



Análise de Dados de Investigação Geotécnica de Barragem de Rejeito de Bauxita

Giulia Marques Borges

Universidade Federal da Paraná, Curitiba, Brasil, marquesbgiulia@gmail.com

Heloísa Neres Lopes

Universidade Federal da Paraná, Curitiba, Brasil, lopesheloisaneres@gmail.com

Larissa de Brum Passini

Universidade Federal da Paraná, Curitiba, Brasil, larissapassini@hotmail.com

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo apresentar e avaliar as propriedades geológico-geotécnicas em uma área de barragem de rejeito de bauxita. Ensaios de campo, tais como ensaios de SPT, CPTU e Vane, são analisados de modo a se obter perfis estratigráficos, coeficiente de adensamento e resistência de cisalhamento não drenada. Paralelamente, são avaliados ensaios executados em laboratórios – triaxial não drenado e adensamento edométrico – a fim de se obter parâmetros de resistência e outras propriedades do material. O cruzamento de dados tem como finalidade a corroboração dos resultados entre si a fim de permitir um estudo geológico-geotécnico detalhado para que, futuramente, análises de estabilidade e previsões do comportamento da estrutura sejam realizadas.

PALAVRAS-CHAVE: Investigação Geotécnica, Ensaios de campo, Ensaios de laboratório, Barragem de rejeito, Rejeito de bauxita.

1 INTRODUÇÃO

Para que a construção e a manutenção de barragens sejam eficazes e garanta a estabilidade de tal obra, estudos sobre as propriedades geológico-geotécnicas são de significativa importância, uma vez que o rompimento de contenções de rejeitos pode causar imensuráveis danos sociais, econômicos e ambientais.

O material analisado consiste no rejeito de beneficiamento da bauxita, mineral utilizado no processo industrial do alumínio. A bauxita apresenta coloração avermelhada e é encontrada sobretudo em regiões tropicais e subtropicais do planeta, por ação do intemperismo sobre aluminossilicatos.

A investigação geotécnica e sua constante

evolução tecnológica emergem nesse cenário como peça fundamental para a avaliação de barragens de rejeito. Os ensaios *in situ*, segundo Knappett e Craig (2014), demonstram-se vantajosos por abrangerem grandes áreas do material, entretanto, não se objetiva substituir ensaios de laboratório ou sondagens, mas sim complementá-los de modo a aumentar a acurácia dos modelos preditivos.

Desta forma, o presente trabalho busca realizar um cruzamento dos dados obtidos em campo e em laboratório a fim de promover a corroboração dos resultados entre si e garantir maior eficácia na previsão do comportamento da estrutura. Objetiva-se também a comparação dos dados com a revisão bibliográfica, de modo a inferir a importância da investigação geotécnica, tanto em um momento prévio à



construção de uma barragem como para fins de monitoramento de sua estabilidade, em virtude da grande responsabilidade demandada na concepção de projetos nesse contexto.

2 LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS

A investigação geotécnica foi realizada em duas ilhas, denominadas A e B. Desta forma, todos os furos e todas as coletas com o mesmo nome são provenientes da mesma locação. A ilha B localiza-se a cerca de 115 m da ilha A e ambas encontram-se a menos de 50 m à montante do eixo da barragem.

3 ENSAIOS E MÉTODOS

3.1 Caracterização geotécnica

O material proveniente de resíduos de mineração difere dos solos convencionais, uma vez que suas características dependem da rocha de origem e dos métodos de extração e beneficiamento.

Por este motivo, a caracterização geotécnica é de suma importância na compreensão do comportamento do material. A Tabela 1 apresenta os índices físicos encontrados para três corpos de prova (CPs) provenientes de cada furo de sondagem na mesma profundidade - de 8,70 m a 9,30 m. Sendo eles: umidade inicial (w), grau de saturação (S), peso específico natural (γ_n) e índice de vazios (e). Todos apresentaram uma massa específica real dos grãos (ρ_s) igual a 2,72 g/cm³.

O ensaio granulométrico revelou também que ambas as ilhas A (Figura 1) e B (Figura 2) são constituídas por materiais argilo-siltosos, conforme distribuição granulométrica apresentada na Tabela 2.

Salienta-se que o Furo B apresentou 40,4% de pedregulho, afirmando a dificuldade em se estabelecer padrões no estudo de resíduos e corroborando a necessidade de sempre realizar diferentes ensaios e cruzar seus dados a fim de verificá-los.

Tabela 1. Índices físicos

		w (%)	S (%)	γ_n (kN/m ³)	e
Furo A	CP1A	58,4	96	16,2	1,65
	CP2A	57,7	98	16,5	1,60
	CP3A	57,2	98	15,4	1,77
Furo B	CP1B	53,1	98	16,8	1,48
	CP2B	54,1	96	16,6	1,53
	CP3B	53,0	97	16,7	1,49

Tabela 2. Distribuição granulométrica

	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulho
D (mm)	> 0,002	0,002 -0,060	0,06 - 0,20	0,2 - 0,6	0,6 - 2,0	> 2,0
Furo A	55,7%	37,8%	5,2%	0,7%	0,6%	-
Furo B	38,4%	18,5 %	2,4%	0,2%	0,0%	40,4 %

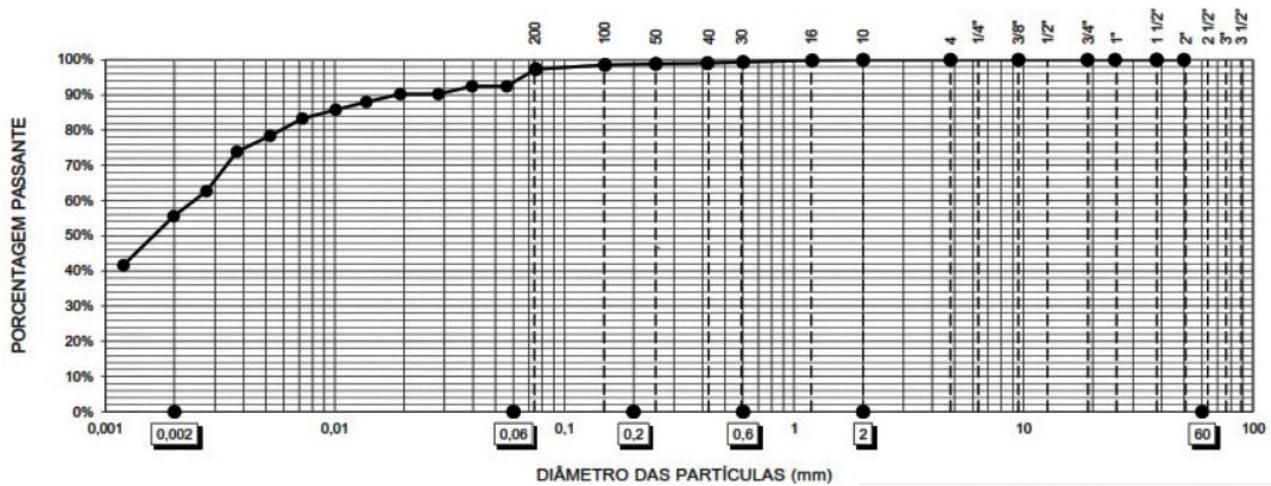


Figura 1. Distribuição granulométrica da Ilha A

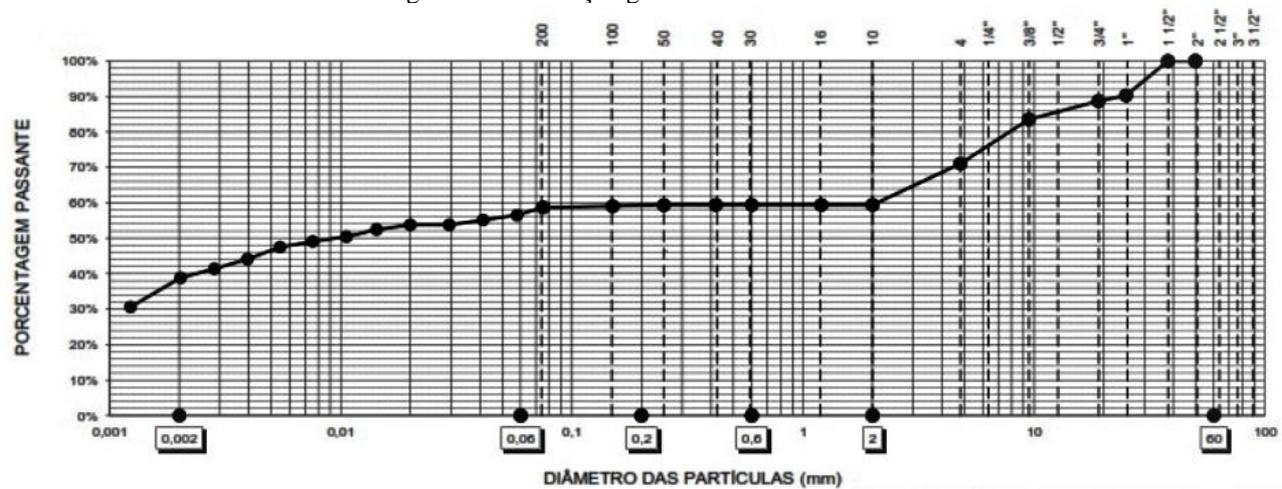


Figura 2. Distribuição granulométrica da Ilha B

3.2 Sondagem à percussão

A investigação por métodos intrusivos, como o *Standart Penetration Test* (SPT) é necessária para embasar o estudo geotécnico, uma vez que permite a coleta de amostras deformadas e a concepção de um perfil estatigráfico da área em interesse.

O índice de resistência à penetração (N_{SPT}) correlaciona o número de golpes necessário para o amostrador penetrar 300 mm, após uma cravação inicial de 150 mm. Os resultados obtidos para esse ensaio estão apresentados em função da profundidade na Figura 3.

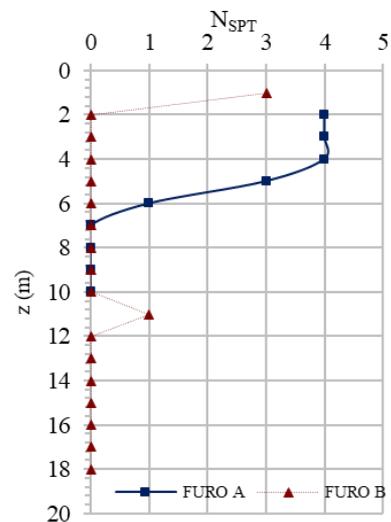


Figura 3. N_{SPT} versus Profundidade



Como o material apresentou pouca resistência à penetração, devido a sua baixa consistência, o N_{SPT} resultou em valores baixos.

3.3 Ensaios especiais CPTU e Vane

O comportamento do rejeito de bauxita, segundo Gore (2015), assemelha-se ao de solos argilosos e argilo-siltosos, por consequência, ensaios de piezocone (CPTu) e ensaios de palheta – *Vane Test* - são fortemente empregados na investigação *in situ* desse material, uma vez que a sondagem à percussão SPT deixa a desejar no que diz respeito aos ensaios da campo em materiais moles. O ensaio de piezocone revela parâmetros importantes para caracterização mecânica do material.

Conforme demonstrado na Figura 4, o ensaio fornece resistência de ponta corrigida (q_t), atrito lateral (f_s), razão de atrito (R_f), poropressão de equilíbrio (u_2) e poropressão hidrostática (u_0). A ilha A apresenta seu pico de q_t (10 MPa) em 4,00 m e a ilha B atinge seu valor máximo (6 MPa) em torno de 1,5 m de profundidade.

Ambas as resistências tendem a cair ao longo da profundidade, estabilizando em menos de 1 MPa, até que o ensaio fosse finalizado. Os valores de atrito lateral (f_s) também decresceram com a profundidade, ambos encontram-se na faixa de 10 kPa a partir de 10,00 m de profundidade.

Com os dados obtidos diretamente pelo ensaio, é possível calcular o parâmetro de poropressão B_q , através da Equação 1. O material apresentou grande variabilidade do parâmetro e , consequentemente, do comportamento ao longo dos dois trechos perfurados, mantendo-se próximo a 0,75 nas profundidades abaixo de 10,00 m e revelando uma composição tipicamente silto-argilosa, tal como observado por Bedin (2006). O B_q negativo, presente nos metros iniciais, revela uma tendência ao comportamento areno-siltoso.

$$B_q = \frac{\Delta u}{q_t - \sigma_v} \quad (1)$$

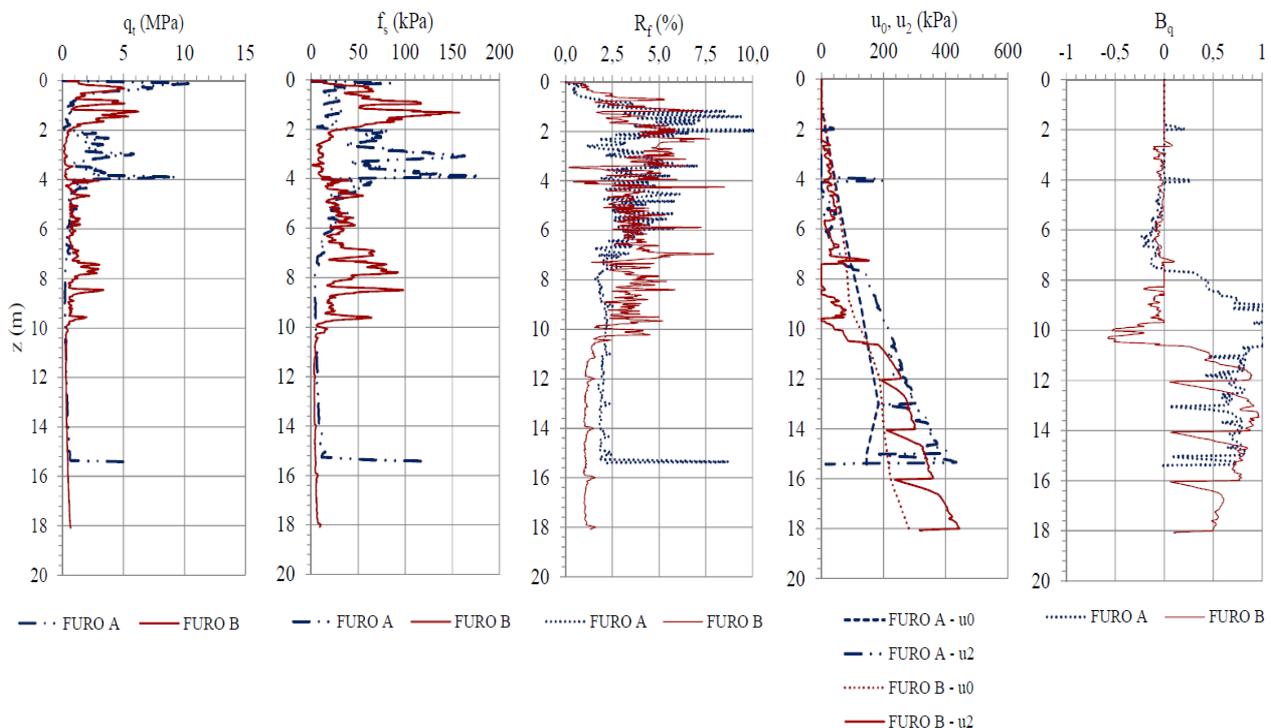


Figura 4. Ensaio de CPTu



A partir dos resultados apresentados na Figura 4 e das tensões do solo – efetiva (σ'_{v0}) e total (σ_{v0}) – Robertson (2016) propõe um sistema de classificação de solo, o *Soil Behaviour Type* (SBT), a partir de um índice denominado I_c (Equação 2).

O mesmo fornece a análise contínua ao longo de todo o trecho perfurado, de modo a expor o perfil estratigráfico do terreno.

$$I_c = \left\{ \left[3,47 - \log \left(\frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \right]^2 + \left[\log \left(\frac{f_s}{q_t - \sigma_{v0}} \right) + 1,22 \right]^2 \right\}^{0,5} \quad (2)$$

A constituição do perfil, demonstrado na Figura 5, expõe que o material estudado tem comportamento predominantemente siltoso e argiloso, comportando-se como areia siltosa apenas nas profundidades iniciais, sendo corroborado pelo parâmetro de poropressão apresentado na Figura 4.

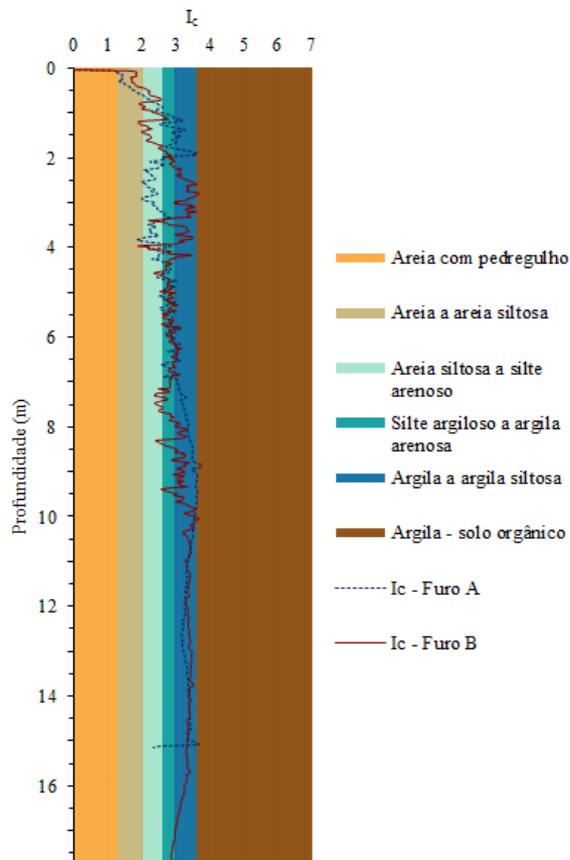


Figura 5. I_c versus Profundidade

De modo a verificar a resistência não drenada indeformada ($S_{u \text{ ind}}$) e amolgada ($S_{u \text{ amolg}}$) do material, o *Vane Test* torna-se imprescindível no estudo desse rejeito, conforme demonstra a Figura 6.

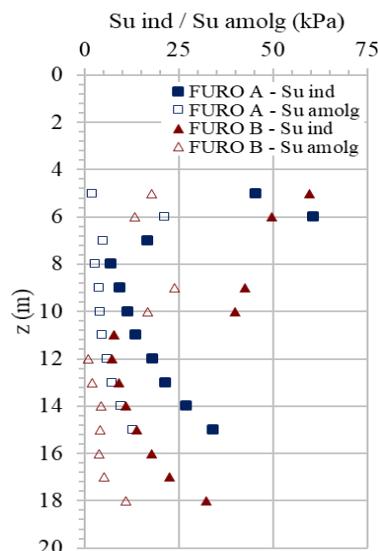


Figura 6. Ensaio de Palheta versus Profundidade

Para a ilha A, o ensaio foi realizado a cada metro a partir da profundidade de 4,00 m; para a ilha B, o mesmo ocorreu em 5,00 m, 6,00 m e a cada metro de 8,00 m a 18,00 m. O ensaio de palheta foi executado, primeiramente, com o intuito de obter o parâmetro indeformado. Então, após atingir a ruptura do material, verificou-se a resistência drenada amolgada.

De modo a analisar a resistência não drenada em todo o trecho perfurado e não apenas nos pontos onde o ensaio de palheta foi realizado, utilizou-se o parâmetro N_{KT} (Equação 3) para se estabelecer um perfil contínuo de resistência não drenada indeformada. Neste caso, o valor admitido foi $N_{KT} = 12$ para a ilha A e $N_{KT} = 13$ para a ilha B.

$$N_{KT} = \frac{q_t - \sigma_v}{S_{u \text{ Vane Test}}} \quad (3)$$

Como cada ensaio de palheta resulta em um N_{KT} diferente, assume-se como valor a ser utilizado a média entre todos os parâmetros



calculados. Assim, utiliza-se a Equação 4, a qual alia dados do piezocone com o N_{KT} proveniente do *Vane Test* e resulta no gráfico demonstrado na Figura 7.

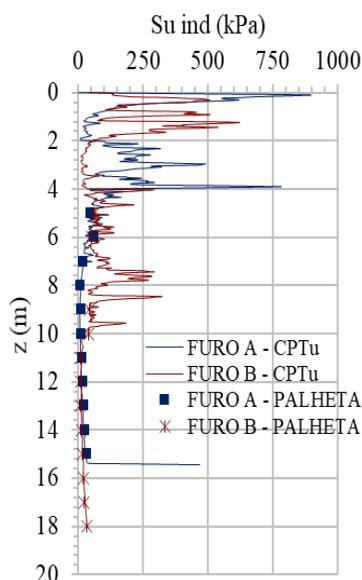


Figura 7. Resistência não drenada versus Profundidade

$$S_{u\ CPTu} = \frac{q_t - \sigma_v}{N_{KT}} \quad (4)$$

Verifica-se que a resistência inicia-se mais elevada, situação que pode ser justificada pelo material ainda possuir um comportamento mais próximo a de um solo siltoso nas profundidades onde os ensaios foram iniciados. A partir de 10,00 m, onde o ensaio de piezocone já revelou que o rejeito comporta-se de maneira argilosa, as resistências assumem valores abaixo de 25 kPa. No trabalho de Bedin (2006), o resíduo de bauxita também apresentou uma queda na resistência com a profundidade.

3.4 Ensaios triaxiais e edométrico

Em laboratório são frequentemente executados ensaios triaxiais não drenados e adensamento

edométrico, este devido à necessidade de avaliar o histórico de tensões e as consequências da consistência mole (não consolidada) deste material. Os parâmetros de resistência são essenciais para o uso de métodos de avaliação de estabilidade de taludes, por exemplo, como o Equilíbrio Limite, que levam em conta o ângulo de atrito interno e o intercepto coesivo do material para cálculo de coeficientes de segurança.

3.4.1 Ensaio triaxial adensado não drenado

Os parâmetros de resistência são importantes resultados a serem avaliados em um estudo de barragem, uma vez que estão intimamente relacionados com as condições de ruptura do material. Sua determinação é possibilitada através do critério de ruptura de Mohr Coulomb, aplicado no ensaio triaxial adensado não drenado. Esse método foi escolhido devido à consistência mole do material e a demora para dissipação das pressões neutras. Não obstante, a poropressão foi monitorada a fim de se obter também as tensões em termos efetivos e, conseqüentemente, o ângulo de atrito interno efetivo, além do intercepto coesivo.

Os parâmetros foram obtidos através do ensaio triaxial adensado não drenado realizado com amostras provenientes das duas ilhas (A e B), ambas retiradas de uma profundidade entre 8,70 m e 9,30 m.

As condições pré-estabelecidas para avaliação foram as seguintes: submissão de tensões confinantes de 50 kPa, 100 kPa e 200 kPa com velocidade constante de deformação de 0,1 mm/min no cisalhamento. Os gráficos resultantes do ensaio são representados através da Figura 8.

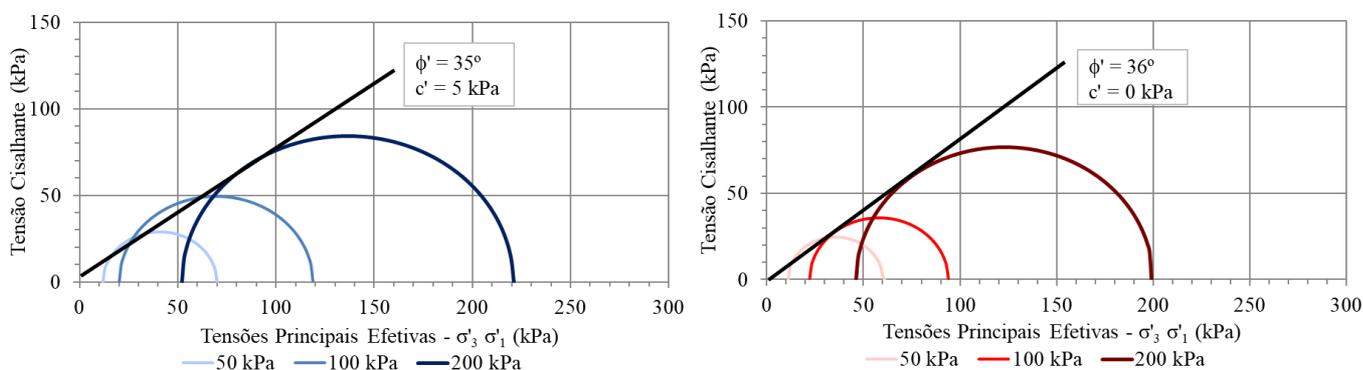


Figura 8. Resultado do Ensaio Triaxial Ilha A e Ensaio Triaxial Ilha B

Como a tangente do ângulo de atrito interno influencia diretamente na resistência ao cisalhamento, o estudo deste parâmetro é de extrema relevância, pois influencia diretamente o coeficiente de segurança quanto à estabilidade da barragem. Assim, para esse estudo, buscou-se comparar os dados de ângulos de atrito efetivo (ϕ') com os obtidos com a literatura.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos em comparação à bibliografia para rejeitos de minério de bauxita.

Tabela 3. Ângulos de atrito efetivos

	Presente pesquisa	Bedin & Gauer (2008)	Schnaid <i>et al.</i> (2014)
ϕ' (°)	35 – 36	30 – 39	36

Com o ajuste do critério linear, obteve-se um intercepto coesivo de aproximadamente zero, assim como o obtido pelos outros pesquisadores.

Os resíduos de mineração tendem a apresentar valores altos de resistência ao cisalhamento em função do alto grau de angularidade das partículas (Vick, 1983). Os resultados encontrados também se apresentaram similares aos encontrados na literatura para solos argilo-siltosos compactados.

3.4.2 Ensaio de adensamento edométrico

A verificação do adensamento é fundamental na previsão de recalques do aterro, principalmente

tratando-se de materiais não consolidados.

O estudo da compressibilidade também tem sua importância na avaliação da vida útil do reservatório, uma vez que o processo de lançamento dos resíduos por via úmida favorece a deposição do material com elevado grau de saturação. Tal procedimento é possibilitado através da sedimentação e adensamento do material por peso próprio devido à finura das partículas.

Ensaio com resíduos de bauxita realizados por Vick (1983), demonstraram que o rejeito possui coeficiente de adensamento médio igual a $3 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ e está dentro dos limites para resíduos de mineração ($10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ a $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$), cuja a faixa é a mesma para argilas naturais.

O ensaio de adensamento edométrico foi realizado admitindo-se os índices físicos apresentados na Tabela 4. Para ambas as ilhas (A e B), têm-se amostras indeformadas, retiradas de 8,70 m a 9,30 m de profundidade. Os corpos de prova foram submetidos a um acréscimo de tensão efetiva (σ'_v) que variou de 25 kPa a 1600 kPa, seguido de descarregamento em quatro estágios.

Em cada carregamento foram obtidos os seguintes parâmetros: coeficiente de compressibilidade – a_v (Equação 5); coeficiente de variação volumétrica – m_v (Equação 6); índice de vazios no final de cada carregamento – e_{final} , o qual corresponderá ao índice de vazios inicial do carregamento seguinte – e_0 ;



coeficiente de adensamento vertical pelo Método de Taylor – c_{v90} ; e coeficiente de adensamento secundário pelo Método de Casagrande – c_{α} , conforme apresentado na Tabela 4.

$$a_v = \frac{e_0 - e_f}{\Delta \sigma'_v} \quad (5)$$

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_0} \quad (6)$$

Tabela 4. Ensaio de adensamento edométrico

ILHA A						ILHA B				
σ'_v (kPa)	a_v (m ² /kN)	m_v (m ² /kN)	e_{final}	C_{v90} (cm ² /s)	c_{α}	a_v (m ² /kN)	m_v (m ² /kN)	e_{final}	C_{v90} (cm ² /s)	c_{α}
25	$9,7 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-4}$	1,42	-	-	$2,8 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-3}$	1,21	-	-
50	$4,8 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-3}$	1,30	-	-	$2,5 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	1,14	-	-
100	$3,1 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-3}$	1,14	$1,4 \times 10^{-3}$	0,01	$1,9 \times 10^{-3}$	$8,7 \times 10^{-4}$	1,05	$1,4 \times 10^{-3}$	0,01
200	$1,7 \times 10^{-4}$	$7,8 \times 10^{-4}$	0,98	$2,3 \times 10^{-3}$	0,01	$1,3 \times 10^{-3}$	$6,1 \times 10^{-4}$	0,92	$1,4 \times 10^{-3}$	0,01
400	$6,7 \times 10^{-4}$	$3,4 \times 10^{-4}$	0,84	$2,2 \times 10^{-3}$	0,01	$6,6 \times 10^{-4}$	$3,4 \times 10^{-4}$	0,79	$2,1 \times 10^{-3}$	0,01
800	$2,9 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-4}$	0,72	$4,5 \times 10^{-3}$	0,01	$2,9 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-4}$	0,68	$2,5 \times 10^{-3}$	0,01
1600	$1,3 \times 10^{-4}$	$7,5 \times 10^{-5}$	0,62	$4,5 \times 10^{-3}$	0,01	$1,3 \times 10^{-4}$	$7,9 \times 10^{-5}$	0,57	$2,5 \times 10^{-3}$	0,01

A partir do índice de vazios final e do logaritmo da base 10 da tensão vertical efetiva (σ'_v) foi determinada a curva característica do ensaio de adensamento (Figura 9).

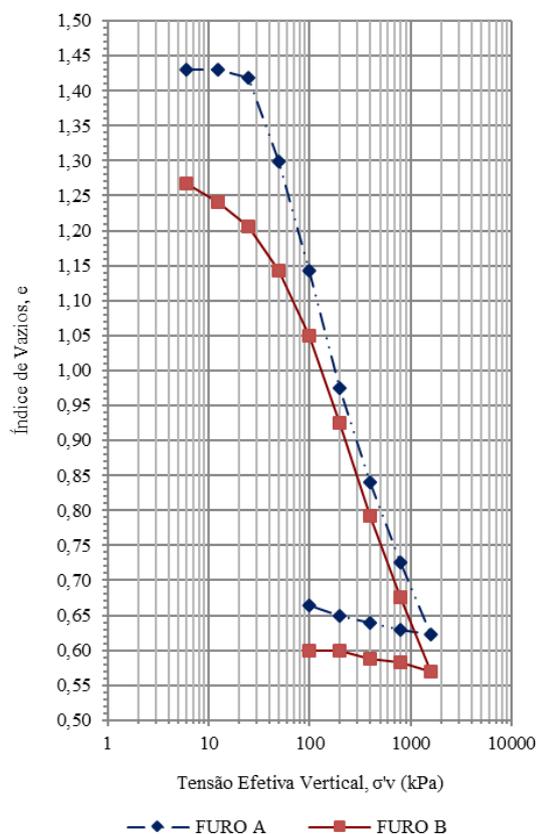


Figura 9. Resultado do Ensaio de Adensamento

Através do Método Pacheco Silva, determina-se a tensão de pré-adensamento (σ'_{vm}), os quais representam o máximo estado de tensões ao qual esse material já foi submetido.

A partir da tensão de pré-adensamento, tem-se o conhecimento do histórico de tensões ao longo do perfil do material, outro importante fator na análise de seu comportamento, principalmente no que se assemelham ao de argilas. Tal estudo é realizado através da razão de sobreadensamento (OCR), índice que corresponde a razão entre a tensão de pré-adensamento e a tensão efetiva do material.

Neste caso, como não há sobrecarga, a tensão efetiva é composta unicamente pelo peso do material, este calculado pela profundidade multiplicada pelo peso específico do resíduo.

A Tabela 5 apresenta os resultados para as amostras encontradas em 9,00 m de profundidade.

Tabela 5. Tensão de pré-adensamento

	σ'_{vm} (kPa)	γ_n médio (kN/m ³)	OCR = σ'_{vm}/σ'_v
Furo A	30	16,0	0,55
Furo B	40	16,7	0,66



O OCR abaixo de 1,0 representa que o rejeito está em processo de adensamento, pois ultrapassou a tensão de pré-adensamento.

Devido à forma de deposição de resíduos, espera-se um comportamento hidráulico que varia de acordo com a direção (vertical e horizontal).

Segundo Schnaid (2012), para estimar a razão de permeabilidade vertical e horizontal (k_v/k_h), faz-se uso da correlação entre os coeficientes de adensamento vertical e horizontal. O primeiro (c_v) foi obtido através do ensaio edométrico, para a maior carga (1600 kPa), sendo de $4,5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ (ilha A) e $2,5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ (ilha B). Já o coeficiente de adensamento horizontal (c_h) de $9,3 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ foi obtido pela metodologia proposta por Houlsby e Teh (1988), utilizando valores provindos da dissipação de poropressão oriundos do CPTU, com índice de rigidez igual a 100.

O resultado estimou uma anisotropia de permeabilidade (k_v/k_h) em torno de 0,48, indicando uma condição normalmente adensada (Jamiołkowsky et al., 1985), como esperado.

4 DISCUSSÕES

Os dados obtidos através da caracterização do rejeito de bauxita e da intercepção de dados obtidos de diversos ensaios comprovam a semelhança comportamental entre o material estudado e solos argilosos moles.

Inicialmente, verificou-se que o índice de resistência à penetração (N_{SPT}) apresentou valores abaixo de 2 na maior parte do trecho perfurado, expondo um material de consistência muito mole e revelando que há possibilidade de ainda não ter sido consolidado.

Os ensaios de piezocone apresentaram resultados semelhantes aos que a bibliografia apresenta para aterros de rejeito de bauxita. Tanto Bedin (2006) como Nierwinski (2013) apresentam resultados de resistência ponta (q_t) em torno de 1 MPa, assim como as profundidades mais argilosas das ilhas desse

estudo.

Bedin (2006) também observou que, por se tratar de um depósito de rejeito, o coeficiente de poropressão B_q possui expressiva variabilidade, entretanto, assume em sua maioria valores correspondentes a materiais argilo-siltosos. Verifica-se também, neste estudo, que os valores de B_q corroboram o perfil estratigráfico definido pela metodologia de Robertson, pois ambos revelam materiais com comportamento semelhante, este também compatível ao índice de resistência encontrado no ensaio SPT.

A utilização do parâmetro N_{KT} para uma análise contínua da resistência não drenada ao longo da profundidade demonstrou-se efetiva, uma vez que os valores medidos diretamente em campo sobrepõem-se aqueles obtidos pela correlação dos dados do CPTu. Demonstra-se assim um ajuste que não destoia da bibliografia, onde os valores de N_{KT} se encontravam em torno em 13.

O ensaio de palheta também assumiu significativa importância na análise desse rejeito. A resistência não drenada permite o estudo da estabilidade global do rejeito e assume valores de baixa ordem de grandeza para o rejeito estudado na superfície do aterro. Nas profundidades abaixo de 10,00 m, a resistência não drenada do rejeito tem uma tendência pequena de acréscimo também analisada por Bedin (2006).

O ensaio de adensamento edométrico revelou que os coeficientes de adensamento vertical (c_v), independentemente do nível de tensões aplicado, encontra-se entre $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$, faixa de valores que, segundo Vick (1983), também corresponde às argilas naturais, corroborando, mais uma vez, o comportamento argilo-siltoso indicado pelos ensaios de CPTU e SPT.

O histórico de tensões é fundamental para futuros estudos em relação aos recalques que o aterro de resíduos pode sofrer. Neste estudo, o material demonstrou-se em fase de adensamento, obtendo OCR abaixo de 1,0. O estado vai ao encontro ao baixíssimo índice de



resistência à penetração dado pelo SPT, de modo que este corrobora o estado de tensões revelado pela razão de sobreadensamento. A situação na qual o resíduo se encontra enfatiza a importância do estudo dos recalques para controle da consolidação do rejeito estudado.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho objetivou demonstrar a relevância da complementação dos dados obtidos através de ensaios de laboratório e de campo em uma investigação geotécnica. Tratando-se de um material de rejeito de mineração de bauxita, destaca-se a importância da atenção e uso de critérios para a avaliação e julgamento do desempenho e estabilidade, fazendo uso de uma boa campanha de investigação geotécnica. Informações obtidas através de métodos confiáveis são imprescindíveis, principalmente na conjuntura de segurança em estruturas de barragens, como a estudada.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à orientadora pela oportunidade de desenvolver este trabalho e à família, ao Daniel e ao Dênis pelo apoio. Como também a empresa Fugro pela disponibilização dos dados para desenvolvimento do mesmo.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 6484 (2001) - Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- Bedin, J. (2006) *Interpretação de ensaios de piezocone em resíduos e bauxita*. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Bedin, J. e Gauer, E. A. (2008) *Caracterização Geotécnica de Resíduos da Mineração de Ouro através de Ensaios de Piezocone*. XIV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica COBRAMEG. Búzios.
- Nierwinski, H. P. (2013) *Potencial de liquefação de*

- resíduos de mineração estimado através de ensaios de campo*. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Robertson, P.K. (2016) Cone penetration test (CPT) based soil behavior type (SBT) classification system – an update. *Canadian Geotechnical Journal*.
- Schnaid F.; Bedin, J.; Nierwinski, H. P.; Oderbrecht, E. (2014) On the Characterization and Classification of Bauxite Tailing. *Soil and Rocks: An International Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.
- Schnaid, F. e Oderbrecht, E. (2012) *Ensaio de campo e duas aplicações à Engenharia de Fundações*. São Paulo, Oficina de Textos, 2ª edição, 2012.
- Knappett, J. A. e Craig, R. F. (2014) *Craig Mecânica dos Solos*. Rio de Janeiro, LTC, 8ª edição.
- Vick, S.G. (1983) *Planning, Design and Analysis of Tailings Dams*. John Wiley & Sons, Inc., p. 369.
- Jamiolkowsky M., Ladd, C.C., Germaine, J.T & Lancellota (1985) *New developments of field and laboratory testing of soils*. XI ICSMFE, San Francisco, V 1, p.57-153.
- Houlsby, G. T. e Teh, C. I. (1988) *Analysis of the cone pressuremeter test in clays*. Géotechnique, v. 38, n. 4, p. 575-587.