



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

HILDA CAMILA NASCIMENTO NOGUEIRA

ESTUDO SOBRE BENTONITA PARA PELOTIZAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO

**CAMPINA GRANDE - PB
2018**

HILDA CAMILA NASCIMENTO NOGUEIRA

ESTUDO SOBRE BENTONITA PARA PELOTIZAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Estadual da Paraíba em cumprimento às exigências legais para obtenção do título de bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Minerais não-metálicos.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Augusto Pereira de Sousa.

**CAMPINA GRANDE -PB
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

N778e Nogueira, Hilda Camila Nascimento.

Estudo sobre bentonita para pelotização de minério de ferro [manuscrito] / Hilda Camila Nascimento Nogueira. - 2018.

22 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.

"Orientação : Prof. Dr. Antonio Augusto Pereira de Sousa, Coordenação do Curso de Licenciatura em Química - CCT."

1. Bentonita. 2. Pelotização. 3. Metalurgia. I. Título

21. ed. CDD 669

HILDA CAMILA NASCIMENTO NOGUEIRA

ESTUDO SOBRE BENTONITA PARA PELOTIZAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Estadual da Paraíba em cumprimento às exigências legais para obtenção do título de bacharel em Química Industrial.

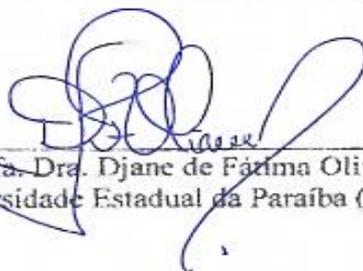
Área de concentração: Minerais não-metálicos.

Aprovada em: 18/06/2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Antônio Augusto Pereira de Sousa (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dra. Djane de Fátima Oliveira
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dra. Maria Roberta de Oliveira Pinto
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

À minha tia, pela dedicação, inspiração e esforço. E à
minha mãe (*in memoriam*) por ser minha maior força
na vida, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial minha tia **Socorro**, minha prima/irmã **Marianna** e minha irmã **Heloisa**, pelo incondicional esforço para me proporcionar uma educação digna, por todo o suporte na vida e por me ensinarem a nunca abaixar a cabeça diante as adversidades e lutar pelo alcance dos meus objetivos.

À minha mãe **Aparecida** (*in memorian*), embora ausente fisicamente, sempre ao meu lado.

Ao meu orientador **Prof. Dr. Antônio Augusto** pelas oportunidades concedidas durante a graduação, por me permitir fazer parte do grupo de pesquisa e por me ensinar muito mais do que eu poderia aprender apenas em sala de aula. Obrigada pela paciência e dedicação.

Ao meu companheiro, namorado e melhor amigo **Ivan Douglas** pela compreensão e pelo apoio não me permitindo desistir e confiando e mim até quando eu não confiei.

Aos meus companheiros de turma que se tornaram amigos e trouxeram leveza a rotina desgastante da graduação. Em especial, **Anna Paula**, pela amizade que ultrapassou os limites da universidade e se tornou essencial e imprescindível na minha caminhada e **Zilberto**, amigo que esteve presente desde a escolha do curso até a conclusão do mesmo.

Às avaliadoras **Profa. Dra. Djane** e **Profa. Dra. Roberta** pela disponibilidade e contribuição não só com a melhoria do trabalho mas também com o auxílio durante a pesquisa.

Ao meu companheiro de pesquisa **Alisson** por dividir as responsabilidades, pelas várias horas partilhadas em laboratório e por contribuir com meu crescimento acadêmico e pessoal.

À Universidade Estadual da Paraíba e seus profissionais que contribuíram com minha formação.

RESUMO

A bentonita, descoberta em Wyoming – EUA e comercializada em 1888 por Willian Taylor, forma-se por processo de desvitrificação de um material vítreo e de origem ígnea. Em solo paraibano, além dos municípios de Cubati e Pedra Lavrada, identifica-se uma das maiores ocorrências na cidade de Boa Vista-PB, na qual extrai-se a argila bentonita com característica cálcica necessitando assim de uma posterior ativação. As diversas propriedades da argila bentonítica conferem variadas aplicabilidades, dentre elas, a utilização na pelotização de minério de ferro. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo realizar um estudo com bentonita a ser aplicada no processo de pelotização. Na metodologia adotada realizou-se em primeira ordem a revisão literária e em seguida a caracterização da amostra. Mediante as análises realizadas observou-se a composição química da bentonita usada em pelotização de minério de ferro com mais de 70% de $\text{Si}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$, onde a quantidade de sílica excedeu ao valor máximo de 52%, apresentando 66,502%, determinado pelas especificações da Companhia da Vale do Rio Doce (CVRD). Obteve-se resultados satisfatórios no que diz respeito ao teor de umidade e a densidade absoluta, a primeira apresentou um valor excedente de 0,59% em relação ao máximo de 12% de umidade exigido pela determinação, a segunda teve como resultado 2,392 atendendo praticamente ao exigido. Em contraponto, o resultado para pH se encontrou abaixo das especificações com 8,920, assim como a densidade aparente apresentou um valor de 826,4kg/m³ também abaixo do esperado.

Palavras-Chave: Bentonita. Aglomerantes. Pelotização.

ABSTRACT

The bentonite, discovered in Wyoming – EUA and marketed for the first time in 1888 by William Taylor, is formed from the desvitrification of a vitreous material of igneous origin. In Brazilian soil, it can be found in the city of Boa Vista – PB in the form of bentonite clay which presents calcium characteristic, what demands a posterior activation. The vast characteristics of this clay allow it to be applied in several processes and among them there is the pelletizing of iron ore. This paper had as objective carry out a study with bentonite when used in the pelletizing process. Through the methodology chosen, a bibliographical review of the sample was carried out first and then the characterization of it. After the analyzes, it was found that the chemical composition of the bentonite used in pelletizing of iron ore contained more than 70% of $\text{Si}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$ in which the amount of silica was 66.502%, exceeding the maximum expected value of 52% determined by the Companhia Vale do Rio Doce (CVRD). Regarding the moisture content and absolute density, the results were satisfactory, the sample presented a surplus value of 0.59% of moisture while the maximum stipulated by the determination is 12% and 2.392 of absolute density, the determination is between 2.4 and 2.5. In contrast to these results the pH observed was 8.920 which is below the recommendation (9.5 at least), the apparent density presented 826.4 kg/m^3 that is also a value below the specifications (961.20 kg/m^3 at least).

Keywords: Bentonite. Binders. Pelletizing.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1	Bentonita	9
2.2	Pelotização	12
3	METODOLOGIA	14
3.1	Coleta e preparação da amostra	14
3.2	Fluorescência de raios X	14
3.3	Determinação do pH	14
3.4	Teor de umidade (CEMP 105)	14
3.5	Densidade aparente	15
3.6	Densidade absoluta	15
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
4.1	Fluorescência de raios X	17
4.2	Determinação do pH	18
4.3	Teor de umidade (CEMP 105)	18
4.4	Densidade aparente e densidade absoluta	19
5	CONCLUSÃO	20
	REFERÊNCIAS	21

1 INTRODUÇÃO

As argilas bentoníticas são conhecidas há centenas de anos e o primeiro depósito comercial foi encontrado Fort Benton, Estado de Wyoming, Estados Unidos. Segundo os geólogos, a bentonita é formada pela desvitrificação e alteração química de cinzas vulcânicas. Por muito tempo, estudiosos utilizaram a origem dessas argilas como parte da sua definição, mas, como em alguns países seus depósitos não foram originados pela ação vulcânica, a bentonita passou a ser definida como qualquer argila composta predominantemente pelo argilomineral montmorilonita, do grupo da esmectita, e cujas propriedades são estabelecidas por este argilomineral (GRIM; NUVEM, 1978; DARLEY; GRAY, 1998).

Nas jazidas localizadas nos Estados Unidos, região de descoberta da bentonita, são extraídas em maior proporção argilas bentoníticas com características sódicas, enquanto nas jazidas brasileiras a extração é exclusiva de bentonita cálcica devido a decantação em lagos doces. A não ocorrência de bentonita sódicas naturais em solos brasileiros demanda, para fins industriais, a realização do processo denominado ativação, onde aplica-se carbonato de sódio (popularmente conhecido como barrilha) proporcionando a substituição dos cátions Ca^+ pelos Na^+ obtendo assim um produto de melhor performance. Tal substituição tem como finalidade melhorar características imprescindíveis, sendo a mais evidente a propriedade de inchamento (SILVA, 2011).

As diversas características e propriedades da bentonita como moderada carga negativa superficial, conhecida como capacidade de troca de cátions, elevada área específica (área da superfície externa das partículas), propriedades de intercalação de outros componentes entre as camadas e resistência à temperatura e a solventes, a caracteriza como uma argila versátil e de vasta aplicação nos mais variados processos industriais, tais como: extração de petróleo e gás, fundição, construção civil, cosméticos, tintas e vernizes, pelotização de minério de ferro, entre outros. Neste último, aplica-se a bentonita como agente aglomerante a fim de promover plasticidade às pelotas formadas (DÍAZ; MORALES; PAIVA, 2007).

A realização de um estudo com o foco direcionado a uma matéria prima presente de forma abundante no solo paraibano contribui para um maior desenvolvimento de tecnologias a serem aplicadas, promove um enriquecimento no conhecimento e potencializa a comercialização e utilização da mesma. Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo com bentonita para aplicação no processo de pelotização de minério de ferro.

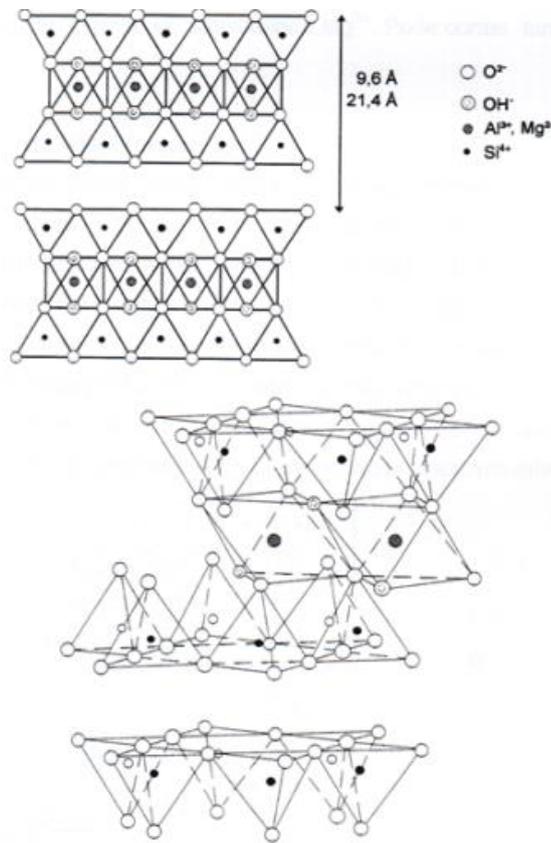
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bentonita

O termo bentonita, segundo a literatura, foi pela primeira vez aplicado a um tipo de argila plástica coloidal de uma rocha descoberta em Fort Benton, Wyoming-EUA. Embora a origem do termo bentonita se referisse à rocha argilosa descoberta, atualmente designa argila constituída, principalmente, do argilomineral montmorilonita. Este argilomineral faz parte do grupo esmectita, uma família de argilas com propriedades semelhantes (LUZ, et al, 2008).

Do ponto de vista estrutural, como ilustrado na Figura 1, os argilominerais da bentonita são constituídos de unidades empilhadas que compreendem camadas de sanduíches de íons coordenados octaedralmente entre duas camadas de íons coordenados tetraedralmente (LUZ, et al, 2008).

Figura 1 – Estrutura do argilomineral montmorilonita



Fonte: (Nobile, 200-).

Ao submeter as lamelas individuais de montmorilonita a uma exposição à água, ocorre o processo de adsorção das moléculas de água na superfície das folhas de sílica, que são então separadas umas das outras. Chama-se determinado comportamento de inchamento interlamelar e é controlado pelo cátion associado à estrutura da argila. A espessura da camada de água interlamelar varia com a natureza do cátion adsorvido e da quantidade de água disponível (BRINDLEY, 1955).

Segundo Tonnesen, et al, (2010) a diferença no inchamento das montmorilonitas sódicas e cálcicas é devido ao íon sódio (Na^+) ter maior facilidade de hidratação do que o íon cálcio (Ca^{2+}). Além disso, quando as lamelas têm suas cargas compensadas pelo íon sódio, de menor valência, apresentam-se mais afastadas devido à menor energia de interação, de modo a permitir a penetração de uma maior quantidade de água no espaço entre as lamelas. Isso explica porque a capacidade de expansão da bentonita sódica é muito maior do que a do tipo cálcica. Para o uso de bentonitas do tipo cálcica, predominantes no Brasil, deve-se realizar uma etapa denominada de ativação com barrilha (Na_2CO_3), onde os íons Ca^{2+} são trocados por íons Na^+ . Esse processo foi desenvolvido e patenteado na Alemanha, no ano de 1933, pela empresa Erblosh&Co e é atualmente utilizado pelos países que não dispõem de bentonita sódica natural.

A classificação das bentonitas baseia-se na capacidade de inchamento do mineral pela absorção de água. Bentonitas sódicas (ou bentonitas wyoming) se expandem mais e apresentam um aspecto de gel, enquanto as bentonitas cálcicas (ou bentonitas brancas) se expandem menos ou simplesmente não se expandem. As bentonitas que têm uma capacidade de expansão moderada são tidas como intermediárias ou mistas. As bentonitas sódicas artificiais são produzidas mediante o tratamento das bentonitas cálcicas com barrilha (carbonato de sódio). Visto que não há bentonitas sódicas naturais no Brasil, este processo de beneficiamento é bem comum no país (TOMIO, 1999).

Em função de suas propriedades como elevada capacidade de troca de cátions (CTC) resultantes de substituições isomórficas aliadas as suas características estruturais de facilidade de intercalação de um número de compostos orgânicos e inorgânicos possibilitando a obtenção de produtos sob medida (taylor made) para um elevado número de usos industriais, desta forma as argilas esmectíticas, bentoníticas ou montmoriloníticas possuem mais usos industriais que todos os outros tipos de argilas industriais reunidas, sendo um material extremamente versátil e de perfil adequado para obtenção de produtos ou insumos de elevado valor agregado (SILVA; FERREIRA, 2008).

As bentonitas apresentam amplo uso industrial, sendo utilizadas 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 (PEREIRA, et al, 2014).

As maiores reservas estão nos EUA (sódica advinda dos Estados de Wyoming, Dakota do Sul e Montana, e cálcicas provenientes dos Estados do Mississippi, Texas e Arizona), Grécia, Comunidade dos Estados Independentes (CEI), Alemanha, República Tcheca, Turquia e México (DNPM, 2007). Já no Brasil, segundo Silva (2011), encontram-se no estado da Paraíba os principais depósitos industriais de bentonita, mais especificamente nos municípios de Boa Vista, Cubati e Pedra Lavrada.

As camadas de bentonitas das minas de Boa Vista-PB ocorrem recobertas por uma camada de solo argiloso, variando de 1 a 10 m. Nos níveis onde é feita a lavra, as argilas ocorrem em camadas de cores variadas, por vezes formando estratificações ou zonas uniformes. Localmente, essas argilas recebem as seguintes denominações: chocolate, verde lodo, sortida ou mista e bofe ou leve (LUZ, et al, 2001b).

Visualmente estas argilas têm as seguintes características:

- Chocolate: Cor marrom com bastante uniformidade e ocorrência de calcedônia.
- Sortida: Cor marrom com pouca uniformidade devido à presença considerável de calcedônia.
- Bofe: A cor marrom é pouco presente. Ocorre uma predominância da cor branca dos aglomerados argilosos. Considera-se a ausência de calcedônia.
- Argila Verde Lodo: Como o próprio nome afirma, possui cor verde escuro com bastante uniformidade na cor, e pouca presença de calcedônia (SILVA, 2011).

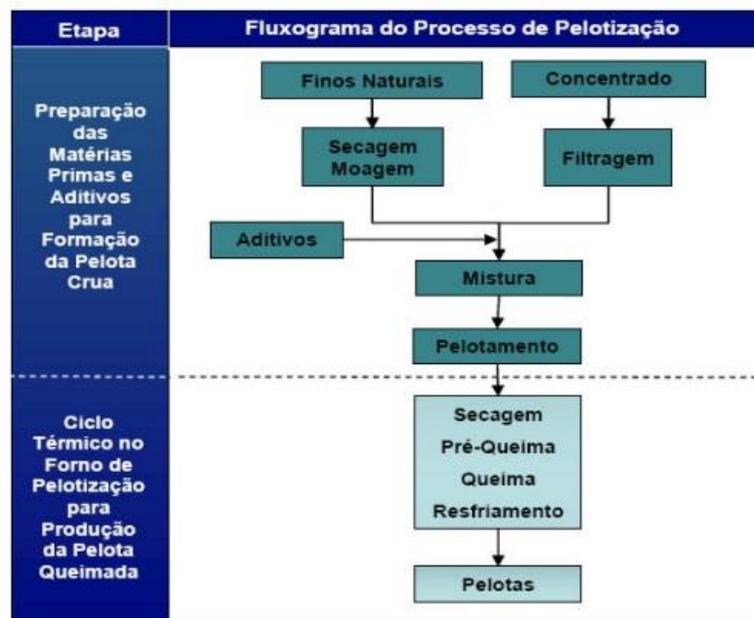
Atualmente, o mercado de bentonita está muito concentrado nos EUA, sendo considerado o maior produtor mundial e contando com elevados investimentos aplicados nessa indústria, os quais vêm proporcionando diversificação no seu uso e aplicação (DNPM, 2009).

No Brasil, dados preliminares sobre o consumo de bentonita bruta, apresentaram a seguinte distribuição, de acordo com DNPM (2007) e Resende, et al, (2007): pelotização (45,2%); extração de petróleo e gás (22%); fabricação de filtros (10,5%); fundição (7,2%); construção civil (4,8%); cosméticos (3,8%); tintas, esmaltes e vernizes (1,8%), cerâmica branca (0,5%), outros não especificados (4,2%).

2.2 Pelotização

A pelletização 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). O processamento é ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma do processamento da pelletização.



Fonte: (Costa, 2008).

Segundo Meyer (1980), as matérias-primas utilizadas estão diretamente ligadas tanto ao processo de pelletização quanto a composição química do produto final, assim, podem ser divididas em dois grupos: materiais ferríferos que vão representar a matriz da pelota; e os materiais “livres” de ferro, aglomerantes e aditivos. Os aglomerantes e aditivos exercem as funções de facilitar a fabricação das pelotas (aglomerantes), de fornecer boa qualidade física e mecânica (aglomerantes e aditivos) e a de modificar as propriedades metalúrgicas das pelotas (aditivos).

Os aglomerantes servem para melhorar a formação das pelotas, proporcionando plasticidade ao material e também maior rigidez mecânica. Porém, atualmente, apenas a bentonita (mistura de argilas), a cal hidratada (Ca(OH)_2), o calcário (rochas sedimentares com mais de 30% de carbonato de cálcio) e a dolomita (mineral de carbonato de cálcio e magnésio

- $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ são usados no processo de pelletização. Os aditivos são usados para modificar a composição química das pelotas, servindo especialmente para corrigir a basicidade. Também podem ser adicionados finos de coque ou antracito, com a finalidade de reduzir o consumo de combustível requerido para que ocorra a combustão interna da pelota (AUGUSTO, 2012).

Como uma alternativa de redução no custo de produção, pode-se adicionar alguns aglomerantes e/ou aditivos na etapa de moagem do concentrado de minério de ferro, possibilitando a utilização desses compostos com maior granulometria (BORIM, 2000).

A pelletização de minério de ferro usa 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).

3 METODOLOGIA

3.1 Coleta e preparação da amostra

A argila bentonita de característica sódica (ativada) foi coletada em uma empresa de Campina Grande – PB. Antes do início dos testes (exceto o de umidade), houve a pulverização da amostra com almofariz e pistilo e posterior peneiramento em malha 0,075 mm por 2 minutos. Preparação realizada de acordo com a norma CEMP (Comissão de Ensaio de Matéria Prima) 109. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Tecnologia Química (LETEQ) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), com exceção da Fluorescência de raios X que foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande-PB (UFCG).

3.2 Fluorescência de raios X

A caracterização através da fluorescência de raios X foi realizada 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.

3.3 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 com o auxílio de um pHmetro previamente calibrado.

3.4 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 30 minutos e assim pesou-se a amostra, a tara foi anotada e os cálculos foram realizados utilizando a equação (1).

$$\% U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100$$

(1)

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

3.5 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 (2) e a conversão para kg/m^3 foi feita multiplicando o valor por 1000.

$$D_{ap} = \frac{m}{V_{ap}}$$

(2)

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

3.6 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 (3).

$$D = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_1}$$

(3)

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.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com as especificações da Companhia da Vale do Rio Doce – CVRD para bentonita de alta sílica usada na pelletização de minério de ferro (LUZ; OLIVEIRA, 2008) baseadas em análises físicas e químicas, sendo estas não padronizadas e com vários ensaios utilizados (ELZEA; MURRAY, 1994), avaliou-se as propriedades físico-químicas das amostras.

4.1 Fluorescência de raios X

A análise da composição química da amostra de bentonita apresentada na Tabela 1 evidencia a presença majoritária dos óxidos de silício e alumínio. Segundo Silva e Ferreira (2008), a bentonita pode ser definida como uma rocha constituída essencialmente por um argilomineral montmorilonítico (esmectítico) cuja fórmula química geral é $M_x(Al_{4-x}Mg_x)Si_8O_2(OH)_4$, assim, a amostra apresentou um teor de sílica elevado em relação ao esperado enquanto o teor de alumina está praticamente em conformidade com a especificação.

Tabela 1 - Composição química por fluorescência de raios X da amostra de bentonita.

Parâmetro	Composição (%)	Especificações (CVRD)
SiO₂	66,502	52% máx
Al₂O₃	16,7	14-16%
Fe₂O₃	8,477	15% mín
K₂O	0,449	0,06-0,20%
CaO	1,5	1,5% mín
Na₂O	1,1518	2,4% mín
MgO	2,363	2,0% mín
TiO₂	0,871	1,0-2,0%

Fonte: Própria (2018)

Como as bentonitas do estado da Paraíba, mais especificamente de Boa vista, são naturalmente cálcicas necessitando de ativação com carbonato de sódio explica-se a maior quantidade de óxido de cálcio em relação a quantidade de óxido de sódio, este último apresentou um valor inferior ao esperado o que pode estar relacionada com a eficácia da ativação.

Enquanto os demais óxidos estão presentes devido à natureza esmectita da argila bentonita que possui em sua composição minerais acessórios como quartzo, feldspato, mica e cristobalita, de acordo com Murray (2006) os argilominerais esmectíticos são alumino-silicatos de sódio, cálcio, magnésio, ferro, potássio e lítio.

4.2 Determinação do pH

A Tabela 2 apresenta os resultados da determinação de pH para as amostras preparadas, assim como, sua respectiva especificação.

Tabela 2 - Resultados de pH para as amostras de bentonita

Parâmetro	Amostra 1	Amostra 2	Média dos resultados	Especificação (CVRD)
pH	8,950	8,890	8,920	9,5 mín

Fonte: Própria (2018)

De acordo com a Tabela 2, obteve-se um pH de 8,920 enquanto o esperado, de acordo com as especificações, era de 9,5 no mínimo em uma suspensão aquosa de 5%, a diferença de 0,66 pode ser explicada pela diferença de metodologia, uma vez que medimos o pH de um extrato solubilizado.

4.3 Teor de umidade (CEMP 105)

Estão expressos na Tabela 3 os valores obtidos na análise do teor de umidade de acordo com a norma CEMP 105 e a especificação correspondente.

Tabela 3 - Resultados do teor de umidade para as amostras de bentonita.

Parâmetro	Amostra 1 (%)	Amostra 2 (%)	Média dos resultados (%)	Especificação (CVRD) (%)
Umidade	12,70	12,49	12,59	12% máx

Fonte: Própria (2018)

As especificações nos indicam um teor de umidade de até 12%, ao obter 12,59% em média nas amostras analisadas, como visto na Tabela 3, considera-se a bentonita dentro dos padrões para ser utilizada na pelotização de minério de ferro, a mínima porcentagem que excede pode ser explicada pelas condições de armazenamento da matéria prima.

4.4 Densidade aparente e densidade absoluta

Para os resultados da análise de densidade aparente e densidade absoluta, a Tabela 4 apresenta os valores obtidos e as especificações esperadas para cada uma.

Tabela 4 – Resultados da densidade aparente para as amostras de bentonita.

Parâmetro	Amostra 1	Amostra 2	Média dos resultados	Especificação (CVRD)
Densidade aparente (kg/m³)	827,7	825,1	826,4	961,20 mín
Densidade absoluta	2,356	2,428	2,392	2,4 – 2,5

Fonte: Própria (2018)

Como expresso na Tabela 4, o teste de densidade aparente para as amostras de bentonita não se comportou como esperado e apresentou um resultado abaixo do que pede a especificação. Como as metodologias não são padronizadas, a escolha da metodologia pode ter interferido no resultado final. Já para os resultados do teste de densidade absoluta pode-se observar que se cumpriu o esperado atendendo ao valor proposto pela Companhia da Vale do Rio Doce (CVRD).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos com o estudo da amostra de bentonita do estado da Paraíba para viabilidade da utilização no processo de pelotização de minério de ferro, pode-se concluir:

- Na análise química da bentonita observamos um comportamento dentro do esperado para uma argila com características esmectíticas 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% no máximo). Apresentando também traços de óxidos diversos oriundos dos minerais como quartzo, mica, feldspato e cristobalita. O pH sendo básico, não atendeu as especificações da Companhia da Vale do Rio Doce (CVRD), estabelecido de no mínimo 9,5, por utilização de uma metodologia distinta segundo a norma ABNT NBR 10006/2004.
- O teor de umidade apresentado pela amostra de bentonita analisada apresentou um ligeira de diferença de 0,59% quando comparado ao valor da especificação, que estabelece até 12% no máximo de umidade, acredita-se que o armazenamento da matéria prima seja o fator responsável. As análises de densidade aparente e densidade absoluta apresentaram comportamento distintos em relação ao especificado que determina valores de $961,20 \text{ kg/m}^3$ no mínimo e 2,4 – 2,5, respectivamente, enquanto a na primeira obteve-se um valor inferior ao esperado, a segunda praticamente atendeu a recomendação da CVRD.
- Ao longo dos estudos, se obteve sucesso nos ensaios realizados ressaltando que necessita-se fazer melhorias quanto aos ensaios e de ambiente mais adequado para a realização dos testes a fim de se obter resultados mais conclusivos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006 – 2004** - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro. 2004.
- 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.
- AUGUSTO, K.S. **Identificação Automática do Grau de Maturação de Pelotas de Minério de Ferro**. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2012.
- BORIM, J. C. **Modelagem e Controle de um Processo de Endurecimento de Pelotas de Minério de Ferro**. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2000.
- BRINDLEY, G.W., **Structural Mineralogy of Clays, Clays and Clays Technology Bulletin**, 1955, 169, 53.
- COSTA, R. V. P. **Otimização da Resistência à Compressão de Pelotas de Minério de Ferro para Redução Direta pela Aplicação de Projeto Robusto**. 2008. Dissertação de Mestrado – Rede Temática em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais.
- DARLEY, H.C.H., GRAY, G.R., **Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids**, 5 Edition, Houston, Gulf Publishing Company, 1988.
- DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário Mineral Brasileiro, **Bentonita**, 2007.
- DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário Mineral Brasileiro, **Bentonita**, 2009.
- ELZEA, J.; MURRAY, H. H. Bentonite, In: **Industrial Mineral and Rocks**, AIME, 223-246, 1995.
- GRIM, R.E., NUDEM, N., **Bentonites: Geology, Mineralogy, Properties and Uses**, Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 1978.

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

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

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A; LINS, F. F.(2001b). **Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil**. 2R. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, 1, 384, 2001.

MEYER, K. **Pelletizing of Iron Ores**. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, and Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf, 1980.

MURRAY, H.H., **Clays**, In **Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry**, PELC, H. (Ed.), v. A7, 5th ed., New Youk, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, 2006, 109.

NOBILE, F.O; MARQUES JÚNIOR, J. (Ed.). **Geologia e Mineralogia**. UNIFEB. Barretos, 20--, 200. (Apostila).

PAIVA, L. B.; MORALES, A. R.; DÍAZ, F. R. V. **An overview on organophilic clays: properties, routes of preparation and applications**. Applied Clay Science, 2007.

PEREIRA, I. D. S. et al. **Bentonite clays from Sossego, Paraíba, Brazil: physical and mineralogical characterization**. Materials Science Forum, 2014, 798, 50-4.

RESENDE, M. M, SILVA, L. R., CANO, T. M. **Bentonita**. Sumário Mineral DNPM. 2007.

SILVA, A. A. **Contribuição ao estudo das bentonitas do município de Boa Vista, Estado da Paraíba**. São Paulo, 2011, 282. Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

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: 28 abr. 2018.

SILVA, F. A. N. G. **Estudos de Caracterização Tecnológica e Beneficiamento do Caulim da Região Borborema – Seridó**. 2007. Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.

TOMIO, A. **Mineração no Mercosul e mercado de bentonita**. Campinas. UNICAMP – Universidade Estadual de campinas, Instituto de Geociências, 1999.

TONNESEN, D. A.; LUZ, A.B; BERTOLINO, L. C. **Caracterização e beneficiamento das bentonitas dos novos depósitos de Cubati e Pedra Lavrada-PB**. In: Simpósio De Minerais Industriais Do Nordeste, 2, 2010, Campina Grande. Anais do II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste. Campina Grande: CETEM/UFPE, 31-38, 2010.