

ESTABILIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DE REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO PARA UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO

Samuel Santos de SOUZA PINTO¹; **Ângela CAMPANHA**²; **Cláudio Henrique de CARVALHO Silva**³; **Carlos Alexandre BRAZ de Carvalho**⁴; **Dario Cardoso de LIMA**⁵

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a investigação em laboratório das características e propriedades geotécnicas (físicas e t) de rejeitos de minério de ferro oriundos dos processos de flotação e de concentração magnética, para fins de utilização como material de construção em camadas estruturais de pavimentos rodoviários. Para tanto, neste trabalho buscou-se encontrar técnicas de aproveitamento de materiais considerados como rejeitos do processo de beneficiamento do minério de ferro, fazendo uso de misturas entre os rejeitos de flotação e concentração magnética de forma a reduzir os impactos ambientais oriundos do seu armazenamento dentro da circunscrição da mina. Os resultados encontrados neste programa experimental baseou-se nos seguintes ensaios geotécnicos: caracterização, compactação e CBR (nas energias normal, intermediária e modificada) e ensaio triaxial drenado. Os resultados da composição granulométrica assim como os resultados de CBR e expansão, indicaram que os rejeitos estudados são compatíveis para a utilização como material de sub-base de pavimentos flexíveis, segundo o "Método de Projetos de Pavimentos Flexíveis" do DNIT. Portanto, a mistura destes materiais apresenta potencial para serem utilizados em camadas de pavimento.

Palavras-chave: Rejeito de flotação. Rejeito de concentração magnética. Escória de aciaria. Pavimentação.

¹ Universidade Federal de Viçosa-UFV, PGEC-DEC, Câmpus Viçosa. Viçosa/MG - Email: samuel.souza@ifsulde Minas.edu.br

² Universidade Federal de Viçosa-UFV, Depto. de Engenharia Civil-DEC, Câmpus Viçosa. Viçosa/MG - Email: campanha@ufv.br

³ Prof. Dr, Universidade Federal de Viçosa-UFV, Depto. de Engenharia Civil-DEC, Câmpus Viçosa. Viçosa/MG - Email: silvac@ufv.br

⁴ Prof. Dr, Universidade Federal de Viçosa-UFV, Depto. de Engenharia Civil-DEC, Câmpus Viçosa. Viçosa/MG - Email: cabraz@ufv.br

⁵ Prof. Dr., Universidade Federal de Viçosa-UFV, Depto. de Engenharia Civil-DEC, Câmpus Viçosa. Viçosa/MG - Email: declima@ufv.br

1 INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

Conforme apontado por números da Conferência das Nações Unidas para o Comércio e o Desenvolvimento (Unctad), no ano de 2009, o Brasil se tornou o segundo maior produtor de minério de ferro. Segundo dados do Sinferbase, sua produção em 2010 foi de 372 milhões de toneladas, o que equivale a mais de 15 % do total mundial (2,4 Bilhões de toneladas) ficando atrás apenas da Austrália. Para efeito de comparação, a China, considerando o teor do minério extraído de seu território, se colocou como a quarta maior produtora mundial, com 300 milhões de toneladas produzidas.¹ A evolução da produção brasileira e mundial durante a década passada pode ser visualizada na Figura 1.

No Brasil, dentre as maiores empresas exploradoras do minério, destacam-se a produção da Companhia Vale do Rio Doce (81,7%), Samarco (6,6%) CSN (2,9%), MMX (1,03%) e NAMISA (0,9%). Abaixo, a Figura 1 mostra a produção do ano de 2010 nos principais estados produtores do minério de ferro no ano de 2010.

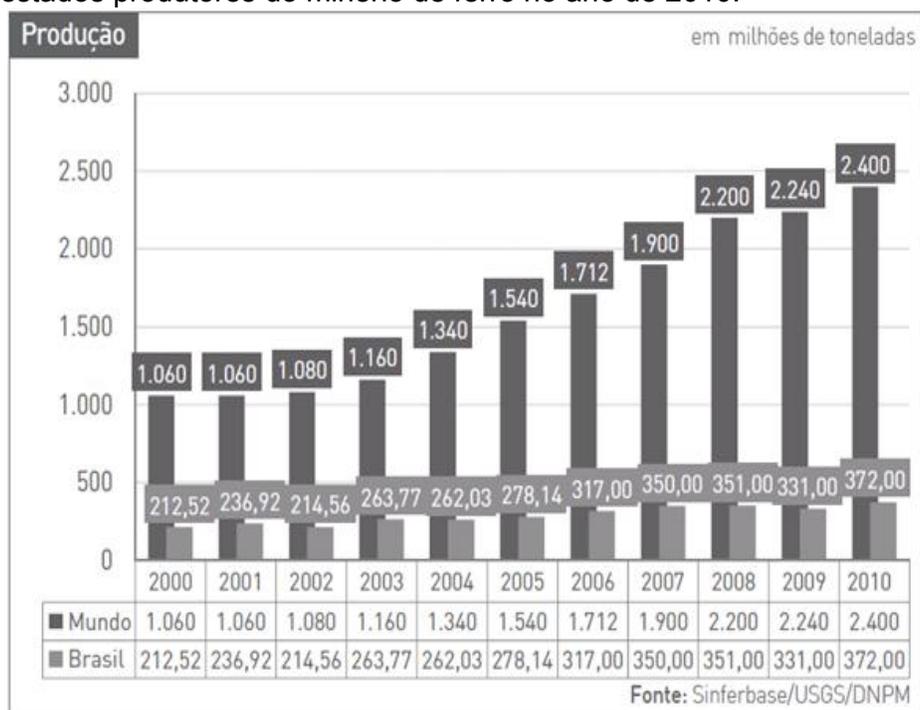


Figura 1- Produção de minério de ferro no Brasil e no mundo na última década

Na direção desses acontecimentos, passou a ser imperativo que pesquisas buscassem soluções quanto aos diversos problemas causados pela extração do minério de ferro, a ponto de racionalizar recursos humanos e econômicos, além de preservar o ecossistema em que está inserida a atividade de mineração.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Para estudos de aproveitamento e uso alternativo de disposição dos rejeitos granulares da indústria minero-siderúrgica (rejeito de flotação, e rejeito de concentração magnética) de forma a mitigar os impactos ambientais negativos oriundos dos processos convencionais de disposição em barragens de rejeito e/ou pilhas de estéril.

Para tanto, estudou-se as características físicas e mecânicas de misturas em diferentes proporções de rejeitos de minério de ferro de forma a avaliar o comportamento mecânico destas misturas visando a utilização em camadas de pavimento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A parte experimental do presente estudo se deu no âmbito do laboratório Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (DEC-UFV). Os rejeitos são de procedência da companhia Mina Alegria de propriedade da Vale S.A., Mariana-MG.

Sinteticamente, as amostras empregadas nas análises foram o rejeito de flotação e o rejeito de concentração magnética oriundos do processo de beneficiamento do minério de ferro. A preparação das amostras envolveu a secagem ao ar, destorroamento, peneiramento, quarteamento e armazenamento em sacos plásticos hermeticamente fechados. Todas as amostras foram identificadas para a posterior utilização.

Em seguida, foram preparadas diversas misturas em diferentes proporções entre os rejeitos de flotação e concentração magnética, afim de que se pudesse identificar através do ensaio de compactação qual a umidade ótima e o peso específico seco máximo de cada uma delas, e posteriormente qual dessas misturas apresentaria melhor capacidade de suporte através do ensaio CBR. Nesta fase preliminar procurou-se determinar a melhor composição granulométrica entre os dois rejeitos disponíveis, utilizando-se ensaios de compactação na energia normal..

Em seguida, foram realizados os ensaios de compactação e CBR nas energias intermediária e modificada do ensaio Proctor, com a obtenção dos teores de umidade ótimo (w_{ot}) e peso específico seco máximo (γ_{dmax}) que foram utilizados para a realização dos ensaios CBR, e triaxial CID.

Para a determinação da resistência ao cisalhamento foram realizados ensaios triaxiais do tipo lento, adensado e drenado (CID). Os corpos de prova foram moldados na umidade ótima e peso específico aparente máximo, obtidos nos respectivos ensaios de compactação, nas energias intermediária e modificada, visando à determinação dos parâmetros de resistência drenados, c' (coesão efetiva) e ϕ' (ângulo de atrito efetivo).

3 RESULTADOS E DICUSSÕES

3.1. Ensaio de caracterização geotécnica

A composição granulométrica que apresentou os melhores resultados foi com 60 % de rejeito flotação e 40 % de rejeito de concentração magnética.

Os resultados indicam que as amostras são compostas majoritariamente por areia (areia fina e média) e com um percentual de silte variando de 18 % a 27 %, sendo classificadas como areias não plásticas, cuja classificação TRB é A-4(8), e SC-CM segundo a classificação USCS. O peso específico dos sólidos desta mistura foi de 29.96 kN/m³

3.2. Ensaios de Compactação e CBR

Os ensaios de compactação realizados na Energia Normal foram unicamente com a finalidade de se determinar as proporções entre os rejeitos de flotação e de concentração magnética que apresentasse o melhor desempenho em termos de CBR. A mistura supracitada apresentou $\sigma_{dmax}=20,24 \text{ kN/m}^3$, $w_{ot}=11,63 \%$ CBR=20,34 % e expansão=0,05 %.

Na energia intermediária esta mistura apresentou $\sigma_{dmax}=21,06 \text{ kN/m}^3$, $w_{ot}=9,85 \%$ CBR=49,71 % e expansão=0,25 %).

Na energia modificada esta mistura apresentou ($\sigma_{dmax}=21,73 \text{ kN/m}^3$, $w_{ot}=7,15 \%$ CBR=48,63 % e expansão=0,23 %).

3.3. Ensaios triaxiais CID

Os ensaios triaxiais CID (Adensado hidrostaticamente e drenado) foram realizados em corpos de prova compactados nas energias intermediária e modificada, nas condições de densidade seca máxima e teor de umidade ótimo. As envoltórias de ruptura assim obtidas servem de base para projetos de pilhas de rejeito como alternativa para a disposição destes materiais no ambiente da mina.

Para cada energia de compactação foi determinada uma envoltória com as tensões confinantes de 100, 200 e 400 kPa, respectivamente. O resumo dos principais resultados dos ensaios triaxiais com seus parâmetros de resistência c' e ϕ' estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo dos resultados dos ensaios triaxiais CID

Mistura de rejeitos: 60% flotação 40% + concentração magnética				
Energia	σ_d (kN/m ³)	w (%)	ϕ' (°)	c' (kPa)
Intermediária	21,06	9,81	37,6	18,9
Modificada	21,73	7,38	40,6	47,4

Todas as misturas testadas apresentaram ângulo de atrito típico de material arenoso compacto, com ϕ' variando de 37,6° a 40,6°. Os valores de coesão por sua vez, variaram de 18,9 kN/m² a 47,4 kN/m², indicando que a pequena porcentagem de materiais finos presentes nas misturas ainda fornece características coesivas a estes materiais, e este efeito torna-se importante principalmente para os materiais compactados nas energias intermediária e modificada.

4 CONCLUSÕES

Notou-se que em todas as amostras ensaiadas o percentual de areia foi superior a 60 % tendo também frações significativas de silte em torno de 20 %.

Os resultados das análises granulométricas efetuadas na faixa de tamanho de partícula entre 0,002 a 6,00 mm revelaram que as amostras são compostas majoritariamente por areia (areia fina e média) e com um percentual de silte da variando de 20 % a 27 %.

Todas as amostras foram classificadas como solos granulares, constituídas, na maior parte por areia fina e média, em função da porcentagem que passa na peneira 0,075 mm ser menor que 35 %, sendo classificado como A4-(8) segundo a classificação TRB.

Nos ensaios de sedimentação obteve-se um resultado que indicaram um percentual maior de silte em relação ao de argila. De fato, a pequena quantidade de argila presente em todas as misturas se constata pelo comportamento não plástico (NP) obtido nos ensaios de Limites de Liquidez e de Plasticidade.

Observa-se que dentro das diversas misturas realizadas a mistura que apresentou melhor capacidade de suporte foi a mistura contendo 60% de rejeito de Flotação; 40% de rejeito de Concentração; em ambas as energias de compactação do Proctor tanto no Proctor intermediário como no modificado, podendo ser utilizados em camadas de sub-base, segundo o Métodos de Projetos de Pavimentos Flexíveis do DNIT.

Todas as misturas ensaiadas apresentaram ângulo de atrito típico de material arenoso compacto, com ϕ variando de 37,6° a 40,6°. Os valores de coesão por sua vez, variaram de 18,9 kN/m² a 47,4 kN/m³, indicando que a pequena porcentagem de materiais finos presentes nas misturas ainda fornece características coesivas a estes materiais, e este efeito torna-se importante principalmente para os materiais compactados nas energias do Proctor intermediário e modificado.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pelo financiamento deste projeto e a Vale S.A. por ceder o material utilizado nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986). **NBR 7182/86 Solos - Ensaio de Compactação –Método de Ensaio**. ABNT, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 10 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987). **NBR 9895/86, Solos – Índice de Suporte Califórnia –Método de Ensaio**. ABNT, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 14 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). **NBR 7181/84, Solo – Análise Granulométrica – Procedimento**. ABNT, Rio de Janeiro, 13p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). **NBR 6459/84, Solo – Determinação do Limite de Liquidez – Procedimento**. ABNT, Rio de Janeiro, 6p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). **NBR 7180/84, Solo – Determinação do Limite de Plasticidade – Procedimento**. ABNT, Rio de Janeiro, 3p.

ABNT (1990). **EB 2096/90: Materiais para sub-base ou base em solo cimento**. Rio de Janeiro, 2p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) - **NBR 6508/84, Determinação de Massa específica – Método de Ensaio**, ABNT, Rio de Janeiro.

BALTAZAR, Rodrigo Pinheiro. - **Caracterização do Fator Expansão de uma Escória de Aciaria em Diferentes Processos de Cura para uso em Pavimentação**. 2001, 93p. .

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

CAMPANHA, A. **Caracterização de rejeitos de minério de ferro para uso em pavimentação.** 2011. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

DNIT (2010) - **Manual de Pavimentação, Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, Publicação IPR – 179, 3º Edição,** Rio de Janeiro, 278p.

NOCITI, D. M., **Aproveitamento de rejeitos oriundos da extração de minério de ferro na fabricação de cerâmicas vermelhas.** 2011. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Materiais) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, 2011.

Nogami, J. S.; Villibor, D. F. (1980). **Pavimentação de baixo custo em solos lateríticos.** 1995.

PINTO, Carlos de Souza. Curso **Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas.** 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

RIBEIRO, R. C. C., CORREIA, J. C. G. E SEIDL, P. R., **Utilização de rejeitos minerais em misturas asfálticas, CT2005-128-00** – Contribuição Técnica publicada no XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, de 20 a 24 de Novembro de 2005, em Natal, Rio Grande do Norte, Volume 2, págs. 318-325.

SOUZA, Murillo Lopes de. **Método de projeto de pavimentos flexíveis.** 3 ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, IPR., 1981 (IPR. Publ. 667).