

Avaliação do comportamento de um empilhamento de rejeitos filtrados com diferentes diretrizes operacionais

Juliana Ester Martins Moura

Engenheira Sênior, VALE, CEFET, Belo Horizonte, Brasil, juliana.moura3@vale.com

Matheus Navarra Satuf Muniz

Engenheiro Sênior, VALE, Belo Horizonte, Brasil, matheus.navarra@vale.com

Marcus Vinicius Lima Dias

Gerente Técnico Sênior Gestão de Rejeitos, VALE, Belo Horizonte, Brasil, marcus.dias1@vale.com

Lucio Schiavon Yamamoto

Engenheiro Geotécnico Sênior, VALE, Belo Horizonte, Brasil, lucio.yamamoto@vale.com

Thiago Bomjardim Porto

Professor, Doutor, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas, Belo Horizonte, Brasil, thiago.porto@cefetmg.br

RESUMO:

O empilhamento de rejeitos filtrados é uma prática inerente à gestão de rejeitos de mineração, adotada devido às restrições legais na construção de barragens. Essa técnica ainda é pouco conhecida e envolve diversos estudos sobre projeto, construção, operação e fechamento, focando em aspectos como granulometria, controle tecnológico e resistência do material. Um aterro experimental em Minas Gerais, utilizando 14 ensaios de piezocone (CPTu) com duas diretrizes operacionais diferentes, permitiu avaliar a susceptibilidade à liquefação do rejeito e a eficiência operacional do aterro. Os resultados indicaram que compactação e teor de umidade são fatores críticos para a avaliação da resistência e estabilidade do material empilhado. A primeira diretriz operacional, usando trator de esteira para compactar camadas de 80 cm com graus de compactação de 95% a 104%, mostrou não uniformidade na resistência e conseqüente influência na avaliação de susceptibilidade à liquefação. A segunda diretriz, utilizando rolo compactador em camadas de 60 cm e graus de compactação de 98% a 104%, apresentou resultados mais consistentes. A avaliação quanto à susceptibilidade à liquefação do material foi realizada segundo a metodologia de Robertson (2016).

PALAVRAS-CHAVE: Empilhamento de Rejeito Filtrado, Premissas de Projeto, Ensaios de Piezocone, Susceptibilidade a Liquefação.

ABSTRACT:

The stacking of filtered tailings is an inherent practice in mining waste management, adopted due to legal restrictions on dam construction. This technique is still not widely known and involves various studies on design, construction, operation, and closure, focusing on aspects such as particle size distribution, technological control, and material resistance. An experimental landfill in Minas Gerais, using 14 piezocone tests (CPTu) with two different operational guidelines, allowed for the assessment of the tailings' susceptibility to liquefaction and the operational efficiency of the landfill. The results indicated that compaction and moisture are critical factors for the resistance and stability of the stacked material. The first operational guideline, using a bulldozer to compact layers of 80 cm with compaction degrees between 95% and 104%, showed non-uniformity in resistance and consequent influence on the assessment of susceptibility to liquefaction. The second guideline, using a roller compactor on layers of 60 cm with compaction degrees between 98% and 104%, presented more consistent results. The evaluation of susceptibility to flow liquefaction was carried according to Robertson's methodology (2016).

KEYWORDS: Tailings Filtered Stacking, Design Premises, Piezocone Tests, Susceptibility to Flow Liquefaction.

1 INTRODUÇÃO

A geração de rejeitos é inerente às práticas de mineração. Com os desastres envolvendo barragens de rejeito no Brasil e no mundo, tornou-se imperativo buscar alternativas para o manejo desses materiais de forma segura e dinâmica. Dentre algumas possibilidades, a disposição dos rejeitos pode ocorrer em cavas desativadas ou como empilhamentos filtrados (Consoli et al. 2022).

Após acidentes envolvendo barragens de rejeito no Brasil e no mundo, como o rompimento da barragem de Mariana em 2015 e Brumadinho em 2019, ambas em Minas Gerais, houve um esforço significativo para revisar e atualizar as normas relacionadas à disposição de rejeitos de mineração. Essas atualizações visam melhorar a segurança e reduzir o risco de falhas futuras. A escolha do método de disposição é influenciada por vários fatores, incluindo as características específicas de cada mina e sua geologia associada. Essas decisões são fundamentais para garantir a segurança a longo prazo e minimizar o impacto ambiental das operações de mineração.

A disposição de rejeitos pode ser realizada de diversas formas, escolhidas conforme as características de cada sistema e os riscos envolvidos. Algumas opções incluem a disposição em barragens de rejeito, empilhamento drenado e preenchimento de cavas desativadas. Entre essas opções, as barragens de rejeitos, anteriormente preferidas para armazenamento, estão sendo substituídas por empilhamento drenado e filtrado.

Segundo Oliveira-Filho e Abrão (2015), o empilhamento de rejeitos apresenta características vantajosas que incentivam a adoção deste método, incluindo a capacidade de usar o próprio rejeito para aumentar a estrutura. A implementação do empilhamento de rejeitos requer a gestão do empilhamento e o controle tecnológico para garantir a segurança da estrutura. Este método de empilhamento pode ser realizado com material compactado ou semi-compactado, sendo transportado mecanicamente até o local de disposição.

A análise de liquefação estática, fundamentada nos dados coletados das pesquisas, pode ser notada em solos altamente saturados. Tais solos tendem a perder resistência quando expostos ao cisalhamento, devido à propensão de criar poropressão positiva em cargas não drenadas. Isso é típico em materiais como areias e siltes muito soltos, bem como argilas sensíveis.

A análise da propensão à liquefação se torna altamente significativa quando o material estudado é classificado como arenoso e mostra potencial para liquefação. Essa análise se torna ainda mais crucial no contexto da mineração no Brasil, levando em conta que uma grande parte do material examinado é formada por rejeitos granulares.

A manifestação de liquefação pode acarretar em consequências drásticas, tais como deslizamentos de terra e colapsos estruturais. Portanto, torna-se primordial a execução de análises detalhadas com o objetivo de identificar áreas que possam estar em risco. Com isso, é possível implementar medidas preventivas adequadas para mitigar tais riscos.

Neste estudo, os ensaios de CPTu desempenham um papel fundamental na avaliação da eficiência das diretrizes operacionais seguidas.

2 EMPILHAMENTOS DE REJEITOS

2.1 Operação do Rejeito

As propriedades geotécnicas dos materiais residuais da mineração são influenciadas por uma série de fatores, incluindo o método de processamento do minério e a localização geográfica da mina. Segundo Williams e O'Brien (2017), as características de tamanho de grão e as diferenças na composição mineralógica resultam em comportamentos distintos para cada tipo de rejeito. Essas diferenças afetam diretamente as práticas operacionais de empilhamento dos rejeitos e o monitoramento tecnológico necessário durante este processo.

Em relação à operacionalidade na disposição de rejeitos, a normatização é limitada. A norma NBR 13028 (ABNT, 2017a), publicada pela ABNT em 2017, é direcionada principalmente para projetos de barragens de rejeitos, fornecendo orientações sobre os estudos necessários, premissas de projeto, critérios, geometria e instrumentação para controle. Por outro lado, a NBR 13029 (ABNT, 2017b), também de 2017,

define parâmetros básicos para o empilhamento de materiais estéreis, evidenciando a necessidade de realização de estudos específicos para cada estrutura desse tipo.

A técnica de deposição de rejeitos em camadas pré-determinadas é uma abordagem operacional amplamente adotada, conforme descrito por Crystal et al. (2018). Este método facilita a evaporação da umidade devido à ação do vento e da radiação solar, o que contribui para um incremento na densidade e compactação do rejeito, resultando em uma maior estabilidade física do depósito. Silva (2008) observa que camadas mais espessas exigem períodos mais longos de compactação, o que pode levar a variações na compactação dentro da mesma camada. Vasconcelos (2021) enfatiza a importância de selecionar equipamentos de compactação compatíveis com as características do material. Nota-se que a aplicação de diferentes níveis de energia na compactação da mesma camada resulta em uma redução na umidade ótima e um aumento na densidade seca máxima do rejeito.

A normativa da Agência Nacional de Mineração (ANM), especificamente a resolução nº 95 de 2022, enfatiza no segundo parágrafo do primeiro artigo a obrigatoriedade de um estudo técnico para qualquer forma de empilhamento drenado. Este estudo deve ser elaborado por um especialista com habilitação legal e estar acessível para inspeções. O documento é essencial para detalhar tanto a susceptibilidade do material à liquefação quanto os procedimentos adotados para a disposição do rejeito. Além disso, a resolução estipula que empilhamentos drenados que não apresentem risco à liquefação devem passar por reavaliações em intervalos não superiores a um ano. Se for identificada a susceptibilidade à liquefação, a estrutura deve cumprir com as exigências da resolução e ser registrada no Sistema Integrado de Gestão de Segurança de Barragens de Mineração (SIGBM).

2.2 AVALIAÇÃO DE SUSCEPTIBILIDADE À LIQUEFAÇÃO

2.1.1 Comportamento do Material

A tensão efetiva governa o comportamento do solo, que varia desde cascalhos até argilas. Casagrande (1975), destacou que solos extremamente fofos tendem a reduzir seu volume durante o cisalhamento drenado. Por outro lado, solos que são inicialmente densos, quando submetidos às mesmas condições de carga, tendem a expandir seu índice de vazios até atingirem o estado crítico. Neste estado, não há mais alterações volumétricas com deformações axiais.

A Teoria dos Estados Críticos oferece uma perspectiva valiosa para entender o comportamento de pilhas de rejeitos desaguados, especialmente quando a determinação direta dos parâmetros de resistência é complexa. O modelo NorSand, fundamentado nesta teoria e delineado por Jefferies e Been (2015), utiliza o parâmetro de estado (ψ) para focar nas características comportamentais dos solos arenosos. Este modelo prioriza a adaptação do comportamento do solo às condições reais em vez de buscar um ajuste perfeito aos dados experimentais. Ao simular o comportamento do material sob diferentes trajetórias de tensão e calibrar as variáveis específicas do material, o modelo NorSand permite uma análise mais precisa e representativa do comportamento dos rejeitos em condições variadas. Os resíduos de mineração, caracterizados pela ausência de coesão, estão propensos à liquefação quando em condições de saturação e baixa compactação, o que favorece um comportamento contrátil. Além disso, a baixa permeabilidade do material impede uma drenagem eficaz, aumentando o risco de liquefação sob cargas aplicadas.

Para avaliar o potencial de liquefação, algumas metodologias são utilizadas, como as propostas por Olson (2001), Robertson (2010) e Robertson (2016). Essas abordagens classificam o comportamento dos solos durante o cisalhamento, levando em consideração se são contráteis ou dilatantes.

As metodologias de avaliação que se baseiam nos ensaios de penetração de cone, com ou sem incremento de poropressão, utilizam parâmetros classificados como não normalizados. Isso inclui a resistência de ponta e a razão de atrito. Além disso, também se utiliza um parâmetro normalizado, como o parâmetro de poropressão, conhecido como 'Bq'. A metodologia proposta por Robertson (2016) é produto de atualizações necessárias.

O método apresentado por Robertson (2016) baseia-se em uma carta de classificação dos solos para a avaliação da susceptibilidade à liquefação. O método de classificação utiliza a resistência de ponta normalizada, Q_{tn} , e a razão de atrito normalizada, F_r , para a tipificação do comportamento observado para o material analisado. A metodologia recebe o nome de Normalized Soil Behavior Type (SBT_n), tratando-se da

atualização de estudos previamente realizados por Robertson.

Robertson (2010) mapeou todos os casos de ruptura por liquefação, classificados como Classe A, no espaço Q_{tn} - F_r . Ele levou em consideração os valores de Q_{tn} e F_r que estavam dentro da faixa do valor médio ± 1 desvio padrão (ou seja, aproximadamente 70% dos dados) para os materiais onde ocorreu a liquefação.

Robertson notou que esses casos ficavam abaixo do contorno $Q_{tn,cs}=70$. Portanto, ele sugeriu o uso do contorno $Q_{tn,cs}=70$ como critério para separar os materiais em contráteis ($Q_{tn,cs}<70$) e dilatantes ($Q_{tn,cs}>70$). No mesmo gráfico, Robertson (2016) introduziu o contorno $CD=70$ (Contractive-Dilative), proposto para representar a divisão entre solos que exibem comportamento contrátil e dilatante em grandes deformações. O contorno $CD=70$ foi desenvolvido utilizando o contorno $Q_{tn,cs} = 70$, proposto por Robertson (2010), com a adição do contorno de $OCR=4$ na região de materiais transicionais e argilosos (Transitional e Clay-Like).

Assim, é determinadas estratégias distintas para estabelecer o estado do solo, a primeira através do OCR para solos finos e a segunda através do $Q_{tn,cs}$ para solos granulares. De acordo com Robertson (2016), o comportamento dos materiais é dividido por dois tipos de linhas: as primeiras, definidas pelo índice normalizado de tipo comportamental do solo, I_B e a segunda, é definida como CD .

A linha CD é divisora dos comportamentos dilatante e contrátil dos materiais analisados, dividindo, portanto, materiais susceptíveis à liquefação de materiais dilatantes. Adicionalmente, define-se, de acordo com Robertson (2016) a área correspondente aos comportamentos de argilas sensíveis, delimitada pelas assíntotas $FR = 2\%$ e $Q_{tn} = 12$.

Em relação a classificação dos materiais foi utilizada a classificação SBT_n , Normalized Soil Behavior Type, proposta por Robertson (2016) e a classificação de Fear e Robertson (1995), sugerida por Olson e Stark (2003) para a classificação de materiais susceptíveis a liquefação. Essa metodologia de classificação consiste na definição do material analisado através dos valores de Q_{tn} e F_r no ábaco, conforme Figura 1.

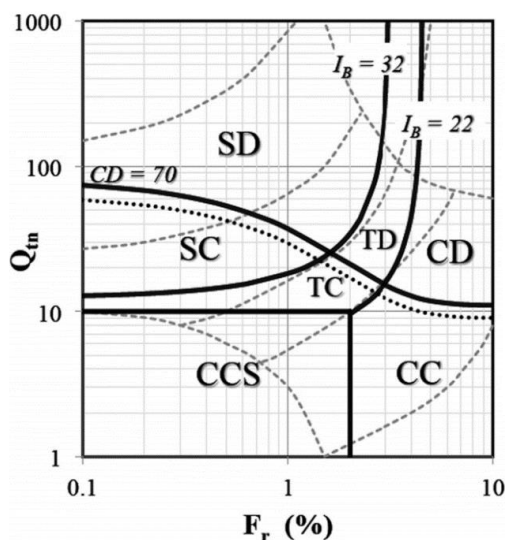


Figura 1. Ábaco dos comportamentos de acordo com a classificação SBT_n .

3 ESTUDO DE CASO

A pilha de rejeito deste estudo de caso está localizada no Quadrilátero Ferrífero dentro do domínio Serra do Curral. Os domínios geológicos desta pilha incluem Laterita, Filito e Pilha de Estéril. A fundação da estrutura consiste em uma cava esgotada parcialmente preenchida com estéril. A Figura 2 identifica a área da estaca e os domínios geológicos da estrutura.

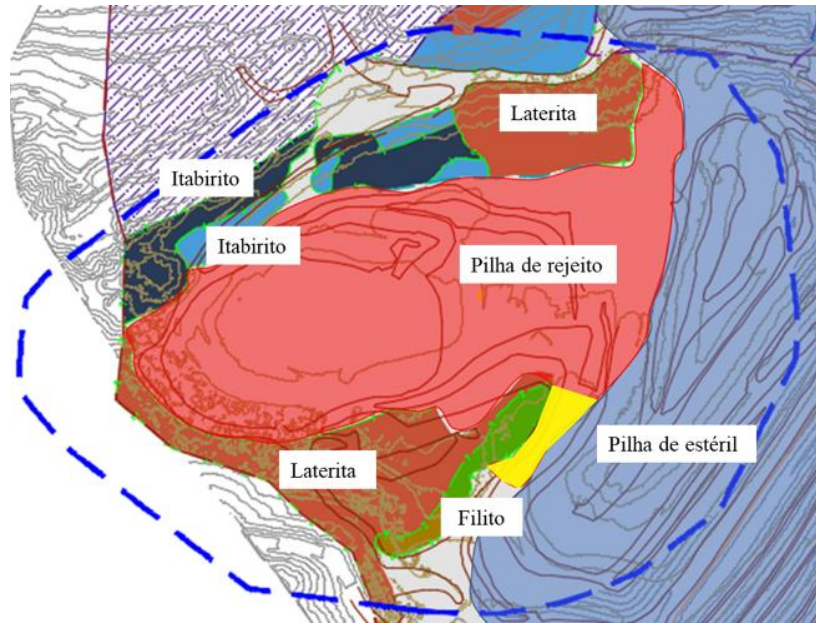


Figura 2. Geologia da área de empilhamento.

A pilha de rejeitos ocupa uma área de aproximadamente 10 hectares, onde foram empilhados aproximadamente 6 milhões de toneladas de material de aterro. A estrutura está situada em área confinada (destacada em vermelho escuro na Figura 2), e os acessos rodoviários (destacados em amarelo na Figura 2) são compostos por rampas para facilitar a operação dos equipamentos. A operação da estrutura é realizada em áreas de aproximadamente 30 mil m², e as camadas de empilhamento em cada setor possuem características semelhantes. A Figura 03 retrata a divisão operacional em setores da estaca e o limite entre os materiais do aterro (resíduos arenosos siltosos) e a fundação da estrutura. Os pontos de CPTu executados estão localizados na Figura 04.

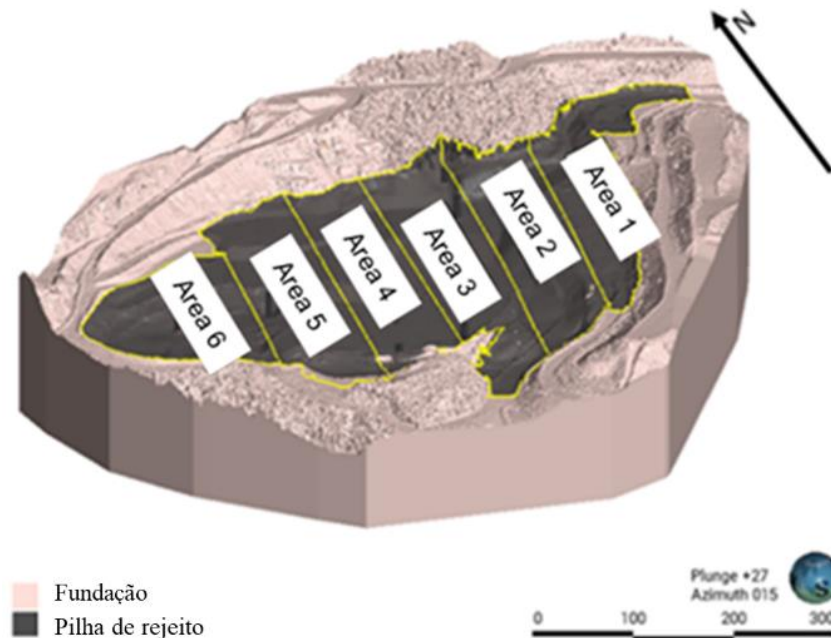


Figura 3. Divisão das áreas de empilhamento.

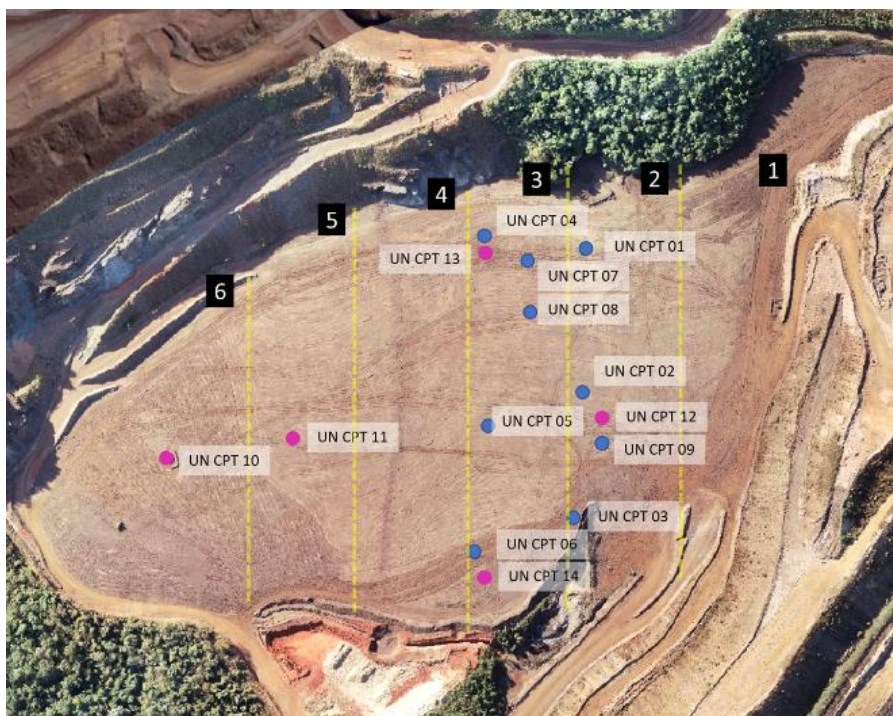


Figura 4. Localização dos pontos de CPTu executados.

As diretrizes operacionais desse empilhamento de rejeito constam na Tabela 1 e os equipamentos utilizados em cada uma das diretrizes constam na Tabela 02.

Tabela 1. Diretrizes operacionais 01 e 2.

Diretriz	Volume (m ³)	Altura de camada (m)	Grau de compactação (%)	Desvio de umidade	Nº de passadas
01	4.083.400,8	0,80	95% a 104%	±2	8 a 10
02	2.800.042,0	0,60	98% a 104%	±2	6 a 8

Tabela 2. Equipamentos utilizados.

Espalhamento		Compactação		Nivelamento		Umidificação		Escarificação	
01	02	01	02	01	02	01	02	01	02
Trator de esteira		Trator de esteira	Rolo compactador	Motoniveladora		Caminhão pipa		Trator de esteira	

4 RESULTADOS

Para as análises iniciais de potencial de liquefação, adotou-se a abordagem proposta por Robertson (2016). Conforme estabelecido por Robertson (2016), a análise comportamental inicial de um material é realizada através de um gráfico que correlaciona a resistência de ponta normalizada (Q_{tn}) com a razão de atrito normalizado (F_r). O contorno $CD=70$ é utilizado para distinguir entre materiais que tendem a contrair-se e aqueles que tendem a dilatar-se. Este gráfico é dividido em sete zonas que fornecem uma classificação preliminar do tipo de material.

A Figura 5 e Figura 6 mostram os resultados de resistência de ponta corrigida (q_t) dos furos 01 a 09 executados, bem como a diretriz operacional correspondente à cada profundidade.

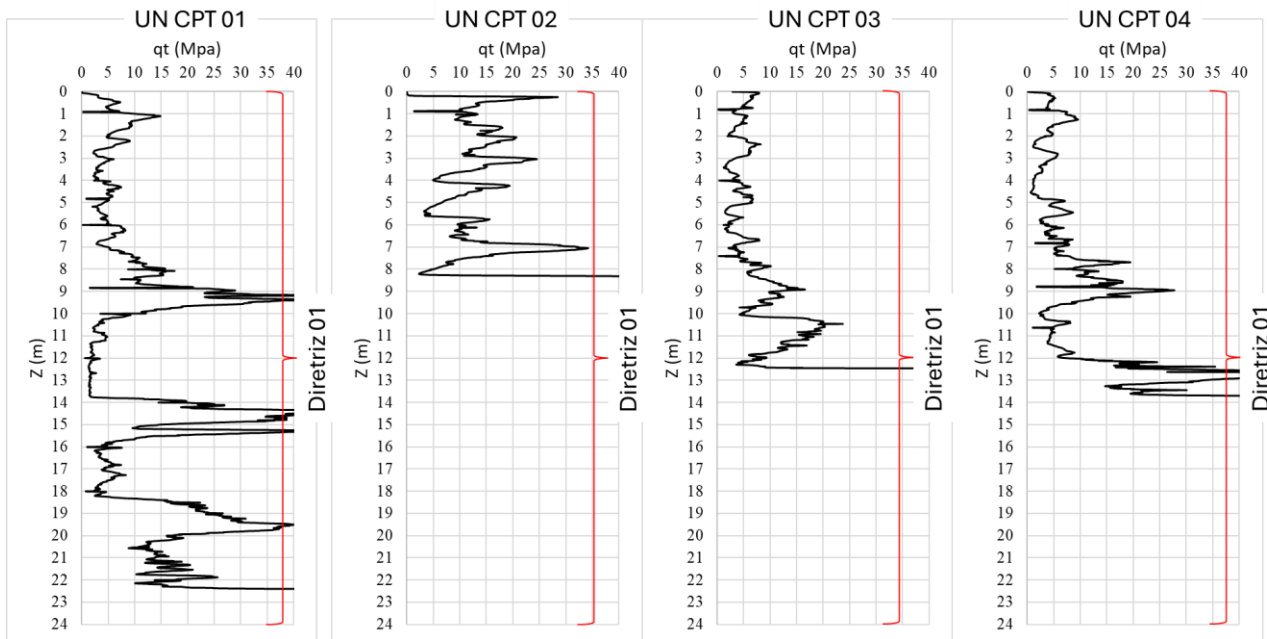


Figura 5. Resistência de ponta (qt) dos furos 01 a 04.

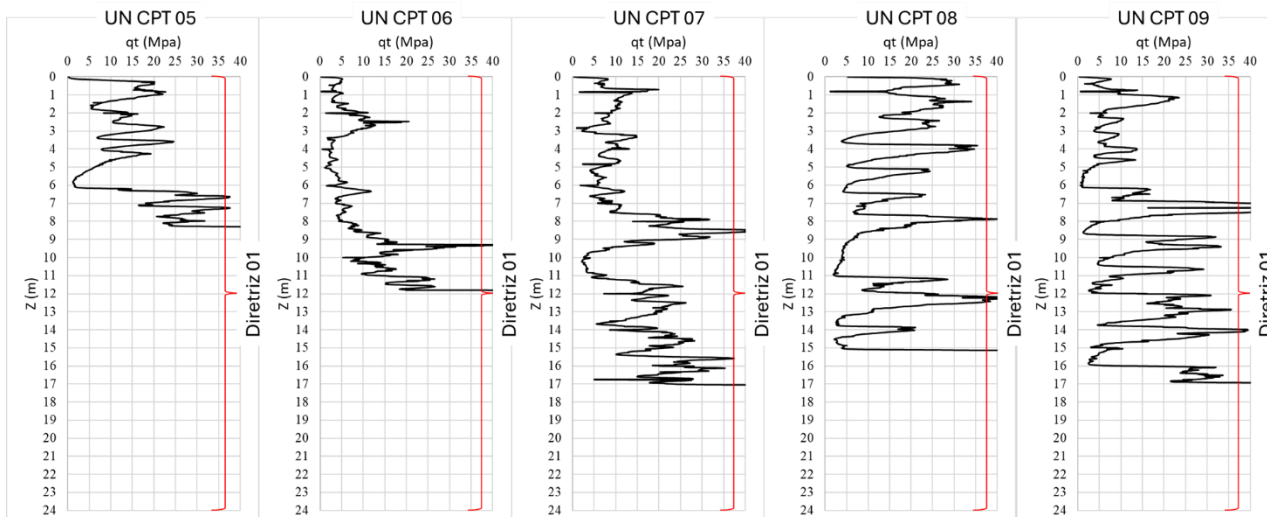


Figura 6. Resistência de ponta (qt) dos furos 05 a 09.

A Figura 7 mostra a classificação SBTn de acordo com a metodologia de Robertson (2016). E a Figura 8 mostra as porcentagens referentes à cada classificação também de acordo com a metodologia de Robertson (2016).

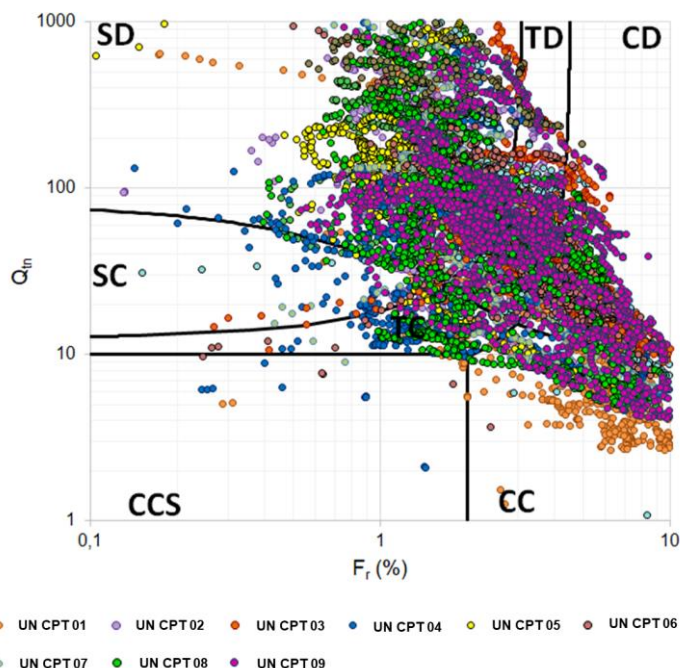


Figura 7. Classificação SBTn a partir de Robertson (2016).

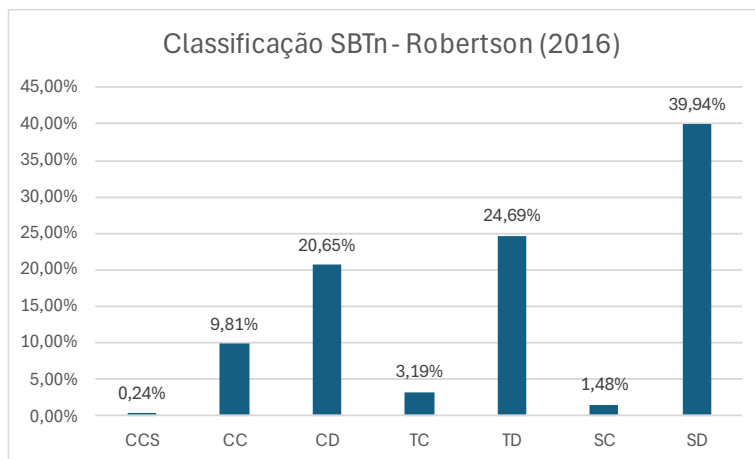


Figura 8. Classificação SBTn a partir de Robertson (2016).

Observa-se através da classificação de SBTn, a partir da metodologia de Robertson (2016), que os materiais apresentam 30,69% das medições realizadas com comportamento de material fino ou tipo argila (classes CCS, CC e CD), 27,89% com comportamento de materiais transicionais (TC e TD) e cerca de 41,42% com comportamento de material granular ou tipo areia. Importante ressaltar que a classificação SBTn classifica quanto ao tipo de comportamento do material e não quanto a granulometria. Ainda em relação a contratibilidade do material, tem-se que 14,72% dos materiais foram classificados com comportamento contrátil, mas somente 1,48% estão dentro do contorno SC (areias contráteis), que são materiais muito susceptíveis ao processo de liquefação. Esse comportamento corrobora com os resultados da cravação, os quais apresentam uma estratificação no perfil de resistência das camadas, indicando uma necessidade de revisão do controle de compactação adotado na primeira diretriz operacional, já que há lentes de materiais mais compactos e, conseqüentemente de maiores valores de resistência de ponta.

A Figura 9 e Figura 10 mostram os resultados de resistência de ponta dos furos 10 a 14 executados, bem como a diretriz operacional correspondente à cada profundidade.

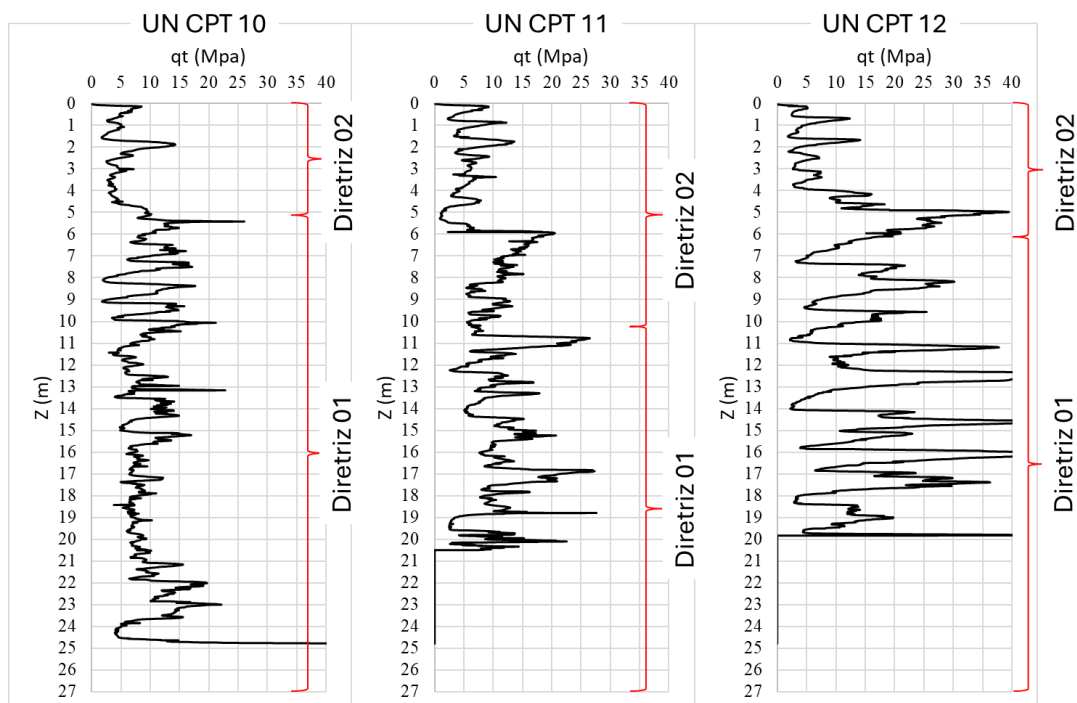


Figura 9. Resistência de ponta (qt) dos furos 10 a 12.

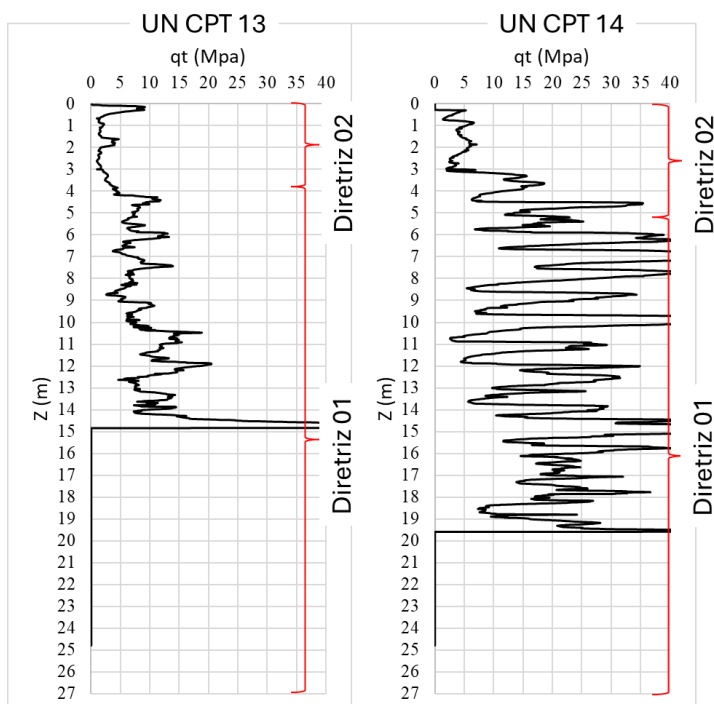


Figura 10. Resistência de ponta (qt) dos furos 13 e 14.

A Figura 11 mostra a classificação SBTn de acordo com a metodologia de Robertson (2016). E a Figura 12 mostra as porcentagens referentes à cada classificação também de acordo com a metodologia de Robertson (2016).

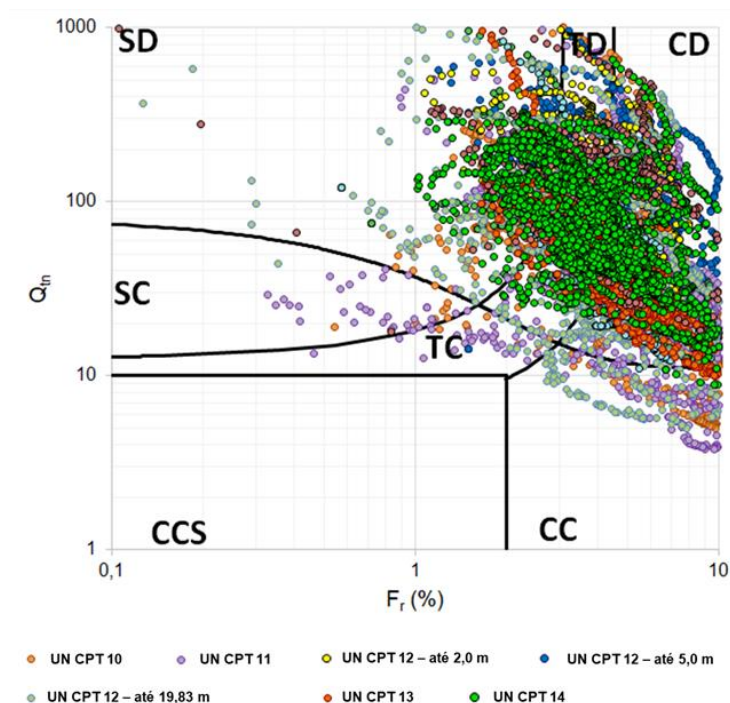


Figura 11. Classificação SBTn a partir de Robertson (2016).

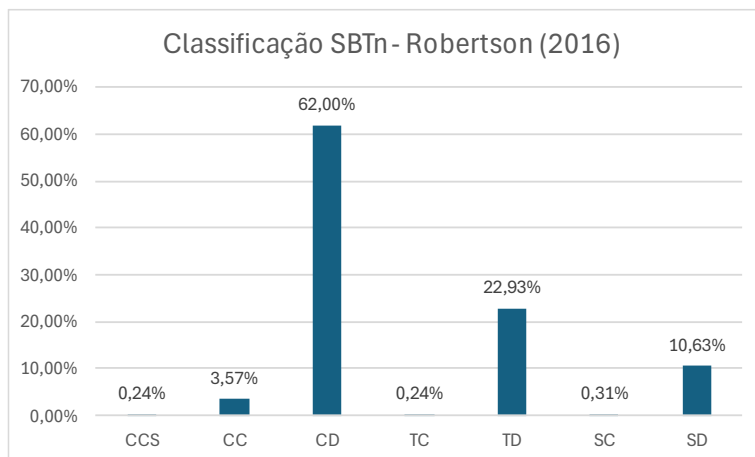


Figura 12. Classificação SBTn a partir de Robertson (2016).

Verifica-se que os materiais classificados de acordo com o sistema SBTn apresentam 65,81% das medições realizadas com comportamento de material fino ou tipo argila (classes CCS, CC e CD), 23,25% com comportamento de materiais transicionais (TC e TD) e cerca de 10,95% de materiais com comportamento granular. Importante ressaltar que a classificação SBTn avalia o solo quanto ao seu tipo de comportamento e não quanto à granulometria. Neste sentido, 4,44% dos materiais foram classificados previamente com comportamento contrátil e menos de 0,5% dos materiais são do tipo Sand-Contractive, comportamento típico de solos contráteis susceptíveis à liquefação. Desta forma, percebe-se um significativo ganho de resistência e compactação na diretriz operacional 02, que está correlacionada com os furos 10 a 14.

5 CONCLUSÃO

Empresas mineradoras estão implementando o método de empilhamento de rejeitos, visando substituir as tradicionais barragens. Essa mudança estratégica requer investigações geotécnicas detalhadas para estabelecer parâmetros seguros e efetivos. Neste contexto, foram conduzidos quatorze furos de Cone

Penetration Test (CPTu) sob duas diretrizes operacionais distintas. Os primeiros nove testes seguiram a primeira diretriz, enquanto os últimos cinco furos adotaram uma metodologia diferente. A análise das resistências de ponta e a classificação segundo o Soil Behavior Type (SBTn) de Robertson (2016) revelou que a primeira diretriz resultou em 14,72% dos materiais classificados como contráteis, contra apenas 4,44% na segunda diretriz; além disso, houve um ganho significativo na resistência de ponta média dos furos executados pela segunda diretriz.

Esta melhoria é atribuída às otimizações nos procedimentos operacionais, incluindo a redução na altura das camadas de empilhamento, o aumento do grau de compactação e a calibração dos equipamentos de compactação. Tal estudo evidencia a necessidade de estudos específicos ao material a ser empilhado, sendo fundamental a realização de aterros testes e campanhas de investigações para a determinação da melhor diretriz operacional a ser seguida.

Por fim, mesmo em se tratando do mesmo material, as diretrizes são únicas em função das condições de contorno da pilha. Pode-se dizer que é impossível que duas estruturas com o mesmo rejeito tenham uma única diretriz operacional, pois estarão em locais distintos e, portanto, terão condições de contorno distintas. Tal fato reforça a individualidade de cada estrutura e a real necessidade de estudá-las e estabelecer critérios individuais e não replicáveis.

O estudo desenvolvido e apresentado nesse artigo consta uma avaliação através da metodologia de Robertson (2016), para o avanço do estudo sugere-se a aplicação de outras metodologias de interpretação dos ensaios de CPTu, como Olson (2001) e associe os resultados obtidos à ensaios de laboratório executados em amostras da estrutura. O comportamento da estrutura de rejeito conseguirá ser entendido quando todos os dados das investigações forem associados.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua gratidão à Companhia pelo suporte financeiro concedido ao projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017a). NBR 13028: *Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e/ou reservação de água - Requisitos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017b). NBR 13029: *Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril, em pilha, em mineração*. Rio de Janeiro.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Resolução nº 95, de 7 de fevereiro de 2022. *Dispõe sobre segurança de barragens de mineração*. Disponível em: <<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=16/02/2022&jornal=515&pagina=49>>. Acesso em 10 de mar. 2024.

CASAGRANDE, A. (1975). *Liquefaction and cyclic deformation of sands: A critical review*. In Proceedings of the Fifth Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. pp. 79–133.

CONSOLI, N. C., VOGT, J. C. AND SILVA, J. P. S et al (2022). *Behaviour of Compacted Filtered Iron Ore Tailings–Portland Cement Blends: New Brazilian Trend for Tailings Disposal by Stacking*. Appl Sci 12:836. <https://doi.org/10.3390/app12020836>

CRYSTAL, C., HORE, C., AND EZAMA, I. (2018). *Filter-pressed dry stacking: design considerations based on practical experience*. Proceedings of Tailings and Mine Waste.

JEFFERIES, M., BEEN, K. (2015). *Soil Liquefaction: A Critical State Approach*, 2nd Edition. In Applied Geotechnics. Taylor & Francis.

OLIVEIRA-FILHO, W. L., AND ABRÃO, P. (2015): *Disposição de rejeitos de mineração*. Geotecnia Ambiental. Rio de Janeiro, Brasil: Elsevier.

OLSON, S.M. (2001): *Liquefaction Analysis of Level and Sloping Ground Using Field Case Histories and Penetration Resistance*.

ROBERTSON, P.K. (2010): *Evaluation of Flow Liquefaction and Liquefied Strength Using the Cone Penetration Test*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. doi:10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000286.

ROBERTSON, P. K. (2016). *Cone penetration test (CPT)-based soil behaviour type (SBT) classification system — an update*. Canadian Geotechnical Journal, 53 (12): 1910–1927.

SILVA, L. R. (2008). *Compactação do Solo*. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Universidade São Francisco. Itatiba, São Paulo, Brasil.

VASCONCELOS, G. C. (2021). *Construção de Aterros Compactados com Rejeito de Mineração Filtrado*. Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

WILLIAMS, R. Z., AND O'BRIEN, S. (2017). *Filtered tailings adds value in cost competitive industries*. *Proceedings of the 20th International Seminar on Paste and Thickened Tailings*. University of Science and Technology Beijing.