

Determinação do Perfil Estratigráfico de um Depósito de Rejeito Fino de Mineração a Partir do Ensaio de Piezocone

Luciana de Moraes Kelly Lima

Mestranda de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil.

Waldyr Lopes de Oliveira Filho

Professor Adjunto IV, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil.

Francisco Eduardo Almeida

Samarco Mineração S.A., Mariana, Brasil.

RESUMO: Este trabalho trata de uma investigação de campo utilizando o ensaio de piezocone para determinação do perfil estratigráfico de um depósito de rejeito fino de minério de ferro construído pelo método de disposição sub-aéreo. Na pesquisa faz-se a interpretação da estratigrafia de acordo com a classificação de Senneset et al. (1989) seguindo sugestão de Lima (2006) que testou as principais propostas de classificação para o material do depósito. O estudo foi realizado na Barragem de Germano, pertencente a Samarco Mineração S.A., Mariana, MG.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio de Piezocone; Rejeito Fino; Perfil Estratigráfico; Disposição Sub-Aérea.

1 INTRODUÇÃO

Os rejeitos finos são, em geral, materiais plásticos, altamente compressíveis e de granulometria fina, constituídos de siltes e argilas.

Pela disposição convencional estes rejeitos são lançados como uma lama fluida com grande quantidade de água em sua composição o que quase sempre implica na necessidade de grandes áreas de armazenamento e/ou estruturas de contenção de grande porte.

Em contrapartida, quando os rejeitos finos são depositados através de métodos alternativos, a área destinada ao seu armazenamento é menor e as estruturas de contenção são pequenas ou até mesmo não existem. Isto porque, quase sempre, a consistência do material é maior, significando um teor de sólidos (relação entre volume de sólidos e volume total) mais elevado que quando depositados de forma convencional.

Dentre os métodos alternativos de disposição destacam-se, além da disposição sub-aérea, a disposição espessada, TTD (thickened tailings disposal), e a disposição em pasta.

A disposição sub-aérea foi descrita por Knight & Haile em 1983 como uma técnica em que o rejeito é depositado em finas camadas permitindo seu adensamento e drenagem antes do lançamento da camada seguinte a fim de resultar em massas de rejeitos exibindo baixas poropressões e eventualmente sucção (Ulrich et al., 2000).

Neste método o lançamento de rejeitos passa por ciclos de lançamento de material e de espera (interrupção do lançamento). Consequentemente são necessários mais de um reservatório para garantir o lançamento intermitente do material. Norman & Raforth (1998) afirmam que estes reservatórios devem possuir área suficiente para a secagem em uma parte enquanto a disposição continua em outra, sendo recomendado pelo menos dois.

A obediência a intervalos que promovam a secagem do material permite não só a otimização dos volumes de reservação (maior volume de rejeitos por área degradada) como também o aumento da resistência do material (ICOLD, 2002). Além disso, o impacto ao meio ambiente é significativamente reduzido e o

aumento da resistência facilita a reabilitação da área, diminuindo o período de tempo necessário para a recuperação da área minerada.

As mudanças na consistência do material são atribuídas aos fenômenos de sedimentação, adensamento e ressecamento (Oliveira Filho, 1998). Pela disposição sub-aérea, o rejeito lançado nos reservatórios passa inicialmente pelos processos de sedimentação e adensamento por peso próprio.

No período de espera, o material experimenta adensamento e em seguida ressecamento. Parte da água intersticial drenada do rejeito fino por esses processos pode ser recuperada. Nesta fase após o estágio de ressecamento, o rejeito pode, inclusive, chegar à condição de não saturação.

O resultado ao final do conjunto de todos os processos é um material densificado com elevado teor de sólidos, baixo índice de vazios, menos permeável e mais resistente.

Neste trabalho, o depósito de rejeitos de minério de ferro já se encontrava formado. Portanto, não foram realizados quaisquer monitoramentos das camadas lançadas.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Descrição do depósito investigado

O depósito de rejeito fino investigado está situado na Unidade de Germano da Samarco Mineração S.A., região do Quadrilátero Ferrífero, em Mariana, Minas Gerais.

O reservatório investigado tem cerca de 153.750 m² de área e atualmente se encontra na elevação 905,00 m, contendo cerca de 8 m de espessura de rejeitos depositados pelo método sub-aéreo durante um período de 16 meses.

Do total de rejeitos lançados, em ciclos de lançamento e espera, é estimado pela empresa que o reservatório tenha recebido, além do rejeito fino, o próprio rejeito arenoso resultante do processo de beneficiamento do minério.

Para a contenção destes materiais foram utilizados diques fechados alteados a montante da linha de simetria com inclinação de 1V: 2H como mostra a figura 1.



Figura 1 – Depósito de rejeito fino investigado

2.2 Ensaio de Piezocone

O ensaio de piezocone é um das formas mais completas de investigação do subsolo, pois permite conhecer suas propriedades e características geotécnicas, sendo aplicado a todo tipo e condição de solo. Além disso, o ensaio tem um grande potencial de identificação textural do solo baseado no seu comportamento, sendo esta a ênfase deste trabalho.

O ensaio de cone foi realizado de acordo com a MB 3406 (Solo – Ensaio de penetração do cone in situ) e ASTM 3441 (Standard test method for deep, quasi-static, cone and friction-cone penetration test of soil).

As medidas de poropressão foram realizadas por um elemento poroso de bronze sinterizado, localizado na base do cone (posição u₂). Os resultados desta campanha são apresentados nas figuras 2, 3 e 4.

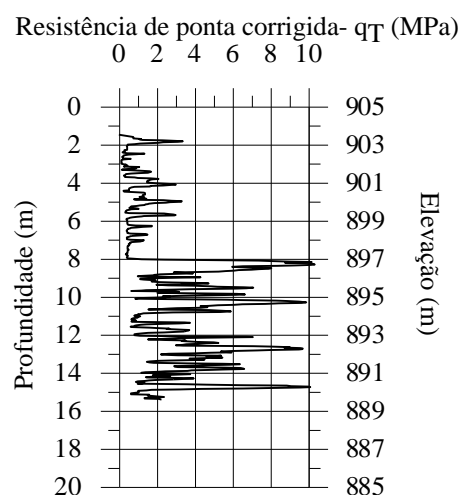


Figura 2 – Perfil de resistência de ponta corrigida. (Adaptado In Situ Geotecnia, 2006).

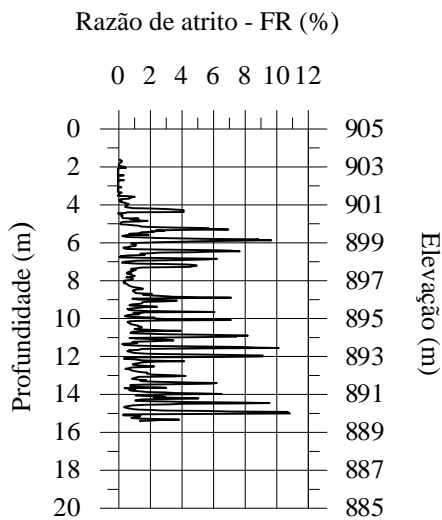


Figura 3 – Perfil de razão de atrito. (Adaptado In Situ Geotecnia, 2006).

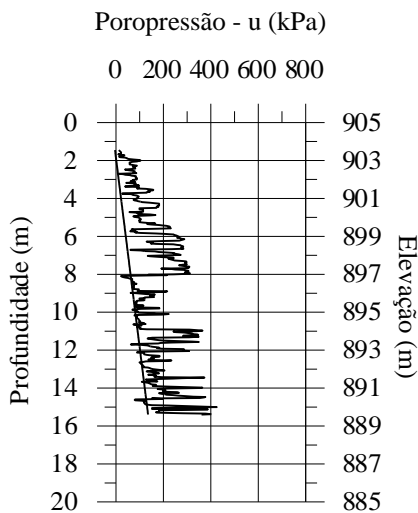


Figura 4 – Perfil de poropressão com a indicação da linha hidrostática. (Adaptado In Situ Geotecnia, 2006).

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Classificações dos Solos

Lima (2006) estudou três propostas de classificação: Robertson & Campanella (1983), Senneset et al. (1989), e Robertson (1990). Dentre estas, Lima (2006) escolheu a de Senneset et al. (1989) para definir a estratigrafia do rejeito depositado.

A escolha desta classificação se deu pela calibração do material do depósito. Esta calibração foi feita a partir da comparação entre os resultados de ensaios de laboratório realizados em amostras recolhidas em

amostradores tipo Shelby e as diversas propostas de classificação (já citadas) que classificam o solo com base nos resultados dos ensaios de piezocone.

A proposta de Senneset et al. (1989) usa a carta de classificação de solo mostrada na Figura 5. Ela relaciona o coeficiente de poropressão, B_q (Equação 1) com a resistência de ponta corrigida:

$$B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_T - \sigma_{v0}} \quad (1)$$

onde u_2 representa a poropressão medida no ensaio de piezocone, u_0 a pressão hidrostática, q_T a resistência de ponta corrigida e σ_{v0} a tensão vertical in situ.

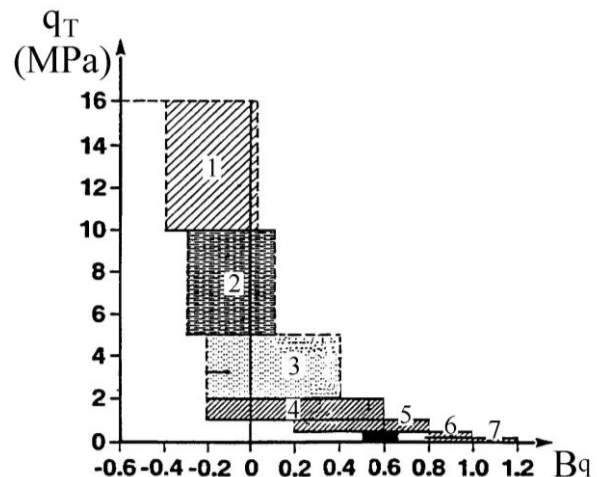


Figura 5 - Proposta de classificação dos solos de Senneset et al. (1989).

Quadro 1 – Quadro complementar da proposta de Senneset et al. (1989).

Zona	Tipo de Solo
1	Solos duros (pré-adensamento)
2	Areias compactas
3	Areias fofas
4	Siltes e argilas rígidas
5	Siltes finos e argilas médias
6	Argilas moles
7	Argilas muito moles

3.2 Obtenção do Perfil Estratigráfico

Para uma melhor definição do perfil estratigráfico, o perfil de solo investigado foi

dividido em camadas de metro em metro mostrados nas figuras seguintes.

A figura 6 mostra a mudança do tipo de material ao longo do perfil.

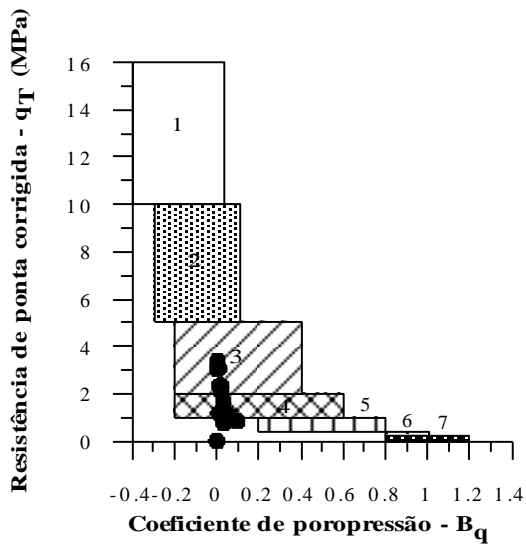


Figura 6a – Classificação de Senneset et al. (1989) - elevações 903,50 m a 903,00 m.

A figura 6a apresenta os primeiros 50 cm investigados onde predominam materiais como areias fofas e siltes.

Na figura 6b, o solo é visivelmente mais fino que o apresentado na figura anterior sendo predominantemente composto por siltes finos com presença de argilas de consistência mole a muito mole. Este comportamento se estende no próximo estrato, como apresentado na figura 6c, exceto com menor presença de material argiloso.

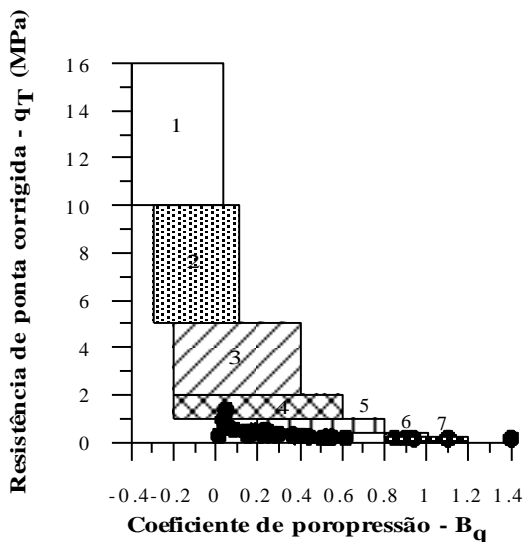


Figura 6b – Classificação de Senneset et al. (1989) - elevações 903,00 a 902,00.

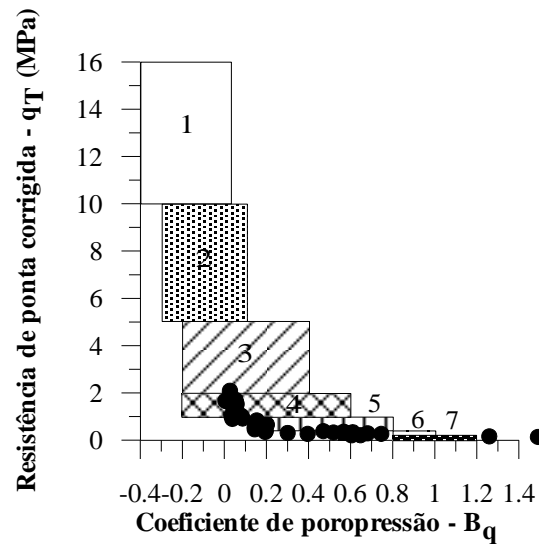


Figura 6c – Classificação de Senneset et al. (1989) - elevações 902,00 a 901,00.

A partir da figura 6d, o solo muda de comportamento com predominância de areias fofas e siltes. Este comportamento continua no próximo estrato (figura 6e) só que com presença significativa de siltes finos e argilas de consistência mole a muito mole.

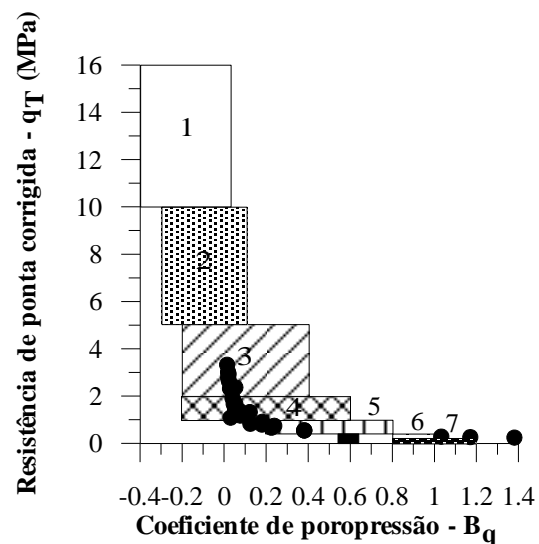


Figura 6d – Classificação de Senneset et al. (1989) - elevações 901,00 a 900,00.

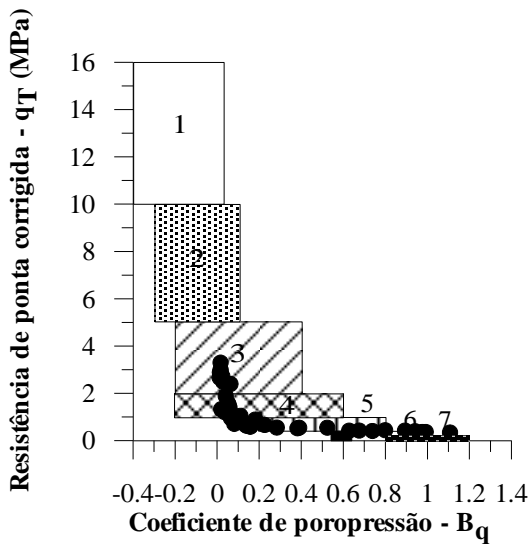


Figura 6e – Classificação de Senneiset et al. (1989) - elevações 900,00 a 899,00.

Na figura 6f, o solo deixa de apresentar a fração arenosa e a presença de siltes finos e argilas é acentuada. No último metro do depósito, figura 6g, aparecem materiais de granulometria muito fina, com predominância de siltes finos e argilas (de consistência mole a muito mole).

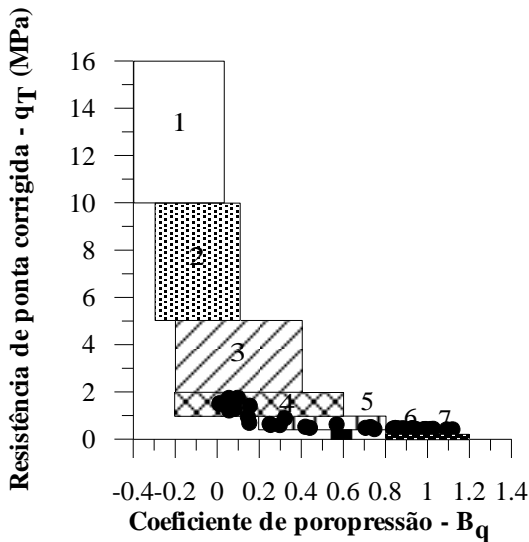


Figura 6f – Classificação de Senneiset et al. (1989) - elevações 899,00 a 898,00.

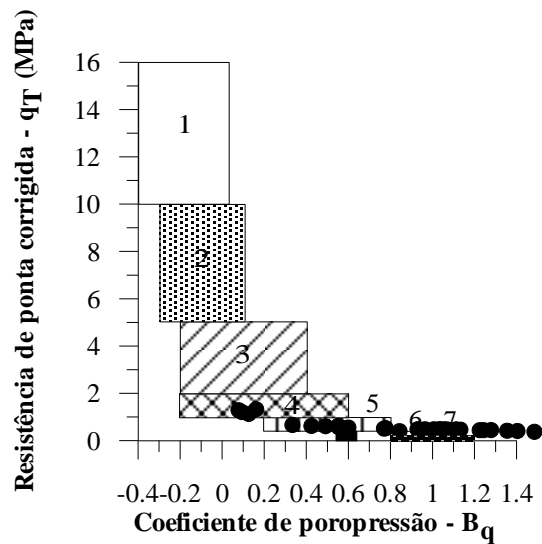


Figura 6g – Classificação de Senneiset et al. (1989) - elevações 898,00 a 897,00.

4 CONCLUSÕES

A definição do perfil estratigráfico de um depósito de rejeito fino de minério de ferro, construído pelo método de disposição sub-aérea, foi realizada a partir da interpretação de ensaio de piezocone.

A classificação do tipo de solo foi feita segundo a proposta de Senneiset et al. (1989) conforme sugestão de Lima (2006).

As principais conclusões são:

- O ensaio de piezocone é uma ferramenta muito eficaz na identificação estratigráfica de depósitos de solos finos “fabricados”;
- Os ensaios de piezocone são muito sensíveis a variações na textura, sendo capazes de identificar pequenas lentes de materiais;
- De um modo geral, os materiais formadores do depósito são de granulometria fina (siltes finos e argilas) em todo o perfil;
- Como identificado em alguns estratos, o depósito recebeu além do rejeito fino, outros tipos de materiais como, por exemplo, o próprio rejeito silto-arenoso, evidenciando uma co-disposição.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de registrar os seus agradecimentos a Samarco Mineração S.A por permitir a divulgação dos resultados e a Fundação Gorceix pelo apoio financeiro ao

primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- ICOLD (2002) - *International Commission on Large Dams*, Belo Horizonte, 1 CD-ROM.
- In Siltu Geotecnia (2006)– *Relatório Técnico de Investigação Geotécnica*, 7 p.
- Lima, L. M. K. (2006). *Retroanálise da Formação de um Depósito de Rejeitos Finos de Mineração Construído pelo Método Sub-Aéreo*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Norman, D. K. & Raforth, R. L (1998). Innovations and Trends in Reclamation of Metal Mine Tailings in Washington. *Washington Geology*, v. 26, n.2/3, p 29-42.
- Oliveira Filho, W. L; Silva, D. R.; Almeida, F. E. (2002). *A New Technique for Field Monitoring Tailings Consolidation*. 10º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Ouro Preto, Minas Gerais.
- Senneset, K., Sanven, R. & Janbu, N. (1989). Evaluation of soil parameters from piezocone tests. In: *Transportation Research Record*, Washington D.C., USA, p. 24-37.
- Ulrich, B., East, D. R.; Gorman, J (2000). Subaerial tailings deposition- Design, construction and operation for facility closure and reclamation. In: *Tailings And Mine Waste'00. Anais...Balkema*, Rotterdam, p 29-37.