



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CAMPUS DE POMBAL

YVES ANDREW CARVALHO DE SOUSA ANDRADE

**ESTUDO DE PROCESSOS DE REMOÇÃO ÓLEO/ ÁGUA UTILIZANDO
ARGILA COMO ADSORVENTE**

POMBAL-PB
2019

YVES ANDREW CARVALHO DE SOUSA ANDRADE

**ESTUDO DE PROCESSOS DE REMOÇÃO ÓLEO/ ÁGUA UTILIZANDO
ARGILA COMO ADSORVENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso a ser apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental

**Orientador: Prof. Dr. Jocielys Jovelino
Rodrigues.**

**Co-Orientadora: Msc. Josevânia
Rodrigues Jovelino**

A553e Andrade, Yves Andrew Carvalho de Sousa.
Estudo de processos de remoção óleo/água utilizando argila como
adsorvente / Yves Andrew Carvalho de Sousa Andrade. – Pombal, 2019.
45 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de
Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. Jocielys Jovelino Rodrigues".

"Coorientação: Ma. Josevânia Rorigues Jovelino".

Referências.

1. Adsorventes. 2. Argila. 3. Tratamento de efluentes. 4. Metais. 5.
Meio ambiente. I. Rodrigues, Jocielys Jovelino. II. Jovelino, Josevânia
Rorigues. III. Título.

CDU 544.723.21(043)

YVES ANDREW CARVALHO DE SOUSA ANDRADE

ESTUDO DE PROCESSOS DE REMOÇÃO ÓLEO/ÁGUA UTILIZANDO
ARGILA COM ADSORVENTE

Aprovado em 19/11/2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. DSc. Jocielys Jovelino Rodrigues
Orientador – UFCG/ Campus de Pombal – PB



Profª Ma. Luíza Dantas de Souza Lima Teixeira
Examinadora Interna – UFCG/Campus de Pombal - PB



Profª DSc. Alfredina dos Santos Araújo
Examinadora Externa – UFCG/Campus de Pombal - PB

58

Pombal – PB

Novembro de 2019

Dedico a DEUS e a minha família que sempre estiveram do meu lado em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a deus pelo dom da vida e por todas as experiências vivenciadas nesse período tão marcante da graduação.

Ao meu pai Luiz Rui de Andrade, minha madrasta Francilene Pereira da Silva e ao meu irmão Yago Carvalho de Sousa Andrade por serem quem são e por me ajudarem a chegar até aqui com meus valores e educação inestimáveis, amo vocês.

A Universidade Federal de Campina Grande - UFCG – campus Pombal por toda estrutura e profissionais que foram de suma importância nessa história.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jocielys Jovelino Rodrigues por todo suporte durante o projeto de pesquisa e também agora junto ao meu trabalho de conclusão de curso.

Meus professores de todas as disciplinas que contribuíram com isso, em especial aos professores José Cleidimário, Manoel Moisés por serem exemplos de profissionais e por agregarem tanto conhecimento na minha vida.

Aos meus tios Roberto e Luiz Péricles, minha tia Ilma que foram de um acolhimento e hospitalidade sem tamanhos comigo e minha família sempre.

Aos meus amigos Kardelan Arteiro, Bruno Bandeira, Ithalo Henrique (Mithalo), Vinícius Ferraz (Beatbox), Cassio Filho, Plínio Tércio, Gustavo Pinto, pelas histórias épicas vividas.

Minhas amigas Mariana Dominique, Maria Beatriz, Ingrid Lélis pelas incontáveis conversas, conselhos, risadas, favores, almoços, jantares e pela amizade de sempre pra sempre.

Também agradeço a Adriana Albênia pela amizade desde a escola e até hoje e foi de fundamental importância na minha vida inclusive antes de eu ingressar na academia, tinha que ter um agradecimento oficial um dia e aqui está.

Noami Dutra e Paula Céfora por tantos bons momentos na vida, que seria impossível não lembrar de vocês com alegria e saudade.

Diemmilly Castro pela amizade, conselhos, momentos, risadas e experiências vividas compartilhadas desde muito tempo atrás, você é uma pessoa especial, vai longe.

Obrigado por tudo a todos que contribuíram nessa jornada muito ou pouco, mas se fizeram presentes, a um amigo que está longe como Antoniny Perez, Romério Alves, Iesus Paulo e Joaquim Rogério, muitas lembranças que demorarão a ser esquecidas, se forem.

“É tão bonito quando você se importa com seus sonhos e vive para realizá-los”.

LISTAS DE FIGURAS

FIGURA 1:	Classificação das isotermas de adsorção de acordo com a IUPAC.....	28
FIGURA 2:	Perfil das histereses de adsorção de nitrogênio.....	30
FIGURA 3:	Esquema representativo da adsorção.....	31
FIGURA 4:	Diagrama ilustrativo da estrutura cristalina de argila esmectítica.....	32
FIGURA 5:	Resultados dos testes de Inchamento de Foster da argila.....	39

LISTAS DE TABELAS

TABELA 1:	Classificação dos picos de Difração de Raio X obtidos para a argila.....	37
TABELA 2:	Análise da composição química da argila	37
TABELA 3:	Ensaio de capacidade de adsorção em gramas de material adsorvido por grama da argila.....	38

LISTAS DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: Difratoograma de Raios X da argila.....	36
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 OBJETIVOS	19
1.1.1 Geral.....	19
1.1.2 Específicos	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 Efluentes contaminados por compostos orgânicos	21
2.2 Processos de adsorção	27
2.2 Argilas.....	32
3 METODOLOGIA	34
3.1 Materiais	34
3.2 Caracterização da argila	34
3.2.1 Caracterização Mineralógica – Difração de Raios X (DRX)	34
3.2.2 Caracterização Química – Análise Química através da Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (FRX-ED).....	34
3.2.3 Capacidade de Adsorção.....	35
3.2.3 Inchamento de Foster	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5. CONCLUSÕES.....	40
6. REFERÊNCIAS.....	41

ANDRADE, I. A. C. S. CIPRIANO, F. A. L. ESTUDO DE PROCESSOS DE REMOÇÃO ÓLEO/ ÁGUA UTILIZANDO ARGILA COMO ADSORVENTE. 2019. 41f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2019.

RESUMO

A preocupação com o meio ambiente tem incentivado o desenvolvimento de pesquisas que visam minimizar os efeitos nocivos dos efluentes industriais, através do tratamento de seus efluentes com o intuito de minimizar e controlar os níveis de poluentes emitidos possibilitando a diminuição da concentração dos contaminantes a níveis toleráveis. Atualmente, uma das maiores preocupações diz respeito ao controle do lançamento de metais no meio ambiente, principalmente por seus efeitos nocivos à saúde humana. Neste sentido este trabalho teve como objetivo caracterizar e testar argilas através das técnicas de Difração de Raios X, Espectroscopia de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (FRX-ED), Testes de Capacidade de Adsorção e Inchamento de Foster. Os resultados das análises química e mineralógica da argila confirmam a presença predominante do argilomineral esmectítico e seu caráter policatiônico. Os ensaios de realizados com a argila natural permitiram concluir que esta argila apresenta médias capacidades de adsorção, porém que podem ser aprimoradas com uma etapa de ativação com íons de Na⁺ anterior à etapa de organofilização. Os testes de Inchamento de Foster confirmaram a afinidade da argila com os solventes orgânicos analisados: gasolina, querosene e óleo diesel. Dessa forma, a argila em estudo apresenta um elevado potencial de aplicação no processo de separação óleo/água.

Palavras-chave: Argila; meio ambiente; metais.

ANDRADE, I. A. C. S. CIPRIANO, F. A. L. ESTUDO DE PROCESSOS DE REMOÇÃO ÓLEO/ ÁGUA UTILIZANDO ARGILA COMO ADSORVENTE. 2019. 41f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2019.

ABSTRACT

Concern for the environment has encouraged the development of research aimed at minimizing the harmful effects of industrial effluents, through the treatment of their effluents in order to minimize and control the levels of pollutants emitted allowing the reduction of the concentration of contaminants to tolerable levels. . Currently, one of the biggest concerns concerns the control of the release of metals into the environment, mainly due to its harmful effects on human health. In this sense, this work aimed to characterize and test clays through the techniques of X-ray Diffraction, X-ray Energy Dispersive Fluorescence Spectroscopy (FRX-ED), Adsorption Capacity Tests and Foster Swelling. The results of the chemical and mineralogical analysis of clay confirm the predominant presence of the smectitic clay mineral and its polycationic character. The tests carried out with the natural clay allowed us to conclude that this clay has medium adsorption capacities, but can be improved with an activation phase with Na⁺ ions prior to the organophilization step. Foster Swelling tests confirmed the affinity of clay with the analyzed organic solvents: gasoline, kerosene and diesel oil. Thus, the clay under study has a high potential for application in the oil / water separation process.

Keywords: clay; environment; metal

Trabalho de Conclusão de Curso segue as normas da Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável (Revista Verde) ISSN 1981 – 8203 que se encontra em anexo ao manuscrito.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente estimulado pelas pressões exercidas pela legislação ambiental, uma crescente preocupação vem surgindo em relação à preservação do meio ambiente, principal prejudicado pelo contínuo aumento de poluentes. A descarga de íons de metais pesados vem prejudicando o ambiente e colocando em risco a saúde humana. Geralmente, esses íons não são biodegradáveis e podem facilmente acumular dentro do corpo humano induzindo a várias doenças (ULUSOY E AKKAYA, 2009; FU E WANG, 2011).

Um grande enfoque tem sido dado à preservação do meio ambiente, principalmente quando se trata de recursos naturais não renováveis. A fiscalização através dos órgãos competentes, com relação aos impactos ambientais e a preservação do meio ambiente têm estimulado as indústrias a se preocuparem com o tratamento dos seus efluentes (FU E WANG, 2011).

Diariamente uma série de produtos orgânicos é descartada, provenientes de diversas fontes antrópicas como esgotos domésticos, efluentes industriais, atividades agropecuárias, produtos farmacêuticos, descartes de laboratórios, curtumes, refinarias de petróleo, entre outros (Ijagbemi et al., 2009; Cheremisinoff, 1995; Sabaté e Bayona, 2001).

Os impactos ambientais ocasionados principalmente pela degradação dos ambientes aquáticos e do solo, em virtude do aumento desenfreado do crescimento industrial desde a década de 90, vêm atraindo atenção especial, principalmente no que diz respeito aos lançamentos de efluentes por fontes antrópicas sobre os recursos hídricos e solos urbanos. Dentre as atividades potencialmente poluidoras merecem destaque as industriais e as agrícolas, em virtude destas fontes se instalarem de modo indiscriminado sobre determinada área modificando as suas propriedades através de uso de substâncias em quantidades e concentrações elevadas.

Como consequência dessas práticas, é observado com frequência mudanças no ciclo geoquímico, e dessa forma alterando a flora e fauna local e muitas vezes prejudicando também a biodiversidade de áreas vizinhas e até continentais. É importante ressaltar que os impactos ambientais por elementos classificados como metais pesados também trazem sérios danos à saúde humana principalmente por seu efeito bioacumulativos.

O setor industrial é o mais preocupante em relação à disposição de metais pesados no meio ambiente, uma vez que lançam grandes quantidades de metais pesados, com destaque para o Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn (AHMADUN, et al., 2009; REIS, 2013;).

Sendo assim, a busca por inovações tecnológicas de tratamento com a finalidade de remoção de óleo e outros contaminantes orgânicos de resíduos industriais de águas contaminadas é alvo de pesquisa. Além dos métodos como, filtração em meios porosos, precipitação físico-química, osmose reversa, dentre outros, o processo de adsorção utilizando argilas é uma alternativa altamente viável devido a elevada seletividade, baixo custo, utiliza subprodutos industriais e agrícolas como adsorventes naturais. (CHEN et al., 2018; HWANG, J.; JOSS, L.; PINI, R, 2019; MADAENI, S. S.; ABIDIN, Z. Z., 2009).

As argilas organofílicas são constituídas basicamente por esmectitas que são modificadas com substâncias orgânicas que apresentam afinidade química com sua estrutura cristalina e tornando-se hidrofóbicas. O uso de argilas na função de adsorvente vem se mostrando como uma boa alternativa aos adsorventes comumente utilizados no tratamento de efluentes por ser um material que existe em abundância, por ter baixo custo na sua produção se comparado a outros adsorventes, possui uma grande área superficial e altas taxas de transferência de massa e poder se regenerar periodicamente (LAMBERT, J.F., 2018; TAO et al., 2018).

Dessa forma, as argilas foram caracterizadas e em seguida aplicadas em processos de remoção em solventes orgânicos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Estudar a capacidade adsorção de argilas do tipo Bragel na remoção de óleo de emulsões óleo/água.

1.1.2 Específicos

- Realizar análises de Difração de Raios X nas amostras de argilas.
- Analisar a química das amostras de argila através de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (FRX-ED).
- Conduzir testes de capacidade de adsorção da argila.
- Testar o potencial da argila na remoção de óleo de emulsões óleo/água utilizando Inchamento de Foster.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EFLUENTES CONTAMINADOS POR COMPOSTOS ORGÂNICOS

A poluição das águas por compostos orgânicos representa um percentual alto nos problemas gerados ao meio ambiente por combustíveis fósseis, como o petróleo e seus subprodutos, matéria prima para a geração de energia de alguns processos industriais. Os óleos oriundos de efluentes reduzem a aeração e a iluminação natural de cursos d'água, devido à formação de um filme insolúvel na superfície, produzindo efeitos nocivos na fauna e flora aquática.

Um tema preocupante e em pauta tem sido a preservação do meio ambiente, principalmente quando se trata de recursos naturais não renováveis. A fiscalização por meio dos órgãos competentes, com relação aos impactos ambientais e a preservação do meio ambiente têm estimulado as indústrias a se preocuparem com o tratamento dos seus efluentes (FU e WANG, 2011).

As grandes produtoras de petróleo são no geral, consumidoras de água, gerando assim grandes quantidades de efluentes. O refino do petróleo acarreta a geração de uma quantidade significativa de resíduos potencialmente poluidores. Os efluentes oleosos são caracterizados por apresentarem composição bastante complexa, podendo conter óleo (mineral, vegetal ou sintético), ácidos graxos, emulsificantes, inibidores de corrosão, bactericidas e outros compostos químicos (GRYTA et al., 2001).

São controvertidas as teorias sobre a origem do petróleo. Entre as teorias a respeito do petróleo destaca-se a apresentada por Dmitri I. Mendeleiev, Marcellin Berthelot e Henri Moissan, e as teorias orgânicas, que consideram a participação animal e vegetal. De acordo com a primeira, o petróleo formou-se a partir de carburetos, por exemplo, de alumínio, cálcio e outros elementos, que sofreram decomposição por ação da água (hidrólise), originando os hidrocarbonetos como metanos, alcenos dentre outros., os quais, e estes, sob pressão, teriam sofrido polimerização e condensação dando origem ao petróleo.

Baseado nessa concepção enfoca-se a teoria orgânica, através da qual a presença no petróleo de compostos nitrogenados, clorofilados, de hormônios etc. constitui a participação de matéria orgânica de origem animal e vegetal. Em geral, atualmente, os

pesquisadores tendem a reconhecer como válida apenas a teoria orgânica, na qual destaca o papel representado pelos microrganismos animais e vegetais que, sob a ação de bactérias, formariam uma pasta orgânica no fundo dos mares. Misturada à argila e à areia, essa pasta constituiria os sedimentos marinhos que, cobertos por novas e sucessivas camadas de lama e areia, se transformariam em rochas consolidadas, nas quais o gás e o petróleo seriam gerados e acumulados.

Em relação aos aspectos geológicos, observa-se a presença de petróleo associados a sedimentos marinhos. Denomina-se de rochas geradoras (ou matrizes) àquelas onde o petróleo se originou - em geral folhelhos escuros com alguns calcários, siltitos e arenitos finos. As rochas geradoras têm geralmente dois a dez por cento de matéria orgânica.

Durante os anos, observaram-se deformações na crosta terrestre que provocam dobras e falhamentos das camadas sedimentares para onde migra e se acumula o óleo gerado na rocha matriz. Essas deformações das camadas sedimentares constituem as "armadilhas" (estruturas rochosas que aprisionam o óleo e o gás). Rochas ígneas não poderiam gerar petróleo por falta de matéria orgânica. Assim como, o óleo e o gás não poderiam migrar ou se acumular nesse tipo de rocha, que se denomina de baixa porosidade.

O óleo que compõe o petróleo é basicamente construído de hidrocarbonetos, onde as moléculas menores, (um a quatro átomos de carbono), formam os gases; moléculas maiores (de quatro a cerca de dez átomos de carbono) constituem a gasolina. Em conjunto aos hidrocarbonetos gasosos há apreciáveis quantidades (até 15%) de nitrogênio, dióxido de carbono e ácido sulfídrico, além de pequena porção de hélio e outros gases. Observa-se nos hidrocarbonetos líquidos em geral se encontram traços de oxigênio, enxofre e nitrogênio, na forma elementar ou combinada com as moléculas de hidrocarbonetos.

De acordo com Rodrigues, (2011), átomos de carbono unem-se nas moléculas de hidrocarbonetos de duas maneiras diferentes: para formar compostos em forma de anel ou de cadeia que são hidrocarbonetos acíclicos ou alifáticos. Assim como, cada átomo de carbono pode ser completado de maneira total ou apenas parcial por átomos de hidrogênio e dessa forma, respectivamente, moléculas saturadas ou não-saturadas. Os hidrocarbonetos saturados cíclicos são denominados naftênicos, e os acíclicos, parafinas; os não-saturados cíclicos chamam-se aromáticos, e os acíclicos, olefinas ou alcenos.

O nitrogênio é um componente universal de combustíveis fósseis geralmente associados com a parcela orgânica de materiais crus; seu nível é ao redor 1-2% no óleo e no carvão do xisto. Os compostos do nitrogênio são considerados indesejáveis devido aos

problemas que podem causar no refinamento. Os compostos básicos de nitrogênio chegam a ser tóxico e até cancerígenos. Os compostos neutros de nitrogênio parecem, em geral, menos tóxicos do que os compostos básicos (RODRIGUES, 2015).

Cerca de 90% do petróleo apresenta menos de 0,2% em massa de nitrogênio, situando-se o seu valor médio em 0,1% em massa, concentrando-se mais nas frações pesadas e residuais do petróleo. Teores acima de 0,25% em peso são considerados altos. Os compostos nitrogenados existentes no petróleo podem ser divididos em básicos (piridinas e quinolinas) e não básicos (pirróis, indóis e carbazóis). Os compostos nitrogenados, de uma forma geral, também são responsáveis pelo envenenamento de catalisadores. Por oxidação, podem dar coloração aos derivados de petróleo. Por aquecimento, as formas básicas tendem a se degradar formando depósitos.

Os compostos nitrogenados presentes na composição do petróleo são, predominantemente, constituídos por famílias das alquilpiridinas, amidas, anilinas, alquil e hidroxiquinolinas, acridinas e fenantridinas. Em termos estruturais, são classificados como heterocíclicos aromáticos e poliaromáticos, ramificados ou não, que se acumulam nas frações mais pesadas. Pode-se afirmar que, os compostos nitrogenados são os responsáveis por problemas como desativação de catalisadores de craqueamento, formação de gomas, depósitos e alteração de cor em frações de petróleo, poluição ambiental, entre outros (RODRIGUES, 2015).

Segundo Rodrigues (2015) os compostos de nitrogênio heterocíclicos, principalmente os do tipo não-básicos (como pirrol e derivados de indol), são considerados as causas principais de instabilidade nos destilados médios no processo de processamento do petróleo. Combinações de nitrogênio não-básico formam facilmente reações de auto-oxidação (por uma ação de oxigênio molecular) e condensação dando origem a corpos coloridos de alto peso molecular e sedimentos.

Industrialmente o hidrotratamento catalítico pode ser considerado é considerado uma das alternativas para remover nitrogênio de destilados médios. Ressalta-se, que o uso desses adsorventes deveria ser elevada levando em conta os altos conteúdos de nitrogênio em muitos destilados. A escolha das condições operacionais e do tipo de catalisador é fundamental, para uma elevada remoção de nitrogênio através do hidrotratamento. Remoção de nitrogênio de compostos aromáticos presente em destilados médios é mais complexo do que a remoção de enxofre e em geral requer mais hidrogênio devido à

necessidade de hidrogenação dos aromáticos e anéis circunvizinhos. Pode-se afirmar que compostos com atividade catalizantes que apresentam atividade hidrogenante elevada devem ser utilizados (STANISLAUS e COOPER, 1994).

Os processos de refino são classificados em três classes: separação física, transformação química e purificação. As operações unitárias de destilação, extração de solventes e a adsorção estão compreendidas nos processos de separação física.

A destilação é o processo de separação mais amplamente usado na indústria química/petroquímica. Esta operação unitária é também denominada fracionamento ou destilação fracionada.

Historicamente foi um dos desenvolvimentos promovidos pelos alquimistas alexandrinos nas técnicas de se operar sobre a matéria. A destilação era uma operação alquímica, um corpo conceitual originário de hibridizações entre idéias mágicas, religiosas e filosóficas.

A separação dos constituintes está baseada nas diferenças de volatilidades. Na destilação, uma fase vapor entra em contato com uma fase líquida, e há transferência de massa do líquido para o vapor e deste para aquele. O líquido e o vapor contêm, em geral, os mesmos componentes, mas em quantidades relativas diferentes. O líquido está no seu ponto de bolha e o vapor em equilíbrio, no seu ponto de orvalho. Há transferência simultânea de massa do líquido pela vaporização, e do vapor pela condensação. O efeito final é o aumento da concentração do componente mais volátil no vapor e do componente menos volátil no líquido. A vaporização e a condensação envolvem os calores latentes de vaporização dos componentes, e os efeitos térmicos devem, por isso, entrar nos cálculos da destilação. A destilação é amplamente usada para separar as misturas líquidas em componentes mais ou menos puros. Em virtude de a destilação envolver a vaporização e a condensação da mistura, são necessárias grandes quantidades de energia.

A extração de solvente é a transferência de uma espécie de soluto de sua localização inicial para um solvente conhecido como solvente de extração. O soluto puro pode ser um líquido ou um sólido na temperatura de operação, mas isto não tem importância já que inicialmente o soluto estará localizado numa solução ou numa associação com um sólido. Quando o soluto estiver em solução, o processo de extração será chamado extração líquido-líquido, e o solvente de extração deverá ser

substancialmente imiscível com o solvente original. Se, por outro lado, o soluto constituir parte de um sólido o processo será chamado extração sólido-líquido.

Na extração líquido- líquido, o solvente de extração deve ter uma afinidade adequadamente seletiva pelo soluto apropriado, o que algumas vezes ocorre na presença de outros materiais, que não o solvente original. Esta seletividade é muito importante porque a essência da extração líquido- líquido é a separação de um soluto em particular de outros materiais através da transferência seletiva para o solvente de extração. Deve ser lembrado que o soluto extraído nem sempre é o produto mais valioso do processo de separação; o objetivo poderia ser purificar o solvente original pela remoção de um soluto indesejado, ou talvez, remover um dos dois solutos da solução original.

A técnica de separação pela extração de solvente frequentemente é atraente nas circunstâncias em que a destilação for inadequada.

A facilidade da separação não é determinada pelas volatilidades relativas, como na destilação, mas pelo coeficiente de distribuição. O coeficiente de distribuição é uma razão entre concentrações, e um erro comum é cair no uso de quantidades que as substituam. Para o caso de um soluto A, e de solventes S₁ e S₂ (equações 1 e 2):

$$k = \frac{C_{A,S_1}}{C_{A,S_2}} \quad (1)$$

Quaisquer unidades de concentração convenientes podem ser utilizadas numa base de massa, molar ou volumétrica. Se, por exemplo, o volume V₁ de S₁ contiver n₁ moles de A, e o volume V₂ de S₂ contiver n₂ moles de A, então:

$$k = \frac{n_1 V_2}{n_2 V_1} \quad (2)$$

Os processos de transformação química tem como finalidade decompor grandes moléculas de hidrocarbonetos em moléculas menores; polimerizar ou unir pequenas

moléculas de uma substância para formar moléculas maiores; e reorganizar a estrutura molecular. Com a revolução industrial e o advento do automóvel, aumentou o consumo de combustíveis como a gasolina, e o craqueamento passou a ser utilizado como meio de aumentar a produção desse combustível. Posteriormente foi observado que a gasolina assim obtida era de melhor qualidade. E finalmente originou-se o craqueamento catalítico, pelo qual, catalisadores facilitam o craqueamento das moléculas.

A polimerização poder ser definida como sendo a combinação de moléculas menores formando moléculas de hidrocarbonetos mais pesados, visando, sobretudo à obtenção de gasolina. O primeiro processo de polimerização utilizava como matérias-primas hidrocarbonetos gasosos não-saturados, principalmente o propileno e o butileno. Outro processo de polimerização, a alquilação, combina essas duas matérias-primas com o isobutano. A alquilação contribuiu grandemente para a produção de gasolina para aviação.

Finalmente o terceiro tipo de processo químico é definido como sendo aquele que altera a estrutura das moléculas de hidrocarbonetos, visando aumentar o poder de combustão do produto. Por volta do século XX, as pesquisas orientaram-se, principalmente nos Estados Unidos, para apurar a qualidade da gasolina, o que foi conseguido não só com o desenvolvimento de novos processos de refinação, mas também com a introdução de um aditivo, o chumbo tetraetila. Mais tarde, porém, os compostos de chumbo foram retirados da mistura em muitos países por serem altamente poluentes.

Os processos denominados de hidrorrefino de óleo (HDR) estão entre os mais importantes da indústria de refino do petróleo. Eles podem ser atribuídos como um conjunto de processos nos quais frações de petróleo são tratadas com hidrogênio, na presença de um catalisador adequado. Quando o objetivo do processo é a melhoria de qualidade de produtos, através da remoção de componentes indesejáveis é denominado de hidrotreatamento. Por outro lado quando o objetivo é a conversão de frações hidrocarbônicas pesadas, como gasóleos e resíduos do petróleo, em frações de menor peso molecular e maior valor agregado, como o óleo diesel e a nafta, o processo é denominado de hidroconversão ou hidrocraqueamento (HCC) (SILVA et al., 1998).

Por fim são processos extremamente onerosos de serem realizados, sendo viável o tratamento da água produzida antes do descarte e contaminação dos lençóis freáticos, solo, oceanos, etc. Sendo assim, a busca por novos métodos de tratamento com a finalidade de remover óleo e outros poluentes orgânicos de resíduos industriais de águas

contaminados é alvo de pesquisas. (GOLUB, A.; PIEKUTIN, J, 2018; DA SILVA LIMA, 2017). Várias tecnologias são desenvolvidas ao longo dos anos, dentre essas está o processo de adsorção (GOLUB, A.; PIEKUTIN, J, 2018; IJAGBEMI, C. O.; BAEK, M.; KIM, D.2009; VALENZUELA-DÍAZ, F. R.; SANTOS, P.S, 2001; DA SILVA LIMA, 2017; BUTT, H.J.; GRAF, K.; KAPPL, M, 2006; ISLAM, 2017).

2.2 PROCESSO DE ADSORÇÃO

Adsorção é o processo que ocorre quando duas fases imiscíveis são postas em contato, sempre ocorre que a concentração de uma substância numa fase é maior na interface do que no seu interior, ocorrendo então o acúmulo de uma substância sobre a superfície de outra De acordo com Ciola, (1981), o fenômeno de adsorção pode ser classificado em dois tipos, adsorção química e adsorção física.

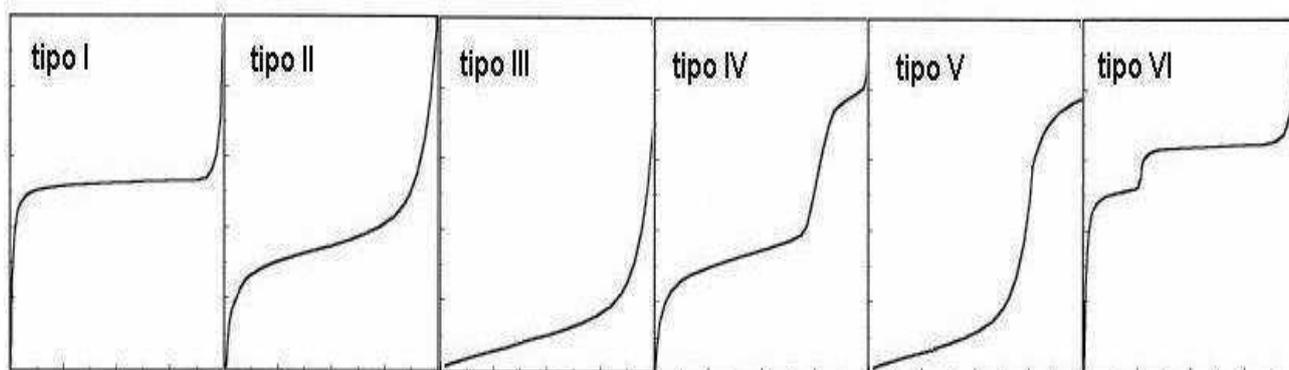
O processo de adsorção é um fenômeno de superfície e constitui na transferência de massa de uma substância presente na fase fluida (adsorbato) para a superfície de um sólido (adsorvente), dependente da diferença de concentrações entre as duas fases (BARAKAT, 2011).

O fenômeno da adsorção foi descoberto por volta do século XVIII. As primeiras observações foram feitas por Scheele, em 1773, idealizando experimentos com carvão ativado e argilas, descobrindo que esses materiais poderiam reter certos gases. Mais tarde, no ano de 1783, Lowitz observou o mesmo fenômeno, realizando experimentos com soluções (KAUSAR, et al., 2018; CHERIAN et al., 2018; HAMZA et al., 2018). De acordo com Zuim (2010), foi durante a Primeira Guerra Mundial que a adsorção foi bastante utilizada com a fabricação de máscaras que continham carvão ativado, as quais eram usadas para a proteção do trato respiratório humano contra gases tóxicos.

A adsorção física é um fenômeno reversível onde observa-se em geral a deposição de mais de uma camada da espécie química retida pelo adsorvente (adsorbato) sobre a superfície do sólido sobre o qual ocorre o fenômeno de adsorção, caracteriza a maioria dos processos de purificação e separação e apresenta energias liberadas relativamente baixas.

Diversas características dos materiais se baseiam na adsorção, tais como área superficial, volume e distribuição de poros. De acordo com a IUPAC, normalmente os sólidos obedecem a um dos seis tipos de isothermas de adsorção existentes, porém quatro tipos de isothermas (I, II, IV e VI) são facilmente encontradas em caracterização de catalisadores e argilas (RODRIGUES, 2015). Na Figura X estão apresentadas a classificação das isothermas de adsorção segundo a IUPAC.

FIGURA 1: Classificação das isothermas de adsorção segundo a IUPAC.



FONTE: RODRIGUES, 2015.

Ainda segundo a IUPAC, estas isothermas podem ser descritas como:

- a) Tipo I: Característica de materiais microporosos onde a adsorção se dá a baixas pressões devido a forte interação entre as paredes porosas e o adsorbato. Podem ser obtidas por adsorção química. Quando a adsorção física produz isothermas do tipo I,

indica que os poros são microporosos e que a superfície exposta reside somente dentro dos microporos, os quais, uma vez cheios com o adsorbato, deixam pouca ou nenhuma superfície para adsorção adicional. As argilas em geral são classificadas neste grupo.

b) Tipo II: São caracterizadas por apresentarem baixas pressões relativas ocorre a formação de uma monocamada de moléculas adsorvidas. São encontradas quando a adsorção ocorre em materiais porosos ou com poros de grande diâmetro. O ponto de inflexão ocorre quando a primeira camada de cobertura ficar completa. Com o aumento da pressão relativa, o sólido ficará coberto de diversas camadas até que na saturação seu número será infinito.

c) Tipo III: Tipicamente oriundas, de calores de adsorção inferiores ao calor de liquefação do adsorbato. Conforme a adsorção procede, a adsorção seguinte é facilitada porque a interação do adsorbato com a camada adsorvida é maior do que a adsorção com a superfície do adsorvente.

d) Tipo IV: Típica de materiais mesoporosos. Neste caso ocorre inicialmente a cobertura de uma monocamada. O segundo degrau de adsorção indica a adsorção na faixa dos mesoporos. Normalmente esse tipo de isoterma apresenta um “loop” de histerese, ou seja, a isoterma não segue o mesmo caminho para a adsorção e dessorção.

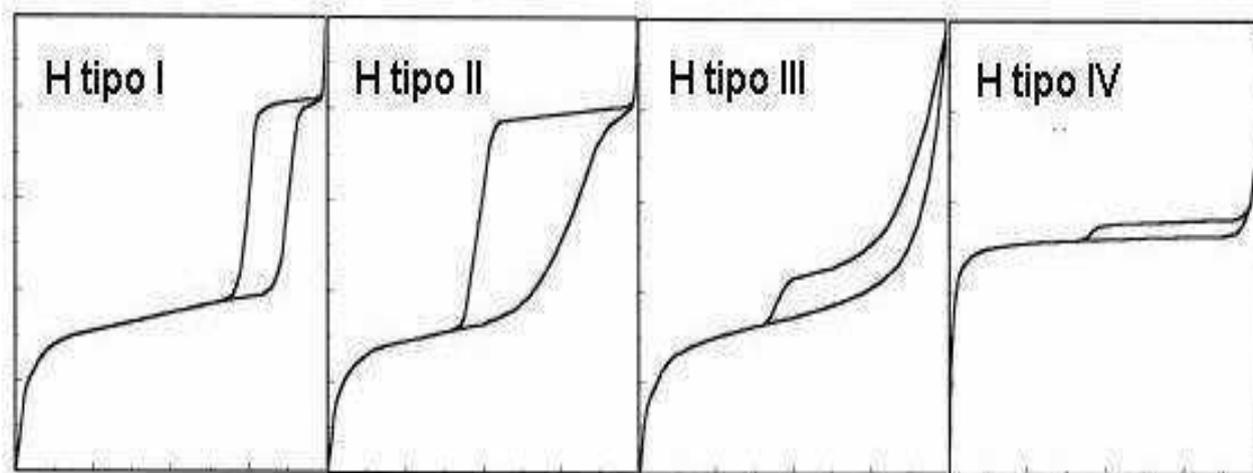
e) Tipo V: Formadas quando existe pouca interação entre o adsorvente e o adsorbato, como no tipo III. Entretanto, o tipo V está associado a estruturas porosas que produzem o mesmo degrau que nas isotermas de tipo IV.

f) Tipo VI: Caracterizam os materiais ultramicroporosos, nos quais a pressão em que a adsorção depende fundamentalmente da interação entre a superfície e o adsorbato. Se a adsorção é energeticamente uniforme, o processo ocorre com uma pressão bem definida. Porém se a superfície contém poucos grupos de sítios energeticamente uniformes, uma isoterma com degraus pode ser esperada. Cada degrau na isoterma corresponde a um grupo específico de sítios.

Os materiais microporosos classe que caracteriza as argilas apresentam as Isotermas do tipo I ao adsorver nitrogênio a 77 K. O fenômeno de histerese pode se

formar, principalmente em função da estrutura dos microporos. Isto ocorre pelo fato de que a evaporação do gás condensado em poros mais finos não ocorre tão facilmente como a sua condensação. Isto pode ser explicado devido as moléculas que evaporam de meniscos de altas curvaturas tem uma alta probabilidade de recondensar que uma evaporando de uma superfície plana. Segundo a IUPAC as histereses observadas em isotermas de adsorção de nitrogênio com p/p_0 de 0 a 1 se dividem em quatro tipos conforme apresentadas na Figura 2. As histereses do tipo I e II são típicas de materia is com sistema de poros cilíndricos, ou feitos a partir de agregados ou aglomerados, de partículas esferoidais. Nestes casos os poros podem ter tamanho uniforme (H tipo I) ou tamanho não uniforme (H Tipo II), como as argilas. As histereses do tipo II e IV são usualmente encontradas em sólidos formados a partir de agregados de partículas formando poros de diferentes geometrias, como por exemplo: pratos ou partículas cúbicas, com tamanho uniforme (H tipo III) e não uniforme (H tipo IV). (Rodrigues, 2015).

Figura 2: Perfil das histereses de adsorção de nitrogênio



FONTE: RODRIGUES, 2015.

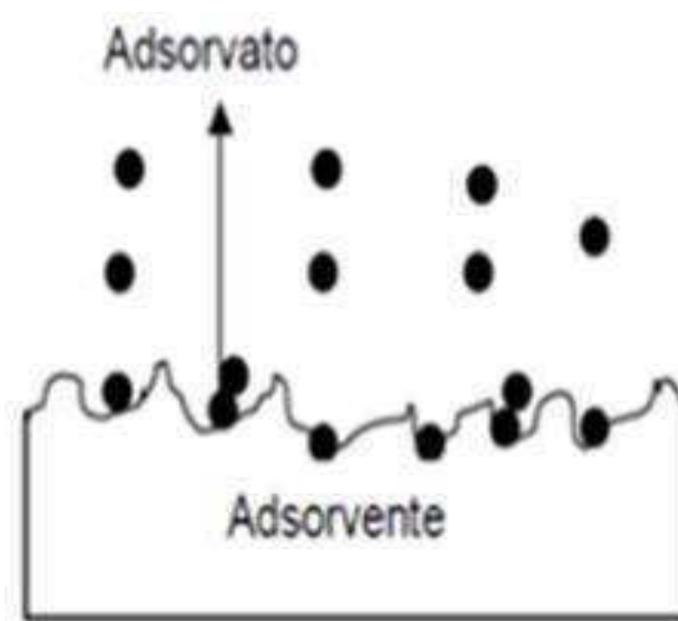
Na Adsorção moléculas de uma fase fluida aderem em uma superfície sólida, sem modificação química. De um modo geral, a adsorção acontece como resultado de forças não balanceadas na superfície de um agente sólido, o adsorvente, e que seguram certas moléculas do fluido, o adsorvato, ao redor da superfície do sólido (CHEN et al., 2018; HWANG, J.; JOSS, L.; PINI, R, 2019).

O fenômeno de adsorção ocorre porque átomos da superfície têm uma posição incomum em relação aos átomos do interior do sólido. Os átomos da superfície apresentam uma força resultante na direção normal à superfície, para dentro, a qual deve ser balanceada. A tendência a neutralizar essa força gera uma energia superficial, atraindo e mantendo na superfície do adsorvente as moléculas de gases ou de substâncias de uma solução com que estejam em contato (LAMBERT, J.F., 2018; TAO et al., 2018).

Durante o processo, as moléculas encontradas na fase fluida são atraídas para a zona interfacial devido à existência de forças atrativas, tais quais ligações de Hidrogênio, ligações covalentes, interações dipolo-dipolo, forças de van der Waals, ligações eletrostáticas, entre outras (LAMBERT, J.F., 2018; TAO et al., 2018).

O esquema representativo do processo de adsorção, é apresentado na Figura 2, consiste no processo em que as moléculas de adsorvato (substância a ser adsorvida) são transferidas para a superfície do adsorvente (material onde ocorre a adsorção) (FENG et al., 2018).

FIGURA 3: Esquema representativo da adsorção.



FONTE: BUTT; GRAF; KAPPL (2006).

2.3 ARGILAS

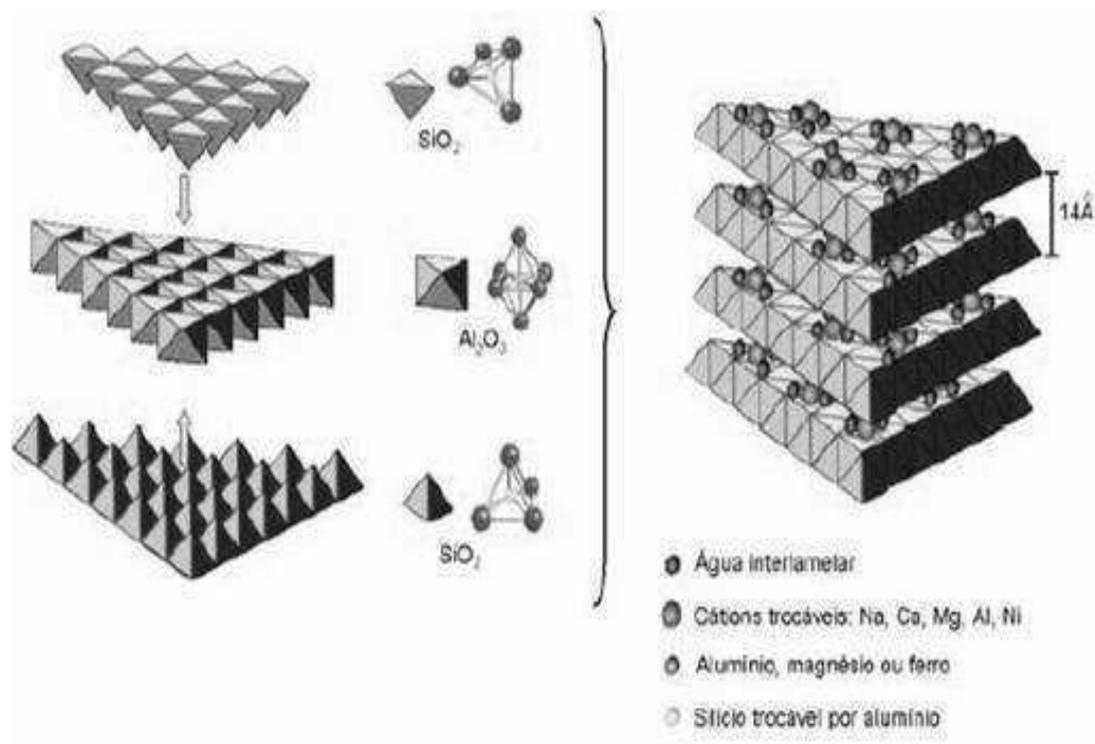
Argilas são definidas como materiais de origem natural, terrosos e possuem granulação fina, são formados quimicamente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio. Possuem partículas cristalinas muito pequenas, de uma quantidade restrita de minerais denominados argilominerais, pode apresentar ainda matéria orgânica, sais solúveis, partículas de quartzo, pirita, outros materiais residuais e minerais amorfos. As bentonitas são argilas formadas majoritariamente por um ou mais argilominerais que pertencem ao grupo das esmectitas e por alguns outros materiais acessórios (principalmente quartzo, cristobalita, micas e feldspatos). Essas argilas pertencentes ao grupo das esmectitas caracterizam-se por apresentarem uma elevada capacidade de troca de catiônica, por volta de 80 a 150 meq/100g, e também por apresentarem uma intensa expansão em suspensão aquosa.

Argilas são constituídas por partículas cristalinas de um determinado número de minerais denominados argilominerais. Podem apresentar minerais como exemplo da calcita, dolomita, quartzo, matéria orgânica e outras possíveis impurezas. A composição varia e está muito ligada a sua gênese, ou seja, do tipo de rocha que sofreu intemperismo hidrotermal ou deutérico, favorecendo sua formação, e variando, significativamente dependendo do local (DUARTE-NETO, J. F., CARTAXO, J. M., NEVES, G. A., & MENEZES, R. R., 2014).

As argilas são materiais grandemente usados e que apresentam inúmeras aplicações devido as interessantes propriedades que as mesmas possam apresentar. A alteração superficial de argilas é uma área que tem recebido bastante aplicação dos pesquisadores porque por meio de distintas formas de modificação torna-se possível a preparação de novos materiais e suas respectivas aplicações (DE PAIVA, 2008).

Na Figura 2, está representada a estrutura cristalina da argila esmectítica. As partículas de argilas sob a forma de placas hexagonais, tubo, lâminas ou fibras se encontram fracamente ligadas à superfície de grãos maiores de areia (arenito), que constitui o arcabouço da rocha-reservatório.

FIGURA 4: Diagrama ilustrativo da estrutura cristalina de argila esmectítica.



FONTE: ALSHAMERI et al., 2018.

Segundo Silva (2008), os argilominerais esmectíticos possuem propriedades tais como, elevada capacidade de troca de cátions resultantes de alterações isomórficas, juntamente as suas características estruturais de facilidade de intercalação de um sem número de compostos orgânicos e inorgânicos o que pode proporcionar o alcance de produtos sob medida (taylor made) para um grande número de finalidades industriais, desta maneira as argilas esmectíticas, bentoníticas ou montmoriloníticas possuem mais usos industriais quando comparados aos outros tipos de argilas industriais reunidas, sendo um material bastante versátil e de perfil apropriado para obter-se produtos ou insumos de elevado valor agregado.

3. METODOLOGIA

1.1. MATERIAIS

- a) Água deionizada (Solvente)
- b) Etanol – Merck
- c) Papel de pH – Merck.
- d) Solventes: Gasolina comercial, Querosene comercial e Óleo lubrificante, marca Lubrax.

1.2. CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA

3.2.1 Difração de Raios X.

As análises de difração de raios X pelo método do pó das amostras serão realizadas em um equipamento da Shimadzu modelo XRD-6000. Com ensaios conduzidos utilizando radiações de $\text{CuK}\alpha$, com velocidade de varredura de $2^\circ(2\theta)/\text{min}$, com ângulo 2θ percorrido de 0,5 a 30° . As análises das amostras foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Materiais (LCM).

3.2.2 Espectroscopia de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva(FRX-ED).

Esse ensaio consiste em determinar a composição química do material em termos qualitativo e semiquantitativo. O equipamento utilizado será um Espectrômetro de Raios X por Energia Dispersiva - EDX-700 Shimadzu. As análises das amostras foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Materiais (LCM).

3.2.3 Testes de Inchamento de Foster.

O teste será realizado da seguinte sequência: em uma proveta de 100 mL de capacidade, será adicionado lentamente 1g de argila a 50 mL do dispersante a ser estudado. Essa adição será realizada lentamente, aguardando até a argila atingir umidade suficiente para a sedimentação. O sistema será deixado em repouso por 24h e então será efetuada a leitura do inchamento sem agitação. Depois será manualmente agitada, com bastão de vidro, durante 5 minutos, em seguida o sistema será novamente deixado em repouso por mais 24 horas e então efetuada a leitura do inchamento com agitação. Os

solventes orgânicos testados serão: diesel, gasolina e querosene. Conforme apresentado na Figura 6.

FIGURA 5: Testes de capacidade de adsorção.



3.2.4 Testes de Capacidade de Adsorção.

O teste de capacidade de adsorção mede a afinidade que a argila tem com compostos orgânicos. Este teste é baseado na norma “Standard Methods of testing sorbent Performance of Absorbents” (ASTM F716-82, 1993). Este teste constatará do seguinte procedimento: em um béquer de 600 mL será colocado o solvente a ser testado até uma altura de 2 cm. Em uma cesta (fabricada de tela de Aço Inoxidável com malha ABNT 200, abertura de 0,075 mm) será colocado 1,00 g do material adsorvente (argila) a ser testado. Esse conjunto será pesado e colocado no recipiente com o solvente, onde permanecerá por 15 minutos. Após esse tempo, será deixado fluir o excesso por 15 segundos e será realizada uma nova pesagem. O teste será realizado em triplicata visando obter resultados precisos. A quantidade de solvente adsorvida será calculada usando a seguinte expressão:

$$Ad = \left(\frac{P_1 - P_2}{P_2} \right) * 100$$

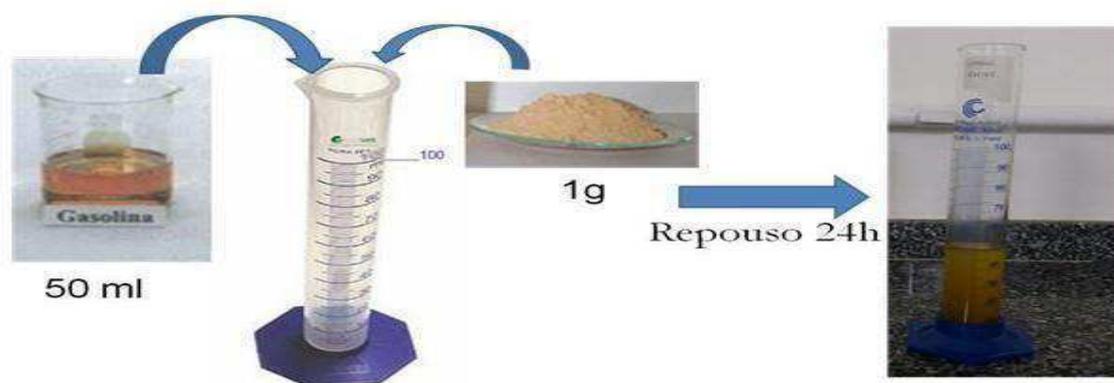
Em que,

P_1 é a massa do material após adsorção;

P_2 é a massa do material adsorvente seco;

Ad é a Capacidade de adsorção em gramas de solvente por gramas de SBA-15. Conforme apresentado na Figura 5.

FIGURA 6: Testes de Inchamento de Foster.



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Pode-se afirmar que a Difração de Raios X (DRX) é técnica mais usada para discutir dados de materiais cristalinos, sendo muito utilizado na determinação das fases mineralógicas presente em argilas. Isto é observado devido a estrutura dos argilominera is ser ordenada na forma de planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos curtos comprimentos de onda dos raios X. Ao colidir um feixe de raios X em um cristal, tal feixe interage com os átomos presentes, dando origem ao fenômeno de difração. A difração de raios X ocorre de acordo com a Lei de Brag, apresentada na equação 2:

$$\lambda = 2 d(hkl) \text{ sen}\theta \quad (2)$$

A Lei de Brag apresenta a relação direta entre o ângulo de difração e a distância entre os planos que as formam, característicos de cada fase cristalina. A técnica de difração de raios X para a caracterização de fases possui vantagens devido à simplicidade e rapidez do método, a confiabilidade dos resultados obtidos, assim como permite analisar materiais constituídos por uma mistura de fases e uma análise quantitativa destas fases.

A difração de raios X para as argilas é muito conhecida na literatura, a análise difratométrica apresenta fases diversas, características da estrutura do quartzo e cristobalita, ambas são fases comuns em argilominerais naturais e que podem ser

característicos de decomposição de rochas. A localização do pico (001) é de extrema importância, devido ao fato de está relacionado com a distância basal das lamelas e é utilizado para identificar argilas esmectitas conforme apresentado no Gráfico 1. Normalmente esse pico apresenta deslocamento de posição quando incorpora/intercala a matéria orgânica, sais, entre outros, sendo assim, um parâmetro importante na química de intercalação.

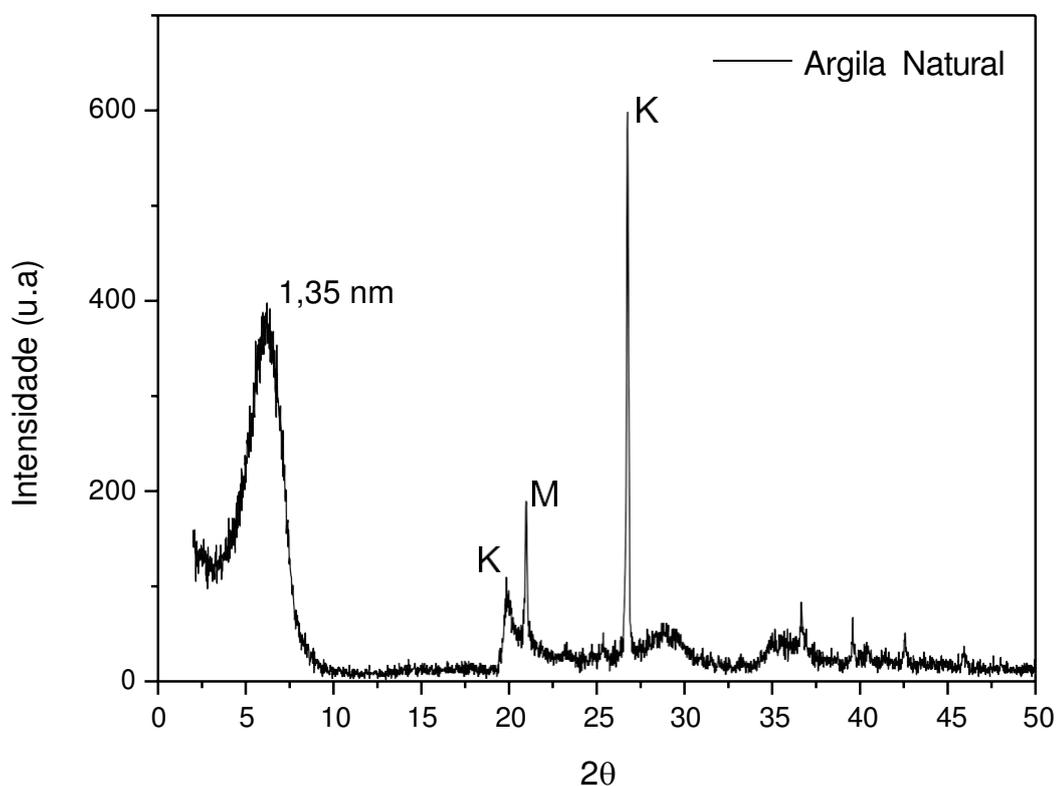


Gráfico 1. Difratograma de Raios X da amostra de argila.

Por meio da análise de Difração de Raios X observou-se a presença de minerais acessórios além de verificar que a argila utilizada de fato é uma bentonita. O perfil confirma a existência predominantemente da montmorilonita (M) e a presença de quartzo (K) como impureza. Os principais picos obtidos nos difratogramas e suas respectivas designações (Santos, 1989) estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1: Classificação dos picos de Difração de Raio X obtidos para a argila.

2θ	d(001) A°	Mineral
6,5	13,5	M
20,9	4,30	K
26,1	3,5	K
28	3,1	M
37	2,6	M
39	2,3	K
47	2,1	K

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados obtidos através das análises da composição química (FRX-ED) das amostras de argila, na forma de óxidos. Verificou-se altos teores de SiO₂ (>50%) e Al₂O₃ (>20%), que estão relacionados a geometria tetraédrica e octaédrica dos argilominerais e acessórios. Observou-se também a existência de óxido de Ferro de Ferro (Fe₂O₃) e CaO, típico do mineral acessório calcita.

TABELA 2: Análises de Composição química da argila.

Óxidos	(%)
SiO ₂	65.1 %
Al ₂ O ₃	21.4 %
Fe ₂ O ₃	6.1 %
MgO	5.1 %
CaO	1.1 %
Outros	1,2%

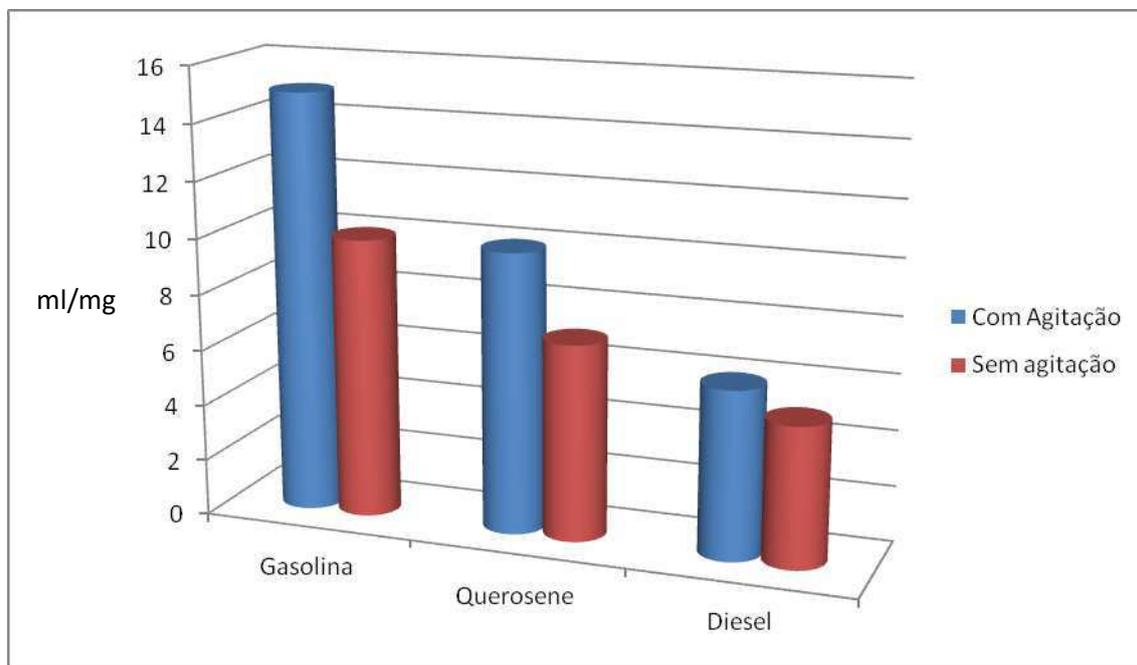
Em relação às análises dos ensaios de capacidade de adsorção para argila, apresentados na Tabela 3, observou-se a relação consecutiva de afinidade: diesel > querosene > gasolina. Sendo assim, resultados mais satisfatórios na adsorção com argila foram obtidos ao utilizar o solvente orgânico diesel. Isto confirma provavelmente que existe uma melhor afinidade da argila com o solvente diesel. Essa interação está associada à composição química dos compostos (gasolina: C₅-C₁₀; querosene: C₁₁-C₁₂; diesel: C₁₃-C₁₇).

TABELA 3: Ensaios de capacidade de adsorção em gramas de material adsorvido por grama da argila.

Solvente	Argila
Gasolina	1,288 (g/g)
Querosene	1,501 (g/g)
Diesel	2,145 (g/g)

Verificou-se que os resultados dos ensaios de capacidade de adsorção estão relacionados com a viscosidade dos solventes, pois, o óleo diesel é mais viscoso, e os resultados de viscosidade são: diesel - 8 mPa.s (600rpm) e 3,5 mPa.s (300rpm); querosene - 2 mPa.s (600rpm) e 1 mPa.s (300rpm); gasolina - 2 mPa.s (600rpm) e 1 mPa.s (300rpm). Dessa forma, através do teste de capacidade de adsorção foi observado a identidade da argila em estudo com as moléculas orgânicas do solvente, confirmando o potencial de aplicação da argila como adsorvente.

Na Figura 5 estão apresentados os resultados obtidos através dos testes de Inchamento de Foster da argila com os solventes diesel, gasolina e querosene comerciais, antes e após agitação.

FIGURA 5: Resultados dos testes de Inchamento de Foster da argila

Confirmou-se através da análise apresentada na Figura 5, que para o processo sem agitação a argila apresentou baixo inchamento para o solvente diesel, inchamento mediano para querosene e alto inchamento para a gasolina. No processo com agitação, verificou-se baixo inchamento para o solvente diesel e alto inchamento para os solventes querosene e gasolina. Isso pode ter ocorrido em virtude da composição química da gasolina, sendo um produto derivado do processo de refino do petróleo, é composta por uma mistura de hidrocarbonetos com número de carbonos que varia de 4 a 12 (ZHU et al., 1999).

Segundo Rodrigues (2015), a gasolina é constituída pela mistura de hidrocarbonetos em fase líquida, voláteis e inflamáveis, principalmente hidrocarbonetos de 5 até 12 átomos de carbono, com propriedades termodinâmicas como ebulição, variando entre 30°C e 225°C. A fração BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) existente na gasolina merece maior atenção na área ambiental devido esses compostos apresentarem alta solubilidade em água e também por serem tóxicos. O composto benzeno é classificado como carcinogênico, já tolueno e xileno são considerados tóxicos sistêmicos.

CONCLUSÕES

Através dos resultados das análises química e mineralógica da argila verificou-se a presença predominante do argilomineral esmectítico, seu caráter policatiônico. Recomenda-se para melhores resultados a realização de uma etapa de purificação para separação do quartzo e demais minerais acessórios. A caracterização estrutural acompanhada de análise química possibilitou diferenciar a argila quanto a sua composição e presença de cristalitos em sua superfície.

Através dos ensaios de capacidade de adsorção verificou-se que a argila em estudo possui médias capacidades de adsorção, estes resultados ainda podem ser aprimorados que por meio de uma etapa de ativação com íons de Na^+ anterior à etapa de organofilização.

Os testes de Inchamento de Foster e Capacidade de Adsorção evidenciam a afinidade da argila com os solventes orgânicos analisados: gasolina, querosene e óleo diesel. Portanto, Conclui-se que a argila em estudo apresenta um elevado potencial de aplicação no processo de separação óleo/água.

7. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- ALSHAMERI, A.; HE, H.; ZHU, J.; XI, Y.; ZHU, R.; MA, L.; TAO, Q. Adsorption of ammonium by different natural clay minerals: Characterization, kinetics and adsorption isotherms. *Applied Clay Science*, v. 159, p.83-93, 2018.
- AHMADUN, F.R.; PENDASHTEH, A.; ABDULLAH, L.C.; BIAK, D.R.A.; MADAENI, S. S.; ABIDIN, Z. Z. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. *J. Haz. Mat*, v.170, p. 530–551, 2009.
- BARAKAT, M. A. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 4, p. 361- 377, 2011.
- BUTT, H.J.; GRAF, K.; KAPPL, M. *Physics and chemistry of interfaces*. 2nd ed. Weinheim: Wiley-VCH, p.355, 2006.
- CHEN, G.; LEI, J.; DU, Y.; DU, X.; CHEN X. A polycarboxylate as a superplasticizer for montmorillonite clay in cement: Adsorption and tolerance studies. *Arabian Journal of Chemistry*. v. 11, p.747-755, 2018.
- CHEREMISINOFF, P. N. *Waste minimization and cost reduction for the process industries*. New Jersey: Noyes. 1995.
- CHERIAN, C.; KOLLANNUR, N. K.; BANDIPALLY, S.; ARNEPALLI, D.N. Calcium adsorption on clays: Effects of mineralogy, pore fluid chemistry and temperature. *Applied Clay Science*, v. 160, p. 282-289, 2018.
- CIOLA, R. *Fundamentos de catálise*. São Paulo: Edusp, 1981.
- COOPER, B.H.; STANISLAUS, A.; HANNERUP, P.N. *Hydrocarbon Process*, v. 72 p. 83, 1993.
- DA SILVA LIMA, Carlos Cleoton Xaxá; MOTA, André Luis Novais; DE OLIVEIRA BRASIL, Regina Celia. Avaliação do processo foto-fenton no tratamento de efluentes preparados com derivados de petróleo visando aplicação em águas produzidas em campos de petróleo. II CONEPETRO. II Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, gás natural e combustíveis. p. 1., 2017.
- DE PAIVA, L. B. Argilas organofílicas: características, metodologias de preparação, compostos de intercalação e técnicas de caracterização. *Cerâmica*, v. 54, n. 330, p. 213-226, 2008.
- DUARTE-NETO, J. F. et al. Processos de adsorção de corantes em argilas esmectíticas : uma revisão. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 9, n. 1, p. 51-59, 2014.

- FENG, D.; LI, X.; WANG X.; LI, J.; SUN, F.; SUN, Z.; ZHANG, T.; LI, P.; CHEN, U.; ZHANG, X. Water adsorption and its impact on the pore structure characteristics of shale clay. *Applied Clay Science*, v. 155, p.126-138, 2018.
- FU, F.; WANG, Q. Removal of Heavy Metal Ions from Wastewaters: A Review. *Journal of Environmental Management*, v. 92, p.407-418, 2011.
- GRYTA, M., KARAKUSLKI, K., MORAWSKI, A. W. "Purification of oily wastewater by hibrid UF/MD. *Water Research*, v.35 p.3665-3669, 2001.
- GOLUB, A.; PIEKUTIN, J. Use of porous materials to remove oil contaminants from water. *Science of The Total Environment*. v. 627, p. 723, 2018.
- HAMZA, W.; DAMMAK, N.; HADJLTAE, H. B.; ELOISSAIEF, M.; BEMZINA, M. Sono-assisted adsorption of Cristal Violet dye onto Tunisian Smectite Clay: Characterization, kinetics and adsorption isotherms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 15, p. 365-371, 2018.
- HWANG, J.; JOSS, L.; PINI, R. Measuring and modelling supercritical adsorption of CO₂ and CH₄ on montmorillonite source clay. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 273, p.107-121, 2019.
- IJAGBEMI, C. O.; BAEK, M.; KIM, D.; Montmorillonite surface properties and sorption characteristics for heavy metal removal from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, v. 166, p. 538-546, 2009.
- ISLAM, Mohammad Nazrul et al. The feasibility of recovering oil from contaminated soil at petroleum oil spill site using a subcritical water extraction technology. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 111, p. 52-59, 2017.
- KAUSAR, A.; LQBAL, M.; JAVED, A.; AFTAB, K.; NAZLI, A.Z.H.; BHATTI, N.; NOUREN, S. Dyes adsorption using clay and modified clay: A review. *Journal of Molecular Liquids*, v. 256, p.395-407, 2018.
- LAMBERT, J.F. Organic pollutant adsorption on clay minerals. *Developments in Clay Science*, v. 9, p.195-253, 2018.
- REIS, R. F. L.; BOCCIA B. L. J. Impactos ambientais sobre rios e reservatórios. *Engenharia Ambiental, conceitos tecnologia e gestão*. p. 247-268, 2013.
- RODRIGUES, J. J.; LIMA, L. A.; LIMA, W. S.; RODRIGUES M. G. F.; Fernandes, F. A. N. Fischer-Tropsch synthesis in slurry-phase reactors using Co/SBA-15 catalysts, *Brazilian Journal of Petroleum and gas*. v.5, p. 149-157, 2011.

- RODRIGUES, J. J.; PECCHI, G.; FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, M. G. F. Ruthenium promotion of Co/SBA-15 catalysts for Fischer-Tropsch synthesis in slurry-phase reactors, *Journal of Natural Gas Chemistry*, v. 21, p. 722-728, 2012.
- RODRIGUES, J. J. Síntese da peneira molecular SBA-15 por métodos de aquecimento distintos e desenvolvimento de catalisadores (Co/SBA-15 e Ru/Co/SBA-15-15) destinados a reação de Fischer-Tropsch. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Campina Grande, 2011.
- SILVA, A., FERREIRA, H. 2008 Argilas bentoníticas: conceitos, estruturas, propriedades, usos industriais, reservas, produção e produtores/fornecedores nacionais e internacionais. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v.3.2, p. 28, 2008.
- SILVA, A. A.; PEREIRA, K. R. DE O.; RODRIGUES, M. G. F; WIEBECK, H. VALENZUELA- TAO, K.; ZHAO, S.; GAO, P.; WANG, L.; JIA, H. Impacts of *Pantoea agglomerans* strain and cation-modified clay minerals on the adsorption and biodegradation of phenanthrene. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.161, p. 237-244, 2018.
- TAO, H.; SONG, Z.Y.; DING, X.S.; YANG, J.J.; SHI, K.H.; LI, J. Epigenetic signatures in cardiac fibrosis, special emphasis on DNA methylation and histone modification. *Heart Fail.* v. 23, p. 789-799, 2018.
- ULUSOY, U; AKKAYA, R., Adsorptive features of polyacrylamide–apatite composite for Pb²⁺ and Th⁴⁺, *Journal of Hazardous Materials*, v.163, p.98–108, 2009.
- VALENZUELA-DÍAZ, F. R.; SANTOS, P.S. Studies on the acid activation of brazilian smectitic clays. *Química Nova*. N° 03, v 24, p. 2001.
- ZUIM, D. R. Estudo da adsorção de componentes do aroma de café (benzaldeído e ácido acético) perdidos durante o processo de produção do café solúvel. Dissertação de Mestrado. Universidade federal do Paraná, p.154, 2010.

A553e Andrade, Yves Andrew Carvalho de Sousa.
Estudo de processos de remoção óleo/água utilizando argila como
adsorvente / Yves Andrew Carvalho de Sousa Andrade. – Pombal, 2019.
45 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de
Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. Jocielys Jovelino Rodrigues".

"Coorientação: Ma. Josevânia Rorigues Jovelino".

Referências.

1. Adsorventes. 2. Argila. 3. Tratamento de efluentes. 4. Metais. 5.
Meio ambiente. I. Rodrigues, Jocielys Jovelino. II. Jovelino, Josevânia
Rorigues. III. Título.

CDU 544.723.21(043)

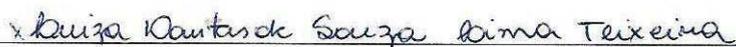
ESTUDO DE PROCESSOS DE REMOÇÃO ÓLEO/ÁGUA UTILIZANDO
ARGILA COM ADSORVENTE

Aprovado em 19/11/2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. DSc. Jocielys Jovelino Rodrigues
Orientador – UFCG/ Campus de Pombal – PB



Profª Ma. Luíza Dantas de Souza Lima Teixeira
Examinadora Interna – UFCG/Campus de Pombal - PB



Profª DSc. Alfredina dos Santos Araújo
Examinadora Externa – UFCG/Campus de Pombal - PB

Pombal – PB

Novembro de 2019