Brazilian Applied Science Review

Caracterização Física de Amostras de Rejeito de Mineração de Bauxita e Ouro

Physical Characterization of Bauxite and Gold Mining Tailing Samples

DOI:10.34115/basrv4n6-020

Recebimento dos originais:05/10/2020
Aceitação para publicação:20/11/2020

Helena Paula Nierwinski
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Professora do curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/ Joinville
R. Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, Brasil, 89219-600
E-mail:helena.paula@ufsc.br

Amanda Reus
Graduanda do curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/ Joinville
R. Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, Brasil, 89219-600
E-mail:amandareus@hotmail.com

Marcelo Heidemann
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Professor do curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/ Joinville
R. Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, Brasil, 89219-600
E-mail:marcelo.heidemann@ufsc.br

Edgar Odebrecht
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/ Joinville
R. Paulo Malschitzki, 200 - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, Brasil, 89219-710
E-mail:edgar@geoforma.com.br

Breno Salgado Barra
PhD pela Université Gustave Eiffel (UGE), em Nantes (França)
Professor do curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/ Joinville
R. Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, Brasil, 89219-600
E-mail:breno.barra@ufsc.br

Daniel Hastenpflug
Doutor em Engenharia e Tecnologia de Materiais pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Professor do curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/ Joinville
R. Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, Brasil, 89219-600
E-mail:daniel.h@ufsc.br

Brazilian Applied Science Review

Yader Alfonso Guerrero Pérez
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina
Professor do curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/ Joinville
R. Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, Brasil, 89219-600
E-mail:guerrero.y@ufsc.br

RESUMO
A exploração mineral tem grande influência na economia brasileira. Apesar dos benefícios que o setor traz para a sociedade, como emprego e renda, há diversos problemas atrelados à destinação dos subprodutos gerados pelo beneficiamento dos minérios. Recentemente, acidentes decorrentes do rompimento de barragens utilizadas para disposição de rejeitos, levaram a discussões acerca da necessidade de desenvolver projetos mais seguros. A etapa inicial deste processo consiste em conhecer as características e o comportamento dos rejeitos de mineração. Este trabalho teve por objetivo caracterizar dois rejeitos de mineração, provenientes de minas brasileiras, de extração de bauxita e ouro. Foram realizados ensaios de caracterização: granulometria com sedimentação, limites de Atterberg, densidade real dos grãos e compactação em ambas as amostras. Para complementar a análise, as propriedades de compressibilidade dos materiais foram avaliadas, por meio de resultados de ensaios de adensamento. Ao final do estudo avaliaram-se os parâmetros encontrados para ambos os materiais analisados.

Palavras-Chave: Rejeito de mineração, Caracterização, Ensaios de Laboratório, Geotecnia ambiental.

ABSTRACT
Mineral exploration has great influence on the Brazilian economy. Despite the benefits that the sector brings to society, such as employment and income, there are several problems linked to the destination of the byproducts generated by the processing of ores. Recently, accidents resulting from the rupture of dams used for waste disposal, led to discussions about the need to develop safer projects. The initial stage of this process consists in knowing the characteristics and behavior of the mining waste. This work aimed to characterize two mining tailings, from Brazilian mines, of bauxite and gold extraction. Characterization tests were performed: granulometry with sedimentation, Atterberg limits, real grain density and compaction in both samples. To complement the analysis, the compressibility properties of the materials were evaluated, through thickening test results. At the end of the study, the parameters found for both analyzed materials were evaluated.

keywords: Mining Reject, Characterization, Laboratory Tests, Environmental Geotechnics.

1 INTRODUÇÃO

A mineração é considerada um dos principais setores da economia do Brasil. O país possui grandes reservas com uma diversificada variedade de minerais metálicos e não-metálicos, estando entre os seis mais importantes países minerais do mundo (Barreto, 2001). Ao mesmo tempo em que a exploração mineral contribui para o desenvolvimento econômico do país pode provocar impactos negativos e danos ambientais.

Nos últimos tempos houve uma considerável evolução na gestão ambiental da mineração no país.

Isto deve-se ao crescente reconhecimento da necessidade de proteção ambiental pela sociedade, juntamente com o aumento progressivo na rigidez das leis, que proporcionaram grandes reflexos no setor mineral (Sánchez, 2007).

Vale ressaltar que diversos acidentes estão relacionados com a exploração mineral, e considerável parcela envolve o rompimento de barragens utilizadas para armazenamento de rejeitos de mineração (Thomé e Passini, 2018).

A ruptura de barragens de rejeitos de mineração gera sérios impactos ao meio ambiente, o que tem se tornado um relevante desafio à Engenharia Civil e Ambiental. Além de que, as barragens de rejeitos tem por finalidade permanecerem estáveis por longos períodos de tempo, usualmente maiores que a vida útil da mina (Espósito e Assis, 1999). Diante desta realidade, conhecer adequadamente as propriedades dos rejeitos de mineração é imprescindível para o desenvolvimento de projetos geotécnicos seguros (Bedin, 2010) ou para a investigação de propriedades que permitam o reaproveitamento destes materiais (Lima *et al*, 2020). Os ensaios de laboratório contribuem fundamentalmente com a definição destas propriedades. Neste contexto, o presente trabalho visa avaliar as características geotécnicas de dois rejeitos de mineração brasileiros: bauxita e ouro. A pesquisa englobou a realização dos seguintes ensaios de laboratório: granulometria com sedimentação, limites de Atterberg, densidade real dos grãos, compactação e ensaios de adensamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REJEITO DE MINERAÇÃO DE BAUXITA

O alumínio é um elemento bastante utilizado, servindo como matéria-prima para diversas atividades. Transportes, construção civil e eletroeletrônicos são alguns setores que se destacaram na sua utilização nas últimas décadas (Zhang *et al*., 2016).

O minério de bauxita é a principal fonte de obtenção do alumínio. Cerca de 90% da alumina, proveniente do beneficiamento da bauxita, é designada para a produção do alumínio metálico (Constantino *et al*., 2002).

O processo de Bayer é o mais utilizado para o beneficiamento deste tipo de minério. Consiste, basicamente, na realização de duas etapas, a britagem para redução granulométrica e purificação para a obtenção da alumina (Tutmez, 2018). Os elementos sem valor comercial, provenientes deste processo, são denominados de rejeitos de mineração de bauxita.

Bedin (2010), por meio de ensaios de Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) e (*Energy Dispersive x-ray detector* - EDX) no rejeito de bauxita, constatou a presença de elementos químicos como sódio, alumínio, silício, cálcio, titânio e ferro em quantidades que variam com a geologia do local de extração do minério.

Brazilian Applied Science Review

2.2 REJEITO DE MINERAÇÃO DE OURO

Os tratamentos utilizados para o beneficiamento do minério de ouro apresentam algumas peculiaridades que o diferenciam de outros tipos de tratamento. O material submetido ao beneficiamento se encontra em sua forma elementar metálica, com elevada maleabilidade e densidade. O valor do produto do beneficiamento do minério de ouro é superior a grande maioria dos bens minerais (Chaves e Peres, 2002).

O processo a ser escolhido para a extração do ouro depende principalmente do conhecimento da formação do depósito, das características do minério e dos outros minerais associados (Roenick, 2013). O processo pode se restringir a uma adequação granulométrica às etapas de hidrometalurgia ou envolver, além da preparação, estágios de concentração (Chaves e Peres, 2002).

Os principais minerais presentes na rocha de origem do minério de ouro são: quartzo, albita, clorita e sulfetos. Já os rejeitos provenientes do processo de beneficiamento do minério apresentam como componentes predominantes o ferro e o silício e em menor quantidade titânio e alumínio (Bedin, 2010).

2.3 MÉTODOS DE DISPOSIÇÃO

A metodologia de disposição dos rejeitos é estipulada de acordo com fatores operacionais e condições locais da mineradora. Onde as condicionantes estão relacionadas ao minério e ao processo de beneficiamento utilizado. Existem diversas metodologias e mecanismos de disposição de rejeito que buscam atrelar a segurança ambiental aos custos associados ao processo de contenção (Figueiredo, 2007).

Entre os métodos de disposição de rejeitos as barragens de contenção ainda são as mais utilizadas, principalmente quando se utiliza o rejeito como material de construção da própria barragem (IBRAM, 2016).

O custo da disposição, atrelado ao grande volume de rejeitos gerados tornam o método de alteamento de barragens atrativo, pois o investimento é diluído em etapas, conforme a necessidade de armazenamento do material (Nierwinski, 2013).

As contenções iniciam com um dique de partida que passam por alteamentos ao longo de sua vida útil. Podem ser construídas com material compactado proveniente de áreas de empréstimos, ou com o próprio rejeito, por meio de três métodos de alteamento: montante, jusante e linha de centro, os quais se diferenciam pelo deslocamento do eixo da barragem em relação ao dique de partida (IBRAM, 2016).

A solução mais econômica e de fácil execução é obtida pelo método de alteamento à montante. Esta é, no entanto, a metodologia que tem maior registro de acidentes ocasionados por rupturas, quando comparado com os outros dois métodos de alteamento (Nierwinski, 2013).

No método de alteamento à montante, os rejeitos vão sendo lançados sobre o material

previamente depositado e não consolidado. Este processo resulta em áreas saturadas, pouco compactadas, em adensamento e, com baixa resistência, que consequentemente apresentam predisposição para a ocorrência do fenômeno de liquefação quando submetidos à solicitação não-drenada (Bedin, 2010; Nierwinski, 2013; Nierwinski, 2019). Por este motivo, o conhecimento das propriedades dos rejeitos depositados é imprescindível para o desenvolvimento de projetos seguros.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental consistiu na realização de ensaios de caracterização básica em amostras de dois rejeitos brasileiros, provenientes do beneficiamento de minério de bauxita de ouro. São avaliados rejeitos de mineração de bauxita provenientes de dois reservatórios distintos, sendo aqui denominados de reservatório A (rejeito de coloração mais avermelhada) e reservatório B (rejeito de coloração intermediária). O rejeito de mineração de ouro (coloração acinzentada) será tratado neste trabalho como proveniente do reservatório C. A Figura 1 apresenta as imagens de cada uma das amostras analisadas neste trabalho.

Figura 1. Amostras dos rejeitos em estudo.



Para a caracterização geotécnica dos rejeitos foram realizados os seguintes ensaios: granulometria com sedimentação, limites de Atterberg (limite de liquidez e de plasticidade), densidade real dos grãos e compactação. Estes ensaios seguiram as prerrogativas de suas respectivas normas: NBR 7181 (2017), NBR 6459 (2017), NBR 7180 (2016), NBR 6458 (2016), NBR 7182 (2016).

Foi executado um ensaio de adensamento para cada rejeito, seguindo-se todas as diretrizes da ABNT 12007 (1990). Os corpos de prova foram submetidos a aplicação de cargas axiais, que foram transmitidas em estágios, e dobradas a cada 24 horas. Em cada etapa de carregamento, registou-se a

variação de altura do corpo de prova em períodos de tempo indicados pela norma. Após os carregamentos, realizou-se o descarregamento em etapas até que atingisse a estabilização das deformações. Para este ensaio utilizaram-se corpos de prova com diâmetro de 5 cm, e altura de 2 cm.

Os rejeitos de bauxita, provenientes do reservatório A e B, foram ensaiados com amostras indeformadas, coletadas com auxílio de um amostrador do tipo Shelby. Já no rejeito de mineração de ouro, por este apresentar características mais granulares, não foi possível a coleta de uma amostra indeformada e o ensaio foi realizado em amostra reconstituída, com os mesmos índices físicos de campo. A Tabela 1 apresenta os índices físicos das amostras submetidas ao ensaio de adensamento.

Tabela 1. Índices físicos dos rejeitos em estudo.

Amostra	γ_n (g/cm^3)	e
Reservatório A (bauxita)	1,84	1,40
Reservatório B (bauxita)	1,73	1,21
Reservatório C (ouro)	1,56	1,16

Utilizou-se a metodologia de Lade (1978) para a reconstituição da amostra do rejeito de mineração de ouro. O processo consiste, basicamente, em relacionar um volume a uma massa por meio da realização de compactação em camadas. Para atingir uma efetiva compactação utilizou-se a umidade ótima encontrada através do ensaio de compactação para moldar os corpos de prova.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), campus Joinville/SC.

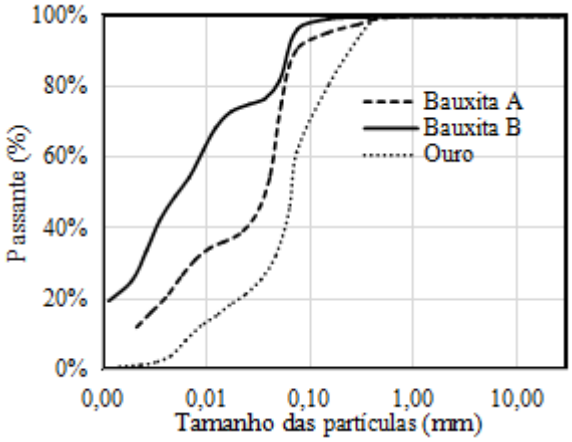
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados dos ensaios de caracterização e adensamento realizados nas amostras dos rejeitos de mineração em análise.

4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

As curvas granulométricas dos rejeitos de mineração de bauxita e ouro, obtidas por meio de ensaios de peneiramento e sedimentação, estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2. Curvas granulométricas dos rejeitos de mineração de bauxita e ouro.



Na curva granulométirca do rejeito de mineração de bauxita proveniente do reservatório A, notou-se uma representativa concentração de partículas do tamanho de silte, em torno de 72%. Em menor quantidade apresentaram-se partículas do tamanho areia fina, cerca de 16%, e argila, cerca de 12%. O valor de D_{50} encontrado para este material foi igual a 0,037 mm.

Em análise à curva granulométrica do rejeito de mineração de bauxita proveniente do reservatório B, pode-se verificar uma elevada concentração de partículas do tamanho de silte, cerca de 62%, e argila, cerca de 26% da amostra. O restante, cerca de 12%, podem ser caracterizadas como partículas do tamanho de areia fina. O valor de D_{50} encontrado para este material foi igual a 0,005 mm.

Já em relação à curva granulométrica do rejeito de mineração de ouro, pode-se perceber uma grande concentração de partículas do tamanho de areia fina, cerca de 44%, e também de silte, cerca de 40% da amostra total. O restante, cerca de 14% corresponde a areia média e há uma pequena concentração de partículas do tamanho de argila, aproximadamente de 2%. Estas porcentagens demonstram o caráter mais granular do rejeito de mineração de ouro em relação aos rejeitos de mineração de bauxita avaliados. O valor de D_{50} encontrado para o rejeito de mineração de ouro foi igual a 0,068 mm.

4.2 LIMITES DE ATTERBERG E DENSIDADE REAL DOS GRÃOS

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos para os limites de Atterberg (Limite de Liquidez – LL e Limite de Plasticidade – LP) e densidade real dos grãos (G) para os rejeitos em análise.

Tabela 2. Limites de Atterberg e densidade real dos grãos dos rejeitos de mineração em estudo

Rejeito	LL (%)	LP (%)	IP (%)	G
Bauxira A	37,2	36,9	0,3	3,06
Bauxita B	32,2	29,9	2,3	2,88
Ouro	NL	NP	NP	2,86

Fizeram-se necessárias várias repetições do ensaio de Limite de Liquidez (LL) para a caracterização adequada dos rejeitos de bauxita. Ao se realizar o ensaio percebeu-se que o material apresentava grande interação com a água, sendo que um acréscimo muito pequeno de água à amostra alterava demasiadamente o comportamento do rejeito. Em função da redução da quantidade de água, estes mesmos efeitos não foram observados na determinação do Limite de Plasticidade (LP), mas provocaram baixos valores do Índice de Plasticidade (IP) destes materiais.

O valor de LL, para o rejeito de bauxita proveniente do reservatório A, foi determinado como sendo igual a 37,17%. Já para o rejeito de bauxita do reservatório B encontrou-se o valor LL como sendo igual a 32,19% . As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados dos ensaios de LL das amostras analisadas. Verifica-se a baixa variação dos teores de umidade para os diferentes valores de golpes necessários para o fechamento da ranhura no aparelho de Casagrande.

Figura 3. Resultados dos ensaios de LL rejeito de mineração de bauxita A.

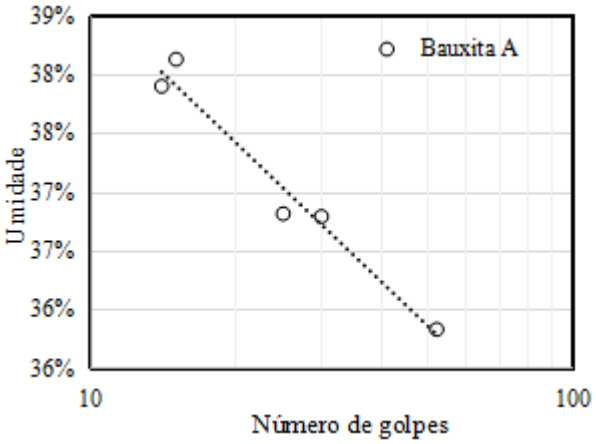
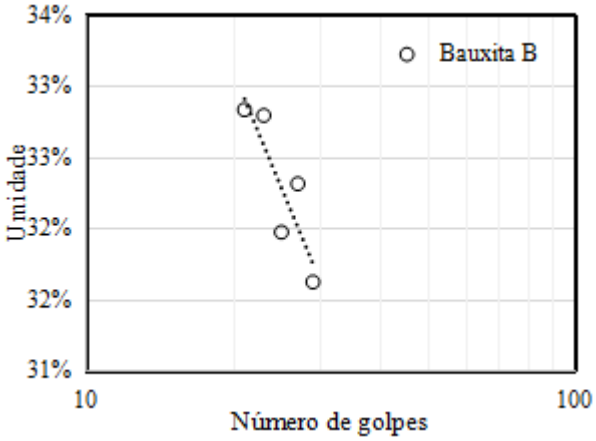


Figura 4. Resultados dos ensaios de LL rejeito de mineração de bauxita B.



Com os dados de LL e LP, determinou-se o índice de plasticidade (IP), que foi de 0,16% para a bauxita do reservatório A e 2,33% para a do reservatório B. Os valores de IP encontrados caracteriza o material como fracamente plástico. Este material provém de um processo industrial em que há adição

de elementos químicos. No entanto, é importante ressaltar, que as características de plasticidade encontradas por meio do ensaio, não são decorrentes da presença dos argilominerais, mas sim possivelmente sejam resultados da reação da água com elementos químicos resultantes do processo de beneficiamento do minério de bauxita.

O rejeito de mineração de ouro, proveniente do reservatório C, não apresentou valores de LL e LP e, portanto, foi classificado como um material não-plástico.

O valor encontrado para densidade real dos grãos (G) foi de 3,06 para o rejeito de bauxita proveniente do reservatório A e 2,88 para o reservatório B. Já o valor encontrado para o rejeito de ouro, proveniente do reservatório C, foi de 2,86. Percebe-se que os rejeitos de mineração apresentam um valor de G alto, típico de materiais com presença de elementos metálicos em sua composição.

4.3 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

Para avaliação das características de compactação dos rejeitos, utilizou-se a Energia Proctor Normal, com reuso de material. As curvas de compactação obtidas para cada um dos rejeitos avaliados podem ser visualizadas através da Figura 5.

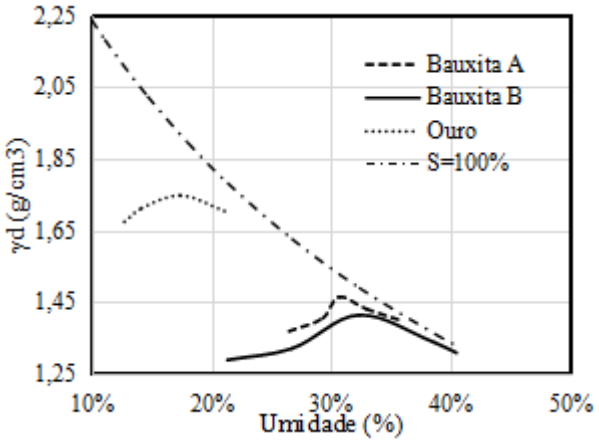
O valor do peso específico aparente seco máximo do rejeito de bauxita, proveniente do reservatório A, foi determinado como sendo igual a 1,47 g/cm^3, na umidade ótima igual 30,54%. Os valores encontrados para o rejeito de bauxita, proveniente do reservatório B, foram semelhantes aos do reservatório A, sendo o peso específico aparente seco máximo igual 1,42 g/cm^3 e a umidade ótima igual a 32,22%. Ao se comparar os resultados obtidos com valores típicos fornecidos pela literatura, observa-se que o rejeito de mineração de bauxita apresenta resultados similares àqueles esperados para um solo argiloso, ou seja valores de $\gamma_{dmáx}$ entre 1,5 e 1,4 g/cm³ e umidade ótima entre 25 e 30% (Sousa Pinto, 2006).

Já para o rejeito de ouro, proveniente do reservatório C, encontrou-se o valor do peso específico aparente seco máximo de 1,75 g/cm^3 e a umidade ótima de 17,33%. Ao se comparar estes resultados com valores típicos para solos naturais, apresentados por Sousa Pinto (2006), pode-se afirmar que os rejeitos de mineração de ouro apresentam a mesma faixa de variação esperada para um solo arenoso laterítico fino, cujo $\gamma_{dmáx}$ está em torno de 1,75 g/cm^3 e umidade ótima de 17%.

Conforme apresentado anteriormente (item 4.1 deste trabalho), o rejeito de mineração de ouro apresenta predominância de partículas de diâmetro maior do que os rejeitos de bauxita, além de não apresentar plasticidade. Possivelmente tais propriedades tenham contribuído para o aumento dos valores de $\gamma_{dmáx}$ e redução da umidade ótima neste material.

Brazilian Applied Science Review

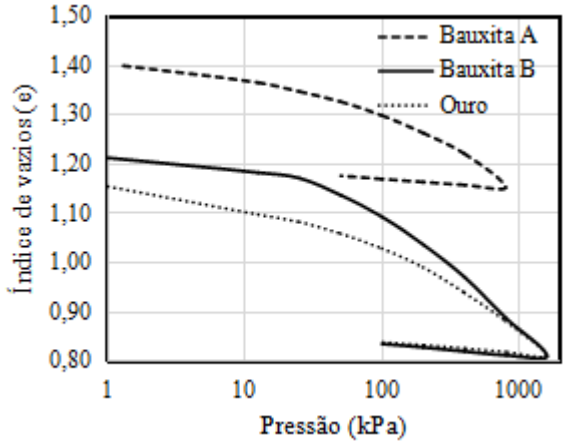
Figura 5. Curvas de compactação dos rejeitos em estudo.



4.4 ENSAIO DE ADENSAMENTO

A Figura 6 apresenta as curvas de adensamento obtidas para os rejeitos avaliados. Para os rejeitos de mineração de bauxita, provenientes dos reservatórios A e B, o ensaio foi executado num corpo de prova esculpido a partir de uma amostra indeformada, coletada com o auxílio de um amostrador do tipo Shelby. Para o caso do rejeito de mineração de ouro, ensaiou-se um corpo de prova reconstituído, nas condições mais próximas possíveis àquelas observadas em campo.

Figura 6. Curva de adensamento dos rejeitos em estudo.



De acordo com Vick (1983) a curva de adensamento de rejeitos nem sempre é de fácil interpretação, sendo muitas vezes difícil a clara distinção entre o trecho de recompressão e reta virgem. Desta forma, muitas vezes os valores definidos para a tensão de pré-adensamento não retratam as reais condições de campo, sendo apenas um resultado da interpretação gráfica realizada.

As Tabelas 3 e 4 apresentam os parâmetros de compressibilidade definidos para cada um dos rejeitos avaliados, bem como, os valores da tensão de pré-adensamento (□´$_{vm}$), defnidos por meio da interpretação gráfica das curvas de adensamento obtidas.

Os valores definidos para as tensões de pré-adensamento para os rejeitos de mineração de bauxita, provenientes dos reservatórios A e B, foram similares. Tendo-se em vista que estes materiais são gerados a partir de um processo industrial e que não teriam as mesmas propriedades de uma argila em relação ao histórico de tensões, acredita-se que por se tratar de amostras indeformadas, os valores de σ'_{vm} encontrados possam retratar uma eventual estruturação natural existente nos depósitos, provocada pela interação entre os elementos químicos resultantes do processo de beneficiamento.

Já para o rejeito de mineração de ouro, a tensão de pré-adensamento encontrada não está relacionada com as condições naturais do reservatório, visto que o corpo de prova foi reconstituído. Neste caso em específico, possivelmente o valor encontrado seja apenas um resultado da interpretação gráfica realizada e não apresenta sentido prático para utilização em projetos com este material.

Tabela 3. Valores de σ'_{vm}, c_c, c_r e c_v definidos para os rejeitos avaliados.

Rejeito	σ'_{vm} (kPa)	c_c	c_r	c_v
Bauxita A	90	0,184	0,064	0,20
Bauxita B	80	0,251	0,076	0,025
Ouro	192	0,199	0,064	0,18

Tabela 4. Valores de a_v, m_v, e D definidos para os rejeitos avaliados.

Rejeito	a_v	m_v	D (kPa)
Bauxita A	$-1{,}850E^{-4}$	$7{,}708E^{-5}$	$1{,}297E^{4}$
Bauxita B	$-1{,}805E^{-4}$	$8{,}156E^{-5}$	$1{,}226E^{4}$
Ouro	$-1{,}285E^{-4}$	$5{,}963E^{-5}$	$1{,}677E^{4}$

Os coeficientes de compressibilidade dos rejeitos apresentaram valores na mesma ordem de grandeza, sendo uma pouco mais expressivos paro o rejeito de mineração de bauxita do depósito B, que apresenta maiores porcentagens de partículas de menores diâmetros.

O valor do coeficiente de consolidação (c_v) obtido para os rejeito de mineração de bauxita do depósito A foi superior ao da bauxita do depósito B. A granulometria dos materiais pode ter influenciado nos valores, visto que a bauxita do reservatório A possui predominância de partículas de diâmetros maiores em comparação com as partículas presentes no rejeito de bauxita do reservatório B.

Os valores dos índices de vazios iniciais dos corpos de prova ensaiados variaram para cada material. O rejeito de mineração de ouro foi reconstituído para condições estimadas de campo, com o maior índice de vazios dos três materiais ensaiados. Entretanto, verificou-se que a variação do índice de vazios em função da carga aplicada foi menor no rejeito de mineração de ouro do que nos rejeitos de mineração de bauxita. Este comportamento pode ser identificado através do maior valor do Módulo Edométrico (D), encontrado para o rejeito de mineração de ouro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização de rejeitos de mineração é substancial para projetar soluções de disposição seguras. Visto a situação atual brasileira, em que recentemente se apresentaram casos de acidentes envolvendo a disposição de rejeitos, a importância de conhecer o comportamento destes materiais se torna ainda maior. Neste trabalho foi realizado a caracterização de rejeitos de mineração de bauxita e ouro provenientes de diferentes reservatórios brasileiros.

O rejeito de mineração de ouro analisado apresenta predominância granular e não possui plasticidade. Já os rejeitos de bauxita A e B, obtiveram, apesar de baixos, índices de plasticidade iguais a 0,3% e 2,3%, respectivamente.

As tensões de pré-adensamento dos rejeitos de bauxita A e B apresentaram valores similares 90 e 80 kPa, respectivamente. Estes valores, podem indicar a existência de algum efeito de cimentação presente nos reservatório. Já para o rejeito de ouro o valor encontrado para a tensão de pré-adensamento não apresenta um sentido prático, uma vez que, trabalhou-se com um corpo de prova reconstituído.

Os índices de compressão dos rejeitos apresentaram valores na mesma ordem de grandeza, sendo levemente inferiores para os materiais com maior presença de partículas de maior diâmetro. Já os valores do coeficiente de consolidação (c_v) sofreram bastante influência da granulometria, sendo que nos rejeitos de mineração com porcentagens de partículas com maiores diâmetros, os valores de c_v foram bem superiores do que no material com maior predominância de partículas de menores diâmetros.

O Módulo Edométrico dos rejeitos avaliados indicou o rejeito de ouro como o material suscetível às menores taxas de deformação quando submetido à carregamento. Embora o índice de vazios inicial do corpo de prova deste material tenha sido superior aos corpos de prova dos rejeitos de bauxita, a redução do índice de vazios com o acréscimo de carga foi menos expressiva.

Os rejeitos de mineração apresentam muita variabilidade dependendo do tipo de minério extraído e da metodologia de beneficiamento adotada. Portanto, a realização de ensaios de caracterização torna-se imprescindível como etapa inicial de desenvolvimento de projetos com estes materiais.

REFERÊNCIAS

ABNT (2016). NBR 6457: *Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 12 p.

ABNT (2016). NBR 6458: *Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 13 p.

ABNT (2016). NBR 7180: *Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 7 p.

ABNT (2016). NBR 7182: *Solo – Ensaio de compactação*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 13 p.

ABNT (1990). NBR 12007: *Solo – Ensaio de adensamento unidimensional*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 15 p.

ABNT (2017). NBR 7181: *Solo – Análise granulométrica*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 16 p.

ABNT (2017). NBR 6459: *Solo – Determinação do limite de liquidez*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 9 p.

Barreto, M. L. (2001) *Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil.* CETEM, Rio de Janeiro, 215 p.

Bedin, J. (2010) *Estudo de comportamento geomecânico de resíduos de mineração*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 207 p.

Chaves, A. P.; Peres, A. E. C. (2002) *Teoria e prática do tratamento de minérios*. Signus Editora, São Paulo, v.1, 2 ed.

Constantino, V. R. L.; Araki, K.; Silva, D. O.; Oliveira, W. (2002). *Preparação de composto de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático*. Química Nova, São Paulo, v. 25, p. 490-498.

Espósito, T.; Assis, A. (1999) *Métodos probabilísticos acoplado ao método observacional aplicados a barragens de rejeito*. Departamento Engenharia Civil/FT, Universidade de Brasília.

Figueiredo, M. M. (2007) *Estudo de metodologias alternativas de disposição de rejeitos para a mineração cada de pedra - Congonhas/MG*. Dissertação de Mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 147 p.

IBRAM (2016). *Gestão e manejo de rejeitos da mineração*. Instituto Brasileiro de Mineração, Brasília, 1ed., 128 p.

Lade, R. S. (1978) *Preparing test specimens using undercompaction.* Geotechnical Testing Journal, Philadelphia, V1, n.1, p.16-23.

Lima, H. B. S.; Mendes, B. H. A.; Labor, J. S.; Barbosa, K. S. L.; Costa, D. S.; Banna, W. R. E.; Costa, D. S. (2020). *Estudo da influência da sedimentação gravitacional da lama vermelha na resistência à chamas de compósitos poliméricos*. Brazilian Applied Science Review, V: 4, nº 3, 1166-1173.

Nierwinski, H. P. (2013) *Potencial de liquefação de resíduos de mineração estimado através de ensaios de campo.* Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 207 p.

Nierwinski, H. P. (2019) *Caracterização e Comportamento Geomecânico de Rejeitos de Mineração*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 232 p.

Roenick, F. S. F. (2013) *Extração de ouro contido em minério de baixo teor empregando pilhas de lixiviação com cianeto*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharias Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, 151 p.

Sánchez, L. E. (2007). Mineração e meio ambiente. In: *Tendências tecnológicas Brasil 2015: geociências e tecnologia mineral*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. p.196-213.

Sousa Pinto, C. (2006) *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. Oficina de Textos. 363 p.

Thomé, R.; Passini, M. T. (2018). *Barragens de rejeito de mineração: características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais.* Ciências Sociais Aplicadas em Revista, UNIOESTE/MRC, v.18, p. 49-65.

W. (2002). *Preparação de composto de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático*. Química Nova, São Paulo, v. 25, p. 490-498.

Espósito, T.; Assis, A. (1999) *Métodos probabilísticos acoplado ao método observacional aplicados a barragens de rejeito*. Departamento Engenharia Civil/FT, Universidade de Brasília.

Figueiredo, M. M. (2007) *Estudo de metodologias alternativas de disposição de rejeitos para a mineração cada de pedra - Congonhas/MG*. Dissertação de Mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 147 p.

IBRAM (2016). *Gestão e manejo de rejeitos da mineração*. Instituto Brasileiro de Mineração, Brasília, 1ed., 128 p.

Lade, R. S. (1978) *Preparing test specimens using undercompaction.* Geotechnical Testing Journal, Philadelphia, V1, n.1, p.16-23.

Lima, H. B. S.; Mendes, B. H. A.; Labor, J. S.; Barbosa, K. S. L.; Costa, D. S.; Banna, W. R. E.; Costa, D. S. (2020). *Estudo da influência da sedimentação gravitacional da lama vermelha na resistência à chamas de compósitos poliméricos*. Brazilian Applied Science Review, V: 4, nº 3, 1166-1173.

Nierwinski, H. P. (2013) *Potencial de liquefação de resíduos de mineração estimado através de ensaios de campo.* Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 207 p.

Nierwinski, H. P. (2019) *Caracterização e Comportamento Geomecânico de Rejeitos de Mineração*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 232 p.

Roenick, F. S. F. (2013) *Extração de ouro contido em minério de baixo teor empregando pilhas de lixiviação com cianeto*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharias Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, 151 p.

Sánchez, L. E. (2007). Mineração e meio ambiente. In: *Tendências tecnológicas Brasil 2015: geociências e tecnologia mineral*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. p.196-213.
Sousa Pinto, C. (2006) *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. Oficina de Textos. 363 p.

Thomé, R.; Passini, M. T. (2018). *Barragens de rejeito de mineração: características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais.* Ciências Sociais Aplicadas em Revista, UNIOESTE/MRC, v.18, p. 49-65.

Tutmez, B. (2018). *Bauxite quality classification by shrinkage methods*. Journal of Geochemical Exploration, Turkey, v. 191, p. 22-27.

Vick, S.G. (1983) *Planning, design and analysis of tailings dams*. John Wiley & Sons, Inc., 369 p.
Zhang, Y.; Sun, M.; Hong. J. Han, X.; He, J.; Shi, W.; Li, X.. (2016). *Environmental footprint of aluminium production in China*. Journal of Cleaner Production, China, v. 133, p. 1242-1251.