

18º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental

IMPORTÂNCIA DO ENGENHEIRO DE REGISTRO E DO ACOMPANHAMENTO TÉCNICO CONSTRUTIVO NO ACOMPANHAMENTO NA DISPOSIÇÃO DE REJEITOS EMPILHADOS DURANTE OS EVENTOS CLIMÁTICOS

Diego Silva¹; Alfredo Nunes², Mateus Leite³, Karine Saraiva⁴; Pedro Andrade⁵ e Rodney Silva⁶

Resumo – Durante o ciclo de vida de uma pilha de estéril e rejeito (PDER) ou pilha de rejeito (PDR), ainda na fase de projeto, geralmente não se aplica o conceito de fechamento progressivo da estrutura. Dessa forma, as drenagens superficiais e a cobertura vegetal previstas em projeto são executadas apenas ao final da operação, o que pode ocasionar diversas anomalias nas pilhas, como faces de taludes expostas à erosão, carreamento de sedimentos e formação de ravinas, exigindo ações corretivas. Diante desse cenário, é fundamental que o Engenheiro de Registro (EoR) atue ao longo do ciclo operacional da estrutura, fornecendo orientação técnica qualificada e suporte na tomada de decisões, com foco na integridade, estabilidade e longevidade da estrutura. Além disso, na etapa operacional da pilha, o apoio de uma equipe de Acompanhamento Técnico Construtivo (ATC) é essencial para auxiliar o EoR no monitoramento contínuo, especialmente em períodos chuvosos. Essa equipe, dedicada exclusivamente à estrutura, realiza inspeções diárias e oferece suporte técnico à equipe operacional do empreendedor. Com isso, tanto o EoR quanto a equipe de ATC conseguem propor e implementar medidas preventivas com agilidade, reduzindo riscos e aprimorando o desempenho da estrutura ao longo do tempo.

Abstract – During the life cycle of a waste rock and tailings embankment (PDER) or a tailings embankment (PDR), the concept of progressive closure is generally not applied during the design phase. As a result, the surface drainage systems and vegetative cover planned in the design are only implemented at the end of the operational phase, which can lead to various anomalies in the embankments, such as slope faces exposed to erosion, sediment transport, and the formation of gullies, requiring corrective actions. In this context, it is essential for the Engineer of Record (EoR) to be involved throughout the operational cycle of the structure, providing qualified technical guidance and supporting decision-making processes, with a focus on the integrity, stability, and long-term performance of the structure. Furthermore, during the operational phase of the embankment, the support of a Technical Construction Monitoring (ATC) team is crucial to assist the EoR in continuous monitoring, especially during rainy periods. This dedicated team performs daily inspections and provides technical support to the operator's team. In this way, both the EoR and the ATC team can promptly propose and implement preventive actions, reducing risks and improving the overall performance of the structure over time.

Palavras-Chave – Rejeito filtrado; Pilha de Rejeito Filtrado; Engenheiro de Registro; Acompanhamento Técnico Construtivo.

1 Eng., PhD, BVP Engenharia e Hidrotécnica, Belo Horizonte-MG; (16) 98121 9392; diego.silva@bvp.eng.br

2 Eng., BVP Engenharia e Hidrotécnica, Belo Horizonte-MG; (81) 9861 9097; alfredo.nunes@bvp.eng.br

3 Eng., BVP Engenharia e Hidrotécnica, Belo Horizonte-MG; (31) 8495 9549; mateus.leite@bvp.eng.br

4 Eng., BVP Engenharia e Hidrotécnica, Belo Horizonte-MG; (38) 9835 2925; karine.saraiva@bvp.eng.br

5 Eng., BVP Engenharia e Hidrotécnica, Belo Horizonte-MG; (31) 8219 9489; pedro.andrade@bvp.eng.br

6 Eng., VALE, Belo Horizonte-MG; (31) 97303 4604; Rodney.Silva@vale.com

1. INTRODUÇÃO

A gestão de estruturas de disposição de rejeitos passou a demandar uma atuação mais robusta e formalizada de profissionais responsáveis técnicos, especialmente após a publicação do *Padrão Global da Indústria para a Gestão de Rejeitos – GISTM (Global Industry Standard on Tailings Management)*, elaborado em conjunto pelo ICMM, UNEP e PRI em 2020.

Segundo o GISTM (2020), o **Engenheiro de Registro (EoR)** é um profissional designado por uma empresa de engenharia qualificada, responsável por confirmar que a estrutura de disposição de rejeitos foi projetada, construída, operada e desativada com a devida atenção à integridade da instalação. O EoR deve assegurar a conformidade com a legislação, diretrizes, códigos e normas técnicas aplicáveis. Ainda que possa delegar certas atividades a outros membros da equipe técnica, a responsabilidade final pela função e a prestação de contas permanecem exclusivamente sob sua atribuição.

Embora o GISTM não especifique o papel de outros profissionais, destaca-se nas boas práticas da engenharia geotécnica a importância do **Acompanhamento Técnico Construtivo (ATC)**, principalmente na fase operacional das pilhas. O profissional ou equipe responsável pelo ATC realiza inspeções diárias, monitora os parâmetros operacionais e avalia os resultados de ensaios de controle, assegurando que a execução atenda aos critérios de projeto e às normas de segurança definidas no Manual de Operação da estrutura.

O papel do ATC torna-se substancial para garantir a qualidade dos trabalhos realizados durante a construção e operação da pilha, especialmente no controle da compactação de rejeitos. Sua atuação contribui para que as variabilidades de campo permaneçam dentro das tolerâncias estabelecidas em projeto, o que proporciona maior previsibilidade do comportamento da estrutura ao longo do tempo e reduz o risco de falhas operacionais ou estruturais.

Diante das definições apresentadas, observa-se que, após a entrega de um projeto executivo ou detalhado, a expectativa das partes envolvidas é de que sua execução em campo ocorra conforme o planejado. No entanto, em diversas situações, a realidade da obra acaba se distanciando do previsto, sendo comum a ocorrência de alterações no projeto, como mudanças no sequenciamento construtivo, que impactam diretamente sua implantação – seja na fase inicial, intermediária ou final.

Essas modificações podem decorrer de múltiplos fatores, que não serão objeto de discussão neste artigo. O foco deste trabalho é apresentar como a atuação do Engenheiro de Registro (EoR) e da equipe de Acompanhamento Técnico Construtivo (ATC) pode contribuir positivamente para a obtenção de uma boa performance da estrutura ao longo de sua execução, especialmente durante o período chuvoso, cada vez mais crítico em função das mudanças climáticas extremas.

Durante o acompanhamento construtivo de uma pilha de rejeito (PDR) ou de uma pilha de estéril e rejeito compartilhada (PDER), o período chuvoso representa o momento mais sensível da operação, sobretudo quando não há um **Plano de Chuvas** previamente estabelecido. Esse plano deve ter como principal objetivo a condução adequada das águas de escoamento superficial, evitando o acúmulo, a infiltração e o carreamento de sólidos, de forma a mitigar processos erosivos no maciço da pilha.

Entre os elementos essenciais do plano de chuvas, destacam-se os sistemas de drenagem provisórios, que devem ser implantados ao longo do alteamento, considerando que os sistemas definitivos muitas vezes não estão disponíveis durante as fases intermediárias da obra. A ausência ou insuficiência dessas drenagens provisórias pode comprometer significativamente a segurança da estrutura, ocasionando erosões, rupturas e, em alguns casos, aumento do nível freático. Além disso, praças de compactação sem drenagem adequada podem inviabilizar o processo de compactação do rejeito durante todo o período chuvoso, comprometendo a qualidade da obra e a estabilidade da estrutura.

2. EXPERIÊNCIAS NO ACOMPANHAMENTO DO EOR E DO ATC NA PREPARAÇÃO DE PDER'S PARA O PERÍODO CHUVOSO, COM BASE NO MANUAL DE OPERAÇÃO

Como já discutido anteriormente, é de suma importância realizar um plano de chuvas para as estruturas em fase de empilhamento, em momento apropriado antes do início do período chuvoso previsto para a região de implantação do empreendimento. Diante disso, serão apresentados a seguir alguns pontos de atenção que devem fazer parte do escopo do plano de chuvas, fundamentados na experiência prática em campo, tanto dos profissionais que acompanham diariamente a estrutura, como é o caso da equipe de Acompanhamento Técnico Construtivo (ATC), quanto da equipe do Engenheiro de Registro (EoR), que realiza visitas mensais à estrutura.

A preparação de Pilhas de Disposição de Estéril e Rejeito (PDERs) para o período chuvoso é uma etapa crítica na gestão da segurança e estabilidade da estrutura. Todas as ações preventivas e corretivas relacionadas devem estar previstas e detalhadas no Manual de Operação da estrutura, conforme as melhores práticas de engenharia. Além da atuação do EoR e do ATC, é fundamental destacar o papel ativo do engenheiro geotécnico e dos técnicos operacionais, que contribuem com inspeções especializadas e suporte técnico durante esse período.

Essa atuação integrada possibilita o monitoramento contínuo, a identificação rápida de pontos críticos e a implementação ágil de medidas de controle — tais como drenagens provisórias, reforço de bermas, regularização de taludes e demais ações previstas no plano de chuvas. Nas próximas seções, serão compartilhadas experiências práticas que ilustram a aplicação desses conceitos, reforçando a importância do trabalho colaborativo entre as equipes para garantir a performance e segurança das PDERs durante os períodos chuvosos.

2.1. Mapeamento do limite crítico de pluviometria (diária) da Estrutura

Mesmo com o plano de chuvas implantado, observou-se que, para algumas estruturas, a partir de um limite específico de pluviometria diária, ocorriam danos erosivos considerados leves a médios, o que demandava ações de manutenção pontuais. Com base na experiência adquirida ao longo do monitoramento da estrutura, esses danos foram classificados de forma empírica conforme suas características visuais e impacto observado:

- **Leves:** Ravinamentos superficiais com pequena profundidade, sem comprometimento da geometria da estrutura; (associados a chuvas entre 10 e 20 mm/dia).
- **Médios:** Sulcos com maior profundidade, com início de carreamento de finos ou exposição de material erodível, exigindo intervenções e recomposição de camada compactada. (Chuvas entre 20 a 40 mm).

A prática demonstrou que, ao manter precocemente essas erosões leves a médias, mitiga-se o risco de evolução para danos mais severos, prevenindo impactos significativos à performance da estrutura.

O mapeamento do limite crítico de resposta da estrutura frente às chuvas só foi possível graças à atuação contínua do ATC, que realizou visitas diárias, correlacionando os danos observados com os dados pluviométricos. A Figura 1 apresenta os registros de precipitação do mês de dezembro de 2024, quando a estrutura foi monitorada intensamente. Como essa estrutura já vinha sendo acompanhada desde o período chuvoso anterior, foi possível identificar que chuvas acima de **30 mm/dia** frequentemente provocavam processos erosivos em taludes de estéril sem vegetação e carreamento de finos na praça de compactação de rejeitos. Essa constatação permitiu direcionar com maior exatidão as visitas técnicas do ATC durante o período chuvoso de 2024/2025, priorizando as áreas mais vulneráveis logo após os eventos pluviométricos críticos.

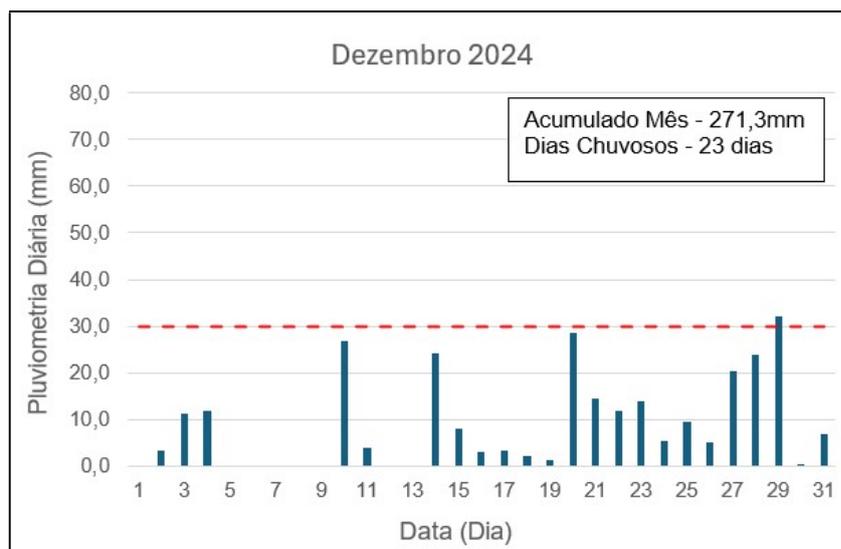


Figura 1 - Pluviometria Diária.

2.2. Importância da Compactação prévia antes da chuva (Selagem da camada)

Embora bem conhecido entre os profissionais que acompanham a compactação de solos, os processos erosivos podem atingir camadas de até 35 cm de profundidade (Figura 2), especialmente quando essas camadas não passam por uma compactação prévia (selagem) antes da ocorrência de chuvas. Além disso, é comum a formação de grandes poças de água em áreas onde o material encontra-se apenas espalhado, sem compactação adequada. Nesse contexto, o acompanhamento meteorológico se torna essencial para antecipar o início das chuvas e planejar o selamento das camadas expostas.

A experiência adquirida como EoR, com o apoio do ATC, em estruturas que demandam compactação de rejeito filtrado (material não coesivo), demonstrou que o aviso de uma precipitação significativa deve ocorrer com pelo menos **1 hora de antecedência**, tempo considerado suficiente para a equipe de campo realizar a selagem de uma área de **5.600 m²**, mitigando o risco de erosões nas camadas ainda soltas (Figura 2).

No entanto, caso não seja possível concluir a compactação antes do início da chuva, a camada afetada deverá ser integralmente retirada, para posteriormente ser novamente espalhada, compactada e amostrada, conforme procedimento operacional padrão. **Entretanto, no caso do rejeito filtrado, essa remoção não é viável**, uma vez que **a trafegabilidade dos equipamentos é comprometida quando a umidade ultrapassa 16%**, impossibilitando o acesso ao material. Nessa situação, o rejeito **deverá ser tratado no próprio local**, assim que as condições permitirem o tráfego seguro dos equipamentos. Esse procedimento deve estar formalmente descrito no manual de operação da estrutura, garantindo o correto tratamento das camadas não compactadas.

É importante destacar que, com os avanços tecnológicos, atualmente é possível prever a intensidade e a duração das chuvas com relativa antecedência, possibilitando à operação um planejamento semanal eficiente, alinhado com as previsões meteorológicas. Dessa forma, a equipe de campo pode se organizar com antecedência, garantindo a disponibilidade dos equipamentos necessários para o selamento das camadas, reduzindo riscos operacionais e garantindo a integridade da estrutura.

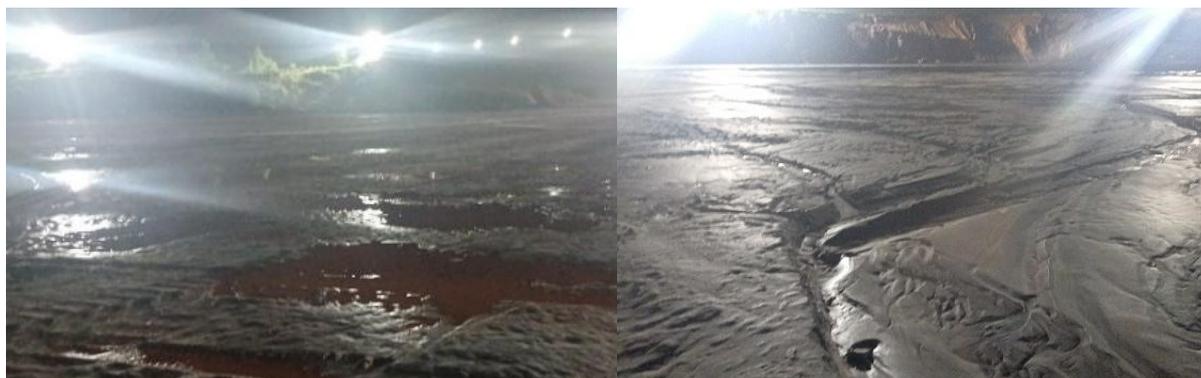


Figura 2 – Condições da praça de empilhamento após as chuvas (> 30 mm no dia).

2.3. Programar manutenções nos sistemas de drenagem provisórias

Normalmente, o projeto das drenagens superficiais definitivas é previsto para ser executado nas fases finais do empilhamento. Em função disso, torna-se necessária a implementação de sistemas de drenagem provisórios, com o objetivo de assegurar a adequada performance operacional da estrutura durante o período chuvoso.

Diante desse cenário, o monitoramento contínuo das pilhas é fundamental, sendo recomendadas inspeções mensais pelo Engenheiro do Registro (EoR) e reuniões semanais com a equipe de Acompanhamento Técnico de Campo (ATC), a fim de discutir eventuais intervenções de manutenção, especialmente após eventos pluviométricos significativos.

A Figura 3 ilustra um exemplo de canal enrocado provisório, responsável por conduzir o escoamento superficial proveniente do tráfego de equipamentos de grande porte. **Após um evento de precipitação superior a 30 mm**, foram observadas feições erosivas nos pontos de contato e nas curvas de menor raio, em função do aumento da energia do escoamento. As inspeções realizadas pelo engenheiro da equipe de ATC imediatamente após o evento foram essenciais para a avaliação das condições do dispositivo e resultaram na recomendação de preenchimento das áreas erodidas com blocos de maior dimensão, de forma a aumentar a resistência hidráulica local e minimizar danos em eventos futuros.



Figura 3 – Erosões no canal enrocado que direciona água para um canal periférico.

2.4. Importância de manter o caimento mínimo nas bermas

Durante a etapa de empilhamento de rejeitos e/ou estéril, é fundamental garantir um **caimento mínimo de 1%** ao longo das superfícies superiores e bermas, de modo a favorecer o escoamento superficial das águas pluviais. A ausência desse direcionamento pode resultar no **acúmulo de água nas bermas**, comprometendo a drenagem superficial.

A Figura 4 ilustra pontos de acúmulo que ocasionaram **restrições operacionais**, como a **interrupção do tráfego de equipamentos**, a **redução na frequência de leituras dos**

instrumentos geotécnicos instalados na área afetada e **dificuldades na realização de manutenções corretivas** em trechos a jusante dos pontos alagados.



Figura 4 – Acumulo de água nas bermas.

2.5. Manutenção dos taludes naturais e erosões pontuais

Durante o período chuvoso, é essencial que a equipe de Acompanhamento Técnico de Campo (ATC) realize inspeções diárias, com o objetivo de identificar anomalias ainda em seus estágios iniciais. Essa abordagem preventiva permite mitigar a evolução de pequenos danos para problemas geotécnicos de maior gravidade.

A Figura 5 apresenta o registro de duas anomalias identificadas pela equipe de ATC durante inspeções nos acessos a um Ponto de Disposição de Estéril e Rejeito (PDER):

- A primeira anomalia consistiu na movimentação de uma pequena massa de solo, associada ao aumento do grau de saturação do material após um evento pluviométrico significativo;
- A segunda anomalia foi relacionada a um processo erosivo localizado, ocorrido em um trecho parcialmente implantado do acesso ao banco do PDER. Essa área não dispunha de sistema de drenagem superficial adequado, o que resultou na formação de um caminho preferencial de escoamento ao longo da face do talude, intensificando a ação erosiva durante os episódios de precipitação intensa.

Esses exemplos reforçam a importância do monitoramento contínuo, sobretudo em regiões críticas ou expostas à ação direta das águas pluviais.



Figura 5 – Movimentação de massa e erosões pontuais.

A Figura 6 ilustra um caso de **erosão pontual** identificado durante uma das inspeções diárias da equipe de Acompanhamento Técnico de Campo (ATC), nas proximidades da praça de compactação do rejeito filtrado. A feição erosiva apresentava aproximadamente 6,1 metros de altura e uma largura equivalente a cerca de 50% da berma superior (~4,0 m).

Diante da gravidade do processo, o **Engenheiro da equipe de ATC** orientou o preenchimento imediato da erosão com **estéril rochoso**, a fim de conter o avanço e estabilizar a área afetada.

Contudo, como não houve a recuperação da drenagem superficial da berma localizada a montante do ponto erodido, persistia o risco de recorrência do processo em eventos futuros. Por essa razão, o Engenheiro de Registro (EdR) da estrutura recomendou à equipe de ATC a realização de inspeções rotineiras no local, com o objetivo de possibilitar uma resposta rápida e eficaz em caso de reaparecimento de sinais de instabilidade ou erosão.

Ressalta-se que essa berma será futuramente contrapilhada com rejeito, o que elimina a necessidade de implantação de um sistema de drenagem superficial definitivo na região.



Figura 6 – Recuperação de erosões pontuais.

3. CONCLUSÕES

Diante do exposto ao longo deste artigo, destaca-se a importância da elaboração e implementação de um Plano de Gestão de Chuvas para estruturas em fase de construção, como as PDRs e PDERs. Esse plano deve ser desenvolvido com, no mínimo, quatro meses de antecedência ao início do período chuvoso, permitindo o planejamento e a instalação de dispositivos de drenagem provisórios adequados, uma vez que os sistemas definitivos ainda não estarão concluídos.

Além do plano, a presença de uma equipe técnica qualificada, como o time de Acompanhamento Técnico de Campo (ATC), é imprescindível para o monitoramento diário da estrutura. Essa atuação contínua permite a identificação precoce de potenciais falhas, a avaliação da performance dos dispositivos implementados e a proposição de ações corretivas com agilidade, prevenindo o agravamento de anomalias.

Outro elemento fundamental é o papel do Engenheiro do Registro (EoR), cuja participação ativa nas inspeções e discussões técnicas assegura que o histórico das fases de projeto, construção, operação e manutenção seja devidamente documentado, consolidado e analisado. Essa rastreabilidade contribui não apenas para a segurança da estrutura, mas também para a tomada de decisão técnica baseada em evidências.

Ressalta-se ainda a relevância da integração entre as equipes de projeto, execução e operação, bem como o uso de ferramentas de monitoramento geotécnico, topográfico e hidrológico — como drones, sensores remotos e estações pluviométricas automatizadas —, que fortalecem a capacidade de resposta durante eventos extremos. A incorporação de lições aprendidas ao longo do ciclo de vida da estrutura é essencial para o aprimoramento contínuo das práticas de gestão, garantindo maior eficiência operacional e segurança estrutural em cenários futuros.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à equipe de Hidrotecnia da BVP, com destaque para os hidrólogos Alessandro Silva, Carolina Marques e Mirelle Dias, pelo desenvolvimento do plano de gestão de chuvas aplicado às estruturas avaliadas. Agradecem, ainda, à BVP e à VALE pela cessão das imagens utilizadas neste trabalho e pelo suporte técnico e institucional prestado ao longo do monitoramento dos eventos pluviométricos.

REFERÊNCIAS

BVP. *Relatórios mensais do EoR e Relatório de Obra do ATC.* Belo Horizonte: BVP, 2024.

ICMM – International Council on Mining and Metals. *Global Industry Standard on Tailings Management.* London: ICMM, 2020.

ICMM – International Council on Mining and Metals. *Global Conformance Protocols: Global Standards on Tailings Management.* London: ICMM, 2021a.

ICMM – International Council on Mining and Metals. *Tailings Management: Good Practice Guidelines.* London: ICMM, 2021b.