

## Nota Técnica – ATI Paraopeba Nacab nº 003/2025

**Assunto:** Estudo “Análise Espectral da Presença de Rejeitos no Médio Paraopeba – A possível ocorrência após rompimento da barragem da Vale em Brumadinho”

Belo Horizonte, 13 de novembro de 2025

## Resumo

Este instrumento visa a apresentar estudo realizado e conduzido pela Gerência de Reparação, com apoio da Gerência Jurídica, ambas do NACAB, em que se analisou a ocorrência de remobilização de rejeitos, provenientes das barragens de Brumadinho, para as áreas próximas ao rio, especificamente na região média da bacia do Paraopeba. O trabalho foi realizado por meio da análise das assinaturas espectrais, utilizando o sensoriamento remoto para verificar a alteração quantitativa de diferentes materiais que possuem características análogas às do rejeito das barragens e que estão presentes na área de pastagens afetada pelas cheias na faixa territorial analisada. Os resultados demonstram a existência de rejeitos e quantificam a extensão dos danos causados pela remobilização destes em razão dos eventos climáticos das cheias de 2020 e de 2022, estas consideradas as maiores do rio Paraopeba.

Esta nota também tem o objetivo de elucidar o potencial contributivo desse estudo para o processo de reparação da bacia do Paraopeba. Isso porque demonstra e argumenta em prol da existência e da persistência potencial de danos supervenientes ao longo da área examinada, fato que revitimiza as pessoas atingidas e agrava a situação de colapso ambiental da bacia. Tais danos não tiveram as respectivas indenizações contempladas no Acordo Judicial pela Reparação Integral (AJRI) e carecem de perícia para sua melhor compreensão e quantificação. Nesse sentido, serão feitas, ao final deste documento, recomendações a partir dos resultados do estudo.

## INTRODUÇÃO

Trata-se de Nota Técnica formulada pelas Gerências de Reparação e Jurídica do Núcleo de Assessoria às Comunidade Atingidas por Barragens – NACAB, entidade escolhida pelas pessoas atingidas da Região 3 da bacia do Paraopeba para executar as atividades de Assessoria Técnica Independente no processo de reparação integral pelos danos causados pelo colapso do complexo de barragens da Mina Córrego do Feijão de propriedade da companhia Vale S/A.

O presente instrumento busca apresentar aos atingidos da Região 3, às Instituições de Justiça, ao Judiciário e à sociedade em geral, o estudo técnico-científico recentemente concluído, denominado “Análise espectral da presença de rejeitos no Médio Paraopeba: a possível ocorrência após o rompimento da barragem da Vale em Brumadinho”, que, em suas conclusões, indica a presença de rejeitos, oriundo do colapso das barragens, nas terras da Região 3 situadas às margens do rio Paraopeba. Para melhor compreensão, se resume a metodologia adotada e os resultados obtidos na pesquisa, além de contextualizar juridicamente o impacto desses achados no processo de reparação integral dos danos causados pelo desastre-crime da Vale S.A. na bacia do rio Paraopeba e a possibilidade de instrumentalizá-lo processualmente, no âmbito das ações coletivas afetas ao objeto analisado.

Para as pessoas atingidas, principais interessados nos resultados técnicos da pesquisa e suas eventuais repercussões, serão realizados espaços participativos adequados à adaptação linguística que se faça necessária, de modo a facilitar a compreensão dos aspectos técnico-científicos.

Da mesma forma, ao público e sociedade em geral, a divulgação da presente será acompanhada de nota explicativa, e/ou *release* com as informações didaticamente descritas.

Para a comunidade científica, a apresentação do estudo seguirá o rito tradicional praticado no âmbito da Academia, consistente na publicação em periódicos especializados, registrando que o mesmo se encontra em fase de avaliação por equipe editorial de revista científica especializada, com vistas à sua publicação.

Às IJs e juízo das ações coletivas movidas por aquelas em face da Vale S/A em função do rompimento das barragens B-I, B-IV e B- IV-A da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho, serão franqueados os estudos conforme entregues ao periódico científico.

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO

O estudo “Análise espectral da presença de rejeitos no Médio Paraopeba: a possível ocorrência após o rompimento da barragem da Vale em Brumadinho”, finalizado em agosto de 2025 pela Gerência de Reparação e Gerência Jurídica do NACAB, conforme anteriormente salientado, aborda a interação dos rejeitos depositados no rio Paraopeba com eventos climáticos extremos – a saber, as primeiras cheias ocorridas no rio desde o rompimento, sendo a primeira em 2020, e a segunda, mais severa desde então, no verão de 2022.

O estudo foi realizado por meio de *sensoriamento remoto*, que consiste em uma técnica de obtenção de informações sobre objetos através de sensores capazes de captar a radiação eletromagnética refletida ou emitida, sem a necessidade de contato físico direto com o objeto de análise. Por meio de técnicas de sensoriamento remoto, foi possível identificar *evidências da remobilização de rejeitos*, isto é, do transporte do rejeito depositado no leito do rio, ao longo da bacia do rio Paraopeba, nos períodos de enchentes. Essa investigação foi performada por meio da análise das variações no espectro eletromagnético refletidas pela superfície das áreas pesquisadas, método que permite detectar alterações físico-químicas que indicam a presença de rejeitos.

Neste sentido, foram analisadas as *assinaturas espectrais*, que constituem padrões de reflexão e absorção da radiação eletromagnética, que se apresentam de uma forma única em cada tipo de material, permitindo a identificação e diferenciação de tipologias como vegetação, água, solo, além de diferentes minerais. Para os fins buscados nesta pesquisa, foram analisados os seguintes índices:

- Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que mede o vigor da vegetação e indica sua supressão ou estresse e exposição de materiais argiloferrosos;
- Índice de argila, que aponta a exposição a minerais de argila;

- o Índice de Óxido de Ferro, sendo que foi verificada a presença de Óxido de Ferro 1, que se trata do ferro mais comumente presente na paisagem e Óxido de Ferro 2, que consiste no minério de ferro de alto teor (presente no rejeito oriundo da barragem rompida).

Como recorte da pesquisa, foram examinados esses índices em uma área de 14.274 hectares, correspondente à zona de inundação das cheias na Região 3 do Paraopeba em 2022. Para tal, utilizou-se uma série multi-temporal de 25 anos de imagens de satélite Landsat (que compreende imagens datadas de 1997 a 2022), disponíveis na plataforma Google Earth Engine. A metodologia empregada baseou-se na detecção de anomalias, que diz respeito aos locais onde as concentrações de argila e ferro e a perda de vegetação ultrapassam o que é comumente observado na paisagem natural.

Sob o ponto de vista do desenho da pesquisa, o objetivo geral consiste em investigar se os eventos climáticos extremos, constituídos pelas cheias de 2020 (momento em que foi registrada chuva de mais de 300mm em 72h) e 2022 (quando registrou-se precipitação de volume superior a 400mm em 48h), ocorridas após o rompimento da barragem de Brumadinho, que traduzem-se em eventos com potencial para remobilização e redistribuição dos rejeitos, contribuíram, de fato, para essa redistribuição dos rejeitos de mineração na porção média da bacia do rio Paraopeba, e se essa ocorrência pode ser detectada e quantificada por meio de técnicas de sensoriamento remoto.

Neste quadrante, a questão-problema da investigação é: **os eventos climáticos extremos, ocorridos após o rompimento da barragem de Brumadinho, contribuíram para a redistribuição dos rejeitos da mineração na porção média da bacia do rio Paraopeba? Se sim, essa ocorrência pode ser detectada e quantificada por meio de técnicas de sensoriamento remoto?**

A hipótese suscitada pela pesquisa foi confirmada, no sentido de que os rejeitos provenientes da barragem de mineração, depositados no leito do rio pelo rompimento, foram efetivamente redistribuídos com as cheias, resultando em *danos supervenientes, continuados e detectáveis por meio da convergência da assinatura espectral encontrada nas áreas originalmente afetadas* (denominadas Zona Quente) e as áreas posteriormente atingidas,

localizadas nas planícies de inundação do médio Paraopeba, notadamente correspondentes à mancha das enchentes da Região 3 da bacia do Paraopeba.

O resultado da pesquisa indica a existência de uma extensa área afetada, com 50% da planície de inundação apresentando anomalias na assinatura espectral referente aos índices analisados, no período após 2022. Tem-se, assim, que o estudo revela que a área de anomalia analisada apresenta 82,5% a mais de similaridade com relação à Zona Quente, no período compreendido entre 2018 e 2022.

Importa destacar que o estudo elucidou que as áreas classificadas como "Impacto Máximo", que apresentam anomalias simultâneas nos quatro índices analisados (ou seja, apresentam supressão/estresse na vegetação, maior concentração de argila e de ferro tipos 1 e 2) totalizam uma extensão territorial de 2.442 hectares, o que se traduz em dimensões geográficas aproximadamente **oito vezes maior que a área da Zona Quente**.

Com efeito, os achados da pesquisa são suficientemente claros para demonstrar que o rompimento de 2019 resultou em inequívocos **danos supervenientes continuados**, demonstrando quantitativamente que eventos climáticos extremos podem amplificar drasticamente os impactos desse desastre, criando um ciclo de danos persistentes que se estendem no tempo e no espaço – e que a iniciativa pode potencialmente ser aplicada a outros desastres de mineração congêneres.

## 2. DA RELEVÂNCIA E POTENCIAL CONTRIBUTIVO DO ESTUDO PARA O PROCESSO DE REPARAÇÃO

O Acordo Judicial de Reparação Integral (AJRI), celebrado entre o Governo do Estado de Minas Gerais, as Instituições de Justiça e a mineradora Vale S.A., em decorrência do rompimento das barragens de Brumadinho, prevê expressamente que a reparação dos danos supervenientes não integra seu escopo. Tal consideração está expressa na seção do documento que trata da reparação socioeconômica:

3.1. A Vale obriga-se aos pagamentos ou execução de projetos e ações conforme discriminados nos Anexos I.1, I.2, I.3, I.4, III e IV, que serão destinados à reparação de todos os danos socioeconômicos difusos e coletivos decorrentes do Rompimento. **Ficam excetuados os danos supervenientes**, os individuais

e os individuais homogêneos de natureza divisível, conforme os pedidos das Ações Judiciais não extintos por este Acordo, os quais são objeto das perícias judiciais que prosseguirão. (MINAS GERAIS, 2021, p.6, grifos nossos)

O documento reitera e elabora a determinação de que o custeio das medidas correspondentes à reparação dos danos supervenientes, futuros e desconhecidos não está contemplada no valor pactuado:

**4.2. O valor de R\$ 26.412.660.134,00 (vinte e seis bilhões, quatrocentos e doze milhões, seiscentos e sessenta mil, centro e trinta e quatro reais) corresponde ao Teto do Acordo** e representa o limite máximo a ser investido, custeado ou despendido pela Vale no cumprimento das obrigações de reparação e compensação socioeconômica e compensação dos danos socioambientais já conhecidos, conforme Anexos I.1, I.2, I.3 e I.4, II.2, II.3, III e IV deste Acordo e demais despesas especificadas neste capítulo. Este teto contempla, também, recursos indenizatórios antecipados, indicados nos itens XI e XII dos “Considerando”.

4.3. O valor a que se refere o item 4.2 **não abrange** as seguintes despesas:

a) restauração e recuperação socioambiental integral, inclusive dos **danos desconhecidos, futuros ou supervenientes**. (MINAS GERAIS, 2021, p.9).

De fato, *sob o ponto de vista do conjunto normativo presente no instrumento de autocomposição*, verifica-se que **a reparação socioeconômica do ajuste não contempla os danos supervenientes e os danos a direitos individuais e individuais homogêneos**, do mesmo modo **que a reparação socioambiental pactuada não incide sobre os danos desconhecidos, futuros e supervenientes**. Noutro quadrante, *sob o ponto de vista das evidências técnico-científicas*, o estudo revela a persistência de impactos ambientais e socioeconômicos sobre as propriedades rurais, áreas de uso coletivo e ecossistemas ribeirinhos situados nas margens do rio Paraopeba, o que amplia o alcance espacial e temporal dos danos provocados pelo rompimento. Em conjunto, essas abordagens (normativa e empírica) produzem eco contundente no processo de reparação da bacia do Paraopeba, na medida em que demonstram que o revolvimento de rejeitos do rio para as propriedades do médio Paraopeba produz consequências jurídicas em termos de ampliação do quadro de danos ambientais – tanto em sua dimensão difusa, quanto em sua perspectiva coletiva – quanto de afetações de ordem socioeconômica – o que se faz sentir na incidência potencial aos gêneros de direitos coletivos e de direitos individuais homogêneos, ambos marcados em espécie supervenientes.

É possível dizer, com isso, que existem danos, constatados pelo estudo de assinaturas espectrais, que são supervenientes tanto em relação ao rompimento, como no que diz respeito ao Acordo. Como tais, não se encerraram e seguem produzindo impactos de efeitos diferidos no tempo, já que é possível que, diante de novos eventos climáticos, o rejeito, que continua depositado no rio, volte a ser transportado para as áreas lindeiras, atingindo novas domínios territoriais e/ou causando mais estragos às áreas atingidas pelas cheias.

Tal constatação possui implicações diretas sobre a caracterização do **dano ambiental difuso e coletivo**, bem como sobre a extensão do dever de reparação integral, princípio consagrado no art. 225 da Constituição Federal, com particular atenção ao seu § 3º, que delimita que infratores que incidam em condutas e atividades lesivas ao meio ambiente sujeitam-se a sanções penais e administrativas, que não os isentam da obrigação de reparar os danos a que derem causa.

Cumprir destacar, ainda, que os achados do estudo reforçam, de maneira inequívoca, que a conduta da Vale deu causa aos danos supervenientes ora demonstrados, circunstância que contraria os preceitos e objetivos delineados na Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981). Essa norma, na esteira do preconizado na Carta Maior, consagra os princípios da responsabilidade objetiva do ente poluidor, bem como a teoria do risco integral (art. 14, § 1º) e o dever de recuperação integral do meio ambiente degradado (art. 2º, inciso VIII e art. 4º, inciso VII). Tais pilares fundamentam a compreensão de que a reparação ambiental não se limita à remediação pontual, mas deve assegurar a restauração da integridade ecológica e social dos territórios impactados, o que inclui as margens do médio Rio Paraopeba (agora comprovadamente) atingidas pela remobilização de rejeitos em eventos de cheia.

Ademais, a mesma lei define, em seu art. 3º, os conceitos centrais que orientam a imputação de responsabilidades. O estudo em exame demonstra que os danos sucessivos causados pela Vale se enquadram de forma absoluta em todas as **concepções de degradação e poluição** elencadas pelo legislador pátrio:

Art 3º - Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por:

I - meio ambiente, o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas;

II - degradação da qualidade ambiental, a alteração adversa das características do meio ambiente;

III - poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;

IV - poluidor, a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental. (BRASIL, 1981)..

Ademais, é imperioso considerar as disposições da Lei nº 9.605/1998, que versa sobre condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e tipifica crimes contra a fauna, flora e crimes de poluição, nos quais podem-se enquadrar os danos decorrentes da dispersão dos rejeitos ao longo da calha do rio Paraopeba, isto é, para além dos limites da chamada Zona Quente.

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Ante o exposto, é possível concluir que os resultados apresentados possuem alta relevância para o deslinde das ações reparatórias, tanto individuais quanto coletivas, que tramitam ou venham a ser ajuizados em razão do rompimento das barragens de Brumadinho e de suas consequências posteriores. Os achados da pesquisa podem vir a constituir constituem prova técnica contundente acerca da continuidade e da expansão dos danos ambientais e socioeconômicos, contrariando eventuais alegações de estabilização ou cessação dos impactos diretos do rompimento.

Esses achados reforçam a necessidade de considerar os efeitos cumulativos do desastre/crime nas medidas de reparação integral correspondentes, ao comprovar a inegável presença de rejeito em território situado fora dos domínios da Zona Quente. Postula-se, por conseguinte, a reconfiguração de diferentes dimensões do processo de reparação, pois pesquisas dessa natureza tem o condão de contribuir para a produção de conhecimento pericial unificado, indispensável, por exemplo, à uma tutela efetiva e eficiente dos direitos coletivos e dos direitos individuais homogêneos.

Em que pese o levantamento e o esforço de sua interpretação e instrumentalização científicos tenham sido deflagrados a partir das provocações e alertas promovidos por pessoas e coletividades atingidas da R3, entende-se pela relevância do estudo para compreensão

dilatada dos fenômenos objeto de sua análise, devendo ser apropriado em sua metodologia, e replicado nas demais regiões da calha do Paraopeba, a fim de se identificar a real extensão e gravidade do danos para fim de promover a adequada reparação integral

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**BRASIL.** Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 23 out. 2025.

**BRASIL.** Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. *Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências*. Brasília, DF: Presidência da República, 1981. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm). Acesso em: 23 out. 2025.

**BRASIL.** Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. *Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências*. Brasília, DF: Presidência da República, 1998. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9605.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm). Acesso em: 23 out. 2025.

**DE SALIS**, Hugo Henrique Cardoso and **CHUMBINHO**, Alexandre de Lima e **STOPA**, Irla Paula and **FONTES**, Marília Andrade. Monitoring Tailings Remobilization After the VALE S.A. Dam Failure in Brumadinho: *Impacts of Extreme Floods Assessed Through Remote Sensing*. Disponível em SSRN: <https://ssrn.com/abstract=5583931> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5583931> . Acesso em 23 out. 2025.

**BRASIL.** *Acordo Judicial para Reparação Integral relativa ao rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA / Córrego do Feijão*. Processo de Mediação SEI n. 0122201-59.2020.8.13.0000. Belo Horizonte: Tribunal de Justiça do Estado de Minas Gerais, Centro Judiciário de Solução de Conflitos e Cidadania – CEJUSC 2º Grau, 2021. Disponível em: <https://www.tjmg.jus.br> . Acesso em: 23 out. 2025.

