

ESTUDO DE VIABILIDADE DA INCORPORAÇÃO DE LAMA ABRASIVA DE GRANITOS EM BENTONITA PARA PELOTIZAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO.

Ana Renata Mendes de Lima¹
Antônio Augusto Pereira de Souza²

RESUMO

A recente preocupação ambiental, resultando em leis cada vez mais rígidas, além da necessidade de aproveitar economicamente os resíduos e as partículas finas geradas no beneficiamento de minérios faz com que a incorporação fosse um importante alternativa para aglomerar valor econômico a esses “rejeitos”. Tomando como base o setor de minerais não-metálicos do Estado da Paraíba, com o beneficiamento de rochas ornamentais, em especial o granito, que gera uma série de resíduos que causam impactos ambientais, dentre eles a lama abrasiva, que provoca contaminação dos corpos hídricos, colmatção do solo, poluição visual e estética, dentre outros, devido a sua composição química. A possibilidade de redução dos resíduos gerados nos processos industriais apresenta limitações financeiras, limitações técnicas e de mobilidade de adequação de processos para as empresas, de forma que os resíduos sempre existirão, seja em pequena ou em larga escala. Incorporação é a solução para não descartar o rejeito de rocha mineral direto no meio ambiente, incorporando-o a Bentonita que é uma argila mineral, com papel de grande importância para o processo de pelotização de minério de ferro. A adição de aglomerantes à mistura que se deseja pelotizar é necessária para aumentar a viscosidade da fase líquida dentro dos capilares, manter a coesão das pelotas e aumentar a resistência das pelotas tratadas termicamente. O objetivo deste trabalho é viabilizar a incorporação dos resíduos da indústria de rocha ornamental em bentonita, argila abundante na região da Paraíba. Diante do exposto, este trabalho consiste em avaliar uma rota tecnológica viável para incorporação de rejeito (lama abrasiva) proveniente do desdobramento de granito em bentonita para pelotização de minérios de ferro. A metodologia adotada consistiu na caracterização da bentonita a ser aplicada no processo de pelotização e caracterização das incorporações de rejeito de rocha ornamental (RRO) em bentonita para pelotização de minérios de ferro. Nas análises químicas realizadas, Fluorescência de raios-X e pH, classificou-se as amostras como sílico-aluminoso somando mais de 70% de $\text{Si}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$, ao qual a quantidade de sílica foi superior ao valor máximo permitido em todas as amostras. Com relação ao pH, mais de 80% das amostras aproximaram-se do valor mínimo exigido, sendo as amostras B20, mesmo com diferentes umidades fixadas (11,31; 9,28 e 13,33) alcançou-se o esperado que é acima de 9,5. Através da Difração de raios-X ficou evidenciado que as amostras eram constituídas basicamente dos minerais Quartzo, Feldspato cálcico e Mica. A composição que melhor atendeu o valor exigido pela Companhia da Vale do Rio

¹ Graduando pelo Curso de Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, reenaataamendes@gmail.com;

²

Doce (CVRD) em relação a densidade aparente as amostras B30 e B34,14, são as que melhor se aproximaram do valor parâmetro da CVRD, e por fim, sobre a densidade aparente a amostra B5,8 obteve um resultado mais satisfatório de todas as amostras analisadas.

Palavras-chave: Aglomeração; Bentonita; Lama Abrasiva; Pelotização.

INTRODUÇÃO

Hoje, a demanda de mercadorias advindas das grandes indústrias só tende a crescer, estamos numa era com tecnologias viáveis e imprescindíveis para uma larga produção, visto que a sociedade está cada vez mais consumidora e o meio ambiente se desgastando devido ao uso desenfreado de recursos naturais. No âmbito da mineração, é indispensável investir diretamente em programas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico (LUZ, 2010).

Considerando a necessidade de aumentar a eficiência dum processo de beneficiamento mineral, visando a máxima recuperação metalúrgica e a minimização da geração de impactos ambientais, pesquisas têm sido direcionadas no reprocessamento de rejeitos que contém alto percentual de minerais-minério não recuperados, como também, há a possibilidade em desenvolver novas aplicações e/ou produtos para o material recuperado (SALES, 2012).

Os minerais quando aproveitáveis tornam-se objetos de maior interesse econômico e são identificados por minerais-minério; os não aproveitáveis, identificados por minerais de ganga, estão presentes em conjunto com os minerais-minério e não são de interesse econômico. (LUZ, 2010; ALKMIM, 2013).

Nas indústrias são gerados uma série de resíduos que são colocados diretamente no ambiente, no beneficiamento do granito essa realidade não é diferente, sendo originados muitos detritos, quais sejam: pó de pedra, fragmentos de rocha nas pedreiras e serrarias e a lama abrasiva. (ARAÚJO, 2008). O resíduo gerado mais preocupante é a lama abrasiva, por provocar impactos consideráveis ao meio ambiente que não são descartados de forma responsável. Entre os impactos causados pela lama abrasiva destaca-se a contaminação de corpos hídricos, colmatação dos solos, poluição visual, perda da vegetação nativa, poluição atmosférica, erosão e assoreamento e movimentação dos solos (FILHO et al, 2005).

A bentonita é uma argila plástica e coloidal constituída, essencialmente, por montmorilonita e outros minerais do grupo das esmectitas, com outros componentes como: caulinita, illita, feldspatos, anfibólios, cristobalita e quartzo. O total de componentes não argilosos na bentonita é, dificilmente, inferior a 10%. Tais componentes apresentam cores variadas, tais como: branco, cinza, amarelo, marrom, verde e azul (GRIM, 1968).

A bentonita apresenta amplo uso industrial, sendo utilizada na pelotização de minério de ferro, ligantes de areias em moldes para fundição, clarificação de óleos, impermeabilização de barragens, em fluidos ou lamas de perfuração, etc. Na pelotização de minério de ferro utiliza-se entre 6 e 8 kg de bentonita sódica, ou esmectita cálcica ativada com carbonato de sódio, para cada tonelada de minério de ferro. A bentonita tem como função promover uma ligação entre as partículas minerais, conferindo resistência mecânica às pelotas verdes e, após a queima, às calcinadas (HARBEN; KUZVART, 1996; PEREIRA et al, 2014).

O minério de ferro é obtido a partir da mineração que engloba um conjunto de processos e operações essenciais para sua extração. Inicia-se na lavra e segue até o tratamento dos minerais obtidos, essa última etapa também conhecida por beneficiamento mineral (LUZ, 2010; LIMA, 2015).

Diante desse contexto, este trabalho visa o estudo e aprimoramento da incorporação da Lama Abrasiva em Bentonita Sódica, fazendo a utilização desse rejeito de rocha ornamental, visando contribuir para diminuição dos impactos ambientais que a lama nos traz.

METODOLOGIA

Com a argila bentonita no estado original de recebimento (submetida ao tratamento com CaCO_3), tornando-se bentonita ativada, coletado na indústria Bentonorth Minerais Ltda. Nesta bentonita ativada houve a incorporação da amostra de resíduo de rocha ornamental (RRO), coletada na empresa Granfuji Ltda, realizando experimentos com 4 testes convencionais.

Antes do início dos testes, fizemos o planejamento experimental de delineado composto rotacional com pontos centrais (DCCR), que consiste em um grupo de procedimentos, estatísticos e matemáticos, que podem ser usados no estudo das inter-relações

entre uma ou mais respostas (variáveis dependentes) com inúmeros fatores (variáveis independentes).

É uma técnica estatística baseada no emprego de planejamentos fatoriais, introduzida na década de 50, que, desde então, tem sido usada com grande sucesso na modelagem de diversos processos industriais (BARROS NETO et al., 1996), no nosso estudo utilizamos 2 variáveis independentes, sendo elas percentual de Lama Abrasiva na Bentonita e Umidade, e as variáveis dependentes foram: pH, Densidade Absoluta e Densidade Aparente. As Tabelas 1 e 2 mostram o delineamento adotado.

Tabela 1 - Níveis codificados e reais das variáveis independentes

| Variáveis Independentes | Níveis codificados e reais das variáveis independentes | | | | |
|---|--|------|-------|-------|-----------|
| | $-\infty$ | -1 | 0 | +1 | $+\infty$ |
| X1 blend bentonita incorporando lama abrasiva (% bentonita) | 5,85 | 10 | 20 | 30 | 34,1 |
| X2 Umidade (%) | 9,28 | 9,87 | 11,31 | 12,74 | 13,33 |

O valor de ∞ foi calculado em função do número de variáveis independentes ($n=2$) através da equação 1:

$$\infty=(2^n)^{1/4}=1,41(\text{Equação 1})$$

As faixas de variação entre o limite inferior e o superior de cada variável independente foram estabelecidas de acordo com os dados estipulados inicialmente de percentual de lama abrasiva a ser incorporada a bentonita.

Tabela 2 - Quadro de ensaios do planejamento composto central rotacional

| blend bentonita incorporando lama abrasiva (% bentonita) | Umidade (%) |
|--|-------------|
| B5,85 | 11,31 |
| B10 | 9,87 |
| B10 | 12,74 |
| B20 | 9,28 |
| B20 | 11,31 |

| | |
|---------------|-------|
| B20 | 11,31 |
| B20 | 11,31 |
| B20 | 13,33 |
| B30 | 9,87 |
| B30 | 12,74 |
| B34,14 | 11,31 |

Como respostas a este planejamento, as variáveis dependentes foram pH, Densidade Absoluta e Densidade Aparente

Os resultados foram analisados por meio do software Statistica 5.0, sendo utilizada uma análise de variância (ANOVA) para estimar os parâmetros estatísticos e avaliar a predição ou não do modelo matemático.

As amostras foram pulverizadas com almofariz e pistilo e posterior peneiramento em malha de 0,075 mm por 5 minutos. Os ensaios foram administrados em triplicata e a média aritmética dos 3 resultados foi considerada, conforme descrição abaixo:

- Amostra B – amostra de bentonita ativada, pulverizada, moída, peneirou e secou em malha de 200 mesh (0,075 mm).
- Amostra B5,8 – adição de 5,8% do RRO a amostra B de argila pulverizada, moída e ativada, misturou-se manualmente, peneirou e secou em malha de 200 mesh (0,075 mm).
- Amostra B10 - adição de 10% do RRO a amostra B de argila pulverizada, moída e ativada, misturou-se manualmente, peneirou e secou em malha de 200 mesh (0,075 mm).
- Amostra B20 - adição de 20% do RRO a amostra B de argila pulverizada, moída e ativada, misturou-se manualmente, peneirou e secou em malha de 200 mesh (0,075 mm).
- Amostra B30 - adição de 30% do RRO a amostra B de argila pulverizada, moída e ativada, misturou-se manualmente, peneirou e secou em malha de 200 mesh (0,075 mm).

- Amostra B34,1 - adição de 34,1% do RRO a amostra B de argila pulverizada, moída e ativada, misturou-se manualmente, peneirou e secou em malha de 200 mesh (0,075 mm).

Preparação realizada de acordo com a norma CEMP 109 (Comissão de Ensaio de Matéria Prima) no Laboratório de Tecnologia Química (LETEQ) na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Com exceção das análises nas quais estão indicados os laboratórios, as demais também foram realizadas no LETEQ. Na Tabela 3 estão apresentadas as composições da argila bentonita ativada e as incorporadas com o RRO estudadas.

Tabela 3 Incorporações de RRO em bentonita ativada e na bentonita ativada, sem adição de RRO.

| Incorporação | Quantidade de RRO adicionado (g) | Quantidade de Bentonita adicionada (g) |
|---------------|----------------------------------|--|
| B | 0 | 100 |
| B5,8 | 5,8 | 94,2 |
| B10 | 10 | 90 |
| B20 | 20 | 80 |
| B30 | 30 | 70 |
| B34,14 | 34,14 | 65,86 |

Fonte: Própria 2019

Determinação do pH

Para medir o pH da amostra, foi necessário a solubilização segundo ABNT NBR 10006/2004. Foi pesado 20 g da amostra seca e em um béquer de 200 mL adicionou-se 100 mL de água destilada, com um agitador mecânico a amostra foi agitada em baixa rotação durante 5 minutos. Devidamente coberta a amostra foi deixada em repouso por sete dias a temperatura ambiente, logo após, filtrou-se com o auxílio de um filtro a vácuo e mediu-se o pH do extrato solubilizado através de um pHmetro previamente calibrado.

Teor de umidade (CEMP 105)

A análise do teor de umidade foi realizada em conformidade com os requisitos da norma CEMP 105. Foi pesado 10 g da amostra no vidro relógio em uma balança analítica, em seguida, colocada na estufa a 120 °C durante vinte e quatro horas. Logo após colocou-se no dessecador por volta de 30 minutos e assim pesou-se a amostra, a tara foi anotada e os cálculos foram realizados utilizando a equação (2).

$$\% U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \text{ (Equação 2)}$$

Onde: U (%) = Teor de umidade; M_u (g) = Massa úmida; M_s (g) = Massa seca.

Densidade aparente

Inicialmente tarou-se uma proveta graduada de 50 mL vazia em uma balança de precisão. Foi introduzida cuidadosamente na proveta cerca de 25 mL da amostra do pó, bateu-se 3 vezes a proveta contra uma superfície de dura com cerca de 2,5 cm de altura em intervalos de 2 segundos entre as batidas. Após as “batidas” foi realizada a leitura do volume obtido, assim, pesou-se a proveta cheia e subtraiu-se o valor obtido pela tara da proveta obtendo o resultado correspondente à massa da amostra. Com a massa da amostra em gramas (g) e o volume aparente em mililitros (mL) realizou-se os cálculos utilizando a equação (3) e a conversão para kg/m^3 foi feita multiplicando o valor por 1000.

$$D_{ap} = \frac{m}{V_{ap}} \text{ (Equação 3)}$$

Onde: D_{ap} (g/mL) = Densidade aparente; m (g) = Massa da amostra; V_{ap} (mL) = Volume aparente.

Densidade absoluta

De acordo com a metodologia adaptada de Silva (2007), pesou-se o picnômetro vazio, previamente limpo e seco, em estufa, a 100 °C e posteriormente resfriado em dessecador. Encheu-se o picnômetro com água até transbordar, secou-se a água da superfície externa e em seguida, foi realizada a pesagem, em balança semi analítica, do picnômetro com água. A amostra foi adicionada no picnômetro até o máximo e, em seguida, uma nova pesagem foi realizada. Com os valores das três pesagens, os cálculos foram efetuados com o auxílio da equação (4).

$$D = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_1} \text{ (Equação 4)}$$

Onde: m_1 (g)= Massa do picnômetro vazio; m_2 (g)= Massa do picnômetro com a amostra; m_3 (g)= Massa do picnômetro com água.

DESENVOLVIMENTO

As propriedades analisadas das amostras foram avaliadas de acordo com as especificações da Companhia da Vale do Rio Doce – CVRD para bentonita de alta sílica (LUZ; OLIVEIRA, 2008) que, por sua vez, baseiam-se em análises físicas e químicas de uma bentonita de alta sílica usada na pelotização de minério de ferro, de forma que não possuem padronização e vários ensaios são utilizados (ELZEA; MURRAY, 1994). Os resultados de pH, umidade, densidade aparente e densidade absoluta apresentados nas tabelas representam as médias aritméticas, uma vez que estas análises foram realizadas em triplicata.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinação das propriedades químicas e físico-químicas

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos nas análises de pH, umidade, densidade aparente e densidade absoluta das amostras estudadas.

Tabela 5 Determinação das propriedades químicas e físico-químicas da amostra estudadas

| %Bentonita | Umidade(%)) | pH | D Densidade Absoluta | D.Ap Densidade Aparente(kg/m ³) |
|--------------|-----------------|------|-------------------------|--|
| B5,85 | 11,31 | 7,90 | 2,39 | 802,00 |
| B10 | 9,87 | 9,32 | 2,70 | 820,30 |
| B10 | 12,74 | 8,97 | 2,63 | 830,80 |
| B20 | 9,28 | 9,67 | 2,58 | 876,00 |
| B20 | 11,31 | 9,62 | 2,60 | 890,30 |
| B20 | 11,31 | 9,58 | 2,63 | 871,50 |
| B20 | 11,31 | 9,66 | 2,72 | 882,90 |
| B20 | 13,33 | 9,04 | 2,55 | 850,60 |

| | | | | |
|---------------|-------|------|------|--------|
| | | | | |
| B30 | 9,87 | 9,15 | 2,93 | 933,60 |
| B30 | 12,74 | 9,22 | 2,88 | 940,70 |
| B34,14 | 11,31 | 9,34 | 2,97 | 955,50 |

Fonte: Própria (2019).

Análise de Delineamento Composto Rotacional com Pontos Centrais.

Consiste em um grupo de procedimentos, estatísticos e matemáticos, que podem ser usados no estudo das inter-relações entre uma ou mais respostas (variáveis dependentes) com inúmeros fatores (variáveis independentes).

O diagrama de Pareto é um gráfico de colunas que ordena as frequências das ocorrências, da maior para a menor, permitindo a priorização dos problemas, o mesmo não encontra as causas dos problemas.

Para definir os estudos de análises de dados, usamos um planejamento que centralizou duas variáveis fixas para cada amostra (blend), fixamos o percentual de Lama Abrasiva incorporado a Bentonita e outra variável fixa foi a umidade, sendo as mesmas definidas, por Composto Central.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos com as análises realizadas com a incorporação em argila bentonita do rejeito de rocha ornamental (RRO), visando a viabilização da utilização das incorporações no processo de pelletização de minério de ferro, conclui-se:

- Na análise química pode-se classificar tanto a argila bentonita quanto o RRO + bentonita como sílico-aluminoso somando mais de 70% de $\text{Si}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$, ao qual a quantidade de sílica foi superior ao valor máximo permitido (52% máxima) em todas as amostras. Em relação ao pH, sendo básico, quatro amostras B20 atendeu ao valor mínimo de 9,5 exigido, as demais apresentaram valores inferiores.

- O difratograma de raios-X confirmou a expressiva presença de quartzo decorrente do processamento de serragem dos blocos, no caso das incorporações, tal presença da bentonita está ligada a sua composição. Na análise térmica, as amostras apresentam uma pequena, mas significativamente perda de massa devido a presença de hidroxilas da mica. Porém, a amostra B30 apresentou um comportamento diferenciado devido a maior alteração na composição.
- No Delineamento Rotacional de Pontos Centrais, obtivemos sucesso nos estudos das três variáveis dependentes que eram as quais aguardávamos respostas positivas, sendo elas: pH, Densidade Absoluta e Densidade Aparente, porém, não se chegou a um percentual de Lama na incorporação da Bentonita ideal, pois diferentes amostras eram ideais para umas variáveis e outras não, o que cabe a dar continuidade nos estudos e chegar a um blend, mais próximo dos parâmetros adotados pela CVRD.

A composição que melhor atendeu o valor exigido pela Companhia da Vale do Rio Doce (CVRD) em relação a densidade aparente foi novamente a B30 apresentando $940,70 \text{ kg/m}^3$, valor próximo ao esperado ($961,20 \text{ kg/m}^3$ mínimo), enquanto as demais amostras mostraram valores menores. Apesar de apresentar o mesmo comportamento crescente proporcionalmente na análise de densidade, a incorporação apresentada na análise anterior, duas amostras B20, evidenciou os melhores resultados sendo eles: B20 (2,55 e 2,58), e uma amostra B5,8 (2,39), enquanto o exigido pela CVRD é de 2,4 – 2,5.

REFERÊNCIAS

ALKIMIN. **Aplicação do Sistema de Informações Geográficas na integração de dados sobre o meio físico como subsídio ao gerenciamento de recursos naturais.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

ARAÚJO, Amanda Lopes da S.; ABREU, Daniela Gonçalves de; IAMAMOTO, Yassuko. **Resíduos químicos e responsabilidade ambiental: relato de uma experiência pedagógica universitária.** Anais.. São Paulo: SBQ, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE FUNDIÇÃO DE FERRO E AÇO. CEMP-105: **Materiais para fundição.**: [S.l. : s.n.], 1983. 2. Número de Chamada: N CEMP 105 1997. CEMP-105: materiais para fundição: determinação do teor de umidade; método de ensaio – NORMA.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE FUNDIÇÃO DE FERRO E AÇO. CEMP-109: **Materiais sob forma de pó usados em fundição.**: [S.l. : s.n.], 1984. 3. Número de Chamada: N CEMP 109 1997. CEMP-109: materiais sob forma de pó usados em fundição: determinação do teor de partículas grossas; método de ensaio – NORMA.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e otimização de experimentos.** Campinas: Editora Unicamp, 1996.

FIGUEIREDO V. C. **Estudo da adição de Lama de Minério de Ferro no processo de Pelotização** Dissertação (Menstrando em Engenharia de Materiais) – Rede Temática de Engenharia de Materiais (REDEMAT), UFOP-UEMG, Minas Gerais, 2018.

FILHO, H. F. M.; POLIVANOV, H.; MOTHÉ, C. G.; **Reciclagem dos Resíduos Sólidos de Rochas Ornamentais**, Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ, Vol. 28-2/2005, p. 139-151.

GRIM, R. E., Clay **Mineralogy**. McGraw-Hill. 596 p, 1968

HARBEN, P., KUSZVZART, M. (1996). Clays: **Bentonite and Hectorite**. In: Industrial Minerals – A Global Geology, p.128-138, Industrial Minerals Information Ltd., Metal Bulletin PLC, London.

LUZ, A.B.; OLIVEIRA, C.H. **Argila – bentonita. In.: Rochas e minerais industriais – usos e especificações.** Luz, A.B.; Lins, F.A.F. (Editores), CETEM-MCT, 239-253, 2008.

LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silvia Cristina Alves. **Tratamento de Minérios. 5. ed.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 896 p.

PEREIRA, I. D. S., LISBOA, V. N. F., SILVA, I. A., Figueirêdo, J. M. R., NEVES, G. A., MENEZES, R. R. **Bentonite clays from Sossego, Paraíba, Brazil: physical and mineralogical characterization.** Materials Science Forum, 2014, 798, 50-4.

SALES, C. G. **Rotas de beneficiamento para recuperação de minerais portadores de ferro do underflow do espessador de lamas da usina de Brucutu.** Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas (Dissertação). Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

SANTOS J. G.; SILVA S. S.; NASCIMENTO N. M.; TRAJANO M. F.; MELLO V. S. **Caracterização da lama abrasiva gerada nos processos de Beneficiamento do Granito: Um estudo de caso na Granfuji localizado em Campina Grande – PB.** XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente. São Carlos, SP, 2010.

SILVA, A., & FERREIRA, H. **Argilas bentoníticas: conceitos, estruturas, propriedades, usos industriais, reservas, produção e produtores, fornecedores nacionais e internacionais.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos [Online] 3:2, 2008. Disponível: <<http://www.dema.ufcg.edu.br/revista/index.php/REMAP/article/view/77/91>>; Acesso em: 20 jun. 2019.

ELZEA, J.; MURRAY, H. H. Bentonite, In: **Industrial Mineral and Rocks**, AIME, 223- 246, 1994.

ABNT NBR 10006: **procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**, 2004.

LIMA, T.M.; NEVES, C.A.R. **Sumário Mineral** – 2015. Brasília: DNPM, 2015.