

IMPACTOS DAS OBRAS RODOVIÁRIAS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS: ESTUDO DE CASO DA MG-320

Keila M. de Rezende*

Janice Pockszevnicki*

Leonardo Santos Andrade*

Resumo: As intervenções ambientais no trecho da MG 320 ocorreram entre os anos de 2018 e 2024, período em que foram realizadas análises da qualidade das águas superficiais dos principais corpos hídricos afetados direta ou indiretamente pela obra. As análises foram realizadas por meio da coleta de amostras de água em 11 pontos distintos. Os resultados obtidos permitiram identificar variações nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos decorrentes das atividades construtivas, evidenciando possíveis impactos temporários sobre a qualidade das águas superficiais. O estudo reforçou a importância do monitoramento contínuo para a detecção precoce de alterações ambientais e no aprimoramento das medidas de controle, contribuindo para a proteção dos recursos hídricos e subsidiando ações de gestão e mitigação ambiental em empreendimentos rodoviários.

Palavras-chave: Análise de água; Impactos de obras; Águas superficiais.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de infraestrutura rodoviária é essencial para o crescimento econômico e social, facilitando o transporte de bens e pessoas. No entanto, a implantação, melhoramento e expansão de rodovias frequentemente acarretam impactos ambientais significativos, especialmente sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos (Souza, 2020). A fase de construção é particularmente crítica, pois envolve o movimento de terra, desmatamento e exposição do solo, processos que aumentam a taxa de erosão e o carreamento de sedimentos para os corpos d'água adjacentes (EPA, 2025).

O trecho da rodovia MG-320, objeto deste estudo, passou por intervenções de adequação de capacidade entre 2016 e 2024. Tais obras, embora necessárias, exigiram um rigoroso programa de monitoramento da qualidade da água para avaliar e mitigar os potenciais efeitos adversos. O monitoramento contínuo é uma

* Instituto de Química – UFCAT: keilamoreira@gmail.com; janipocks@gmail.com; ls_andrade@ufcat.edu.br

ferramenta indispensável para a gestão ambiental, permitindo a detecção precoce de alterações e a implementação de medidas corretivas eficazes (Rocha, 2022).

Este trabalho teve como objetivo principal analisar os dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais em 11 pontos de coleta localizados na área de influenciadasobras de melhoria e pavimentação da Rodovia MG 320 / LMG 760 - Trecho Entroncamento BR 262 - Cava Grande, abrangendo o período pré-obra (2017) e durante a execução das intervenções (2016-2024). A análise focou em parâmetros físico-químicos e microbiológicos, como coliformes totais, oxigênio dissolvido, turbidez e fósforo total, confrontando os resultados com os padrões de qualidade estabelecidos pela legislação brasileira.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Impactos de Obras Rodoviárias em Recursos Hídricos

As obras rodoviárias, embora essenciais para o desenvolvimento socioeconômico e a integração de populações (DNIT, 2006), geram alterações significativas no meio ambiente, sendo os recursos hídricos locais e regionais uma das grandes preocupações da sociedade brasileira. A preservação ambiental da fauna e flora está intimamente ligada à qualidade dos recursos hídricos, especialmente em ecossistemas sensíveis (De Luca & Schmidt, 1999).

A construção de rodovias é amplamente reconhecida por contribuir para a poluição difusa dos recursos hídricos, caracterizando uma fonte de impactos ambientais não-pontuais que afetam diretamente a qualidade da água (Barrett, *et al.* 1995).

Durante a implantação das vias, especialmente na fase de movimentação de terra e desmatamento, observa-se um aumento expressivo na erosão do solo. Esse processo acarreta o transporte de grandes volumes de sedimentos para os cursos d'água próximos, elevando a turbidez das águas e dificultando a passagem da luz solar, o que compromete a fotossíntese dos organismos aquáticos e reduz a produção de oxigênio dissolvido, colocando em risco o equilíbrio ecológico dos sistemas hídricos (IECA, 2022). O acúmulo de sedimentos pode provocar o assoreamento dos leitos de rios e córregos, destruindo habitats essenciais e diminuindo a capacidade de vazão dos corpos d'água, o que pode gerar problemas de inundação e alterar o fluxo natural dos ambientes.

Outro aspecto relevante é o aumento da matéria orgânica, proveniente do solo exposto e de efluentes gerados pelas obras, o que demanda maior quantidade de oxigênio para sua decomposição por microrganismos. A diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido é um indicador crítico de poluição e pode provocar a morte de peixes e outros organismos dependentes de condições adequadas para sobreviver (Rezende, 2015). Além dos impactos físico-químicos, existe o risco de elevação na concentração de contaminantes microbiológicos, como coliformes totais, especialmente em situações em que há agrupamento humano, carreamento de solos e possível contaminação por efluentes sanitários das frentes de trabalho, elevando riscos à saúde pública e comprometendo a qualidade da água para múltiplos usos.

Por fim, destaca-se o transporte de nutrientes, em especial o fósforo total, para os corpos hídricos, proveniente tanto do solo quanto de resíduos das atividades de construção. O excesso desse nutriente pode desencadear a eutrofização, processo caracterizado pela proliferação excessiva de algas e outros organismos, desestabilizando o ecossistema aquático e reduzindo a biodiversidade (Souza, 2020). Dessa forma, a instalação de rodovias exige atenção rigorosa no controle dos impactos ambientais e reforça a necessidade de programas de monitoramento e estratégias de mitigação para preservar tanto a qualidade das águas quanto a integridade dos ecossistemas afetados.

Padrões de Qualidade da Água

No contexto brasileiro, o enquadramento dos corpos d'água e a definição dos padrões de qualidade são orientados principalmente pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, que representa um marco regulatório fundamental para a gestão dos recursos hídricos (Brasil, 2005). Essa resolução estabelece diretrizes detalhadas para o lançamento de efluentes nos corpos d'água, especificando condições e limites para diversos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, a fim de preservar a integridade ambiental e proteger os múltiplos usos da água.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 classifica os corpos d'água em diferentes categorias: águas doces, salobras e salinas. E, dentro dessas, em classes que variam conforme os usos previstos e o grau de proteção necessário. Dentre essas

categorias, destaca-se a Classe 2, considerada a mais abrangente e frequentemente aplicada para cursos d'água que atendem a múltiplos propósitos (Brasil, 2005). Na Classe 2, as águas devem apresentar características adequadas para:

- **Abastecimento público:** As águas classificadas como Classe 2 são aptas para o abastecimento humano, desde que passem por tratamento convencional, que inclui coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, garantindo a remoção de contaminantes e patógenos (Brasil, 2005).
- **Proteção das comunidades aquáticas:** Os parâmetros definidos visam assegurar condições favoráveis à manutenção da biodiversidade e ao equilíbrio dos ecossistemas aquáticos (CETESB, 2022).
- **Recreação de contato primário:** A Classe 2 contempla usos recreativos que envolvem contato direto com a água, como natação, mergulho e esportes aquáticos, exigindo padrões rigorosos para evitar riscos à saúde dos usuários (Brasil, 2005).
- **Irrigação e pesca:** As águas dessa classe também devem ser adequadas para irrigação de culturas agrícolas e para atividades de pesca, o que implica limites para substâncias tóxicas e nutrientes (Souza, 2020).

Os limites de qualidade estabelecidos para a Classe 2 são de extrema importância para a avaliação dos impactos ambientais decorrentes de intervenções em infraestrutura, como obras rodoviárias (Rezende, 2015). Esses limites abrangem indicadores como coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido, turbidez, fósforo total, entre outros, que são monitorados para garantir que a água permaneça dentro dos padrões exigidos pela legislação (Barret *et al.*, 1995; IECA, 2022). O cumprimento desses parâmetros é fundamental não apenas para a saúde pública, mas também para a preservação dos ecossistemas e para o uso sustentável dos recursos hídricos em diferentes setores da sociedade. A Tabela 1 sumariza as unidades de medida dos parâmetros citados bem como os limites permitidos de acordo com a Resolução CONAMA 357 para águas do tipo Classe 2.

Tabela 1. Parâmetros, unidades de medida e limites permitidos de acordo com a Resolução CONAMA 357 para águas do tipo Classe 2.

Parâmetro	Unidade	Padrão CONAMA 357 (Classe 2)
Coliformes Totais	NMP/100mL	-
Oxigênio Dissolvido (OD)	mg/L	$\geq 5,0$
Turbidez	uT	≤ 100
Fósforo Total	mg/L	$\leq 0,030$ mg/L p/ ambientes lênticos e $\leq 0,100$ p/ ambientes lóticos

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2025.

Ressalta-se que, no estado de Minas Gerais, a classificação e o enquadramento dos corpos d'água também são regulamentados pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº 08/2022. No entanto, para fins desse estudo adotou-se a Resolução CONAMA 357/2005 e suas atualizações como base legal para a avaliação da adequação da qualidade da água e para a determinação da necessidade de medidas mitigadoras.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo de caso contemplou a área de influência direta da obra de implantação de rodovia estadual, iniciando no entroncamento da BR-262 (km 147,2) com a MG-320, seguindo por esta por aproximadamente 6 km até o entroncamento com a LMG-760 e, posteriormente, por mais 51,1 km até o distrito de Cava Grande, no município de Marliéria, no estado de Minas Gerais(Figura 1).

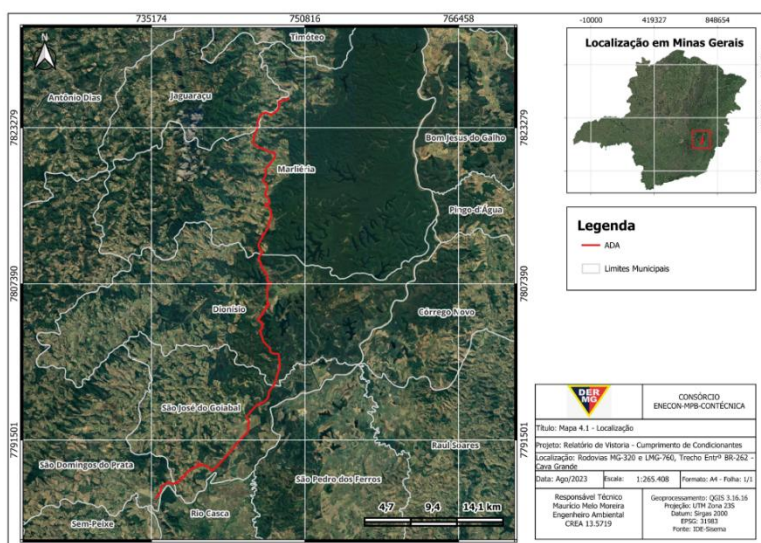


Figura 1. Área de influência direta da obra de implantação de rodovia estadual contemplada no estudo de caso.

Foram considerados 11 pontos de monitoramento (LIM-01 a LIM-11) situados em corpos hídricos que cruzam ou estão próximos ao traçado rodoviário, incluindo rios, córregos e lagoas, conforme especificado nos documentos autorizativos e no Estudo de Impacto Ambiental (EIA), conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2. Identificação dos pontos de monitoramento e respectivos corpos d'água.

PONTO	CORPOS HÍDRICOS
LIM-01	Rio Doce
LIM-02	Córrego Capixaba
LIM-03	Córrego Barra Alegre
LIM-04	Ribeirão Sacramento
LIM-05	Lagoa do Baianinho
LIM-06	Ribeirão Mombaça
LIM-07	Lagoa do Jacaré
LIM-08	Córrego Conceição / Ribeirão do Turvo
LIM-09	Córrego Antunes
LIM-10	Córrego Santo Antônio
LIM-11	Ribeirão do Belém

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2025.

Os dados utilizados neste estudo são provenientes de campanhas de monitoramento da qualidade da água realizadas pelo Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER-MG), no âmbito do acompanhamento ambiental da implantação da rodovia. Trata-se de dados secundários, de acesso público, disponibilizados em relatórios elaborados pelo Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER-MG), no âmbito do cumprimento de condicionantes estabelecidas na licença ambiental do empreendimento.

O período de monitoramento considerado incluiu os dados coletados antes do início da obra, em fevereiro de 2016, bem como informações obtidas durante a instalação do empreendimento por meio de campanhas trimestrais, totalizando 18 campanhas de monitoramento. Essa abordagem permitiu comparar as condições de referência anteriores à intervenção com o cenário durante a obra até a sua finalização (Tabela 3).

Tabela 3. Identificação das campanhas de monitoramento e respectivas datas de realização.

Pré obra	Campanha 1	Campanha 2	Campanha 3	Campanha 4	Campanha 5	Campanha 6
16/02/2016	29/09/2017 31/10/2017 31/01/2018 02/05/2018	30/07/2018 29/10/2018	23/11/2020 25/02/2021 11/05/2021 01/08/2021 01/11/2021	24/02/2022 16/05/2022	15/06/2023 14/09/2023 14/12/2023	15/03/2024 26/06/2024

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2025.

Para avaliar o impacto sobre a qualidade da água, foram analisados os seguintes parâmetros: coliformes totais, como indicador de contaminação por matéria orgânica; oxigênio dissolvido, que aponta a saúde do ecossistema aquático; turbidez, relacionada à presença de sedimentos; e fósforo total, que sinaliza o enriquecimento por nutrientes e possíveis processos de eutrofização.

A metodologia utilizada para coleta, preservação e análise das amostras seguiu rigorosamente o método descrito em APHA (2017) bem como os procedimentos técnicos do laboratório responsável, em conformidade com a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017, o que assegura a rastreabilidade e confiabilidade dos resultados obtidos.

Os dados brutos foram tabulados e processados para proporcionar uma comparação direta com os limites estabelecidos Resolução CONAMA nº 357/2005. A análise concentrou-se na identificação de picos de concentração, especialmente de turbidez e fósforo total, bem como em quedas nos níveis de oxigênio dissolvido, buscando correlacionar esses eventos com as fases mais intensas da obra, principalmente em 2018, e com a situação observada no ano de 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período pré-obra em 2016 até a finalização das intervenções no trecho, foram realizadas análises de parâmetros físico-químicos e microbiológicos de 11 pontos situados em diferentes corpos hídricos presentes na área de influência da ampliação da rodovia MG-320. A avaliação da conformidade dos resultados foi obtida com base nos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, considerando os limites aplicáveis a corpos d'água de Classe 2. Os dados utilizados no estudo são de natureza pública e constam em relatórios de atendimento a condicionantes ambientais, protocolados junto ao órgão ambiental competente por

meio do Sistema Eletrônico de Informações do Estado de Minas Gerais (SEI-MG), disponíveis para consulta mediante solicitação formal.

Os resultados obtidos na campanha pré-intervenção, evidenciam a situação dos corpos d'água previamente a intervenção na ADA do empreendimento, com destaque para os níveis dos parâmetros analisados. A análise prévia permitiu observar, de forma detalhada, as alterações nos parâmetros críticos e a ocorrência de valores fora dos limites recomendados, trazendo subsídios para a avaliação dos impactos ambientais decorrentes da obra.

A Campanha 1 foi composta por monitoramentos realizados em quatro períodos, sendo eles: setembro de 2017, outubro de 2017, janeiro de 2018 e maio de 2018. Em decorrência do início tardio das atividades de terraplanagem, realizou-se um monitoramento extra em outubro, com o objetivo de abranger o início efetivo das intervenções, etapa considerada crítica para a avaliação dos potenciais impactos sobre a qualidade dos corpos d'água. Tal decisão foi tomada visando assegurar que possíveis alterações decorrentes das obras sejam devidamente registradas e avaliadas, permitindo, assim, a aplicação tempestiva de medidas de controle e mitigadoras.

Os resultados obtidos indicam que os padrões observados durante a campanha refletem condições ambientais já existentes na bacia, com algumas alterações pontuais que podem ser associadas ao período chuvoso e ao início das atividades de obra.

Em relação aos parâmetros físico-químicos, o oxigênio dissolvido apresentou, de forma predominante, valores superiores ao limite mínimo de 5 mg/L determinado na Resolução CONAMA nº 357/2005 para corpos d'água de Classe 2, principalmente quando comparado com os resultados obtidos na análise Pré-Intervenção, onde diversos pontos apresentavam concentrações inferiores.

A maior parte dos resultados obtidos para a turbidez na Campanha 1 apresentou resultados inferior ao limite de 100 NTU estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Contudo, verificou-se valores elevados e pontuais, especialmente em janeiro de 2018, período este caracterizado por maior intensidade de chuvas e pelo início das atividades de terraplanagem, pavimentação e drenagem. Esses aumentos coincidem temporalmente com a movimentação do solo, supressão da vegetação, execução de estruturas de drenagem, apesar da adoção de medidas

mitigadoras, como a instalação de barreiras de siltagem e a proteção de saias de aterro com mantas geotêxtil. Ainda assim, essas elevações não se mantiveram ao longo das campanhas seguintes, o que indica resposta temporal do sistema hídrico, sem caracterizar alteração persistente na qualidade da água.

Em relação ao fósforo total, este apresentou comportamento variável ao longo da campanha 1, com registros tanto de conformidades quanto de não conformidades em relação aos limites estabelecidos na legislação. Ressalta-se que valores acima também foram identificados no período pré-intervenção, o que indica que a presença do nutriente pode não estar diretamente associada às atividades do empreendimento. Ao longo das campanhas seguintes, dentro da campanha 1, observa-se tendência de redução das concentrações, com maior frequência de resultados em conformidade, o que sugere ausência de incremento significativo do nutriente em função da intervenção ambiental.

Quanto aos coliformes totais, os valores mantiveram-se elevados, tal qual registrado na fase pré-intervenção, com concentrações variando da ordem de 10^3 a 10^5 NMP/100. Tal comportamento já tinha sido registrado na campanha pré-Intervenção, quando também foram observados valores elevados em todos os corpos hídricos avaliados, o que indica a influência de fatores externos à instalação da rodovia, como uso e ocupação do solo no entorno. Atividades agropecuárias e lançamento de efluentes sem o devido tratamento nos corpos d'água. É relevante ressaltar que este parâmetro não possui padrão de enquadramento na legislação de referência, sendo interpretado como indicador complementar de variabilidade ambiental.

De modo geral, a análise da Campanha indica que, apesar do início das obras e das intensificações das atividades durante o período chuvoso, não se verificou comprometimento generalizado das qualidades dos corpos hídricos monitorados. As não conformidades identificadas, especialmente para o parâmetro microbiológico, reflete condições pré-existent na bacia hidrográfica, enquanto os físico-químicos apresentaram comportamento compatível com variações naturais e intervenções pontuais, sem evidências de impactos contínuos associados a realização da obra rodoviária nesse estágio inicial.

Destaca-se que durante a Campanha 1, as atividades de obra encontravam-se concentradas principalmente nas bacias associadas aos pontos LIM-09, LIM-10 e

LIM-11, o que se pode configurar maior potencial de interferência nesses corpos hídricos. No entanto, a análise dos resultados não mostrou diferenças consistentes entre esses pontos e os demais monitorados, tampouco agravamento em relação à condição pré-intervenção. Tal resultado sugere que, no período avaliado, as intervenções iniciais e as medidas mitigadoras adotadas foram suficientes para evitar impactos significativos na qualidade da água.

A campanha 2 foi realizada apenas em dois períodos (julho e outubro de 2018), devido a paralisação das obras que ocorreu em 12/11/2018. A redução da frequência amostral reflete, portanto, a menor intensidade das atividades no trecho e a interrupção progressiva das frentes de obra, cenário considerado na interpretação dos resultados obtidos para a campanha.

Os resultados das análises indicaram que o padrão observado na campanha 1 se manteve, não sendo identificadas alterações significativas na qualidade dos corpos hídricos monitorados. Esse comportamento sugere a ausência de impactos adicionais associados às atividades executadas no período avaliado.

Observou-se que houve persistência na não conformidade para o parâmetro Coliformes Totais nos pontos amostrados, repetindo o registro realizado na campanha anterior, bem como na campanha pré-intervenção. As concentrações permaneceram elevadas entre os períodos de coleta, indicando que a condição microbiológica dos locais objeto de estudo, não apresentou melhoria ao longo do tempo monitorado. Tal recorrência reforça a hipótese de influência de fontes difusas e pressão antrópicas preexistentes na bacia, independente da execução das obras.

Para os parâmetros físico-químicos analisados (oxigênio dissolvido, turbidez e fósforo total), os valores mantiveram-se predominantemente em conformidade com os padrões da Resolução CONAMA nº 357/2005, corroborando com os resultados obtidos na campanha 1. Ressaltam-se os valores de oxigênio dissolvido que apresentaram melhora em relação aos resultados da campanha prévia, com a maioria dos limites acima do limite mínimo, embora ainda tenha sido identificado três valores abaixo do padrão, sem recorrência espacial ou temporal. Tal comportamento sugere recuperação parcial das condições de oxigenação possivelmente associada a fatores hidrológicos e sazonais.

A turbidez manteve-se nos valores baixos e moderados em todos os pontos, sem registros de extrapolação dos limites, diferentemente do visto em momentos

pontuais na campanha 1. Esse resultado demonstra ausência no transporte de sólidos em suspensão no período avaliado, possivelmente associado a redução das atividades de obra, implantação de sistemas de drenagem já em andamento e principalmente no final do período chuvoso.

Quanto ao fósforo total, as concentrações mantiveram predominantemente abaixo dos limites estabelecidos, com ocorrências pontuais de não conformidades, mantendo o padrão já observado na fase pré-instalação. Esse comportamento indica que não houve incremento relevante do nutriente ao longo do período de monitoramento. Ressalta-se, ainda, que desde o início das obras a construtora disponibilizou banheiro químico para os funcionários, com a adequada gestão e destinação dos efluentes sanitários, medida que contribui para a prevenção de aportes pontuais de cargas orgânicas e nutrientes nos corpos hídricos monitorados.

Em síntese, os resultados cumulativos das campanhas 1 e 2 apontam para a estabilidade nos parâmetros físico-químicos da água, com o parâmetro microbiológico sendo o único apresentando recorrência de não conformidade, sem evidência de agravamento ou registro de ocorrência na qualidade da água associada às atividades da obra durante o período avaliado.

Após a paralisação das obras em 2018, as atividades de construção foram retomadas no segundo semestre de 2020, o que permitiu reiniciar o monitoramento da qualidade da água. Com isso, a terceira campanha de monitoramento abrangeu coletas realizadas em novembro de 2020, fevereiro de 2021, maio de 2021, agosto de 2021 e novembro de 2021, compreendendo períodos chuvosos e secos, bem como deferentes fases de avanço das intervenções

Os resultados dessa campanha indicam continuidade dos padrões observados nas campanhas anteriores. Assim como nas campanhas 1 e 2 os valores de coliformes totais permaneceram elevados em todos os corpos hídricos monitorados, com concentrações variando entre 10^2 e 10^5 NMP/100 mL, reforçando uma vez mais a alta possibilidade de interferência antrópica citada anteriormente, não sendo observada relação direta com a retomada das atividades da obra.

Em relação ao parâmetro físico-químico de oxigênio dissolvido, destaca-se a não conformidade persistente observada no Córrego Capixaba (LIM-02) com valores variando entre 0,98 mg/L e 3,79 mg/L em todas as campanhas, indicando, portanto, uma condição ambiental crônica presente no entorno. Outros episódios de não

conformidades também foram registrados em outros pontos, incluindo o Córrego Barra Alegre (LIM-03) que apresentou três ocorrências com valores entre 4,63 mg/L e 4,93 mg/L, e a Lagoa do Jacaré (LIM-07), com registro de 4,5 mg/L. Contudo, a distribuição dessas não conformidades tiveram caráter pontual e o não configuraram tendência generalizada de degradação da qualidade da água.

Quanto ao fósforo total, as análises realizadas para a campanha 3 apresentaram extrapolação dos limites legais para diversos corpos hídricos, diferentemente do observado nas campanhas anteriores. A distribuição espacial dessas ocorrências sugere contribuição difusa de nutrientes, que pode ser associado ao escoamento superficial e à mobilização de sedimentos devido ao período chuvoso, não caracterizando aumento localizado decorrentes das obras.

O parâmetro turbidez apresentou aumentos pontuais em determinados pontos e períodos após a retomada das atividades. Foram registrados valores acima do limite de 100 NTU estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, com não conformidades observadas nos corpos hídricos Rio doce (LIM-01), Córrego Capixaba (LIM-02) e Lagoa do Baianinho (LIM-05), registrando valores de 294 NTU, 127 NTU e 138 NTU, respectivamente. Essas variações coincidem temporalmente com frentes de terraplanagem, limpeza de terreno, regularização de subleito e intervenções associadas às variantes da Lagoa Agupé (Baianinho) e da Lagoa do Jacaré, bem como com atividades de corte e aterro em diferentes trechos do empreendimento.

Contudo, essas elevações não se mantiveram ao longo das campanhas subsequentes, indicando resposta pontuais dos corpos hídricos frente a movimentação do solo. Esse comportamento sugere que os efeitos observados estiveram associados a eventos específicos de intervenção, sendo atenuados pela adoção de medidas mitigadoras de proteção aos corpos d'água. Dessa forma, a análise integrada entre as três campanhas indica que, embora tenham sido identificadas alterações pontuais associadas ao período de obra, não se verifica comprometimento da qualidade da água no período monitorado.

Dando continuidade a avaliação dos resultados, a campanha 4 foi realizada apenas em dois eventos amostrais, fevereiro e maio de 2022, em função do encerramento do contrato com a empresa responsável, o que resultou em descontinuidade temporária das campanhas subsequentes até em junho de 2023.

Nesta campanha, embora os parâmetros físico-químicos tenham apresentado, de forma geral, resultados positivos em relação às campanhas anteriores, ainda foram registrados episódios pontuais de não conformidades, especialmente relacionados aos parâmetros microbiológicos e, em menor frequência, ao fósforo total, oxigênio dissolvido e turbidez.

O oxigênio dissolvido apresentou melhora em relação às campanhas anteriores, com predomínio de resultados em conformidade (ou conformes). As não conformidades, contudo, foram registradas de forma pontuais no Córrego Capixaba (LIM-02), na Lagoa Baianinho (LIM-05), no Córrego Barra Alegre (LIM-03) e na Lagoa do Jacaré (LIM-07), ambientes de menor renovação hídrica ou lântico. No ponto LIM-02, houve dois registros de não conformidades (3,13 mg/L e 4,52 mg/L). Outras não conformidades pontuais incluem 3,84 mg/L na Lagoa Baianinho (LIM-05), 4,8 mg/L no Córrego Barra Alegre (LIM-03) e 3,38 mg/L na Lagoa do Jacaré (LIM-07). Contudo, apesar desses registros isolados, o parâmetro não apresentou tendência sistemática de degradação.

A turbidez manteve-se estável e compatível com os limites legais, com destaque para o ponto LIM-01 (Rio Doce) que, em fevereiro, apresentou valor acima do padrão. Entretanto, no monitoramento subsequente já se encontrava normalizado, podendo-se especular que tenha sido decorrente da intensificação das atividades de terraplanagem e adequação de áreas afetadas por processos erosivos.

As concentrações de coliformes totais mantiveram-se dentro do padrão das campanhas anteriores, apresentando valores acima do limite em todos os pontos monitorados, mesmo tendo sido observado redução em relação a magnitude registradas nas campanhas 2 e 3 em parte dos corpos hídricos. Como apontado anteriormente, essa recorrência permanece associada a pressões antrópicas pré-existentes na bacia.

Os resultados de fósforo total, em sua maioria, mantiveram-se em conformidade, entretanto, foram registrados excedentes pontuais no Rio Doce, Ribeirão Sacramento e Ribeirão do Belém. Essas não conformidades, ainda que isoladas, sugerem aporte localizado de nutrientes, possivelmente devido à remobilização de sedimentos e ao escoamento superficial em áreas submetidas à terraplanagem e a correção de processos erosivos ocasionados durante o período chuvoso.

Assim, mesmo com a redução da frequência amostral, os dados da Campanha 4 reforçam a tendência de estabilidade dos parâmetros físico-químicos, com resposta pontuais dos corpos hídricos frente às intervenções em solo e a persistência das não conformidades microbiológicas, corroborando uma vez mais a interpretação de que as variações observadas refletem condições ambientais pré-existent e pressões antrópicas regionais, sem evidenciar impactos progressivos associados à execução da obra rodoviária.

Na campanha 5, realizada entre junho e dezembro de 2023, retomou-se o monitoramento após a interrupção observada ao final da campanha 4, permitindo reavaliar o comportamento dos parâmetros por três períodos amostrais. Os resultados indicaram melhoria nos parâmetros físico-químicos da água em relação às campanhas anteriores, especialmente se comparado com os episódios de maior pico de instabilidade registrados nas campanhas 3 e 4.

As concentrações de oxigênio dissolvido apresentaram valores satisfatórios na maioria das medições, com medições historicamente dadas como não conformes como no caso do Córrego Capixaba e o Ribeirão Mombaça, que nas campanhas 3 e 4 apresentaram não conformidades. Lagoa do Jacaré e Baianinho também se recuperaram, permanecendo apenas um valor pontual, relativo ao córrego capixaba, fora dos limites estabelecidos. Entretanto, essa ocorrência não configura tendência de degradação, sendo compatível com as condições hidrológicas locais e características naturais de menor renovação hídrica, já observada em campanhas anteriores.

A turbidez, manteve-se dentro dos padrões, com exceção de um registro no Ribeirão Mombaça, essa ocorrência pode ser associada temporalmente a frentes de obras envolvendo correção de processos erosivos, implantação de sistemas de drenagem e substituição de barreiras de siltagem ineficazes. Uma vez que esse valor não se repetiu nas campanhas subsequentes, indica-se o caráter pontual do evento e resposta positiva às medidas corretivas adotadas.

O fósforo total apresentou recorrência de não conformidades distribuídas em diferentes corpos hídricos, incluindo Rio Doce (LIM-01), Ribeirão Sacramento (LIM-04), Lagoa do Baianinho (LIM-05), Ribeirão Mombaça (LIM-06), Lagoa do Jacaré (LIM-07), Córrego Conceição/Ribeirão do Turvo (LIM-08), Córrego Antunes (LIM-09), Córrego Santo Antônio (LIM-10) e Ribeirão do Belém (LIM-11). As concentrações

obtidas superaram os limites estabelecidos, com destaque para a Lagoa do Baianinho, que apresentou valores acima em todas as campanhas amostradas, e o Rio doce e Córrego Antunes, que obtiveram as maiores concentrações de fosforo na campanha. Esses resultados indicam aporte contínuo de nutrientes, podendo ser atribuídos a carreamento de sedimentos e à contribuição difusa da bacia, reforçando a tendência já identificada na campanha 4.

Por outro lado, os coliformes totais apresentaram uma vez mais não conformidades em grande parte dos pontos monitorados e em todos os períodos amostrais, reforçando o padrão recorrente identificado desde a Campanha 1. Embora tenham sido observados valores pontualmente mais baixos em alguns locais e datas, a persistência das concentrações elevadas indica que esse parâmetro permanece influenciado diretamente por pressões antrópicas preexistentes na região, como lançamentos de efluentes e uso e ocupação do solo no entorno das bacias objeto do estudo.

De forma integrada, a análise cumulativa das campanhas mostra que, na campanha 5, houve avanço no controle de impactos físico-químicos associados a obra, com redução da magnitude e da frequência das não conformidades observadas anteriormente. As persistências pontuais, sobretudo de natureza microbiológica e nutricional, reforçam a caracterização de intervenção antrópica pré-existente nos ambientes, sem indício de comprometimento da qualidade da água associado à fase final das intervenções.

Por fim, nos meses de março e junho de 2024, foi realizada a Campanha 6 no contexto de fase final da instalação do empreendimento e caracterizada pela desmobilização progressiva do canteiro de obras, finalização da implantação dos sistemas de drenagens, implantação de medidas de controle de sedimentos e manutenção de estruturas já instaladas. A situação abrangida por essa campanha difere das anteriores, marcadas por atividades mais intensivas de terraplanagem e movimentação de solo, o que refletiu no comportamento dos parâmetros analisados.

Os resultados obtidos para coliformes totais reforçam o padrão recorrente já observado nas campanhas anteriores, com persistência em todos os corpos hídricos, com valores mais elevados registrados no monitoramento de março de 2024, período caracterizado por um maior regime de chuva em que há maior carreamento de cargas difusas. Em junho de 2024, época considerada mais seca,

observou-se redução relativa das concentrações em alguns pontos, embora a não conformidade tenha se mantido. Entretanto, ressalta-se que o comportamento de não conformidade foi identificado inclusive em corpos hídricos afastados das frentes diretas de obra, o que reforça a interpretação já consolidada nas campanhas anteriores de que esse parâmetro reflete condições ambientais pré-existentes e pressões antrópicas regionais, não sendo possível estabelecer uma relação direta com as atividades de instalação da rodovia. Observa-se a persistência desse padrão mesmo após a redução significativa das intervenções, o que corrobora a interpretação cumulativa dos resultados.

Em relação ao fósforo total, foram observadas não conformidades pontuais no primeiro monitoramento coincidindo com o período chuvoso, que aumenta a mobilização de sedimentos e nutrientes. As ocorrências foram registradas no Rio Doce (LIM-01), Córrego Capixaba (LIM-02), Córrego Barra Alegre (LIM-03), Ribeirão Sacramento (LIM-04), Lagoa do Baianinho (LIM-05), Ribeirão Mombaça (LIM-06), Córrego Antunes (LIM-09) e Córrego Conceição/Ribeirão do Turvo (LIM-08). Já no segundo monitoramento, o período seco, a maioria dos pontos retornou à condição de conformidade.

Destaca-se a Lagoa do Baianinho, que voltou a apresentar concentrações elevadas de fósforo em ambas as coletas da Campanha 6, mantendo o comportamento observado na Campanha 5. Os constantes valores caracterizados como não conformes mostram um padrão contínuo de enriquecimento nutricional, associado a fatores estruturais da bacia, como aporte difuso e baixa capacidade de renovação hídrica, não sendo atribuído exclusivamente às atividades do empreendimento.

As concentrações de oxigênio dissolvido permaneceram, em sua maioria, compatíveis com os padrões determinados na legislação aplicável, com não conformidade pontual apenas no Córrego Capixaba no primeiro monitoramento, sendo essa situação corrigida no segundo monitoramento. Em geral, os valores obtidos indicam boas condições de oxigenação, compatíveis com a redução das interferências diretas no leito dos cursos d'água e com o regime pluviométrico do período.

Por último, o parâmetro turbidez, as não conformidades concentraram-se no primeiro monitoramento, com destaque para o Rio Doce, Córrego Barra Alegre e

Ribeirão Mombaça. Esses episódios podem ser correlacionados com o regime de chuva e temporalmente com a fase final de correção de processos erosivos, manutenção de taludes e ajustes em sistemas de drenagem, período que pode ter ocorrido remobilização de sedimentos. No segundo monitoramento, observou-se redução expressiva dos valores, enquadrando-se nos padrões estabelecidos em todos os pontos, indicando a efetividade das medidas de controle implementadas, como bacias de acumulação, barreiras de siltagem e direcionamento adequado das águas pluviais.

De forma integrada, os resultados da Campanha 6 indicam que, apesar da permanência de não conformidades microbiológicas e de fósforo em pontos específicos, especialmente na Lagoa do Baianinho, não há evidências de agravamento da qualidade da água associado à fase final da obra. Os dados reforçam a tendência de estabilização ambiental observada a partir da Campanha 5, com influência predominante de fatores sazonais e condições preexistentes das bacias hidrográficas monitoradas.

Considerando-se de forma integrada os resultados das seis campanhas de monitoramento, observa-se que as variações registradas nos parâmetros analisados refletem predominantemente a variação hidrológica sazonal e as condições ambientais regionais, não sendo identificada uma tendência clara de deterioração crescente da qualidade da água associada à execução da obra para instalação da rodovia. Assim, a análise cumulativa indica que não houve mudança no padrão de qualidade ao longo do período avaliado, com não conformidades recorrentes restritas, principalmente, aos parâmetros microbiológicos e de fósforo em pontos específicos, especialmente na lagoa do Baianinho, conforme já observado desde a campanha pré-intervenção.

CONCLUSÃO

O estudo de caso da MG-320 demonstrou que, conforme previsto na literatura, as obras rodoviárias na fase de terraplanagem e movimentação de solo têm potencial de gerar grandes impactos sobre os recursos hídricos, especialmente aumentando a turbidez e o teor de fósforo total devido ao carreamento de sedimentos e nutrientes. As fases de intervenções mais intensas, especialmente em períodos

chuvosos (como em janeiro de 2018 na Campanha 1, e picos observados nas Campanhas 3 e 4), apontaram picos de turbidez e concentrações elevadas de fósforo total em diversos pontos, ultrapassando os limites da Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005.

Contudo, a análise dos resultados demonstrou que as não conformidades relacionadas aos parâmetros físico-químicos (turbidez, oxigênio dissolvido e fósforo total) foram predominantemente pontuais, localizadas e temporárias. A qualidade da água nas campanhas subsequentes apresentou grande capacidade de retorno aos padrões aceitáveis, indicando que as medidas mitigadoras e de controle ambiental implementadas, como barreiras de siltagem e sistemas de drenagem, foram essenciais para atenuar os impactos a longo prazo. Além disso, observou-se melhoria na concentração de oxigênio dissolvido na maior parte dos pontos, em comparação com os baixos níveis registrados na Campanha Pré-Intervenção.

O estudo confirmou também a interpretação de que as não conformidades mais recorrentes e persistentes estão relacionadas a fatores ambientais preexistentes na bacia hidrográfica, e não decorrentes às atividades da obra. O parâmetro de coliformes totais registrou não conformidade em todos os pontos e em todas as campanhas, desde a fase de pré-intervenção, sugerindo fortemente influência de pressões antrópicas regionais como o lançamento de efluentes e uso e ocupação do solo. Da mesma forma, a persistência do aumento do fósforo total na Lagoa do Baianinho (LIM-05) e em outros corpos lânticos, indica padrão contínuo de descarga difusa de nutrientes na bacia, não sendo causado pelo empreendimento.

Portanto, a análise do monitoramento por quase uma década não mostrou tendência clara de piora da qualidade da água devido as intervenções para melhoramento da rodovia. Os resultados reforçam a importância fundamental de manter um monitoramento ambiental rigoroso e contínuo, de forma a possibilitar a detecção precoce de alterações e a implementação tempestivas de medidas corretivas. O caso da MG-320 demonstra que o desenvolvimento de infraestruturas, quando acompanhado de um plano de gestão eficaz, pode mitigar os impactos inerentes das construções e promover um desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Professor Leonardo Santos Andrade pela orientação, disponibilidade e contribuições ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais (DER-MG), em especial à equipe da Assessoria de Meio Ambiente, agradecemos pela disponibilização dos dados e pelo apoio técnico que possibilitaram a realização desta pesquisa

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd ed. Washington, DC: American Public Health Association Press.

BARRETT, M. E.; MALINA, J. F.; CHARBENEAU, R. J.; WARD, G. H. **Impactos na Qualidade e Quantidade da Água na Construção e Operação de Rodovias: Resumo e Conclusões**. Centro de Pesquisa em Transportes, Universidade do Texas em Austin, 1995. Disponível em: <https://repositories.lib.utexas.edu/server/api/core/bitstreams/09d9203c-3c14-4433-b321-123ca4686873/content>. Acesso em: 22 nov. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Brasília, DF: CONAMA, 2005. Disponível em: https://www.ana.gov.br/portaldpnqa/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf. Acesso em: 28 out. 2025.

CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. Qualidade das águas interiores. Relatório Técnico, 2022.

DE LUCA, S. J.; SCHMIDT, K. S. R. Impacto da construção rodoviária na qualidade da água. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 20., Rio Grande do Sul, 1999. Anais. Rio Grande do Sul, 1999. p. 2388.

DNIT. **Manual para atividades ambientais rodoviárias**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006. (IPR. Pub 730).

MINAS GERAIS. **Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais (DER-MG)**. Dados de monitoramento da qualidade da água referentes ao atendimento de condicionantes ambientais. Relatórios técnicos públicos protocolados no Sistema Eletrônico de Informações do Estado de Minas Gerais (SEI-MG). Acesso em: 16 de dez. 2025.

EPA. **Fonte Difusa: Estradas, Rodovias e Pontes.** 2025. Disponível em: <https://www.epa.gov/nps/nonpoint-source-roads-highways-and-bridges>. Acesso em: 22 nov. 2025.

IECA. **Avaliação dos potenciais impactos da construção de rodovias em cursos d'água.** 2022. Disponível em: <https://news.ieca.org/assessment-of-potential-impacts-of-highway-construction-on-streams/>. Acesso em: 21 nov. 2025.

REZENDE, E. N. Impactos ambientais decorrentes da construção de rodovias. **Revista de Direito Ambiental e Desenvolvimento**, v. 6, n. 2, p. 1-15, 2015.

ROCHA, C. H. B. Vulnerabilidades socioambientais associadas à construção de rodovias: uma revisão sistemática. **Revista Geas**, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2022. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/geas/article/download/19805/9573>. Acesso em: 18 nov. 2025.

SOUZA, F. D. **A influência de obras de adequação da capacidade rodoviária na qualidade da água dos corpos hídricos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/123456789/8860/1/A%20influ%C3%Aancia%20de%20obras%20de%20adequa%C3%A7%C3%A3o%20da%20capacidade%20rodovi%C3%A1ria%20na%20qualidade%20da%20%C3%A1gua%20dos%20corpos%20h%C3%ADdricos.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2025.