



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA INDUSTRIAL**

ROSILENE MAYARA ARAÚJO

**ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DE BENTONITAS ATIVADAS
NA REGIÃO DE BOA VISTA- PB**

**CAMPINA GRANDE - PB
2022**

ROSILENE MAYARA ARAÚJO

**ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DE BENTONITAS ATIVADAS
NA REGIÃO DE BOA VISTA- PB**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo)
apresentado ao Departamento do Curso
Química Industrial da Universidade Estadual
da Paraíba, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Química Industrial

Orientadora: Prof. Me. Nataline Cândido da Silva Barbosa
Coorientadora: Prof. Me. Tássila Pereira Neves

CAMPINA GRANDE - PB
2022

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.

A663e Araújo, Rosilene Mayara.
Estudo comparativo das propriedades de bentonitas
ativadas na região de Boa Vista- PB [manuscrito] / Rosilene
Mayara Araújo. - 2022.
36 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química
Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de
Ciências e Tecnologia, 2022.

"Orientação : Profa. Ma. Nataline Cândido da Silva
Barbosa, Departamento de Química - CCT."

1. Bentonita. 2. Argila. 3. Extração de argila. 4. Extrusão. I.
Título

21. ed. CDD 549.6

ROSILENE MAYARA ARAÚJO

ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DE BENTONITAS ATIVADAS NA
REGIÃO DE BOA VISTA- PB

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo)
apresentado ao Departamento do Curso
Química Industrial da Universidade Estadual
da Paraíba, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Química Industrial

Aprovada em: 19/05/2022.

BANCA EXAMINADORA

Nataline Cândido da Silva Barbosa

Profa. Me. Nataline Cândido da Silva Barbosa (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Tássila Pereira Neves

Profa. Me. Tássila Pereira Neves (Co-orientadora)
Instituto Federal do Sertão Pernambucano (IFSertão-PE)

Alisson Castro do Nascimento

Dr. Alisson Castro do Nascimento
Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Wanessa Karla Gomes Severo

Dra. Wanessa Karla Gomes Severo
Unidade Acad. de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

A minha irmã Alba, por se dedicar a mim, a vida toda, e ao meu filho Miguel por ser a minha força para enfrentar os desafios, DEDICO.

“A ciência faz as pessoas buscarem a verdade e a objetividade; ensina as pessoas a aceitarem a realidade, com espanto e admiração, sem falar no profundo temor e alegria que a ordem natural das coisas traz ao verdadeiro cientista”.

Lise Meitner.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Ilustração do minério – bentonita.....	13
Figura 2 –	Representação da hidratação da montmorilonita.....	13
Figura 3 –	Distribuição da produção de bentonita no mundo no ano 2007.....	16
Figura 4 –	Fluxograma de processamento de bentonita (PB).....	19
Figura 5 –	Ilustração de extrusora (maromba a vácuo MN-2B, NATREB).....	20
Figura 6 –	Logomarca da empresa Bentonisa.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Classe de bentonitas: requisitos físico-químicos.....	22
Tabela 2 –	Requisitos para fluidos de perfuração. Petrobras (1998).....	23
Tabela 3 –	Resultados das médias das análises de umidade no período de 30 dias.....	28
Tabela 4 –	Resultados das médias das análises granulométricas no período de 30 dias.....	29
Tabela 5 –	Resultados das médias das análises de inchamento no período de 30 dias.....	29
Tabela 6 –	Médias das análises de adsorção de azul de metileno pelo método do pirofosfato de sódio no período de 30 dias.....	30
Tabela 7 –	Resultados das médias das análises de resistência à compressão a verde no período de 30 dias.....	31
Tabela 8 –	Resultados das médias das análises de resistência à tração à úmido no período de 30 dias.....	31
Tabela 9 –	Resultados das médias das análises de viscosidade aparente e viscosidade plástica no período de 30 dias.....	32
Tabela 10 –	Resultados das médias das análises de filtrado API no período de 30 dias	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Classificação comercial da bentonita com base na coloração.....	14
Quadro 2 –	Propriedades das argilas.....	15
Quadro 3 –	Projeção da produção de bentonita para o Brasil: 2010 a 2030.....	16
Quadro 4 –	Principais empresas produtoras/ fornecedoras nacionais.....	17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A.A.M.	Adsorção de azul de metileno
ABIFA	Associação Brasileira de Fundição
API	American Petroleum Institute
Bentonisa	Bentonita do Nordeste S. A
CEMP	Comissão de Estudos de Matérias Primas
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
Cp	Centipoise
CV	Corpo de prova
R.C.V.	Resistência à compressão a verde
RPM	Rotação por Minuto
R.T.U.	Resistência a tração à úmido
Ma	Massa da amostra
Mpf	Massa do recipiente
Mr	Massa do resíduo
PSI	Libras por Polegada Quadrada
U	Teor de umidade, em %
VA	Viscosidade aparente
VF	Volume de filtrado
VP	Viscosidade Plástica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1	Bentonita.....	12
2.2	Classificação da bentonita.....	14
2.3	Propriedades das argilas na indústria.....	14
2.4	Produção de bentonita e suas aplicações.....	15
2.5	Processo produtivo – Extração	18
2.6	Processo de transformação da matéria-prima.....	18
2.7	Normas e especificações.....	21
2.8	A empresa.....	22
3	METODOLOGIA.....	23
3.1	Materiais e Métodos.....	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5	CONCLUSÃO.....	32
	REFERÊNCIAS.....	33

**ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DE BENTONITAS ATIVADAS
NA REGIÃO DE BOA VISTA- PB**

**COMPARATIVE STUDY OF THE PROPERTIES OF ACTIVATED BENTONITES
IN THE REGION OF BOA VISTA-PB**

Rosilene Mayara Araújo*
Prof.^a Me. Tássila Pereira Neves**
Prof.^a Me. Nataline Cândido da Silva Barbosa***

RESUMO

A bentonita está entre os grandes minerais por ser uma argila muito versátil e com propriedades únicas como plasticidade, viscosidade, tixotropia e elevada capacidade de troca catiônica, as quais possibilitam uma grande variedade de aplicações industriais. O Estado da Paraíba é responsável pela maior produção de bentonita nacional, proveniente de um dos maiores depósitos existentes no Brasil, localizada no município de Boa Vista. No entanto, as bentonitas encontradas no país são do tipo argilas cálcicas, as quais necessitam de ativação, ou seja, a adição de barrilha ao minério. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo realizar um estudo comparativo mediante análise das propriedades físico-químicas das argilas montmoriloníneas processadas via laminação e via extrusora através de ensaios de umidade, granulométrica, inchamento, análise de azul de metileno pelo método do pirofosfato de sódio, resistência a compressão a verde, resistência a tração a úmido, viscosidade e filtrado, visando o cumprimento das especificações. Mediante os resultados das análises, observou-se que o processamento por meio da extrusão confere melhorias as propriedades analisadas as argilas bentoníticas e o cumprimento das normas, garantindo o fornecimento de um material de qualidade ao mercado consumidor.

Palavras-chave: Bentonita Montmorilonita, processamento extrusão, ativação.

*Rosilene Mayara Araújo – aluna de graduação em Química Industrial – UEPB, e-mail: mayaramay.araujo@gmail.com

** Prof.^a Me. Tássila Pereira Neves – professora do Instituto Federal do Sertão Pernambucano – IFSertão-Pe, e-mail: tassilaneves@yahoo.com.br

***Prof.^a Me. Nataline Cândido da Silva Barbosa - professora do Departamento de Química – UEPB, e-mail: natalinelucasluciano@gmail.com

ABSTRACT

Bentonite is among the great minerals because it is a very versatile clay and with unique properties such as plasticity, viscosity, thixotropy and high cation exchange capacity, which allow a wide variety of industrial applications. The State of Paraíba is responsible for the highest production of national bentonite, coming from one of the largest existing deposits in Brazil, located in the municipality of Boa Vista. However, the bentonites found in the country are of the calcic claytype, which require activation, that is, the addition of barrilha to the ore. Thus, this study aimed to perform a comparative study by analyzing the physicalchemical properties of montmorillonitis clays processed by lamination and extruder via moisture, particle size, swelling, methylene blue analysis by sodium pyrophosphate method, resistance to green compression, tensile strength to wet, viscosity and filtered, compliance with the specifications. Through the results of the analyses, it was observed that the processing through extrusion confers improvements to the properties analyzed the bentonite clays and compliance with the standards, ensuring the supply of a quality material to the consumer market.

Keywords: Montmorillonite Bentonites, extrusion processing, activation.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, no cenário mundial o ramo da mineração encontra-se em constante crescimento, uma vez que fornece diversos tipos de matéria-prima para variados tipos de indústria (COELHO e JÚNIO, 2010). O minério não metálico intitulado bentonita, por ser uma argila muito versátil e com propriedades únicas, está entre os minerais mais utilizados no setor industrial (DANTAS, 2020; SILVA e FERREIRA, 2008).

Sabendo que a bentonita branca material de grande qualidade e processo extrativo há mais de 40 anos, vem tornando-se um material escasso (SILVA, 2011; SILVA e FERREIRA, 2008), o que torna-se necessária a realização do processo de beneficiamento, de forma que, todas as argilas encontradas nas jazidas de bentonitas possam ser utilizadas. Para tanto é de fundamental importância o estudo e o uso de tecnologias para o melhoramento do material, visto que cada tipo de bentonita possui suas peculiaridades (TEIXEIRA-NETO e TEIXEIRA-NETO, 2009).

A laminação, considerada um processo simples para o beneficiamento da bentonita é eficiente até determinado ponto, uma vez que apenas com essa etapa não é possível atingir os resultados máximos esperados para que a argila. Para o aperfeiçoamento do seu potencial e das suas propriedades, é necessário a utilização de equipamentos específicos como a extrusora, a qual é capaz de aumentar o contato entre a argila e o carbonato de sódio, permitindo uma troca catiônica mais eficiente, ou por meio da aplicação de outras técnicas que permitam alcançar os mesmos resultados (COELHO e JÚNIO, 2010; TEIXEIRA-NETO e TEIXEIRA-NETO, 2009).

O presente trabalho visa traçar uma análise comparativa entre bentonitas processadas via laminação (processo simples) e via extrusão (processo de beneficiamento), a fim de verificar o aprimoramento nas características do material, por meio das análises das suas propriedades físico-químicas, o que poderá permitir um melhor aproveitamento e utilização das argilas disponíveis na região.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo os geólogos, a bentonita é formada pela desvitrificação e alteração química de cinzas vulcânicas (DANTAS, 2020; ROSS e SHANNON, 1926). Ao longo do tempo, estudiosos recorreram a origem desses argilominerais como sua definição, no entanto, em alguns países as argilas encontradas não surgiram pela ação vulcânica, sendo necessária uma adequação à sua definição, como sendo uma argila composta majoritariamente pelo argilomineral montmorilonita, pertencente ao grupo esmectita (GRIM e NUVEM, 1978).

A bentonita possui diversas características e propriedades, tais como, uma carga negativa superficial moderada (que descreve a sua capacidade de troca catiônica), possui grande área específica, além de ser resistente à temperatura e a solventes, essas características possibilitam diversas aplicações no meio industrial. (PAIVA, MORALES e DÍAZ, 2007).

2.1 Bentonita

A argila montmorilonita definida como bentonita é denominada como sendo constituída, em sua maioria, por argilominerais pertencentes ao grupo das esmectitas, possui estrutura cristalina, a qual permite a adsorção de cátions, atribuindo-lhes propriedades físico-química próprias como tixotropia, plasticidade e maior troca catiônica, possibilitando o uso da

mesma nos diversos ramos industriais (MENEZES, 2009), tendo um papel muito importante como aglomerante de minérios, de areias de moldagem em fundição, agentes tixotrópicos em lamas de perfuração para sondagens, decoloramento de óleos, construção civil, como carga mineral em tintas, esmaltes e vernizes. Sendo assim, a bentonita apresenta mais de 140 usos industriais. (SILVA e FERREIRA, 2008).

A argila com característica plástica e coloidal descoberta em Fort Benton, Wyoming-EUA, recebeu o nome de bentonita. Atualmente denominar-se bentonita como argilas constituídas predominantemente do argilomineral montmorilonita. Onde, esse argilomineral pertence ao grupo esmectita, uma família de argilas com propriedades semelhantes. (LUZ e OLIVEIRA, 2008)

Figura 1 – Ilustração do minério – bentonita.

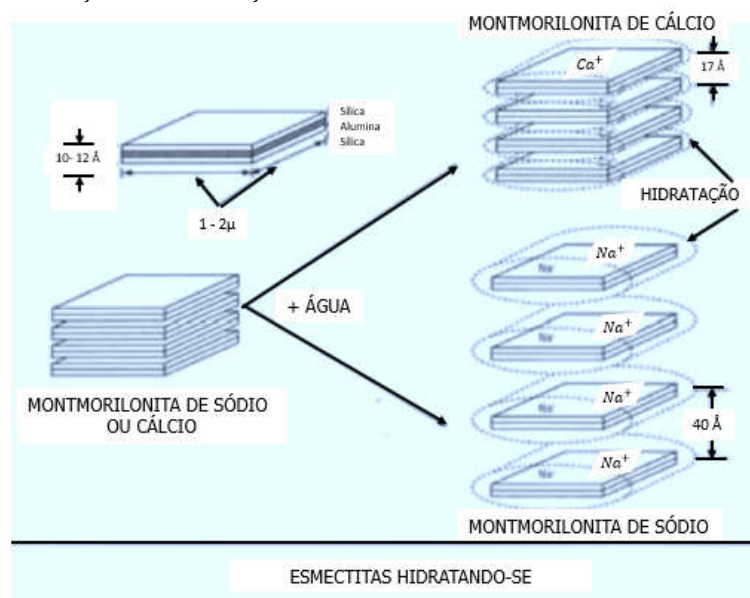


Fonte: GLOBAL MINÉRIOS, 2022.

A bentonita pode ser de dois tipos, a cálcica ou sódica, umas das suas características físicas mais expressiva e peculiar é aumentar de tamanho, quando entra em contato com a água, o seu volume aumenta várias vezes, formando géis tixotrópicos. (SOUZA SANTOS, 1992).

As bentonitas do tipo sódica possuem características de expansão mais elevadas do que as bentonitas do tipo cálcica, isso acontece porque alguns cátions causam uma expansão mais intensa do que outros, provocando alterações nas camadas dos cristais, podendo se distanciar uma das outras até a sua célula unitária. (LUZ e OLIVEIRA, 2008).

Figura 2- Representação da hidratação da montmorilonita



Fonte: LUMMUS e AZAR, 1986.

Nos depósitos localizados nos Estados Unidos, são extraídas em maior quantidade bentonitas com características sódicas, já nos depósitos brasileiros a extração é exclusivamente de bentonitas do tipo cálcica. (SILVA, 2011).

Como não ocorre em solo brasileiro bentonitas do tipo sódicas naturais, é necessário o uso de um processo intitulado como ativação, que se baseia na aplicação de carbonato de sódio, mais conhecido como barrilha. Esse processo é baseado na troca de cátions Ca^+ pelos Na^+ obtendo um produto com maior performance para a indústria, sendo a mais importante delas o inchamento. (SILVA, 2011).

Sabendo que, a grande parte da produção de bentonita no Brasil é encontrada na estrutura cálcica, para a sua utilização faz-se necessário transformar a bentonita cálcica em sódica por meio de um procedimento denominado de ativação com o carbonato de sódio (Na_2CO_3), onde os íons de cálcio (Ca^{2+}) são substituídos pelos íons sódio (Na^+) (TONNESEN et al., 2012). Esse processo de transformação da bentonita cálcica pela sódica foi criado na Alemanha, em 1933, pela empresa Erbsloh & Co. (BALTAR et al, 2003).

2.2 Classificação da Bentonita

A bentonita pode ser classificada de duas formas, o primeiro é com base na sua capacidade de inchamento quando a mesma é exposta a água, dessa forma temos, a bentonita do tipo sódica, a qual possui o elemento sódio dominante, assim possui maior capacidade de inchamento. A bentonita cálcica há a predominância do elemento cálcio, com menor capacidade de inchamento e a mista (sódica/cálcica) apresentam capacidade intermediária de inchamento e formação de géis de menor volume (LUZ e OLIVIERA, 2008).

O segundo critério, adotado para a classificação desse material é com base na sua coloração, dependendo da presença de contaminantes como a calcedônia, o bofe, e os materiais inertes em sua estrutura cristalina, sendo assim, pode-se classificar por meio da predominância da coloração cinza, amarela, verde ou marrom, as quais possibilita a classificação comercial da bentonita como mostrado no Quadro 4.

Quadro 1– Classificação comercial da bentonita com base na coloração

Classificação	Detalhamento
Chocolate	São constituídas de materiais com coloração de marrom e cinza, com predominância da pigmentação marrom. Possui densidade elevada, boa resistência mecânica, lamelado, sendo bastante viscoso e não apresenta calcedônia.
Chocobofo	A cor predominante é o marrom claro, possui mistura de chocolate com bofe, apresenta pouca calcedônia.
Bofe	Com baixa densidade, apresenta características porosas, pouca viscosidade e apresenta ausência de calcedônia.
Verde	Possui coloração verde escuro, com partículas grandes e resistentes, além de possuir sensorial escorregadio, possui boa densidade e é bastante viscoso, possui pouca calcedônia.

Fonte: Adaptado LUZ e OLIVIERA, 2008; LUZ, SAMPAIO e NETO, 2001b.

2.3 Propriedades das argilas na indústria

Abreu (1973), em seu livro, afirma que as propriedades das argilas estão diretamente ligadas as suas aplicações, essas propriedades são elencadas no Quadro 3.

Quadro 2– Propriedades das argilas

Propriedade	Descrição
Granulometria	É uma das características dos argilominerais, porque ela domina muito de suas propriedades, uma vez que a argila é finalmente dividida e desagrega-se facilmente.
Superfície específica	As argilas possuem elevada superfície específica, muito importante em certos usos industriais em que as interações sólidos-fluidos dependem diretamente da superfície específica do sólido como nas cerâmica, catálise e branqueamento de óleos. A superfície específica da argila é definida como a área da superfície externa mais a área da superfície interna das partículas constituintes, expressas em m ² /g. A superfície específica apresenta o teor em fração argilosa ou teor relativo de finos, médios e grossos bem como o grau de dispersão/agregação das partículas constituintes das argilas.
Plasticidade	Essa propriedade as argilas alcançam quando molhadas, a qual possibilita a mesma, adquirir as formas que lhe são dadas. Também pode ser definida como sendo uma propriedade que se manifesta na mudança de sua forma sem ruptura de uma massa feita com argila e água por aplicação de uma força exterior e pela retenção da forma quando a força é removida ou reduza abaixo de certo valor, correspondendo a chamada tensão de cedência.
Viscosidade	Apresenta a resistência que o material oferece a fluência, a viscosidade de qualquer suspensão de argila passa por modificações geralmente aumentando continuamente com o tempo.
Tixotropia	As argilas coloidais dispersas em água, numa adequada concentração, adquirem o estado gel, solidificando-se quando ficam em repouso; se sofrerem uma agitação, passam novamente ao estado de solução. Esse fenômeno está relacionado com as argilas de partículas extremamente finas do grupo das esmectitas e tem grande influência plástica no preparo de lamas para uso em perfuração de poços de petróleo, destinadas a prevenir desabamentos nas paredes dos poços em perfuração e a conduzir os detritos de rochas para fora dos poços e, ainda, para mantê-los em suspensão quando ocorrer uma paralisação da sondagem.

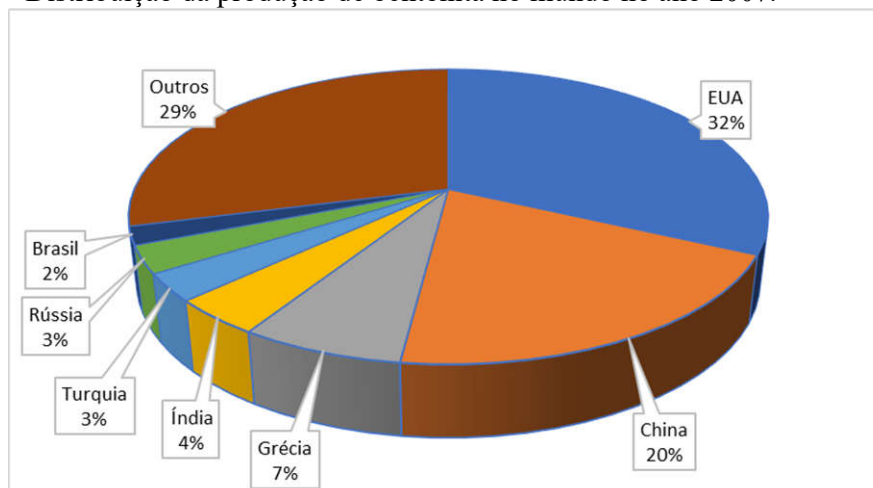
Fonte: Adaptado de SOUZA SANTOS, 1975 e MEIRA, 2001.

2.4 Produção de bentonita e suas aplicações

Devido à abundância das reservas mundiais de bentonita, a estimativa de suas reservas não vem sendo publicadas, de modo que seus dados mais atuais são datados do ano de 2008 com base em relatório publicado do CETEM – Centro de Tecnologia Mineral.

De acordo com o Relatório Técnico 43: Perfil da Bentonita do Ministério de Minas e Energia, do ano de 2009, as reservas mundiais somam um montante de 1.360 milhões de toneladas, sendo os Estados Unidos o país detentor de mais de 50% dessas reservas e o maior produtor mundial de bentonita sódica.

Já o Brasil, segundo esse mesmo relatório, encontra-se atrás dos Estados Unidos, China, Grécia, Índia, Turquia e Rússia, com uma produção de mais de 329 mil toneladas em 2007, o que representa cerca de 2% da produção mundial (Figura3).

Figura 3 – Distribuição da produção de bentonita no mundo no ano 2007.

Fonte: Relatório Técnico 43, 2009.

Da bentonita consumida nos Estados Unidos, 25% é usada como *pet litter* (absorvente de dejetos de animais domésticos), 21% como agente tixotrópico de fluidos de perfuração de poços de petróleo e de água, 21% como aglutinante de areias na indústria de fundição, 15% como aglomerante na pelotização de minério de ferro e 18% em outros usos (USGS, 2007). No Brasil não se dispõe de estatística precisa dos diferentes usos da bentonita (OLIVEIRA, 2004).

Das reservas brasileiras, o Estado do Paraná é o que possui a maior porção, equivalente a 43% das reversas medidas (possui viabilidade técnica e econômica). No entanto, o Estado da Paraíba é onde estão localizadas a maior parcela das reservas indicadas (parcela economicamente lavrável), entorno de 88%. De modo geral, considerando as reservas medidas juntamente com as indicadas, é possível afirmar que a Paraíba possui 55% do total das reservas brasileiras e o Paraná, 24%. (LUZ e LINS, 2005)

O Brasil possui reservas nos Estados de Bahia (Vitória da Conquista) Paraíba (Boa Vista, Campina Grande, Cubati), Piauí (Jaicós, Teresina), Paraná (Quatro Barras) e São Paulo (Pindamonhangaba, Taubaté, Tremembé) (DNPM, 2011; RELATÓRIO 43, 2009)

A produção brasileira de bentonita beneficiada vem crescendo anualmente, obtendo como recorde uma produção de 275 mil toneladas no ano de 1999. Uma projeção para a produção nos próximos anos foi apresentada por Coelho e Júnior (2010) (Quadro 1).

Quadro 3– Projeção da produção de bentonita para o Brasil: 2010 a 2030.

Ano	Toneladas
2010	246.952
2015	272655
2020	301.033
2025	332.364
2030	366.957

Fonte: COELHO e JÚNIO, 2010.

Na Paraíba e regiões circunvizinhas existe uma das maiores atividades industriais na extração e beneficiamento de bentonita do Brasil, no qual se destaca o município de Boa Vista-PB, que possui as principais jazidas de bentonita do país (COELHO e JÚNIOR, 2010).

Os depósitos de bentonita localizados no Estado da Paraíba são do tipo cálcicas e, para torná-las sódicas, necessitam de ativação para melhorar o seu desempenho. O beneficiamento e as formulações de bentonita variam de acordo com suas aplicações futuras, podendo ser

ativadas a partida da adição de carbonato de cálcio (adicionando de 2,5% a 5% em peso) ou ser disponibilizada na forma não ativada, como é o caso da venda de bentonita para indústria de cosméticos (RELATÓRIO 43, 2009).

A bentonita possui mais de 140 usos, dentre as principais utilizações podemos citar os seguimentos industriais (SILVA, 2011; SILVA e FERREIRA, 2008):

- Indústria de fundição - areias para fundição;
- Indústria de minério de ferro - pelletização de minério de ferro;
- Indústria de petróleo - fluidos para perfuração em geral;
- Indústria de construção civil - perfuração de poços artesianos, concreto e argamassas, impermeabilização de solos;
- Indústria de bebidas e alimentos - clarificação de bebidas;
- Indústria de refino de óleos - clarificação de óleos em geral;
- Indústria de sabão - carga para sabão, fabricação de produtos de limpeza;
- Indústria de tintas;
- Indústria veterinária - aditivos em ração animal;
- Indústria de borrachas e plásticos;
- Indústria cosmética – para produção de máscaras, shampoos, maquiagens;
- Indústria de papel;
- Indústria do meio ambiente – para o tratamento de efluentes como na remoção de metais pesados;
- Indústria de combustíveis – processo de catálise, desidratação do etanol;
- Indústria de produtos higiênicos e sanitários - como diluentes para inseticidas e pesticidas.

O Estado da Paraíba vem se mantendo como o principal produtor do país, onde operam nove empresas, com quatro atuando tanto na lavra como no processamento. A Bentonita União do Nordeste S.A. responde por quase 90% da produção de bentonita (OLIVEIRA, 2004).

Quadro 4– Principais empresas produtoras/ fornecedoras nacionais.

Empresa	Localização
BENTONISA - Bentonita do Nordeste S/A	Boa Vista/ PB
BUN - Bentonit União do Nordeste S/A	Boa Vista e Campina Grande/ PB
DOLOMIL - Dolomita Minérios Ltda	Campina Grande/PB
DRESCON - Produtos de Perfuração	Boa Vista/ PB
EBM - Empresa Beneficiadora de Minérios Ltda	Pocinho/PB
MIBRA Minérios Ltda	Pocinho/PB
NERCON	Boa Vista/ PB
PEGNOR - Pegmatitos de Nordeste Ltda	Soledade / PB
MPL - Mineração Pedra Lavrada Ltda	Soledade / PB
Aligra Indústria e Comércio de Argilas Ltda	Taubaté/SP
Argos Extração e Beneficiamento de Minerais Ltda	Taubaté/SP
Bentonita do Paraná Mineração Ltda	Quatro Barras/ PR
Colorminas – Colorífico e Mineração Ltda	Içara, Campo Alegre e Criciúma / SC Rio Claro e Estiva Gerbi/ SP Anápolis/ GO

	Nossa Senhora do Socorro/SE
Companhia Brasileira de Bentonita – CBB	Vitória da Conquista - BA
MPL – Mineração Pedra Lavrada Ltda	Atibaia/SP
Schumacher Insumos para a Indústria	Porto Alegre/ RS

Fonte: Adaptado de SILVA, 2011; SILVA e FERREIRA, 2008.

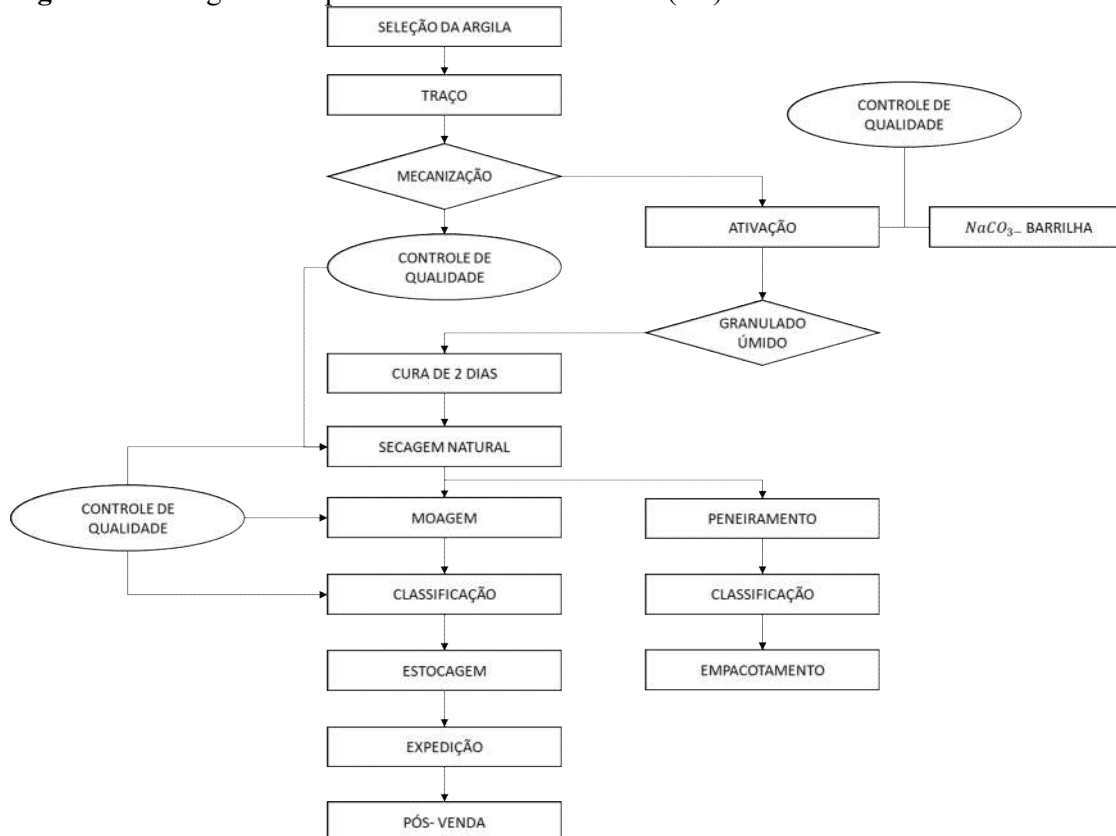
2.5 Processo produtivo - Extração

Inicialmente, faz necessário o descapeamento, ou seja, a retirada da camada de terra depositada sobre a rocha para a exposição do minério, nessa etapa é retirado o material estéril (material que não possui valor comercial), o qual encontra-se localizado na parte superior da mina. Tal material é armazenado para, ao final da extração, ser utilizado na reposição da cava (FIGUEIRA, LUZ e ALMEIDA, 2010). A extração é realizada por meio de tratores de esteira ou retroescavadeiras, pá carregadeira e caminhões e levados a fábrica. Após a chegada na fábrica, a argila *in natura* é estocada a céu aberto de acordo com o tipo de argila. Cada pilha possui um determinado tipo da argila e esse material é levado posteriormente ao laboratório para que sejam efetuadas análises da qualidade.

2.6 Processo de transformação da matéria-prima

A bentonita a granel é levada ao controle de fabricação, responsável por coordenar e inspecionar as atividades durante o processo de transformação da bentonita (Figura 4).

Figura 4: Fluxograma de processamento de bentonita (PB)



Fonte: Própria, 2022.

- **Seleção da argila**

Para que ocorra a exploração na jazida é necessário o acompanhamento de um técnico responsável ou engenheiro de minas e são utilizadas técnicas para a retirada correta do material baseada na introdução de uma sonda que verifica a disponibilidade de cada argilomineral encontrado.

O material estéril é retificado e as argilas são removidas com o auxílio de pá-escavadeira. O seu transporte é feito em caminhões para a área destinada a reserva de bentonitas.

- **Traço**

É a fase do processo em que são misturados diversos tipos de argilas bentonitas em quantidades diferentes para formulações de produtos exigidos pelo mercado. Esse processo é feito com o auxílio de uma pá-carregadeira, cuja finalidade consiste na mistura do material e homogeneização do mesmo. Todo esse processo é acompanhado e fiscalizado por um técnico do laboratório, responsável por registrar as informações referentes ao material.

- **Beneficiamento**

O beneficiamento da bentonita cálcica é realizado via processo mecanizado e sem adição de barrilha. Já para a bentonita sódica, o seu beneficiamento envolve a adição de barrilha.

- **Adição de barrilha**

A barrilha constitui-se em um pó impalpável, construído de no máximo 96% de carbonato de sódio, e é uma das maiores matérias primas na indústria de beneficiamento de bentonita.

- **Ativação**

Ativação consiste no processo de transformação química da bentonita cálcica em sódica ativada, por meio da adição de uma solução de carbonato de sódio. Nessa etapa ocorre a desintegração, mistura, adição de barrilha, laminação e extrusão.

Para que ocorra a ativação adequada do mineral são adicionados cerca de 2,5% a 3,0% da barrilha na bentonita. Amostras são coletadas a cada 2 horas para análise de umidade natural da argila antes do processo de desintegração e, ao final do processo, é determinada a umidade final do material.

- **Laminação**

Após a adição da solução de barrilha, a bentonita é levada por meio de esteiras até um rolo compressor a fim de causar maior agregação da solução da barrilha com a argila.

- **Extrusão**

A extrusora é um equipamento utilizado para produção de até 11 Ton/hora de produtos cerâmicos como processamento de bentonita, tijolos, blocos estruturais, capas de laje, elementos vazados e outros produtos. A câmara de ar e grelhas permitem uma excelente extração de ar da argila, o caracol uniformiza o fluxo de massa e a compressão final sobre a

boquilha, resultando no produto final com melhor acabamento, melhorando a resistência mecânica com baixo índice de tensões (NATREB, 2022).

Figura 5- Ilustração de extrusora (maromba a vácuo MN-2B, NATREB)



Fonte: NATREB, 2022.

- **Cura**

Após a ativação, a argila é colocada em repouso por 24 horas para que ocorra uma reação química mais eficaz. Depois do processo de cura, o material é levado para depósito para a secagem natural ao sol.

- **Secagem natural**

Entende-se que o processo de desintegração da bentonita ativada se dá por meio do processo de secagem natural ao sol ou mecanizada por meio de estufas ou secadores rotativos.

Após o tempo de cura, a bentonita é espalhada no pátio e a secagem do material depende das condições climáticas do local, variando de 24 horas à 60 horas aproximadamente. Em seguida, o material é recolhido em pilhas, onde é feita amostragem composta e homogeneizada para o laboratorista determinar a umidade de saída do material.

- **Moagem**

É o processo de transformação de partículas maiores em partículas menores – finos ou também chamados de pó. Nessa etapa são utilizados moinhos de rolos que, por atrito em um sistema fechado e controlado a 200 Mesh, faz a transformação do material em finos.

- **Inspeção e classificação final**

Nessa etapa de inspeção visual do estado é realizado a diferenciação da coloração, classificação visual conforme o tipo de argila processada (chocolate, chocobofe, bofe e verde), identificação das embalagens e outras observações que possam prejudicar a qualidade do material e da barrilha.

- **Estocagem (Identificação provisória)**

Nessa fase o material produzido é estocado em *bag's* ou sacos, os quais recebem uma etiqueta contendo o número do lote produzido, data de fabricação e operador. Nessa etapa o laboratorista recolhe amostras do lote de forma aleatória, realiza procedimentos de verificação da qualidade e adiciona etiquetas para que esses lotes sigam para a estocagem à espera da identificação definitiva.

- **Estocagem (Identificação definitiva)**

Após a liberação do laboratório são aplicadas novas etiquetas que mostram que os lotes já foram verificados de acordo com a especificação do cliente e já podem seguir para a etapa da expedição.

- **Expedição**

Processo de liberação dos produtos destinados aos clientes, conforme atendimento das normas e especificações, cujo transporte é feito através de caminhões e carretas.

- **Pós-venda**

Etapa final da produção, onde as argilas são armazenadas em local livre de contaminação, prontas para a venda.

2.7 Normas e especificações

Não existe normas específicas para o tipo de minério bentonita, uma vez que especificações variam de acordo com a finalidade na qual o material será empregado.

No processo produtivo da bentonita são utilizadas como referência a Normatização da Associação Brasileira de Fundição (ABIFA) seguida das especificações da Comissão de Estudos de Matéria-Prima (CEMP) de bentonitas para fundição.

- Para análise de umidade – CEMP 206;
- Para análise de inchamento – CEMP 058;
- Para análise de teor de partículas grossas – CEMP 109;
- Para análise de azul de metileno – CEMP 063;
- Para análise de resistência à compressão a verde – CEMP 060;
- Para análise de resistência a tração a úmido – CEMP 062;

Vale salientar que as análises de inchamento e resistência à compressão a verde podem sofrer modificações nos seus parâmetros de referências caso seja feito o uso da extrusora no processo produtivo. Já as demais análises permanecem com as mesmas referências independentemente do uso da extrusora, visto que os parâmetros se referem as características próprias da argila, não sofrendo modificações com o processo. Os valores de referência estão especificados na Tabela 1 logo abaixo:

Tabela 1– Classe de bentonitas: requisitos físico-químicos

Características		Classe				
		Sódica natural	Sódica ativada			Cálcica
			Tipo I	Tipo II	Tipo III	
Umidade original (%)		9 - 13	9 - 13	9 - 13	9 - 13	9 - 13
Inchamento (mL/2g)		Mín. 30	Mín. 35	Mín. 30	Mín. 26	-----
Teor de partículas grossas	Peneira 40 (%)	0	0	0	0	0
	Peneira 200 (%)	Máx. 15	Máx. 15	Máx. 15	Máx. 15	Máx. 15
A.A.M. original (mL/0.5g)		Mín. 50	Mín. 50	Mín. 45	Mín. 48	Mín. 50
A.A.M. 550° (mL/0.5g)		Mín. 35	Mín.29	Mín.25	Mín.31	Mín.25
R.C.V. (N/cm ²)		Mín.11	Mín.12	Mín.11	Mín.10	Mín.14
R.T.U. (N/cm ²)		Mín.0,28	Mín.0,30	Mín.0,28	Mín.0,27	-----

Fonte: ABIFA, 2015 e CEMP E-04, 2015.

Observações sobre as siglas:

A.A.M. original: Adsorção de azul de metileno no estado original;

A.A.M. 550°: Adsorção de azul de metileno após calcinação (550°);

R.C.V.: Resistência à compressão a verde;

R.T.U.: Resistência a tração à úmido.

As especificações apresentadas na Tabela 1 referem-se ao porte da empresa:

- Tipo I: Fundição de grande porte;
- Tipo II: Fundição de médio porte e
- Tipo III: fundição de pequeno porte.

Para as análises de viscosidade plástica, viscosidade aparente e volume de filtrado foram adotadas as Normas Petrobras 1998:

- Para viscosidade aparente e viscosidade plástica - Norma N-2604;
- Para volume de filtrado e para fluidos de perfuração - Norma N-2605;

Apenas a viscosidade aparente e o volume de filtrado sofrem modificações de acordo com o processamento da argila com a utilização da extrusora. Já viscosidade plástica é uma característica própria da bentonita e não sofre modificação com o processamento. Os valores de referência estão contidos na Tabela 2:

Tabela 2 - Requisitos para fluidos de perfuração.

Propriedades	Valor Mínimo	Valor Máximo
Viscosidade Plástica (cP)	15	-
Viscosidade Aparente (cP)	4	-
Volume de Filtrado (mL)	-	18

Fonte: Petrobras, 1998.

2.8 A empresa

A BENTONISA – Bentonita do Nordeste S.A. é uma empresa de origem brasileira que possui atuação em outros países, detentora de jazidas próprias, linhas de processamento e

beneficiamento, também produz e comercializa insumos e especialidade industriais à base de minerais não metálicos, de origem nacional e importada, especialmente as argilas bentonitas.

No Brasil a BENTONISA foi a primeira empresa do segmento a receber o certificado internacional ISSO-9001 pela conformidade ao sistema de gestão da qualidade.

Na década de 1960, os atuais donos e fundadores da empresa, descobriram a ocorrência da bentonita no subsolo brasileiro. No ano de 1976 a empresa foi criada e tornou-se pioneira em seu ramo de atuação. No início, possuía o objetivo de desenvolver a região e fornecer produtos de qualidade para todo o país. Atualmente a empresa expandiu seus horizontes e atende a clientes internacionais.

Através de fortes investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, a BENTONISA fabrica produtos minerais de origem não metálicos, considerados de excelente qualidade, principalmente de derivados da bentonita sódica ou cáustica, naturais ou ativadas, com especificações variadas e diferentes tipos de beneficiamentos para aplicação nos mais diversos setores industriais que vão desde a metalurgia até o ramo petroleiro, passando pela pecuária, agricultura, tratamento ambiental, construção civil entre tantos outros processos produtivos (BENTONISA, 2022).

A empresa encontra-se localizada na cidade de Boa Vista na BR-412, no Km 19, no Estado da Paraíba.

Figura 6 – Logomarca da empresa Bentonisa.



Fonte: BENTONISA, 2022.

3 METODOLOGIA

Para a realização desse trabalho foi adotado o referencial Tipo I, apresentado no Tópico 2.7 – Normas e Especificações, pelo fato de que a empresa na qual foram recolhidas e analisadas as amostras, tratar-se de uma indústria de grande porte.

Foram coletadas 8 amostras de bentonita beneficiada com carbonato de sódio a 3% no período de 30 dias, onde cada amostra pesava aproximadamente 10kg. Quatro dessas amostras passaram pelo processo de laminação e as outras quatro amostras passaram pelo processo de extrusão via extrusora dupla-rosca co-rotativa.

As amostras foram cedidas pela empresa mineradora BENTONISA, sendo coletadas no setor de produção da própria empresa, via técnica de amostragem aleatória, onde os incrementos foram escolhidos de maneira fortuita possibilitando que todas as partes do material possuam a mesma probabilidade de serem coletados e foram analisadas conforme normas e especificações apresentadas anteriormente.

As análises para os parâmetros abaixo foram feitas em triplicatas:

- Umidade;
- Granulometria;
- Azul de metileno pelo método do pirofosfato de sódio;
- Inchamento;
- Viscosidade e filtrado;
- Produção de mistura padrão;

- Compactabilidade da mistura padrão;
- Resistência à compressão a verde;
- Resistência à tração à úmido.

3.1 Materiais e Métodos

- **Umidade**

A análise de umidade consiste no estudo da bentonita mediante a aplicação da metodologia de bulbo úmido e bulbo seco, no qual visa estabelecer um padrão de umidade adequada para manter a qualidade do produto.

De acordo com a especificação CEMP 206, o produto encontra-se dentro da conformidade se o valor determinado esteja entre $\geq 9\%$ e $\leq 13\%$.

Após a coleta foram analisados o teor de umidade das amostras, conforme recomendação da CEMP 206, a eliminação da água se dá via aquecimento controlado e o cálculo da umidade refere-se a diferença de massa. O resultado é expresso em porcentagem, com precisão de 0,01 e é obtido através da seguinte fórmula:

$$U = \frac{(M_{pf} + M_a) - (M_{pf} + M_r)}{M_a} * 100$$

Onde:

- U= Teor de umidade, em %;
- M_{pf}= Massa do recipiente, em gramas;
- M_a= Massa da amostra, em g;
- M_r= Massa do resíduo, em g.

- **Determinação de partículas grossas em bentonitas (granulometria)**

A análise granulométrica visa à quantificação da distribuição por tamanho das partículas individuais existentes no material. De acordo com a especificação CEMP 109, o produto encontra-se dentro da conformidade se o valor determinado seja ≤ 13 .

Para a análise granulométrica, foi realizada a pesagem de 10,0g de cada amostra, onde as amostras foram passadas em peneira ABNT nº 200 (0,074mm).

O resultado é expresso em porcentagem do material retido por peneira com precisão de 0,1%, sendo obtido através da seguinte fórmula:

$$A = \frac{B}{C} * 100$$

Onde:

- A= Material retido na peneira, em %;
- B= Massa do material retido na peneira, em g;
- C= Massa da amostra, em g.

- **Técnica de adsorção do azul de metileno pelo método do pirofosfato de sódio**

É o método de ensaio para determinar o teor de argilominerais esmectíticos da amostra e sua capacidade de troca de cátions. Esse método segue a especificação CEMP 063 que estabelece como padrão para uma bentonita de qualidade que a adsorção do azul de metileno deva ser ≥ 50 .

Foi preparada uma solução em um Becker, contendo 90 mL de água destilada e a argila devidamente pesada. Essa solução foi misturada com 5g de areia e fervida para a remoção da argila sobre o grão de sílica.

Após o resfriamento dessa mistura, adicionou-se 20 mL de pirofosfato de sódio a 2% e realizou-se a titulação usando uma solução padronizada (fatorada) de 0,01 mol/mL de azul de metileno. Essa solução foi adicionada lentamente sobre a mistura e sob agitação, para que o azul de metileno fosse adsorvido pelas lamelas de argila. E assim, pode-se quantificar a porcentagem de argila, através da saturação que ocorre na forma de um halo ao redor da gota depositada da solução no papel filtro.

A determinação da quantidade de argila a ser utilizada foi obtida através do seguinte cálculo:

$$B = \frac{50}{100 - U}$$

Onde:

B = massa de bentonita com umidade de recebimento, em g;

U = teor de umidade de recebimento, em %.

O resultado é expresso em mililitros, com precisão de 0,1 e corresponde ao volume de solução fatorada de azul de metileno gasto na saturação de 0,5 g de bentonita em base seca. O resultado é obtido através da seguinte fórmula:

$$A = mL * F$$

Onde:

A = adsorção de azul de metileno, em ml;

mL = volume da solução de azul de metileno gasto na titulação, em mL;

F = fator de correção da solução de azul de metileno.

- **Técnica de inchamento**

Para a capacidade de inchamento, 2 g de material no estado original de recebimento foram adicionados lentamente (durante 2 horas) em uma proveta contendo 100 mL de água deionizada.

A medida foi retirada após 24 hr da adição de toda a amostra, como sugere a especificação CEMP 058, na qual, mostra que uma bentonita com boa qualidade tem que possuir inchamento acima de 35 mL.

A massa de bentonita no estado original de recebimento é calculada de acordo com a seguinte equação:

$$M = \frac{200}{100 - U}$$

Onde:

M = massa de bentonita no estado original de recebimento, em g;

U = umidade de fornecimento da bentonita, em %.

- **Viscosidade e filtrado**

A Noma Petrobras N-2604 apresenta as condições específicas para a qualificação e aceitação de viscosificantes para fluidos base-água usados na exploração e produção de poços de petróleo e gás.

Para viscosidade aparente se estabelece o valor mínimo 15,0 cP; para viscosidade plástica estabelece valor de no mínimo 4,0 cP e para filtrado API valor de no máximo 18 mL.

A análise consiste em uma suspensão composta de 24,3 g de bentonita e 500 mL de água destilada, sob agitação de 1700 rpm durante 20 minutos. Ao final desse procedimento, a suspensão deve ser transferida para um recipiente fechado, onde permanece em repouso por 24 hr.

A suspensão preparada 24 hr antes foi novamente agitada nas mesmas condições por um período de 5 min e transferida para o recipiente do viscosímetro, onde foram feitas as leituras em:

- 600 rpm - após 2 minutos,
- 300 rpm após 15 segundos.

Para os ensaios de viscosidade, foi utilizado um viscosímetro FANN modelo 35A.

Após a análise de viscosidade, a suspensão foi retornada para o agitador Hamilton Beach e agitada novamente durante 1 minuto na velocidade de 17000 rpm.

Em seguida foi transferida para o filtro API FRANN, modelo 12B e filtrada, utilizando-se papel filtro Whitman 50, a uma pressão de 100 psi durante 30 minutos. O filtrado foi coletado em uma proveta de 25 mL.

- **Produção de mistura padrão**

A especificação CEMP 068 descreve o método de preparação da mistura padrão de bentonitas para fundição. Uma quantidade de areia equivalente a 60% da capacidade nominal do misturador é pesada.

$$MA = 60\% \times CM$$

Onde:

MA = Massa da areia

CM = Capacidade nominal do misturador

Uma quantidade de bentonita em estado de recebimento equivalente a 5% de bentonita seca é pesada e calculada sobre a massa de areia, de acordo com a seguinte fórmula:

$$MB = MA \left(\frac{5}{100 - U} \right)$$

Onde:

MB = Massa de bentonita em estado de recebimento, em g;

MA = Massa de areia, em g;

U = Teor de umidade de recebimento, em g;

Adiciona-se ao misturador a areia e 60 mL de água destilada no misturador por 46 voltas, conforme recomendado pela especificação CEMP 068. Em seguida é adicionada a bentonita em dois lugares diferentes do misturador, para que haja uma melhor homogeneização, misturado por 700 voltas e armazenado a mistura em local fechado para não haver perda de umidade da mistura.

- **Compactabilidade da mistura padrão**

A compactabilidade é a redução do percentual da altura sofrida por uma determinada massa de areia, sob influência de compactação.

Após a produção da mistura padrão, esta é peneirada e transferida, com auxílio de um funil, diretamente para um cilindro cujo topo deve estar nivelado com a superfície de areia. Em seguida o cilindro com a mistura é transferido para o martetele onde serão realizados três golpes conforme especificação CEMP 065 para esta análise.

A compactabilidade da mistura padrão para caracterização de bentonitas é realizada conforme a CEMP 068, onde é especificada uma compactação de $45 \pm 1\%$. O resultado da compactabilidade é expresso em porcengem e é lido diretamente na escala do martetele.

- **Resistência à compressão a verde**

Para determinar a resistência à compressão a verde (RCV) da mistura padrão de bentonitas para fundição é aplicada uma carga contínua e progressiva sobre a face plana de um corpo de prova (CV) padronizado até sua ruptura, conforme recomendações da CEMP 060.

Além da aparelhagem necessária para o teste de compactabilidade, também é utilizada a máquina universal de resistência para areia junto ao molde cilíndrico para confeccionar o CV padrão, conforme o Tipo nº 1 da especificação CEMP E-10.

Para o molde cilíndrico deve ser peneirado uma quantidade suficiente para a confecção de um corpo de prova, quantidade de areia entre 150 e 170g - suficiente para obter um corpo de prova padronizado, e logo após deve ser transferido para o molde cilíndrico por meio de um funil. Em seguida, ao corpo de prova deve ser adaptado a máquina de resistência e aplicado a carga. O resultado é expresso em N/cm^2 , com uma precisão de $0,1 N/cm^2$, e corresponde à média aritmética dos valores obtidos de no mínimo 3 corpos de prova.

- **Resistência à tração à úmido**

Já na determinação resistência à tração a úmido (RTU) é realizado o tracionamento de uma camada de alta umidade em um CV padronizado submetido a aquecimento até sua ruptura, conforme recomendações da CEMP 062. Para este ensaio são utilizados equipamentos do teste de compactabilidade juntamente com a máquina para ensaio de RTU e o molde cilíndrico para confeccionar o CV padrão conforme o Tipo nº 6 da especificação CEMP E-10.

O equipamento de RTU deve ser programado para estar a uma temperatura de 310 ± 10 °C, com tempo inicial de ensaio de 5 segundos. Após a preparação do CV padronizado com uso do martetele, conforme a especificação CEMP E-10, ele deve ser posicionado ao tubo no equipamento de RTU. Ao término do ensaio, o valor de resistência atração a úmido na escala do equipamento deve ser anotado. Os passos devem ser repetidos para tempos superiores, variando-os de 5 em 5 segundos, até que o valor de resistência seja maior que o valor no tempo anterior.

O resultado da análise é expresso em N/cm^2 , com resolução mínima de indicação de $0,01 N/cm^2$, e é obtido pela média aritmética dos valores obtidos no tempo que ocorreu a menor resistência à tração a úmido.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados referem-se à média aritmética obtida a partir das análises, realizadas em triplicata, para cada parâmetro.

Inicialmente foi realizado análises de umidade. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados das médias das análises de umidade no período de 30 dias.

Determinação do minério	Umidade (%)	Referência CEMP 206
Chocolate - extrusora	8,46	9% ≥ 13%
Chocolate - normal	9,93	
Chocobofo - extrusora	10,59	
Chocobofo - normal	11,99	
Verde – extrusora	10,08	
Verde – normal	11,40	
Bofe – extrusora	10,12	
Bofe - Normal	11,73	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Os teores de umidade obtidos para as amostras variaram de 8,46% e 11,99%. De acordo com as especificações da CEMP 206, espera-se que a umidade das argilas não ultrapasse os 13% ou seja inferior a 9%. No entanto, observa-se que a amostra referente a argila do tipo chocolate processada na extrusora obteve percentual de umidade inferior a especificação. Atribui-se tal resultado a presença de contaminante não identificado na amostra. As demais amostras encontram-se dentro das especificações.

Aos compararmos as amostras “normal” e “extrusora”, percebemos que as amostras que passaram pelo processo de extrusão obtiveram um percentual ainda menor de umidade presente no material.

Para a análise de granulometria, que visa determinar a quantificação da distribuição por tamanho das partículas individuais, espera-se que as amostras obtenham valores menores ou iguais a 13%, sendo assim consideradas argilas com maior eficiência aquelas que estejam dentro da especificação para partículas grossas em bentonitas conforme CEMP 109. Na Tabela 4, é possível observar os valores obtidos com a análise granulométrica.

Tabela 4- Resultados das médias das análises granulométricas no período de 30 dias.

Determinação do minério	Granulometria #200 (%)	Referência CEMP 109
Chocolate - extrusora	9,10	≤ 13%
Chocolate - normal	10,05	
Chocobofo - extrusora	11,15	
Chocobofo - normal	11,05	
Verde – extrusora	9,90	
Verde – normal	10,43	
Bofe – extrusora	11,55	
Bofe - Normal	12,00	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Todos os índices de granulometria encontrados nas amostras estão em conformidade com a norma referida, garantindo a qualidade do material produzido.

E quando comparados as amostras “normal” e “extrusora”, percebemos que o material processado por extrusão apresenta granulometria ainda menor, com partículas mais finas.

A análise de inchamento visa à determinação da absorção de água pela amostra por meio da introdução de moléculas de água entre as camadas estruturais da bentonita de fundição e o consequente afastamento destas camadas conforme especificação CEMP 058. Na Tabela 5, é possível observar os valores obtidos para essa análise.

Tabela 5- Resultados das médias das análises de inchamento no período de 30 dias.

Determinação do minério	Inchamento (mL)	Referências CEMP 058
Chocolate - extrusora	48,00	Tipo I: ≥ 35 mL
Chocolate - normal	41,00	
Chocobofo - extrusora	38,00	Tipo III: ≥ 26 mL
Chocobofo - normal	31,00	
Verde – extrusora	32,00	
Verde – normal	21,00	
Bofe – extrusora	29,00	
Bofe - Normal	26,00	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Os resultados para os inchamentos apresentados na Tabela 5 mostram que as amostras que foram processadas com o uso da extrusora, obtiveram um resultado consideravelmente melhor do que as amostras que apenas passaram pela laminação, porém, as amostras do tipo chocobofo normal, verde extrusora, verde normal, bofe extrusora e bofe normal não atenderam as especificações da Norma CEMP 058 para argilas para fundição Tipo I.

No entanto, as amostras do tipo chocobofo normal, verde extrusora, bofe extrusora e bofe normal atendem a Norma CEMP 058 para argilas do Tipo III - Fundição de pequeno porte, onde sua referência corresponde a inchamento ≥ 26 mL.

A amostra do tipo verde normal não atendeu a nenhuma das especificações, isso se dá pelo fato da bentonita tipo verde possuir propriedades de inchamento com valores abaixo dos outros tipos de argila, o que pode ser solucionado usando formulações da argila tipo verde com outras argilas com maior característica de inchamento como a bentonita tipo chocolate, garantindo desta forma a qualidade do material a ser produzido.

Apesar de termos variações nas amostras, onde parte delas atende a especificação do Tipo I e outra parte atende a especificação do Tipo III, ao compararmos a “normal” com a “extrusora”, notamos que o material processado por meio da extrusão, obteve valores melhores referentes ao inchamento do que as amostras “normal”.

Para a adsorção de azul de metileno, que visa determinar o teor de argilominerais esmectíticos da amostra, espera-se que as amostras atendam as especificações CEMP 063 sendo assim consideradas argilas de alta qualidade as amostras que apresentem valores maiores que 50 mL. Na Tabela 6, é possível observar os valores obtidos com a análise.

Tabela 6- Médias das análises de adsorção de azul de metileno pelo método do pirofosfato de sódio no período de 30 dias.

Determinação do minério	AAM (mL)	Referências CEMP 063
Chocolate - extrusora	51,00	Tipo I: ≥ 50 mL
Chocolate - normal	51,00	
Chocobofo - extrusora	55,00	Tipo III:
Chocobofo - normal	55,00	

Verde – extrusora	48,55	≥48 mL
Verde – normal	48,55	
Bofe – extrusora	49,20	
Bofe - Normal	49,20	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Na Tabela 6, está apresentada a capacidade de troca de cátions (CTC) determinada através do método de azul de metileno das amostras de argilas bentoníticas. Observa-se que a amostra de argilas verde e bofe obtiveram um resultado abaixo do exigido pela especificação CEMP 063 para argilas para fundição Tipo I, porém, atende as especificações argilas do Tipo III, onde o valor mínimo é de 48 mL.

Para argilas do tipo verde e bofe o resultado é o esperado, visto que essa propriedade não depende da ativação da bentonita, uma vez que se trata de uma característica própria e imutável da argila.

Vale salientar que, ao comparar as amostras “normal” e “extrusora” não observou mudança significativa relativa à capacidade de troca iônica mediante análise de azul de metileno.

Para a resistência à compressão a verde, espera-se que as amostras atendam as especificações CEMP 060, sendo assim consideradas argilas com alta resistência a compressão aquelas que obtenham valores maiores que 12 N/cm². Na Tabela 7, é possível observar os valores obtidos com a análise.

Tabela 7- Resultados das médias das análises de resistência à compressão a verde no período de 30 dias.

Determinação do minério	RCV (N/cm²)	Referência CEMP 060
Chocolate - extrusora	12,00	Tipo I: ≥ 12 N/cm ² Tipo II: ≥ 11 N/cm ² Tipo III: ≥ 10 N/cm ²
Chocolate - normal	12,00	
Chocobofe - extrusora	14,50	
Chocobofe - normal	14,18	
Verde – extrusora	11,00	
Verde – normal	10,88	
Bofe – extrusora	13,20	
Bofe - Normal	13,15	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Nos resultados de resistência à compressão a verde mostrados na Tabela 7, nota-se que apenas a amostra denominada verde extrusora e verde normal, possuem valores abaixo do determinado na especificação CEMP 060 para argilas para fundição Tipo I. No entanto, a verde extrusora atende a especificação Tipo II e a verde normal atender a especificação tipo III. Contudo esse resultado já é esperado, pois, a argila verde possui característica de menor resistência a compressão, em comparação com os demais tipos de argilas.

Como a resistência à compressão a verde não se modifica com o uso da extrusora, e nota-se variações entre uma amostra de outra, pode-se dizer que, essas variações se dão por motivos diversos como variação entre as umidades ou até mesmo por pequenos erros na leitura do equipamento usado para o experimento.

Quando comparamos as amostras “normal” e “extrusora”, percebemos leve melhora no parâmetro de resistência à compressão referente a três casos de bentonita processada via extrusão.

Já a análise de resistência à tração à úmido, que visa determinar a resistência à tração á úmido através da mistura padrão em bentonitas para fundição, espera-se que as amostras

atendam as especificações CEMP 062, sendo assim consideradas argilas com alta eficiência para fundição aquelas que obtenham valores maiores que $0,300 \text{ N/cm}^2$. Na Tabela 8, é possível observar os valores obtidos com a análise.

Tabela 8- Resultados das médias das análises de resistência à tração à úmido no período de 30 dias.

Determinação do minério	RTU (N/cm^2)	Referências (CEMP 062)
Chocolate - extrusora	0,30	Tipo I: $\geq 0,30 \text{ N/cm}^2$ Tipo II: $\geq 0,28 \text{ N/cm}^2$
Chocolate - normal	0,29	
Chocobofo - extrusora	0,31	
Chocobofo - normal	0,29	
Verde – extrusora	0,28	
Verde – normal	0,27	
Bofe – extrusora	0,28	
Bofe - Normal	0,27	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Os resultados contidos na Tabela 8 mostram que todas as amostras que foram processadas em extrusora obtiveram resultados superiores as amostras que apenas foram processadas por laminação, tornando o uso da extrusora eficiente para a análise de resistência à tração à úmido.

As amostras chocolate normal, chocobofo normal, verde extrusora, verde normal, bofe extrusora e bofe normal obtiveram resultados abaixo do especificado pela CEMP 062 para argilas para fundição Tipo I, porém, as amostras chocolate normal, chocobofo normal, verde extrusora e bofe extrusora atendem as especificações do Tipo II.

As amostras do tipo verde normal e bofe normal atendem as especificações do Tipo I. As argilas do tipo verde e bofe são usadas para fundição apenas em misturas com outras argilas, o que garante a qualidade do material utilizado para fundição atendendo a norma específica, já que a característica de tais argilas é de obter índices de RTU menor do que as demais.

Ao realizarmos uma comparação entre as amostras “normal” e extrusora”, percebemos uma leve melhora na característica resistência a tração para as argilas processadas por extrusão.

O estudo reológico das dispersões das argilas foi realizado segundo a norma N- 2604 (PETROBRAS, 1998), sendo determinadas as viscosidades aparentes (VA) e plástica (VP), o volume de filtrado (VF), em filtro prensa; no qual, a norma fixa as condições e especificações para aceitação de viscosificantes para fluidos de perfuração a base água.

Para VA, o valor obtido tem que ser maior que 15,0 cP. Já VP necessita de obter resultados maiores que 4,0 cP e VF menor que 18 mL. A Tabela 9 apresenta o resultado para essas análises de viscosidade e a Tabela 10 mostra os resultados para as análises de filtrado.

Tabela 9- Resultados das médias das análises de viscosidade aparente e viscosidade plástica no período de 30 dias.

Determinação do minério	VA (cP)	Referência norma N-2604	VP (cP)	Referência norma N-2604
Chocolate- extrusora	30,0	≥ 15	5,0	$\geq 4,0 \text{ cP}$
Chocolate- normal	29,0		5,0	

Chocobofe- extrusora	18,0		5,0
Chocobofe- normal	14,5		5,0
Verde – extrusora	18,0		4,0
Verde – normal	12,0		4,0
Bofe – extrusora	15,0		4,0
Bofe - Normal	11,0		4,0

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

A Tabela 9 apresenta os resultados dos testes de viscosidade aparente e a viscosidade plástica. Vale salientar que apenas a viscosidade aparente sofre influência do uso da extrusora.

Ao observarmos os resultados obtidos, podemos afirmar que todas as amostras processadas via extrusora obtiveram êxito, visto que todas apresentaram melhorias em suas viscosidades aparente quando comparadas com as amostras “normal”, atendendo as especificações da Norma N-2604.

Já para a viscosidade plástica, não há modificação com uso de extrusora, pois essa propriedade não é alterada com o beneficiamento da argila. Sendo assim, todas as amostras obtiveram resultados dentro do especificado pela norma N-2604, apresentando valores iguais ou maiores que 4,0 c.P.

A Tabela 10 mostra os resultados obtidos no experimento de filtrado, na qual é notória a diminuição do volume de filtrado nas amostras processadas com a extrusora, logo a extrusora se mostrou eficiente, fazendo com que todas as amostras estivessem conforme a norma N-2604, além de apresentarem valores de filtrado relativamente menores que as amostras “normal”.

Tabela 10- Resultados das médias das análises de filtrado API no período de 30 dias.

Determinação do minério	Filtrado (mL)	Referência norma N-2605
Chocolate - extrusora	17,2	≤ 18 mL
Chocolate - normal	17,8	
Chocobofe - extrusora	16,6	
Chocobofe - normal	16,6	
Verde – extrusora	17,0	
Verde – normal	19,0	
Bofe – extrusora	17,6	
Bofe - Normal	18,0	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o estudo comparativo da técnica de beneficiamento de bentonita, por meio do processamento laminar e processamento de extrusão, possibilitando o aperfeiçoamento de argilas bentonitas através de análises de parâmetros físico-químicos de qualidade do produto - inchamento, resistência a tração a úmido, viscosidade aparente e volume de filtrado.

Sabendo que o trabalho teve como objetivo analisar a existência ou não de uma efetiva melhoria nas propriedades das argilas para o melhor aproveitamento de todas as argilas disponíveis nas jazidas, podemos afirmar que tal estudo foi de suma importância, pois

permitiu verificar os melhoramentos promovidos pelo uso extrusora no processamento do material produzido, conferindo a ele características físico-químicas melhores.

Com base nas análises realizadas e utilizando as normas, podemos afirmar que o material atende as especificações, estando em conformidade, podendo ser utilizado e vendido pela empresa, assegurando sua qualidade aos seus clientes.

Como sugestão de melhoria, faz-se necessário um estudo do material processado por extrusora a longo prazo, com a finalidade de identificar a durabilidade das características adicionadas ao material pelo uso desse equipamento. Também, torna-se necessária uma supervisão efetiva do processo e o cumprimento das normas e especificações a fim de minimização de erros no processo, garantindo a qualidade do produto.

REFERÊNCIAS

- ABIFA. **Bentonita para fundição**: cemp e-04. CEMP E-04. Disponível em: <https://www.abifa.org.br/cemp/content/normas/E04.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- ABIFA. **Bentonita para fundição-determinação da adsorção de azul de metileno pelo método do pirofosfato de sódio**: cemp 063. CEMP 063. Disponível em: <https://www.abifa.org.br/cemp/content/normas/063.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- ABIFA. **Bentonita para fundição – determinação da compactabilidade da mistura padrão**: CEMP 065. CEMP 065. Disponível em: <https://www.abifa.org.br/cemp/content/normas/065.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- ABIFA. **Bentonita para fundição-determinação do inchamento**: cemp 058. CEMP 058. Disponível em: <https://www.abifa.org.br/cemp/content/normas/058.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- ABIFA. **Bentonita para fundição-determinação do teor de partículas grossas**: CEMP 109. CEMP 109. Disponível em: <https://www.abifa.org.br/cemp/content/normas/109.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- ABIFA. **Bentonita para fundição-determinação da resistência á compressão a verde da mistura padrão**: CEMP 060. CEMP 060. Disponível em: <https://www.abifa.org.br/cemp/content/normas/060.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- ABIFA. **Bentonita para fundição – determinação da resistência à tração a úmido da mistura padrão**: CEMP 062. CEMP 062. Disponível em: <https://www.abifa.org.br/cemp/content/normas/062.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- ABIFA. **Bentonita para fundição-determinação do teor de umidade**. Disponível em: <http://www.tecnofund.com.br/cemp/normas/206.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2022.
- ABIFA. **Bentonita para fundição - preparação da mistura padrão**: CEMP 068. CEMP 068. Disponível em: <https://www.abifa.org.br/cemp/content/normas/068.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- ABIFA. **Corpos de prova – formas e tipos de ensaios**: CEMP e-10. CEMP E-10. Disponível em: <https://www.abifa.org.br/cemp/content/normas/E10.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.

ABREU, S. F. **Recursos minerais do Brasil**, Ed. Edgard Blücher, 2ª ed., São Paulo - SP, v.1, p.324, 1973

BALTAR, C. A. M.; LUZ, A. B.; OLIVEIRA, C. H.; ARANHA, I. B. **Caracterização, ativação e modificação superficial de bentonitas brasileiras. In.: Insumos minerais para perfuração de poços de petróleo.** UFPE/CETEM-MCT, p. 21-46, 2003.

BENTONISA Bentonita do Nordeste S.A. Disponível em: <<https://www.bentonisa.com>>
Acesso em: 22 mar. 2022.

CEMP 29- COMISSOES DE ESTUDOS DE MATERIAS PRIMAS. **CEMP – 63: Bentonita para fundição- Determinação da adsorção de azul de metileno pelo método do pirofosfato de sódio.** ABIFA, 2003.

COELHO, J. M. e JÚNIOR, M.C., **Estudo Prospectivo da Bentonita: Tendências de mercado.** II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste, 2010.

DANTAS, S. M.; **Estudo da remoção dos corantes reativos vermelho bf-4b e amarelo bf-3r 200% usando argila bentonita.** Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, 2020.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, Agência Nacional de Mineração – Ministério de Minas e Energia, **Sumário Mineral**, 2011.

FIGUEIRA, H. V. O., LUZ, A. B. da; ALMEIDA, S. L. M. de. **Tratamento de minérios.** 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 72 p., 2010.

GRIM, R.E., NUVEM, N., **Bentonites: Geology, Mineralogy, Properties and Uses.** Elsevier Scientific Publishing Company, 1978.

LUMMUS, J. L.; AZAR, J. J. **Drilling fluids optimization: a practical field approach.** 1986.

LUZ, A. B. e OLIVEIRA, C.H.; **Bentonita: Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações.** 2. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, p.239-254, 2008.

LUZ, A. B. da e LINS, F. F. **Rochas e Minerais Industriais. Usos e Especificações.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005.

LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A. e NETO, M. A. O. D. **Relatório de viagem aos EUA preparado para o Projeto CTPetro-UFPE/CETEM, RV-10/01** – CETEM, 2001b.

MEIRA, J. **Visa Consultorias**, 2001.

MENEZES, L. C. de M.; **Gestão de Projetos.** – 3. Ed. – São Paulo: Atlas, 2009.

MINÉRIOS, Global. **Bentonita.** Disponível em: <https://www.globalminerio.com.br/bentonita>.
Acesso em: 22 mar. 2022.

NATREB. **Equipamento extrusora**. Disponível em: <<https://natreb.com/produtos/maromba-a-vacuo-mn-2-b/>>. Acesso em: 03 de maio de 2022.

OLIVEIRA, M. L.; **Bentonita. Sumário Mineral DNPM**, p.41-42, 2004.

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.

PETROBRAS. **Ensaio de Viscosificante para Fluido de Perfuração à Base de Água na Exploração e Produção de Petróleo**, Método N-2605, 1998a.

PETROBRAS, **Viscosificante para Fluido de Perfuração à Base de Água na Exploração e Produção de Petróleo**, Especificação N-2604, 1998.

RELATÓRIO TÉCNICO 43: **Perfil Bentonita. Ministério de Minas e Energia – MME**. Agosto de 2009.

ROSS, C.S. e SHANNON, E.V., **Minerals of Bentonite and Related Clays and Their Physical Properties**, Journal of American Ceramic Society, v.9, p.77, 1926.

SOUZA SANTOS. P. de. **Ciência e tecnologia de argilas**. Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo-SP, v. 3, 2ª ed., 1992.

SOUZA SANTOS, P. **Tecnologia de argilas, vol. 1 – fundamentos**, Ed. da USP- Ed. Edgard Blücher Ltda, 1975.

SILVA, A. A.; **Contribuição ao estudo das bentonitas no município de boa vista estado da Paraíba**. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SILVA, A. R. V. e FERREIRA, H. C.; **Argilas bentoníticas: conceitos, estruturas, propriedades, usos industriais, reservas, produção e produtores/fornecedores nacionais e internacionais**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos – REMAP, v.3, p. 26 a 35, 2008.

TEIXEIRA-NETO, E. e TEIXEIRA-NETO, A. A.; **Modificação química de argilas: desafios científicos e tecnológicos para obtenção de novos produtos com maior valor agregado**. Química Nova, v. 32, p. 809-817, 2009.

TONNESEN, D. A.; BERTOLINO, L. C.; LUZ, A. B.; SILVA, F. T.; TIMÓTEO, D. M. O. **Caracterização mineralógica e beneficiamento das bentonitas da região de Cubati e pedra lavrada-pb**. Holos, Rio de Janeiro, v. 1, n. 28, p. 3-8, 2012.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, **U.S. Mineral Commodity Summaries**, Janeiro de 2007.

AGRADECIMENTOS

Consagro este trabalho primeiramente a Deus, Aquele que jamais me abandonou mesmo nos momentos em que desacreditei de tudo, O mesmo nunca desistiu de mim e sempre caminhou ao meu lado, me mostrando que tudo ocorre no momento certo.

Aos meus pais Maria de Lourdes Araujo, um doce de mulher, forte e guerreira, onde seu colo sempre foi o meu melhor lugar, a meu Pai Francisco Assis de Araújo, o homem que mesmo com sua simplicidade me encantou com todo conhecimento que possui.

Agradeço a minha querida irmã Alba de Lourdes Araújo, que é minha segunda mãe me criando em conjunto com minha mãe, que sempre abdicou de sua própria vida por sua família, que sempre acreditou em mim mesmo quando nem eu acreditava, que por diversas vezes não me deixou cair nem desistir, que hoje é uma segunda mãe também para o meu filho, me ajudando para que hoje eu estivesse aqui. Sempre dedicarei todas as minhas vitórias a ti minha irmã. Muito obrigada, mulher maravilhosa!

Agradeço ao meu filho Miguel Araujo Trajano, este menino tão especial, que chegou durante minha graduação, transformando minha vida! Modificou-me de menina para uma mulher, forte, capaz de lutar e vencer qualquer batalha por ele.

Agradeço a todos os meus irmãos que de alguma forma sempre me apoiaram em minha jornada acadêmica.

Agradeço, em especial, a minha professora orientadora Prof. Me. Nataline Cândido da Silva e Barbosa e Coorientadora Prof. Me. Tássila Pereira Neves, pelos seus conselhos que contribuíram para o meu crescimento profissional, pela orientação, estímulo, apoio e empenho no meu crescimento pessoal.

Agradeço aos meus avaliadores Dr. Alisson Castro do Nascimento e Dra. Wanessa Karla Gomes Severo por dedicarem um pouco do seu tempo a melhoria deste TCC e por suas observações propostas.

A UEPB, através da Unidade Acadêmica de Química Industrial, seu corpo docente, direção e administração, que oportunizaram que eu concluísse um curso superior em uma área tão cativante como é a Química Industrial, pela confiança no mérito e ética aqui presentes.

Agradeço a todos os funcionários da empresa BENTONISA- Bentonita do Nordeste S.A. por toda colaboração, carinho e atenção, dedicados a mim para o melhor desenvolvimento deste trabalho, em especial ao senhor José Carlos Oliveira, pois, sem ele este trabalho nunca teria sido concretizado.

Por fim, agradeço todos os professores e colegas eu tive o prazer de conhecer ao longo dessa jornada de conhecimento que carregue comigo.