

Utilização de Novas Tecnologias no Monitoramento de Pilha de Rejeito: Monitoramento Térmico com Uso de Drone

Jean Carlos Macson

Engenheiro Geotécnico, Conselheiro Lafaiete, Brasil, jean.carlo.cardoso@vale.com

Geydson Alves

Engenheiro Geotécnico, Belo Horizonte, Brasil, geydson.alves@vale.com

Dieggo Soares

Engenheiro Geotécnico, Itabirito, Brasil, dieggo.soares@vale.com

Lincoln Barony

Engenheiro Geotécnico, Congonhas, Brasil, lincoln.barony@aluno.ufop.edu.br

Edicarlos Silva

Engenheiro Geotécnico, Congonhas, Brasil, edicarlos.silva@vale.com

RESUMO: O estudo em questão aborda uma abordagem inovadora no monitoramento de pilhas de rejeito, utilizando drones equipados com câmeras termográficas. O principal objetivo desse método é detectar e identificar possíveis problemas, como excesso de umidade e surgências, que são fatores críticos para a segurança dessas estruturas. Ao empregar câmeras termográficas, capazes de detectar variações de temperatura, os drones podem mapear com precisão áreas suspeitas, revelando variações térmicas que indicam a presença de umidades ou surgências em áreas mais frias das pilhas. Essas informações são cruciais, pois podem sinalizar problemas no sistema de drenagem interno, infiltrações superficiais ou até mesmo indicar caminhos preferenciais de fluxo que poderiam levar a falhas estruturais. Uma das principais vantagens desse método é a eficiência e agilidade no monitoramento. Os drones podem cobrir grandes áreas em curtos períodos de tempo, eliminando a necessidade de acesso físico a áreas de difícil alcance ou perigosas para os profissionais. Além disso, o monitoramento em tempo real proporciona uma tomada de decisão ágil e precisa, permitindo a identificação imediata de problemas e a implementação de medidas corretivas de manutenção.

PALAVRAS-CHAVE: Pilha de Rejeito; Drone; Monitoramento; Tecnologia; Inspeção Geotécnica.

ABSTRACT: The study in question addresses an innovative approach to monitoring waste piles, using drones equipped with thermal cameras. The main objective of this method is to detect and identify potential issues, such as excess moisture and seepage, which are critical factors for the safety of these structures. By employing thermal cameras, capable of detecting temperature variations, drones can accurately map suspicious areas, revealing thermal variations indicating the presence of moisture or seepage in cooler areas of the piles. This information is crucial as it can signal problems in the internal drainage system, surface infiltrations, or even indicate preferential flow paths that could lead to structural failures. One of the main advantages of this method is the efficiency and agility in monitoring. Drones can cover large areas in short periods of time, eliminating the need for physical access to hard-to-reach or dangerous areas for professionals. Additionally, real-time monitoring provides agile and precise decision-making, allowing for the immediate identification of problems and the implementation of maintenance corrective measures.

KEYWORDS: Waste Piles; Drones; Monitoring; Technology; Geotechnical Inspection

1. INTRODUÇÃO

As pilhas de rejeito desempenham um papel crucial na indústria de minério de ferro, sendo uma parte essencial do processo de beneficiamento mineral. No entanto, a gestão inadequada dessas estruturas pode acarretar sérios riscos ambientais e de segurança. Com o aumento da produção mineral e o consequente crescimento das

instalações de armazenamento de rejeitos, torna-se imperativo implementar medidas eficazes de monitoramento e manutenção para garantir a integridade dessas estruturas.

As inspeções visuais periódicas emergem como uma ferramenta fundamental na identificação precoce de potenciais problemas e no acompanhamento da evolução das condições das pilhas de rejeito. Estas inspeções permitem a detecção de sinais de instabilidade, erosão, infiltração de água e outros danos que possam comprometer a estabilidade e segurança das pilhas.

Hawley M. e Cunning J. (2017) ressaltam que a inspeção visual é fundamental para a operação segura contínua de uma pilha, e é o método mais fácil, mais comum e mais prático de monitoramento. A inspeção visual é um componente chave de um programa eficaz de monitoramento pilhas de rejeito. Potenciais sinais de instabilidade em desenvolvimento podem ser detectados através de inspeções visuais, incluindo: trincas; deformação; inclinação excessiva; ravinamentos; surgências. Observações de qualquer um desses indicadores devem ser trazidas à atenção do corpo técnico de geotecnia para ajudar a identificar potenciais instabilidades que possam estar se desenvolvendo.

Neste contexto, este artigo explora a importância das inspeções visuais periódicas nas pilhas de rejeito da indústria de minério de ferro, destacando os benefícios de uma abordagem proativa na gestão e manutenção dessas estruturas vitais. Será discutido o método para o monitoramento térmico com uso de drone para a realização dessas inspeções, bem como os desafios enfrentados e as melhores práticas para garantir a segurança e integridade das pilhas de rejeito.

Drone é o termo mais comum usado para se referir a aeronaves leves sem pilotos humanos a bordo. Por serem leves, não muito caros e, em termos de pilotagem, não muito exigentes, o uso civil desses veículos tem sido exponencial, especialmente nos últimos anos. Este artigo apresenta uma aplicação que explora seu uso como portador de câmeras digitais, permitindo a aquisição de imagens infravermelhas a partir da inspeção em uma pilha de rejeito.

2. METODOLOGIA

O drone utilizado para a realização das inspeções na pilha de rejeito é chamado de Matrice 300 da plataforma de drone industriais da DJI conforme apresenta a Figura 1, possui até 55 minutos de tempo de voo, habilidades avançadas de inteligência artificial, sistemas de detecção e posicionamento em 6 direções.

A metodologia empregada neste estudo envolveu várias etapas para a realização de uma inspeção visual detalhada em uma pilha de rejeito selecionada, seguida pela identificação de possíveis pontos de umidade por meio de imagens infravermelhas adquiridas pelo drone equipado com a câmera H20T.



Figura 1. Drone Matrice 300 a esquerda e câmera H20T a direita. Fonte: DJI

A primeira etapa do estudo foi a realização da seleção da pilha de rejeito com base em critérios como o tamanho da estrutura, sua importância para as operações mineradoras e a disponibilidade de acesso para inspeção. A Figura 2 apresenta a estrutura de armazenamento de rejeito que possui 50 m de altura que ocupa uma área de aproximadamente 57000,00 m².



Figura 2. Estrutura de armazenamento de rejeito. Fonte: Os autores.

Em seguida, foi realizada uma inspeção visual minuciosa da estrutura. Essa inspeção foi conduzida por profissionais treinados, os quais avaliaram diversos aspectos, incluindo a presença de trincas, deformações, inclinações anormais, e quaisquer outros sinais de potencial instabilidade. Após a inspeção visual, foram identificados possíveis pontos de atenção. Esses pontos foram marcados para posterior análise.

Utilizou-se então, o drone Matrice 300 equipado com a câmera H20T para a aquisição de imagens infravermelhas da pilha de rejeito. O drone foi programado para sobrevoar a área de interesse de forma sistemática, capturando imagens em alta resolução. A câmera H20T, com sua capacidade de capturar imagens térmicas, foi essencial para identificar variações de temperatura associadas à presença de umidade na superfície da pilha.

As imagens infravermelhas capturadas foram analisadas para identificar áreas com variações significativas de temperatura, indicativas de possíveis pontos de umidade na pilha de rejeito. Essas áreas foram posteriormente comparadas com os pontos marcados durante a inspeção visual para corroborar os resultados.

Essa abordagem metodológica permitiu uma avaliação abrangente da integridade da pilha de rejeito, combinando técnicas tradicionais de inspeção visual com tecnologias avançadas de imagem infravermelha proporcionadas por drones.

3. RESULTADOS

3.1 Inspeção de campo

A inspeção de campo foi realizada a fim de observar o estado de conservação da estrutura e obter os pontos de atenção para a realização do voo de drone posteriormente. A Figura 3 apresenta os pontos inspecionados onde pode-se constatar o estado de conservação a que se encontra.



Figura 3. Imagens da inspeção visual realizada na estrutura. Fonte: Os autores.

Alguns aspectos de rotina podem ser identificados como necessidade de conformação de alguns pontos dos taludes e correção em algumas bermas no que se refere a declividade para o correto direcionamento das drenagens.

3.2 Voo de drone

Durante o curso da pesquisa, foi conduzido o voo de drone com o objetivo de obter imagens detalhadas para análise posterior. Antes de iniciar o voo, realizou-se uma inspeção visual minuciosa da área de interesse. Esta etapa foi fundamental para identificar os pontos críticos que requeriam atenção especial durante o voo do drone. Fatores como a presença de obstáculos, condições meteorológicas, e possíveis interferências eletromagnéticas foram cuidadosamente avaliados.

Ao operar o drone, foram adotadas precauções para garantir a segurança e o sucesso da missão. Entre essas precauções, destacam-se a verificação prévia do equipamento para garantir seu correto funcionamento, a definição de um plano de voo detalhado, incluindo altitudes e trajetórias de voo seguras, e a realização de testes de conectividade e calibração do GPS.

Durante o voo, manteve-se constante atenção aos pontos de interesse previamente identificados durante a inspeção visual. Além disso, a equipe ficou atenta a possíveis mudanças nas condições ambientais que pudessem afetar a segurança do voo, como variações repentinas de vento ou mudanças na iluminação.

3.3 Avaliação das imagens coletadas

Conforme apresenta a Figura 4, o drone é capaz de fornecer as imagens em alta resolução da estrutura onde a vista abrangente da pilha permite uma avaliação geral de seu estado de conservação. As inspeções com o uso de drone utilizando a tecnologia de câmera infravermelha fornece informações que auxiliam na detecção de anomalias que seriam difíceis de serem constatadas somente por inspeção visual em campo.



Figura 4. Imagens de drone da pilha de rejeito. Fonte: Os autores

O objetivo do voo foi a aquisição de fotografias infravermelhas de alta qualidade de diferentes pontos de vista. A avaliação de imagens infravermelhas fornece uma série de informações em diversas áreas, incluindo a detecção de anomalias térmicas, onde as imagens infravermelhas podem revelar variações de temperatura em uma superfície, indicando a presença de anomalias térmicas, como calor, infiltração de água ou falhas estruturais. A Figura 5 apresenta os pontos observados em campo que foram possíveis de serem mapeados pelo drone.

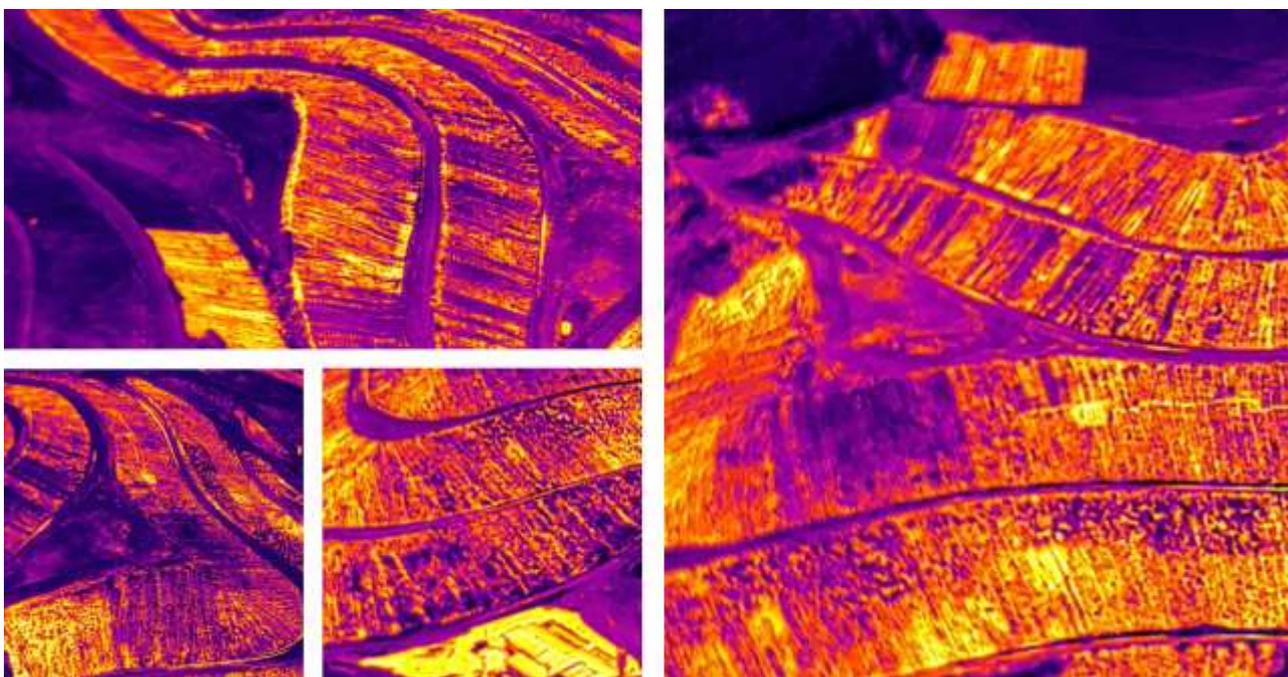


Figura 5. Imagens pontuais da estrutura. Fonte: Os autores.

Observa-se que a umidade geralmente tem uma temperatura diferente da superfície seca, permitindo a identificação de áreas úmidas na estrutura. Isso é especialmente útil em pilhas de rejeito, onde o excesso de umidade pode indicar potenciais problemas de estabilidade e eventuais falhas no sistema de drenagem interna da pilha. As regiões mais claras são pontos secos e as regiões com coloração mais escura foram identificados como pontos de atenção, onde pode estar ocorrendo excesso de umidade ou alguma falha na drenagem superficial que direciona o fluxo para a face do talude.

O vermelho, o laranja e o amarelo são percebidos como cores quentes, enquanto o verde, o azul e o violeta como cores frias. A imagem da pilha de rejeitos apresentada na Figura 6 revela uma distribuição de cores significativa, com a maioria dos pontos aparecendo em tons de amarelo, enquanto alguns estão destacados em violeta. Essa variação de cores pode ser interpretada com base em princípios de termografia. Os pontos amarelos na imagem geralmente indicam áreas com temperaturas mais elevadas. Isso pode ser atribuído à exposição direta ao sol ou à falta de cobertura vegetal ou água, o que resulta em maior absorção de calor e consequentemente temperaturas mais altas.

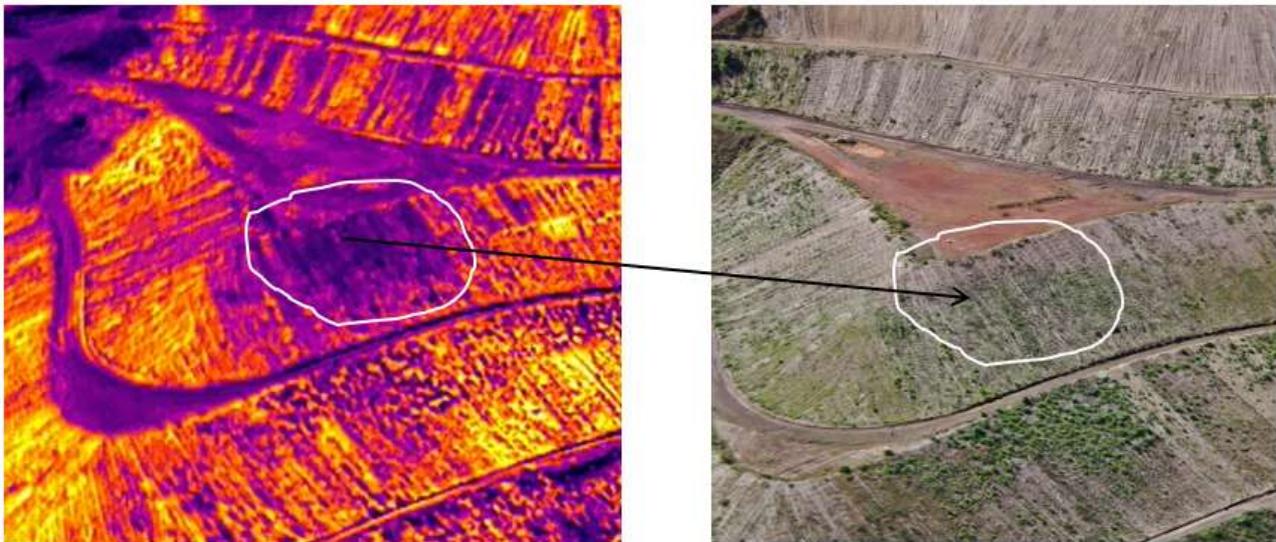


Figura 6. Ponto de variação da temperatura com incidência de cor fria. Fonte: Os autores.

Foi registrada uma área onde houve uma maior incidência de cor fria. Em inspeção de campo essa situação não pode ser constatada. O que se nota é uma falha na drenagem da bermagem da pilha o que mostra que situações que em inspeção visual não podem ser notadas, podem ser facilmente identificadas com o uso da câmera térmica.

3. CONCLUSÃO

A realização de inspeções de campo na pilha de rejeito foi fundamental para identificar pontos críticos, especialmente em relação ao excesso de umidade. Durante essas inspeções visuais, foram observadas áreas suspeitas de concentração de umidade, indicando a necessidade de uma investigação mais aprofundada.

Após a identificação desses pontos de atenção, realizamos um voo de drone equipado com câmera infravermelha para obter imagens detalhadas da superfície da pilha de rejeito. Essas imagens foram posteriormente avaliadas e comparadas com as observações feitas durante as inspeções visuais de campo.

A análise das imagens infravermelhas revelou padrões de temperatura que corroboraram com as áreas identificadas como suspeitas durante as inspeções visuais. A detecção de variações térmicas significativas em áreas específicas forneceu evidências adicionais do potencial de umidade excessiva nessas regiões da pilha de rejeito.

Essa abordagem integrada, que combina inspeções visuais de campo com o uso de tecnologia de drone e imagens infravermelhas, demonstrou ser altamente eficaz na identificação precoce de problemas e na avaliação da integridade estrutural das pilhas de rejeito. Ao unir o conhecimento prático adquirido durante as inspeções visuais com as capacidades avançadas de sensoriamento remoto do drone, foi possível obter uma compreensão abrangente do estado da pilha de rejeito e tomar medidas preventivas para garantir sua segurança e estabilidade a longo prazo.

A abordagem integrada utilizada neste estudo demonstrou ser uma ferramenta valiosa para a avaliação da integridade das pilhas de rejeito. No entanto, existem diversas oportunidades para estudos futuros que podem aprimorar ainda mais o entendimento e abordagem em relação a este sistema.

Um aspecto importante para futuras pesquisas seria a realização de estudos longitudinais para monitorar as mudanças na umidade e nas condições estruturais das pilhas de rejeito ao longo do tempo. Isso permitiria uma compreensão mais profunda dos padrões de comportamento das pilhas de rejeito e poderia ajudar a identificar tendências ou padrões de degradação.

Outra área promissora para estudos futuros seria a aplicação de técnicas avançadas de processamento de imagem e análise de dados, como a inteligência artificial, para automatizar e aprimorar a interpretação das imagens coletadas. Isso poderia facilitar a detecção e identificação de anomalias com maior precisão e eficiência.

Por fim, seria importante realizar estudos comparativos entre diferentes métodos de monitoramento e inspeção de pilhas de rejeito, incluindo não apenas abordagens visuais e de sensoriamento remoto, mas também técnicas tradicionais, como ensaios de laboratório e análises de amostras de rejeito. Aspectos como erros em medição devido ao ângulo de visada combinado com o campo de visão também devem ser levados em consideração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hawley, M., Cunning, J. (2017). *Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design*. CSIRO Publishing.
- Henriques, M. J., Roque, D. (2015). *Unmanned Aerial Vehicles (UAV) as a Support to Visual Inspections of Concrete Dams. Second International Dam World Conference*. Portugal – Lisboa LNEC.