



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

LUCIANA LEÔNCIO BERTINO CABRAL

**ORGANOFILIZAÇÃO DA VERMICULITA PARA ADSORÇÃO DE SOLVENTES
ORGÂNICOS**

**CAMPINA GRANDE
2014**

LUCIANA LEÔNCIO BERTINO CABRAL

**ORGANOFILIZAÇÃO DA VERMICULITA PARA ADSORÇÃO DE SOLVENTES
ORGÂNICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
(TCC) apresentado como exigência
para obtenção do Título de
Graduada em Química Industrial da
Universidade Estadual da Paraíba –
UEPB.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Maristela
Alves da Silva

CAMPINA GRANDE

É expressamente proibida 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 da dissertação.

C117o Cabral, Luciana Leôncio Bertino.
Organofilização da vermiculita para adsorção de solventes orgânicos [manuscrito] / Luciana Leôncio Bertino Cabral. - 2014.
35 p. : il. color.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.
"Orientação: Profa. Dra. Maristela Alves da Silva, Departamento de Química".

1. Adsorção. 2. Vermiculita. 3. Argila. 4. Solvente orgânico. I. Título.

21. ed. CDD 338.9

LUCIANA LEÔNCIO BERTINO CABRAL

**ORGANOFILIZAÇÃO DA VERMICULITA PARA ADSORÇÃO
DE SOLVENTES ORGÂNICOS**

*Trabalho de Conclusão de Curso
(TCC) apresentado como exigência
para obtenção do Título de
Graduada em Química Industrial da
Universidade Estadual da Paraíba –
UEPB.*

APRESENTADO EM 21 / 11 / 2014.

BANCA EXAMINADORA



Prof.ª Dr.ª Maristela Alves Siva
(Orientadora – DQ/UEPB)



Prof.ª Dr.ª Kaline Rosário Moraes Ferreira
(Examinadora – DQ/UEPB)



Prof.ª MSc Maria da Conceição Nobrega Machado
(Examinadora – DQ/UEPB)

CAMPINA GRANDE – PB
2014

AGRADECIMENTOS

A Prof^a Dr^a Maristela Alves da Silva, a surpreendente experiência de tê-la como minha orientadora, destinada a poucos. Ao seu lado, estamos sempre atentos, observando cada palavra, sabendo que será inovação para nosso conhecimento, por fazer tudo isso com muita paciência e sabedoria, sem achar nada ruim, nos dando uma solução para cada obstáculo.

Ao meu amigo José Kellisson, por suas companhias, ajuda e incentivo no laboratório durante a fase prática.

Aos técnicos Gilson, Fátima, Rodolfo e Ademir, pela contribuição nas realizações das análises e consultas em momentos determinantes da fase experimental.

À Mestranda Jéssyca de Freitas pelo acolhimento, ensinamento, incentivo, confiança, disponibilidade e colaboração em ler, mesmo sem entender e ainda assim ajudar nessa última jornada da minha graduação.

A todos os colegas que adquiri durante a graduação, sendo uns de fundamental importância para meu crescimento pessoal e intelectual, sem esquecer as boas gargalhadas que me fizeram dar.

A todos os professores que de alguma forma me fizeram progredir.

Aos meus familiares, em principalmente, meu marido Francisco Alves, em sua paciência, compreendendo toda minha ausência e me apoiando nessa jornada e em cada projeto que vislumbro. Agradeço por ter participação em minha vida por inteiro.

Ao ser superior que me permite sonhar, conquistar, que me faz evoluir, mesmo na posição de pecadora que sou.

RESUMO

Atualmente, parte das indústrias estão associadas aos desequilíbrios ambientais, estando diretamente ligadas ao uso indevido dos recursos provenientes da natureza. A indústria petrolífera é motivo de grandes preocupações, pois seu processo de exploração, transporte, refino e distribuição de seus derivados envolvem riscos de acidentes, vazamentos e contaminação. Uma alternativa que auxilia no tratamento desses rejeitos a adsorção. As argilas são adsorventes de baixo custo e fácil obtenção, quando natural tem propriedades hidrofílicas, necessitando de um tratamento químico, para adquirir afinidade com solventes orgânicos. Um processo simples e de baixo custo é intercalação de moléculas orgânicas no espaço interlamelar dos argilominerais por cátions de sais quaternários. Neste trabalho as vermiculitas organofílicas foram preparadas utilizando o brometo de cetil trimetil amônio (CTMA-Br). A argila orgânica foi caracterizada por difração de raios X, capacidade de adsorção e inchamento de Foster. Os resultados confirmaram a incorporação do sal na estrutura da vermiculita e quando comparado com outro trabalho realizado com o sal cloreto de cetil trimetil amônio (Genamim), apresentou um comportamento satisfatório.

PALAVRAS-CHAVE: adsorção, argila, solventes orgânicos, vermiculita.

ABSTRACT

Nowadays, parts of the industry are associated with environmental imbalances, being directly linked to the inappropriate use of resources from nature. The oil industry is a reason for great concern, because the process of extraction, transport, refining and distribution of derivatives involves risks of accidents, leaks and contamination. An alternative that helps in the treatment of these rejeitos is adsorption. The clays are adsorbents of the low cost and easy to obtain, while natural has hydrophilic properties, requiring chemical treatment, to acquire affinity with organic solvents. A simple process and low cost is intercalation of organic molecules in the interlamellar space of clay minerals by cations of quaternary salts. In this work the organophilic vermiculite were prepared using the cethyl trimethyl ammonium bromide (CTMA-Br). The organic clay was characterized by x-ray diffraction, adsorption capacity and Foster Swell tests. The results confirmed the incorporation of the salt in the structure of vermiculite and when compared with other work done with salt cethyl trimethyl ammonium chloride (Genamim) showed a satisfactory behavior.

KEYWORDS: Adsorption, Clays, Organic Solvents, Vermiculite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Ilustração da estrutura lamelar da família 2:1.....	15
Figura 2-	Aspecto físico da Vermiculita natural.....	18
Figura 3-	Aspecto físico da Vermiculita natural antes e após tratamento térmico.....	20
Figura 4-	Esquema do processo de organofilização da argila.....	21
Figura 5-	Forma genérica de um sal quaternário de amônia.....	22
Figura 6-	Fórmula molecular do sal CTMA-Br.....	23
Figura 7-	Foto ilustrativa do sistema utilizado no processo de modificação da VMT.....	25
Figura 8-	Diagrama de blocos do processo de organofilização da VMT.....	26
Figura 9-	Difratogramas de raios X da Vermiculita natural após modificação química.....	29
Figura 10-	Inchamento de Foster na amostras de argilas VMT _{NAT} , VMT _{GEM} , VMT _{EXP} , VMT _{CTMA-Br} , na presença dos solventes orgânicos: Gasolina, Diesel e Querosene.....	31
Figura 11-	Capacidade de adsorção das amostras de argilas VMT _{NAT} , VMT _{GEM} , VMT _{EXP} , VMT _{CTMA-Br} , na presença dos solventes orgânicos: Gasolina, Diesel e Querosene.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Principais tipos de argilominerais e suas fórmulas moleculares....	16
Tabela 2-	Alguns tipos de sais e suas fórmulas moleculares utilizados na organofilização de argilas.....	22
Tabela 3-	Considerações adotados pelo LMPSol, para teste de Inchamento de Foster.....	28
Tabela 4-	Resultado do Inchamento de Foster para a VMT_{NAT} , VMT_{EXP} , VMT_{GEM} e da $VMT_{CTMA-Br}$	31
Tabela 5-	Capacidade de adsorção das argilas VMT_{NAT} , VMT_{EXP} , VMT_{GEM} e da $VMT_{CTMA-Br}$	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	Objetivo Geral.....	11
2.2	Objetivos Específicos.....	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1	Impactos Ambientais.....	12
3.2	Adsorção.....	13
3.3	Argilas.....	14
3.3.1	<i>Principais Argilominerais.....</i>	15
3.3.2	<i>Argilas Vermiculitas.....</i>	17
3.3.2.1	<i>Algumas aplicações da Vermiculita.....</i>	19
3.3.2.2	<i>Tratamentos aplicados a Vermiculita.....</i>	20
3.3.2.2.1	Expansão Térmica.....	20
3.3.2.2.2	Homoionização.....	20
3.3.2.2.3	Organofilização.....	20
3.3.2.3	Reagentes utilizados na organofilização de argilas.....	22
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4.1	Local de estudo.....	24
4.2	4.2Reagentes.....	24
4.3	Tratamento na argila Vermiculita.....	24
4.3.1	<i>Obtenção da Vermiculita Homo-sódica.....</i>	24
4.3.2	<i>Obtenção da Vermiculita Organofílica.....</i>	25
4.4	Caracterização das amostras.....	27
4.4.1	<i>Difração de Raios X (DRX).....</i>	27
4.4.2	<i>Inchamento de Foster.....</i>	27
4.4.3	<i>Avaliação da capacidade de adsorção.....</i>	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1	Difração de Raio X.....	29
5.2	Inchamento de Foster.....	30
5.3	Capacidade de Adsorção.....	32
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34

1 INTRODUÇÃO

A crescente utilização de compostos e produtos originados do petróleo acarreta os mais diversos problemas a saúde pública e ao meio ambiente. A emulsão de compostos orgânicos em águas residuais constitui um grave problema em âmbito mundial, Nahhal *et al.*,(2004).

Muitas pesquisas vêm avaliando várias técnicas de tratamento, como precipitação química, troca iônica, degradação biológica, com o objetivo de ajustar as propriedades da água legislação vigente. Nesta perspectiva, materiais adsorventes naturais, que possuam afinidade específica com determinado composto, são utilizados para recuperação de solventes. Dentre os materiais se encontram uma variedade de argilas.

As argilas apresentam aplicações nas mais diversas áreas devido suas importantes propriedades, baixo custo e uma produção excessiva, além de existir uma vasta variedade desse tipo de material. Entretanto, algumas destas aplicações só são possíveis após uma modificação superficial das argilas, Paiva *et al.*, (2008). As argilas organofílicas, apresentam moléculas orgânicas intercaladas entre as camadas estruturais. A modificação destas argilas é comumente relatada na literatura, a partir de sais quaternários de amônio. A inserção de moléculas orgânicas faz com que ocorra expansão entre os planos da argila, e muda sua natureza de hidrofílica para hidrofóbica ou organofílica.

Argilas são materiais naturais, terrosos, de granulação fina e formadas quimicamente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio. São constituídas por partículas cristalinas extremamente pequenas, de um número restrito de minerais conhecidos como argilominerais, podendo conter ainda matéria orgânica, sais solúveis, partículas de quartzo, pirita, calcita, outros minerais residuais e minerais amorfos (SANTOS, 1989).

Neste trabalho a argila vermiculita expandida foi modificada quimicamente com CTMABr e testada em ensaio de adsorção dos compostos gasolina, querosene e diesel. Os resultados mostraram que a argila apresenta potencial para a remoção destes compostos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é modificar quimicamente a argila vermiculita, através do processo de organofilização para utilização como adsorventes de solventes orgânicos.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar beneficiamento físico na argila natural (trituração e peneiramento em malha 80 mesh);
- Realizar modificação química através da homoionização (tratamento com Brometo de Cetiltrimetilamônio – CTMA-Br);
- Fazer ensaios de capacidade de adsorção de solventes orgânicos: Gasolina, Diesel e Querosene;
- Realizar o teste de inchamento de Foster
- Caracterizar a argila.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Impactos ambientais

A Revolução Industrial foi de extrema importância no setor da indústria e evolução no desenvolvimento da economia mundial, no entanto, se produzia sem ter a preocupação com a qualidade do bem adquirido e sem o menor raciocínio sobre as questões ambientais. Esta discussão vem aparecer em meados do século XIX, com a Segunda Revolução Industrial, e daí nasce o entusiasmo e os debates sobre os perigos e os benefícios da “Era Atômica”, neste momento há um avanço significativo tanto na criação de novas tecnologias quanto no melhoramento do processo de fabricação, não esquecendo da explosão de conhecimentos abordados no que se refere a medicina.

A concepção de um mundo sem as comodidades e benefícios oferecidos pela crescente produção de materiais derivados de petróleo, implicaria na total modificação de mentalidade e hábitos da população mundial, logo, a busca para atenuar os desastres causados pela crescente necessidade da sociedade, vem sendo explorada de forma desacelerada.

Os solventes orgânicos, que se enquadram nesta categoria, são sinônimos de desenvolvimento, já que sua descoberta está associada a manufatura de inúmeros bens de consumo, no entanto, as operações de exploração e produção de petróleo e gás natural são potencialmente (e, provavelmente) indutoras de mudanças econômicas, culturais e sociais (MARIANO, 2007). Estas alterações podem ser em:

- Prejuízo ao abastecimento de água no setor industrial, comercial, irrigação, na pesca e doméstico;
- Alterações nas características físico-químicas do solo, água e ar;
- Desenvolvimento de transmissores de doenças;
- Elevação dos custos de tratamento de água e esgotos;
- A poluição do ar provoca a formação de gases naturais, originando riscos de migrações de gás, explosões e até doenças respiratórias.
- Desequilíbrios ecológicos, causando alterações nos processos biogeoquímicos;

- Degradação das paisagens, entre outros (CAVALCANTI, *et al.*, 2010; MARIANO, 2007, MOTA *et al.*, 2009).

Há algumas medidas utilizadas para remediar o problema, tais como equipamentos de separação como coalescedores, sedimentadores por gravidade e flotores com ar dissolvido. Uma outra forma é fertilizar o local coberto de óleo com um preparado destinado a aderir à areia e fornecer nitrogênio e fósforo as bactérias naturais e a adsorção (CAVALCANTI *et al.*, 2010; MARIANO 2007, MOTA *et al.*, 2009).

3.2 Adsorção

A adsorção é um fenômeno físico-químico, baseado na velocidade de transferência de massa, onde o componente em uma fase gasosa ou líquida é transferido para a superfície de uma fase sólida. De acordo com Masel (1996), a migração destes componentes de uma fase para outra tem como força motriz a diferença de concentrações entre o seio do fluido e a superfície do adsorvente. Como o adsorvato concentra-se na superfície do adsorvente, quanto maior for esta superfície, maior será a eficiência da adsorção. Por isso geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas (BORBA, 2006). O objetivo destas operações pode ser de purificação de correntes ou de separação de componentes de uma mistura.

A adsorção pode ocorrer fisicamente ou quimicamente. A adsorção física ou fisiossorção é um fenômeno superficial, em que as moléculas da fase fluida são reversivelmente retidas na superfície de um sólido por forças de Van der Waals, formando uma camada ou multicamadas de moléculas, sendo assim, é importante que os adsorventes proporcionem uma grande área superficial externa e interna associada a estrutura porosa. Estas interações têm um longo alcance, porém são fracas, sendo caracterizadas como interações de natureza puramente eletrostática entre a partícula e os átomos superficiais do sólido (DROGUETT, 1983).

A quimiossorção, corresponde a uma interação de tipo químico, na qual os elétrons de enlace entre as moléculas e o sólido experimentam reordenamento e os orbitais respectivos mudam de forma, de modo similar a uma reação química. Mas nem sempre a alteração eletrônica é completa no sentido dos enlaces químicos

comuns, covalentes ou iônicos; pode ocorrer somente uma modificação ou deformação parcial dos orbitais (DROGUETT, 1983). A entalpia de adsorção química é muito maior que a da adsorção física. Com exceção de alguns casos, a adsorção química é exotérmica e reversível.

Um adsorvente bastante utilizado em escala industrial é a argila. As argilas possuem propriedades que podem ser empregadas como peneiras moleculares, como agentes clarificantes e descolorantes de óleos vegetais e minerais, como suportes catalíticos, como agentes de filtração, como adsorventes de óleos, água e solventes, associados a alta viabilidade técnico-econômico decorrente do seu potencial de adsorção, que associado ao baixo custo, abundância e fácil manuseio (CAVALCANTE *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 2002).

3.3 Argilas

De acordo com Guggenheim e Martin (1995), a definição clássica de argila designa como um material natural, com alta composição de minerais de baixa granulometria que apresenta plasticidade em teores de água apropriados, além dos minerais uma argila pode ser composta por matéria orgânica, sais solúveis, partículas de quartzo, pirita, calcita, outros minerais residuais e minerais amorfos. Fases associadas na argila podem incluir materias que não apresentem plasticidade e matéria orgânica.

São provenientes da decomposição, durante milhões de anos, das rochas feldspáticas. Estes materiais são encontrados de forma abundante na superfície da Terra e são constituídos por materias finamente divididos, dentre eles, uma classe se destaca, chamada de argilominerais (WANDERLEY, 2010).

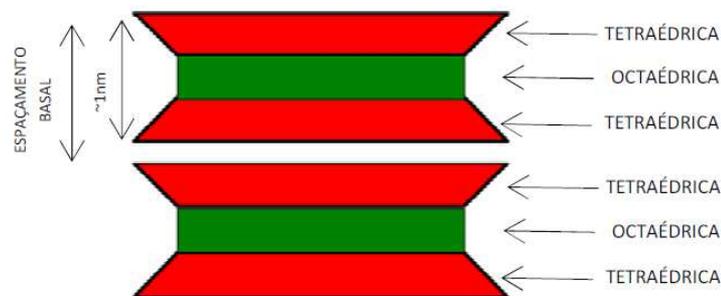
Os minerais constituintes das argilas são os argilominerais, sendo os mesmos silicatos hidratados que possuem estruturas em camadas constituídas por folhas contínuas formadas por tetraedros de silício (ou alumínio) e oxigênio, e folhas por octaedros de alumínio (magnésio ou ferro), oxigênio e hidroxilas. Esses argilominerais são compostos por oxigênio, silício, alumínio, ferro, magnésio, potássio e sódio. Sendo classificados em grupos de acordo com o arranjo tridimensional das esferas de coordenação (GUERRA, 2006; CAVALCANTI *et al.*, 2010).

A composição mineralógica, distribuição granulométrica das partículas, a natureza e o teor em eletrólitos dos cátions trocáveis e sais solúveis, a natureza e o teor de componentes orgânicos e as características texturais das argilas são os fatores que controlam as propriedades das mesmas (BARBOSA *et al.*, 2006).

3.3.1 Principais argilominerais

Como os argilominerais são bem semelhantes, tanto em sua composição química como em sua estrutura cristalina, existe uma divisão em grupos e, de acordo com a forma pela qual as folhas tetraédricas estão ligadas às octaédricas, é realizada a divisão em famílias. Quando as camadas do argilomineral compreende uma folha de octaedro e uma folha de tetraedro, este argilomineral é denominado 1:1. Da mesma forma, quando as camadas compreendem uma folha de octaedro e duas folhas de tetraedros, sua denominação é 2:1. A figura 1 exemplifica uma estrutura lamelar 2:1 (WANDERLEY, 2010).

Figura 1- Ilustração da estrutura lamelar da família 2:1



Fonte: WANDERLEY, 2010

Na Tabela 1, estão os tipos mais comuns da classe dos silicatos lamelares.

Tabela 1: Principais tipos de argilominerais e suas fórmulas moleculares.

Família	Grupo	Argilominerais	Fórmula molecular
1:1	Caulinita	Caulinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
		Haloisita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$
1:1	Serpentina	Amesita	$[Mg, Fe^{II}]_2Al(SiAl)O_5(OH)_4$
		Antigorita	$Mg_{2,8235}Si_2O_5(OH)_4$
2:1	Esmectita	Montmorilonita	$Na_{0,4}(Al_{1,6}Mg_{0,4})Si_4O_{10}(OH)_2$
		Saponita	$Na_{0,4}Mg_3(Si_{3,6}Al_{0,4})O_{10}(OH)_2$
		Hectorita	$Na_{0,4}(Mg_{2,6}Li_{0,4})Si_4O_{10}(OH)_2$
2:1	Micas	Moscovita	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$
	hidratadas	Flogopita	$KMg_3(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$
2:1	Vermiculita	dioctaédrica	$K_{0,8}Al_2(Si_3,Al_{0,8})O_{10}(OH)_2$
		trioctaédricas	$K_{0,8}(Mg_{2,5}Fe_{0,5}^{III})(Si_{2,7}Al_{1,3})O_{10}(OH)_2$

Fonte: adaptado, WANDERLEY, 2010; ESSINGTON, 2003.

As caulinitas são constituídas por uma camada de tetraedros de silício e outra de octaedros de alumínio (**Tabela 1**), por isso é 1:1, seu espaçamento basal é de 7,2 Å. A má cristalização desse tipo de argilomineral se dá pela desordenação estrutural ao longo do eixo cristalográfico Y, possui uma pequena capacidade de troca de cátions na ordem de 3 a 15meq/g de argila, além disso sua área de exposição é bastante pequena, e suas partículas apresentam tamanhos grandes, sendo o suficiente para a reduzida capacidade adsortiva de cátions (BRADY, 1989; MONIZ, 1975).

Em contraste com outros grupos silicatados, são muito resumidas as características de plasticidade, coesão, contração e dilatação, indicando que a caulinita não apresenta propriedades coloidais em grau elevado de intensidade. Já a haloisita se hidrata irreversivelmente, mesmo a temperatura ambiente, o que reduz seu espaçamento basal de 10 para 7,2 Å (BRADY, 1989; MONIZ, 1975)

O grupo da serpentina têm ocorrência limitada e, não sendo encontrados fazendo parte dos solos, seu espaçamento basal é de 7,2 Å e com estrutura semelhante as caulinitas, a tabela 1, mostra que elas se diferem na substituição dos íons de Mg^{+2} por dois íons de Al^{3+} , não deixando posição desocupada na camada octaédrica (BRADY, 1989; MONIZ, 1975).

As esmectitas são notáveis pela expansão no perimeio das camadas, o que ocorre mediante distensão dos minerais quando molhados, em que a água penetra entre as lamelas da argila, forçando-as e apartando-as. Por outro lado, estas

camadas são facilmente retidas entre si, por ligaduras de oxigênio-oxigênio e de oxigênio-cátion. Montmorilonita é o membro predominante deste grupo de solos (BRADY, 1989; MONIZ, 1975).

A superfície interna deste grupo é muito grande, na ordem de 700 a 800 m²/g, comparando com a caulinita que é de 15m²/g. As esmectitas possuem elevada capacidade de permuta de cátions, entre 10-15 vezes a da caulinita, sua elevada plasticidade, coesão, contração na secagem e partículas extremamente pequenas, dá um certo destaque as esmectitas (BRADY, 1989; MONIZ, 1975).

As micas são minerais não expansíveis, de granulação finas, possuem cristal do tipo 2:1, área específica em cerca de 80m²/g. Porém suas partículas são muito maiores que as esmectitas e a principal fonte de carga está na lâmina tetraédrica, esta substituição produz um deficit de uma carga, que é neutralizada pela presença de íons de potássio, sódio ou cálcio, fortemente retidos entre as camadas estruturais. Por isso, o potássio atua como agente aglutinador, evitando expansão do cristal (BRADY, 1989; MONIZ, 1975).

As vermiculitas possuem características estruturais semelhantes às esmectitas, em se tratando da lâmina octaédrica, que se posiciona entre duas lâminas tetraédricas. As substituições isomorfas da vermiculita produzem um deficit de cargas 0,5, o qual origina uma capacidade de troca de 150meq/g de argila, excedendo a de outras argilas silicatadas. Os cristais desse grupo são maiores do que os da montmorilonita, e muito menores do que os da caulinita (BRADY, 1989; MONIZ, 1975).

3.3.2 Argila Vermiculita

A vermiculita existe em abundância no Brasil, com reservas localizadas nos estados do Piauí, Goiás, Paraíba e Bahia. Os minérios brasileiros não contêm asbestos, o que confere aos concentrados deste argilo mineral maior valor agregado, além de um maior aproveitamento econômico do bem mineral (GOMES *et al.*, 2010; UGARTE *et al.*, 2005). A figura 2 ilustra o aspecto físico da vermiculita natural.

Figura 2: Aspecto físico da Vermiculita natural



Fonte: CURBELO,2002

A vermiculita é um silicato hidratado de forma lamelar, contendo quantidades variáveis de ferro, magnésio, potássio e alumina, separando-se em finas lamelas flexíveis, porém sem elasticidade, com cores variando do bronze ao amarelo-amarronzado, com brilho perolado típico. Sua dureza pode variar de 2,1 à 2,8 na escala Mohs, e a massa específica é de $2,5\text{g/cm}^3$. Este tipo de argila apresenta uma elevada capacidade de troca catiônica (CTC) na ordem de 100-150 meq/100g e baixa densidade (UGARTE *et al.*, 2005; MONIZ, 1975).

De acordo com Brady (1989), a vermiculita é considerada um argilo mineral de expansão limitada, pois as moléculas de água juntamente com magnésio e outros íons são fortemente adsorvidos nos espaços entre suas camadas, porém agem mais como pontes que retêm do que como cunhas que as separam. Por isso, o grau de dilatação é consideravelmente menor, quando comparadas com as esmectitas. Entretanto, é observado que ao submetê-la a aquecimento com altas temperaturas (entre 800 e 1100°C), este tipo de argila se expande, aumentando seu volume em até 40 vezes (UGARTE *et al.*, 2005).

Suas propriedades de superfície, somando aos elevados valores de área superficial específica, porosidade e carga superficial (negativa), fazem da vermiculita um excelente adsorvente, no entanto, estas características podem ser melhoradas, agregando maior qualidade e adequando múltiplas aplicações ao material (UGARTE *et al.*, 2005).

Também se trata de silicatos de natureza hidrofílicos, para que esta propriedade seja alterada os cátions hidratados das intercamadas devem ser trocados, tornando-os organofílicos. Essas argilas modificadas têm energia superficial

menor e uma maior distância intercamadas. Dependendo da densidade de carga iônica da argila e do íon sulfactante alquilamônio, torna-se possível diversos arranjos deste íon. Desta maneira, quanto maior for o tamanho das cadeias do sulfactante e a densidade de carga da argila, maiores serão as distâncias entre as camadas da argila, obtendo com isso, o poder de adsorção (GOMES *et al.*, 2010).

3.3.2.1 Algumas aplicações da vermiculita

Os principais usos da vermiculita estão na agricultura, na construção, na horticultura, na indústria. No Brasil, seu uso é fundamental como cortiça mineral para isolantes térmicos, revestimento, isolante térmico para tubulações industriais, argamassa para pré fabricação de tijolos, placas e blocos refratários isolantes, isolante acústicos e térmicos para aplicação de pistola pneumática, filtros para máscaras de proteção, como condicionador e retentor de água, entre outros (CURBELO, 2002).

Este material apresenta uso crescente em diversas aplicações como em fertilizantes, catalisadores, areias de fundição, tijolos refratários, agentes descolorantes e clarificantes de óleos e gorduras, tintas, agente de filtração, cargas para polímeros e elastômeros, papel, são também excelentes adsorventes. Isso ocorre pela variedade de argilas existentes e por suas propriedades apresentadas, como inchamento, adsorção, propriedades reológicas e coloidais, plasticidade, entre outras. Porém, algumas destas aplicações só são possíveis a partir de um tratamento para modificação superficial das argilas, gerando novos materiais e novas utilizações (PAIVA *et al.*, 2008).

3.3.2.2 Tratamentos aplicados a Vermiculita

3.3.2.2.1 Expansão térmica

É o processo em que as moléculas de água são aquecidas, de forma rápida, sob alta temperatura, para eliminar a água quimicamente ligada, transformando-se em correntes de ar quente e provocando aumento no volume do mineral. A

expansão térmica confere ao produto múltiplas aplicações na construção civil, na agricultura, indústrias químicas de tintas, etc (UGARTE *et al.*, 2005).

Na forma expandida, este material é quimicamente ativo, biologicamente inerte, possui baixa densidade e baixo valor de condutividade térmica. Sua aparência física se modifica para algo parecido com sanfonas como pode ser observado na figura 3.

Figura 3 – Aspecto físico da vermiculita natural, antes e após tratamento térmico



Fonte: UGARTE *et al.*, 2005

3.3.2.2.2 Homoionização

É sabido da grande variedade de íons presente na argila, este tratamento é necessário para deixar o material com uma menor variedade de íons, quando a troca é realizada com sódio, o objetivo é torna-lá hidrofílica, adsorvendo água na forma de esferas de hidratação dos cátions Na^+ intercalados (LEITE *et al.*, 2008).

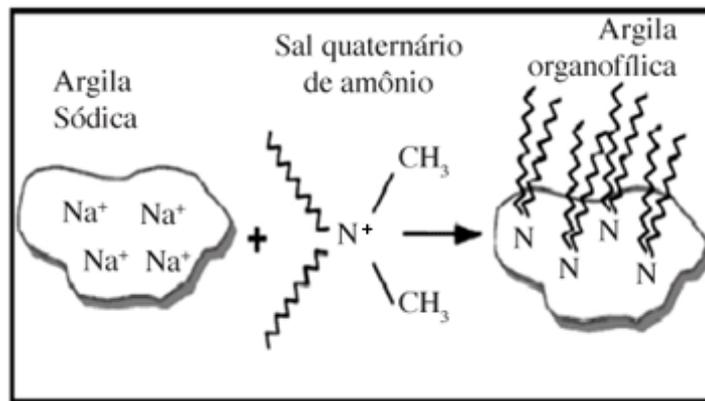
3.3.2.2.3 Organofilização

É um processo químico que resulta em argilas que contendo moléculas orgânicas intercaladas entre as camadas estruturais. A inserção dessas moléculas faz com que ocorra expansão entre os planos $d(001)$ da argila, e muda sua natureza hidrofílica para hidrofóbica. Tem o objetivo de melhoria das propriedades mecânicas, físicas (térmicas e de barreiras) e químicas. São bastante utilizadas na substituição de cargas convencionais como talco, fibra de vidro, carbonato de cálcio, tendo como

melhoria a propriedade de impacto, de peso e redução de custo. Também tem uma alta capacidade de remover contaminantes hidrofóbicos de soluções aquosas e por isso são agentes promissores no controle ambiental e na redução de lixiviação, fotodegradação e volatilização de herbicidas (PAIVA *et al.*, 2008).

As argilas organofílicas podem ser sintetizadas a partir das argilas na forma homosódica, e pela adição de sais quaternários de amônio como mostra a Figura 4. Nesta dispersão aquosa, as partículas encontram-se em elevado grau de delaminação, isto é, separadas uma das outras e não empilhadas, facilitando a introdução dos compostos orgânicos (BARBOSA *et al.*, 2006).

Figura 4: Esquema do processo de organofilização da argila



Fonte: LEITE et al, 2008

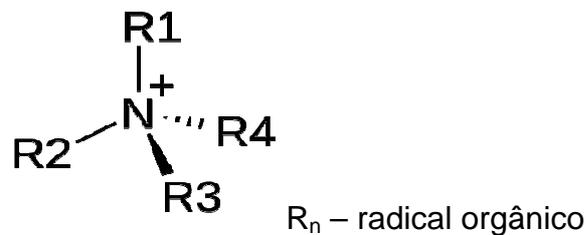
Após a troca catiônica, as argilas apresentam a propriedade de incharem, solventes orgânicos, combinado as altas áreas superficiais, a inserção de algumas moléculas orgânicas ou cátions metálicos trocáveis, torna as argilas passíveis e um caráter organofílico bastante elevado, seu poder de adsorção aumenta substancialmente. O tipo de argila sódica, o tipo do sal quaternário de amônio e o processo de obtenção da argila organofílica irão definir os solventes orgânicos nos quais as argilas irão inchar (BARBOSA *et al.*, 2006; LEITE *et al.*, 2008).

3.3.2.3. Reagentes utilizados na organofilização de argilas

Os compostos orgânicos mais utilizados para tal procedimento são os sais quaternários de amônio de cadeia longa (Figura 5). Estes sais são produzidos a partir de aminas de cadeias longas, são responsáveis pelas transformações das

argilas naturais em organofílicas, introduzindo a hidrofobicidade, que por sua vez são industrializadas a partir de ácido graxos, extraídos de óleos e gorguras naturais como tallow (sebo), coco e dendê (LEITE *et al.*, 2008; PAIVA *et al.*, 2008).

Figura 5: Forma genérica de um sal quaternário de amônia



Fonte: site/scientiaestpotentiaplus

Geralmente estes sais estão na forma de cloretos ou brometos, conforme listados na Tabela 2.

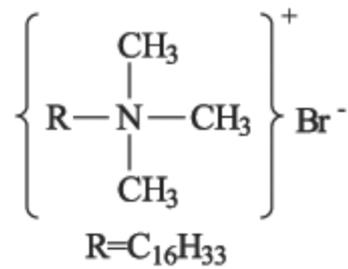
Tabela 2 - Alguns tipos de sais e suas fórmulas moleculares, utilizados na organofilização de argilas

Sal quaternário	Fórmula Química
Haleto de diestearil dimetil amônio	$[(CH_3)_2(C_{18}H_{37})_2N^+]X^-$
Haleto de dialquil dimetil amônio	$[(CH_3)_2(R_2N^+)X^-$
Haleto de alquil benzil dimetil amônio	$[(CH_3)_2(CH_2C_6H_5)RN^+]X^-$
Haleto de alquil dimetil hidroxietil amônio	$[(CH_3)_2(C_{18}H_{37})(C_2H_4OH)N^+]X^-$
Haleto de alquil trimetil amônio	$[(CH_3)_3RN^+]X^-$
Haleto de cetil trimetil amônio	$(C_{12}H_{33}N^+(CH_3)_3X^-$

Fonte: PAIVA *et al.*, 2008

O CTMA-Br (Figura 6), é um sal quaternário de amônio, na qual foi utilizado neste trabalho para realizar a organofilização da argila vermiculita, pois o mesmo promoveu um aumento da distância interplanar da argila, aumentando também a compatibilidade do adsorvente com os solventes orgânicos.

Figura 6: Fórmula molecular do CTMA-Br



Fonte: BARBOSA et al., 2006

Além dos sais citados acima, outros sais orgânicos são utilizados para tal modificação, no entanto, seus estudos são bem isolados, refletindo em um pequeno avanço nas pesquisas. Dentre estes compostos estão os surfactantes não-iônicos, éteres coronários, criptantes, 2-aminopirimidina, sais derivados de imidazole, alcoóis, aldeídos, n-alquil pirrolidonas, anidrido maleíco, pentaeritrato, sais de fosfonio, silanos e também os sais de anilina (PAIVA *et al.*, 2008).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local de estudo

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Pesquisa e Ciências Ambientais (LAPECA) no CAMPUS I, da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

4.2 Reagentes

Foram utilizados para a presente pesquisa, os seguintes reagentes:

- Cloreto de Sódio P.A (VETEC)
- Brometo de cetiltrimetilamônio (CTMA-Br)
- Nitrato de Prata 0,1 M

4.3 Tratamento na Argila Vermiculita

A argila vermiculita expandida utilizada neste trabalho foi proveniente do município de Santa Luzia – Paraíba.

4.3.1 *Obtenção da Vermiculita Homo-sódica*

O procedimento foi realizado em bateladas, utilizando-se um sistema composto por balão de fundo redondo, com condensador acoplado, conforme mostra a Figura 7. No balão foram adicionados solução de cloreto de sódio à 1 molar, com uma razão de 1g de argila para 400mL de solução. O sistema fora aquecido por banho de óleo, a uma temperatura de 50°C, por um período de 72 horas, ocorrendo a troca de solução de cloreto de sódio a cada 24 horas. Posteriormente, o produto foi submetido a centrifugação (30 min a 3500 rpm) com água destilada até total remoção dos ânions cloretos (realizou-se teste de cloreto com solução de Nitrato de Prata). A secagem foi realizada em uma estufa, a uma temperatura de 60°C, por 24 horas, depois foi macerada e separada em uma peneira de 80 mesh.

Figura 7: Foto ilustrativa do sistema utilizado no processo de modificação da VMT.



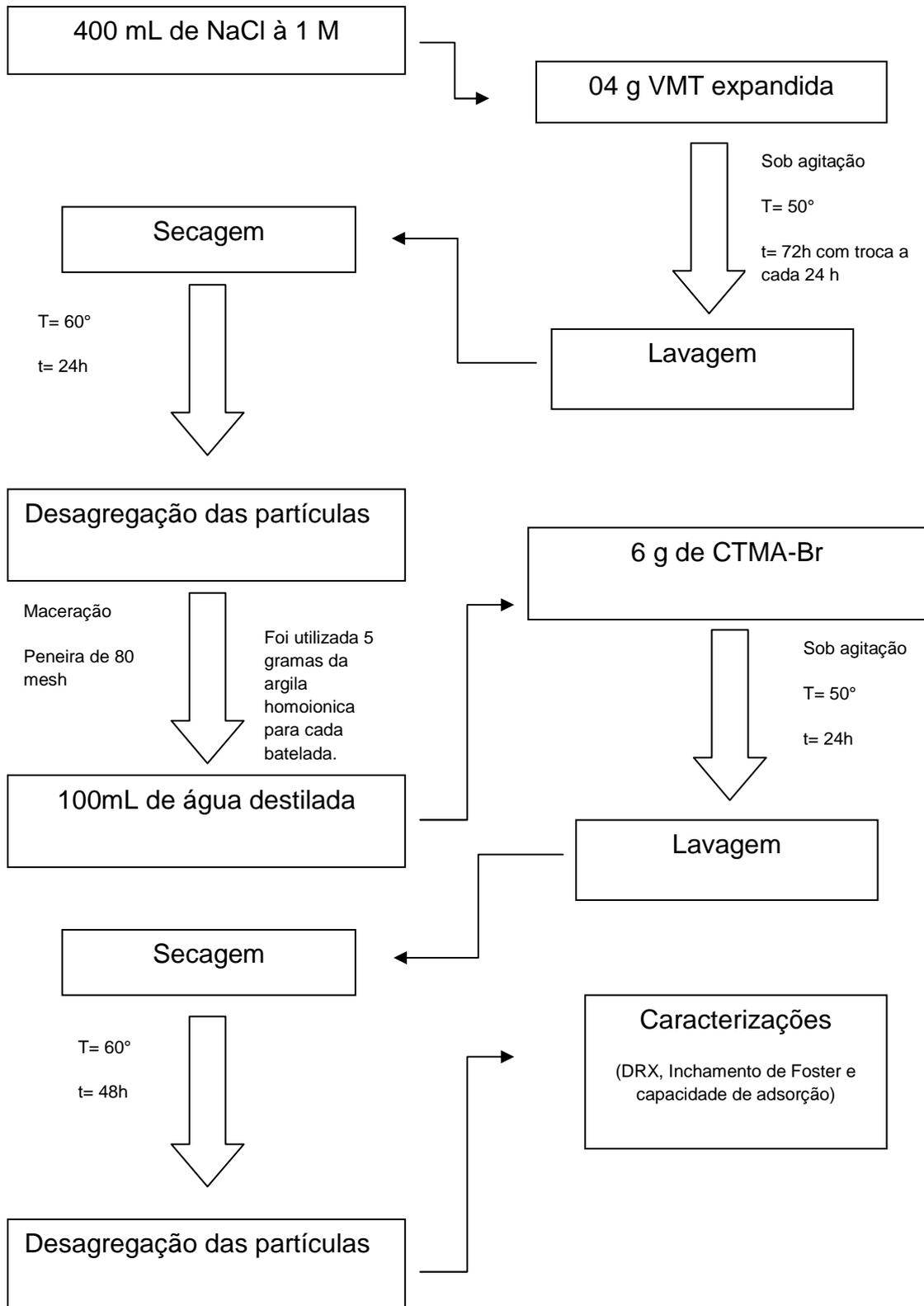
Fonte: própria

4.3.2 Obtenção da Vermiculita Organofilizada

A argila sódica, foi submetida a organofilização com o sal quaternário de amônio (Brometo de cetiltrimetilamônio – CTMA-Br) da seguinte forma: 15 gramas de vermiculita homo-sódica foram adicionadas em 100 mL de água destilada em um balão de fundo redondo, permanecendo por 24 horas, á temperatura de 50°C e em seguida foram acrescentados 06 gramas de CTMA-Br. Decorrido o tempo necessário para substituição dos cátions (24 horas), foi realizada a lavagem com água destilada (seguindo o mesmo procedimento da etapa anterior), e o material secou a uma temperatura de 60°C, por 48 horas.

O esquema utilizado na preparação da argila organofílica se encontra na figura 8.

Figura 8: Diagrama de blocos do processo de organofilização da VMT



4.4 Caracterização das Amostras

Os métodos utilizados para tal avaliação foram: a difratometria de raios X (DRX), inchamento de Foster e a Capacidade de adsorção.

4.4.1 Difração de Raios X (DRX)

A difratometria de raios X fornece as informações mais básicas e importantes na caracterização de sólidos cristalinos, através deste método é possível obter a distância entre planos basais sucessivos, analisando o grau de intercalação da argila na presença do sal.

O aparelho utilizado para esta caracterização possui radiação $\text{CuK}\alpha$, tensão de 40KV, corrente de 30mA, tamanho do passo de 0,020 2θ e tempo por passo de 1,000s, com velocidade de $2^\circ (2\theta)/\text{min}$, com ângulo 2θ percorrido de 2 a 50° .

4.4.2 Inchamento de Foster

Este ensaio foi realizado de acordo com o procedimento baseado no Standard Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners (ASTM D 5890-95), ao qual consiste em adicionar lentamente 1g de argila em uma proveta de 100mL, contendo 50mL do solvente estudado. O sistema é deixado em repouso por 24 horas, medindo-se o volume ocupado pela argila (sem agitação). Logo após, agitou-se o conteúdo da proveta, com um bastão de vidro, por 5 minutos, deixando novamente em repouso. Decorrido 24 horas, realizou-se a leitura do volume ocupado pela argila (inchamento com agitação). Os solventes orgânicos testados foram: gasolina comercial (TEXACO), Diesel comercial (TEXACO) e querosene.

Para verificação dos resultados do teste de inchamento de Foster, faz-se necessário as avaliações apresentadas na Tabela 3, seguindo os padrões utilizados pelo Laboratório de Materias-Primas Particuladas e Sólidas Não Metálicos (LMPSol) da Escola Politécnica da universidade de São Paulo (EPUSP).

Tabela 3: Considerações adotadas pelo LMPSol, para teste de inchamento de Foster

Inchamento	Faixa (mL/g)
Não Inchamento	Igual ou inferior a 2
Baixo	3 a 5
Médio	6 a 8
Alto	Acima de 8

Este teste permite verificar o quanto a argila se dispersa e incha em compostos orgânicos, avaliando a afinidade do sal quaternário de amônio com as moléculas dos solventes testados.

4.4.3 Avaliação da Capacidade de Adsorção.

Esta avaliação tem como referencia o Standard Methods of Testing Sorbent Performance of Adsorbents, através das normas ASTM F716-82 e ASTM F729-99.

Em um béquer de 250 mL foi adicionado o solvente a ser testado até uma altura de 2 cm. Foi colocado 1 g da amostra a ser testada, em uma cesta (de tela de aço inoxidável com malha 200 mesh, abertura de 0,075mm). Pesaram-se a tela e o adsorvente. Introduziu-se este conjunto ao béquer com solvente. Esperou-se 15 minutos, tempo necessário para o contato entre o adsorvente e o solvente e, também, o tempo para o escoamento que fora de 15 segundos. E realizou-se uma nova pesagem.

A quantidade de solvente adsorvido foi calculado a partir da equação 1.

$$Ad = (P_1 - P_2) \quad (1)$$

Onde:

P₁: peso do material após adsorção

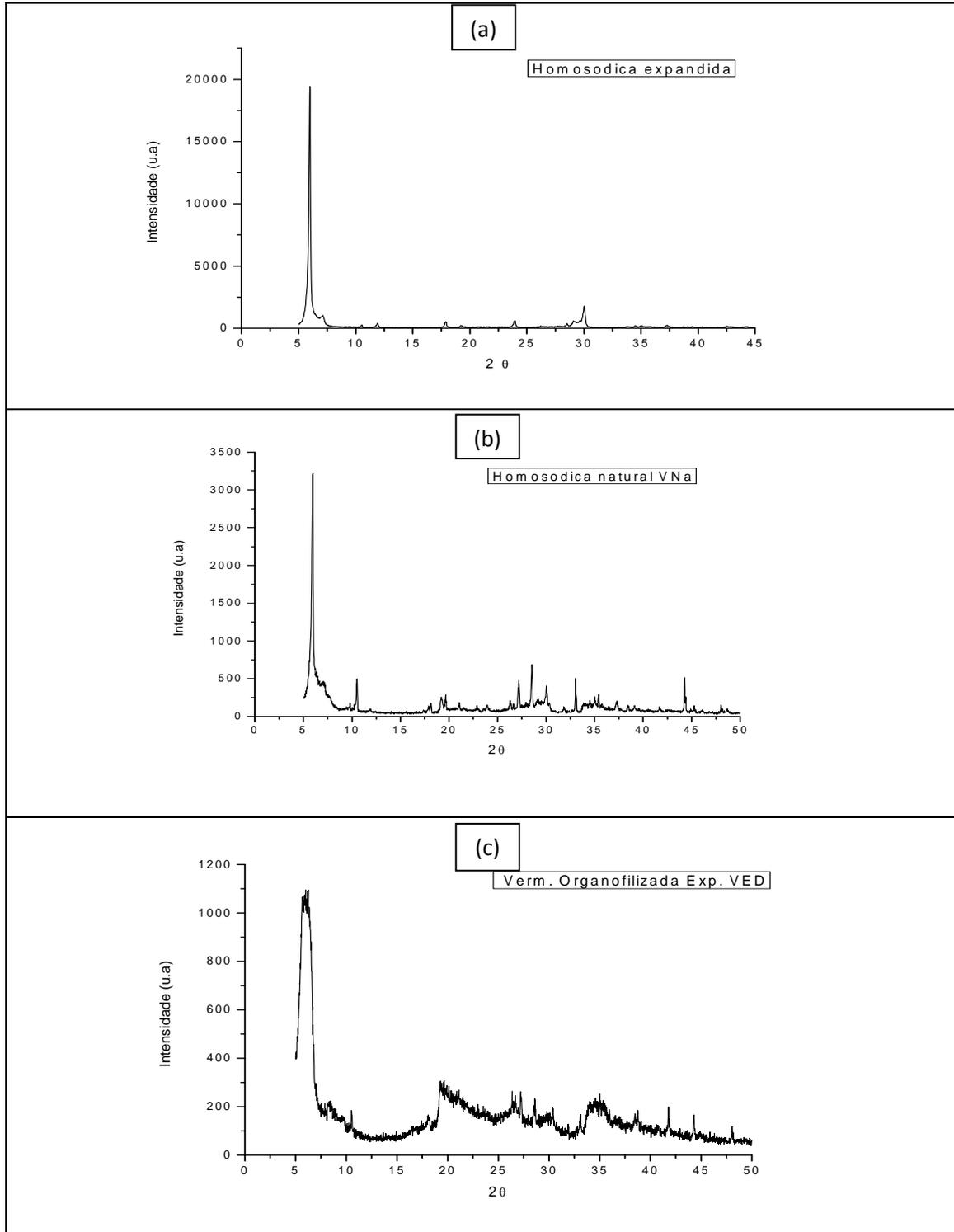
P₂: peso do material adsorvente seco

Ad: eficiência da adsorção para o fluido e o adsorvente testado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Difratometria de Raios X

Figura 9 – Difratomogramas de raios X da vermiculita natural após modificação química.



Os difratogramas da argila vermiculita natural, sódica e organofilizada com o sal quaternário de amônio (CTMA-Br), estão apresentados nas Figuras 9a, 9b e 9c. De acordo com os valores obtidos dos espaçamentos basais é possível verificar e comparar a variação do pico característico de uma argila natural e de uma argila organofílica. O valor do espaçamento basal adquirido varia de acordo com o tipo, concentração e orientação do sal quaternário de amônio empregado na metodologia de preparação, Paiva et al., 2008. Neste caso, observa-se pela figura 9c que o processo de organofilização obteve êxito, pois houve modificação na intensidade dos picos, assim como um pequeno deslocamento do pico principal.

5.2 Inchamento de Foster

De acordo com os resultados apresentados na Figura 10 e na Tabela 4, verificou-se que a afinidade do sal quaternário CTMA-Br com as moléculas orgânicas da gasolina apresentou melhor resultado, tanto para o sistema com agitação quanto para o sistema sem agitação. Com relação aos demais solventes observa-se:

- O não inchamento para as amostras de VMT_{NAT}^* e VMT_{EXP}^{**} , o resultado se repete em todos os solventes estudados, bem como, para os sistemas com agitação e sem agitação.
- VMT_{GEM} e $VMT_{CTMA-Br}$, para o querosene sem agitação expressou um baixo inchamento.
- A faixa de médio inchamento foi possível notar com as amostras de VMT_{GEM}^{***} na presença do diesel e da gasolina com e sem agitação, bem como, o querosene com agitação.
- $VMT_{CTMA-Br}$ sem agitação associado ao diesel e o querosene com a mesma amostra, também se aplica na faixa de médio inchamento.
- Além da gasolina a $VMT_{CTMA-Br}$, expressou um excelente desempenho quando combinado com o diesel, com agitação, sendo este enquadrado na faixa de alto inchamento.

* Dado retirado da literatura, SILVA et al., (2014).

** Dados retirado da literatura, SILVA et al., (2014).

*** Dados retirado da literatura SILVA et al., (2014).

Também é possível observar que para todas as amostras, o sistema com agitação se mostrou mais satisfatório. Isso se dá pelo maior contato superficial do solvente com o adsorvente.

Tabela 4: Resultados do Inchamento de Foster da argila VMT_{NAT} , VMT_{EXP} , VMT_{GEM} e da $VMT_{CTMA-Br}$

SOLVENTES	VMT_{NAT}		VMT_{EXP}		VMT_{GEM}		$VMT_{CTMA-Br}$	
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A
GASOLINA	2,00	2,00	4,00	5,00	7,00	8,00	8,75	10,75
DIESEL	2,00	2,00	2,00	3,00	6,00	6,00	6,00	9,67
QUERESENE	2,00	2,00	2,00	2,50	5,00	6,00	4,00	7,00

Legenda:

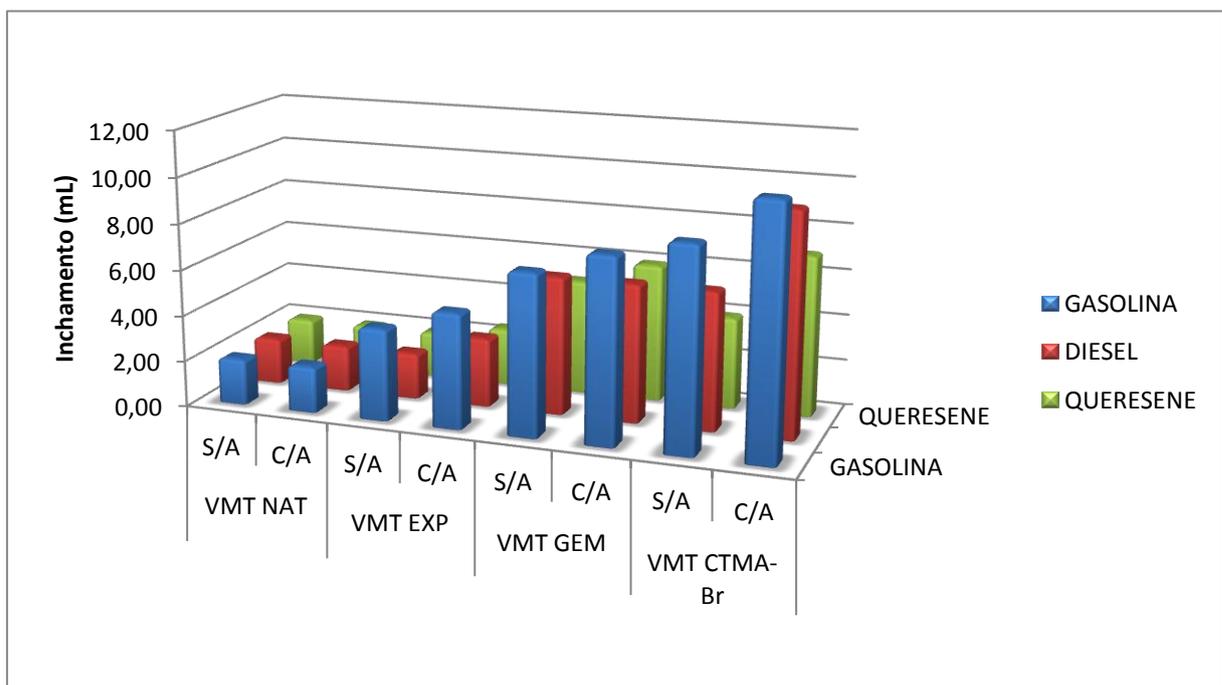
VMT_{NAT} : argila Vermiculita sem tratamento

VMT_{EXP} : argila Vermiculita expandida

VMT_{GEM} : argila Vermiculita tratada com sal Genamim

$VMT_{CTMA-Br}$: argila Vermiculita tratada com sal CTMA-Br

Figura 10 - Inchamento de Foster nas amostras de argilas VMT_{NAT} , VMT_{EXP} , VMT_{GEM} e da $VMT_{CTMA-Br}$, na presença dos solventes orgânicos Gasolina, Diesel e Querosene.



Legenda:

C/A: sistema com agitação

S/A: sistema sem agitação

VMT_{NAT}: argila Vermiculita sem tratamento

VMT_{EXP}: argila Vermiculita expandida

VMT_{GEM}: argila Vermiculita tratada com sal Genamim

VMT_{CTMA-Br}: argila Vermiculita tratada com sal CTMA-Br

5.3 Capacidade de Adsorção

A partir dos resultados expostos na Tabela 5 e na Figura 11, constatou-se que a organofilização com o sal orgânico CTMA-Br obteve um melhor resultado para os solventes gasolina e diesel, quando comparados com o sal Genamim.

É notório que a capacidade de adsorção na VMT_{NAT} e na VMT_{EXP}, é praticamente irrelevante, confrontado com as demais amostras.

Tabela 5 - Capacidade de adsorção das argilas VMT_{NAT}, VMT_{EXP}, VMT_{GEM} e da VMT_{CTMA-Br}

SOLVENTES	VMT _{NAT}	VMT _{EXP}	VMT _{GEM}	VMT _{CTMA-Br}
GASOLINA	1,34	1,07	1,35	3,94
DIESEL	1,31	1,38	2,43	2,57
QUEROSENE	1,17	1,18	2,48	2,08

Legenda:

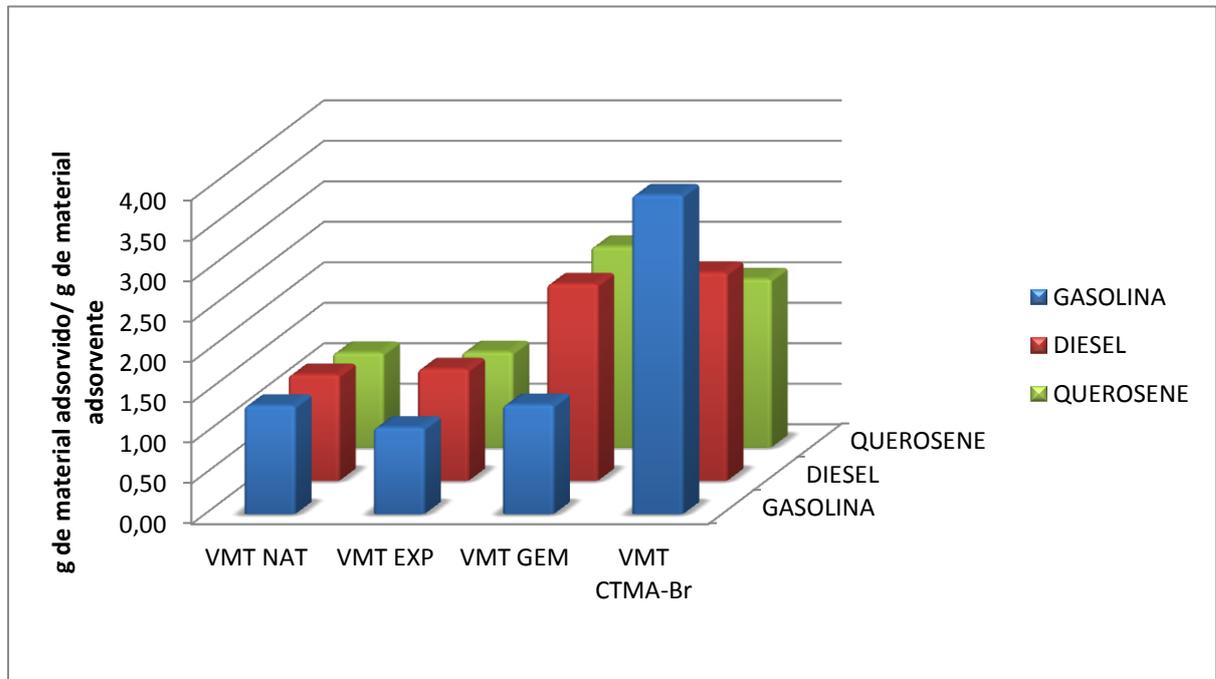
VMT_{NAT}: argila Vermiculita sem tratamento

VMT_{EXP}: argila Vermiculita expandida

VMT_{GEM}: argila Vermiculita tratada com sal Genamim

VMT_{CTMA-Br}: argila Vermiculita tratada com sal CTMA-Br

Figura 11 - Capacidade de adsorção das amostras de VMT_{NAT}, VMT_{EXP}, VMT_{GEM} e da VMT_{CTMA-Br}, na presença dos solventes orgânicos Gasolina, Diesel e Querosene



Legenda:

VMT_{NAT}: argila Vermiculita sem tratamento

VMT_{EXP}: argila Vermiculita expandida

VMT_{GEM}: argila Vermiculita tratada com sal Genamim

VMT_{CTMA-Br}: argila Vermiculita tratada com sal CTMA-Br

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo baseou-se na substituição dos cátions inorgânicos pelos cátions sódio e em seguida pelos cátions amônio quaternários nas regiões de intercadas.

Com os resultados obtidos nas análises realizadas, foi possível perceber que:

- A difratometria de raios X comprovou a não modificação da estrutura da argila, confirmando a acomodação das longas cadeias do sal nas camadas 2:1 do argilomineral estudado.
- Com o resultado da capacidade de adsorção é possível observar que a amostra organofilizada com o sal CTMA-Br tem melhor potencial para a gasolina e o diesel, quando comparadas com os resultados das demais amostras.
- O inchamento certifica que a argila organofilizada com o sal quaternário de amônio CTMA-Br, apresentou maior afinidade no solvente gasolina, para o sistema com e sem agitação enquanto que a argila preparada com o sal Genamim apresentou maior afinidade com o solvente Diesel para o sistema sem agitação.

Ficou comprovado que o sal utilizado para inserir moléculas orgânicas na estrutura da argila Vermiculita apresenta um comportamento satisfatório para o processo, resultando na comprovação da hidrofobicidade das argilas organofílicas sintetizadas, pois estas se dispersaram e incharam nos compostos orgânicos estudados.

Frente ao processo de organofilização, obteve-se materiais com características organofílicas, comprovadas a partir de difração de raios X, bem como a comprovação da melhor eficiência no poder adsortivo deste material.

7 REFERÊNCIAS

BARBOSA, R.; ARAÚJO, E. M., OLIVEIRA, A. D. de; MELO, T. J. A. **Efeitos de sais quaternários de amônio na organofilização de uma argila bentonita nacional.** Cerâmica, v. 52, p. 264-268 (2006).

BARBOSA, R.; ARAÚJO, E. M.; MAIA, L. F.; PEREIRA, O. D.; MELO, T. J. A. **Morfologia de Nanocompósitos de Polietileno e Poliamida-6 contendo argila Nacional.** Polímeros: Ciências e Tecnologia, v. 16, p.246-251(2006).

BORBA, C. **Modelagem da remoção de metais pesados em coluna de adsorção de leito fixo.** Dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química (2006).

BRADY, N. C. Natureza e propriedades dos solos. Freitas Bastos. Ed. 7ª, p. 163-178 (1989).

CAVALCANTI, J. V. F. L.; MOTTA, M. da; ABREU, C. A. M.; BARAÚNA, O. S.; PORTELA, L. A. P. **Utilização de argilas esmectíticas do nordeste do Brasil para preparação de um adsorvente organofílico.** Cerâmica, v. 56, p. 168-178 (2010).

CURBELO, F.D.S.. **Estudo da remoção de óleo em águas produzidas na indústria de petróleo, por adsorção em coluna utilizando a vermiculita expandida e hidrofobilizada.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2002).

DROGUETT, S. **Elementos de catalisis heterogênea**, Serie de Química. Secretaria General de La Organizacion de lós Estados mericanos, Monografia nº 26 (1983).

ESSINGTON, M. E. Soil and water chemistry: an integrative approach. ISBN. P. 59-62 (2003).

GOMES, E. V. D; VISCONTE, L. L. Y.; PACHECO, E. B. A. V. **Processo de organofilização de vermiculita brasileira com cloreto de cetiltrimetilamônio.** Cerâmica, v. 56, p. 44-48 (2010).

GUERRA, S.R. **Síntese, caracterização e desempenho de argilas pilarizadas com zircônia na alquilação de benzeno com olefinas.** Tese de Doutorado. Departamento engenharia química dório de Janeiro (2006).

GUGGENHEIN, S.; MARTIN, R. T. **Definition of Clay and Mineral, Joint Report of the AIPEA Nomenclature and CMS Nomeclature Commitees,** Clays and Clays Minerals, v. 43, p. 255-256 (1995).

LEITE, I. F.; RAPOSO, C. M. O.; SILVA, S. M.L. **Caracterização de argilas bentoníticas nacionais e importadas: antes e aos o processo de organofilização para utilização como nanocargas.** Cerâmica, v. 54, p. 303-308 (2008).

LUNA, F. J; SCHCHARDT, U. **Argilas Pilarizadas – uma introdução.** Química Nova, v. 22, p. 104-109 (1999).

MARIANO, J. B. **Proposta de metodologia de avaliação integrada de riscos e impactos ambientais para estudos de avaliação ambiental estratégica do setor de petróleo e gás natural em áreas offshore.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

MASEL, R. Principles of Adsorption and Reaction on solid surfaces. Wiley Series in chemical Engineering. 1996.

MONIZ, A. C. Elementos de pedologia. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Ed. 1ª, p. 33-43 (1975).

MOTA, J. C.; ALMEIDA, M. M de; ALENCAR, V. C. de; CURI, W. F. **Características e impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos: uma visão conceitual.** In: 1º Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo (2009).

NAHHAL, Y. E.; SAFI, J.; FOOD, J., *Agric. & Environ.* 3,2 (2004), 295.

NÓBREGA, K. C.; WANDERLEY, A. S. D.; LEITE, A. M. D.; ARAÚJO, E. M., MELO, T. J. A. de. **Obtenção e caracterização de argilas organofílicas visando à aplicação em nanocompósitos poliméricos.** *Revista Eletrônica de Materiais e processos*, v. 6.2, p. 84-90 (2011).

PAIVA, L. B.; MORALES, A. R.; DÍAZ, F. R. V. **Argilas Organofílicas: características, metodologias de preparação, compostos de intercalação e técnicas de caracterização.** *Cerâmica*, v. 54, p. 213-226 (2008).

SANTOS, C. P. F.; MELO, D. M. A.; MELO, M. A. F.; SOBRINHO, E. V. **Caracterização e uso de argilas bentonitas e vermiculitas para adsorção de cobre (II) em solução.** *Cerâmica*, v. 48 (2002).

SANTOS, P. S. de, *Ciências e tecnologia das argilas*, 2ª Ed., Edgard Blücher, São Paulo, SP, 408 (1989).

SILVA, F. M. N.; SCHEIBLER, J. R. **Organofilização da argila vermiculita e avaliação da capacidade adsorptiva em solventes orgânicos.** In: X Encontro brasileiro sobre adsorção (2014).

Standard Methods of Testing Sorbent Performance of Adsorbents” – Designation ASTM F716-82 e ASTM F726-99.

Standard Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners (ASTM D 5890-95).

UGARTE, J. F. de O.; SAMPAIO, J. A., FRANÇA, S. C. A. **Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações**, 1ª edição. Rio de Janeiro: CETEM, p. 677 – 698 (2005).

WANDERLEY, B.L. **Síntese e caracterização de nanocompositos de fenol-formaldeído reforçado com argila montmorilonita.** Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo (2010).