

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

Ana Renata Mendes de Lima ¹
Danielly Barbosa dos Santos ²
Antônio Augusto Pereira de Souza ³

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 fez com que a briquetagem voltasse a ser uma 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, colmatação 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.

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

INTRODUÇÃO

Sabemos que, a mineração é a maior fornecedora de produtos para uso do homem no seu cotidiano, e esses minerais que são utilizados, passam por etapas de beneficiamento, ou seja, tratamento para poder chegar ao nosso uso diário. Minério é toda rocha constituída de um mineral ou agregado de minerais contendo um ou mais minerais valiosos, que podem ser aproveitados economicamente.

A caracterização de minérios é uma etapa fundamental para o aproveitamento de um recurso mineral de forma otimizada, pois fornece ao engenheiro os subsídios mineralógicos e

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

² Graduando do Curso de Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Daniellyb173@gmail.com;

³ Graduado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba - UFCG, aauepb@gmail.com;

texturais necessários ao correto dimensionamento da rota de processo, ou permite identificar, com precisão, ineficiências e perdas em processos existentes, possibilitando a otimização do rendimento global de uma planta.

Neste caso, a caracterização mineralógica é conhecida como mineralogia de processos. A caracterização mineralógica de um minério determina e quantifica todo o conjunto mineralógico, definem quais são os minerais de interesse e de ganga, bem como quantifica a distribuição dos elementos úteis entre os minerais de minério, se mais de um.

Além disso, estuda as texturas da rocha, definindo o tamanho de partícula necessário para liberação do(s) mineral (is) de interesse dos minerais de ganga, e ainda define diversas propriedades físicas e químicas destes minerais, gerando informações potencialmente úteis na definição das rotas de processamento.

A pelotização dos finos de minério de ferro é um processo de aglomeração, que passa por um tratamento térmico, o ligante mais utilizado para a produção das pelotas é a bentonita.

A Bentonita é classificada como um mineral verde ou mineral ambiental, pois se trata de uma argila coloidal constituída predominantemente por esmectita, montmorillonita sódica, com capacidade de adsorver grande quantidade de água, formando uma massa volumosa, semelhante a uma gelatina, o aspecto gelatinoso diminui a distância entre as partículas minerais, aumentando as forças de Van der Waals e, em consequência confere resistência às pelotas, por outro lado, a utilização de bentonita incorpora alumina e sílica na pelota que são contaminantes.

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.

A bentonita é um aglomerante clássico, na pelotização de minério de ferro, na dosagem de 0,5% a 0,7% sobre a massa seca de minério.

Conforme Valenzuela-Díaz et al., (1992), bentonita é uma argila constituída principalmente por um ou mais argilominerais do grupo das esmectitas não importando qual seja a origem geológica

No setor de rochas ornamentais existe uma significativa preocupação nos aspectos da poluição e da quantidade de rejeitos que existe ao fim de cada processo desses rejeitos, os mais problemáticos, em termos ambientais, são aqueles gerados nas serrarias (rejeitos de serrarias), que são constituídos, basicamente, de finos (pó) das rochas que são serradas e água, podendo ter outros contaminantes como ferro e cal.

O efluente gerado em teares convencionais é a chamada lama abrasiva, contendo alto teor de ferro, devido ao uso da granalha de ferro ou aço, usada na serragem dos blocos de granito (CAMPOS et al., 2009).

Os rejeitos na cadeia produtiva de rochas ornamentais são classificados, normalmente, por tamanho, em grossos, finos e ultrafinos. Os rejeitos grossos são encontrados: nas pedreiras, nas serrarias e nas marmorarias. Os rejeitos finos e ultrafinos são formados por ocasião do corte da rocha e nas atividades de acabamento (polimento e outros) (CAMPOS et al., 2009).

O processo de infiltração da água e sua movimentação no perfil do solo ainda é um assunto desconhecido no caso dos efluentes de lama abrasiva, mas dentre as várias possibilidades esses rejeitos podem alterar as condições naturais do subsolo e do lençol de água subterrâneo (BABISK, 2009).

A pelotização é um processo de aglomeração que visa o aproveitamento da fração ultrafina de minério de ferro de concentrados ou de minérios naturais,

transformando-a em pelotas, com características de qualidade adequadas à utilização em altos-fornos e reatores de redução direta.

A composição química das pelotas busca preencher características específicas da carga metálica dos reatores industriais, ao passo que as propriedades físicas e metalúrgicas são determinadas, baseadas no seu comportamento durante o transporte, manuseio e processamento metalúrgico (COSTA, 2008).

METODOLOGIA

Incorporação do RRO na argila bentonita ativada

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 Ensaios 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

Caracterização das propriedades químicas e físicas dos blend's

Difração de raios - X

Utilizou-se equipamento de fluorescência de raios-X e o método dos parâmetros fundamentais com resultados normalizados em 100%. Por limitação do método, somente elementos entre Na (11) e U (92) são analisados.

O equipamento utilizado foi EDX-700 de marca Shimadzu. Análise feita pelo Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomateriais do Nordeste – CERTBIO na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Para análise o pó foi prensado em prensa manual em forma de pastilha, com diâmetro de cerca de 15 mm.

Fluorescência de raios X

A caracterização através da fluorescência de raios X foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em equipamento Shimadzu (EDX 720), com 10g da amostra previamente preparada, para determinação dos elementos presentes através da aplicação de raios X na superfície da amostra e a posterior análise dos fluorescentes emitidos, a geração de raios X é feita por meio de um tubo com alvo de Rh.

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).

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

Onde: U (%)= Teor de umidade; Mu (g)= Massa úmida; Ms (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/m³ foi feita multiplicando o valor por 1000.

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

Onde: Dap (g/mL)= Densidade aparente; m(g)= Massa da amostra; Vap (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: m1 (g)= Massa do picnômetro vazio; m2 (g)= Massa do picnômetro com a amostra; m3 (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.

Determinação das propriedades químicas e físico-químicas

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos nas análises de pH, umidade, densidade aparente e densidade absoluta das amostras estudadas.

Tabela 4 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).

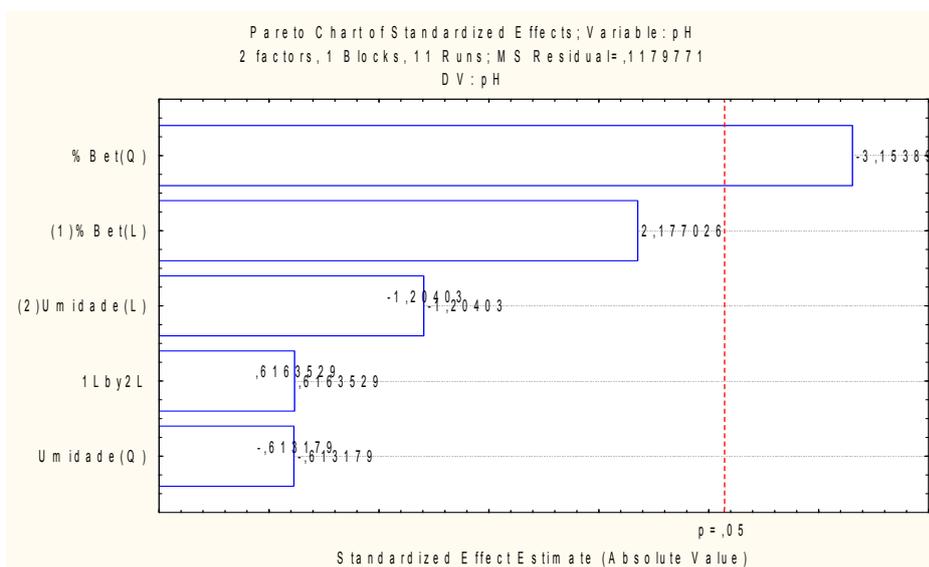
4.2.3 Análise de Delineamento Composto Rotacional com Pontos Centrais.

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.

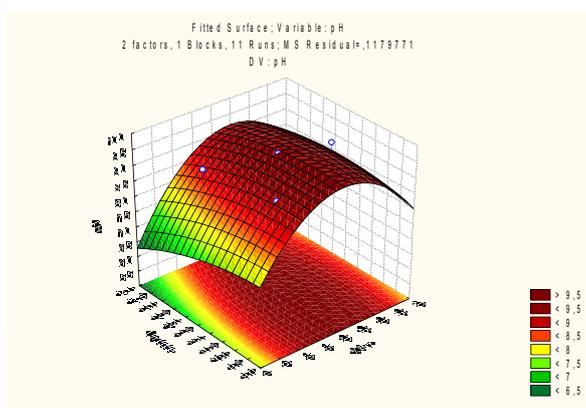
Para definir os estudos de análises de dados, usamos um planejamento que centralizou duas variáveis fixas para cada amostra (blend), fixamos o percentual de Lama Abrasiva incorporado a Bentonita e outra variável fixa foi a umidade, sendo as mesmas definidas, por Composto Central. A Figura 2 mostra o gráfico de Pareto de efeitos padronizado com a variável pH.

Figura 2 Gráfico de Pareto de efeitos padronizado com a variável pH.



Fonte: Própria (2019)

Analisando o gráfico de Pareto da variável pH, observa-se que o pH trouxe significância de acordo com esse planejamento experimental, o percentual de bentonita é significativo no valor de -3,153% de incorporação de lama junto a bentonita, para o parâmetro da CVRD, que é pH= 9,5 mín.



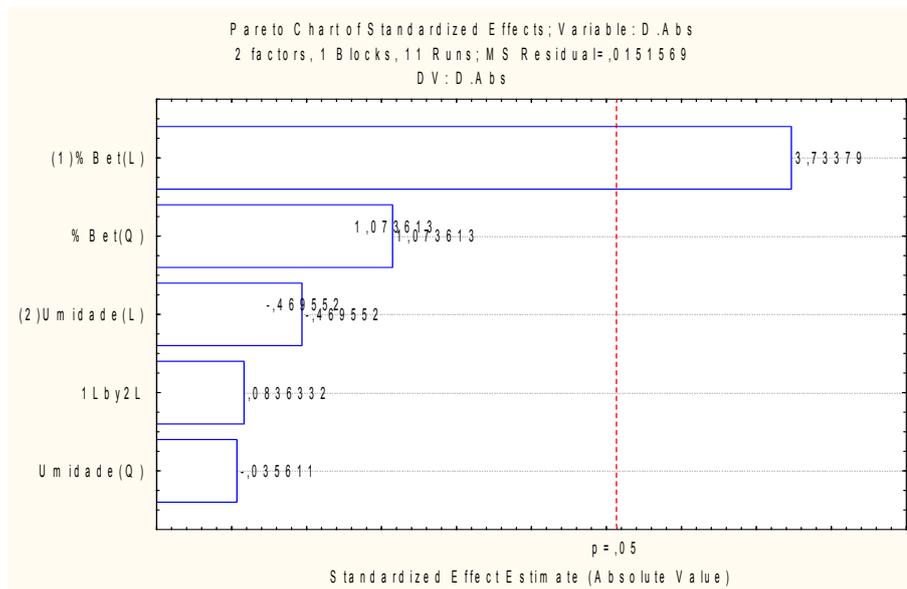
A Figura 3 mostra a Superfície de Resposta da variável pH

Analisando a superfície de resposta, observa-se que a variável dependente pH possui influência no processo, podendo atingir

valores superiores a 9,5 de basicidade, sendo esse parâmetro imposto pela CVRD, ademais as amostras B20 e B30, atenderam as especificações nas umidades fixadas em nosso planejamento. O valor crítico encontrado na percentagem de lama foi 22,086% e para umidade 10,300%, sendo assim o pH esperado nesse blend de valores críticos seria de 9,699. (valores críticos são valores de máximo e mínimo, no qual existem valores limites a impor sobre ele).

A Figura 4 mostra o gráfico de Pareto de efeitos padronizado com a variável com a densidade absoluta

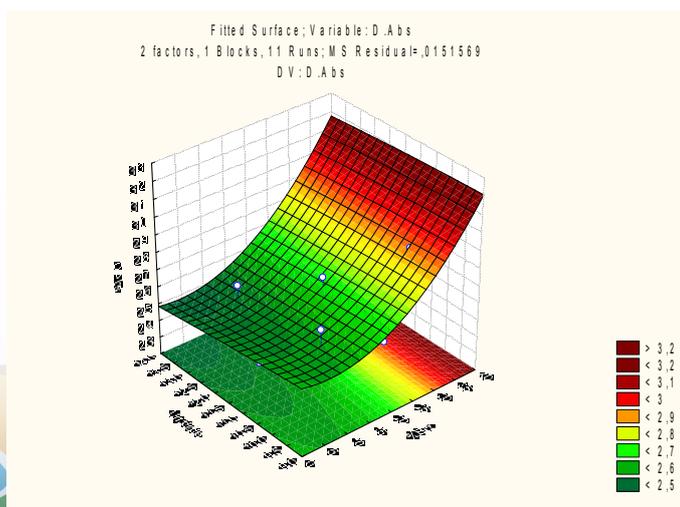
Figura 4 Gráfico de Pareto de efeitos padronizado com a variável densidade absoluta



Fonte: Própria (2019).

Analisando o gráfico de Pareto da variável Densidade Absoluta, chegamos à conclusão que a Densidade Absoluta trouxe significância de acordo com esse planejamento experimental, o percentual de bentonita é significativo no valor de 3,753% de incorporação de lama junto a bentonita, para o parâmetro da CRVD, que é Densidade Absoluta = 2,4-2,5.

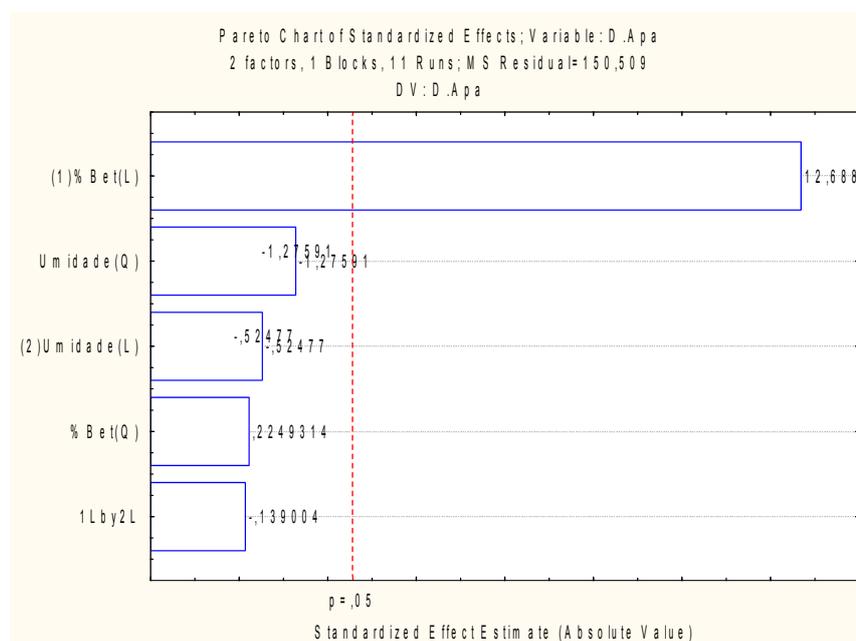
A Figura 5 mostra a Superfície de Resposta da variável Densidade Absoluta



Analisando a superfície de resposta referente a variável dependente Densidade Absoluta, notamos que o desfecho das análises foi preciso, visto que o parâmetro oferecido pela CVRD foi de (2,4-2,5), uma parcela pequena correspondeu a tal expectativa, as percentagens de 5,85 nas umidades acima de 11,31% onde a mesma foi fixada, obteve 2,39 de densidade absoluta. O valor crítico encontrado para percentagem de lama foi de 8,684% e de umidade 1,090% sendo o de umidade o mais significativo, prevendo um valor de 2,630 de densidade absoluta.

A Figura 6 mostra o gráfico de Pareto de efeitos padronizado com a variável com a densidade aparente

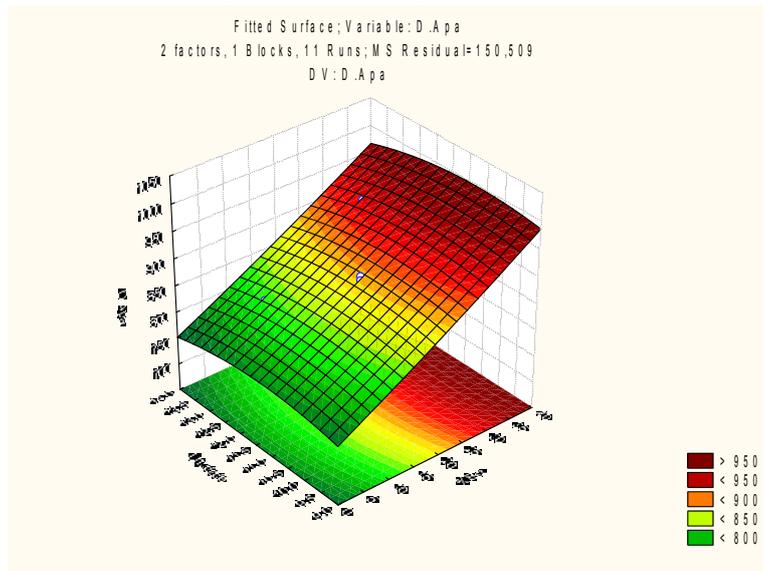
Figura6 Gráfico de Pareto de efeitos padronizado com a variável densidade aparente



Fonte: Própria (2019).

Analisando o gráfico de Pareto da variável Densidade Absoluta, chegamos à conclusão que a Densidade Aparente trouxe significância de acordo com esse planejamento experimental, o percentual de bentonita é significativo no valor de 12,68% de incorporação de lama junto a bentonita, para o parâmetro da CRVD, que é Densidade Aparente = 961,20 mín. (kg/m³)

A Figura 7 mostra a Superfície de Resposta da variável Densidade Aparente



Analisando a superfície de

resposta referente a variável dependente densidade aparente identifica-se que nenhum dos blends alcançou o parâmetro imposto pela CVRD (961kg/m^3 mín.), entretanto a amostra B30 teve resposta mais aproximada do ideal, sendo 940kg/m^3 de densidade aparente, com umidade fixa de 12,74%.

O valor crítico de percentagem de lama foi de -2,094 para uma umidade fixa de 13,33% prevendo um valor na solução de $241,407\text{kg/m}^3$ de densidade aparente. Ainda é necessário avançarmos em outras rotas para alcançar valores mais atraentes da densidade aparente, pois de acordo com o programa utilizado para determinação de superfície de resposta (Statistica) a solução para esse planejamento será um ponto de sela, que é um ponto no qual a declividade é nula, não se trata de um extremo local.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

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.

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.1. : 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.1. : 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 (Mestrando 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.