

O Impacto do Planejamento e Controle de Manutenção na Eficiência da Gestão de Ativos Geotécnicos: Evidências de uma Barragem de Mineração

Manuela Cabral Caetano

Engenheira Civil, Instituto Água e Terra, Curitiba, Brasil, manuelacabral@iat.pr.gov.br

Pedro Vitor Máximo Pereira

Consultor de Gestão de Projetos de Capital e Infraestrutura, Alvarez e Marsal Consultoria em Infraestrutura LTDA, Nova Lima, Brasil, ppereira@alvarezandmarsal.com

Hyllttonn W. D. Bazan

Gerente Técnico de Instrumentação e Monitoramento Geotécnico, Vale S.A., Nova Lima, Brasil, h.bazan@vale.com

Leila Diniz Tolentino

Analista de Confiabilidade, Progen Projetos Gerenciamento e Engenharia S.A, Nova Lima, Brasil, leila.viana@progen.com.br

Victor Hugo Fago Soares

Engenheiro Eletrônico e de Telecomunicações, Progen Projetos Gerenciamento e Engenharia S.A, Nova Lima, Brasil, victor.soares@progen.com.br

RESUMO: O Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) é um processo amplamente reconhecido por sua capacidade de aprimorar a qualidade, disponibilidade e confiabilidade de dispositivos e ativos, particularmente em indústrias com processos mecânicos controlados. Este artigo explora a aplicação do PCM em contextos relacionados a estruturas geotécnicas, com foco na análise de falhas e priorização de ativos suscetíveis a anomalias. O PCM surge como uma ferramenta valiosa para a gestão de ativos geotécnicos, especialmente em estruturas críticas, como barragens, onde a segurança é de suma importância. Através da criação de planos de manutenção preventiva, identificação de indicadores-chave de desempenho e estabelecimento de sistemas de controle eficazes, o PCM tem como objetivo reduzir o risco de falhas, assegurando a integridade dessas estruturas. Um projeto piloto de aplicação do PCM foi realizado em uma barragem em Nova Lima, Minas Gerais, em 2023. A implementação do PCM envolveu a inclusão de planos sistemáticos para inspeção, manutenção de instrumentação e infraestrutura (roçada, limpeza de drenagem e controle de pragas) no sistema SAP. Essa iniciativa proporcionou uma visão mais abrangente e estratégica das operações de manutenção. A análise de dados históricos de inspeções permitiu uma avaliação detalhada das tendências de falhas e deficiências nas estruturas, impulsionando melhorias contínuas nas atividades de manutenção. A comparação do desempenho antes e depois da implementação do PCM forneceu evidências sólidas do impacto positivo dessa abordagem na qualidade, disponibilidade e confiabilidade das estruturas da barragem.

PALAVRAS-CHAVE: Planejamento e Controle de Manutenção, Gestão de Ativos Geotécnicos, Barragens de Mineração

ABSTRACT: Maintenance Planning and Control (PCM) is a process widely recognized for its ability to improve the quality, availability and reliability of devices and assets, particularly in industries with controlled mechanical processes. This article explores the application of PCM in contexts related to geotechnical structures, with a focus on failure analysis and prioritization of assets susceptible to anomalies. PCM has emerged as a valuable tool for managing geotechnical assets, especially in critical structures such as dams, where safety is of paramount importance. By creating preventive maintenance plans, identifying key performance indicators and establishing effective control systems, PCM aims to reduce the risk of failure, ensuring the integrity of these structures. A pilot project to apply PCM was carried out on a dam in Nova Lima, Minas Gerais, in 2023. The implementation of PCM involved the inclusion of systematic plans for inspection, maintenance of instrumentation and infrastructure (mowing, drainage cleaning and pest control) in the SAP system. This initiative provided a more comprehensive and strategic view of maintenance operations. The analysis of historical inspection data has enabled a detailed assessment of trends in faults and deficiencies in structures, driving continuous improvements in maintenance activities. Comparing performance before and after the implementation of PCM provided solid evidence of the positive impact of this approach on the quality, availability and reliability of the dam's structures.

KEYWORDS: Maintenance Planning and Control, Geotechnical Asset Management, Mining Dams

1 INTRODUÇÃO

A gestão de ativos geotécnicos em barragens de mineração é uma atividade crítica para garantir a segurança e a operação eficiente das instalações. O Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) é uma ferramenta essencial para essa gestão, pois permite a otimização dos recursos e a minimização dos riscos de falhas.

A atividade de manutenção em barragens é importante por várias razões. Primeiro, ela ajuda a garantir a operação segura da barragem, protegendo a vida e a propriedade das comunidades a jusante. Além disso, a manutenção adequada ajuda a estender a vida útil da estrutura e a alcançar os objetivos pretendidos, como controle de enchentes, geração de energia, irrigação, disposição de rejeitos, entre outros. A manutenção também desempenha um papel importante na proteção do meio ambiente, preservando habitats de peixes e vida selvagem. Por fim, a atividade de manutenção ajuda a proteger o investimento feito na construção da barragem, garantindo que ela esteja em boas condições e funcionando.

Segundo a Association of State Dam Safety Officials (ASDSO) dos Estados Unidos a operação de barragens refere-se às atividades e procedimentos necessários para garantir o funcionamento adequado da barragem e de seus componentes associados. Isso inclui o funcionamento dos mecanismos operacionais, como comportas e válvulas, o monitoramento das condições da barragem, como níveis de água e vazões, e a implementação de medidas de segurança para proteger o público e os trabalhadores. A operação de barragens é essencial para garantir a segurança e o desempenho adequado da barragem.

Já a manutenção de barragens refere-se às atividades de manutenção e reparo necessárias para garantir sua integridade estrutural e o bom funcionamento. Isso inclui a inspeção regular dos componentes da barragem, a identificação e correção de deficiências, a limpeza e o reparo de equipamentos, e a realização de testes de desempenho. A manutenção de barragens é fundamental para garantir a segurança a longo prazo e prevenir falhas ou danos que possam comprometer sua estabilidade e funcionalidade.

As atividades de manutenção desse tipo de estrutura incluem uma variedade de tarefas para garantir a operação segura e eficiente das estruturas. Algumas das principais atividades de manutenção são:

- Inspeções regulares: verificação da condição da vegetação, tocas de animais, erosão, rachaduras, surgências, vazamentos e funcionamento adequado dos equipamentos. A frequência varia de acordo com o componente (mensal, trimestral, anual);
- Controle de vegetação: remoção de vegetação indesejada para evitar danos aos taludes, bem como manter uma condição que permita acompanhar o surgimento de anomalias e possibilite o acesso aos elementos da estrutura;
- Remoção de detritos: limpeza de detritos de vertedouros, canais e outras áreas para garantir o fluxo adequado da água e evitar bloqueios;
- Proteção de taludes: manutenção e reparo de medidas de proteção dos taludes, como riprap, para evitar erosões e demais anomalias;

- Manutenção de concreto e metal: reparo de rachaduras, juntas e corrosão em estruturas de concreto e metal;
- Manutenção de equipamentos: garantia do funcionamento adequado e da funcionalidade de válvulas, comportas, bombas e outros equipamentos por meio de verificações regulares, lubrificação e substituições;
- Instrumentação e comunicação: realização de inspeções regulares de instrumentos e testes de confiabilidade de equipamentos de comunicação;
- Segurança e proteção: manutenção de cercas de segurança, sirenes, e prevenção de invasões na área da barragem;
- Manutenção de vias de acesso: manter as vias de acesso limpas e em boas condições.

Já a rotina de manutenção da instrumentação geotécnica da barragem abrange uma série de atividades fundamentais para garantir a precisão e a confiabilidade dos dados obtidos. Entre essas atividades, destacam-se as inspeções regulares, que visam identificar possíveis anomalias ou falhas antes que causem problemas maiores; as calibrações e aferições, fundamentais para assegurar que os instrumentos estejam medindo corretamente; e os testes de vida, que avaliam a permeabilidade dos instrumentos de tubo aberto (piezômetros e indicadores de nível da água). Estas manutenções preventivas são essenciais para manter o desempenho ideal dos equipamentos, minimizando o risco de falhas inesperadas e prolongando sua vida útil.

O Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) é uma parte essencial da gestão de manutenção. Ele envolve o desenvolvimento de estratégias e processos para garantir que a manutenção seja realizada de forma eficiente e eficaz. O planejamento inclui a identificação das tarefas de manutenção necessárias, a alocação de recursos adequados e a programação das atividades. O controle envolve o monitoramento e a supervisão das atividades de manutenção para garantir que elas sejam executadas conforme planejado e que os resultados sejam alcançados. O objetivo final do Planejamento e Controle da Manutenção é maximizar a disponibilidade operacional, reduzir os custos de manutenção e melhorar a qualidade e a segurança dos ativos (Ben-Daya et al., 2009).

A manutenção preventiva é uma estratégia organizada para realizar a manutenção em intervalos predeterminados, a fim de reduzir a probabilidade de falha ou degradação de desempenho de um equipamento. Ela pode ser classificada em manutenção de intervalo constante ou manutenção realizada em intervalos fixos, equilibrando o risco de falha com intervalos longos e os custos de manutenção preventiva com intervalos curtos. Na manutenção baseada em idade, a manutenção é realizada apenas após o sistema atingir uma idade específica, reduzindo o número de intervalos de manutenção em comparação com a manutenção de intervalo constante (Ben-Daya et al., 2009).

Os indicadores de desempenho são importantes para o controle da manutenção por várias razões. Primeiro, eles fornecem uma medida quantificável do desempenho da manutenção, permitindo que os gestores avaliem a eficácia das atividades de manutenção. Isso ajuda a identificar áreas problemáticas, alocar recursos adequadamente e tomar decisões corretivas. Além disso, permitem o monitoramento contínuo do desempenho da manutenção ao longo do tempo. Isso ajuda a identificar tendências e padrões, permitindo que os gestores tomem medidas proativas para melhorar a eficiência e a eficácia da manutenção. Os indicadores de desempenho também são importantes para o benchmarking, ou seja, a comparação do desempenho da manutenção com padrões internos ou externos. Isso permite que as organizações identifiquem áreas de melhoria e adotem melhores práticas da indústria (Ben-Daya et al., 2009).

A análise de falhas deve ser feita de forma sistemática, seguindo uma abordagem lógica. Uma das abordagens populares é a Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA), que pode ser adaptada para analisar erros humanos na manutenção e recomendar estratégias para eliminá-los ou mitigá-los. A FMEA identifica os modos de falha e seus efeitos, permitindo que a manutenção direcione a atenção para os componentes críticos que devem ser inspecionados e substituídos antes da falha (Ben-Daya et al., 2009).

A RESOLUÇÃO ANM Nº 95/2022, em consonância com as melhores práticas internacionais de segurança de barragens, preconiza a implementação de um programa abrangente de manutenções, incluindo as seguintes modalidades:

Manutenção Preventiva: O documento recomenda o planejamento e a execução de manutenções preventivas, com foco na inspeção regular e no cuidado proativo das barragens. Tal planejamento deve considerar os seguintes aspectos:

- Identificação e descrição dos elementos da estrutura: mapeamento detalhado de todos os elementos que compõem a barragem, incluindo seus componentes e características relevantes;

- Análise de perigos e procedimentos de segurança: avaliação minuciosa dos riscos potenciais associados à cada estrutura, com a definição de medidas de segurança específicas para mitigar tais riscos;
- Definição de responsabilidades: designação clara de pessoas ou equipes responsáveis pela execução das atividades de manutenção, com a devida qualificação e expertise;
- Estimativa de recursos: cálculo preciso dos recursos humanos, materiais e financeiros necessários para a realização das manutenções;
- Estabelecimento de frequências: determinação da periodicidade ideal para as atividades de manutenção preventiva, considerando fatores como tipo de estrutura, histórico de desempenho e condições ambientais.

Manutenção Preditiva: a Resolução incentiva a adoção de técnicas de monitoramento e diagnóstico para identificar potenciais falhas em seus estágios iniciais, permitindo ações corretivas tempestivas e evitando danos maiores.

Manutenção Corretiva: o documento reconhece a importância da pronta resposta a falhas e anomalias detectadas, através da implementação de medidas corretivas eficazes para restaurar a segurança e o funcionamento adequado das estruturas.

A combinação de diferentes tipos de manutenções, conforme preconizado pela RESOLUÇÃO ANM Nº 95/2022, contribui para a otimização da gestão de barragens, assegurando sua longevidade, operabilidade e, acima de tudo, a segurança das pessoas e do meio ambiente.

1.2 Barragem em Estudo

A barragem do estudo está localizada no município de Nova Lima, Minas Gerais. A barragem foi construída com a finalidade de conter os rejeitos gerados no beneficiamento do minério de ferro, reservar água para abastecimento industrial e clarificar o efluente final da Mina de Águas Claras da Vale S.A. O método construtivo da estrutura é alteamento a jusante. Desde o encerramento das atividades de mineração na mina, no final do ano de 2002, a função da estrutura consiste na contenção de sedimentos provenientes de sua bacia de contribuição.

2 METODOLOGIA

2.1 Levantamento de Dados e Análise de Confiabilidade

Para esse estudo, foram utilizados os dados coletados durante as inspeções geotécnicas realizadas na estrutura ao longo de 5 anos. O período de análise compreende os anos de 2018 a 2023. As informações obtidas são oriundas do banco de dados da Vale S.A., o GEOTEC, onde o apontamento das anomalias detectadas durante a inspeção é realizado, sendo que nesse período foram captadas 275 anomalias. Ao efetuar o tratamento dos dados foi possível estratificar as anomalias, conforme a Figura 1.

Com base no resultado apresentado, observou-se que as anomalias mais recorrentes são referentes a “Drenagem superficial obstruída”, “Assoreamento”, “Buracos causados por animais” e “Vegetação alta”, sendo responsáveis por 40% das anomalias registradas durante o período em estudo. Outra análise realizada foi referente a distribuição mensal das anomalias, para verificar a existência de padrões. O resultado está na Figura 2.

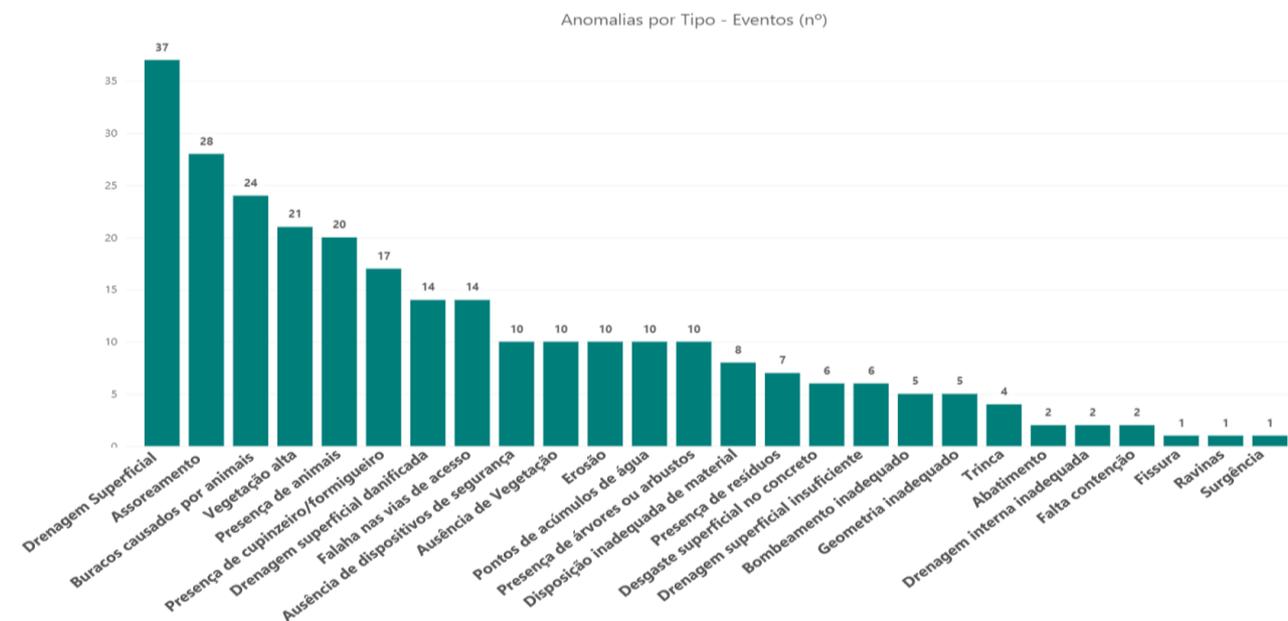


Figura 1 - Eventos de recorrência de anomalias entre 2018 e 2023 (Fonte: Autores, 2024)



Figura 2 - Distribuição mensal das recorrências de anomalias (Fonte: Autores, 2024)

O gráfico mostra uma maior recorrência de anomalias durante os meses entre outubro e março, que é marcado pelo período de chuvas mais intensas na região onde a barragem em estudo se encontra. A Figura 3 contém a precipitação média mensal fornecido por pluviógrafo localizado na Mina Águas Claras durante o período de 2020 à 2022.

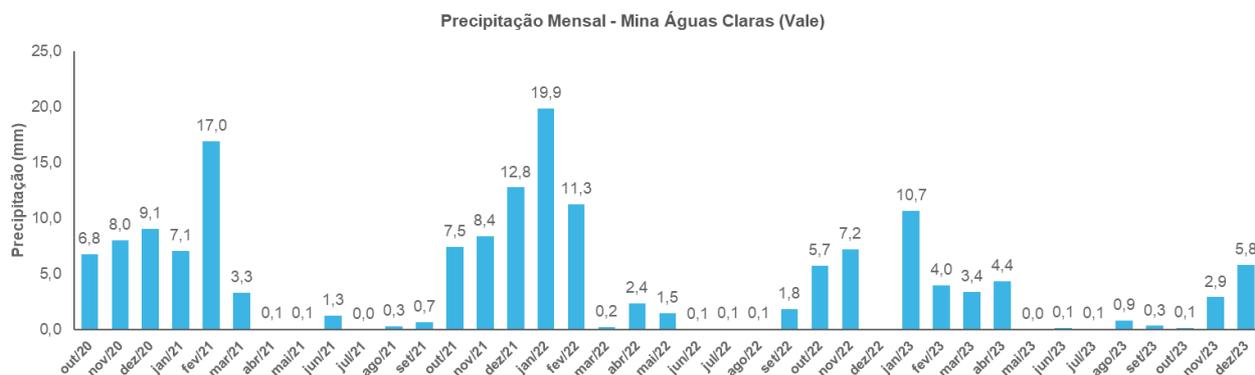


Figura 3 - Dados de precipitação mensal na Mina Águas Claras (Fonte: Autores, 2024)

A maior incidência de anomalias pode estar relacionada à maior recorrência de chuvas entre os meses de outubro e março, como a obstrução de drenagem superficial, assoreamento e erosões, que foram apontadas na Figura 1 como estando entre as anomalias com maior recorrência na estrutura.

Uma das frentes do processo, prevista para ser desenvolvida durante 2024 e 2025, é a análise de confiabilidade. É uma ferramenta empregada em outras fases da indústria, que conforme Faria (2014), trata da

redução de falhas e maximização do tempo de operação normal dos equipamentos, tendo caráter de aumento de eficiência e segurança das operações.

O processo de confiabilidade está em fase de adaptação para a geotecnia, podendo agregar na estratégia de manutenção ao possibilitar uma análise crítica das anomalias existentes, tornando visível suas reincidência, ou seja, ocorrências dentro de um determinado período. Isso viabiliza adequações nos planos de manutenção, prevenindo que a instrumentação geotécnica ou componentes da barragem atinjam um estado de falha.

2.1 Desenvolvimento de Plano de PCM

Durante o período entre 2018 e 2022, as correções de anomalias apontadas pelas inspeções, bem como a manutenção da barragem eram realizadas pelas equipes de infraestrutura, e a manutenção da instrumentação geotécnica ocorria de forma corretiva, após falhas. Com o início da implantação do PCM em 2022, as atividades de manutenção de instrumentação passaram a ser planejadas e controladas no SAP, sistema adotado pela Vale para essa finalidade, e com isso, os planos de inspeção, manutenção preventiva e aferição tiveram maior visibilidade.

Durante o ano de 2023, houve uma iniciativa envolvendo a equipe de PCM, Engenharia de Manutenção de Ativos Geotécnicos e Equipes de Infraestrutura, para o desenvolvimento de um Piloto que definisse a estratégia de manutenção das atividades necessárias para manter as condições de integridade de uma barragem. De acordo com Adayeri et al. (2011), a estratégia de manutenção consiste na metodologia adotada para sistematização das tarefas de manutenção, buscando a melhoria da confiabilidade e regularidade de operação dos sistemas produtivos.

Para isso, foi importante entender a rotina desenvolvida pelas equipes de infraestrutura, bem como as atividades envolvidas durante uma campanha de manutenção. É um entendimento importante, por questão de mobilização de recursos humanos e logísticos, envolvendo gestão de contratos e construção de estruturas temporárias para suporte das atividades.

A princípio, a rotina envolvia as seguintes atividades: roçada e controle de vegetação arbustiva, limpeza do sistema de drenagem, reparo das estruturas de concreto e de madeira, pintura das canaletas e identificação de instrumentação, correção de erosões, controle de pragas, preenchimento de buracos causados por animais, revegetação e remoção de resíduos.

A partir disso foi necessário estratificar as atividades de forma a entender o que poderia ser enquadrado como uma rotina de manutenção sistemática e o que poderia ser identificado como uma manutenção condicional. A diferenciação se deu principalmente pelo fato das sistemáticas ocorrerem em períodos determinados, sendo possível estipular o tempo gasto na atividade, bem como o número de recursos humanos e materiais necessários, enquanto as condicionais só ocorrem a partir do momento que uma anomalia é identificada.

Com isso, concluiu-se que as seguintes atividades poderiam ser sistemáticas: roçada, limpeza do sistema de drenagem e controle de pragas. Esses três serviços devem ocorrer independentemente da existência de uma anomalia, tem uma periodicidade definida para sua execução, e possibilitam a definição dos recursos necessários e tempo gasto para o desenvolvimento das atividades.

Como as demais atividades da rotina de infraestrutura não atendem a esses três requisitos, elas são consideradas como manutenções condicionais, devendo ter sua necessidade apontada após as inspeções geotécnicas da barragem. Logo, durante o piloto ficou acordado que inspeções precederiam as campanhas de manutenção, de forma que as anomalias encontradas pudessem ser tratadas utilizando as equipes mobilizadas e estrutura de apoio disponibilizada para as manutenções preventivas.

2.1 Implementação do Sistema de PCM

O processo de PCM foi implementado no período de 24 meses com a definição das diretrizes e atividades de manutenção da geotecnia, na estruturação das funções e responsabilidades dos participantes do processo: PCM, Engenharia de Manutenção de Ativos e Executantes e definição do software de gestão, o SAP e integrações necessárias com o sistema de gestão de anomalias da geotecnia, GEOTEC.

A implementação do PCM apresentou um ganho no processo de manutenção, auxiliando na maior visibilidade das atividades, controle e distribuição de recursos, assim como um ganho na segurança durante o desenvolvimento das atividades. A partir do momento que uma manutenção sistemática é cadastrada no SAP,

se torna necessário descrever as atividades que devem ser desenvolvidas pelas equipes de campo, bem como as permissões de trabalho, treinamentos e equipamentos de proteção individuais necessários.

Uma ferramenta utilizada é o “Mapa de 52 Semanas”, que compila os planos sistemáticos existentes no SAP, podendo ter uma representação gráfica. Com isso, é possível visualizar caminhos críticos de manutenção, possibilitando ao PCM gerir as equipes de trabalho e insumos de forma otimizada. Alguns exemplos disso estão representados pelo Gráfico de Gant apresentados na Figura 3 e Figura 4.



Figura 4 - Mapa de 52 Semanas dos Serviços de Infraestrutura (Fonte: Autores, 2024)

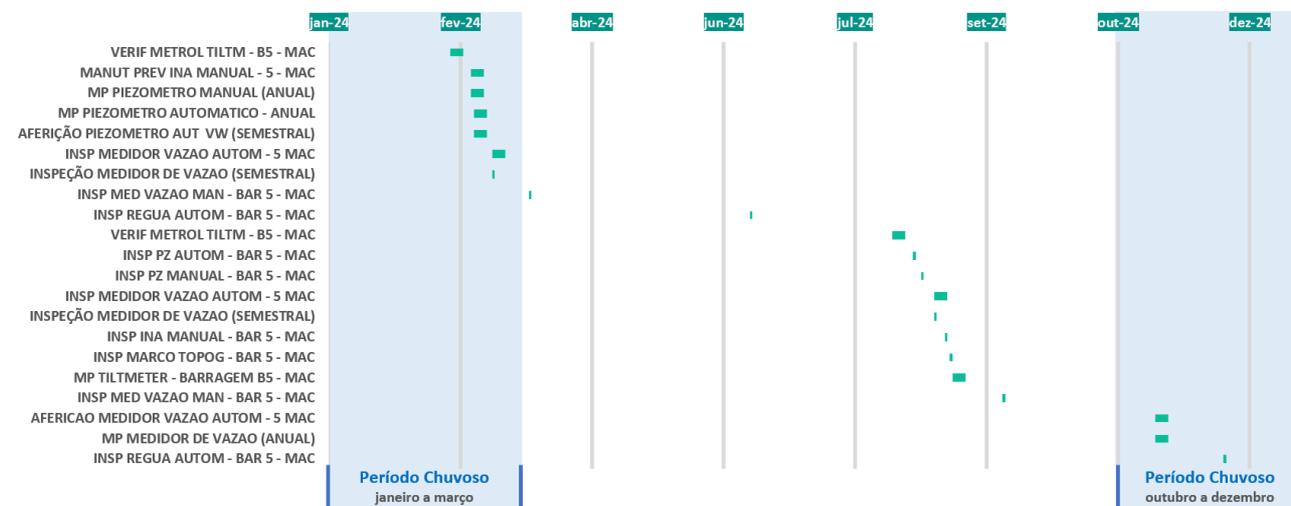


Figura 5 - Mapa de 52 Semanas das Manutenções de Instrumentação (Fonte: Autores, 2024)

Uma utilização interessante para o Mapa de 52 Semanas é a visualização dos períodos nos quais os serviços de roçada, limpeza de sistema de drenagem e controle de pragas estão previstos, deste modo, conhecendo-se o período de chuvas, atentar para a necessidade de manutenções condicionais ou, então, reprogramação das atividades sistemáticas.

3 RESULTADOS

A implementação do PCM na barragem de mineração resultou em diversos benefícios, como:

- Sistematização das atividades de infraestrutura: incluir as manutenções preventivas no SAP agrega maior segurança e controle ao processo;
- Início do processo de confiabilidade: as atividades desenvolvidas permitem a obtenção de dados mais confiáveis para entendimento de recorrência de anomalias na barragem em estudo;

- Redução do tempo de parada dos instrumentos: a implementação de planos de manutenção preventiva e preditiva contribuiu para a redução do tempo de parada dos instrumentos automatizados da barragem para reparos;
- Diminuição dos custos de manutenção: a otimização das atividades de manutenção resultou na diminuição dos custos de manutenção da barragem;
- Aumento da confiabilidade: a adoção de um sistema de PCM contribuiu para o aumento da confiabilidade da barragem, reduzindo o risco de falhas;
- Melhoria da segurança: a implementação do PCM resultou em uma gestão mais segura da barragem, minimizando os riscos para os trabalhadores e para a comunidade local.

4 CONCLUSÃO

O estudo de caso demonstra os impactos positivos do PCM na gestão de barragens de mineração. Isso ocorre ao agregar maior previsibilidade nas manutenções, garantir medidas de segurança para execução de atividades, e assim, auxiliar na diminuição de falhas na estrutura e seus componentes. O PCM também possibilita a parametrização dos processos, de forma a possibilitar o acompanhamento por meio de indicadores, o que garante maior visibilidade de *gaps* e melhorias para as equipes envolvidas.

5 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a implementação do PCM em outras barragens de mineração, como forma de otimizar a gestão de ativos geotécnicos e garantir a segurança das instalações. Além disso, é importante ressaltar a necessidade de treinamento para os profissionais envolvidos na operação, inspeção e manutenção da barragem, a fim de garantir a efetividade do sistema de PCM, bem como nas definições claras sobre os papéis e responsabilidades e esclarecimentos sobre as atividades de manutenção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Vale S.A pelo fornecimento dos dados e pela iniciativa que foram fundamentais para a elaboração deste trabalho. Os autores acreditam que trabalhos como esse desempenham um papel fundamental no fortalecimento da segurança barragens de rejeito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adeyeri M.K, Karrem B., Ayodeji S.P, Emovon I. (2011) “Dynamic Maintenance Strategy, the Panacea to Materials Wastage from Machinery”. *Proceedings of the World Congress on Engineering*. Vol 1. London, U.K.

Association of State Dam Safety Officials (ASDSO), Training Aids for Dam Safety, How to organize an operation and maintenance program. <https://damsafety.org/sites/default/files/files/TADS-HowOrganizeOperationMaintenanceProgram.pdf>

Agência Nacional de Mineração (ANM). RESOLUÇÃO ANM Nº 95, DE 07 DE FEVEREIRO DE 2022. Dispõe sobre os critérios e procedimentos para a classificação das barragens de mineração, a segurança de barragens de mineração, a inspeção e o monitoramento de barragens de mineração, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 fev. 2022. Seção 1, p. 69-79.

Ben-Daya, M., Duffuaa, S. O., Raouf, A., Knezevic, J., & Ait-Kadi, D. (Eds.). (2009). *Handbook of maintenance management and engineering*. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0>
Faria, P. H. L (2014). *Estudo de confiabilidade de manutenção em sistemas de expedição de produtos de mineração*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia / UFRGS. 102p.