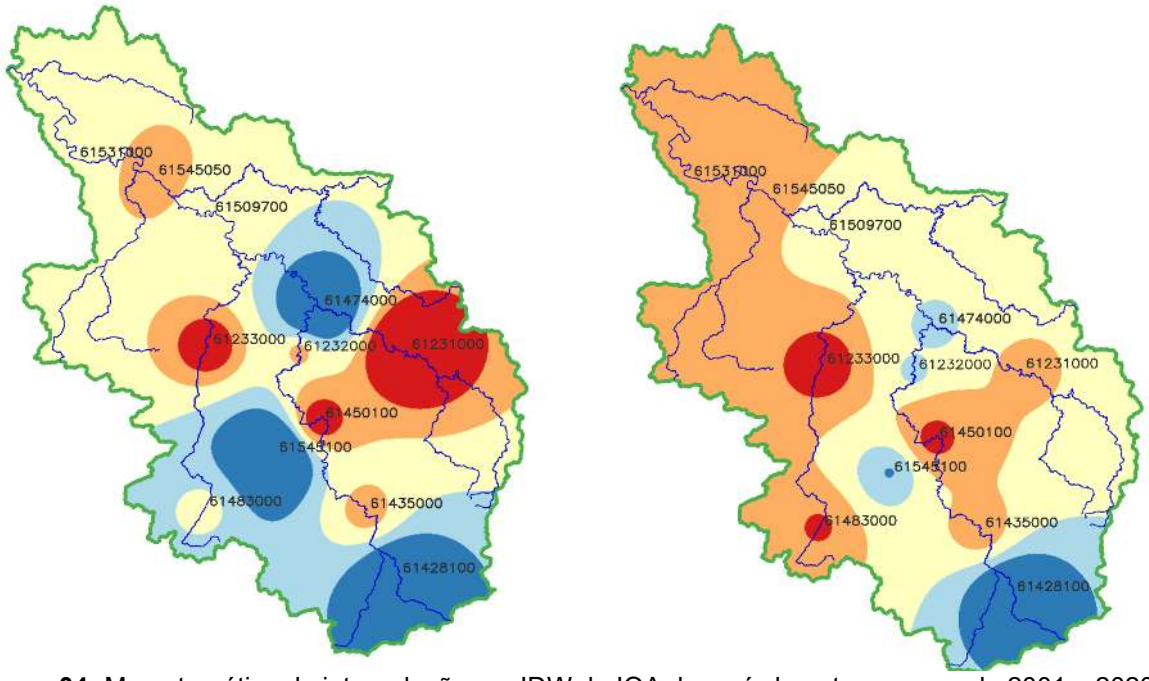


Figura 04: Mapa temático de interpolação por IDW do IQA do período entre os anos de 2001 a 2020, à esquerda o mapa da estação seca e à direita da estação chuvosa.
Fonte: O autor, 2026.

É possível observar, nos mapas gerados por IDW neste estudo, tendencia visual de valores mais elevados de IQA no período seco, hipótese representada nos resultados de média de IQA por ano, conforme gráfico 26. Uma possível explicação para essa diferença é o maior carreamento de material no período chuvoso por fluxo superficial.

Em algumas estações pode ser observado visualmente uma tendência de melhora no IQA ao longo do corpo hídrico, como exemplo a estação BR 383 – rio Baependi (61231000), localizada imediatamente a jusante da mancha urbana de Baependi. Essa estação apresentou, em todas as análises, valores mais baixos de IQA quando comparada à estação Ponte Foz do Rio Baependi (61474000), localizada 18 quilômetros à jusante em linha reta, que apresenta valores mais elevados de IQA.

O cenário se repete na estação Soledade de Minas (61450100), estação localizada 5 quilômetros à jusante de São Lourenço, ela apresentou, de forma consistente, valores menores de IQA do que a estação a jusante (Conceição do Rio Verde, 61232000), localizada 14 quilometros à jusante em linha reta. A melhora dos

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

valores de IQA podem ter diversas causas como diluição por contribuição de afluentes, autodepuração, variações de vazão, dentre outras causas.

Esses resultados corroboram com estudos similares. Garcia (2020) registra: “foi observado que os valores mais elevados de coliformes termotolerantes, nitrogênio e fósforo total, em ambos os períodos, correlacionaram-se com o uso de infraestrutura urbana. Já o oxigênio dissolvido apresentou os melhores resultados para as regiões com uso do solo do tipo floresta plantada, vegetação nativa e na região da cabeceira da bacia. Esses resultados estão de acordo com outros já relatados na literatura (BRITTO et al., 2018; BAGGIO; FREITAS; ARAÚJO, 2016).”

As estações localizadas no rio Lambari apresentam comportamento similar com tendência de menores valores de IQA. A estação Cristina (61483000) está localizada na mancha urbana e a estação BR 460 (61233000) está localizada à jusante dos municípios de Lambari, Jesuânia, Olímpio Noronha e Vargem Alegre. As origens dessa tendência de menores valores de IQA, quando comparado com as demais estações do estudo, podem ter origens diversas, como a menor vazão do rio Lambari ou despejo de efluente sanitário, uma vez que esses municípios não tem Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

O resultado da estação de Três Corações (61509700) chama a atenção por apresentar valores de IQA semelhantes ou superiores aos das estações localizadas à jusante no final do curso do rio Verde (Três Corações Flora – 61545050; Elói Mendes – 61531000). Uma possível hipótese interpretiva é o despejo dos efluentes orgânicos e industriais nos munícipios de Três Corações e Elói Mendes, o pode contribuir para a redução dos valores de IQA à jusante da estação Três Corações (61509700).

A partir dos dados e imagens de cobertura e uso da terra, observou-se que, no período de 2001 a 2020, houve aumento da classe área não vegetada, impulsionado pela expansão das áreas urbanas das maiores cidades da bacia, como Varginha, Três Corações e São Lourenço. Esse dado é compatível com os registros do IBGE (2023) relativos ao crescimento populacional desses 3 municípios. Foi observado

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

visualmente no MapBiomas o aumento da área urbanizada de 7.153 ha em 2001 para 10.448 ha, em 2020. Esse crescimento corresponde a 46,1% em 19 anos.

A cultura do café, representando outra tonalidade de rosa, muito presente na região, ocupava 45.194 ha em 2000 e alcançou o pico de 51.990 em 2014 e diminuiu para 47.687 ha em 2020. Já o plantio de outras lavouras temporárias cresceu de 16.363 ha para 59.531 ha, sendo composta principalmente por milho, feijão e batata. A pastagem, por sua vez, perdeu espaço para outras atividades agropecuárias na bacia do rio Verde, com sua área diminuindo de 396.528 ha para 298.263 ha em 2020. Ainda que pouco expressiva na região, o uso da terra para áreas relacionadas à mineração cresceu de 428 ha, em 2001, para 732 ha, no final do período analisado.

O aumento das áreas cultivadas, em substituição às áreas de pastagem, é outro ponto observado. O aumento na coloração rosa indica que a classe de outras lavouras temporárias foi a que mais cresceu no período, evidenciando a expansão de culturas agrícolas na bacia do rio Verde. A classe do mosaico de usos ocupava 65.514 ha em 2001 e atingiu 98.742 em 2020. Essas áreas correspondem a regiões com pouca clareza de áreas de pastagem e agricultura e podem incluir áreas de infraestrutura rural, bordas, solo exposto e vertentes com pouca ou nenhuma vegetação. Houve aumento a classe possivelmente relacionado à expansão das atividades do agronegócio na região, detalhes são registrados na figura 05.

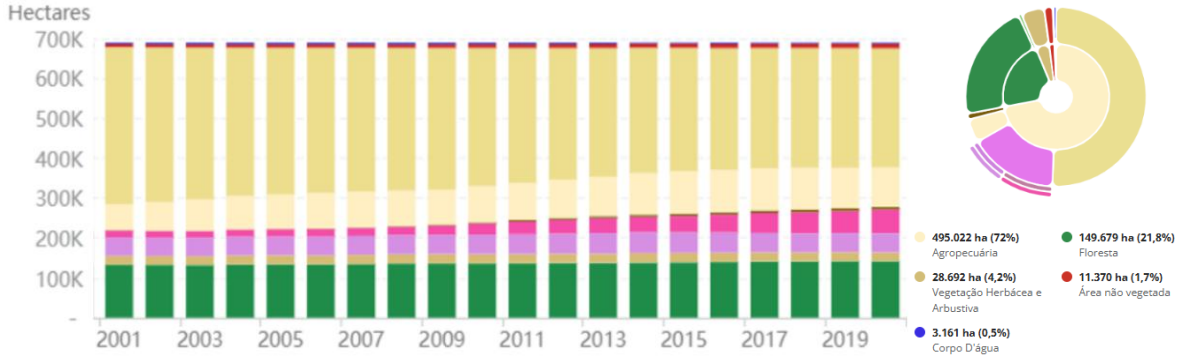


Figura 05: Série Temporal de Uso e Cobertura da Terra, por classe, de 2001 a 2020, com detalhes das classes de cobertura da terra referente ao ano 2020, na direita da figura.
Fonte: MapBiomas, 2026.

É importante registrar que a classe formação florestal também apresentou expansão na região da bacia, com passando de 132.513 ha, em 2001, para 141.354

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

ha, em 2020. Esse crescimento pode estar relacionado à consolidação da legislação ambiental e à novos instrumentos como o Cadastro Ambiental Rural (CAR) e o Código Florestal de 2012. Na Figura 6, são apresentadas alteração nas classes de cobertura e uso da terra, por meio de mapas de 2001, 2010 e 2020.

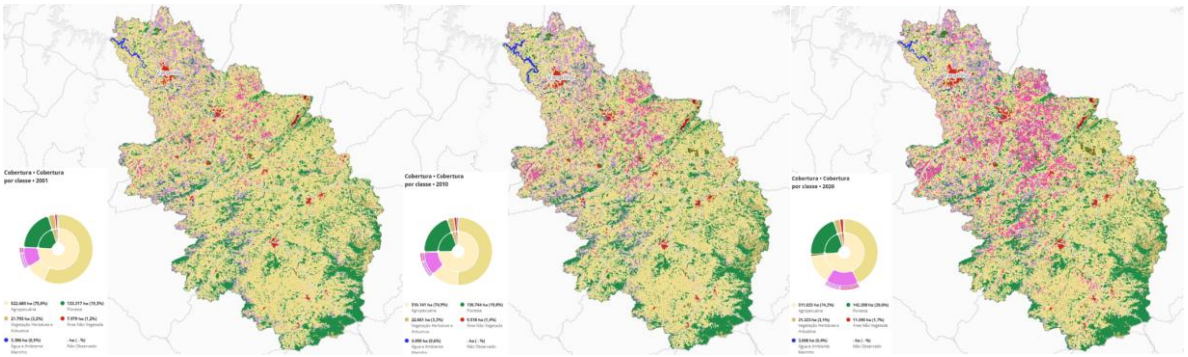


Figura 06: Mapa de cobertura da terra por classe, anos de 2001, 2010 e 2020 sequencialmente.

Fonte: MapBiomas, 2026.

Limitações do Estudo

Apesar de trazer dados relevantes sobre a qualidade da água na bacia do rio Verde, este estudo apresenta limitações importantes. Cerca de 80% da base de cálculo do IQA concentra-se na primeira década avaliada, o que exige maior cautela ao interpretar os resultados da segunda década, que possui menos registros. Além disso, os dados provêm de apenas 12 estações e restringem-se aos corpos d'água monitorados, não devendo ser extrapolados para toda a bacia. Por fim, os mapas de IDW refletem essa disparidade temporal de dados e utilizam escalas de cores voltadas à interpretação visual, não seguindo a classificação oficial do IGAM.

5. Conclusão

A partir dos resultados desse trabalho, seguem as conclusões:

- Limitações e consistência da base de dados: Apesar das descontinuidades temporais, da malha amostral reduzida e da falta de padronização nos dados do SNIRH, foi possível calcular 444 valores de IQA de 2001 a 2020.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

- Os resultados de IQA sugerem uma tendência visual de redução do parâmetro nas 12 estações avaliadas, com maior clareza para a primeira década do estudo. Ainda que os resultados de IQA´s estejam dentro da classe Boa.
- A interpolação por IDW gerou mapas de calor com melhor IQA (tons azulados) nas cabeceiras e pior qualidade (cores fortes) nas áreas associadas a maior pressão antrópica, como no baixo rio Verde e entorno de manchas urbanas.
- A segregação dos dados entre os períodos seco e chuvoso indicou que o IQA é melhor na seca, o que pode ser devido ao menor escoamento superficial e, consequentemente, ao menor aporte de sedimentos e poluentes nos rios.
- O crescimento das áreas de plantio e manchas urbanas nas últimas duas décadas coincidiu com a queda do IQA nas estações. Os dados sugerem que a expansão do uso da terra por ações antrópicas podem estar relacionados com a redução do IQA registrada na primeira década na bacia.
- Um ponto relevante foi o aumento da classe de formação florestal no período avaliado, fato relevante reforçando a importância da aplicação das leis ambientais.
- A integração entre monitoramento, geoprocessamento e uso da terra mostrou potencial como ferramenta e apoio a gestão. Os resultados servem de subsídio técnico para o planejamento ambiental da bacia, reforçando a urgência em ampliar a rede de monitoramento, tratar esgotos, conservar o solo e cumprir as exigências legais.

Referências

Amorim, Amanda Trindade. *Poluição dos Recursos Hídricos e Políticas para Proteção dos Recursos Hídricos*. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2022. Tese de Doutorado.

Beato, Décio A. C., Fernando A. R. de Oliveira, e Haroldo S. Viana. *Projeto Circuito das Águas do Estado de Minas Gerais*. CPRM, 1999.

Benetti, A., e F. Bidone. "O Meio Ambiente e os Recursos Hídricos." *Hidrologia:*

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

Ciência e Aplicação, organizado por Carlos Eduardo Morelli Tucci, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001, pp. 849-876.

Blanco, J., et al. "Early Stages of Crop Expansion Have Little Effect on Farm-Scale Vegetation Patterns in a Cerrado Biome Working Landscape." *Landscape and Urban Planning*, vol. 223, 2022, p. 104422.

Britto, Fabio Brandão, et al. "Surface Water Quality Assessment of the Main Tributaries in the Lower São Francisco River, Sergipe." *Brazilian Journal of Water Resources*, vol. 23, no. 28, 2018, pp. 1-11.

Bruijnzeel, L. A. "Hydrological Functions of Tropical Forests: Not Seeing the Soil for the Trees?" *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 104, 2004, pp. 185-228.

De Paula, Makele Rosa, Ana Carolina Pain Benedetti, e Waterloo Pereira Filho. "Influência do Uso e Cobertura da Terra Aliado à Precipitação Pluviométrica na Qualidade da Água da Bacia Hidrográfica do Rio Ingaí-RS/Brasil." *Revista do Departamento de Geografia*, vol. 32, no. 1, 2016, pp. 143-152.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). *Geotecnologias e Geoinformação: O Produtor Pergunta, a Embrapa Responde*. Editado por Sérgio Gomes Tôsto, Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues, Édson Luis Bolfe e Mateus Batistella, EMBRAPA, 2014. *Infoteca-e*, http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/988805. Accessed 12 Feb. 2026.

Feil, Alexandre André, Virgílio José Strasburg, e Fernando Rosado Spilki. "Variáveis Intervenientes na Existência de Comitês de Bacias Hidrográficas no Brasil." *Revista Ambiente & Água*, vol. 12, no. 2, 2017, pp. 340-350.

Gomes, N. M., et al. "Variabilidade Espacial de Atributos Físicos do Solo Associados ao Uso e Ocupação da Paisagem." *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 11, no. 4, 2007, pp. 427-435.

Hirata, R. "Recursos Hídricos." *Decifrando a Terra*, editado por Wilson Teixeira et al., Companhia Editora Nacional, 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Censo Demográfico 2022: População e Domicílios: Primeiros Resultados*. IBGE, 2023, https://biblioteca.ibge.gov.br/. Accessed 10 Nov. 2026.

Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). *Séries Históricas de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais do Estado de Minas Gerais: Unidade de Planejamento e Gestão GD4*. IGAM, 2024, http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/. Accessed 6 Oct. 2026.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/10/2026 - **Accepted:** 13/11/2026
Vol: 13.24
DOI: 10.66104/xtjx3r83
Pages: 1-36

---. *Portaria Administrativa nº 10*. Diário Oficial de Minas Gerais, 1999.

Instituto Trata Brasil. *O Saneamento em Três Corações (MG)*. Instituto Trata Brasil, 2024, https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/mg/tres-coracoes. Accessed 9 Oct. 2026.

Koumrouyan, Adriana. *Desenvolvimento de Cenários de Cobertura da Terra em uma Bacia de Mesoescala no Bioma Mata Atlântica e Análise de Respostas Hidrológicas Simuladas pelo Modelo DHSVM*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015.

Magalhães Jr., Antônio Pereira. *Os Indicadores como Instrumentos de Apoio à Consolidação da Gestão Participativa da Água no Brasil: Realidade e Perspectivas no Contexto dos Comitês de Bacia Hidrográfica*. Universidade de Brasília, 2003. Tese de Doutorado.

MapBiomas. *Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil*. MapBiomas, 2019, http://mapbiomas.org/pages/about/about.

Manuel, Lourenço, et al. "Estudo de Variabilidade Espacial da Concentração de Cobre e Cádmio ao Longo da Margem do Rio Meuse." *Pubvet*, vol. 11, no. 8, 2017, pp. 802-807.

Myers, Norman, et al. "Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities." *Nature*, vol. 403, 2000, pp. 853-858.

QGIS Project. "Análise Espacial (Interpolação)." *Uma Introdução Suave ao SIG*. QGIS Project, 2014, https://docs.qgis.org/2.8/pt_BR/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html. Accessed 6 Oct. 2026.

Rosan, T. M., et al. "Fragmentation-Driven Divergent Trends in Burned Area in Amazonia and Cerrado." *Frontiers in Forests and Global Change*, vol. 5, 2022.

Tucci, Carlos Eduardo Morelli, editor. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4th ed., Editora da UFRGS/ABRH, 2009.

Vale, J. R. B., e C. A. L. Bordalo. "Caracterização Morfométrica e do Uso e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica do Rio Apeú, Amazônia Oriental." *Formação (Online)*, vol. 27, no. 51, 2020, pp. 313-335. DOI: 10.33081/formacao.v27i51.6026.