

Acompanhamento de uma campanha de sondagem em pilhas de estéril

Carlos Henrique Braz da Silva¹, Fernanda Maciel Canile², Marcio Fernandes Leão³, Nathalia Cavalcante Miranda⁴

Resumo – Este trabalho apresenta os resultados de uma campanha de sondagem mista voltada à caracterização geológico-geotécnica de uma pilha de estéril localizada no Greenstone Belt de Crixás (GO), em área associada ao Maciço de Goiás. A campanha teve como objetivo subsidiar uma futura modelagem de estabilidade utilizando o software Slide2®, a partir da coleta de dados em campo e ensaios laboratoriais. Foram realizados 17 furos de sondagem, totalizando 585 metros, sendo 67% (199 metros) executados até a publicação do trabalho, respeitando o critério de paralisação após 5 metros em rocha. Também foram instalados sete indicadores de nível d'água (INA) e realizados ensaios de perda d'água e infiltração, conforme normas da ABGE. A qualidade da campanha foi avaliada por meio de ficha técnica com critérios objetivos, indicando um índice de conformidade de 88%. Os resultados reforçam a importância do planejamento detalhado das campanhas de investigação e a importância da qualidade do produto da campanha, tendo em vista que serão utilizados para futuras análises de fatores de segurança de estrutura geotécnica.

Abstract – This study presents the results of a mixed drilling campaign aimed at the geological-geotechnical characterization of a waste rock pile located in the Crixás Greenstone Belt (GO), in an area associated with the Goiás Massif. The campaign aimed to support future stability modeling using the Slide2® software, based on field data collection and laboratory testing. A total of 17 boreholes were drilled, totaling 585 meters, with 67% (199 meters) completed by the time of publication, following the criterion of termination after 5 meters of rock penetration. Additionally, seven groundwater level indicators (INAs) were installed, and water loss and infiltration tests were performed in accordance with ABGE standards. The quality of the campaign was assessed using a technical evaluation sheet with objective criteria, indicating a compliance index of 88%. The results emphasize the importance of detailed planning of investigation campaigns and the quality of the collected data, given their relevance for future safety factor analyses of geotechnical structures.

Palavras-Chave – pilhas; especificação técnica; sondagem.

¹ Eng. Geól, Esp., Universidade Federal de Goiás, (62) 9 8316-5089, carlosbraz@discente.ufg.br

² Geól, Dra, Universidade Federal de Goiás, (62) 9 8202-4276, canile@ufg.br

³ Geól, Dsc, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, (21) 9 8399-0068 marciotriton@hotmail.com

⁴ Discente, Universidade Federal de Goiás, (62) 9 8182-9527 nathalia.miranda@discente.ufg.br

1. INTRODUÇÃO

Espera-se um reforço nas regulações governamentais sobre a inspeção, operacionalidade, segurança e estabilidade das pilhas de estéril e rejeito. Em Minas Gerais, por exemplo, medidas regulatórias estão sendo discutidas por meio do Projeto de Lei 2.519/2024. No entanto, por parte da Agência Nacional de Mineração (ANM), ainda não houve iniciativas concretas, como audiências públicas voltadas à implementação de uma regulamentação específica para essas estruturas ou apresentação de resoluções normativas. Sobre o tema, a ANM apenas se manifestou por meio de uma nota oficial, na qual afirma que: “No caso das pilhas, as mesmas (anomalias ou adversidades) devem ser informadas no Plano de Aproveitamento Econômico – PAE, ou suas atualizações, como uma servidão minerária, junto a um projeto ou anteprojeto.” (ANM, 2025).

Este trabalho aborda uma campanha de sondagem de uma pilha de estéril por parte do empreendedor minerário, para a realização de modelagem geológico – geotécnica através do software Slide2® com o intuito de obter resultados de fatores de segurança da pilha para conformidade da NBR 13029/2024, embasando – se em uma campanha de sondagem e investigações laboratoriais para subsídio dos estudos posteriores.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

2.1. Área de Estudo

A área estudada (Figura 1) encontra-se no Greenstone Belt de Crixás que integra a porção central da Província Tocantins e representa um terreno com idade aproximada de 2,9 Ga, vinculado ao Maciço de Goiás, localizado na margem oeste do Cráton do São Francisco (Jost & Fortes, 2001)



Figura 1: Localização da área de estudo.

Com cerca de 50 km de extensão na direção norte-sul e variando entre 2 e 6 km de largura, esse greenstone belt exibe uma geometria curva e irregular, resultado do contato com os terrenos granito-gnáissicos adjacentes. Ao Norte, o Grupo Araxá, composto predominantemente por micaxistos, encontra-se em contato discordante com a sequência greenstone, possivelmente por

meio de uma interface tectônica. O Maciço de Goiás é composto de terrenos granito-greenstone belt de idade arqueana, complexos máficos-ultramáficos e sequências vulcano-sedimentares. Especificamente o terreno arqueano da região de estudo é caracterizado por uma associação de complexos granito-gnáissicos e uma sequência supracrustal do tipo greenstone belt, de orientação geral N-S (Fuck,1994).

2.2. Caracterização geológica

A formação Córrego Alagadinho possui em média 500 m e é caracterizada predominantemente por rochas ultramáficas (metakomatiitos) com feições primárias preservadas, tais como textura spinifex, cumulos de olivina, brechas de fluxo e disjunções poliedrais. Podem apresentar serpentinização parcial ou total e transformação total para xistos magnesianos. Os xistos magnesianos são compostos por peridotitos, piroxenitos e dunitos metamorfisados, possuindo proporção variada de talco, clorita, tremolita, antigorita, antofilita, serpentina e anfibólio. Os protólitos komatiíticos eram peridotíticos ou piroxeníticos, com sills menores de olivina-gabro e piroxenito.

A Formação Rio Vermelho, em contato abrupto com a Fm. Córrego Alagadinho, possui em média 350 m e é caracterizada predominantemente por metabasaltos toleíticos, anfibolitos e anfibólio xistos e subordinadamente por metabasaltos komatiíticos. Feições primárias como pillows, varíolas, vesículas e orbículas são localmente preservadas (Sabóia, 1979). Formações ferríferas bandadas, formações manganesíferas e metachert ocorrem como intercalações metassedimentares (Jost & Fortes, 2001).

A Formação Ribeirão das Antas, em contato transicional com os metabasaltos da Fm. Rio Vermelho, possui em média 700 m e consiste de filitos carbonosos com lentes e camadas de mármore sobrepostos por metarritimitos siliciclásticos em contato abrupto, sugerindo discordância erosiva. (Theodoro, 1995)

2.3. Metodologia

A campanha de sondagem foi executada conforme especificações técnicas internas, com a realização de 17 sondagens mistas, totalizando 585 metros de investigação – valor alinhado com os critérios da NBR 6484:2020 e das diretrizes da ABGE 104/2023. Como parte do monitoramento hidrogeológico, sete indicadores de nível d'água foram instalados seguindo o modelo construtivo de Kummel (2021), integrando um sistema de acompanhamento das variações do lençol freático das estruturas da unidade.

Para a caracterização geotécnica, sete amostras indeformadas foram coletadas com o amostrador Denison e encaminhadas a laboratório externo, onde foram submetidas a ensaios para determinação de parâmetros como peso específico, coesão e ângulo de atrito – dados essenciais para modelagem e posterior análise de estabilidade no Slide2®.

Na etapa hidrogeotécnica, conduziram-se dez ensaios de perda d'água e dez ensaios de infiltração seguindo padrões ABGE 108 e 109/2024, obtendo-se parâmetros de permeabilidade e condutividade hidráulica do solo. Por fim, uma avaliação sistemática contínua da campanha permitiu ajustes operacionais dinâmicos, assegurando o cumprimento dos objetivos técnicos estabelecidos.

Os critérios de avaliação foram estabelecidos a partir da atribuição de uma pontuação específica para cada item ou recomendação analisada. A pontuação máxima possível foi distribuída em cinco categorias: 1 a 3 (ruim), 4 a 6 (irregular), 7 a 8 (bom), 9 (muito bom) e 10 (excelente). Com base nessa classificação, foi determinado o percentual de qualidade da campanha, considerando a relação entre a pontuação obtida e o total possível.

Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Atendimento a calendário de sondagem										
Recuperação em Denison										
Instalação de INA no prazo										
Execução de ensaio perda d'água										
Ensaio de infiltração										
Transporte e entrega da amostra no laboratório										
RQD do testemunho										
Retrabalho										
Relatório fotografico										
Entrega das caixas devidamente preenchidas										
Entrega do boletim em data prevista										
Eventos de Segurança do trabalho										

Tabela 1: Ficha utilizada para avaliar o andamento da campanha de sondagem

A ficha foi preenchida tanto pelo sondador quanto pelo Geólogo responsável pela campanha, o que garantiu maior precisão e confiabilidade às informações registradas. Essa abordagem colaborativa assegurou que os dados coletados representassem com fidelidade as condições de campo e os parâmetros geotécnicos esperado para a análise.

3. Resultados

Dos 585 metros previstos na campanha, foram analisados 199 metros provenientes dos seguintes furos

Furo	Estimado em Especificação Técnica	Realizados (m)	Percentual Realizado	Furo Concluído?
SM 01	40	0	0,00%	Não
SM 02	50	44	88,00%	Sim
SM 03	40	32	80,00%	Sim
SM 04	35	26	74,29%	Sim
SM 05	40	29	72,50%	Sim
SM 06	50	0	0,00%	Não
SM 07	30	32	106,67%	Sim
SM 08	30	0	0,00%	Não
SM 09	30	36	120,00%	Sim

Tabela 2: Comparação entre metragem estimada e realizada para cada furo de sondagem da campanha de investigação geotécnica.

Analisando a tabela, observamos que temos um recorte de aproximadamente 67% da especificação técnica realizada com um percentual de realizado *versus* previsto divergentes entre si por conta do parâmetro de paralização dos furos após 5 metros em rocha, essa incerteza provém da falta de conhecimento prévio de estudo geológico-geotécnicos na área de estudo.

Após a análise da tabela 1 tivemos as seguintes médias:

Item	Média
Atendimento a calendário de sondagem	8
Recuperação em Denison	10
Instalação de INA no prazo	8
Execução de ensaio perda d'água	10
Ensaio de infiltração	10
Transporte e entrega da amostra no laboratório	10
RQD do testemunho	8
Retrabalho	10
Relatório fotográfico	10
Entrega das caixas devidamente preenchidas	5
Entrega do boletim em data prevista	6
Eventos de Segurança do trabalho	10

Tabela 3: Média dos itens analisados da especificação técnica.

A investigação geotécnica realizada proporcionou a coleta de dados fundamentais para a compreensão das características da estrutura em análise. Do total de 585 metros inicialmente planejados, aproximadamente 67% foram efetivamente executados, sendo o restante em andamento. A discrepância entre a metragem prevista e a concluída resultou, em grande parte, da interrupção das perfurações após 5 metros em rocha, conforme o critério técnico estabelecido. Esse desvio evidencia a importância de um estudo geológico-geotécnico preliminar mais detalhado, que possa subsidiar o planejamento e a otimização das investigações futuras.

4. CONCLUSÕES

A análise qualitativa dos serviços executados indicou um nível de conformidade de 88% em relação às especificações técnicas. Destacaram-se positivamente aspectos como a recuperação de testemunhos com sonda Denison, a realização de ensaios de infiltração e perda d'água, o transporte adequado das amostras para o laboratório e a condução eficiente dos eventos de segurança do trabalho. No entanto, foram identificados pontos que demandam aprimoramento, especialmente no preenchimento das caixas de testemunhos e na entrega pontual dos boletins de sondagem, evidenciando a necessidade de otimização dos processos da equipe de sondagem.

Diante desse contexto, é recomendável que futuras investigações sejam orientadas por um planejamento mais detalhado, que contemple a obtenção antecipada de informações geológicas com o devido aproveitamento dos dados fornecidos pela equipe de exploração da unidade. Paralelamente, torna-se fundamental aprimorar a gestão dos prazos pela equipe de sondagem, assegurando maior eficiência na execução das atividades e no cumprimento rigoroso das etapas estabelecidas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Nota informativa sobre o rompimento da pilha na Mina Turmalina. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/noticias/nota-informativa-sobre-o-rompimento-da-pilha-na-mina-turmalina>. Acesso em: 19 fev. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13029:2024 – Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha. Rio de Janeiro: ABNT, 08 nov. 2024. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6484:2020 – Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 30 jul. 2020. 25 p.

FUCK, R. A. 1994. A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica da Província Tocantins. In: SBG, Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, IV, Anais, p. 184-187.

JOST, H.; CARVALHO, M. J.; RODRIGUES, V. G.; MARTINS, R. 2014. Metalogênese dos greenstone belts de Goiás. In: SILVA, M. G. (ed.). Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras. CPRM, Belo Horizonte, 6:141-168.

JOST, H.; FORTES, P. T. F. O. 2001. Gold deposits and occurrences of the Crixás goldfield, central Brazil. *Mineralium Deposita*, 36:358-376.

JOST, H.; OLIVEIRA, A. M. 1991. Stratigraphy of the greenstone belts, Crixás region, Goiás, central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 4:201-214.

KUMMEL, Luiz Frederico de Freitas. Aprendizado de máquina aplicado em previsão de curto prazo de valores de indicadores de nível de água – Programa de Pós-Graduação em Instrumentação, Controle e Automação de Processos de Mineração (PROFICAM), Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto; Associação Instituto Tecnológico Vale, Ouro Preto, 2021. 72 f.

MINAS GERAIS. Assembleia Legislativa. Projeto de Lei nº 2.519, de 2024. Dispõe sobre medidas de segurança, fiscalização e transparência para pilhas de disposição de rejeitos e resíduos industriais ou de mineração no estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: ALMG, 2024. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/projetos-de-lei/PL/2519/2024>. Acesso em: 19 fev. 2025.

NORMA ABGE 104/2023. Sondagem rotativa e sondagem mista. Vários colaboradores. 1ª Edição. São Paulo: ABGE, 2023.

NORMA ABGE 108/2024. Ensaio de perda d'água sob pressão. Vários colaboradores. 1ª Edição. São Paulo: ABGE, 2024.

NORMA ABGE 109/2024: Descrição e classificação de sondagens. Vários colaboradores. 1ª Edição. São Paulo: ABGE, 2024.

ROCSCIENCE INC. Slide2 – 2D Slope Stability Analysis Software. Versão 9.0. Toronto: Rocscience Inc., 2023. Disponível em: <https://www.rocscience.com>. Acesso em: 17 jun. 2025.

SABOIA L.A. 1979. Os greenstone belts de Crixás e Goiás, GO. SBG, Núcleo Centro-Oeste, Boletim Informativo, 9:43-72.

THEODORO, S. C. H. 1995. Ambiente de Sedimentação da Formação Ribeirão das Antas, Grupo Crixás, Goiás. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, 82 p.