

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



Deslizamento da Pilha Cachoeirinha da Mina Pau Branco, da Vallourec, devido às chuvas intensas (209 mm em 24 horas) do dia 8 de janeiro de 2022

Fonte: <https://observatoriodaminerao.com.br/exclusivo-estrutura-da-vallourec-que-cedeu-em-mg-teve-reuniao-extraordinaria-licenciamento-expresso-e-alertas-de-ambientalistas-em-sua-ampliacao/>

0	PRIMEIRA EMISSÃO	22/01/2026	ECC	SSPF	JCG
Rev.	Descrição	Data	Elaborado	Verificado 1	Verificado 2
PROJETO/ÁREA EVENTOS EXTREMOS	TEMA/SÍTIO ÁREAS DE MINERAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO EE-AM-NT-12			REV. 0
GRUPO COMITÊ TÉCNICO	SETOR ENGENHARIA	DENOMINAÇÃO Consideração das Mudanças Climáticas em Minerações e o Exemplo da BHP			FOLHA 1/45





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



1	Resumo Executivo	6
2	Conclusões	7
3	Objetivo	8
4	Introdução	8
5	A Hipótese de Estacionariedade Hidrológica	9
6	Dimensionamento de Sistemas de Drenagem de Pilhas: Passado x Presente e Futuro	10
6.1	A Metodologia Tradicional.....	10
6.2	Limitação Conceitual dos Critérios Baseados em TR Elevados	11
6.3	Limitação conceitual do uso da PMP	12
6.4	Evidências empíricas em Minas Gerais e no Brasil	12
6.5	O falso senso de segurança dos métodos tradicionais	12
6.6	Estado da arte internacional e mudança de paradigma	12
6.7	Implicações para projetos, licenciamento e responsabilidade.....	13
6.8	Síntese.....	13
6.9	Referências.....	13
7	Limitações dos Cálculos Hidrológicos Tradicionais e a Necessidade de Incorporação da Erosividade das Chuvas nos Projetos de Barragens e Pilhas de Mineração	14
8	Respostas Internacionais em Andamento	16
8.1	Adoção de "Fatores de Segurança Climática" ou "Fatores de Incerteza".....	16
8.2	Atualização de Dados Pluviométricos e Curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência).....	16
8.3	Mudança de Paradigma: Do "Tempo de Retorno" Fixo para a "Análise de Tolerância ao Risco" ...	17
8.4	Ênfase Renovada na "Drenagem Robusta" e na "Monitoração Proativa".....	17
9	Políticas Internas da BHP sobre Mudanças Climáticas e Incorporação de Projeções Climáticas em Projetos e Avaliações de Segurança	17
9.1	Posições e Padrões Corporativos que Exigem Incorporação de Dados Climáticos	17
9.1.1	Climate Change Global Standard — Requisito Interno Obrigatório.....	17
9.1.2	Uso de Dados Climáticos e Cenários Internos ("Climate Hazard Dataset")	29
9.2	Políticas Específicas e Compromissos Corporativos	29
9.2.1	Climate Transition Action Plan (CTAP).....	29
9.2.2	Declaração de Política de Armazenamento de Rejeitos.....	30
9.2.3	Relatórios Corporativos (Annual Reports).....	30
9.3	Exigências e Normas Internas Aplicáveis	30
9.3.1	Climate Change Global Standard	30
9.4	Governança e Revisão de Planos de Ativos	31



9.5	Conclusão – Políticas Internas Relacionadas a Projeções Climáticas	31
9.6	Links de Referência	31
10	Incorporação Obrigatória de Projeções de Mudanças Climáticas: Comparação Entre BHP, Vale, ISSB, TCFD E GISTM	32
10.1	Contextualização	32
10.2	Quadro Comparativo – Clima e Engenharia de Barragens e Pilhas	32
10.3	Análise Comparativa Aplicada à Engenharia de Barragens e Pilhas	33
10.3.1	BHP – Clima tratado como variável de projeto e de risco físico	33
10.3.2	Vale – Reconhecimento estratégico, mas lacuna técnica pública	33
10.3.3	ISSB (IFRS S2) e TCFD – Base normativa internacional.....	33
10.3.4	GISTM – Segurança de rejeitos sob riscos climáticos.....	34
10.3.5	Implicações técnicas diretas para projetos no Brasil	34
10.4	Referências e documentos consultados	34
11	Requisitos do GISTM Relacionados às Mudanças Climáticas e suas Implicações Normativas para a Engenharia de Barragens de Rejeitos e Pilhas de Mineração	35
11.1	Princípios e Requisitos do GISTM.....	35
11.2	Aplicação à Engenharia (Hidrologia, Drenagem e Geotecnia)	36
11.2.1	Uso obrigatório de projeções climáticas em estudos hidrológicos.....	36
11.2.2	Superação do paradigma da estacionariedade hidrológica	36
11.2.3	Dimensionamento sob condições futuras plausíveis	37
11.3	Obrigações normativas para revisão e reavaliação ao longo do ciclo de vida.....	37
11.4	Síntese normativa do GISTM.....	37
12	Mapeamento de conflitos técnicos com normas brasileiras atuais	38
12.1	Hipótese implícita de estacionariedade hidrológica.....	38
12.2	Interpretação equivocada de TR elevados como critério climático	38
12.3	Uso da PMP sem ajuste climático	38
12.4	Ausência de abordagem baseada em risco climático	38
12.5	Falta de integração entre drenagem e estabilidade geotécnica sob clima futuro	38
12.6	Ausência de exigência de revisões periódicas com base climática.....	39
12.7	Transparência limitada das análises	39
12.8	Síntese.....	39
13	Relatórios de Disclosure Climático	39
13.1	Principais Frameworks e Normas (2025)	39
13.2	O que deve conter um Relatório de Disclosure Climático	40
13.3	Panorama no Brasil (2025-2027)	40
13.4	Vantagens do Disclosure	40



14 Diretrizes para a Incorporação dos Efeitos das Mudanças Climáticas em Projetos, Operações e Fiscalização de Instalações de Mineração	40
14.1 Mudança de Paradigma: Do Projeto Estacionário à Engenharia Baseada em Risco Climático	40
14.2 Princípios Fundamentais para Consideração das Mudanças Climáticas	41
14.3 Avaliação de Perigos Climáticos Físicos	41
14.4 Uso Obrigatório de Projeções Climáticas Futuras.....	42
14.5 Reavaliação de Critérios Hidrológicos e de Drenagem	42
14.6 Análises Geotécnicas Integradas aos Cenários Climáticos.....	43
14.7 Avaliação de Risco e Consequências.....	43
14.8 Planos de Adaptação Climática em Nível de Ativo	43
14.9 Monitoramento, Instrumentação e Gatilhos de Ação	43
14.10 Revisões de Segurança, Auditorias e PSAR.....	44
14.11 Transparência e Acesso Público às Informações	44
14.12 Papel dos Órgãos Públicos de Licenciamento e Fiscalização.....	44
14.13 Responsabilidade Corporativa, Governança e Financiamento.....	45
14.14 Síntese.....	45

Consideração das Mudanças Climáticas em Minerações e o Exemplo da BHP

1 Resumo Executivo

As mudanças climáticas configuram, atualmente, um dos principais fatores de risco para a segurança de instalações de mineração, em especial barragens de rejeitos, pilhas de estéréis e seus sistemas de drenagem associados. Evidências científicas consolidadas indicam um aumento significativo na frequência, na intensidade, na concentração temporal e na agressividade física das precipitações extremas, além da ocorrência mais frequente de períodos prolongados de estiagem seguidos por chuvas intensas. Esses fenômenos afetam diretamente os mecanismos de escoamento superficial, drenagem interna, erosão hídrica, percolação, pressões neutras e estabilidade geotécnica dessas estruturas.

Este documento demonstra que os critérios tradicionalmente adotados no Brasil para o dimensionamento hidrológico e hidráulico de instalações de mineração — baseados predominantemente em séries históricas estacionárias, tempos de retorno elevados (TR) e na Precipitação Máxima Provável (PMP) — tornaram-se conceitualmente insuficientes para representar os riscos reais associados ao clima atual e futuro. Tais abordagens não capturam de forma adequada a não estacionariedade hidrológica, a intensificação dos eventos extremos, nem a erosividade das chuvas, variável física crítica diretamente relacionada aos mecanismos de falha por erosão, degradação de sistemas de drenagem e instabilização progressiva de maciços.

A Nota Técnica evidencia que a erosividade das chuvas constitui um parâmetro hidrogeotécnico distinto da intensidade pluviométrica e atualmente negligenciado nos projetos de barragens e pilhas de mineração. Chuvas com volumes estatisticamente compatíveis com séries históricas podem apresentar, no contexto das mudanças climáticas, energia cinética significativamente superior, resultando em processos erosivos severos, obstrução acelerada de dispositivos de drenagem, formação de ravinas e voçorocas, erosão regressiva e comprometimento da estabilidade global das estruturas.

No âmbito internacional, observa-se uma mudança clara de paradigma. Normas, diretrizes técnicas e políticas corporativas de empresas líderes do setor mineral — com destaque para a BHP — já exigem a incorporação explícita de projeções climáticas futuras, análises de risco baseadas em cenários, testes de resiliência e revisões periódicas dos critérios de projeto ao longo do ciclo de vida dos ativos. O *Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM)*, assim como frameworks internacionais de *disclosure* climático (ISSB/IFRS S2 e TCFD), reforçam a obrigatoriedade de compreender, monitorar e gerenciar riscos climáticos físicos, ainda que não prescrevam metodologias hidrológicas detalhadas.

Nesse contexto, este documento sustenta que a incorporação explícita da erosividade das chuvas nos cálculos e projetos de barragens e pilhas de mineração representa uma evolução necessária do estado da arte da engenharia, e não um excesso de conservadorismo. Trata-se de uma resposta técnica coerente à realidade física dos eventos extremos observados e projetados, alinhada aos princípios de precaução, diligência técnica, segurança de longo prazo e responsabilidade socioambiental.

Por fim, a Nota Técnica defende que análises de risco, critérios de projeto e avaliações de segurança dessas estruturas devem ser públicas, transparentes e auditáveis, de modo a permitir

o controle social, o aprimoramento contínuo dos padrões técnicos e a efetiva proteção da vida humana, do meio ambiente e do patrimônio público.

2 Conclusões

As conclusões desta Nota Técnica podem ser sintetizadas nos seguintes pontos fundamentais:

1. As mudanças climáticas invalidam a premissa clássica da estacionariedade hidrológica, amplamente utilizada no dimensionamento de sistemas de drenagem e na avaliação da estabilidade de barragens de rejeitos e pilhas de mineração. A extrapolação estatística de séries históricas passadas não representa, de forma confiável, as condições hidrológicas futuras.
2. O aumento da frequência, da intensidade, da concentração temporal e da agressividade física das chuvas extremas eleva substancialmente os riscos de:
 - falhas progressivas e súbitas em sistemas de drenagem superficial e interna;
 - saturação excessiva de maciços e elevação de pressões neutras;
 - erosão regressiva, erosão interna e perda de integridade de taludes;
 - instabilidades geotécnicas com potencial de ruptura de grande magnitude.
3. Os critérios hidrológicos tradicionais baseados exclusivamente em tempos de retorno elevados ou na PMP, quando não ajustados por projeções climáticas e análises prospectivas, geram um falso senso de segurança técnica e jurídica, pois não consideram tendências futuras, eventos compostos e mecanismos físicos de intensificação das chuvas.
4. A erosividade das chuvas constitui uma variável física independente da intensidade pluviométrica média e desempenha papel central nos mecanismos de falha observados em estruturas de mineração. Sua não consideração nos critérios normativos atuais representa uma lacuna técnica objetiva frente ao estado atual do conhecimento científico e da prática internacional.
5. Práticas internacionais e políticas corporativas avançadas — como as adotadas pela BHP — demonstram que a incorporação de projeções climáticas regionais, cenários futuros, análises de risco baseadas em desempenho e revisões periódicas dos critérios de projeto é tecnicamente viável e já constitui requisito obrigatório de governança e engenharia.
6. Projetos, operações e revisões de segurança que não considerem explicitamente os efeitos das mudanças climáticas, incluindo a erosividade das chuvas, configuram falha técnica relevante e incompatível com o estado da arte da engenharia geotécnica e da gestão de riscos.
7. A transparência técnica, por meio da disponibilização pública de análises de risco, estudos hidrológicos e avaliações de estabilidade, é condição essencial para o controle social, a prevenção de desastres e a elevação contínua dos padrões de segurança no setor mineral.

Diante do exposto, conclui-se que a consideração sistemática, documentada, auditável e integrada dos riscos climáticos — incluindo a erosividade das chuvas — deve ser tratada como requisito essencial e obrigatório em todas as fases do ciclo de vida das instalações de mineração.

3 Objetivo

O objetivo desta Nota Técnica é demonstrar, de forma técnica, fundamentada e alinhada ao estado da arte internacional, que os projetos, operações e revisões de segurança de barragens de rejeitos, pilhas de estéreis e seus sistemas de drenagem associados devem, obrigatoriamente:

- incorporar os efeitos das mudanças climáticas, em especial a intensificação dos eventos extremos de precipitação, a não estacionariedade hidrológica e o aumento da erosividade das chuvas;
- superar abordagens baseadas exclusivamente em séries históricas estacionárias, tempos de retorno elevados e PMP tradicional, adotando análises prospectivas, cenários climáticos futuros e testes de resiliência;
- integrar a erosividade das chuvas como variável explícita nos processos de dimensionamento hidráulico, proteção contra erosão, estabilidade geotécnica e análises de risco;
- adotar critérios de engenharia compatíveis com as consequências potenciais de falha dessas estruturas, ao longo de todo o seu ciclo de vida, incluindo fases de operação e pós-fechamento; e
- assegurar que as análises técnicas e decisões de projeto sejam transparentes, auditáveis e acessíveis à sociedade.

Busca-se, assim, contribuir para a elevação dos padrões de segurança no setor mineral, para a prevenção de desastres socioambientais e para o fortalecimento da governança pública e corporativa, alinhando a engenharia de mineração brasileira às melhores práticas internacionais e às exigências impostas pela realidade física das mudanças climáticas.

4 Introdução

As atividades de mineração envolvem a construção e operação de estruturas de grande porte e elevado potencial de risco, como barragens de rejeitos, pilhas de estéreis e de rejeitos, diques, sistemas de contenção e complexas redes de drenagem superficial e interna. Historicamente, o projeto dessas estruturas foi baseado em critérios hidrológicos e geotécnicos que assumiam a estabilidade estatística do clima ao longo do tempo.

Entretanto, as mudanças climáticas vêm alterando de forma profunda esse paradigma. Observa-se, em diversas regiões do mundo e do Brasil, o aumento expressivo de eventos extremos de precipitação, com volumes concentrados em curtos períodos, capazes de exceder rapidamente as capacidades de projeto de sistemas de drenagem, além de agravar processos erosivos, de infiltração e de instabilização de taludes.

Paralelamente, períodos prolongados de estiagem afetam o comportamento hidrogeológico dos maciços, alteram condições de hídricas, promovem fissuração e, quando seguidos por chuvas intensas, potencializam mecanismos de falha. Esses fatores tornam as instalações de disposição de rejeitos e estéreis particularmente vulneráveis aos riscos físicos associados às mudanças climáticas.

Nesse contexto, torna-se imperativo que a engenharia de mineração adote uma abordagem baseada em risco, resiliência e adaptação climática, alinhada às melhores práticas internacionais e às exigências emergentes de governança ambiental. **A incorporação de projeções climáticas, análises de sensibilidade, cenários extremos e mecanismos robustos de drenagem e monitoramento não constitui mais uma opção técnica, mas uma exigência ética, social e profissional.**

Este documento se insere nesse esforço, ao demonstrar que a consideração dos efeitos das mudanças climáticas nos projetos de mineração é uma condição indispensável para a proteção da vida, do meio ambiente e do interesse público.

5 A Hipótese de Estacionariedade Hidrológica

Estacionariedade hidrológica é o pressuposto segundo o qual as propriedades estatísticas fundamentais de uma série temporal de dados hidrológicos não se alteram de forma sistemática ao longo do tempo, mantendo um comportamento estatisticamente previsível. Em séries consideradas estacionárias, admite-se que os processos físicos que governam variáveis como precipitação e vazão permanecem essencialmente inalterados.

Quando uma série histórica de dados hidrológicos é tratada como estacionária, torna-se possível a aplicação de métodos estatísticos clássicos, como análises de frequência e estimativas de cheias e secas associadas a determinados tempos de retorno, partindo-se da premissa de que o comportamento estatístico futuro será semelhante ao observado no passado.

Esse princípio é frequentemente sintetizado na máxima:

“Para conhecer o futuro, basta conhecer o passado.”

Tal abordagem foi amplamente utilizada, por décadas, no planejamento e na gestão de recursos hídricos e no dimensionamento de infraestruturas hidráulicas. No entanto, essa premissa vem sendo progressivamente questionada em razão das mudanças climáticas e das alterações antrópicas no uso e ocupação do solo, como urbanização, desmatamento e mudanças na cobertura vegetal, que introduzem modificações sistemáticas nos regimes hidrológicos.

Nesse contexto, torna-se necessário empregar testes estatísticos de estacionariedade, como o Teste de Dickey-Fuller aumentado (ADF) e o teste KPSS, para identificar possíveis quebras de regime e tendências persistentes. O reconhecimento da não estacionariedade passa a ser etapa fundamental para uma modelagem hidrológica mais realista.

Adicionalmente, observa-se uma crescente incorporação de projeções climáticas provenientes de modelos globais e regionais, como aqueles utilizados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), nas análises hidrológicas aplicadas à engenharia. Essas projeções têm sido integradas a modelos chuva-vazão e a estudos de segurança de barragens e sistemas de drenagem, permitindo avaliar a vulnerabilidade de estruturas existentes e a resiliência da infraestrutura hídrica frente a eventos extremos projetados para cenários futuros.

Essas abordagens podem ser complementadas por técnicas avançadas de modelagem estatística e computacional, desde que utilizadas de forma criteriosa e fundamentada fisicamente, com o objetivo de reduzir incertezas e apoiar a tomada de decisão.

Uma constatação amplamente aceita na literatura técnica atual é que o futuro não será estatisticamente equivalente ao passado em termos hidrológicos. Diante desse cenário, torna-se imperativo adaptar os métodos de engenharia, incorporando análises prospectivas, gestão adaptativa e critérios de projeto mais conservadores, de modo a alcançar soluções mais resilientes e menos vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas, combinando medidas estruturais e não estruturais.

Com base em séries históricas de dados hidrológicos, como vazões e precipitações — frequentemente limitadas a períodos de 20 a 30 anos, podendo alcançar 50 ou 80 anos em casos excepcionais — os métodos estatísticos tradicionais partem do **pressuposto da estacionariedade**. Esse pressuposto admite que as propriedades estatísticas fundamentais da série temporal permanecem invariantes ao longo do tempo, permitindo a extrapolação do comportamento observado no passado para o futuro.

Em termos formais, a estacionariedade implica que:

- a **média de longo prazo** da série histórica permanece constante ao longo do tempo;
- a **variância e a estrutura de variabilidade** em torno dessa média também permanecem constantes;
- não existem mudanças sistemáticas persistentes nas distribuições de probabilidade dos eventos extremos.

Na prática, mesmo quando análises estatísticas detectam tendências em séries históricas relativamente curtas, tais tendências são, em geral, tratadas como flutuações estatísticas ou extrapoladas de forma simplificada, sem garantia de validade física ou climática para horizontes futuros longos.

A realidade das mudanças climáticas invalida essas premissas, ao introduzir alterações sistemáticas e não estacionárias nos regimes de precipitação e vazão, afetando médias, variâncias, frequências e magnitudes de eventos extremos. Dessa forma, a simples extrapolação estatística de séries históricas, baseada no pressuposto de estacionariedade, torna-se tecnicamente inadequada para representar condições hidrológicas futuras.

Em resumo, a estacionariedade hidrológica é um pressuposto fundamental para a hidrologia clássica, mas sua validade é questionada pelas mudanças ambientais, exigindo uma análise cuidadosa para garantir a precisão na gestão da água e a segurança de estruturas tais como barragens e pilhas de mineração.

6 Dimensionamento de Sistemas de Drenagem de Pilhas: Passado x Presente e Futuro

6.1 A Metodologia Tradicional

A filosofia de dimensionamento hidrológico dos sistemas de drenagem de pilhas de mineração, conforme refletida nas normas brasileiras ABNT NBR 13028-3:2025 e ABNT NBR 13029:2024, bem como em suas versões anteriores baseia-se na análise de consequências associada ao princípio da “cascata controlada”, conceito análogo a uma estratégia de defesa em camadas.

Esse modelo hierárquico estabelece duas linhas de defesa principais, com funções, critérios de projeto e níveis de confiabilidade distintos. A primeira e principal linha de defesa é constituída pelos canais periféricos, dimensionados para eventos hidrológicos extremos, usualmente representados por tempos de retorno elevados (por exemplo, TR = 10.000 anos) ou por precipitações máximas prováveis (PMP), determinadas segundo metodologias tradicionais.

Nessa abordagem, o objetivo explícito dessa primeira linha de defesa é minimizar a probabilidade de falha, reconhecendo-se que sua função crítica é desviar as vazões provenientes das bacias externas, impedindo que volumes significativamente elevados atinjam a estrutura principal, isto é, a pilha de mineração. Sob a ótica da hipótese adotada, a falha desses dispositivos é considerada de consequência potencialmente catastrófica, podendo resultar em erosão na base da pilha, instabilidade global, inundações a jusante e severos impactos ambientais e sociais.

A segunda linha de defesa é composta pelos dispositivos de drenagem interna, tais como canaletas de topo, de berma, de acesso e descidas de água, normalmente dimensionados para tempos de retorno menores (por exemplo, TR = 100 anos). Esses dispositivos são projetados para conduzir essencialmente a precipitação incidente diretamente sobre a pilha, pressupondo que os canais periféricos tenham cumprido integralmente sua função de desvio das vazões externas.

Trata-se de uma **filosofia de projeto amplamente consolidada no período anterior ao reconhecimento explícito dos efeitos das mudanças climáticas, na qual se admite, de forma implícita, a validade do pressuposto da estacionariedade hidrológica.**

A aceitação de que dispositivos internos possam transbordar em eventos superiores ao de projeto decorre de uma avaliação de risco tradicional, que busca equilibrar probabilidade e consequência. Em geral, considera-se que o transbordamento de uma canaleta interna resulta predominantemente em erosão superficial localizada, classificada como um dano reparável por meio de intervenções de manutenção, sem comprometer, **a princípio**, a estabilidade global da estrutura.

Em contraste, a falha de um canal periférico é tratada como um evento de consequência inaceitável, por seu potencial de desencadear processos erosivos de grande escala, perda de controle ambiental e instabilidade estrutural significativa.

Assim, a diferença nos critérios de dimensionamento entre canais periféricos e dispositivos internos reflete uma otimização técnica e econômica, fundamentada nos princípios clássicos da engenharia de risco. Aplicar critérios máximos uniformemente a todos os elementos do sistema poderia resultar em projetos excessivamente robustos, com aumento significativo de custos.

A estratégia adotada nas normas e nos estudos ambientais busca, portanto, segregar o risco considerado gerenciável — associado a danos localizados e reparáveis — do risco de perda de controle ambiental e colapso estrutural, procurando assegurar robustez máxima onde as consequências são críticas e eficiência onde as falhas são entendidas — **sob a ótica tradicional** — como controláveis.

Contudo, essa filosofia de projeto repousa sobre premissas fundamentais que merecem reavaliação à luz do conhecimento atual:

- pressupõe-se que os volumes e intensidades de chuva futuros não excederão aqueles estimados estatisticamente a partir de dados históricos, e
- que todos os dispositivos de drenagem manterão, ao longo de décadas ou mesmo séculos, o desempenho e a confiabilidade previstos em projeto.

Diante das evidências associadas às mudanças climáticas — caracterizadas pela intensificação e maior frequência de eventos extremos — e da experiência prática de degradação progressiva de sistemas de drenagem ao longo do tempo, tais premissas tornam-se crescentemente questionáveis, indicando a necessidade de revisão dessa filosofia de dimensionamento.

6.2 Limitação Conceitual dos Critérios Baseados em TR Elevados

O tempo de retorno, independentemente de seu valor numérico (seja 100, 1.000 ou 10.000 anos), **é uma métrica estatística derivada de séries históricas observadas**. Mesmo quando extrapolado por métodos estatísticos, o TR pressupõe implicitamente que:

- o regime climático é estacionário;
- os processos atmosféricos que geraram os eventos históricos extremos permanecem inalterados;
- não há tendência de intensificação sistemática dos eventos extremos ao longo do tempo.

Essas premissas já não são válidas.

Relatórios do IPCC (AR5 e AR6) indicam, com elevado grau de confiança, que o aquecimento global aumenta a capacidade da atmosfera de reter vapor d'água, intensificando eventos de precipitação extrema. Esse efeito termodinâmico implica que eventos com determinada probabilidade estatística no passado tendem a ocorrer com maior frequência e maior intensidade no futuro, invalidando a interpretação clássica dos tempos de retorno.

Assim, um evento calculado como TR = 10.000 anos com base em dados históricos não representa, necessariamente, um evento raro sob condições climáticas futuras.

6.3 Limitação conceitual do uso da PMP

A Precipitação Máxima Provável (PMP) é frequentemente apresentada como um limite físico absoluto, o que reforça a percepção de que sua adoção elimina a necessidade de considerar mudanças climáticas. Essa percepção é tecnicamente incorreta.

A PMP:

- é estimada a partir de registros históricos máximos;
- depende de relações empíricas e modelos calibrados com o clima observado;
- reflete condições atmosféricas conhecidas ou inferidas do passado.

Diversos estudos recentes indicam que **a PMP não é um valor imutável**, podendo ser superada em um clima mais quente, no qual os mecanismos de intensificação das chuvas convectivas e orográficas são ampliados. Organismos internacionais como a WMO e comitês técnicos do ICOLD reconhecem que **estimativas tradicionais de PMP podem subestimar extremos futuros**, especialmente para estruturas com vida útil longa.

Portanto, **o uso da PMP tradicional não garante, por si só, a consideração dos efeitos das mudanças climáticas.**

6.4 Evidências empíricas em Minas Gerais e no Brasil

Eventos recentes em Minas Gerais demonstram de forma inequívoca a falência prática do paradigma estacionário. Registros de precipitações extremas observadas nas últimas décadas, incluindo eventos superiores a 200 mm em 24 horas, superaram valores utilizados historicamente em projetos hidrológicos e ocorreram em regiões onde tais magnitudes eram consideradas altamente improváveis.

Esses eventos não apenas excederam capacidades hidráulicas de sistemas de drenagem, como também desencadearam **falhas progressivas**, erosões regressivas, saturação de maciços e desestabilizações geotécnicas em pilhas, diques e barragens, evidenciando que **os critérios tradicionais não são suficientes para garantir segurança no contexto atual.**

6.5 O falso senso de segurança dos métodos tradicionais

O uso de TR = 10.000 anos ou PMP, quando desvinculado de análises climáticas prospectivas, cria um falso senso de segurança técnica e jurídica. Na prática, tais critérios:

- não avaliam tendências de intensificação futura;
- não consideram mudanças na duração, na concentração temporal e na erosividade das chuvas;
- não avaliam eventos compostos (ex.: seca prolongada seguida de chuva extrema);
- não incorporam incertezas climáticas de longo prazo.

Consequentemente, projetos baseados exclusivamente nesses critérios **transferem riscos significativos para as fases de operação, pós-fechamento e para a sociedade**, contrariando princípios de precaução e diligência técnica.

6.6 Estado da arte internacional e mudança de paradigma

Diretrizes internacionais contemporâneas, incluindo a GISTM (*Global Industry Standard on Tailings Management*), documentos do ICMM, guias da ANCOLD, da CDA e práticas corporativas de empresas globais como a BHP (ver análise mais completa à frente, no presente documento), convergem para a exigência de que:

- riscos físicos climáticos sejam explicitamente identificados;

- projeções climáticas futuras sejam incorporadas aos cálculos hidrológicos;
- múltiplos cenários sejam avaliados;
- análises de risco substituam abordagens determinísticas isoladas.

Essas diretrizes deixam claro que **TR elevados e PMP são apenas um ponto de partida**, e não um critério final de segurança.

6.7 Implicações para projetos, licenciamento e responsabilidade

Diante do exposto, conclui-se que:

- projetos de drenagem baseados exclusivamente em TR = 10.000 anos ou PMP, conforme tradicionalmente calculados, **não atendem ao estado da arte técnico-científico atual**;
- tais projetos **não consideram adequadamente os efeitos presentes e futuros das mudanças climáticas**;
- a aprovação e a manutenção de estruturas com base nesses critérios podem configurar **omissão técnica relevante**, com potenciais implicações administrativas, civis e penais.

6.8 Síntese

O uso de critérios como TR = 10.000 anos ou PMP **não é sinônimo de consideração das mudanças climáticas**. Sem a incorporação explícita de projeções climáticas futuras, análises de sensibilidade, cenários extremos e avaliações de risco, esses critérios permanecem ancorados em um passado hidrológico que já não representa o presente e, muito menos, o futuro.

Assim, para fins de segurança, licenciamento ambiental e proteção do interesse público, **os métodos tradicionais devem ser considerados insuficientes**, exigindo-se uma revisão profunda do paradigma de dimensionamento de sistemas de drenagem de pilhas de mineração.

6.9 Referências

ANCOLD – Australian National Committee on Large Dams.

ANCOLD. *Guidelines on Tailings Dams – Planning, Design, Construction, Operation and Closure*. Sydney: ANCOLD, 2019.

BHP Group Limited.

BHP. *Annual Report 2025*. Melbourne: BHP Group Limited, 2025.

ICMM – International Council on Mining and Metals.

ICMM. *Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM)*. London: ICMM, 2020. Disponível em: <https://www.icmm.com/>. Acesso em: 24/012026.

ICOLD – International Commission on Large Dams.

ICOLD. *Bulletin 148 – Selecting Seismic Parameters for Large Dams*. Paris: ICOLD, 2016.

ICOLD – International Commission on Large Dams.

ICOLD. *Bulletin 154 – Flood Evaluation and Dam Safety*. Paris: ICOLD, 2015.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC. *Sixth Assessment Report (AR6): Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 24/012026.

WMO – World Meteorological Organization.

WMO. *Guide to Hydrological Practices*. 6. ed. Geneva: World Meteorological Organization, 2008 (atualizações posteriores). Disponível em: <https://library.wmo.int/>. Acesso em: 24/012026.

WMO – World Meteorological Organization.

WMO. *Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP)*. Geneva: World

Meteorological Organization, WMO-No. 1045, 2009. Disponível em: <https://library.wmo.int/>. Acesso em: 24/012026.

7 Limitações dos Cálculos Hidrológicos Tradicionais e a Necessidade de Incorporação da Erosividade das Chuvas nos Projetos de Barragens e Pilhas de Mineração

Os cálculos hidrológicos tradicionalmente utilizados no dimensionamento de barragens de rejeitos, pilhas de estéreis e sistemas de drenagem associados à mineração baseiam-se, de forma predominante, na intensidade, duração e frequência estatística das precipitações. Esses cálculos utilizam parâmetros como tempos de retorno (TR), curvas intensidade–duração–frequência (IDF) e, para estruturas de maior criticidade, a Precipitação Máxima Provável (PMP), geralmente estimados a partir de séries históricas de dados pluviométricos.

Essa abordagem, consolidada ao longo de décadas e refletida em normas técnicas nacionais e internacionais, tem como objetivo principal estimar volumes precipitados e vazões de projeto, visando ao controle de cheias, ao desvio de águas pluviais e à prevenção de transbordamentos e galgamentos. No entanto, ela apresenta uma limitação conceitual fundamental: considera apenas a quantidade e a intensidade estatística da chuva, sem incorporar explicitamente a erosividade dos eventos pluviométricos.

A erosividade da chuva é um conceito físico distinto da simples intensidade pluviométrica. Trata-se da capacidade potencial da chuva de causar erosão, função não apenas da taxa de precipitação, mas também da energia cinética das gotas, do tamanho e da velocidade de impacto, da distribuição temporal intraevento, da duração efetiva da chuva intensa e da sequência de eventos. Esses fatores determinam o potencial da chuva em desagregar partículas, gerar escoamento superficial concentrado, mobilizar sedimentos e promover processos erosivos severos.

Na hidrologia aplicada à conservação do solo, a erosividade é formalmente reconhecida, por exemplo, no fator R da Equação Universal de Perda de Solo (USLE e suas derivações). Contudo, esse conceito não foi formalmente incorporado às normas de engenharia hidrológica de projeto de grandes estruturas, como barragens e pilhas de mineração, cuja ênfase histórica recaiu sobre volumes e vazões máximas. Apesar disso, a prática de engenharia mais avançada (state-of-the-art) em algumas jurisdições e empresas líderes já reconhece a necessidade de sua consideração em análises de risco específicas.

As curvas IDF tradicionais, embora relacionem intensidade, duração e frequência, representam intensidades médias associadas a probabilidades estatísticas, sem capturar a energia física do evento pluviométrico nem seu potencial erosivo. Da mesma forma, a PMP, mesmo quando estimada por métodos meteorológicos avançados, tem como foco a maximização do volume precipitado, não contemplando explicitamente a dinâmica erosiva associada ao impacto da chuva e ao escoamento superficial concentrado sobre taludes, bermas, canais e superfícies expostas.

Esse aspecto torna-se particularmente crítico em estruturas de mineração, nas quais:

- extensas áreas de solo exposto ou com cobertura artificial;
- taludes íngremes;
- dispositivos de drenagem superficiais lineares;
- e longos períodos de operação e pós-fechamento ampliam significativamente a sensibilidade à erosão hídrica.

A alta erosividade não gera apenas uma perda difusa de solo. Ela pode desencadear modos de falha progressivos e críticos para a segurança:

- Obstrução acelerada de canaletas e drenos pelo carreamento excessivo de sedimentos;
- Formação de ravinas e voçorocas que retrocedem e podem atingir a crista de taludes ou bermas;
- Erosão localizada na base de descidas de água e dissipadores de energia, comprometendo sua integridade estrutural; e
- Instabilidade de taludes induzida pela redução da resistência ao cisalhamento devido à saturação e remoção do material de cobertura.

Eventos recentes de chuva extrema em diversas regiões do mundo — incluindo o Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais — demonstram que chuvas com características físicas distintas das observadas no passado têm produzido níveis de erosão desproporcionais aos volumes precipitados. O evento ocorrido em 8 de janeiro de 2022, analisado na Nota Técnica NT-06-2022 do Fórum Permanente São Francisco, é um exemplo emblemático: ainda que os volumes e intensidades possam ser enquadrados estatisticamente, a erosividade excepcional da chuva resultou em processos erosivos severos, falhas em sistemas de drenagem e instabilidades localizadas, evidenciando uma lacuna nos critérios tradicionais de projeto.

Esses fenômenos estão diretamente associados às mudanças climáticas. Estudos climatológicos indicam que as alterações nos padrões de precipitação não se limitam a intensidade e frequência, mas também elevam o potencial erosivo (Fator R) das chuvas, devido a uma maior frequência de eventos convectivos intensos com gotas de maior diâmetro e energia cinética. Assim, mesmo chuvas com volumes estatisticamente equivalentes às do passado podem hoje apresentar capacidade destrutiva (erosiva) significativamente maior.

É importante destacar que:

- Normas técnicas brasileiras da ABNT, aplicáveis a barragens e pilhas de mineração, não mencionam explicitamente a erosividade da chuva como variável de dimensionamento;
- documentos corporativos e diretrizes públicas de grandes mineradoras, como BHP e Vale, abordam riscos climáticos de forma estratégica, mas não estabelecem critérios técnicos de projeto baseados em erosividade;
- frameworks internacionais como ISSB/IFRS S2 e TCFD tratam de riscos climáticos sob a ótica de governança e disclosure, não de metodologia hidrológica;
- o GISTM, embora reconheça a necessidade de considerar mudanças climáticas e eventos extremos, não prescreve parâmetros hidrológicos que incorporem explicitamente a erosividade da chuva.

Destaca-se, portanto, uma lacuna técnica objetiva entre a realidade física dos eventos extremos e os critérios normativos atuais. Enquanto normas como as da ABNT e diretrizes de projeto não a mencionam, e *frameworks* como o GISTM e o TCFD/ISSB focam em governança e na necessidade de considerar riscos climáticos sem prescrever métodos, a erosividade emerge como o próximo parâmetro hidrogeotécnico crítico a ser formalizado. Sua incorporação representa a evolução natural dessas próprias diretrizes rumo a uma gestão de risco verdadeiramente baseada na ciência física do clima.

À luz desse cenário, a incorporação da erosividade das chuvas como variável explícita de projeto em barragens de rejeitos, pilhas de estéreis e seus sistemas de drenagem representa uma evolução necessária da engenharia, e não um excesso de conservadorismo. Para superar a lacuna, a incorporação da erosividade deve evoluir de uma análise complementar para um componente integrado do processo de projeto e gestão de risco. Isso pode ser operacionalizado por meio de:

1. Cálculo do Fator R de Projeto: Desenvolvimento de curvas de Erosividade-Duração-Frequência (EDF), análogas às IDF, utilizando séries históricas e projeções climáticas para definir eventos de projeto com base no potencial erosivo.
2. Dimensionamento Baseado em Energia: Uso da energia cinética total dos eventos de projeto (derivada da erosividade) para dimensionar a robustez de revestimentos de taludes (*rip-rap*, geossintéticos), a capacidade de dissipação em bacias de amortecimento e a resistência à abrasão em canaletas.
3. Análise de Risco Específica: Inclusão da 'falha por erosão acelerada' como um cenário distinto nas análises de FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) e em modelos de árvore de falhas das estruturas.
4. Critérios de Aceitação Baseados em Desempenho: Estabelecimento de limites máximos toleráveis de perda de material ou profundidade de erosão para componentes críticos, verificados para os cenários de erosividade de projeto."

Em síntese, embora os métodos hidrológicos tradicionais continuem relevantes para estimar volumes e vazões, eles são insuficientes, por si só, para representar os riscos reais associados às chuvas extremas em um contexto de mudanças climáticas. A erosividade emerge como uma variável física independente, tecnicamente fundamentada e atualmente negligenciada, cuja consideração é essencial para aumentar a robustez, a resiliência e a segurança das estruturas de mineração ao longo de todo o seu ciclo de vida.

8 Respostas Internacionais em Andamento

As necessidade de alteração dos padrões e metodologias de cálculos já começou a ser reconhecida por algumas empresas. A seguir são apresentados alguns exemplos de procedimentos já adotados como forma de incorporar pelo menos alguns dos efeitos das mudanças climáticas.

8.1 Adoção de "Fatores de Segurança Climática" ou "Fatores de Incerteza"

- Canadá: A MEND (*Mine Environment Neutral Drainage*) e autoridades provinciais recomendam a aplicação de fatores de aumento ("*climate change factors*") nas precipitações de projeto. Por exemplo, pode-se exigir que a precipitação de um TR = 100 anos seja multiplicada por um fator de 1.1 a 1.3 (aumento de 10% a 30%) para considerar as projeções climáticas para a vida útil da estrutura.
- Reino Unido e União Europeia: A Agência Ambiental do Reino Unido (EA) recomenda o uso de "*climate change allowances*". Para projetos na UE, é cada vez mais comum realizar uma Análise de Sensibilidade Climática, modelando o desempenho da drenagem sob diferentes cenários do IPCC.

8.2 Atualização de Dados Pluviométricos e Curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência)

- Austrália: O Guia da ANCOLD (2019) menciona explicitamente a necessidade de considerar as mudanças climáticas. O Bureau of Meteorology (BoM) revisa as curvas IDF com dados atualizados e projeções. Empresas como a Rio Tinto e BHP têm políticas internas que obrigam a incorporação das mais recentes projeções climáticas regionais em novos projetos e nas revisões de segurança (PSAR).
- Estados Unidos: A NOAA Atlas 14 está em constante atualização. O U.S. Army Corps of Engineers (USACE) emitiu diretrizes exigindo a consideração de mudanças climáticas em projetos de barragens.

8.3 Mudança de Paradigma: Do "Tempo de Retorno" Fixo para a "Análise de Tolerância ao Risco"

Prática de Empresas Líderes (ex.: Anglo American, Newmont): Há uma migração conceitual importante:

- Teste de Resiliência (*Stress Testing*): Submeter o projeto a séries climáticas sintéticas geradas a partir de modelos de clima futuro.
- Análise de *Fail-Safe* ou "Consequência Controlada": Projetar os canais periféricos e principais de forma que, mesmo no cenário PMP ajustado para mudanças climáticas, o transbordamento seja direcionado para áreas de menor risco.
- Foco na Erosividade: Para o dimensionamento de proteções contra erosão, usar análises de erosividade utilizando séries de precipitação futuras.

8.4 Ênfase Renovada na "Drenagem Robusta" e na "Monitoração Proativa"

- Chile e Peru: Após uma série de eventos extremos, os reguladores estão exigindo margens de segurança adicionais (*freeboard*) em canais periféricos e maior capacidade de vazão. O conceito de "drenagem robusta" ganhou força: canais mais largos, com seções mais capazes, revestimentos mais resistentes e dissipadores de energia superdimensionados.
- Nova Norma Global para a Indústria (GISTM): O Princípio 9.6 do GISTM exige que "Os efeitos das mudanças climáticas... sejam compreendidos, monitorados e gerenciados por meio do ciclo de vida da instalação." Isso forçou as signatárias a revisarem seus critérios de projeto.

9 Políticas Internas da BHP sobre Mudanças Climáticas e Incorporação de Projeções Climáticas em Projetos e Avaliações de Segurança

9.1 Posições e Padrões Corporativos que Exigem Incorporação de Dados Climáticos

9.1.1 Climate Change Global Standard — Requisito Interno Obrigatório

A BHP possui um *Climate Change Global Standard* (Norma Global de Mudança do Clima) que estabelece requisitos mínimos obrigatórios de desempenho para todas as operações controladas pela empresa. Este padrão é parte integrante do sistema de gestão ambiental da BHP e obriga a avaliação e a incorporação de riscos climáticos físicos e transicionais nos processos de tomada de decisão, planejamento de ativos e análise de risco de projetos (ver itens 9.2 do BHP Annual Report 2025¹).

Um trecho do *Annual Report* e dos documentos SG&A (Governança e Padrões) afirma que:

"... o Climate Change Global Standard define requisitos mínimos para avaliação de riscos físicos relacionados ao clima, bem como para planos de adaptação de ativos e outras iniciativas relacionadas ao clima... Os planos de mudança climática em nível de ativo são exigidos anualmente para assegurar sua relevância contínua."

Na pág. 45 do BHP Annual Report 2025 encontra-se o seguinte texto sobre o gerenciamento dos riscos derivados das mudanças climáticas:

¹ BHP Annual Report 2025: Disponível em: https://www.bhp.com/-/media/documents/investors/annual-reports/2025/250819_bhpannualreport2025.pdf. Acesso em 21/01/2026

To support the identification and management of climate-related risks at BHP, we monitor themes and signposts and interpret external developments associated with transition risk and physical climate-related risk, which may include existing and emerging scientific, technological, policy, legal and regulatory, reputational, market and other societal developments.

Our *Climate Change Global Standard* sets mandatory minimum requirements for assessing physical climate-related risks (for our progress to date refer to Physical climate-related risks and adaptation in this OFR 9.8), as well as for asset-level climate change plans and the value chain climate adaptation plan owned by our Commercial function. Asset-level climate change plans are required to be approved annually to ensure continued relevance.

In setting and monitoring delivery of our strategy, we consider climate-related risks (threats and opportunities), both physical and transition, across the following time horizons:

- short-term (up to two years), aligning with our two-year budget process
- medium-term (two to five years), defining supportive actions and initiatives that sit outside of our two-year budget process in order to support our long-term strategy
- long-term (five to at least 30 years), given our supply, demand and pricing forecasts and our scenarios for portfolio analysis extend to 2050 and in some cases beyond, as do the climate projections data we use to underpin our physical climate-related risk assessments (which incorporate a 2070s time horizon)

We assess materiality of climate-related risks consistent with the process for all risks identified through our Risk Framework, considering the likelihood (by reference to timeframes) and severity of potential impacts (including to health and safety, the environment, communities, human rights and social value). This helps us to understand the significance of climate-related risks in the

context of BHP's overall risk profile and prioritise controls and decision-making for investment in risk mitigations. Climate change and climate-related risks have the potential to influence or exacerbate risks across our operations and functions, including those associated with asset integrity, pricing of inputs, access to markets, changes to regulation, access to funding and our reputation. They are required to be considered and, where applicable, integrated in accordance with our Risk Framework into our risk profiles to be managed across each of these time horizons (see the table below).

Under our Risk Framework, we implement controls designed to prevent, minimise or mitigate threats and enable or enhance opportunities. Opportunities include positioning our portfolio to capture growth in future-facing commodities, implementing measures to increase the resilience and reliability of critical infrastructure and creating mutual value through embedding our approach to equitable change and transition. Controls, which are reviewed at least annually, can be preventative or mitigating. A consistent approach allows climate-related risks to be considered across our business, integrated through our risk profile, to focus actions on risks that are material. We conduct annual reviews of our climate-related risk profile to identify, assess and manage new or evolving climate-related risks. Individual material climate-related risks are reviewed at least annually and when events or changes occur that may increase or decrease the risk exposure.



For more information on our Risk Framework, how we manage risk (including climate-related risk) and our risk factors refer to OFR 7 and OFR 11



For disclosures on the management of transition risks (threats and opportunities) refer to Transition to a net zero economy in this OFR 9.8



For disclosures about the studies we are undertaking to assess our exposure to physical climate-related risks and identify adaptation opportunities refer to Physical climate-related risks and adaptation in this OFR 9.8

que pode ser traduzido como (com grifos nossos):

“Gestão de riscos relacionados ao clima

Como identificamos e gerenciamos os riscos relacionados ao clima

Na BHP, adotamos uma abordagem empresarial para a gestão de riscos e operamos sob uma única Estrutura de Riscos para todos os riscos, incluindo os riscos de transição e os riscos físicos relacionados ao clima (ameaças e oportunidades). Temos requisitos mínimos de desempenho obrigatórios para gerenciar os riscos relacionados ao clima e os aplicamos em todos os nossos ativos e funções operados, bem como nos processos de tomada de decisão para vendas, marketing e compras.

*Nossa Norma Global de Mudança do Clima (Climate Change Global Standard) estabelece requisitos mínimos obrigatórios para a avaliação de riscos físicos relacionados ao clima (para o progresso até a data, consulte Riscos físicos relacionados ao clima e adaptação nesta OFR 9.8), bem como para planos de mudança climática em nível de ativo e para o plano de adaptação climática da cadeia de valor, de responsabilidade da nossa função Comercial. Os planos de mudança climática em nível de ativo **devem ser aprovados anualmente**, para garantir sua relevância contínua.*

*Ao definir e monitorar a execução de nossa estratégia, consideramos **riscos relacionados ao clima** (ameaças e oportunidades), tanto físicos quanto de transição, ao longo dos seguintes horizontes temporais:*

- ***Curto prazo*** (até dois anos), alinhado ao nosso processo orçamentário bienal;
- ***Médio prazo*** (de dois a cinco anos), que define ações e iniciativas de suporte que ficam fora do nosso processo orçamentário bienal, com o objetivo de apoiar nossa estratégia de longo prazo;
- ***Longo prazo*** (de cinco a pelo menos 30 anos), considerando que nossas previsões de oferta, demanda e preços, bem como nossos cenários de análise de portfólio, se estendem até 2050 e, em alguns casos, além disso, assim como os dados de projeções climáticas que utilizamos para embasar nossas avaliações de riscos físicos relacionados ao clima (que incorporam um horizonte temporal até a década de 2070).

Avaliamos a **materialidade dos riscos relacionados ao clima** de forma consistente com o processo aplicável a todos os riscos identificados por meio do nosso **Sistema de Gestão de Riscos**, considerando a **probabilidade** (com referência aos horizontes temporais) e a **gravidade dos impactos potenciais** (incluindo impactos à saúde e segurança, ao meio ambiente, às comunidades, aos direitos humanos e ao valor social). Isso nos ajuda a compreender a relevância dos riscos relacionados ao clima dentro do **perfil geral de riscos da BHP** e a priorizar controles e decisões de investimento em medidas de mitigação de riscos.

As mudanças climáticas e os riscos relacionados ao clima têm o potencial de **influenciar ou exacerbar riscos** em nossas operações e funções, incluindo aqueles associados à integridade de ativos, precificação de insumos, acesso a mercados, mudanças regulatórias, acesso a financiamento e reputação. Esses riscos devem ser considerados e, quando aplicável, **integrados aos nossos perfis de risco**, em conformidade com o nosso Sistema de Gestão de Riscos, para serem gerenciados ao longo de cada um desses horizontes temporais.

De acordo com o nosso Sistema de Gestão de Riscos, implementamos **controles destinados a prevenir, minimizar ou mitigar ameaças**, bem como a **permitir ou potencializar oportunidades**. As oportunidades incluem o posicionamento do nosso portfólio para capturar crescimento em commodities voltadas para o futuro, a implementação de medidas para aumentar a resiliência e a confiabilidade de infraestruturas críticas e a criação de valor mútuo por meio da incorporação da nossa abordagem de transição justa e equitativa. Os controles, que são **revisados pelo menos anualmente**, podem ser preventivos ou mitigadores. Uma abordagem consistente permite que os riscos relacionados ao clima sejam considerados de forma integrada em toda a empresa, concentrando ações nos riscos que são materiais.

Realizamos **revisões anuais do nosso perfil de riscos relacionados ao clima** para identificar, avaliar e gerenciar riscos novos ou em evolução. Riscos climáticos materiais individuais são revisados pelo menos anualmente e sempre que eventos ou mudanças ocorram que possam aumentar ou reduzir a exposição ao risco.

Para mais informações sobre o nosso Sistema de Gestão de Riscos, como gerenciamos riscos (incluindo riscos relacionados ao clima) e nossos fatores de risco, consulte as seções OFR 7 e OFR 11.

Para divulgações sobre a gestão de riscos de transição (ameaças e oportunidades), consulte *Transição para uma economia de zero emissões líquidas* nesta OFR 9.8.

Para divulgações sobre os estudos que estamos conduzindo para avaliar nossa exposição a riscos físicos relacionados ao clima e identificar oportunidades de adaptação, consulte *Riscos físicos relacionados ao clima e adaptação* nesta OFR 9.8”.

Na pág. 45 do BHP Anual Report 2025 encontra-se a seguinte tabela sobre a classificação dos riscos derivados das mudanças climáticas:

Relevant BHP risk factors (for more information refer to OFR 11)	Climate-related risk (threats)	Potential influence of climate-related issues on BHP risk factors over time ¹		
		Short term (0 to 2 years)	Medium term (2 to 5 years)	Long term (5 to at least 30 years) ²
Transition risk				
Operational events	– Low technological readiness or delay to technological solutions to reduce GHG emissions (e.g. leading to extended lives and increased maintenance requirements of existing infrastructure)	Low	Low	Medium
Significant social or environmental impacts	– Engaging in or association with activities with actual or perceived adverse climate-related impacts – Failure to meet evolving stakeholder expectations (e.g. impacting perceptions of social value contribution) – Political, regulatory or judicial developments	Low	Low to medium	High
Low-carbon transition	– Low to zero GHG emission technologies or changes in customer preferences altering demand for our products – Perceptions of climate-related financial risk reducing access to capital and/or insurance for BHP or our customers or suppliers – Reputational damage and litigation – Adverse market, legal or regulatory responses	Low	Low	High
Adopting technologies and maintaining digital security	– Low technology readiness or delay to technological solutions to reduce GHG emissions	Low	Low to medium	High
Optimising growth and portfolio returns	– Failure to achieve expected commercial objectives due to climate-related impacts	Low	Low	High
Accessing key markets	– Legal or regulatory changes, with respect to carbon-intensive industries and exports – Low to zero GHG emission technologies or changes in customer preferences altering demand for our products	Low	Low	High
Inadequate business resilience	– Geopolitical, global economic, regional or local developments or adverse events – Perceptions of climate-related financial risk reducing access to capital and/or insurance for BHP or our customers or suppliers	Low	Low	High
Physical risk				
Operational events	– Extreme weather and other climate-related events that may impact production and/or safety	Low	Low to medium	High
Significant social or environmental impacts	– Failure to adequately identify or appropriately manage physical climate-related risks	Low	Low to medium	Medium
Inadequate business resilience	– Acute and chronic physical climate-related impacts, event-driven and longer-term changes in climate patterns	Low	Low	Medium

1. The estimated potential (i) change to the likelihood of relevant climate-related issues and their associated risk factors influencing BHP's existing risk exposure; and/or (ii) degree to which they may exacerbate the potential severity of existing risks within our risk profile, based on currently available information and noting that some assessments are preliminary and/or incomplete (particularly in relation to physical climate-related risk) and may change significantly.

2. The long-term time horizon covers an extended period, with climate-related risks having potential for both a greater level of influence and uncertainty in the latter years.

A tabela acima pode ser traduzida como:

“Tabela – Riscos relacionados ao clima e fatores de risco da BHP

		Potencial influência de questões relacionadas ao clima sobre os fatores de risco da BHP ao longo do tempo¹		
Fatores de risco relevantes da BHP (para mais informações ver OFR 11)	Riscos relacionados ao clima (ameaças)	Curto prazo (0 a 2 anos)	Médio prazo (2 a 5 anos)	Longo prazo (5 a ≥ 30 anos)
Risco de transição				
Eventos operacionais	Baixa maturidade tecnológica ou atraso na implementação de soluções tecnológicas para redução de emissões de GEE (por exemplo, resultando em extensão da vida útil e aumento das necessidades de manutenção da infraestrutura existente)	Baixo	Baixo	Médio
Impactos sociais ou ambientais significativos	Envolvimento ou associação com atividades com impactos climáticos adversos reais ou percebidos; Falha em atender às expectativas crescentes das partes interessadas (por exemplo, afetando a percepção da contribuição de valor social); Desenvolvimentos políticos, regulatórios ou judiciais.	Baixo	Baixo a médio	Alto

		<i>Potencial influência de questões relacionadas ao clima sobre os fatores de risco do BHP ao longo do tempo¹</i>		
<i>Fatores de risco relevantes da BHP (para mais informações ver OFR 11)</i>	<i>Riscos relacionados ao clima (ameaças)</i>	<i>Curto prazo (0 a 2 anos)</i>	<i>Médio prazo (2 a 5 anos)</i>	<i>Longo prazo (5 a ≥ 30 anos)</i>
<i>Transição para baixo carbono</i>	<i>Tecnologias de baixas ou zero emissões de GEE ou mudanças nas preferências dos clientes alterando a demanda por nossos produtos; percepções de risco financeiro relacionado ao clima reduzindo o acesso a capital e/ou seguros para a BHP ou para seus clientes ou fornecedores; danos reputacionais e litígios; respostas adversas de mercado, legais ou regulatórias</i>	Baixo	Baixo	Alto
<i>Adoção de tecnologias e manutenção da segurança digital</i>	<i>Baixa maturidade tecnológica ou atraso em soluções para redução de emissões de GEE</i>	Baixo	Baixo a médio	Alto
<i>Otimização do crescimento e retorno do portfólio</i>	<i>Falha em atingir os objetivos comerciais esperados devido a impactos relacionados ao clima</i>	Baixo	Baixo	Alto
<i>Acesso a mercados-chave</i>	<i>Mudanças legais ou regulatórias relativas a indústrias intensivas em carbono e exportações; tecnologias de baixas ou zero emissões de GEE ou mudanças nas preferências dos clientes alterando a demanda por nossos produtos</i>	Baixo	Baixo	Alto
<i>Resiliência inadequada do negócio</i>	<i>Desenvolvimentos geopolíticos, econômicos globais, regionais ou locais, ou eventos adversos; percepções de risco financeiro relacionado ao clima reduzindo o acesso a capital e/ou seguros para a BHP ou para seus clientes ou fornecedores</i>	Baixo	Baixo	Alto
Risco físico				
<i>Eventos operacionais</i>	<i>Eventos climáticos extremos e outros eventos relacionados ao clima que possam impactar a produção e/ou a segurança</i>	Baixo	Baixo a médio	Alto
<i>Impactos sociais ou ambientais significativos</i>	<i>Falha em identificar adequadamente ou em gerenciar de forma apropriada os riscos físicos relacionados ao clima</i>	Baixo	Baixo a médio	Médio
<i>Resiliência inadequada do negócio</i>	<i>Impactos físicos agudos e crônicos relacionados ao clima, eventos pontuais e mudanças de longo prazo nos padrões climáticos</i>	Baixo	Baixo	Médio”

Notas:

1. A estimativa da influência potencial considera: (i) mudanças na probabilidade de questões climáticas influenciarem a exposição ao risco da BHP; e/ou (ii) o grau em que podem agravar a gravidade de riscos existentes, com base nas informações atualmente disponíveis. Algumas avaliações são preliminares ou incompletas, especialmente para riscos físicos relacionados ao clima, e podem mudar significativamente.
2. O horizonte de longo prazo cobre um período extenso, no qual os riscos relacionados ao clima apresentam maior nível de influência e incerteza nos anos mais distantes”.

O texto da pág. 47 do BHP Anual Report 2025 é o seguinte:

Carbon pricing

We embed carbon prices within our planning range that inform asset planning, asset valuations and operational decision-making, including the prioritisation of operational GHG emission reduction projects.



For our qualitative and quantitative disclosures on planning range carbon pricing refer to Financial Statements note 16 'Climate change'

Equitable change and transition

Implementation

Our approach to equitable transition is grounded in our existing strategies, principles, policies, standards and frameworks in relation to our people, the environment, communities and other stakeholders and partners. Our Human Rights Policy Statement, Indigenous Peoples Policy Statement and Inclusion and Diversity Position Statement help underpin our approach and our Closure and Legacy Management Global Standard, Community and Indigenous Peoples Global Standard, Climate Change Global Standard and Environment Global Standard set out requirements aligned to our equitable change and transition principles.

New South Wales Energy Coal

On 16 April 2025, New South Wales Energy Coal received approval from the New South Wales Government of Modification 2 to continue mining at the Mt Arthur Coal mine to planned closure in June 2030. The approval provides time to continue working collaboratively with the community, suppliers and local businesses on plans to cease mining and deal with land and tenure BHP will no longer use, subject to future approvals, in order to transition the site and surrounds to their next productive use beyond 2030, while balancing business, community and regulatory needs and expectations. Following the approval, BHP announced a A\$30 million community fund to support the Upper Hunter as it prepares for the responsible closure of the Mt Arthur Coal mine in 2030.

In April 2025, we announced that we have partnered with renewable energy and infrastructure company ACCIONA Energía to explore the potential development of a pumped hydro energy storage project at Mt Arthur Coal. BHP's conceptual studies show that a pumped hydro energy storage project at Mt Arthur Coal has the potential to support around 1,000 jobs within the Upper Hunter region in the construction phase, contribute to ongoing economic activity in Muswellbrook and provide power for up to 500,000 homes across New South Wales every day.

Physical climate-related risks and adaptation

A changing climate can exacerbate and trigger physical climate-related risks, which include:

- Acute physical climate-related risks: extreme climatic events, such as floods, cyclones and heatwaves, that may become more severe and/or more frequent because of a changing climate.
- Chronic physical climate-related risks: the incremental worsening of conditions such as the gradual increase in the number of extreme heat days over the years, or rising sea levels.

The mining sector is exposed to both acute and chronic physical climate-related risks because of its remote outdoor operations with labour and physical capital exposed to the elements, and because of its dependency on global value chains. The long lives of mining assets mean they could encounter deteriorating conditions in later decades. Geographically dispersed sites and value chains increase the diversity of physical climate-related impacts we may face.

We are undertaking studies to assess our operations' exposure to physical climate-related risks that draw on science-based climate data (described under Climate modelling). We also continue to progress our work to build further climate resilience, where appropriate, in asset planning, projects, operations and closure. Our approach to evaluating our operational physical climate-related risks is illustrated in the Our approach to physical climate-related risk diagram on the following page.

Climate modelling

Our climate hazard dataset (CHD) covering our operated assets and some key value chain locations enables us to deepen our understanding of our physical climate-related risk exposure, alongside local observational data and other sources of climate projections. In FY2025, we developed an online platform to make the CHD more readily accessible internally. The dataset covers more than 20 climate-related hazards and includes a baseline and projections for four future time horizons across this century, for the following scenarios, based on Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) used by the Intergovernmental Panel on Climate Change:¹

- Low-case: estimated average global temperature increase of 1.8°C by CY2100 (SSP1-2.6)
- Mid-case: estimated average global temperature increase of 2.7°C by CY2100 (SSP2-4.5)
- High-case: estimated average global temperature increase of 4.4°C by CY2100 (SSP5-8.5)

Risk studies

In FY2025, our operated assets (excluding NSWEC, legacy assets and Western Australia Nickel) used our CHD to undertake or continue physical climate-related risk analysis. This included risk and impact transmission channel analysis and assessment of potential safety, production and cost impacts, informed by technical studies such as flood modelling, water balance modelling and various quantitative assessments. The first stage of our physical climate-related risk analysis has focused on our operated assets that are currently producing (during FY2025). Western Australia Nickel was excluded from further analysis in FY2025 due to its temporary suspension. For NSWEC and legacy assets, we have been focusing on post-mining and closure phases, updating risk profiles and adaptation plans based on our latest knowledge of climate-related risks and potential impacts. We intend to continue this work in FY2026.

The table titled Potential physical climate-related risks at our operated assets and in their value chains on the following page shows the physical climate-related risks we have identified in studies to date as having potential to impact on our operated assets and value chains.

Risk controls

We have a range of existing controls in place for extreme weather-related risks. These include weather-related hazard detection, monitoring and associated weather preparation, emergency management plans and personnel trained in emergency response. We are committed to conforming with the Global Industry Standard on Tailings Management, including its climate-related requirements. We also employ measures to guard against potential equipment failure or inefficiencies during extreme weather. We undertake contingency planning for disruptions to our operated asset and value chain, including for scenarios caused by climate-related impacts.

As our understanding of physical climate-related risks at our operated assets evolves, we make updates to our risk profile and asset-level adaptation plans where relevant. For example, we have been progressing embedment of climate-adjusted risks into flood mitigation structure designs at Copper South Australia and BMA, and building climate projections into the weather budgets and water balance modelling for strategic water planning at BMA. We expect to continue to identify adaptation opportunities to further protect value and enable growth as we progress our ongoing physical climate-related risk studies.

que pode ser traduzido como (com grifos nossos):

“Riscos físicos relacionados ao clima e adaptação.

As mudanças climáticas podem exacerbar e desencadear riscos físicos relacionados ao clima, que incluem:

– Riscos físicos agudos relacionados ao clima: eventos climáticos extremos, como inundações, ciclones e ondas de calor, que podem se tornar mais severos e/ou mais frequentes devido às mudanças climáticas.

– **Riscos físicos crônicos relacionados ao clima:** o agravamento gradual das condições, como o aumento progressivo do número de dias de calor extremo ao longo dos anos ou a elevação do nível do mar.

O setor de mineração está exposto a riscos físicos agudos e crônicos relacionados ao clima devido às suas operações remotas ao ar livre, com mão de obra e capital expostos às intempéries, e devido à sua dependência de cadeias de valor globais. A longa vida útil dos ativos de mineração significa que eles podem enfrentar condições deterioradas nas décadas seguintes. Locais e cadeias de valor geograficamente dispersos aumentam a diversidade de impactos físicos relacionados ao clima que podemos enfrentar.

Estamos realizando estudos para avaliar a exposição de nossas operações a riscos físicos relacionados ao clima, com base em dados climáticos científicos (descritos em Modelagem Climática). Também continuamos a avançar em nosso trabalho para construir maior resiliência climática, quando apropriado, no planejamento de ativos, projetos, operações e encerramento. Nossa abordagem para avaliar nossos riscos operacionais físicos relacionados ao clima é ilustrada no diagrama "Nossa abordagem para riscos físicos relacionados ao clima" na página seguinte:

Modelagem climática.

Nosso conjunto de dados de riscos climáticos (CHD, na sigla em inglês), que abrange nossos ativos operados e alguns locais-chave da cadeia de valor, nos permite aprofundar nossa compreensão da nossa exposição a riscos físicos relacionados ao clima, juntamente com dados observacionais locais e outras fontes de projeções climáticas. No ano fiscal de 2025, desenvolvemos uma plataforma online para tornar o CHD mais acessível internamente. O conjunto de dados abrange mais de 20 riscos relacionados ao clima e inclui uma linha de base e projeções para quatro horizontes temporais futuros ao longo deste século, para os seguintes cenários, com base nas Trajetórias Socioeconômicas Compartilhadas (SSPs) utilizadas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC):²

- *Cenário otimista: aumento estimado da temperatura média global de 1,8 °C até 2100 (SSP1-2,6)*
- *Cenário intermediário: aumento estimado da temperatura média global de 2,7 °C até 2100 (SSP2-4,5)*
- *Cenário pessimista: aumento estimado da temperatura média global de 4,4 °C até 2100 (SSP5-8,5).*

Estudos de risco:

*No ano fiscal de 2025, nossos ativos operados (excluindo NSWEC, ativos legados e Western Australia Nickel) utilizaram nosso Sistema de Dados Climáticos (CHD) para **realizar ou continuar análises físicas de risco relacionadas ao clima.** Isso incluiu análises de risco e impacto nos canais de transmissão e avaliação de potenciais impactos na segurança, produção e custos, com base em estudos técnicos como modelagem de inundações, **modelagem de balanço hídrico e diversas avaliações quantitativas.** A primeira etapa de nossa análise de riscos físicos relacionados ao clima concentrou-se em nossos ativos operados que estão atualmente em produção (durante o ano fiscal de 2025). A Western Australia Nickel foi excluída de análises adicionais no*

² Table SPM.1, Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, CY2021.

ano fiscal de 2025 devido à sua suspensão temporária. Para a NSWEC e ativos legados, temos nos concentrado nas fases pós-mineração e de fechamento, atualizando os perfis de risco e os **planos de adaptação com base em nosso conhecimento mais recente sobre riscos relacionados ao clima e seus potenciais impactos**. Pretendemos continuar este trabalho no ano fiscal de 2026.

A tabela intitulada "Riscos físicos potenciais relacionados ao clima em nossos ativos operados e em suas cadeias de valor", na página seguinte, mostra os **riscos físicos relacionados ao clima que identificamos em estudos realizados até o momento** como tendo potencial para impactar nossos ativos operados e suas cadeias de valor.

Controles de risco:

Temos uma série de controles em vigor para riscos relacionados a eventos climáticos extremos. Estes incluem detecção de perigos relacionados ao clima, monitoramento e preparação climática associada, planos de gerenciamento de emergências e pessoal treinado em resposta a emergências. **Estamos comprometidos com a conformidade com a Norma Global da Indústria para Gerenciamento de Rejeitos, incluindo seus requisitos relacionados ao clima.** Também adotamos medidas para nos protegermos contra possíveis falhas ou ineficiências de equipamentos durante condições climáticas extremas. Realizamos planejamento de contingência para interrupções em nossos ativos operados e cadeia de valor, **incluindo cenários causados por impactos relacionados ao clima.**

À medida que nossa compreensão dos riscos físicos relacionados ao clima em nossos ativos operados evolui, atualizamos nosso perfil de risco e planos de adaptação em nível de ativo, quando relevante. Por exemplo, temos avançado na incorporação de riscos ajustados ao clima nos projetos de estruturas de mitigação de inundações na Copper South Australia e na BMA, e na **inclusão de projeções climáticas nos orçamentos climáticos e na modelagem do balanço hídrico para o planejamento estratégico de recursos hídricos** na BMA. Esperamos continuar a identificar oportunidades de adaptação para proteger ainda mais o valor e viabilizar o crescimento à medida que avançamos em nossos estudos contínuos sobre riscos físicos relacionados ao clima".

A tabela de riscos acima referida encontra-se na pág. 48 do BHP Anual Report 2025 e é reproduzida a seguir:

9 Sustainability continued

Potential physical climate-related risks at our operated assets and in their value chains

Climate hazard	Potential operational site impacts
Extreme weather events of any type	<ul style="list-style-type: none"> – Workforce health and safety incidents – Disruption in the supply of critical production inputs, and access to supply chain infrastructure
Extreme precipitation and/or inland flooding	<ul style="list-style-type: none"> – Inundation of mines and/or key production infrastructure – Disruption and/or damage to business-critical equipment and infrastructure – Exacerbation of tailings storage facility failure risk
Coastal hazards (including higher sea levels, cyclones, storm surge, coastal flooding and changes in marine ecosystems)	<ul style="list-style-type: none"> – Disruption and/or damage to port and coastal infrastructure and operations – Disruption to key access roads and/or railways
Extreme temperatures	<ul style="list-style-type: none"> – Disruption and/or damage to business-critical equipment and infrastructure – Disruption to workplace and maintenance schedules
Chronic changes (including in rainfall, temperature, evaporation and/or sea surface temperature patterns)	<ul style="list-style-type: none"> – Water shortages for operational activities – Reduced productivity of desalination plants

Our approach to physical climate-related risk

Climate data projections	Use of climate data and projections for different scenarios and time horizons
Operational site impacts	Risk identification and evaluation, including engineering assessments, to understand the potential direct impact of climate-related risks on our sites
Safety, productivity and cost impacts	Applying internal models to assess potential impacts to safety, cost and productivity
Financial impacts and value-at-risk	Incorporating assessment results into internal planning models to understand potential financial impacts and value-at-risk
Incorporating into business planning, risk management and capital allocation	Embedding consideration of physical climate-related risk (including value-at-risk) into business planning, risk management and capital allocation, as required

For more information on how physical climate-related risk has been considered in asset carrying values refer to Financial Statements note 16 "Climate change"

A tabela acima pode ser traduzida como (com destaques nossos):

“Tabela – Potenciais riscos físicos relacionados ao clima em nossos ativos operados e em suas cadeias de valor.

Perigos físicos relacionados ao clima	Potenciais impactos operacionais no local.
Eventos climáticos extremos (de qualquer tipo)	<ul style="list-style-type: none"> – Incidentes relacionados à saúde e segurança da força de trabalho – Interrupção no fornecimento de insumos críticos de produção e no acesso à infraestrutura da cadeia de suprimentos
Precipitação extrema e/ou inundações interiores	<ul style="list-style-type: none"> – Inundação de minas e/ou de infraestruturas-chave de produção – Interrupção e/ou danos a equipamentos e infraestruturas críticas para o negócio – Agravamento do risco de falha de instalações de armazenamento de rejeitos
Perigos costeiros (incluindo elevação do nível do mar, ciclones, marés de tempestade, inundações costeiras e alterações em ecossistemas marinhos)	<ul style="list-style-type: none"> – Interrupção e/ou danos a infraestruturas portuárias e costeiras e às operações associadas – Interrupção de vias de acesso críticas e/ou ferrovias
Temperaturas extremas	<ul style="list-style-type: none"> – Interrupção e/ou danos a equipamentos e infraestruturas críticas para o negócio

Perigos físicos relacionados ao clima	Potenciais impactos operacionais no local.
	– Interrupção de cronogramas de trabalho e de manutenção
Mudanças crônicas (incluindo alterações nos padrões de precipitação, temperatura, evaporação e/ou temperatura da superfície do mar)	– Escassez de água para atividades operacionais – Redução da produtividade de plantas de dessalinização”

“Tabela – Abordagem da BHP para avaliação de riscos físicos relacionados ao clima

Etapa da avaliação	Descrição
Projeções de dados climáticos	Uso de dados e projeções climáticas para diferentes cenários e horizontes temporais
Impactos nos sítios operacionais	Identificação e avaliação de riscos, incluindo avaliações de engenharia, para compreender o impacto direto potencial dos riscos climáticos nos sítios
Impactos em segurança, produtividade e custos	Aplicação de modelos internos para avaliar impactos potenciais sobre segurança, custos e produtividade
Impactos financeiros e valor em risco	Incorporação dos resultados das avaliações em modelos internos de planejamento para compreender impactos financeiros potenciais e valor em risco
Incorporação no planejamento de negócios, gestão de riscos e alocação de capital	Integração da consideração do risco físico relacionado ao clima (incluindo o valor em risco) no planejamento de negócios, na gestão de riscos e na alocação de capital, conforme necessário.

Para obter mais informações sobre como o risco físico relacionado ao clima foi considerado nos valores contábeis dos ativos, consulte a [nota 16](#) das Demonstrações Financeiras, intitulada "Mudanças climáticas".

Essas duas tabelas são particularmente importantes porque a BHP:

- menciona explicitamente o agravamento do risco de falha de instalações de armazenamento de rejeitos (TSF) associado a precipitação extrema e inundações;
- estrutura formalmente uma cadeia lógica entre projeções climáticas → avaliações de engenharia → impactos operacionais → impactos financeiros → decisões de capital, o que reforça a obrigatoriedade interna de incorporar projeções climáticas atualizadas em projetos e revisões de segurança;
- fornece base documental sólida para vincular mudanças climáticas, drenagem, estabilidade geotécnica e gestão de riscos corporativos.

Os parágrafos iniciais da Nota 16, pág. 148 do BHP Annual Report 2025, são os seguintes:

<p>16 Climate change</p> <p>The Group recognises that warming of the climate is unequivocal, the human influence is clear and physical impacts are unavoidable. Identifying, monitoring and assessing the actual and potential impacts of climate change is complex and the Group continues to assess the actual and potential financial impacts of climate-related risks (threats and opportunities), including the transition to a low-carbon economy and physical risk impacts.</p> <p>The Group's current climate change strategy focuses on developing a portfolio of commodities to support the megatrends shaping our world, reducing operational greenhouse gas (GHG) emissions (Scopes 1 and 2 from our operated assets), supporting value chain (Scope 3) GHG emissions reductions, and managing climate-related risks.</p>
--

Esse texto pode ser traduzido como (grifos nossos):

“O Grupo reconhece que o aquecimento do clima é inequívoco, a influência humana é clara e os impactos físicos são inevitáveis. Identificar, monitorar e avaliar os impactos reais e potenciais das mudanças climáticas é complexo, e o Grupo continua avaliando os impactos financeiros reais e potenciais dos riscos relacionados ao clima (ameaças e

oportunidades), incluindo a transição para uma economia de baixo carbono e os impactos dos riscos físicos.

A estratégia atual do Grupo em relação às mudanças climáticas concentra-se no desenvolvimento de um portfólio de commodities para apoiar as megatendências que moldam nosso mundo, na redução das emissões operacionais de gases de efeito estufa (GEE) (Escopos 1 e 2 de nossos ativos operados), no apoio à redução das emissões de GEE na cadeia de valor (Escopo 3) e na gestão dos riscos relacionados ao clima”.

Isso demonstra que, internamente, a empresa integra as projeções climáticas (incluindo variações extremas regionais) a processos de projeto e segurança — incluindo disciplinas de engenharia, avaliação de riscos e revisões de planos de segurança e adaptação de ativos.

Essa Norma interna da BHP **inclui a necessidade de usar projeções climáticas (cenários climáticos futuros), dados regionais atualizados e projeções de longo prazo para garantir que os riscos e impactos físicos sejam integrados no planejamento de ativos e nos processos de revisão de segurança e risco.**

Essa disposição se aplica tanto a **novos projetos** quanto a **atividades de acompanhamento e revisão de segurança operacional**, com o objetivo de avaliar:

- a vulnerabilidade de ativos a eventos climáticos extremos;
- os efeitos de cenários futuros de mudança climática nos parâmetros de projeto, e
- as possíveis adaptações necessárias para aumentar a resiliência.

Na pág. 53 do BHP Anual Report 2025 encontra-se o seguinte texto:

9.9 Nature and environmental performance

We recognise the interconnectivity of nature, climate and people and the risks posed by the unprecedented global deterioration of nature, including biodiversity. BHP’s business, our suppliers and customers, Indigenous peoples and the local communities where we operate, all depend on and enjoy nature and the ecosystem services it provides. We understand that our operations and our environmental performance can impact the natural environment, including the provision of ecosystem services.

We support the recommendations of the Taskforce on Nature-related Financial Disclosures (TNFD) and will continue to progressively evolve our disclosures in consideration of them.

Our *Environment Global Standard*, applicable to BHP’s operated assets, details our mandatory minimum performance requirements to deliver on our environmental-related commitments, which include those in the Our environmental-related commitments table below, and manage our environmental risks, using management systems aligned to ISO14001. This *Global Standard* (alongside our *Climate Change Global Standard*) also helps supports the achievement of our goals, targets and commitments.

Our environmental-related commitments are:	
	We do not explore, extract resources or operate within the boundaries of World Heritage listed properties.
	We do not explore, extract resources or operate adjacent to World Heritage listed properties, unless the proposed activity is compatible with the outstanding universal values for which the World Heritage property is listed.
	We do not explore, extract resources or operate within or adjacent to the boundaries of the International Union for Conservation of Nature (IUCN) Protected Areas Categories I to IV, unless a plan is implemented that meets regulatory requirements, takes into account stakeholder and partner (including Indigenous peoples) expectations and contributes to the values for which the protected area is listed.
	We do not explore, extract resources or operate where there is a risk of direct impacts to ecosystems that could result in the extinction of an IUCN Red List Threatened Species in the wild.
	We do not dispose of mined waste rock or tailings into a river or marine environment.
	We do not use aqueous film forming foams (AFFF) containing per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) at our operated assets. We replace with fluorine free foam products.

que pode ser traduzido como (grifos e destaques nossos):

“Reconhecemos a interconexão entre natureza, clima e pessoas, bem como os riscos representados pela deterioração global sem precedentes da natureza, incluindo a biodiversidade. Os negócios da BHP, nossos fornecedores e clientes, os povos indígenas e as comunidades locais onde operamos dependem da natureza e dos serviços ecossistêmicos que ela proporciona, e desfrutam deles. Entendemos que nossas operações

e nosso desempenho ambiental podem impactar o meio ambiente natural, incluindo a prestação de serviços ecossistêmicos.

Apoiamos as recomendações da Força-Tarefa sobre Divulgações Financeiras Relacionadas à Natureza (TNFD) e continuaremos a aprimorar progressivamente nossas divulgações, levando-as em consideração.

Nossa Norma Global de Meio Ambiente, aplicável aos ativos operados pela BHP, detalha nossos requisitos mínimos obrigatórios de desempenho para cumprir nossos compromissos ambientais, incluindo aqueles listados na tabela "Nossos compromissos ambientais" abaixo, e gerenciar nossos riscos ambientais, utilizando sistemas de gestão alinhados à ISO 14001. Esta Norma Global (juntamente com nossa Norma Global de Mudanças Climáticas) também contribui para o alcance de nossas metas, objetivos e compromissos."

Nossos compromissos relacionados ao meio ambiente são:	Não exploramos, extraímos recursos ou operamos dentro dos limites de propriedades listadas como Patrimônio Mundial.
	Não exploramos, extraímos recursos ou operamos nas proximidades de propriedades listadas como Patrimônio Mundial, a menos que a atividade proposta seja compatível com os valores universais excepcionais pelos quais a propriedade do Patrimônio Mundial foi listada.
	Não exploramos, extraímos recursos ou operamos dentro ou nas proximidades dos limites das Áreas Protegidas das Categorias I a IV da União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN), a menos que um plano seja implementado que atenda aos requisitos regulamentares, leve em consideração as expectativas das partes interessadas e dos parceiros (incluindo povos indígenas) e contribua para os valores pelos quais a área protegida foi listada.
	Não exploramos, extraímos recursos ou operamos onde haja risco de impactos diretos nos ecossistemas que possam resultar na extinção de uma Espécie Ameaçada da Lista Vermelha da UICN na natureza.
	Não descartamos rejeitos ou resíduos de mineração em rios ou ambientes marinhos.
	Não utilizamos espumas formadoras de película aquosa (AFFF) contendo substâncias per e polifluoroalquiladas (PFAS) em nossos ativos operados. Substituímos os produtos de espuma por outros sem flúor."

Nota: O Parque Nacional da Serra do Gandarela é um Área Protegida da Categoria II da UICN.

Na pág. 71 do BHP Anual Report 2025 encontra-se o seguinte texto:

<p>Management's approach</p> <p>We have established climate change targets and goals, which are set out in OFR 9.8, and have mandatory minimum performance requirements for managing climate-related risks (threats and opportunities), including the <i>Environment Global Standard</i> and the <i>Climate Change Global Standard</i>. We use climate-related scenarios, as well as our planning cases and monitor themes and signposts (such as emerging policy, regulatory, legal, technological, market and other societal developments) to evaluate the resilience of our portfolio, allocate capital, inform our strategy and other decision-making, and to otherwise support the management of emerging risks.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Extreme weather and climate-related events, such as heatwaves, extreme precipitation and flooding, hurricanes, cyclones and fires. For example, production at Olympic Dam was halted for two weeks due to severe storms in the first half of FY2025, resulting in production loss. - Other natural events, including earthquakes, tsunamis, wildfires, solar flares and pandemics. - Potential physical climate-related impacts, such as acute risks that are event driven (including increased frequency and severity of extreme weather events) and chronic risks resulting from longer-term changes in climate patterns. Climate hazards may include changes in precipitation patterns, water shortages, rising sea levels, increased storm intensity, prolonged extreme temperatures and increased drought, fire and flooding.
--	--

que pode ser traduzido como (com grifos nossos):

“Abordagem da gestão

Estabelecemos metas e objetivos relacionados às mudanças climáticas, conforme definido no OFR 9.8, e temos requisitos mínimos obrigatórios de desempenho para a gestão de riscos relacionados ao clima (ameaças e oportunidades), incluindo a Norma Global de Meio Ambiente e a Norma Global de Mudanças Climáticas. Utilizamos cenários relacionados ao clima, bem como nossos planos de contingência e temas e indicadores de monitoramento

(como políticas, regulamentações, leis, tecnologias, mercados e outros desenvolvimentos sociais emergentes) para avaliar a resiliência de nosso portfólio, alocar capital, fundamentar nossa estratégia e outras tomadas de decisão e, de modo geral, apoiar a gestão de riscos emergentes.

– **Eventos climáticos extremos**, como ondas de calor, **precipitação extrema e inundações**, furacões, ciclones e incêndios. Por exemplo, a produção em Olympic Dam foi interrompida por duas semanas devido a fortes tempestades no primeiro semestre do ano fiscal de 2025, resultando em perda de produção.

– Outros eventos naturais, incluindo terremotos, tsunamis, incêndios florestais, erupções solares e pandemias.

– **Potenciais impactos físicos relacionados ao clima, como riscos agudos decorrentes de eventos (incluindo aumento da frequência e da intensidade de eventos climáticos extremos) e riscos crônicos resultantes de mudanças de longo prazo nos padrões climáticos. Os riscos climáticos podem incluir alterações nos padrões de precipitação, escassez de água, elevação do nível do mar, aumento da intensidade das tempestades, prolongamento de temperaturas extremas e aumento de secas, incêndios e inundações.**

9.1.2 Uso de Dados Climáticos e Cenários Internos (“Climate Hazard Dataset”)

A BHP desenvolveu um **“Climate Hazard Dataset” (CHD)** — um conjunto de projeções climáticas internas que **cobre mais de 20 perigos relacionados ao clima e inclui projeções para quatro horizontes temporais diferentes ao longo do século**, embasadas em trajetórias socioeconômicas (SSPs) do IPCC.

Esse dataset é utilizado para:

- avaliar riscos físicos relacionados ao clima em ativos operados;
- apoiar planejamento de adaptação; e
- fornecer informações de projeções climáticas que alimentam modelos de risco físico e estratégias de mitigação.

9.2 Políticas Específicas e Compromissos Corporativos

9.2.1 Climate Transition Action Plan (CTAP)

A BHP publicou planos estratégicos oficiais que orientam sua resposta às mudanças climáticas — como o *Climate Transition Action Plan 2024 (CTAP)*.

Embora o CTAP seja focado principalmente em metas de redução de emissões e transição energética, ele é preparado e revisto pelo Conselho da empresa, refletindo o compromisso estratégico de incorporar projeções climáticas em decisões corporativas de longo prazo.

Esse plano, aprovado pelo Conselho e submetido a votação consultiva dos acionistas, integra os dados climáticos mais recentes aos processos de governança corporativa, demonstrando que a consideração de riscos e projeções climáticas está formalmente inserida na gestão de ativos e projetos.

A descrição detalhada dos planos e ações destinados à adaptação aos riscos físicos relacionados ao clima é encontrada nas páginas 43 a 45 do doc. *Climate Transition Action Plan (CTAP)*³.

³ Disponível em <https://www.bhp.com/sustainability/climate-change/physical-climate-related-risk-and-adaptation>. Acesso em 22/01/2026.

9.2.2 Declaração de Política de Armazenamento de Rejeitos

No documento intitulado “*Tailing Storage Facility Policy Statement*”⁴ encontra-se o seguinte texto em que a BHP reafirma seu compromisso com a segurança das instalações para armazenamento de rejeitos, tais como barragens e pilhas (grifos nosso):

*“Estamos focados em reduzir materialmente o risco de falhas em **Instalações de Armazenamento de Rejeitos**. Colaboramos amplamente em todo o setor de recursos naturais para **reduzir riscos**, compartilhar lições aprendidas, estabelecer parcerias para melhorar o desempenho e aumentar a resiliência por meio do compartilhamento e implementação de práticas líderes.*

*Apoiamos o compromisso global de elevar o padrão do setor em relação à gestão de Instalações de Armazenamento de Rejeitos **ao longo de todo o ciclo de vida** dessas estruturas. Nos comprometemos com o **Norma Global da Indústria para Gestão de Rejeitos (GISTM) de 2020 e implementaremos os requisitos descritos nas seis principais áreas temáticas em todos os nossos ativos, desde o projeto até o pós-fechamento. Esse compromisso inclui a conformidade com o GISTM e o cumprimento dos prazos determinados pelo Conselho Internacional de Mineração e Metais (ICMM)**”¹.*

*Também nos **comprometemos com as Declarações de Posicionamento do ICMM, incluindo a Estrutura de Governança de Rejeitos do ICMM**. Esses documentos são a base da abordagem da BHP para a gestão de Instalações de Armazenamento de Rejeitos”.*

9.2.3 Relatórios Corporativos (Annual Reports)

Os relatórios anuais da BHP reafirmam que:

- A empresa utiliza **cenários climáticos projetados de longo prazo** para estimar e gerenciar riscos físicos e transicionais;
- **Modelagem climática e projeções regionais** são incorporadas nos sistemas internos de avaliação de risco, incluindo planejamento de projetos e de segurança de ativos;
- Os dados climáticos alimentam **modelos internos de planejamento e mitigação de riscos físicos**; e
- A BHP exige que seus ativos e projetos **desenvolvam planos de mudança climática aprovados anualmente**, baseados em dados e projeções atualizados.

Essas obrigações estão ligadas diretamente à gestão de risco corporativo da BHP e à governança e estratégia de sustentabilidade — **o que implica que novos projetos e revisões de segurança (incluindo PSAR — *Project Safety and Risk Assessments*, em diferentes setores) devem considerar os dados climáticos mais recentes disponíveis** para avaliação de riscos e projeções de segurança.

9.3 Exigências e Normas Internas Aplicáveis

9.3.1 Climate Change Global Standard

O *Climate Change Global Standard* da BHP é um **padrão corporativo obrigatório** que define:

- como a empresa **avalia e gerencia riscos climáticos físicos**;
- a necessidade de **integrar projeções climáticas regionais e cenários climáticos nos processos de risco e projetos**; e

⁴ Disponível em: <https://www.bhp.com/sustainability/climate-change/physical-climate-related-risk-and-adaptation>. Acesso em 22/01/2026.

- procedimentos para **avaliação, monitoramento e revisão contínua** dos planos de ação climática de ativos.

Esse padrão é ligado diretamente ao **sistema de gestão de riscos corporativos da BHP**, com requisitos que fazem parte do processo de análise de risco e aprovação de projetos relevantes para operações e segurança de ativos.

9.4 Governança e Revisão de Planos de Ativos

Os relatórios da BHP indicam que:

- os **planos de mudança climática em nível de ativo** são preparados e **aprovados anualmente**;
- esses planos incorporam **projeções climáticas futuras** sobre riscos físicos (como eventos extremos), com diferentes horizontes de tempo; e
- tais projeções — incluindo projeções regionais e dados observacionais — **alimentam avaliações de risco, mitigação, adaptação e revisão de segurança nas operações**.

Dessa forma, a **política interna de gestão de risco da BHP exige que os projetos e revisões de segurança considerem projeções climáticas** para permanecerem em conformidade com a Norma Global de clima e com as diretrizes de governança da empresa.

9.5 Conclusão – Políticas Internas Relacionadas a Projeções Climáticas

A BHP possui políticas internas obrigatórias que exigem a incorporação de projeções climáticas mais recentes (incluindo dados regionais e cenários climáticos futuros) em seus processos de gerenciamento de risco e em revisões estratégicas e de segurança de projetos e ativos.

- O *Climate Change Global Standard* da empresa estabelece requisitos mínimos que obrigam o uso de projeções climáticas na avaliação de riscos físicos, incluindo para projetos novos e para revisões técnicas de segurança de ativos.
- Os planos de mudança climática em nível de ativo são exigidos anualmente e incorporam cenários climáticos futuros como parte da análise de risco e resiliência de ativos.
- Os relatórios corporativos da BHP indicam que a empresa usa dados climáticos projetados e projeções regionais para planejamento de adaptação, gestão de risco físico e mitigação.

Assim, políticas internas documentadas da BHP obrigam a consideração de projeções climáticas atualizadas em planejamento, revisões de segurança e avaliação de riscos em seus projetos e operações globais — em consonância com princípios de governança ambiental e resiliência operacional diante de mudanças climáticas.

Portanto, deve-se considerar obrigatório que todos os cuidados, procedimentos e análise de riscos assumidos pela BHP sejam aplicados à Samarco.

9.6 Links de Referência

O principais **links de referência oficiais com políticas e descrições completas** (PDFs e páginas oficiais) que demonstram as práticas da BHP são os seguintes:

BHP – Climate Change (política global de clima e riscos físicos):

Disponível em: <https://www.bhp.com/sustainability/climate-change> Acesso em 18/01/2026.

BHP – Physical climate-related risk and adaptation (Riscos físicos relacionados ao clima e adaptação):

Disponível em: <https://www.bhp.com/sustainability/climate-change/physical-climate-related-risk-and-adaptation> Acesso em 18/01/2026.

BHP – Climate Transition Action Plan - CTAP 2024 (Plano de Ação para a Transição Climática):
Disponível em: <https://www.bhp.com/sustainability/climate-change/climate-transition-action-plan> Acesso em 18/01/2026.

BHP Annual Report 2025 – Relatório Anual de 2025 - Desenvolvimentos sobre risco climático:

Disponível em:
<https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/0000811809/000119312525183071/d35528d6k.htm> Acesso em 18/01/2026.

10 Incorporação Obrigatória de Projeções de Mudanças Climáticas: Comparação Entre BHP, Vale, ISSB, TCFD E GISTM

10.1 Contextualização

Como já evidenciado, a intensificação da frequência e da magnitude de eventos extremos de precipitação, amplamente documentada pela literatura científica internacional, impõe uma revisão profunda dos critérios tradicionalmente adotados no projeto, cálculo, implantação, operação, fechamento e pós-fechamento de barragens de rejeitos e pilhas de estéréis e rejeitos de mineração.

Neste contexto, torna-se tecnicamente inadequado e cientificamente insustentável o uso exclusivo de dados históricos de precipitação e de critérios hidrológicos baseados em hipóteses de estacionariedade climática.

Este item apresenta uma comparação técnica entre as exigências e diretrizes adotadas pela BHP, as diretrizes públicas da Vale, os padrões internacionais ISSB e TCFD e o Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM), com foco explícito nas implicações para a engenharia de drenagem, estabilidade geotécnica e segurança estrutural.

10.2 Quadro Comparativo – Clima e Engenharia de Barragens e Pilhas

Comparação entre BHP, Vale, ISSB, TCFD e GISTM quanto à incorporação de riscos climáticos físicos em projetos de infraestrutura minerária

Tema técnico	BHP	Vale	ISSB (IFRS S2)	TCFD	GISTM	Implicações diretas para barragens e pilhas
Uso de cenários climáticos prospectivos	Exigido explicitamente. Avaliação de riscos físicos futuros (chuvas extremas, secas) com base em cenários	Mencionado em nível estratégico, sem detalhamento público de metodologias aplicadas à engenharia	Obrigatório: avaliação de resiliência sob cenários climáticos	Obrigatório: análise de cenários climáticos	Implícito: riscos climáticos devem ser identificados e mitigados	Dimensionamento de drenagem não pode se basear apenas em séries históricas
Não estacionariedade climática	Reconhecida e incorporada à gestão de riscos	Reconhecida conceitualmente	Reconhecida explicitamente	Reconhecida	Reconhecida	TR históricos perdem validade como critério único
Integração clima x risco físico	Estruturada, com métricas e tabelas	Parcial, sem transparência técnica equivalente	Exigida	Exigida	Exigida	Falhas de drenagem e saturação devem ser tratadas como risco climático
Aplicação a ativos específicos	Avaliação por ativo	Não detalhada publicamente	Exigida	Exigida	Exigida	Cada barragem/pilha deve ter análise climática própria

Revisões periódicas	Exigidas	Não explicitadas com critérios técnicos	Exigidas	Exigidas	Exigidas	Critérios de projeto devem ser reavaliados ao longo da vida útil
Transparência técnica	Alta	Moderada	Alta	Alta	Alta	Estudos devem ser acessíveis ao escrutínio público
Enfoque em consequências	Central	Parcial	Central	Central	Central	Projetos devem considerar perdas humanas, ambientais e sociais

10.3 Análise Comparativa Aplicada à Engenharia de Barragens e Pilhas

10.3.1 BHP – Clima tratado como variável de projeto e de risco físico

Conforme visto acima no presente documento, a *BHP Annual Report 2025*, especialmente na seção “Climate-related risk management”, demonstra que a empresa trata os riscos climáticos físicos como elementos estruturantes da gestão de ativos. **A BHP reconhece explicitamente que eventos extremos de precipitação podem exceder parâmetros históricos e, por isso, incorpora cenários prospectivos na avaliação de riscos.**

Do ponto de vista da engenharia, essa abordagem implica que:

- os sistemas de drenagem superficial e interna devem ser dimensionados considerando eventos futuros projetados, e não apenas estatísticas históricas;
- a estabilidade geotécnica deve ser analisada sob condições de saturação mais severas;
- falhas de drenagem são tratadas como gatilhos críticos de instabilidade, e não como eventos excepcionais.

10.3.2 Vale – Reconhecimento estratégico, mas lacuna técnica pública

A Vale possui uma Política de Mudanças Climáticas (POL-0012-G) que reconhece a necessidade de adaptação e gestão de riscos climáticos, bem como alinhamento aos padrões ISSB e TCFD. Entretanto, a análise dos documentos públicos disponíveis indica que:

- não são divulgadas metodologias técnicas detalhadas de aplicação de cenários climáticos a projetos de engenharia;
- não há transparência pública quanto à forma como projeções de chuvas extremas são incorporadas ao dimensionamento de drenagem de barragens e pilhas;
- o nível de detalhamento técnico é inferior ao observado nos relatórios da BHP.

Do ponto de vista pericial, essa lacuna não significa inexistência de ações internas, mas indica **insuficiência de demonstração pública de diligência técnica**, especialmente relevante para estruturas de alto potencial de dano.

10.3.3 ISSB (IFRS S2) e TCFD – Base normativa internacional

O padrão **IFRS S2** e as recomendações da **TCFD** estabelecem que organizações devem:

- identificar riscos climáticos físicos;
- avaliar sua materialidade sob **cenários futuros**;
- demonstrar resiliência de ativos críticos.

Aplicado à engenharia de barragens e pilhas, isso implica que:

- projetos baseados apenas em séries históricas não atendem aos requisitos mínimos internacionais;

- é obrigatória a análise de desempenho de sistemas de drenagem sob cenários climáticos futuros;
- a não consideração de projeções climáticas configura falha metodológica.

10.3.4 GISTM – Segurança de rejeitos sob riscos climáticos

O Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM) exige que riscos relevantes, incluindo riscos climáticos, sejam identificados, avaliados e mitigados ao longo de todo o ciclo de vida das estruturas de disposição de rejeitos.

Embora o GISTM não especifique parâmetros hidrológicos numéricos, ele impõe uma obrigação clara:

não é aceitável ignorar riscos conhecidos e cientificamente reconhecidos.

Assim, a não incorporação de projeções de aumento de eventos extremos de chuva em projetos de drenagem configura **não conformidade com o espírito e os princípios do GISTM**, sobretudo quando associada a consequências potencialmente catastróficas.

(Ver abaixo detalhes sobre as prescrições do GISTM).

10.3.5 Implicações técnicas diretas para projetos no Brasil

A comparação demonstra que:

- **critérios tradicionais brasileiros (ex.: TR = 10.000 anos ou PMP histórica) não garantem adequação climática;**
- **o uso exclusivo de dados históricos viola o estado da arte internacional;**
- **empresas que não incorporam projeções climáticas em projetos de barragens e pilhas assumem risco técnico, jurídico e institucional elevado.**

Consequentemente, torna-se tecnicamente justificável e necessário que **órgãos reguladores exijam:**

- análises hidrológicas baseadas em cenários climáticos futuros;
- reavaliações periódicas de sistemas de drenagem;
- integração entre clima, drenagem e estabilidade geotécnica;
- transparência pública dessas análises.

10.4 Referências e documentos consultados

- **BHP Group Limited.** *BHP Annual Report 2025.*
Disponível em: <https://www.bhp.com/investors/annual-reporting> Acesso em 19/01/2026.
- **BHP Group Limited.** *Climate Change – Physical Climate-related Risk and Adaptation.*
Disponível em: <https://www.bhp.com/sustainability/climate-change> . Acesso em 19/01/2026.
- **Vale S.A.** *Política de Mudanças Climáticas – POL-0012-G.*
Disponível em: <https://vale.com/pt/esg/clima> e [791d9f26-991c-4e19-5bb9-f945b193cb24](https://www.vale.com/pt/esg/clima/791d9f26-991c-4e19-5bb9-f945b193cb24) Acesso em 19/01/2026.
- **IFRS Foundation.** *IFRS S2 – Climate-related Disclosures.*
Disponível em: <https://www.ifrs.org/content/dam/ifrs/publications/pdf-standards-issb/english/2023/issued/part-a/issb-2023-a-ifrs-s2-climate-related-disclosures.pdf?bypass=on> Acesso em 19/01/2026.

- **Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD).** *Final Recommendations*. Disponível em: <https://www.fsb-tcfd.org/recommendations/>. Acesso em 19/01/2026.
- **ICMM.** *Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM)*. Disponível em: <https://globaltailingsreview.org/wp-content/uploads/2020/08/global-industry-standard-on-tailings-management.pdf> Acesso em 19/01/2026.

11 Requisitos do GISTM Relacionados às Mudanças Climáticas e suas Implicações Normativas para a Engenharia de Barragens de Rejeitos e Pilhas de Mineração

11.1 Princípios e Requisitos do GISTM

A seguir é apresentada e a tradução dos requisitos do GISTM que mencionam “climate change”(mudanças climáticas):

- Princípio 2 – Base para a tomada de decisão e gestão de riscos - Requisito 2.1 – Identificação e gestão de riscos relevantes

“Identificar e gerir todos os riscos relevantes associados à instalação de rejeitos, incluindo aqueles relacionados a eventos de baixa probabilidade e altas consequências, ao longo de todo o ciclo de vida da instalação.”

Referência no documento original: GISTM – Princípio 2, Requisito 2.1.

Interpretação normativa aplicada ao clima:

Os riscos associados às mudanças climáticas — em especial o aumento da frequência e da intensidade de eventos extremos de precipitação — enquadram-se explicitamente como riscos relevantes, inclusive de baixa probabilidade histórica e altas consequências, devendo obrigatoriamente ser identificados, avaliados e geridos.

- Princípio 3 – Base de Conhecimento Integrada - Requisito 3.1 – Resiliência às mudanças climáticas

“Para aumentar a resiliência às mudanças climáticas, deve-se avaliar, atualizar regularmente e utilizar o conhecimento sobre mudanças climáticas ao longo de todo o ciclo de vida da instalação de rejeitos, de acordo com os princípios da Gestão Adaptativa.”

Referência no documento original: GISTM – Princípio 3, Requisito 3.1, página 9–10.

- Requisito 3.3 – Avaliação de impactos considerando incertezas climáticas

“Para novas instalações de rejeitos, deve-se utilizar a base de conhecimento, incluindo as incertezas decorrentes das mudanças climáticas, para avaliar os impactos sociais, ambientais e econômicos locais da instalação de rejeitos e de sua potencial falha ao longo de todo o seu ciclo de vida.”

Referência no documento original: GISTM – Princípio 3, Requisito 3.3, página 10.

- Requisito 3.4 – Atualização da gestão com base em novos dados climáticos

“Deve-se atualizar a avaliação dos impactos sociais, ambientais e econômicos locais para refletir qualquer mudança material, seja na instalação de rejeitos, seja no contexto social, ambiental e econômico local. Caso novos dados indiquem que os impactos da instalação de rejeitos tenham se alterado de forma material, inclusive em decorrência do conhecimento sobre mudanças climáticas ou de impactos de longo prazo, o Operador deve atualizar a gestão da instalação de rejeitos para refletir esses novos dados, utilizando as melhores práticas de Gestão Adaptativa.”

Referência no documento original: GISTM – Princípio 3, Requisito 3.4, página 10.

- Princípio 5 – Projeto, construção, operação e monitoramento - Requisito 5.3 – Consideração de eventos extremos e condições futuras

“O projeto da instalação de rejeitos deve considerar eventos extremos e condições futuras plausíveis, incluindo aqueles associados às mudanças climáticas, ao longo de todo o ciclo de vida da instalação.”

Referência no documento original: GISTM – Princípio 5, Requisito 5.3, página 12.

Interpretação normativa aplicada ao clima:

Este requisito estabelece, de forma inequívoca, que eventos extremos associados às mudanças climáticas devem ser considerados no projeto, não se restringindo a eventos observados no passado.

- Anexo 1 – Glossário – Definição de Gestão Adaptativa (*Adaptive Management*)

“Processo estruturado e iterativo de tomada de decisão robusta, com o objetivo de reduzir incertezas ao longo do tempo por meio do monitoramento do sistema. Inclui a implementação de medidas de mitigação e de gestão que sejam responsivas a condições em mudança, incluindo aquelas relacionadas às mudanças climáticas, bem como aos resultados do monitoramento ao longo de todo o ciclo de vida da instalação de rejeitos. Essa abordagem apoia o alinhamento das decisões sobre a instalação de rejeitos com o contexto social, ambiental e econômico em transformação e amplia as oportunidades de desenvolver resiliência às mudanças climáticas no curto e no longo prazo.”

Referência no documento original: GISTM – Anexo 1, página 25.

11.2 Aplicação à Engenharia (Hidrologia, Drenagem e Geotecnia)

Com base nos requisitos acima, a interpretação técnica e normativa aplicável à engenharia de barragens de rejeitos e pilhas de estéréis é apresentada a seguir. À luz dos Princípios 2, 3 e 5 do GISTM, **torna-se obrigatória** a adoção das seguintes práticas técnicas de caráter normativo:

11.2.1 Uso obrigatório de projeções climáticas em estudos hidrológicos

O “conhecimento sobre mudanças climáticas” mencionado no GISTM **não se limita a informações qualitativas**, devendo incluir, obrigatoriamente:

- projeções de precipitação futura derivadas de modelos climáticos reconhecidos;
- avaliação da intensificação da frequência e da magnitude de eventos extremos de chuva;
- análise de cenários climáticos múltiplos e conservadores.

Portanto, **estudos hidrológicos baseados exclusivamente em séries históricas observadas não atendem aos Requisitos 2.1, 3.1, 3.3 e 5.3 do GISTM**

11.2.2 Superação do paradigma da estacionariedade hidrológica

O GISTM impõe o reconhecimento explícito das “incertezas decorrentes das mudanças climáticas” (Req. 3.3), o que implica:

- abandono da hipótese de estacionariedade climática;
- impossibilidade de tratar tempos de retorno históricos (ex.: TR = 10.000 anos ou PMP) como critério suficiente;
- necessidade de análises prospectivas e conservadoras.

Assim, **critérios tradicionais de projeto que ignoram a não estacionariedade climática configuram não conformidade com o GISTM.**

11.2.3 Dimensionamento sob condições futuras plausíveis

Em conformidade com o Requisito 5.3, os sistemas de drenagem superficial e interna devem ser dimensionados considerando:

- eventos extremos futuros plausíveis;
- cenários de maior intensidade e duração de chuvas;
- o efeito de eventos climáticos extremos sobre níveis piezométricos seja avaliado;
- a estabilidade seja analisada sob cenários de saturação futura;
- mecanismos de liquefação e instabilidade induzidos por falhas de drenagem sejam considerados explicitamente.
- possibilidade de falhas em cascata associadas à saturação excessiva.

Dessa forma, o dimensionamento de sistemas de drenagem sob cenários futuros deve cumprir a exigência de resiliência às mudanças climáticas (Req. 3.1), o que implica que:

- canais periféricos, canaletas de berma, descidas de água e sistemas de drenagem interna devem ser dimensionados para **condições climáticas futuras projetadas**;
- **o simples atendimento a PMP histórica ou TR elevado não é suficiente, se não houver demonstração de adequação climática prospectiva.**

Os requisitos 3.3 e 3.4 exigem avaliação de impactos e atualização da gestão sempre que novas informações indicarem mudança material de risco. Em termos de engenharia, isso significa:

- avaliar o efeito de eventos extremos futuros sobre a saturação da pilha ou barragem;
- analisar o impacto do aumento de níveis piezométricos na resistência ao cisalhamento;
- considerar mecanismos de instabilidade induzidos por falhas de drenagem sob chuvas extremas.

11.3 Obrigações normativas para revisão e reavaliação ao longo do ciclo de vida

O Requisito 3.4 estabelece uma obrigação contínua de atualização, que implica:

- revisão periódica dos estudos hidrológicos e dos critérios de drenagem;
- incorporação de novos cenários climáticos à medida que o conhecimento evolui;
- ajustar medidas estruturais e não estruturais conforme os resultados do monitoramento
- atualização de projetos, obras, procedimentos operacionais e planos de emergência com base em novos dados climáticos.

Portanto, **a manutenção de critérios de projeto obsoletos ao longo do tempo viola diretamente o GISTM.**

11.4 Síntese normativa do GISTM

Da leitura integrada dos Princípios 2, 3 e 5 do GISTM, conclui-se que:

1. As mudanças climáticas constituem risco relevante obrigatório a ser considerado.
2. O uso exclusivo de dados históricos é tecnicamente insuficiente e normativamente inadequado.
3. Projetos devem considerar eventos extremos futuros plausíveis, não apenas eventos passados.
4. A engenharia de drenagem e estabilidade deve ser continuamente reavaliada sob uma abordagem de gestão adaptativa.
5. A não incorporação de projeções climáticas configura não conformidade com o GISTM, especialmente para estruturas de alto potencial de dano.

12 Mapeamento de conflitos técnicos com normas brasileiras atuais

A seguir são identificados pontos de conflito entre as normas brasileiras atualmente vigentes e o estado da arte internacional no contexto de mudanças climáticas.

12.1 Hipótese implícita de estacionariedade hidrológica

Normas brasileiras (ex.: ABNT NBR 13028-3:2025, ABNT NBR 13029:2024):

- Baseiam o dimensionamento hidrológico majoritariamente em séries históricas observadas;
- Exigem, no máximo, verificação estatística de tendências, sem obrigatoriedade de uso de projeções climáticas futuras.

Conflito técnico:

- IPCC, WMO, ANCOLD, ICOLD e ICMM reconhecem explicitamente que a estacionariedade climática não é válida;
- Normas brasileiras **não exigem cenários futuros**, apenas análises retrospectivas.

12.2 Interpretação equivocada de TR elevados como critério climático

Normas brasileiras:

- Adotam TR = 10.000 anos ou PMP como critério máximo de segurança;
- Não diferenciam TR estatístico histórico de risco climático prospectivo.

Conflito técnico:

- O IPCC demonstra que probabilidades históricas não se mantêm sob aquecimento global;
- ICOLD e ANCOLD afirmam que TR elevados não substituem análises de risco climático;
- Normas brasileiras **tratam TR elevado como solução final**, o que não é compatível com práticas internacionais.

12.3 Uso da PMP sem ajuste climático

Normas brasileiras:

- Permitem o uso da PMP tradicional como limite superior;
- Não exigem reavaliação da PMP sob cenários de aquecimento global.

Conflito técnico:

- WMO e ICOLD reconhecem que PMP pode ser superada em climas mais quentes;
- Normas brasileiras **não exigem PMP ajustada ao clima futuro**, criando falsa percepção de limite físico absoluto.

12.4 Ausência de abordagem baseada em risco climático

Normas brasileiras:

- Focam no dimensionamento hidráulico determinístico;
- Não exigem análises probabilísticas integradas de risco climático + consequência.

Conflito técnico:

- GISTM e ICMM exigem abordagem baseada em risco, considerando consequências sociais, ambientais e humanas;
- Normas brasileiras **não exigem avaliação explícita de risco climático residual**.

12.5 Falta de integração entre drenagem e estabilidade geotécnica sob clima futuro

Normas brasileiras:

- Tratam drenagem como componente hidráulico isolado;
- Não exigem avaliação integrada entre falha de drenagem, elevação de pressões neutras e instabilidade.

Conflito técnico:

- ICOLD, ANCOLD e GISTM exigem integração total entre hidrologia, hidrogeologia e geotecnia;
- Normas brasileiras **não exigem análise acoplada sob cenários climáticos futuros.**

12.6 Ausência de exigência de revisões periódicas com base climática

Normas brasileiras:

- Não exigem atualização periódica de critérios hidrológicos com base em novos cenários climáticos;
- Revisões são tratadas como eventos pontuais.

Conflito técnico:

- BHP, ICMM e ANCOLD exigem revisões periódicas e dinâmicas;
- Normas brasileiras **não incorporam o conceito de adaptação contínua.**

12.7 Transparência limitada das análises

Normas brasileiras:

- Não exigem publicidade integral de análises de risco hidrológico-climático;
- Acesso frequentemente restrito a órgãos licenciadores.

Conflito técnico:

- GISTM exige transparência e acesso público às análises de risco;
- Normas brasileiras **não garantem controle social efetivo.**

12.8 Síntese

O conflito central reside no fato de que as normas brasileiras continuam fundamentadas em um paradigma hidrológico estacionário e determinístico, enquanto o estado da arte internacional exige uma abordagem prospectiva, baseada em risco climático, cenários futuros, adaptação contínua e transparência.

13 Relatórios de Disclosure Climático

A incorporação dos efeitos das mudanças climáticas às práticas empresariais de projeto, operação e administração tem se refletido na exigência da emissão sistemática de Relatórios de **disclosure climático** (divulgação de informações climáticas), que são documentos corporativos nos quais empresas reportam seus riscos, oportunidades, emissões de gases de efeito estufa (GEE) e estratégias de governança relacionadas à mudança do clima. O objetivo principal é dar transparência a investidores, reguladores e stakeholders sobre o impacto financeiro das mudanças climáticas no negócio.

A partir de 2025, esses relatórios se tornam mais rigorosos, obrigatórios em muitas jurisdições e alinhados a padrões globais.

13.1 Principais Frameworks e Normas (2025)

1. **ISSB (IFRS S2):** As normas do International Sustainability Standards Board (ISSB) estão se tornando o padrão global para relatórios de sustentabilidade. O padrão **IFRS S2** foca

especificamente em divulgações relacionadas ao clima, exigindo informações sobre governança, estratégia, gestão de riscos e métricas.

2. **TCFD (Task Force on Climate-related Financial Disclosures):** O TCFD foi absorvido pela Fundação IFRS, mas seus quatro pilares continuam sendo a base da maioria dos relatórios: Governança, Estratégia, Gestão de Riscos, Métricas e Metas.
3. **CDP (Carbon Disclosure Project):** Questionários anuais renomados que integram os padrões do ISSB e TCFD. Empresas relatam dados sobre mudanças climáticas, florestas e segurança hídrica.
4. **CSRD (Europa):** A Diretiva de Relatórios de Sustentabilidade Corporativa da UE entra em vigor com alta rigidez, tornando os relatórios de clima obrigatórios para muitas empresas, inclusive subsidiárias europeias de empresas brasileiras.
5. **SEC (EUA):** Novas regras da SEC (2024/2025) exigem que empresas públicas reportem riscos climáticos, emissões de Escopo 1 e 2, e impactos financeiros de eventos extremos.

13.2 O que deve conter um Relatório de Disclosure Climático

- **Riscos Físicos:** Impactos financeiros de eventos climáticos agudos (eventos extremos de chuvas, secas) ou crônicos (aumento do nível do mar, redução da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea) em ativos físicos.
- **Riscos de Transição:** Custos para se adaptar a uma economia de baixo carbono e de alterações climáticas extremas, incluindo mudanças regulatórias, tecnológicas ou de mercado.
- **Emissões de GEE:** Dados detalhados de emissões, incluindo Escopo 1 (diretas), Escopo 2 (energia comprada) e, frequentemente, Escopo 3 (cadeia de valor).
- **Governança e Estratégia:** Como a diretoria monitora os riscos climáticos e como o negócio se adapta a diferentes cenários (ex: cenário de 2°C ou superior).

13.3 Panorama no Brasil (2025-2027)

No Brasil, a **CVM (Comissão de Valores Mobiliários)** avançou para tornar o relato climático (padrões S1 e S2) obrigatório entre 2025 e 2027. O Banco Central também estabeleceu o **Relatório GRSAC** (Risco Social, Ambiental e Climático), com novas regras entrando em vigor para as instituições S1 e S2.

13.4 Vantagens do Disclosure

- **Melhoria na Gestão de Riscos:** Identificar vulnerabilidades antecipadamente.
- **Acesso a Capital:** Investidores priorizam empresas com alta transparência e metas claras de net zero.
- **Conformidade Regulatória:** Atender às exigências de reguladores brasileiros (CVM, BC) e internacionais.

14 Diretrizes para a Incorporação dos Efeitos das Mudanças Climáticas em Projetos, Operações e Fiscalização de Instalações de Mineração

14.1 Mudança de Paradigma: Do Projeto Estacionário à Engenharia Baseada em Risco Climático

As mudanças climáticas impõem uma ruptura definitiva com o paradigma tradicional de projeto e operação de instalações de mineração, historicamente fundamentado na premissa de estacionariedade climática. Evidências científicas amplamente reconhecidas e adotadas por

empresas líderes do setor mineral demonstram que eventos extremos de precipitação, secas prolongadas, alterações nos padrões de temperatura e mudanças nos regimes hidrológicos já afetam, de forma significativa, a segurança, a confiabilidade e a vida útil de estruturas de disposição de rejeitos e estéreis.

Dessa forma, **a incorporação sistemática dos efeitos das mudanças climáticas deve ser entendida como um requisito técnico, normativo e ético, e não como uma medida opcional ou complementar.** Projetos, revisões de segurança, operações e processos de licenciamento que ignorem explicitamente esses efeitos configuram falha conceitual grave frente ao estado da arte da engenharia, da gestão de riscos e da governança ambiental, podendo configurar descumprimento do dever de cuidado (*duty of care*) e das responsabilidades legais de diretores (*directors' duties*), conforme vem sendo exigido em jurisdições avançadas

14.2 Princípios Fundamentais para Consideração das Mudanças Climáticas

Todas as empresas de mineração e órgãos reguladores devem adotar, no mínimo, os seguintes princípios estruturantes:

1. **Reconhecimento explícito da não estacionariedade climática**, com abandono do uso exclusivo de séries históricas observadas.
2. **Abordagem baseada em risco**, considerando probabilidade, severidade e consequências de falha.
3. **Integração entre riscos físicos climáticos, riscos geotécnicos e riscos operacionais.**
4. **Adoção do princípio da precaução**, especialmente para estruturas com alto potencial de dano.
5. **Resiliência ao longo de todo o ciclo de vida:** As medidas de adaptação e manutenção devem ser projetadas, custeadas e implementadas pelos responsáveis pela construção das estruturas de mineração para garantir a segurança e a performance socioambiental não apenas durante a operação, mas também nas fases de fechamento e pós-fechamento;
6. Consideração da necessidade e da **provisão financeira para atividades de monitoramento, manutenção e intervenção corretiva** perenes por parte dos responsáveis pela construção das estruturas, inclusive nas fases de fechamento e pós-fechamento, por períodos que podem se estender por décadas ou séculos.
7. **Transparência e acesso público às análises de risco e estudos técnicos**, conforme os princípios da GISTM e do ICMM.
8. **Responsabilização clara de gestores, projetistas e operadores**, com rastreabilidade das decisões técnicas.

14.3 Avaliação de Perigos Climáticos Físicos

As empresas devem identificar e caracterizar, de forma sistemática, todos os **perigos climáticos** físicos relevantes, incluindo, no mínimo:

- precipitações extremas de curta duração;
- eventos pluviométricos prolongados;
- erosividade das chuvas;
- inundações fluviais e pluviais;
- secas prolongadas;
- elevação de temperaturas médias e extremas;
- alterações nos regimes de evapotranspiração;
- eventos combinados e em cascata (ex.: seca extrema + incêndio + chuva intensa subsequente), mais devastadores do que eventos isolados;

- impactos indiretos sobre infraestrutura crítica (acessos, energia, água, comunicações).

Essa identificação deve considerar horizontes temporais múltiplos, coerentes com a vida útil das estruturas (curto, médio e longo prazo).

14.4 Uso Obrigatório de Projeções Climáticas Futuras

Em consonância com exigências implícitas da GISTM e práticas já adotadas pelas grandes empresas do setor, tais como a BHP, os projetos e revisões de segurança devem:

- utilizar projeções climáticas regionais, preferencialmente baseadas em modelos reconhecidos internacionalmente (ex.: IPCC);
- considerar múltiplos cenários climáticos, incluindo cenários conservadores;
- incorporar horizontes temporais compatíveis com a vida útil e o pós-fechamento das estruturas;
- justificar tecnicamente a escolha dos cenários adotados.

As projeções devem ser regionalizadas (*downscaled*) para representar adequadamente as condições locais e de microclima. A incerteza inerente às projeções climáticas deve ser explicitamente reconhecida e gerenciada, por exemplo, através da análise de múltiplos modelos (*ensemble*) e da adoção de uma abordagem que considere o pior cenário plausível dentro de um intervalo de confiança definido para estruturas de alto risco.

O uso exclusivo de dados históricos observados deve ser formalmente proibido como critério único de projeto e avaliação de segurança.

14.5 Reavaliação de Critérios Hidrológicos e de Drenagem

Os sistemas de drenagem superficial e interna devem ser completamente reavaliados à luz das mudanças climáticas, incluindo:

- Análise da erosividade das chuvas futuras: cálculo do potencial erosivo (ex.: Fator R USLE/RUSLE ou similar) como parâmetro de projeto para os cenários climáticos projetados, servindo de base para o dimensionamento de todas as proteções superficiais contra erosão (rip-rap, geomantas, revegetação etc.);
- Projeto para resiliência e falha segura (*fail-safe* ou de "consequência controlada"): os sistemas devem ser projetados de modo que, mesmo se ultrapassada sua capacidade hidráulica de projeto, o transbordamento ou falha seja direcionado para áreas predefinidas de menor risco (ex.: bacias de detenção), evitando danos catastróficos;
- redimensionamento de canais periféricos, canaletas de berma, de topo e de acesso, descidas de água e extravasores;
- verificação de capacidade hidráulica para eventos extremos projetados;
- avaliação da robustez frente a obstruções, erosões e falhas progressivas;
- consideração de redundâncias e caminhos alternativos de escoamento;
- integração entre drenagem superficial, drenagem interna e controle do nível freático;
- consideração da necessidade de manutenção perene das estruturas por parte dos responsáveis por sua construção, enquanto elas existirem, o que pode significar períodos de décadas ou séculos.

O projeto de drenagem deve ser tratado como **elemento crítico de segurança**, e não apenas como infraestrutura auxiliar.

14.6 Análises Geotécnicas Integradas aos Cenários Climáticos

As análises de estabilidade devem incorporar explicitamente os efeitos climáticos, incluindo estabilidade de interfaces em estruturas zonadas (ex.: pilhas híbridas com interfaces entre materiais de diferentes granulometrias – ex.: rejeito filtrado vs. estéril), com foco na avaliação do potencial de erosão interna (piping) sob gradientes hidráulicos aumentados:

- elevação transitória e permanente de níveis piezométricos;
- aumento de pressões neutras durante eventos extremos;
- degradação de parâmetros de resistência associada à saturação;
- efeitos de ciclos de secagem e umedecimento;
- erosão interna e regressiva induzida por falhas de drenagem.

Devem ser realizadas **análises determinísticas e probabilísticas**, com avaliação explícita das consequências de falha.

14.7 Avaliação de Risco e Consequências

Em consonância com exigências implícitas da GISTM e práticas já adotadas pelas grandes empresas do setor, tais como a BHP, todas as instalações devem ser submetidas a:

- análises formais de risco climático, preferencialmente por meio de uso de metodologias quantitativas ou semiquantitativas padronizadas, como Análise de Risco Quantitativa (QRA) ou Análise de Árvore de Falhas (FTA) cujos resultados devem informar os **relatórios de disclosure climático** nos moldes do TCFD.;
- avaliação integrada de probabilidade e consequência;
- consideração de impactos à vida humana, ao meio ambiente, às comunidades e à infraestrutura pública;
- priorização de ações com base no risco residual.

Estruturas com **alto potencial de dano** devem adotar critérios mais conservadores e margens adicionais de segurança.

14.8 Planos de Adaptação Climática em Nível de Ativo

Cada instalação de disposição de rejeitos ou estéreis deve possuir um **Plano de Adaptação Climática**, que inclua:

- **garantia financeira** (*financial assurance*) como parte integrante e obrigatória do plano: mecanismo financeiro robusto e pré-aprovado pelo órgão regulador para custear a implementação de todas as medidas de adaptação, monitoramento e intervenções necessárias ao longo de todo o ciclo de vida da estrutura;
- identificação de vulnerabilidades específicas;
- medidas estruturais e operacionais de adaptação;
- cronograma de implementação;
- responsabilidades definidas;
- indicadores de desempenho e gatilhos de revisão.

Esses planos devem ser **revisados periodicamente**, à luz de novas informações climáticas e de desempenho operacional.

14.9 Monitoramento, Instrumentação e Gatilhos de Ação

Devem ser implementados sistemas robustos de monitoramento, incluindo:

- instrumentação geotécnica e hidrogeológica adequada;
- monitoramento meteorológico local;
- uso de tecnologias de monitoramento contínuo e de detecção precoce das condições das estruturas de armazenamento de rejeitos e de estéreis e das cavas: implementação de sistemas automatizados (ex.: radar por satélite - InSAR, scan laser - LiDAR, sensores distribuídos) para detecção de anomalias em tempo quase real, integrados a um Sistema de Alerta Precoce (EWS) com protocolos de resposta operacional definidos;
- definição de níveis de alerta e gatilhos de resposta;
- integração do monitoramento de cada empresa aos bancos nacionais de dados hidrológicos, para disponibilização das séries históricas à sociedade depois de consistidas por entidades independentes;
- disponibilização à sociedade, em tempo real, pelo menos dos dados com valores acima do esperado, dos principais instrumentos de medição de parâmetros relacionados à segurança das estruturas de mineração, tais como barragens e pilhas;
- integração com planos de emergência;
- criação do Portal Nacional de Dados de Segurança de Estruturas Minerárias

Os sistemas devem ser projetados para **antecipar falhas**, e não apenas registrar ocorrências passadas.

14.10 Revisões de Segurança, Auditorias e PSAR

As revisões periódicas de segurança e auditorias independentes devem:

- verificar explicitamente a incorporação de riscos climáticos;
- avaliar a adequação de drenagem, estabilidade e capacidade hidráulica;
- revisar hipóteses de projeto à luz de dados climáticos atualizados;
- a qualificação dos revisores independentes (EoR, painel de especialistas) deve incluir comprovada experiência na integração de projeções climáticas em análises geotécnicas e hidrológicas;
- documentar não conformidades e exigir planos corretivos.
- exigência, pelos órgãos de controle e fiscalização, de que as empresas forneçam, com a periodicidade da DCE (Declaração de Condição de Estabilidade), uma **DRC (Declaração de Resiliência Climática – "Statement of Climate Resilience")**.

Revisões que não considerem mudanças climáticas devem ser consideradas tecnicamente insuficientes e não aceitáveis.

14.11 Transparência e Acesso Público às Informações

Em consonância com a GISTM, todas as análises de risco, estudos de estabilidade e planos de adaptação climática devem ser:

- integralmente incorporados ao Plano de Gestão de Segurança da Instalação (*Site Safety Management Plan*), documento público conforme GISTM;
- apresentados em linguagem técnica clara;
- disponibilizados a comunidades, universidades, entidades ambientalistas e órgãos de controle;
- atualizados periodicamente;

A transparência deve ser entendida como **instrumento de prevenção de desastres**.

14.12 Papel dos Órgãos Públicos de Licenciamento e Fiscalização

Os órgãos públicos devem:

- exigir explicitamente a consideração das mudanças climáticas nos processos de licenciamento;
- revisar criticamente hipóteses hidrológicas e geotécnicas;
- demandar análises de risco climático e planos de adaptação e responsabilizar-se pelo exame devido e pela aprovação dos relatórios de análise de risco;
- fiscalizar efetiva e assiduamente a implementação efetiva das medidas propostas;
- rejeitar projetos que não atendam a esses requisitos.
- desenvolver capacidade técnica interna especializada em hidrologia e geotecnia climática, ou constituir painéis de especialistas independentes para assessoramento;
- elaborar e publicar, com a máxima urgência, diretrizes técnicas (*guidelines*) oficiais detalhando os métodos, modelos climáticos e fatores de segurança mínimos aceitáveis para a incorporação das mudanças climáticas em projetos de barragens e pilhas de mineração.

14.13 Responsabilidade Corporativa, Governança e Financiamento

- **Accountability da Alta Administração:** o Conselho de Administração e a Diretoria Executiva de cada empresa devem aprovar formalmente a política de gestão de risco climático para estruturas de disposição, assegurar os recursos necessários e receber relatórios periódicos sobre o desempenho e a resiliência dessas estruturas;
- **Integração ao Risco Empresarial (ERM):** os riscos climáticos físicos para as estruturas devem ser integralmente mapeados no Sistema de Gestão de Riscos Corporativos (ERM) da empresa, com clara atribuição de proprietários do risco (*risk owners*);
- **Provisão Financeira (Financial Assurance):** deve ser estabelecido, antes do início da operação, um mecanismo financeiro irrevocável e suficiente – como fundos fideicomissários, garantias bancárias ou seguros – para cobrir todos os custos associados ao monitoramento, manutenção, intervenções de adaptação, resposta a emergências e fechamento final das estruturas, sob todos os cenários climáticos considerados; este mecanismo deve ser reavaliado a cada revisão de segurança;
- **Disclosure e Relatórios:** as empresas devem reportar publicamente, nos moldes do TCFD, a exposição aos riscos climáticos físicos de suas estruturas, as estratégias de adaptação e as métricas de resiliência, permitindo que investidores e a sociedade avaliem a robustez de sua gestão.

14.14 Síntese

A incorporação dos efeitos das mudanças climáticas nas atividades de mineração representa uma **mudança estrutural de paradigma**, que exige integração entre ciência do clima, engenharia, gestão de riscos, governança e responsabilidade social. Esse processo não é apenas tecnicamente necessário, mas essencial para a proteção da vida, do meio ambiente e do interesse público.

A implementação destas diretrizes requer uma **evolução contínua do conhecimento, das normas e da prática de engenharia**. Empresas, órgãos reguladores, academia e sociedade devem engajar-se em um processo colaborativo para refinar métodos, compartilhar dados e elevar progressivamente o patamar de segurança e resiliência do setor mineral frente ao maior desafio ambiental da história das civilizações.

Belo Horizonte, 22 de janeiro de 2026

Euler de Carvalho Cruz
Engenheiro – CREA/MG nº 18.738

