

**Memorial Técnico em Resposta a Quesitos**

**Projeto de Longo Prazo da Samarco:**

**Avaliação da adequação dos critérios de projeto hidrológico e geotécnico frente à realidade das mudanças climáticas**

0	PRIMEIRA EMISSÃO	09/02/2026	ECC	-	JCG
<b>Rev.</b>	<b>Descrição</b>	<b>Data</b>	<b>Elaborado</b>	<b>Verificado 1</b>	<b>Verificado 2</b>
PROJETO/ÁREA	TEMA/SÍTIO	CLASSIFICAÇÃO			REV.
EVENTOS EXTREMOS	ÁREAS DE MINERAÇÃO	EE-AM-MTR-01			0
GRUPO	SETOR	DENOMINAÇÃO			FOLHA
COMITÊ TÉCNICO	ENGENHARIA	Projeto de Longo Prazo da Samarco: Avaliação da adequação dos critérios de projeto hidrológico e geotécnico frente à realidade das mudanças climáticas			<b>1/36</b>





### **O Fórum Permanente São Francisco (FPSF)**

*é uma entidade da sociedade civil, um grupo de cidadãos e cidadãs que foi formado três dias depois do rompimento da barragem do Córrego do Feijão, da empresa Vale, em Brumadinho - MG, em janeiro de 2019. Foi criado com o objetivo inicial de dedicar-se à segurança e à qualidade de vida da população que vive em áreas de mineração no Estado de Minas Gerais. Posteriormente expandiu sua área de atuação para englobar as questões mais abrangentes ligadas à sustentabilidade e ao meio ambiente. A partir de janeiro de 2023 o FPSF se tornou um Instituto.*

#### **Missão**

*Defesa, preservação e conservação do meio ambiente e do patrimônio histórico-cultural, bem como a promoção do desenvolvimento sustentável.*

*Desenvolvimento e divulgação de tecnologias alternativas voltadas para a sustentabilidade e para a regeneração. Realização de estudos e pesquisas, produção e divulgação de informações e de conhecimentos técnicos e científicos tendo como base o conceito de ecologia integral. Incentivo ao uso racional dos recursos naturais, com ênfase na segurança hídrica.*

#### **Valores**

*O Fórum Permanente São Francisco (FPSF), no desenvolvimento de suas atividades, tem como fundamento os princípios da legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade, economicidade e eficiência, sem qualquer discriminação de raça, cor, gênero, orientação sexual e religião e sem conotações político-partidárias.*

Todos os direitos reservados. É permitida a reprodução de dados e de informações contidos nesse documento, desde que citada a fonte.



2019-2022



<b>1. Introdução.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Quesitos: Perguntas e Respostas .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Conclusão.....</b>	<b>34</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>35</b>

## Consideração das Mudanças Climáticas em Minerações e o Exemplo da BHP

### 1. Introdução

O presente documento constitui um conjunto de respostas técnicas, fundamentadas cientificamente, a quesitos apresentados por advogados, referentes ao "Projeto Longo Prazo" da Samarco Mineração S.A. no Complexo Germano.

Os quesitos demandam uma análise de pontos específicos do processo de licenciamento ambiental, em particular o Estudo de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) e o Parecer Único nº 35/FEAM/GST/2025, à luz dos compromissos públicos assumidos pela empresa Samarco Mineração S. A. de seguir padrões internacionais de segurança e transparência climática, como o GISTM (*Global Industry Standard on Tailings Management*) e o TCFD (*Task Force on Climate-related Financial Disclosures*).

O foco central reside na avaliação da adequação dos critérios de projeto hidrológico e geotécnico frente à realidade das mudanças climáticas e da não-estacionariedade do regime de chuvas, questionando a segurança e a resiliência das estruturas propostas, especialmente as pilhas PDER C e M, no contexto do Quadrilátero Aquífero Ferrífero (QAF).

### 2. Quesitos: Perguntas e Respostas

1. A Samarco Mineração S. A. e suas acionistas Vale e BHP assumiram compromissos públicos que envolvem o cumprimento de regras e normas internacionais que tratam da consideração das mudanças climáticas em todo o ciclo de vida das barragens e pilhas de rejeitos e estéreis? Que normas são essas e que documentos comprovam esses compromissos? Adotar séries históricas de precipitação que terminam em 2010 e projetar as estruturas com uso de TR 10.000 anos e PMP atendem os compromissos assumidos?

A Samarco Mineração S.A. e suas acionistas, Vale e BHP, assumiram formalmente o compromisso de seguir os mais rigorosos padrões globais de segurança e transparência climática. Duas normas internacionais são os pilares dessa governança:

- **GISTM** (*Global Industry Standard on Tailings Management*): É o padrão ouro para a gestão de rejeitos, criado para evitar desastres como o de Mariana e Brumadinho. **Exige que o risco climático seja considerado em todo o ciclo de vida, desde o projeto.**
- **TCFD** (*Task Force on Climate-related Financial Disclosures*): Um framework que **demanda transparência total sobre como os riscos físicos climáticos afetam os ativos da** empresa, exigindo o uso de modelagens prospectivas.

1. Comprovação dos Compromissos: A adesão não é apenas retórica, mas documentada formalmente:

- Relatório de Sustentabilidade 2023 da Samarco (Pág. 37-38): A empresa afirma que sua governança de estruturas é auditada externamente e segue as diretrizes do ICMM (*International Council on Mining and Metals*), que é o órgão criador do GISTM. O relatório cita o "atendimento aos requisitos do padrão GISTM" como meta estratégica. Fonte: Relatório 2023 (ver figuras abaixo).
- Relatório de Sustentabilidade 2024 da Samarco: Destaca a aplicação dos indicadores do TCFD para sinalizar que determinado conteúdo (governança, estratégia de descarbonização ou gestão de riscos físicos, incluindo mudanças climáticas) atende às recomendações da Task Force. Fonte: Relatório 2024 (ver figuras abaixo)
- Declarações das Acionistas: A BHP e a Vale reconhecem publicamente a realidade das mudanças climáticas e se comprometem a agir de forma a minimizá-las e adaptarem-se a elas, como demonstrado em seus documento Climate Change Report 2020, Annual Report 2025 e <https://vale.com/pt/esg/clima>. Sobre esse tema, ver documento NT-12-2026<sup>1</sup>.

## ADERÊNCIA A PADRÃO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE REJEITOS

Em 2023, atingimos 100% de aderência, conforme meta estabelecida, ao Padrão Global da Indústria para a Gestão de Rejeitos (GISTM, na sigla em inglês), estruturado por meio de um painel de especialistas do United Nations Environment Programme (Unep), Principles for Responsible Investment (PRI) e Conselho Internacional de Mineração e Metais (ICMM, na sigla em inglês).

Os requisitos englobam aspectos relacionados à gestão de disposição de rejeitos, em todo o ciclo de vida da estrutura, incluindo o projeto, operação, fechamento e pós-fechamento. São observados aspectos de desenvolvimento das comunidades, direitos humanos, segurança, engenharia, governança, revisões técnicas, preparação para emergência e transparência.

**Relatório de Sustentabilidade 2023, pág. 37**

Disponível em: Fonte: Relatório 2023. Acesso em 26/01/2026

<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.forumsaofrancisco.eco.br/biblioteca/notas-tecnicas/1>

Temos como referências princípios e diretrizes como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS); Princípios do Pacto Global das Nações Unidas; Princípios do Conselho Internacional de Mineração e Metais (ICMM) e Padrão Global da Indústria para Gestão de Rejeitos (GISTM); Carta de Compromisso à Sociedade - Agenda ESG da Mineração (Ibram) e Rumo à Mineração Sustentável (TSM), compromisso da Mining Association of Canada (MAC).

Pág. 25

**100%** de aderência ao Padrão Global da Indústria para a Gestão de Rejeitos (GISTM)

Pág. 15

Em 2024, a Samarco trabalhou na consolidação e manutenção da aderência de 100% ao Padrão Global da Indústria para a Gestão de Rejeitos (GISTM, na sigla em inglês), atingida no ano anterior, reforçando sua governança e controle rigoroso sobre suas estruturas geotécnicas. O GISTM é estruturado por meio de um painel de especialistas do United Nations Environment Programme (Unep), Principles for Responsible Investment (PRI) e Conselho Internacional de Mineração e Metais (ICMM, na sigla em inglês). O padrão abrange exigências para a gestão da disposição de rejeitos ao longo de todo o ciclo de vida da estrutura, contemplando as fases de projeto, operação, fechamento e pós-fechamento. Ele considera aspectos como o desenvolvimento das comunidades, direitos humanos, segurança, engenharia, governança, revisões técnicas, gestão de riscos, preparação para emergências e transparência. A auditoria técnica foi realizada por consultoria especializada, em 100% das operações de disposição de rejeitos.

Pág. 24

**Relatório de Sustentabilidade 2024**

Disponível em: Fonte: Relatório 2024. Acesso em 26/01/2026

*Sumário de Conteúdo TCFD*

Recomendação	Divulgação recomendada	Paginação
Governança	a. Descrição da supervisão do conselho em relação aos riscos e oportunidades relacionados ao clima	63, 80
	b. Descrição do papel da administração na avaliação e gestão de riscos e oportunidades relacionados ao clima	63, 80
Estratégia	a. Descrição dos riscos e oportunidades relacionados ao clima identificados pela organização no curto, médio e longo prazos	63
	b. Descrição dos impactos dos riscos e oportunidades relacionados ao clima sobre os negócios, a estratégia e o planejamento financeiro da organização	63
	c. Descreva a resiliência da estratégia da organização, considerando diferentes cenários de mudanças climáticas, incluindo um cenário de 2 °C ou menos	63
Gestão de riscos	a. Descrição dos processos da organização utilizados para identificar e avaliar os riscos relacionados ao clima	63
	b. Descreva os processos utilizados pela organização para gerenciar os riscos relacionados às mudanças climáticas.	63
	c. Descrever como os processos utilizados para identificar, avaliar e gerenciar os riscos relacionados ao clima são integrados à gestão geral de riscos da organização	63
Métricas e Metas	b. Informe as emissões de gases de efeito estufa de Escopo 1, Escopo 2 e, se for o caso, Escopo 3, e os riscos relacionados a elas.	67, 100, 101

**Relatório de Sustentabilidade 2024, pág. 122**

Disponível em: Fonte: Relatório 2024. Acesso em 26/01/2026

2. A Violação Direta do GISTM (Requisito 2.2 e Tópico II): Ao apresentar um projeto (EIA/RIMA) do Projeto Longo Prazo fundamentado em séries históricas que terminam em 2010 e eventos extremos somente até 2003 e 2007 (ver NT-13-2026<sup>2</sup>), a Samarco entra em rota de colisão direta com os compromissos públicos que assumiu, pois viola frontalmente o texto literal da norma que afirma cumprir.

<sup>2</sup> NT-13-2026 (disponível em: <https://www.forumsaofrancisco.eco.br/biblioteca/notas-tecnicas/1>)

**Requirement 2.2**

*"Prepare, maintain and update a detailed site characterisation of the tailings facility site(s) that includes data on topography, hydrology, hydrogeology, geology, geochemistry, and geohazards. **Include the consideration of climate change throughout the tailings facility lifecycle.** This characterisation shall be sufficient to support the design, operation and closure of the facility."* ( Grifos nossos)

*("Preparar, manter e atualizar uma caracterização detalhada do(s) local(is) da instalação de rejeitos, incluindo dados sobre topografia, hidrologia, hidrogeologia, geologia, geoquímica e georriscos. **Incluir a consideração das mudanças climáticas ao longo do ciclo de vida da instalação de rejeitos.** Essa caracterização deverá ser suficiente para **apoiar o projeto, a operação e o fechamento da instalação.**"*

Se o GISTM exige que a mudança climática seja considerada no *design* (projeto), postergar essa análise para a fase operacional ou condicionantes futuras é uma infração normativa. O Tópico II reforça que a "Base de Conhecimento" deve orientar o projeto e não ser construída após a implantação das pilhas. Ao ignorar essas premissas, a Samarco falha em aplicar no Projeto de Longo Prazo o mesmo rigor que prometem ao mercado e aos investidores internacionais.

- **A Insuficiência do TR 10.000 e da PMP Baseados em Dados do Passado:** A Samarco alega segurança ao usar o Tempo de Recorrência (TR) de 10.000 anos e a Precipitação Máxima Provável (PMP). No entanto, sob a ótica da não-estacionariedade climática, esses parâmetros são insuficientes se calculados com dados obsoletos.
- **A Ilusão da Estatística Histórica:** Projetar estruturas para 2029 com dados de 2010 é ignorar que a probabilidade de eventos extremos em Minas Gerais aumentou 70%, conforme literatura técnica recente (Dalagnol et al., 2021<sup>3</sup>). O que era um "evento de 10.000 anos" em 2010 pode ser um evento de recorrência muito menor hoje. A lista resumida a seguir contém alguns dos eventos mais significativos dos últimos 5 anos no Estado de Minas Gerais. Esses eventos podem ser considerados intensos, mas não extremos, e suas consequências podem indicar o quanto mais danosos seriam as provocadas por eventos extremos como os já verificados no Brasil em anos recentes:
  - Janeiro de 2020 (Belo Horizonte): Mês mais chuvoso da história com 935,2 mm acumulados. O recorde diário de 110 anos foi batido em 23/01/2020, com 171,8 mm em 24 horas.
  - Janeiro de 2022 (Capitólio e Nova Lima): Em 08/01/2022, as chuvas intensas causaram o desprendimento de rocha em Capitólio. No mesmo dia, no mesmo dia foram registrados 209 mm de chuva (24 horas) em Brumadinho e no Sinclinal Moeda (Nova Lima), provocando vários danos em áreas de mineração, entre eles o transbordamento do dique da Mina Pau Branco e bloqueando a BR-040 por dois dias; a erosividade dessa chuva provocou o deslizamento de encosta da Serra da Moeda na tarde desse dia, resultando na morte de 5 pessoas; a análise detalhada desse evento é objeto do documento NT-06-2022<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Dalagnol, R., Gramcianinov, C.B., Crespo, N.M., Luiz, R., Chiquetto, J.B., Marques, M.T.A., Neto, G.D., de Abreu, R.C., Li, S., Lott, F.C., Anderson, L.O., Sparrow, S. (2022) Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: Can we blame climate change? *Climate Resilience and Sustainability*, 1, e15. <https://doi.org/10.1002/cli2.15>

<sup>4</sup> NT-06-2022 (disponível em: <https://www.forumsaofrancisco.eco.br/biblioteca/notas-tecnicas/1>)

- Outubro de 2024 (Governador Valadares): Em 31/10/2024, a cidade registrou o maior volume de chuva do Brasil em 24 horas, com acumulados que superaram a média mensal de outubro (cerca de 100 mm) em apenas duas horas de tempestade.
- Janeiro de 2025 (Ipatinga): Em 12/01/2025, o bairro Betânia registrou 204 mm em apenas uma hora. O evento causou 9 mortes e superou a intensidade da "chuva de mil anos" de BH em 2020.
- Janeiro de 2026 (Belo Horizonte): Sob influência de um ciclone extratropical, a regional Oeste acumulou 463 mm até 29/01/2026, superando a média histórica do mês (330,9 mm) em 140%.
- Janeiro de 2026 (Formiga): Em 23/01/2026, a cidade registrou 211 mm em menos de 24 horas, o maior volume em 26 anos, afetando mais de 8 mil pessoas e interditando a Ponte dos Três Irmãos.

Os volumes de chuva acima mencionados são menores que os ocorridos, por exemplo, na região de Guarujá e Bertioga, SP, em 19/02/2023 (683 mm em 24 h, em Guaratuba), Petrópolis, RJ (547,4 mm em 24 h, 21/02/2022), Santa Cruz Cabralia, BA (417 mm em 12 h, 21/04/2023). Em 29/10/2025 foi registrado o recorde mundial histórico de chuvas no Vietnã: 1732 mm em 24 h.

O aumento da frequência e da intensidade dos eventos extremos em todo o mundo é comprovado por diversos estudos disponíveis na literatura técnica especializada, tais como os apresentados no Anexo 1 ao presente documento.

- **Incoerência com o TCFD (*Duty of Care*):** Omitir ou adiar a modelagem de cenários futuros (IPCC AR6) no licenciamento gera uma falsa percepção de segurança. Isso contraria o dever de transparência sobre riscos físicos exigido pelo TCFD, expondo investidores e a sociedade a riscos não quantificados.
- **Dever de Cuidado (*Duty of Care*) Amplificado (pós Fundão):** No rastro do desastre de 2015, o dever de cuidado das acionistas é elevado ao patamar máximo. Ignorar limites físicos críticos – como os apontados na NT-13/2026<sup>5</sup> – em favor da celeridade da implantação do empreendimento, configura uma quebra do *Duty of Care*. Ao optar por não aplicar modelos preditivos climáticos no projeto básico, a empresa assume um risco consciente, priorizando o cronograma operacional em detrimento da segurança física e da vida, o que pode caracterizar uma falha grave de governança e responsabilidade civil.

O cumprimento do GISTM não pode ser meramente retórico. A ciência climática contemporânea oferece modelos preditivos que devem, obrigatoriamente, nortear o projeto das estruturas minerárias. Qualquer postergação configura negligência quanto aos limites físicos de segurança das estruturas, especialmente das pilhas PDER C e M.

**Se a Samarco, assim como a BHP e a Vale (ver documento NT-12-2026<sup>6</sup>) alegam seguir o GISTM e o TCFD em seus relatórios globais de sustentabilidade, a modelagem de cenários climáticos futuros deve ser apresentada e o Projeto Longo Prazo deve ser totalmente revisado com base nos resultados obtidos. Essa modelagem e a revisão do Projeto não podem ser substituídas por uma**

<sup>5</sup> NT-13-2026 (disponível em: <https://www.forumsaofrancisco.eco.br/biblioteca/notas-tecnicas/1>)

<sup>6</sup> Disponível em: <https://www.forumsaofrancisco.eco.br/biblioteca/notas-tecnicas/1>

**promessa de monitoramento futuro de estruturas que já nascem obsoletas diante da nova realidade climática.**

Portanto, a ausência de modelagens climáticas prospectivas nos cálculos hidrológicos e hidráulicos do Projeto de Longo Prazo da Samarco apresentados no EIA viola diretamente estes os preceitos do GISTM, uma vez que o "planejamento e projeto" (*design*) são fases iniciais fundamentais do ciclo de vida mencionado no texto

**Ao usar somente dados históricos e projeções estatísticas neles baseados empresa incorre em *venire contra factum proprium* (comportamento contraditório), violando a boa-fé objetiva e os padrões de segurança que ela mesma prometeu seguir perante a sociedade e seus investidores.**

- 
2. A adoção do GISTM e de mecanismos de governança adaptativa elimina a necessidade de estudos prévios completos antes da implantação do empreendimento?

GISTM e governança não substituem estudos prévios. Pelo contrário, o GISTM e a Governança Adaptativa estabelecem que a consideração das mudanças climáticas é um pré-requisito desde o planejamento, e não um ajuste a ser feito "com o carro andando".

1. O Rigor do GISTM: O Padrão Global (GISTM) exige explicitamente que as empresas integrem as mudanças climáticas no projeto, operação e fechamento. O Tópico II, Requisito 2.2, determina a consideração de cenários climáticos futuros na estimativa da cheia de projeto. Postergar isso para a fase operacional viola o próprio padrão que as acionistas da Samarco prometem seguir.
2. Estudos Prévios como Base da Gestão: A governança adaptativa não é um "cheque em branco" para começar errado. A Nota Técnica 12/2026 ressalta que a gestão de riscos só é eficaz se o projeto básico for robusto. Sem a modelagem prospectiva inicial, não há "parâmetro de controle" para saber se a estrutura está performando conforme o esperado ou se já nasceu obsoleta.
3. Violação da Precaução: A viabilidade de um empreendimento minerário deve ser avaliada e comprovada antes da solicitação de licenças aos órgãos do Estado. Postergar estudos de cenários futuros, que implicam na viabilidade de um empreendimento, para a fase de instalação ou operação transfere o risco do empreendedor para a sociedade e para o meio ambiente, contrariando o Princípio da Precaução.

Diferente da gestão rígida tradicional, a Governança Adaptativa é um sistema de tomada de decisão preparado para lidar com incertezas e mudanças rápidas (como as climáticas). Ela não prevê o futuro com perfeição, mas cria processos para reagir a ele.

Exemplos:

1. Gatilhos de Revisão (*Trigger Action Response Plans - TARP*): Se o monitoramento indicar que a intensidade das chuvas está 10% acima da série histórica de 2010, o mecanismo de governança obriga a empresa a realizar obras de reforço ou reduzir o ritmo de empilhamento imediatamente, sem esperar uma fiscalização externa.

2. Monitoramento em Tempo Real com Retroalimentação: Uso de sensores (piezômetros, radares) que alimentam modelos digitais. Se a água subir nas pilhas PDER C e M de forma não linear, a governança adaptativa exige a alteração do projeto operacional no ato.
3. Comitês de Especialistas Independentes (ITRB): Conforme o GISTM, a governança deve incluir técnicos externos que revisam os dados anualmente. Se eles detectarem que a "PMP de Pinheiro (2011)" foi superada por um evento real (como o de 2026), eles têm poder de suspender a operação até a readequação.
4. Fundos Fideicomissários de Adaptação: Conforme a Nota Técnica 12/2026, a governança exige que a empresa tenha garantias financeiras já depositadas para cobrir obras de adaptação climática que surjam no futuro, garantindo que o custo do risco climático não recaia sobre o Estado.

Transferir a análise do risco climático crítico para depois da implantação é transferir o ônus da incerteza para o meio ambiente e as comunidades vizinhas. A prevenção exige que o risco seja minimizado antes da intervenção.

**A governança adaptativa serve para ajustar o rumo, mas ela precisa de um mapa confiável (estudos prospectivos) para começar a viagem e de um navio adequado para enfrentar um mar revolto. Sem a modelagem climática inicial no EIA/RIMA, a Samarco está tentando navegar em águas desconhecidas sem bússola e em um navio construído para mares calmos, prometendo que "aprenderá a navegar e se manterá na superfície" em uma tempestade imensa, nunca ocorrida antes (que ela já sabe que virá).**

3. A utilização de Tempo de Retorno de 10.000 (dez mil) anos e/ou da Precipitação Máxima Provável (PMP), por si só, é cientificamente suficiente para afirmar a resiliência de estruturas de disposição de rejeitos e estéril frente às mudanças climáticas, no contexto do Quadrilátero - Aquífero - Ferrífero? Em caso negativo, por quais razões técnicas e científicas, no caso concreto, tais parâmetros não substituem estudos prospectivos baseados em modelagem climática futura?

Não a utilização de TR 10.000 anos e/ou PMP não é cientificamente suficiente e perigosa para a segurança de infraestruturas críticas.

Os cálculos desses valores são feitos com base em séries históricas de dados de chuva de curto prazo (20 a 40 anos, em raros casos chegando a 80 anos na região do Quadrilátero). As razões principais são:

1. Quebra do Princípio da Estacionariedade: A engenharia tradicional baseava-se na premissa de que o passado se repetiria no futuro. Contudo, as mudanças climáticas alteraram a dinâmica da atmosfera. O aumento da temperatura global intensifica o ciclo hidrológico (o ar quente retém aproximadamente 7% a mais de umidade para cada 1°C de aquecimento), tornando os recordes do passado obsoletos para prever os extremos do futuro.
2. Fragilidade Estatística (Amostragem Insuficiente): Estimar um evento que ocorre uma vez a cada 10.000 anos utilizando uma amostra de apenas 20 ou 80 anos gera um erro padrão considerável. Matematicamente, a série histórica é curta demais para capturar a verdadeira variabilidade do clima do passado, o que leva a uma subestimação severa do risco.

3. Eventos Extremos: Eventos raros e catastróficos, por definição, muitas vezes não aparecem em registros de poucas décadas. A ausência de uma grande inundação nos últimos 50 anos não significa que ela seja impossível; significa apenas que a amostra histórica é pequena demais para tê-la registrado.
4. Modelagem Prospectiva vs. Extrapolação Passiva: Enquanto a série histórica olha apenas para o "retrovisor", a modelagem climática futura utiliza equações físicas para simular como a atmosfera se comportará sob novos níveis de gases de efeito estufa. Para decisões que envolvem segurança de barragens, de pilhas de rejeitos e/ou estéreis, de sistemas de drenagem de áreas de mineração e drenagem urbana pesada, a modelagem prospectiva é a única ferramenta capaz de incorporar o agravamento esperado das tempestades.

Projetar estruturas de alta periculosidade baseando-se apenas no passado é ignorar o consenso científico de que o clima mudou. O uso de modelos climáticos futuros não é uma opção acadêmica, mas uma necessidade de gestão de risco e conformidade técnica diante de um cenário de não estacionariedade climática.

No Quadrilátero Aquífero Ferrífero, região já sujeita a eventos extremos, estudos atuais apontam para o aumento da intensidade e frequência de chuvas torrenciais, fenômeno esse que tem sido registrado em todo o mundo. Usar apenas PMP e TR alto não garante que as estruturas resistam a eventos ainda mais severos, previstos pela ciência climática para as próximas décadas.

4. É correto afirmar que o uso de PMP e TR se baseia, estruturalmente, em extrapolações estatísticas de dados históricos, e não em projeções climáticas futuras? Caso positivo, quais são as limitações dessa abordagem diante da ruptura do regime hidrológico causada pelas mudanças climáticas?

Sim, PMP e TR são extrapolações estatísticas do passado.

A principal limitação é que assumem que o clima é estável, o que não é mais verdade. Os eventos extremos de chuvas dos últimos 10 a 20 anos têm sido disruptivos, ou seja, *“uma quebra, rompimento ou interrupção de um processo, padrão ou mercado já estabelecido, introduzindo algo radicalmente novo que transforma a realidade, desafiando o status quo”*.

A extrapolação para um TR de 10.000 anos não é uma medição direta, mas um exercício matemático que depende da escolha de uma distribuição estatística (como Gumbel, GEV ou Log-Pearson III). Como cada modelo estatístico possui premissas formais e tratamentos distintos para os "desvios" da média, a escolha do método altera drasticamente o valor final. Assim, a imprecisão não decorre apenas da falta de dados, mas da subjetividade do modelo escolhido, que pode subestimar riscos catastróficos dependendo de sua formulação matemática.

O cálculo da PMP busca definir o limite físico superior de chuva para uma região, mas sua precisão é limitada pela aplicação de métodos que utilizam coeficientes baseados em médias do passado. Como cada técnica adota critérios diferentes para simular o comportamento extremo da atmosfera, o resultado varia significativamente conforme o método aplicado. Em um cenário de mudanças climáticas, esses métodos tornam-se ainda mais instáveis, pois os "limites físicos" de ontem já não representam o potencial energético da atmosfera de hoje.

As mudanças climáticas estão rompendo com os padrões históricos, podendo gerar chuvas mais intensas e concentradas e mais frequentes do que qualquer registro anterior porque o aumento das temperaturas globais intensifica o ciclo da água. Uma atmosfera mais quente retém mais umidade, que, subsequentemente, é liberada em volumes maiores e de forma mais concentrada.

**Utilizar para projetos de alto risco valores de PMP e TR calculados por extrapolações de séries históricas de precipitações é como dirigir olhando apenas pelo retrovisor e supondo que a estrada à frente continuará como a que se vê atrás.**

- 
5. A adoção de parâmetros “ultraconservadores” (TR decamilenar ou PMP) elimina a necessidade de modelagem climática prospectiva específica para o período de operação do empreendimento (2029 em diante)? Sob o ponto de vista da ciência climática, essa substituição é metodologicamente válida?

A adoção de parâmetros "ultraconservadores" baseados apenas em séries históricas não elimina a necessidade de modelagem climática prospectiva e, sob o ponto de vista da ciência climática, essa substituição não é metodologicamente válida, pelas seguintes razões:

1. O "Teto" Físico está Subindo: Conforme mencionado anteriormente, a física da atmosfera mudou. A PMP é um limite físico. Se a temperatura global aumenta, a capacidade da atmosfera de reter e despejar água também aumenta. Portanto, uma PMP calculada com dados do passado projeta um 'limite máximo' que pode ser inferior ao que a física do clima permitirá a partir de 2029.

Projetar com a PMP do passado para um mundo mais quente e que se aquece cada vez mais é como calcular a carga máxima de uma ponte usando apenas o peso dos veículos de 40 anos atrás, enquanto o tráfego do presente é composto por caminhões muito mais pesados, cujo peso aumentará cada vez mais. A estrutura pode ruir sob uma carga que a física atual já permite, mas que os cálculos ultrapassados não previram.

2. Falsa Sensação de Segurança (O Erro de Origem): Chamar um parâmetro de "ultraconservador" (como o TR 10.000 anos) é um equívoco se a base de dados estiver "viciada" pelo passado. Se o regime de chuvas mudou, o que era um evento com probabilidade teórica de ocorrer 1 vez a cada 10.000 anos pode se tornar muito mais frequente (ex.: 1 vez a cada 500 anos).
3. A Mudança é Gradual e Direcionada: Séries históricas são "fotografias" do que já ocorreu. A modelagem prospectiva para o período de operação é um filme que mostra a tendência de agravamento. O risco em 2050 será maior que o 2030 e continuará aumentando; apenas a modelagem climática permite entender a evolução do risco durante a vida útil do empreendimento.
4. Invalidação da Premissa Estatística: Como explicado na resposta anterior, a estatística de eventos extremos pressupõe que o clima é estável (estacionário). Ao projetar um empreendimento para o futuro em um cenário de aquecimento global, ignorar os modelos climáticos prospectivos é ignorar a variável que mais impacta a segurança das estruturas hoje: a não estacionariedade.

**Uma abordagem a favor da segurança em engenharia e direito exige que consideremos a pior condição futura provável, e não apenas a pior condição passada. Substituir a modelagem prospectiva por valores históricos altos é um erro metodológico que mascara o aumento real do risco.**

---

6. O EIA/RIMA do “Projeto Longo Prazo” apresenta modelagem climática baseada em cenários futuros, aplicáveis ao período de vida útil do empreendimento? Em caso negativo, quais são as consequências técnicas dessa omissão?

Não, o EIA/RIMA do "Projeto Longo Prazo" não apresenta modelagem climática baseada em cenários futuros. Toda a sua base de cálculo é retrospectiva, ancorada em dados que ignoram as projeções climáticas para o período de operação do empreendimento. A análise do EIA/RIMA permite constatar:

1. **Ausência de Projeções Prospectivas:** Os cálculos hidrológicos foram extraídos exclusivamente da publicação "Pinheiro (2011)". Este documento baseia-se apenas em séries históricas passadas e não incorpora projeções do IPCC ou cenários de mudanças climáticas para as próximas décadas.
2. **Dados Temporais Defasados:** As séries pluviométricas utilizadas têm como data limite o ano de 2010. Isso significa que o EIA/RIMA ignora os eventos climáticos extremos ocorridos nos últimos 15 anos, tratando o clima como se ele fosse estático (estacionário e similar ao clima anterior a 2011), o que invalida a representatividade para o período de vida útil que se inicia em 2029.
3. **Hietogramas Obsoletos:** Os padrões de distribuição de chuva (hietogramas) adotados no estudo referem-se a eventos dos anos de 1991 e 2003. Para um empreendimento de longo prazo, utilizar padrões de chuva de 20 a 35 anos atrás, sem ajuste para as novas dinâmicas atmosféricas, acarreta um risco de subdimensionamento das estruturas de segurança.
4. **PMP sem Cenários de Mudança:** A Precipitação Máxima Provável (PMP) foi calculada com base em apenas três eventos históricos (o mais recente de 2007). O estudo não avalia como o aquecimento global pode elevar esse limite físico de chuva no futuro, mantendo uma premissa de "estacionariedade hidrológica" que a ciência climática atual já rejeita.
5. **TR sem Cenários de Mudança:** A definição dos valores de TR foi realizada através de método que usou distribuição estatística de Gumbel, sob o argumento de "parcimônia estatística". Essa escolha impõe um limite rígido ao comportamento das chuvas (cauda exponencial), ignorando modelos mais adequados, que captariam melhor eventos raros. O estudo não realizou testes de aderência sensíveis a eventos extremos nem quantificou as incertezas dos dados, e o resultado é uma estimativa que assume a estacionariedade absoluta das séries históricas.

A omissão da modelagem climática prospectiva para o Projeto de Longo Prazo no Complexo Germano gera consequências técnicas que impactam diretamente a segurança das Pilhas de Estéril (PDER M e PDER C) e do sistema de drenagem associado. As principais consequências são:

1. **Subdimensionamento das Estruturas de Drenagem:** Como os cálculos de PMP e TR 10.000 anos baseiam-se em dados que terminam em 2010 e ignoram o aumento da intensidade das chuvas previsto para as próximas décadas, há

um risco real de que os sistemas de drenagem, diques, sumps e vertedouros não suportem o volume de água de tempestades futuras.

2. Aumento do Risco de Instabilidade: Pilhas de estéril e rejeitos são sensíveis ao excesso de água. A utilização de hietogramas obsoletos (de 1991 e 2003) para projetar como a chuva se distribui no tempo pode resultar em pressões de poros (água acumulada no interior da pilha) acima do previsto, elevando o risco de deslizamentos ou erosões catastróficas. Esses riscos aumentam significativamente durante a ocorrências de tremores, mesmo de menor intensidade, como demonstrado pelo rompimento de Fundão logo após a ocorrência de sismos.
3. Falsa Percepção de Segurança: O que hoje é rotulado como um evento raro de 10.000 anos ou PMP pode ocorrer e/ou ser superado diversas vezes durante a vida útil da estrutura, sem que o projeto tenha sido preparado para essa frequência.
4. Incerteza não Quantificada: O uso de séries históricas sem projeções e de modelos estatísticos limitados, como feito no documento de Pinheiro (2011), resulta em margens de segurança do empreendimento desconhecidas e possivelmente insuficientes frente à nova dinâmica do clima em Minas Gerais.

Assim, o EIA/RIMA apresenta uma lacuna técnica crítica. Ao omitir a modelagem climática prospectiva, falha em prever o comportamento real das cargas hidrológicas durante a operação futura, o que pode comprometer a segurança das estruturas e a fidedignidade do licenciamento ambiental.

- 
7. É possível afirmar que os estudos apresentados pela Samarco se baseiam predominantemente em séries históricas pretéritas, sem incorporação adequada da literatura científica atual sobre alterações do ciclo hidrológico em Minas Gerais?

Sim, os estudos técnicos apresentados pela Samarco baseiam-se predominantemente em séries históricas pretéritas, ignorando a literatura científica atual sobre mudanças climáticas e não citam ou discutem pesquisas recentes sobre alterações climáticas em Minas Gerais. A fundamentação é puramente histórica, ignorando o consenso científico de que o regime de chuvas na região está se tornando mais extremo. Abaixo, as evidências técnicas que fundamentam essa conclusão:

1. Uso de Dados Obsoletos: As séries pluviométricas utilizadas nos cálculos têm como data limite o ano de 2010. Isso significa que o projeto ignora os últimos 15 anos de eventos climáticos extremos e a variabilidade climática mais recente de Minas Gerais.
2. Premissa de Clima Estático: Os cálculos baseiam-se no pressuposto da estacionariedade hidrológica, como já explicado em respostas anteriores.
3. Desconsideração de Cenários do IPCC: O projeto não incorpora as projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que apontam para o aumento da intensidade e frequência de chuvas extremas no Sudeste do Brasil.
4. Base de Eventos Limitada: A Precipitação Máxima Provável (PMP) e os hietogramas de projeto foram calculados com base em apenas três eventos

históricos antigos (2002, 2003 e 2007 para PMP; 1991 e 2003 para hietogramas). Eventos de chuvas extremas recentes, como os ocorridos na região de Brumadinho e Nova Lima em 2022 e em Divinópolis em 2026, foram completamente omitidos.

Ao utilizar uma base de dados encerrada em 2010 e ignorar as tendências climáticas atuais, os estudos da Samarco apresentam um descompasso com a realidade científica.

#### **Exemplo de estudo sobre Minas Gerais:**

Artigo técnico (ver referência a seguir<sup>7</sup>) publicado em 2021, denominado *Chuvas extremas e seus impactos no estado de Minas Gerais, Brasil, em janeiro de 2020: podemos culpar as mudanças climáticas?* (título traduzido) analisa o evento extremo de precipitação ocorrido em janeiro de 2020 no estado de Minas Gerais. Entre 23 e 25 de janeiro de 2020, uma combinação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (SACZ) intensificada e do ciclone subtropical Kurumi resultou em precipitações recordes no sudeste de Minas Gerais, incluído a região Metropolitana de Belo Horizonte e o Quadrilátero Aquífero Ferrífero. Em Belo Horizonte, acumulou-se 320,9 mm em 3 dias, equivalente a 97% da média climatológica para todo o mês de janeiro.

Através de metodologias de atribuição de eventos extremos, os autores quantificam até que ponto o aquecimento global influenciou a magnitude e a probabilidade de ocorrência desse evento.

No cenário natural (NAT), o período de retorno (intervalo médio entre ocorrências) para um evento semelhante foi estimado em apenas 6,67 anos. No cenário atual (ALL), influenciado pelas atividades humanas, esse período de retorno caiu para cerca de 3,92 anos. Ou seja, o evento ficou pelo menos 70% mais provável devido às mudanças climáticas resultantes das atividades humanas.

As conclusões do artigo de Dalagnol et al. (2021) demonstram que as mudanças climáticas induzidas pelo homem já aumentaram significativamente a probabilidade de ocorrência de eventos extremos como o de janeiro de 2020 em Minas Gerais. Estendendo esse princípio físico, a literatura científica atual (e.g., estudos que utilizam modelos climáticos regionais e análise de valores extremos) projeta que, em um clima mais quente, as precipitações associadas a períodos de retorno fixos (como 50, **100 ou 500 anos**) **se tornarão mais intensas**. Da mesma forma, o limite físico teórico representado pela Precipitação Máxima Provável (PMP) também deve ser reavaliado para refletir as novas condições climáticas,

#### Referência:

Dalagnol, R., Gramcianinov, C.B., Crespo, N.M., Luiz, R., Chiquetto, J.B., Marques, M.T.A., Neto, G.D., de Abreu, R.C., Li, S., Lott, F.C., Anderson, L.O., Sparrow, S. (2022) *Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: Can we blame climate change? Climate Resilience and Sustainability*, 1, e15. <https://doi.org/10.1002/cli2.15>

---

<sup>7</sup> Ver também: <https://agencia.fapesp.br/climate-change-caused-the-devastating-floods-of-2020-in-minas-gerais-brazil-study-concludes/37088#:~:text=The%20article%20was%20published%20a,and%20landslides%20at%20the%20time>. Acesso em 29/01/2026.

8. Há, nos estudos ambientais ou no Parecer Único da FEAM, memória de cálculo ou relatório de cálculo técnico que demonstre, de forma quantificada, o volume de precipitação esperado para os próximos anos ou décadas sob cenários de mudanças climáticas?

Não há. Não foi apresentada - nem nos estudos feitos pela Samarco (EIA/RIMA) nem no Parecer Único nº 35/FEAM/GST/2025 FEAM-SEMAD nenhuma memória de cálculo ou relatório que estime volumes de chuva ou vazões para os próximos anos ou décadas usando modelos climáticos globais ou regionais.

Os cálculos hidrológicos e dimensionamentos dos sistemas de drenagem, dos volumes de diques e sumps, da capacidade dos vertedores e os coeficiente bem como os fatores segurança foram feitos apenas com dados do passado e com metodologias limitadas, pois foram todos baseados no documento de Pinheiro (2011) cujas características já foram informadas em resposta anterior (ver acima).

- 
9. Do ponto de vista da ciência climática contemporânea, é aceitável licenciar estruturas de disposição de rejeitos e estéril sem relatório de cálculos explícitos que incorporem cenários futuros de mudanças climáticas com modelagens hidrológicas e geotécnicas atualizadas?

Sob a ótica da ciência climática contemporânea, não é aceitável o licenciamento de estruturas de disposição de rejeitos e estéril que omitam cálculos explícitos sobre cenários futuros de mudanças climáticas. No contexto do Complexo Germano, essa omissão é ainda mais crítica para as pilhas PDER C e PDER M, pelas seguintes razões:

1. Inviabilidade do Modelo Retrospectivo: Como demonstrado pela literatura científica recente (ex: Dalagnol et al., 2021), o aquecimento global aumentou em cerca de 70% a probabilidade de chuvas extremas em Minas Gerais. Projetar estruturas para 2029 em diante baseando-se apenas em dados do passado (estacionariedade) é ignorar o aumento real e comprovado do risco hidrológico.
2. Riscos para Áreas já Impactadas: O Projeto de Longo Prazo prevê que as pilhas PDER C e PDER M seriam localizadas em região severamente atingida pelo desastre de 2015 e próximas a comunidades vulneráveis. O licenciamento sem modelagem prospectiva ignora o dever de precaução, expondo novamente populações que ainda sofrem os efeitos do rompimento da barragem de Fundão.
3. Ameaça de Nova Contaminação do Rio Doce: A instabilidade física dessas pilhas (seja por erosão acelerada ou desmoronamento) provocada por eventos extremos não previstos resultará no carreamento de sedimentos para o Rio Gualaxo do Norte. Como este é afluente do Rio Doce, tal falha técnica causaria a recontaminação de cursos d'água que ainda estão em processo de recuperação, agravando o dano ambiental histórico.
4. Dever de Diligência e Gestão de Risco: Em setores de alto impacto, a ciência exige que a incerteza climática seja internalizada através de modelagens hidrológicas e geotécnicas atualizadas. Licenciar essas estruturas sem tais estudos é assumir um risco cego, o que configura negligência técnica diante

do estado atual do conhecimento e das vulnerabilidades específicas da bacia do Rio Doce.

A ausência de modelos climáticos prospectivos invalida a margem de segurança do projeto. Para a Samarco e o Complexo Germano, a modelagem futura não é um estudo acessório, mas um requisito essencial para garantir que a operação não resulte em um novo desastre cumulativo e irreversível.

---

10. Qual é a definição científica contemporânea de “evento extremo” no contexto das mudanças climáticas, e em que medida ela difere da noção clássica de eventos baseada apenas em estatística histórica?

Definição Científica de Evento Extremo: Clássica vs. Contemporânea:

1. A Noção Clássica (Visão Estática): A visão clássica, utilizada no EIA da Samarco, baseia-se na estatística histórica (estacionariedade). Ela assume que o passado é um guia perfeito para o futuro. Nessa lógica, um evento extremo é apenas uma raridade estatística (ex: algo que só aconteceria 1 vez a cada 10.000 anos) baseada em uma média que nunca muda.
  2. Definição Contemporânea (Visão Dinâmica): Na ciência climática atual, um "evento extremo" não é apenas um ponto fora da curva em um gráfico antigo. Ele é definido como um fenômeno cujas propriedades físicas — frequência, magnitude e duração — estão sendo permanentemente alteradas pelo aquecimento global. Segundo o estudo de Dalagnol et al. (2021), as mudanças climáticas já aumentaram a probabilidade de chuvas extremas em Minas Gerais em até 70%. Isso significa que o que antes era "impossível" ou "raríssimo" tornou-se uma probabilidade real e recorrente.
  3. Implicação Prática para o Projeto Longo Prazo: A noção clássica permite que se utilize dados de 2010 para projetar uma obra em 2029. Já a definição contemporânea alerta que os recordes de 2020, 2022 e 2026 em Minas Gerais provam que os "extremos" mudaram de patamar. Ignorar essa mudança não é apenas uma escolha metodológica, mas um erro de diagnóstico de risco, pois o "extremo" de hoje é muito mais severo do que o "extremo" capturado nas tabelas históricas da década passada.
- 

11. O EIA/RIMA e o Parecer Único da FEAM adotam conceito atualizado de evento extremo compatível com a ciência climática atual, ou permanecem presos a uma abordagem histórica, estática e determinística?

Não. Como visto nas respostas anteriores, o EIA/RIMA e o Parecer Único permanecem na visão histórica e estática. No EIA/RIMA os eventos extremos são tratados apenas através de Tempos de Retorno e da PMP, sem qualquer menção à influência das mudanças climáticas na sua futura ocorrência.

O Parecer Único usa a expressão “eventos extremos” apenas duas vezes: uma no contexto da redução da população da espécie *S. canga* (anuro) devido a “eventos extremos, como secas prolongadas” e outra no contexto de uso de bombeamento de água de uma cava para “evitar ou reduzir os vertimentos frequentes e aqueles decorrentes de eventos extremos”. Ou seja, o Parecer não trata da relação entre

mudanças climática e a intensidade e a frequência dos eventos extremos. A expressão “mudanças climáticas” não consta do Parecer.

---

12. É possível afirmar que a ausência de definição técnica clara de “evento extremo” no EIA do Projeto Longo Prazo compromete a avaliação de risco do empreendimento? De que forma isso impacta a segurança das estruturas propostas?

Sim, a ausência, no EIA do Projeto Longo Prazo, de uma definição técnica de "evento extremo" que incorpore as mudanças climáticas compromete gravemente a avaliação de risco do empreendimento. Ao limitar a definição de extremo apenas aos conceitos estatísticos de TR 10.000 anos ou PMP baseados em dados do passado, o EIA/RIMA comete um erro de premissa que impacta a segurança das estruturas da seguinte forma:

1. Subestimativa de Carga: No cenário de aquecimento global, o "extremo" de hoje é muito mais intenso do que o "extremo" capturado nas séries históricas (como a de Pinheiro, 2011, que termina em 2010). Sem uma definição clara, o projeto utiliza uma "régua" curta para medir um fenômeno que cresceu e continuará crescendo, resultando em estruturas (canais de drenagem, vertedouros e sistemas de proteção das pilhas PDER C e M) dimensionadas para chuvas inferiores às reais.
2. Aumento da Frequência de Falhas: O que o EIA define como um evento raro (TR 10.000 anos) pode, na realidade climática atual, ocorrer com uma frequência muito maior. Isso significa que o risco de transbordamento, erosão rápida e instabilidade geotécnica não é uma possibilidade remota para daqui a milênios, mas um perigo iminente para o período de operação (2029 em diante).
3. Risco de Recontaminação em Cascata: Como as pilhas estão em área já impactada e próxima a afluentes do Rio Doce, uma falha de projeto decorrente dessa definição incompleta não é apenas um erro de engenharia; é uma ameaça de desastre cumulativo. A erosão nessas estruturas provocará o carreamento de sedimentos, anulando esforços de recuperação ambiental e expondo novamente as comunidades locais.
4. Invalidação dos Coeficientes de Segurança: A segurança de uma pilha de estéril depende do controle rigoroso da água. Se o hietograma de projeto não reflete a intensidade das "novas" chuvas extremas de Minas Gerais (como os recordes de 2020 a 2026), os coeficientes de segurança calculados tornam-se meramente nominais, sem correspondência com a resistência necessária na prática.

**Assim, a ausência de uma definição contemporânea de evento extremo gera um "vício de origem" no projeto. O EIA/RIMA entrega uma solução de engenharia para um clima que não existe mais, elevando o risco de falhas catastróficas por subdimensionamento hidrológico e geotécnico.**

---

13. A adoção de borda livre (*freeboard*) pode ser considerada, do ponto de vista científico, um mecanismo suficiente de adaptação às mudanças climáticas? Ou trata-se apenas

de uma margem de segurança estática, incapaz de responder à natureza dinâmica e não linear dos eventos extremos?

A adoção de uma borda livre (*freeboard*) de 20% não pode ser considerada, sob o ponto de vista científico e da engenharia moderna, um mecanismo suficiente de adaptação às mudanças climáticas. Trata-se de uma margem de segurança estática que mascara riscos dinâmicos severos identificados no projeto.

Os principais motivos, baseados na ciência climática e detalhados na Nota Técnica NT-13-2026 já mencionada, são resumidos a seguir:

1. Velocidades Erosivas e Destrutivas: A resiliência de um canal não depende apenas de ele não transbordar, mas de sua integridade física. A Nota Técnica mencionada revela que diversos canais periféricos das pilhas PDER M e C, apresentam, para os cenários de vazões contemplados no EIA/RIMA, velocidades de escoamento de água que excedem os limites seguros para revestimentos em concreto. Uma borda livre de 20% é irrelevante se a força da água destruir o revestimento do canal, causando erosão na base da pilha e potencial colapso estrutural.
2. A "Falsa" Segurança do TR 10.000 e PMP para os Canais Periféricos: Como detalhado na Nota Técnica, o cálculo do TR 10.000 anos e da PMP da Samarco baseia-se em séries históricas encerradas em 2010. Em um cenário de não estacionariedade climática, o que a Samarco chama de "evento de 10.000 anos" pode, na realidade física atual, ser um evento de recorrência muito menor. A borda livre de 20% sobre um dado subestimado resulta em uma estrutura subdimensionada para o clima de 2029 em diante. Como já mencionado em resposta anterior, cálculos com TR 500, 1.000, 10.000 e PMP foram feitos somente para os canais periféricos e o EIA/RIMA não informa que dimensões realmente terão esses canais, o que permite supor que, no projeto definitivo, poderão ter dimensões adequadas apenas para TR 500 anos, apesar do EIA apresentar os cálculos para valores maiores de precipitação.
3. Vazão de Projeto de outros dispositivos de drenagem: As descidas de água, que são escadas dissipadoras de energia, assim como as canaletas de topo, de berma e dos acessos, foram dimensionadas para um TR de apenas 100 anos, atendendo normas atuais, mas sem considerar a intensificação dos eventos de chuva. Eventos mais intensos que os de TR 100 anos – que estão sendo e serão cada vez mais agravados por mudanças climáticas – poderão anular o benefício da borda livre, transformando o sistema de drenagem em um vetor de instabilidade geotécnica.
4. Comportamento Não Linear das Vazões de Projeto: A relação entre chuva e "enxurrada" (vazão de água em um canal) não é linear, especialmente sob condições extremas. Mesmo em solo seco, uma chuva de alta intensidade em curto período pode superar a capacidade de infiltração do solo, fazendo com que a água escoe superficialmente antes de ser absorvida. Isso resulta em uma eficiência de transformação de chuva em vazão muito maior do que a estimada por coeficientes médios usados em projetos convencionais (como o coeficiente  $C = 0,6$  do Método Racional usado para o dimensionamento apresentado no EIA/RIMA). O efeito é comparável ao de uma chuva em solo já saturado: em ambos os casos, grande parte da precipitação se converte rapidamente em escoamento, gerando picos de vazão agudos e elevados.

Esse aumento não linear da vazão tem consequências diretas e cumulativas para canais de drenagem. Primeiramente, um incremento relativamente

pequeno na chuva pode elevar o nível da água no canal de forma desproporcional, consumindo rapidamente a borda livre — a margem de segurança entre o nível máximo da água e o topo do canal.

Conforme a vazão e a velocidade aumentam, o fluxo pode atingir regime supercrítico de escoamento, caracterizado por alta velocidade e baixa profundidade. Quando esse fluxo encontra um obstáculo ou uma mudança na declividade, pode ocorrer um ressalto hidráulico, um fenômeno abrupto que eleva subitamente o nível da água, produzindo turbulência e ondas que podem ultrapassar a borda livre em instantes, mesmo que a vazão média ainda pareça compatível com a capacidade do canal.

O transbordamento resultante inicia um ciclo destrutivo. A água que extravasa ataca as partes laterais do canal, que muitas vezes não são revestidas ou protegidas para tal condição. A erosão começa nas margens, enfraquecendo a estrutura do canal e podendo levar ao desmoronamento de taludes. Com o alargamento e aprofundamento irregular do canal, causado pela erosão de suas paredes de concreto ou de terra, sua geometria original é perdida, reduzindo ainda mais sua capacidade de vazão e criando pontos de turbulência.

Esse processo, realimentado pela força erosiva da água — que cresce com o quadrado da velocidade, ou seja, uma velocidade de escoamento duas vezes maior resulta em uma energia com capacidade destrutiva quatro vezes maior — pode comprometer a integridade da obra em poucas horas, transformando um aumento percentual modesto na precipitação em uma falha estrutural catastrófica.

A borda livre, calculada para condições hidrológicas históricas e respostas lineares, torna-se, portanto, uma defesa insuficiente frente à não linearidade dos eventos extremos intensificados pelas mudanças climáticas.

A borda livre é apenas uma medida geométrica; a adaptação climática real exige integridade hidráulica. Aceitar a borda livre de 20% como garantia de segurança em um projeto com velocidades erosivas e dados climáticos obsoletos é ignorar o risco de um desastre em cascata que, em caso de falha nas pilhas, voltará a contaminar o Rio Gualaxo do Norte e a bacia do Rio Doce.

- 
14. A borda livre foi dimensionada com base em quais premissas hidrológicas e climáticas? Essas premissas consideram cenários futuros ou apenas condições históricas?

A borda livre dos canais periféricos das duas pilhas (PDER M e C) foi calculada para a chuva correspondente à PMP e para as chuvas correspondentes aos TR's históricos de 500, 1.000 e 10.000 anos. Porém, como já mencionado em resposta anterior, cálculos com TR 500, 1.000, 10.000 e PMP foram feitos somente para os canais periféricos e o EIA/RIMA não informa que dimensões realmente terão esses canais, o que permite supor que poderão ter dimensões adequadas apenas para TR 500 anos, apesar do EIA apresentar os cálculos para valores maiores de precipitação.

Os dispositivos de drenagem Canaletas de Topo, Descida d'água, Canaleta de Acesso foram dimensionados apenas para TR 100 anos e as dimensões desses

dispositivos estão apresentadas em tabelas no EIA/RIMA. Essas tabelas apresentam dimensões calculadas também para Canaletas de Platô da PDER C, mas não para a PDER M.

As tabelas de dimensões informam somente as dimensões dos canais e canaletas na fase final do projeto, omitindo as dimensões desses dispositivos de drenagem nas fases intermediárias, de construção das pilhas.

Não há menção alguma no EIA a respeito da consideração, nos cálculos, do aumento de precipitação devido ao aquecimento global. Como já explicado em respostas anteriores, todos os cálculos são baseados apenas no passado, sem consideração das condições climáticas atuais e sem projeção para futuro que terá também condições climáticas diversas.

Margens de segurança físicas (como borda livre) são critérios tradicionais que devem ser considerados em conjunto com outros parâmetros (tais como regime e velocidade de fluxo). Tais margens de segurança somente têm significado no contexto atual se forem calculadas para as altas vazões de água derivadas de chuvas extremas provocadas pelas mudanças climáticas.

A gestão de risco climático exige entender como, onde e com que força os eventos extremos ocorrerão. Sem essa modelagem, as margens de segurança podem ser consideradas "chutes no escuro" quantificados.

- 
15. Os programas de monitoramento, gestão, condicionantes e medidas de mitigação aprovados no âmbito do Parecer Único nº 35/FEAM/GST/2025 são, do ponto de vista técnico-científico, suficientes para garantir a estabilidade das pilhas de estéril e rejeito previstas no "Projeto Longo Prazo" e, sobretudo, para exercer uma atuação efetivamente preventiva na análise e gestão dos riscos associados às mudanças climáticas e a eventos extremos?

Não, os programas de monitoramento aprovados no âmbito do Parecer Único nº 35/FEAM/GST/2025 não são suficientes para garantir a estabilidade das pilhas frente às mudanças climáticas. Embora sigam protocolos rituais de licenciamento, eles possuem uma falha estrutural: são estatísticos e reativos, quando a segurança climática exige que sejam físicos e preditivos.

Os principais pontos de insuficiência são:

1. Natureza Reativa do Monitoramento: Conforme o documento de "Caracterização do Empreendimento", o monitoramento baseia-se em instrumentação (piezômetros, marcos superficiais) para detectar deformações que já estão ocorrendo. No contexto de eventos extremos não lineares, quando um instrumento acusa uma variação crítica em uma pilha de estéril ou em uma pilha mista (rejeito e estéril), o tempo de resposta pode ser insuficiente para evitar o colapso, especialmente se os canais de drenagem já estiverem operando com altas velocidades erosivas.
2. Limites de Alerta e Gatilhos (TARP) Obsoletos: Os "níveis de controle" e "ações de resposta" (mencionados no Parecer Único e detalhados no item 5.7.4 do Manual de Operação no documento de Caracterização do EIA) foram calibrados sob a premissa de estacionariedade. Isso viola o GISTM (Requisito 2.2), que exige a incorporação de projeções climáticas futuras.

Na prática, os gatilhos de emergência do projeto baseiam-se em séries históricas que ignoram que o aquecimento global já aumentou em 70% a probabilidade de chuvas extremas em Minas Gerais (Dalagnol et al., 2021).

Como os limites de alerta para as pilhas PDER C e M foram definidos por recordes do passado, o sistema de segurança pode não ser acionado a tempo de evitar erosões ou transbordamentos, pois a "régua" de perigo está desatualizada frente à não linearidade dos eventos climáticos atuais (IPCC AR6). **O monitoramento torna-se, assim, uma ferramenta passiva que apenas registra o desastre em curso, em vez de preveni-lo.**

3. A "Medida de Mitigação" pela Borda Livre: O projeto confia na borda livre de 20% como mitigação. Contudo, a análise técnica mostra que essa margem é estática e não considera a não linearidade das cheias futuras. Uma medida de mitigação efetivamente preventiva exigiria a readequação da geometria dos canais e do revestimento para suportar energias de fluxo muito superiores às calculadas com os dados de 2010.
4. Omissão de Cenários de Recontaminação: As medidas de mitigação não detalham protocolos específicos para impedir o carregamento de sedimentos para o Rio Gualaxo do Norte em caso de eventos que superem a PMP histórica. O foco está na contenção de sedimentos ordinária, ignorando que o transbordamento de uma pilha mista em área já degradada pelo desastre de 2015 geraria um dano cumulativo que os programas atuais não têm capacidade de remediar.
5. Descompasso com o GISTM: Embora a governança mencione o padrão global, a prática aprovada no Parecer Único falha no Requisito 2.2 do GISTM, que exige a incorporação explícita de cenários climáticos futuros nas análises de ruptura e nos planos de mitigação.

**Dessa forma, os programas aprovados funcionam como um "termômetro" que avisa que a estrutura está com febre, mas não atuam como a "vacina" (o dimensionamento correto e a adaptação prévia do projeto) para impedir que a doença (o evento extremo) ocorra.**

Para uma atuação efetivamente preventiva em Mariana, o licenciamento não poderia aceitar programas baseados em séries históricas encerradas em 2010 e em eventos extremos ocorridos somente até 2007; eles precisariam ser fundados em modelagens que antecipem a severidade climática de 2029 (ano do início da operação do empreendimento) em diante.

- 
16. Do ponto de vista do princípio da precaução, é cientificamente aceitável postergar estudos sobre mudanças climáticas para fases posteriores do empreendimento, quando as estruturas já estiverem implantadas?

Do ponto de vista do Princípio da Precaução, é cientificamente e juridicamente inaceitável postergar estudos sobre mudanças climáticas para fases posteriores. A precaução não é apenas uma recomendação de cautela, mas um dever de agir antecipadamente frente ao risco de danos graves e irreversíveis. No contexto do Projeto de Longo Prazo da Samarco, essa postergação é crítica por três motivos fundamentais:

1. Irreversibilidade das Estruturas: Uma vez implantadas as pilhas PDER C e PDER M e seus sistemas de drenagem, a capacidade de adaptação física é limitada e extremamente onerosa. Se a modelagem futura — realizada tardiamente — indicar que as vazões e energias de fluxo superam a capacidade dos canais, a estrutura já estará vulnerável. A precaução exige que a "medida preventiva" seja o estudo prospectivo de projeto, e não apenas o monitoramento do erro já construído.
2. Vício de Origem no Licenciamento: Conforme o GISTM (Requisito 2.2), a integração climática deve ocorrer no planejamento. Aceitar que esses estudos sejam feitos após a implantação transfere o risco do empreendedor para a sociedade e para o ecossistema do Rio Gualaxo do Norte e do Rio Doce. Não se pode gerir o que não foi corretamente dimensionado; a governança adaptativa sem base científica prévia torna-se uma gestão de crise permanente, e não uma prevenção.
3. Incerteza Científica como Mandato de Ação: O Princípio da Precaução inverte o ônus da prova. Se há incerteza sobre como os eventos extremos afetarão a estabilidade das pilhas, **a Samarco deve provar, antes de construir, que as estruturas suportarão os cenários mais pessimistas do IPCC AR6**. Postergar essa análise é admitir que o empreendimento operará sob um risco não dimensionado em uma região já traumatizada pelo desastre de 2015.

**Dizer que o projeto é seguro porque segue normas internacionais, mas utilizar dados do clima do passado para projetar estruturas para o presente e para o futuro com um clima comprovadamente mudado e em contínua transformação, configura uma inconsistência técnica que compromete a coerência lógica e a validade prospectiva das premissas de segurança adotadas, além de contrariar, na prática, os próprios compromissos de governança e gestão de risco climático que a empresa afirma cumprir.**

17. O EIA/RIMA, o Parecer Único da FEAM e o COPAM, realizaram efetiva análise de risco climático, ou limitaram-se à verificação formal de conformidade normativa e à aceitação de autodeclarações do empreendedor? É possível afirmar que o licenciamento ambiental do Projeto Longo Prazo carece de uma análise integrada de risco, considerando cenários de falha, efeitos em cascata e impactos cumulativos?

No exame do Parecer Único FEAM–SEMAD que fundamentou o licenciamento do Projeto de Longo Prazo, observa-se que o próprio documento explicita, em diversos trechos, que os estudos e dados técnicos analisados são de responsabilidade do empreendedor e dos profissionais que os elaboraram, e que a regularidade reconhecida pelo órgão ambiental se refere à suficiência e conformidade formal da documentação apresentada.

Abaixo são transcritos integralmente os trechos em que o Parecer registra essa atribuição de responsabilidade, a aceitação formal dos documentos apresentados e a dependência de informações declaradas pelo empreendedor, com indicação das respectivas páginas.

*“Salienta-se que os estudos apresentados são de responsabilidade dos profissionais que o elaboraram e do empreendedor, nesse sentido a Resolução CONAMA 237, de 19 de dezembro de 1997, em seu art. 11,*

prevê o seguinte:

*Art. 11 - Os estudos necessários ao processo de licenciamento deverão ser realizados por profissionais legalmente habilitados, às expensas do empreendedor.”*

(Parecer Único FEAM–SEMAD, p. 421)

*“Neste sentido, conclui-se que os documentos relacionados no Sistema de Licenciamento Ambiental - SLA e nos processos SEI foram apresentados e/ou justificados pelo empreendedor estando os mesmos regulares e sem vícios.”*

(Parecer Único FEAM–SEMAD, p. 413)

*“Toda a documentação do processo foi analisada, não se verificando nenhuma irregularidade de ordem formal que possa implicar em nulidade do procedimento adotado, sendo legítima a análise do mérito.”*

(Parecer Único FEAM–SEMAD, p. 413)

*“(O) empreendedor informou no SLA (fatores de restrição SLA 3858/2022), e em sede de informações complementares, que o empreendimento não causará impactos em terra indígena, terra quilombola, em zona de proteção de aeródromo, em área de proteção ambiental municipal e em área onde ocorra a necessidade de remoção de população atingida.”*

(Parecer Único FEAM–SEMAD, p. 414)

*“Os questionamentos realizados durante os eventos e aqueles realizados via e-mail ou protocolados, no prazo de 05 dias úteis contados da data do evento, foram devidamente respondidos pelo empreendedor e disponibilizadas as respostas aos interessados.”*

(Parecer Único FEAM–SEMAD, p. 414)

A leitura conjunta desses trechos demonstra que o Parecer Único estabelece de forma expressa que a responsabilidade técnica pelo conteúdo, pela consistência e pela veracidade dos estudos ambientais e de engenharia é atribuída aos profissionais autores e ao próprio empreendedor. O órgão ambiental registra que os estudos foram apresentados por responsáveis técnicos habilitados e que sua elaboração ocorreu às expensas do empreendedor, deixando claro que a autoria e a responsabilidade técnica não pertencem à FEAM ou à SEMAD.

O documento também enfatiza que a conclusão pela regularidade se refere à integridade e à conformidade formal da documentação protocolada no sistema de licenciamento, declarando que os documentos foram apresentados ou justificados pelo empreendedor e que não foram encontrados vícios formais. Essa formulação **caracteriza uma validação de natureza procedimental e documental, e não uma certificação explícita de veracidade material, independente, de cada dado técnico, parâmetro de cálculo ou premissa de projeto utilizada nos estudos.**

Além disso, o Parecer registra explicitamente diversos pontos relevantes baseados em informações prestadas pelo próprio empreendedor — como a inexistência de determinados tipos de impacto territorial — **sem indicar, nos trechos citados, procedimento de verificação técnica independente específica desses conteúdos declaratórios.** O mesmo ocorre com respostas técnicas a questionamentos públicos, que são descritas como tendo sido fornecidas pelo empreendedor e apenas disponibilizadas aos interessados.

Em conjunto, esses registros evidenciam que o Parecer Único se apoia primariamente na documentação e nas declarações técnicas apresentadas pela Samarco e por seus consultores, reconhecendo sua regularidade formal para fins de instrução do processo administrativo, ao mesmo tempo em que **explicita que a responsabilidade técnica e a veracidade dos estudos permanecem atribuídas aos seus autores e ao empreendedor**. Essa característica é relevante para a avaliação do grau de validação independente efetivamente realizado sobre os dados e premissas técnicas do projeto.

---

18. É possível afirmar que o licenciamento ambiental do Projeto Longo Prazo carece de uma análise integrada de risco, considerando cenários de falha diversos bem como efeitos de falhas em cascata e impactos cumulativos?

Com base na leitura do Capítulo 7 do EIA, documento denominado “CARACTERIZAÇÃO EMPR. ATIVIDADES E ASPECTOS AMBIENTAIS”, é possível afirmar que o EIA do Projeto de Longo Prazo não apresenta uma análise de risco de falhas isoladas nem análise de risco integrada que trate conjuntamente cenários de falha múltiplas, efeitos em cascata entre estruturas (pilhas, sistemas de drenagem, diques e áreas de apoio) e impactos cumulativos sistêmicos. O documento descreve o empreendimento, seus componentes, critérios de dimensionamento, controles ambientais e medidas de mitigação por tema e por estrutura, mas não consolida essas informações em um modelo integrado de risco com encadeamento de falhas múltiplas, simulação de cenários extremos combinados e avaliação quantitativa de consequências agregadas. **Assim, a abordagem é predominantemente descritiva e setorial, não configurando nenhuma análise de risco do sistema.**

Com base na leitura do Parecer Único FEAM–SEMAD, não é possível afirmar que tenha sido realizada pela Samarco, de forma explícita e estruturada, uma análise integrada de risco abrangendo cenários de falha, efeitos em cascata e impactos cumulativos sistêmicos do conjunto das estruturas do Projeto de Longo Prazo. O Parecer descreve e avalia estudos ambientais, programas de controle, condicionantes e medidas mitigadoras, e conclui pela suficiência formal da documentação apresentada, mas não apresenta, de modo consolidado e demonstrável, um estudo integrado de risco do tipo análise quantitativa de risco sistêmico ou avaliação encadeada de cenários extremos combinados. Assim, à luz do próprio conteúdo do Parecer, a decisão se apoia na análise técnica dos estudos apresentados e na regularidade processual, sem evidência textual de uma modelagem integrada de falhas múltiplas e impactos cumulativos em cascata.

---

19. A FEAM-SEMAD realizaram análise de risco do Projeto Longo Prazo? Esse tipo de análise é normalmente realizado por esse órgão?

O Parecer Único declara expressamente que não examina aspectos de engenharia e segurança, atribuindo essa responsabilidade ao empreendedor e a outros órgãos competentes:

*“Importante destacar que o presente parecer único é de cunho estritamente ambiental, não tendo como objetivo discutir ou avaliar questões relacionadas ao projeto de engenharia e segurança das PDER’s e suas estruturas auxiliares, sendo isso de responsabilidade do empreendedor e dos órgãos competentes”.*

(Parecer Único FEAM–SEMAD, p. 13)

Essa delimitação é coerente com as manifestações institucionais transcritas no Parecer Técnico FPSF-PT-02-2026<sup>8</sup>, nas quais **representantes da FEAM e da SEMAD afirmam que, no âmbito do licenciamento ambiental mineiro, o órgão licenciador avalia impactos ambientais, mas não realiza análise de riscos geotécnicos, hidrológicos ou estruturais das instalações.**

De fato, conforme consta do Parecer Técnico citado, durante a 111ª reunião da CMI - Câmara de Atividades Minerárias - realizada em 27 de maio de 2024, uma servidora da FEAM afirmou:

*Página 14 – linhas 670 a 688 da Ata de Reunião:*

*“Mariana Antunes Pimenta/FEAM: “... Eu gostaria de fazer algumas considerações que a equipe já colocou aqui. A primeira delas é que ele fala, o Sr. Sandoval coloca de presença de riscos geológicos, riscos hidrológicos que não são avaliados no Parecer Único. E é muito importante deixar claro aqui qual que é a competência do órgão licenciador. **O órgão licenciador avalia impactos ambientais e não riscos ambientais. Isso são coisas absolutamente diferentes. E o órgão ambiental, no âmbito do licenciamento, não tem essa competência de avaliar eventuais riscos que possam acontecer das estruturas. Então ele coloca escorregamentos, danos que podem acontecer, que isso não foi avaliado no Parecer Único. Não foi, propositalmente, não por um descuido, porque isso não faz parte da nossa competência. ...”** (grifo nosso).*

Essa declaração foi confirmada explicitamente, no dia 18/03/2025, na 2ª Reunião Extraordinária da Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da ALMG, pelo servidor Sr. Fernando Baliani, na época diretor de Gestão Regional da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - Semad -, representando a secretária Marília:

*“Eu gostaria também de fazer uma fala com relação ao risco no licenciamento ambiental, que foi ponderado aqui. Acho importante trazer um pouco disso para o debate. **A fala da servidora da Semad, no ambiente do Copam, não é uma fala da servidora, é uma fala institucional. Então acho que esse é o primeiro ponto que é importante esclarecer. (...)***

*Os estudos [análise de riscos] são diferentes da avaliação de impacto ambiental. São estudos de cenário de risco que utilizam muito a estatística e estabelecem claramente o risco aceitável e o risco não aceitável. E, não sendo aceitável, ele é submetido a um ajuste de projeto ou simplesmente a uma reprovação e, de fato, nem culmina no ato subsequente. Qual é o ato subsequente? Após essa análise de avaliação de risco, é ingressado no órgão ambiental um requerimento de licenciamento ambiental com os estudos de avaliação de impacto ambiental. (...). Acho importante dizer que a nossa fala, de forma alguma, é para desmerecer a importância dessa avaliação de risco. **Nós, enquanto servidores do licenciamento ambiental, não temos as regulamentações e entendemos que as atribuições não nos garantem ou nos amparam para discutirmos questões de análise de risco, inclusive com relação a risco aceitável ou não. Essa é uma fala que eu acho importante deixar aqui também”.** (grifos nosso).*

<sup>8</sup> Disponível em: <https://www.forumsaofrancisco.eco.br/biblioteca/doc-tec-diversos/4>

As falas registradas em ata de reunião da CMI e em audiência pública da ALMG indicam que a análise de risco é tratada como estudo distinto, que não integra o escopo técnico executado diretamente pelo órgão ambiental estadual, e que **os projetos são analisados partindo do pressuposto de que a aceitabilidade do risco já foi previamente definida pelo empreendedor ou por instâncias externas.**

**Em termos práticos, isso significa que o Parecer Único se apoia nas informações técnicas apresentadas pela empresa proponente, sem validação independente completa dos modelos de risco, premissas de segurança e critérios de aceitabilidade adotados.**

Do ponto de vista técnico e jurídico, essa separação formal entre avaliação de impacto ambiental e análise de risco estrutural cria uma lacuna de verificação integrada justamente nos empreendimentos de maior potencial de dano, pois a estabilidade e o comportamento das estruturas de disposição de rejeitos e estéril são elementos diretamente relacionados ao próprio impacto ambiental potencial.

Em linguagem direta: os próprios documentos indicam que **o órgão ambiental não se coloca como verificador técnico independente do risco estrutural ou de adequação de dados, de metodologias de cálculo, de dimensionamento e projeto — ele licencia ambientalmente com base nos estudos apresentados, mas não audita a engenharia de segurança, o dimensionamento das estruturas nem a aceitabilidade do risco declarado.**

- 
20. É possível afirmar, com base no conteúdo do EIA e com base no Parecer Único da FEAM-SEMAD que o Projeto de Longo Prazo foi feito de modo a atender, por meio de cálculos, verificações, projetos de estruturas e planos de operação e monitoramento os requisitos do GISTM, TCFD e outras instância internacionais no que diz respeito ao que prescrevem sobre o tema das mudanças climáticas? O tema das mudanças climáticas é abordado no Parecer Único e/ou no EIA?

Com base no Parecer Único FEAM–SEMAD e no documento do EIA denominado “CARACTERIZAÇÃO EMPR. ATIVIDADES E ASPECTOS AMBIENTAIS”, não é possível afirmar que o Projeto de Longo Prazo tenha sido desenvolvido de modo a atender, por meio de cálculos, verificações, projetos estruturais e planos de operação e monitoramento, aos requisitos específicos de frameworks internacionais como o GISTM, TCFD ou outros referenciais internacionais voltados à incorporação explícita de riscos e cenários de mudanças climáticas.

O EIA descreve critérios hidrológicos, hidráulicos e geotécnicos baseados em métodos tradicionais, séries históricas de precipitação, tempos de retorno e PMP, mas não apresenta modelagem climática prospectiva, análises de risco climático ou demonstração estruturada de aderência a requisitos desses frameworks.

No Parecer Único, o tema das mudanças climáticas não é tratado de forma técnica específica nem como critério explícito de verificação de conformidade do projeto, sem exigência de cálculos ou modelagens dedicadas.

Assim, à luz dos dois documentos, não há demonstração documentada de atendimento técnico formal aos requisitos internacionais de gestão de risco climático, e o tema das mudanças climáticas não é abordado nem no Parecer nem no EIA.

21. Quais são as possíveis consequências da ocorrência de chuvas intensas ou extremas em áreas de mineração tendo em vista que esses eventos estão sendo intensificados pelas mudanças climáticas?

A lista a seguir inclui as principais consequências potenciais de precipitações intensas em empreendimentos de mineração quando há falhas de projeto, operação ou adaptação às condições climáticas extremas, destacando impactos ambientais, estruturais, operacionais e socioeconômicos que podem persistir por décadas ou séculos.

Observa-se que as falhas podem decorrer não apenas de erros de execução, mas também da utilização de critérios de projeto desatualizados, incapazes de incorporar a intensificação atual dos eventos extremos e riscos como a sismicidade induzida.

1. **Transbordamento de reservatórios e diques de rejeitos**, com liberação de rejeitos e poluentes no ambiente, causando contaminação de cursos d'água, solos e recursos hídricos. Esse tipo de transbordamento já ocorreu em chuvas intensas em instalações de rejeitos em diversas partes do mundo, expondo rios e comunidades a metais pesados e sedimentos perigosos. Exemplo: no dia 25/01/2026 um evento de chuvas de aprox. 105 mm na região de Congonhas<sup>9</sup>, MG, provocou transbordamentos de lama no Complexo Minerário de Fábrica (Área 18), da Vale, assim como o escorregamento de talude e extravasamento de lama na Mina de Viga, da Vale e carreamento de lama para o rio Maranhão na mina Casa de Pedra, da CSN.
2. **Rompimento ou falha hidráulica de estruturas de contenção** devido à sobrecarga de água e/ou à perda de resistência dos materiais constituintes por saturação, como em barragens de rejeitos e pilhas, podendo resultar em ruptura catastrófica, com liberação súbita de grandes volumes de lama e sedimentos.
3. **Erosão acelerada de taludes e encostas de pilhas de rejeito e estéril**, provocando instabilidade de taludes, deslizamentos de massa e perda geométrica das estruturas, o que compromete a integridade física colapsando partes da pilha ou aumentando o risco de ruptura futura.
4. **Saturação excessiva do maciço e aumento de pressões de poro internas em pilhas, barragens e diques**, reduzindo a resistência dos materiais e podendo desencadear liquefação estática ou por fluxo, com perda total de resistência e mobilização do material na forma de fluxos de lama (*flowslides*), mesmo na ausência de atividade sísmica.
5. **Inundação de cavas e áreas de lavra**, transformando-as em corpos d'água temporários ou permanentes, o que pode interromper as operações, alterar o comportamento geotécnico de taludes, desorganizar a drenagem interna e externa e exigir obras de emergência para controle de água.

---

<sup>9</sup> “Tivemos ali uma chuva concentrada, cerca de 100, 110 mm, em pouquíssimas horas. Foi exatamente em cima da área industrial nossa”, disse Rafael Bittar”. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2026/01/26/governo-de-mg-diz-que-transbordamento-em-mina-causou-danos-ambientais-e-vale-sera-autuada.ghhtml>. Acesso em 08/02/2026.

6. **Obstrução ou saturação de sistemas de drenagem planejados** (superficial e profunda), quando as chuvas excedem as capacidades de projeto (por subdimensionamento dos sistemas de drenagem com relação a eventos extremos), levando ao acúmulo de água em áreas críticas, erosão de taludes, bermas, canais e canaletas, extravasamentos por ressaltos hidráulicos e ultrapassagem da borda livre dos canais, entupimento de drenos etc. gerando falhas operacionais e perda de eficiência de controle de água superficial e subterrânea, podendo ocasionar deslizamentos e rompimentos de barragens e pilhas.
7. **Danificação de infraestrutura de suporte operacional**, incluindo estradas de acesso, pontes, redes elétricas, sistemas de drenagem e sistemas de transporte interno, que podem ficar inoperáveis, isolando áreas de produção e impondo custos elevados de reparo e de interrupção de atividades.
8. **Contaminação difusa de água e solo por processos de erosão e transporte de sedimentos**, resultando em aumento de turbidez, deposição de sedimentos em cursos de água, degradação de habitats aquáticos e impactos na qualidade da água para usos humanos, agrícolas e ecológicos.
9. **Desencadeamento ou Aceleração de Processos de Drenagem Ácida de Rocha (DAR)**. Chuvas extremas podem saturar pilhas de estéril ou rejeito contendo sulfetos, acelerando as reações químicas que geram acidez e liberam metais pesados. A lixiviação intensiva e o transbordamento podem transportar esse efluente ácido e contaminado para o ambiente de forma súbita e massiva, causando um impacto químico de longo prazo muito mais severo.
10. **Acúmulo de água em bacias de rejeitos e barragens pós-fechamento**, que, se mal projetadas ou insuficientemente drenadas, podem permanecer saturadas por décadas, representando risco crônico de extravasamento, erosão e degradação continuada da estabilidade, inclusive com potencial para liquefação retardada muitos anos após o encerramento das atividades.
11. **Falha no Desempenho de Coberturas e Sistemas de Isolamento Pós-Fechamento**. Chuvas além do previsto podem saturar e romper as camadas de solo, de estêreis e geomembranas projetadas para isolar os rejeitos no longo prazo (barreiras de encapsulamento). Isso comprometeria permanentemente a estratégia de fechamento, permitindo a lixiviação contínua e a interação água-rejeito por séculos.
12. **Interrupção prolongada da produção e paralisação de operações**, com impactos econômicos diretos na viabilidade da mina, perda de receita, aumento de custo de seguros, e impactos indiretos sobre cadeias produtivas locais e empregos.
13. **Risco de inundação de áreas comunitárias e infraestrutura urbana adjacente**, especialmente quando estruturas de mineração estão próximas a regiões habitadas, o que pode resultar em evacuações, perdas materiais e pressões legais e sociais substanciais.
14. **Comprometimento da Eficácia de Programas de Monitoramento**. Eventos extremos podem danificar instrumentos de campo (piezômetros, estações meteorológicas, sondas de qualidade de água) e tornar inacessíveis os pontos de coleta, criando uma "cegueira" técnica crítica no momento em que o monitoramento é mais necessário. Dados perdidos prejudicam a resposta de emergência e a compreensão do evento.

15. **Alteração Permanente da Hidrogeologia Local.** A inundação maciça de cavas e a saturação profunda de pilhas podem modificar permanentemente os fluxos de água subterrânea, criando aquíferos ou direcionando águas contaminadas para sistemas aquíferos que não eram originalmente impactados. Este é um legado de décadas que pode inviabilizar o uso de fontes subterrâneas a jusante.
16. **Aumento de custos de manutenção emergencial e reabilitação estrutural,** com despesas extraordinárias para reconstrução, reforço de obras de drenagem, reassentamento de populações afetadas e programas de compensação ambiental.
17. **Perda ou degradação de serviços ecossistêmicos de longo prazo,** como a capacidade de purificação de água dos sistemas naturais, a produtividade de solo agrícola e a biodiversidade, com efeitos persistentes por décadas.
18. **Aumento de risco de eventos encadeados (efeitos em cascata),** como a obstrução de drenos internos levando à saturação e liquefação de uma camada de rejeito, cujo fluxo subsequente sobrecarrega e rompe o sistema de drenagem superficial, desencadeando uma ruptura retrocessiva em cadeia no talude.
19. **Impactos reputacionais e de governança corporativa,** inclusive perda de confiança de investidores e mercado, especialmente quando a preparação para eventos extremos demonstrar inconsistências com padrões internacionais de gestão de risco climático e operacional.

Esta lista sintetiza evidências técnicas e casos reais relacionados aos impactos de chuvas intensas em contextos de mineração, integrando riscos ambientais, estruturais, operacionais e sociais que podem decorrer de falhas ou insuficiências nos projetos, nas operações e no pós-fechamento.

- 
22. A adoção de pilhas de disposição de estéreis é mais segura que a disposição em barragens de rejeitos, principalmente tendo-se em conta que os eventos de precipitação estão sendo intensificados pelas mudanças climáticas?

Após os rompimentos das barragens de rejeitos de Fundão (Mariana, 2015) e Córrego do Feijão (Brumadinho, 2019), houve no Brasil uma mudança regulatória e setorial relevante, com forte incentivo — por órgãos ambientais, agências reguladoras e Ministérios Públicos — à redução do uso de barragens convencionais de rejeitos e à adoção de alternativas como disposição em pilhas de rejeitos filtrados, desaguados ou mistos com estéreis. Essa técnica é frequentemente apresentada como mais segura do que barragens hidráulicas, sobretudo por reduzir o volume de água armazenada e o potencial de ruptura catastrófica com grande alcance.

Contudo, do ponto de vista técnico, pilhas de rejeitos e estéreis também apresentam modos de falha próprios e riscos relevantes, que dependem fortemente de qualidade de projeto, implantação, operação, manutenção, fechamento e gestão de longo prazo, além de estarem cada vez mais expostas a regimes de chuvas mais intensas e mais frequentes associados às mudanças climáticas. A segurança dessas estruturas é frequentemente calculada sob a premissa espúria da estacionariedade climática, ou seja, a hipótese de que para conhecer o futuro (hidrológico) basta conhecer o passado, ignorando que as

séries históricas do século XX já não representam a probabilidade real de eventos extremos no século XXI e dos próximos séculos.

Entre as principais vantagens das pilhas de rejeitos desaguados ou filtrados está a menor dependência de estruturas hidráulicas de grande porte, a redução do volume de água livre armazenada, a possibilidade de empilhamento controlado com compactação e drenagem interna e a maior facilidade de inspeção visual e instrumentação geotécnica. Em geral, o raio potencial de dano de uma falha tende a ser menor que o de uma barragem de rejeitos convencional, especialmente quando as pilhas estão afastadas de vales encaixados e de cursos d'água capazes de transportar grandes volumes de material. É importante observar, contudo, que embora o alcance geográfico do material mobilizado tenda a ser mais restrito, o impacto dinâmico local, devido à grande energia potencial de uma massa deslizante de grande altura e densidade, pode ser extremamente destrutivo. Além disso, sistemas filtrados permitem maior recirculação de água no processo, reduzindo a demanda hídrica operacional.

Por outro lado, as desvantagens e riscos técnicos são frequentemente subestimados no discurso público. Pilhas são estruturas geotécnicas de grande porte, com centenas de metros de altura e volumes de dezenas a centenas de milhões de metros cúbicos, sujeitas a instabilidades progressivas, erosão, saturação interna, recalques diferenciais e falhas de drenagem. Diferentemente de uma barragem, cuja engenharia é concentrada em um maciço de contenção, a pilha inteira é o maciço estrutural, o que amplia a área suscetível a falhas localizadas que podem evoluir de forma progressiva. Erros de caracterização geotécnica dos materiais, variabilidade granulométrica, presença de finos compressíveis, disposição heterogênea e controle inadequado de compactação podem reduzir significativamente os fatores de segurança reais.

Problemas de projeto são uma fonte crítica de risco. Entre eles estão a subestimação de chuvas extremas, dimensionamento insuficiente de drenagem superficial e interna, hipóteses simplificadas sobre resistência não drenada ou drenada dos materiais, desconsideração de anisotropias e estruturas internas da pilha e análises de estabilidade baseadas em parâmetros não representativos da variabilidade do rejeito.

Especificamente, a utilização de critérios hidrológicos desatualizados, como tempos de retorno inadequados que não incorporam projeções de mudanças climáticas, pode levar a sistemas de drenagem subdimensionados, que não atendem aos requisitos mais recentes de normas como a ABNT NBR 13028-3:2025 e a Resolução ANM nº 220/2025. Ainda com relação a sistemas de drenagem, deve-se ressaltar que o uso de critérios de segurança parciais, não integrados com outros, tais como borda livre de canais e canaletas, pode levar a equívocos na avaliação de riscos, pois não basta que a calha do canal comporte o volume de água: é imperativo que o revestimento suporte altas velocidades de fluxo, sem ultrapassar os limites acima dos quais a água pode erodir até mesmo o concreto, sem ocorrência de ressaltos hidráulicos, fenômenos esses que, em eventos extremos, podem atingir patamares destrutivos, comprometendo a base da pilha.

Na fase de implantação, riscos relevantes incluem falhas de preparação de fundação, drenagem de base incompleta, execução inadequada de drenos, filtros e colchões drenantes, controle deficiente de umidade e energia de compactação, e lançamento de material fora das especificações. Em pilhas mistas, a interação entre materiais de diferentes permeabilidades (estéril e rejeito) pode criar lençóis freáticos suspensos ou zonas de saturação localizada, aumentando o risco de liquefação por aumento de poropressão interna, mesmo em materiais teoricamente desaguados. Erros construtivos frequentemente não são totalmente reversíveis e podem criar planos de fraqueza internos permanentes. Projetos conceituais não refinados em projeto básico detalhado aumentam a incerteza.

Na fase operacional, a pilha depende de disciplina contínua de empilhamento, controle de umidade, segregação granulométrica, manutenção de drenagens, proteção superficial contra erosão e monitoramento geotécnico. Um aspecto crucial do controle de umidade é a manutenção da sucção matricial, que confere uma coesão aparente extra ao material não saturado. Chuvas intensas ou lançamento de material mais úmido que o previsto podem eliminar essa sucção, causando uma perda brusca e não linear de resistência. Outros desvios operacionais — como tráfego desordenado, alteamentos fora da geometria de projeto e obstrução de canaletas — podem degradar rapidamente as margens de segurança. Sistemas de drenagem superficial são particularmente vulneráveis a chuvas intensas: sua obstrução ou erosão pode levar à concentração de fluxos, ravinamento profundo e infiltração localizada. A localização da pilha é um fator determinante: estruturas situadas em vales próximos a rios principais enfrentam o risco adicional de interação com cheias extremas do rio, que podem erodir o pé do talude e, em caso de falha, ter o material mobilizado imediatamente capturado e transportado pela rede de drenagem principal, ampliando significativamente o alcance do impacto ambiental.

No fechamento e pós-fechamento, que podem durar décadas ou séculos, surgem riscos de longo prazo muitas vezes negligenciados. Coberturas superficiais podem degradar, vegetação pode falhar, drenos podem colmatar, e sistemas de desvio de águas podem perder capacidade. Mudanças climáticas tendem a aumentar a intensidade de eventos extremos, elevando taxas de erosão, infiltração e geração de percolado. A responsabilidade de manutenção de longo prazo nem sempre é claramente garantida por instrumentos financeiros suficientes, criando risco de passivos ambientais persistentes. Pilhas mal fechadas podem gerar drenagem ácida, liberação de metais e instabilidade crônica de taludes. Após uma falha, a dificuldade e o custo da remediação são imensos, pois o material denso e compactado pode formar um depósito massivo e instável no local, cuja remoção ou estabilização é um desafio geotécnico monumental e perigoso, criando um problema crônico por décadas.

A influência das mudanças climáticas é um fator transversal. O aumento projetado da intensidade e frequência de chuvas extremas altera as premissas hidrológicas históricas usadas em muitos projetos. Sistemas de drenagem dimensionados com base apenas em séries históricas podem tornar-se insuficientes durante a vida útil da pilha. Isso aumenta o risco de saturação interna, erosão de taludes, falhas de canaletas e sobrecarga de bermas de

contenção. Eventos sucessivos de chuva intensa reduzem o tempo de dissipação de poropressões, favorecendo mecanismos de instabilidade progressiva.

Há também riscos associados a deslizamento por liquefação e por *strain-softening*. Mesmo rejeitos filtrados ou desaguados podem conter frações finas suscetíveis a comportamento contráctil quando submetidos a carregamento rápido, vibração ou aumento de poropressão. A liquefação estática pode ocorrer quando há perda brusca de resistência não drenada devido a aumento de tensões e saturação, sem necessidade de grande sismo. Sismos de pequena ou média magnitude, vibrações operacionais, detonações, chuvas intensas prolongadas, falhas de drenagem interna e compactação inadequada podem atuar como gatilho. É fundamental considerar também o risco de sismos induzidos pela própria atividade de mineração e pela redistribuição de tensões no maciço rochoso devido ao avanço de cavas vizinhas, um fator frequentemente negligenciado em complexos minerários ativos. Já o mecanismo de *strain-softening* ocorre quando o material perde resistência com a deformação progressiva após o pico, favorecendo rupturas que se propagam mesmo sem aumento adicional de carga. Em pilhas altas, esses mecanismos podem gerar escorregamentos rápidos com grande mobilidade local. Embora, em geral, o alcance espacial do dano seja menor que o de grandes barragens, pode ser severo se a pilha estiver próxima a comunidades, infraestruturas ou drenagens naturais.

A ausência de um grande reservatório de água pode, paradoxalmente, levar a uma falsa sensação de segurança entre operadores e comunidades, potencialmente reduzindo a vigilância e a urgência na manutenção e no monitoramento, embora os riscos geotécnicos intrínsecos permaneçam altos. **Essa falsa sensação de segurança pode levar à postergação de estudos de cenários climáticos futuros para fases operacionais, violando o Princípio da Precaução e o requisito de Dever de Cuidado (*Duty of Care*) inerente a grandes estruturas geotécnicas.**

**Portanto, a disposição em pilhas representa, em muitos contextos, uma alternativa com vantagens em relação a barragens hidráulicas, mas não é intrinsecamente isenta de risco. Trata-se de uma solução cuja segurança depende de engenharia de alto nível, dados geotécnicos robustos, projeto detalhado e atualizado com as normas vigentes, controle construtivo rigoroso, operação disciplinada com atenção aos estados de umidade e sucção, manutenção contínua e planejamento de fechamento e pós-fechamento com horizonte multidecadal, incorporando explicitamente cenários de chuvas mais intensas e variabilidade climática atual e futura.**

A implementação de um Plano de Segurança de Estrutura de Mineração (PSEM) com instrumentação em tempo real e gatilhos de ação claros, conforme exigido pela nova regulamentação, é um dos componentes essenciais dessa segurança.

Sem todos os requisitos e cuidados acima mencionados, pilhas também podem falhar e gerar danos ambientais e sociais relevantes.

### 3. Conclusão

As respostas aos quesitos demonstram, de forma concatenada e tecnicamente embasada, uma série de inconsistências que podem ser consideradas graves entre os compromissos públicos de governança climática assumidos pela Samarco e a prática de projeto apresentada no licenciamento do "Projeto Longo Prazo".

Conclui-se que o empreendimento foi concebido com base em premissas hidrológicas obsoletas, ancoradas em séries históricas que terminam em 2010 e que ignoram a intensificação dos eventos extremos já observada e projetada pela ciência climática contemporânea.

A ausência de modelagem climática prospectiva específica para o período de operação (a partir de 2029) configura uma violação aos requisitos do GISTM e do TCFD, gera uma falsa percepção de segurança e representa uma potencial quebra do dever de cuidado (*duty of care*) e do princípio da precaução.

Portanto, para que o projeto seja considerado conforme aos padrões internacionais que a própria empresa afirma seguir, é imperativa a realização de modelagens climáticas futuras e a consequente revisão integral dos cálculos, dimensionamentos e planos de segurança das estruturas de disposição de rejeitos e estéreis.

Informações mais detalhadas sobre diversos dos itens abordados no presente documento podem ser encontradas no documento FPSDF-NT-13-2026<sup>10</sup> do Instituto Fórum Permanente São Francisco.

Belo Horizonte, 06 de fevereiro de 2026

Euler de Carvalho Cruz  
Engenheiro – CREA/MG nº 18.738

Júlio Cesar Dutra Grillo  
Engenheiro – CREA/MG nº 15.133

**Anexo 1: ver abaixo.**

---

<sup>10</sup> NT-13-2026 (disponível em: <https://www.forumsaofrancisco.eco.br/biblioteca/notas-tecnicas/1>)

## ANEXO 1

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Aumento da Intensidade e da Frequência das Chuvas Devido às Mudanças Climáticas**

ACERVO DIGITAL UFPR. *Índices de extremos de precipitação no Brasil: clima presente e projeções futuras em cenários de mudanças climáticas*. Dissertação (Mestrado), UFPR, 2024. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/96649> Acesso em: 2 fev. 2026.

Resumo: Estudos regionais no Brasil indicam que índices climáticos de extremos comparados entre histórico e cenários futuros de CMIP6 mostram de variabilidade dependendo da região do Brasil.

CONCEIÇÃO, T.F.; WANDERLEY, H.S. *Precipitação extrema para os cenários atual e futuros de mudanças climáticas para a cidade do Rio de Janeiro*. Revista Brasileira de Climatologia, 2025. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/19304> Acesso em: 2 fev. 2026.

Resumo: Os índices de extremos de precipitação projetados para o século XXI mostram aumento de eventos intensos sob cenários SSP4.5 e SSP8.5 em comparação com históricos, indicando que extrema futura pode superar designações baseadas apenas em séries históricas.

DALAGNOL, Ricardo; GRAMCIANINOV, Carolina B.; CRESPO, Natália M.; LUIZ, Rafael; CHIQUETTO, Julio B.; MARQUES, Márcia T. A.; NETO, Giovanni D.; DE ABREU, Rafael C.; LI, Sihan; LOTT, Fraser C.; ANDERSON, Liana O.; SPARROW, Sarah. *Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: Can we blame climate change?* Climate Resilience and Sustainability, v. 1, n. 1, p. e15, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/cli2.15>. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cli2.15>. Acesso em: [inserir data de acesso]. Acesso em: 5 fev. 2026.

Resumo: O estudo conclui que o evento de chuva extrema em Minas Gerais em janeiro de 2020 foi tornado mais provável por mais de 70 % devido às mudanças climáticas induzidas pelo homem, destacando a necessidade urgente de planejamento e adaptação estratégica diante de eventos extremos que se tornam mais frequentes e intensos com o aquecimento global.

DEGAETANO, A.T.; et al. *Future projections of extreme precipitation intensity based on climate model downscaling and IDF curves*. ScienceDirect, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405880716300516> Acesso em: 2 fev. 2026.

Resumo: Projeções de mudanças climáticas indicam aumento de 10 % a 30 % na intensidade de precipitações extremas para períodos de retorno como 100 anos, mostrando que valores históricos subestimam extremos futuros.

IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. MASSON-DELMOTTE, V. et al. (eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2021. Chapter 11: Weather and Climate Extreme Events in a

Changing Climate. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-11/>. Acesso em: 26 jan. 2026. Acesso em: 8 fev. 2026.

Resumo: Esse relatório afirma com alta confiança que a frequência e a intensidade dos eventos de precipitação pesada aumentaram desde a década de 1950 na maior parte das áreas terrestres.

MARTEL, Jean-Luc; MAILHOT, Alain; BRISSETTE, François. Global and regional projected changes in 100-yr sub-daily, daily, and multiday precipitation extremes estimated from three large ensembles of climate simulations. *Journal of Climate*, v. 33, n. 3, p. 1089–1103, 2020. DOI: 10.1175/JCLI-D-18-0764.1. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0764.1>. Acesso em: 8 fev. 2026. Acesso em: 30 jan. 2026.

Resumo: O estudo mostra que eventos de precipitação extrema associados a TR de 100 anos tendem a aumentar significativamente em intensidade e frequência em cenários de aquecimento climático, indicando que estimativas baseadas apenas em séries históricas subestimam extremos futuros.

PAPALEXIOU, Simon Michael; MONTANARI, Alberto. Global and regional increase of precipitation extremes under global warming. *Nature Communications*, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 1-10, 2019. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018WR024067>. Acesso em: 2 fev. 2026.

Resumo: Esse estudo demonstra um aumento significativo na intensidade das chuvas extremas diárias em escala global. Ele alerta diretamente que o planejamento de infraestruturas (como pilhas de mineração) não pode mais confiar na premissa de que o clima é estável.

ZEHNER, K.E.; et al. *Projected changes in rare extreme precipitation design values due to global warming*. (preprint / ResearchGate), 2025. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/391184926\\_Projected\\_changes\\_in\\_rare\\_extreme\\_precipitation\\_design\\_values\\_in\\_the\\_United\\_States\\_due\\_to\\_global\\_warming](https://www.researchgate.net/publication/391184926_Projected_changes_in_rare_extreme_precipitation_design_values_in_the_United_States_due_to_global_warming) Acesso em: 29 jan. 2026.

Resumo: Simulações de modelos climáticos globais indicam que valores de chuva extrema projetados para futuro quente serão maiores do que os obtidos a partir de séries históricas, e que estimativas baseadas apenas em dados históricos podem subestimar extremos futuros e levar à falha de infraestruturas.

## Conclusão

A literatura científica disponível mostra de forma consistente que valores de precipitação extrema projetados pelos cenários climáticos futuros (baseados em modelos do IPCC) tendem a exceder significativamente os extremos estimados a partir de séries históricas.

Portanto, o uso exclusivo de valores de precipitação baseados em séries históricas para projetar PMP e tempos de retorno (TR) não é suficiente para corresponder ou superar as projeções de extremos sob mudanças climáticas.

---