

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

VIVIAN LOIANE CARVALHO DE FREITAS

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL CERÂMICO PARA APLICAÇÃO EM
PROCESSOS DE ADSORÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

PONTA GROSSA

2016

VIVIAN LOIANE CARVALHO DE FREITAS

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL CERÂMICO PARA APLICAÇÃO EM
PROCESSOS DE ADSORÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientadora Prof^a. Dr^a. Giane Gonçalves Lenzi

PONTA GROSSA

2016



TERMO DE APROVAÇÃO

Desenvolvimento de Material Cerâmico para Aplicação em Processos de Adsorção

por

Vivian Loiane Carvalho de Freitas

Monografia apresentada no dia 03 de Outubro de 2016 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Marcelo Kaminski Lenzi
(UFPR)

Profa. Dra Simone Delezuik Inglez
(UTFPR)

Profa. Dra. Giane Gonçalves Lenzi
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Priscilla dos Santos Gaschi Leite
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso

RESUMO

FREITAS, Vivian Loiane Carvalho de. **Desenvolvimento de material cerâmico para aplicação em processos de adsorção**. 2016. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.

A preocupação com o meio ambiente tem crescido muito nos últimos anos. Na região de Curitiba e Ponta Grossa existe um grande polo industrial, sendo a maior parte das indústrias da região da área automobilística e metalúrgica. O objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento do adsorvente imobilizado em esponja cerâmica no processo de adsorção de metais. Além da questão ambiental, na região onde o estudo foi realizado (Ponta Grossa e Curitiba) existe uma grande quantidade de indústrias da área metalúrgica e automotiva que possuem efluentes contaminados com compostos tóxicos e metais pesados. Assim, o presente trabalho de conclusão de curso visa apresentar uma proposta que possa diminuir uma etapa de um processo ambiental, a separação do adsorvente da suspensão aquosa por um sedimentador, produzindo uma esponja cerâmica com o adsorvente imobilizado, para a remoção de compostos que atualmente estão em excesso nas águas da região afetada em Minas Gerais e que também podem ser aplicadas no tratamento de efluentes industriais na região de Ponta Grossa e Curitiba.

Palavras-chave: Cerâmica. Adsorção. Engenharia química.

ABSTRACT

FREITAS, Vivian Loiane Carvalho de. Development of ceramic material for application in adsorption processes. 2016. 34 p. Work Conclusion Course (Chemical Engineering) - Federal University of Technology - Paraná, Ponta Grossa, 2016.

Concern about the environment has grown a lot in recent years. In the region of Curitiba and Ponta Grossa there is a great industrial pole, being most of the industries of the area of the automobile and metallurgical area. The objective of this work was to analyze the behavior of the adsorbent immobilized in ceramic sponge in the process of adsorption of metals. In addition to the environmental issue, in the region where the study was carried out (Ponta Grossa and Curitiba) there are a large number of metallurgical and automotive industries that have effluents contaminated with toxic compounds and heavy metals. Thus, the present work of course conclusion aims to present a proposal that can reduce a stage of an environmental process, the separation of the adsorbent from the aqueous suspension by a sedimentador, producing a ceramic sponge with the immobilized adsorbent, for the removal of compounds that currently are in excess in the waters of the affected region of Minas Gerais and can also be applied in the treatment of industrial effluents in the region of Ponta Grossa and Curitiba.

Keywords: Ceramic. Adsorption. Chemical engineering.

LISTA DE ABREVIATURAS

EDS	Sistema de Energia Dispersiva
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PH	Potencial Hidrogeniônico
PS	Poliestireno
PVA	Álcool Polivinílico
PVC	Policloreto de Vinila
PU	Poliuretano
TGA	Análise Termogravimétrica
UV	Ultravioleta

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Etapas de Síntese dos Materiais: (a) Suspensão Cerâmica; (b) Suspensão Cerâmica com Bentonita, (c) Esponja Vegetal Natural e (d) Suspensão Cerâmica com Bentonita Impregnada na Esponja Vegetal Natural.....	21
Figura 2 – Materiais produzidos: (a) Suspensão Cerâmica com Bentonita; (b) Esponja Cerâmica.....	23
Figura 3 – MED/EDS das amostras (a) Suspensão Cerâmica com Bentonita; (b) Suspensão Cerâmica com Bentonita impregnada na Esponja Natural.....	24
Figura 4 – Adsorção de Bário com Bentonita e Suspensão Cerâmica e Bentonita com Suspensão Cerâmica Impregnada na Esponja Natural.....	24
Figura 5 – Adsorção de Bário com Alumina e Argila Bentonita livre em suspensão (em pó).....	26
Figura 6 – Adsorção de Chumbo com Bentonita e Suspensão Cerâmica e Bentonita com Suspensão Cerâmica impregnada em Esponja Natural.....	27
Figura 7 – Adsorção de Chumbo com Bentonita e Alumina livre em suspensão (em pó).....	28

Sumário

1. INTRODUÇÃO	7
1.1 OBJETIVO GERAL	8
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.3 JUSTIFICATIVA	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 ESPONJAS CERÂMICAS	10
2.1.1 Síntese da Esponja Cerâmica	11
2.1.1.1 Método da Esponja Polimérica	12
2.1.1.2 Método Espumante	14
2.1.1.3 Incorporação de Compostos Orgânicos	15
2.1.1.4 Gelcasting	15
2.2 ADSORÇÃO	16
2.3 BENTONITA	16
2.4 ALUMINA	17
2.5 METAIS PESADOS	17
2.5.1 Chumbo	18
2.5.2 Bário	18
2.6 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO	19
2.6.1 Microscopia Eletrônica de Varredura	19
2.6.2 Espectrometria de Absorção Atômica	20
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	20
3.1 Síntese das Esponjas Cerâmicas	20
3.2 Caracterização das Esponjas Cerâmicas	22
3.3 Aplicação Ambiental - Adsorção	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
4.1 Esponjas Cerâmicas e Caracterização - MEV	23
4.2 Adsorção de Bário	25
4.3 Adsorção de Chumbo	27
5. CONCLUSÃO	30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente tem crescido muito nos últimos anos. O aumento populacional gerou a necessidade da busca por melhor qualidade de vida, impulsionando o desenvolvimento de novos produtos e processos. Com tal crescimento a demanda por matéria-prima exigiu maior extração de recursos naturais, resultando em um grande impacto ambiental.

O setor industrial tem destaque considerável na responsabilidade pela exploração demasiada do meio ambiente. Nos processos gerais de produção ocorre a geração de resíduos tóxicos, (podendo ser líquido, sólido ou gasoso), que muitas vezes são lançados na natureza sem o tratamento adequado.

Na região de Curitiba e Ponta Grossa existe um grande polo industrial, sendo a maior parte das indústrias da região da área automobilística e metalúrgica. Os resíduos do processo dessas indústrias apresentam diversos componentes tóxicos e metais pesados, como ferro, níquel e chumbo. Sendo assim, existe a necessidade do controle ambiental de tais resíduos, com fiscalização efetiva e dentro de limites estipulados pela legislação.

Além do descarte indevido de resíduos existem os desastres ambientais sendo que, mesmo que haja controle ambiental, quando ocorrem atingem grandes proporções trazendo danos muitas vezes irreversíveis à natureza e seu ecossistema.

Um exemplo foi o desastre ocorrido no Brasil em novembro de 2015, onde uma barragem de lama com rejeitos de mineração rompeu, liberando aproximadamente 50 milhões de metros cúbicos que atingiu 30 municípios de 2 estados do país (GLOBO.COM, 2016). Tais detritos afetaram o abastecimento de águas das cidades, os rios, animais e por fim o mar.

Após o ocorrido análises foram realizadas na água superficial da lama, que constava a alta concentração de metais pesados como zinco, bário, chumbo, arsênio, entre outros. O SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto) solicitou a um laboratório a análise da água superficial da lama presente no município de Mariana-MG, e em relatório consta que a concentração de várias substâncias se encontravam fora do limite estabelecido, como por exemplo, 5,385 mg/L de Bário presente na água sendo o tolerado valores menores que

0,5 mg/L, e 1,03 mg/L de Chumbo sendo tolerado até 0,01 mg/L da substância (R7.COM, 2015).

A água é geralmente contaminada por diversos poluentes orgânicos e inorgânicos, e assim fazem-se necessárias técnicas para a remoção de tais poluentes, pois estes trazem danos ao ecossistema e à saúde humana.

Existem diversas técnicas para tratamento de efluentes industriais, em particular para metais pesados, como por exemplo, biossorção, fotocatalise heterogênea e adsorção.

A adsorção é um processo eficiente para a remoção de compostos orgânicos e metais pesados de efluentes industriais. O adsorvato é a substância encontrada na superfície e o adsorvente é a substância cuja superfície ocorre a adsorção (PINHEIRO, 2015).

Materiais cerâmicos são utilizados desde a antiguidade, estando presentes tanto no cotidiano humano como na indústria para fins tecnológicos. Pelas suas características de ataque químico e resistência, dentre os diversos fins desse material, ele também é utilizado como filtro para processos ambientais. Muito utilizado como suporte para compostos químicos, como catalisadores, este se torna uma opção para aplicação em outros processos.

Logo a questão em análise é como auxiliar o setor industrial, de forma a diminuir o impacto no meio ambiente, mas também criando alternativas que sejam viáveis e que facilitem a produção, criando um elo de cooperação entre indústria e natureza, através do uso de materiais cerâmicos.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o comportamento do adsorvente imobilizado em esponja cerâmica no processo de adsorção de metais.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir esponjas cerâmicas de alumina com bentonita a partir de esponja natural.
- Avaliar a adsorção em função do tempo de contato do chumbo e bário com adsorventes de alumina e bentonita em suspensão.

- Avaliar a adsorção em função do tempo de contato do chumbo e bário com alumina e bentonita immobilizados.
- Comparar a adsorção dos adsorventes em suspensão e immobilizados.
- Analisar a aplicação das esponjas cerâmicas no processo de adsorção

1.3 JUSTIFICATIVA

A legislação ambiental brasileira tem sofrido, ao longo dos anos, sofrendo modificações cada vez mais rígidas em relação aos recursos hídricos. Neste contexto, as indústrias vêm buscando alternativas eficientes e com custo reduzido.

Os processos de descontaminação ambiental passam por diversas etapas. A diminuição de uma etapa pode gerar uma economia financeira, de tempo e de recursos naturais.

Além da descontaminação ambiental na indústria, temos atualmente no Brasil a realidade de rios contaminados pelo recente desastre de Mariana, além dos animais que morreram e as plantas contaminadas nas áreas atingidas. Muitos desses danos levarão anos para serem anulados, como também para a natureza se recompor.

Em frente disso existe um desafio para a Engenharia Química de procurar diminuir o impacto do homem na natureza, seja este por meio de processos industriais ou por fatalidades como desastres ambientais, criando novas alternativas, novas tecnologias, novos produtos e otimizando processos que diminuam o impacto no meio ambiente de forma viável e prática.

Levando em conta as análises do impacto do desastre no meio ambiente, foi verificado o alto teor de substâncias tóxicas na água superficial da lama da barragem como também da água dos rios atingidos. Maioria dos compostos encontra-se em quantidades muito maiores que o tolerado, como por exemplo, o chumbo e o bário.

Além da questão ambiental, na região onde o estudo foi realizado (Ponta Grossa e Curitiba) existe uma grande quantidade de indústrias da área

metalúrgica e automotiva que possuem efluentes contaminados com compostos tóxicos e metais pesados. Tais efluentes necessitam de tratamento, sendo que esse processo demanda de materiais e custos.

Assim, o presente trabalho de conclusão de curso visa apresentar uma proposta que possa diminuir uma etapa de um processo ambiental, a separação do adsorvente da suspensão aquosa por um sedimentador, produzindo uma esponja cerâmica com o adsorvente imobilizado, para a remoção de compostos que atualmente estão em excesso nas águas da região afetada em Minas Gerais e que também podem ser aplicadas no tratamento de efluentes industriais na região de Ponta Grossa e Curitiba.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ESPONJAS CERÂMICAS

Os materiais cerâmicos são utilizados desde a antiguidade como artefatos ornamentais de mesa e decoração. Atualmente seu uso não é mais somente como utilitário, mas também como material de pesquisa e com função tecnológica tendo diversos usos nessa área, como por exemplo, roupas de astronautas para isolamento térmico.

Em relação a suas propriedades, imagina-se de um material cerâmico alta resistência e dureza, características essas estão presentes no cotidiano humano, podendo ser em louças como até em fios de fibra ótica.

Porém não somente essas propriedades que a cerâmica contempla. Conforme estudos sobre esse material, outros tipos de cerâmica são produzidos, um exemplo são as cerâmicas porosas. Por sua porosidade, esse tipo de cerâmica é largamente utilizada, tendo diversas aplicações (GALDINO, 2003).

Dutra; Pontes (2002) ao referenciar as cerâmicas porosas, ou esponjas cerâmicas, destacam que as mesmas possuem elevado potencial econômico, sendo usados como filtros para metais fundidos, sensores, materiais para contra fogo e também em implantes ósseos.

Em outro estudo sobre cerâmicas porosas, Muller (2008) desenvolveu um filtro cerâmico para remoção de partículas de gases a altas temperaturas,

para aliar boa estabilidade térmica e mecânica a um bom desempenho no processo de filtração.

Já Fonseca et al (2011) estudaram biocerâmicas porosas de hidroxiapatita e fosfatos de tricálcio, via método gelcasting e adição de cera polimérica, para aplicação em regeneração de defeitos ósseos.

Oliveira (2010) também pesquisou sobre cerâmica porosa, como sensores de umidade para o monitoramento do conteúdo de água de solos para regiões com risco de deslizamento de encostas.

Tais pesquisas estão aplicadas em diversas áreas de estudo, mas levando em conta o cenário ambiental, houve a necessidade de se desenvolver processos, técnicas e tecnologias que possibilitem ao homem minimizar os danos causados a natureza. Dessa forma tornou-se fundamental o estudo e desenvolvimento de novos materiais que contribuíssem em processos para aplicação ambiental.

Assim os materiais cerâmicos são estudados como suporte de catalisadores no tratamento de água e filtragem do ar. A vantagem do uso de esponjas cerâmicas é que, por possuírem baixa densidade e condutividade térmica, alta área superficial, permeabilidade controlada, entre outras propriedades mecânicas, são convenientes para o uso como meio filtrante para transportar catalisadores para tratamentos ambientais (FALK et al, 2014).

De acordo com Galdino (2003), as cerâmicas porosas podem classificar-se em:

- Cerâmicas reticuladas: material poroso que contem espaços vazios interconectados envoltos por uma rede de cerâmica
- Cerâmica de espuma: possui espaços vazios que são fechados formando uma matriz fechada de cerâmica.

Os dois tipos diferenciam-se na propriedade de permeabilidade, sendo que para cerâmicas reticuladas essa propriedade é alta e em cerâmicas de espuma é baixa, devido às características da sua estrutura aberta ou fechada.

2.1.1 Síntese da Esponja Cerâmica

As esponjas cerâmicas podem ser obtidas pelos seguintes métodos:

- Método da esponja polimérica
- Método espumante
- Incorporação de compostos orgânicos
- Gel Casting

Para Dutra e Pontes (2002, p. 1), o problema mais comum dessas técnicas é o controle de processamento e das propriedades finais, como a estrutura porosa e as dimensões finais do componente.

A fim de se entender melhor como é possível obter poros na estrutura cerâmica, como isso ocorre, a seguir encontra-se as principais formas de produção de esponjas cerâmicas.

2.1.1.1 Método da Esponja Polimérica

Conhecido também como método da réplica, esse método baseia-se na impregnação de uma esponja polimérica em uma suspensão cerâmica. Seguida pela queima da esponja há a formação do corpo cerâmico com poros (DUTRA; PONTES, 2002).

Para Galdino (2003, p. 26), as etapas do processo são:

I. Seleção da esponja

Essa etapa inicial baseia-se na escolha da esponja com base no tamanho do poro do produto final. Deve-se considerar também a habilidade de recuperação para voltar ao formato original da esponja. A esponja também deve volatilizar a temperaturas abaixo do ponto onde ocorrerá a sinterização do corpo cerâmico.

II. Preparação da suspensão cerâmica

A suspensão é feita de partículas cerâmicas com água e aditivos. As partículas cerâmicas usualmente usadas são sílica, alumina, magnésia, fosfatos de cálcio, argilas calcinadas entre outros. A água na suspensão varia de 10% a 40% do peso total da suspensão.

III. Inclusão de aditivos

Aditivos são adicionados para melhorar as propriedades do produto final. O ligante é adicionado para melhorar a resistência da estrutura cerâmica

depois do processo de secagem e evita o colapso no momento de volatilização da esponja.

Já o agente reológico garante que ao momento de impregnação da esponja polimérica na suspensão cerâmica, a suspensão será fluida suficiente para entrar e preencher e uniformemente cobrir a rede da esponja. Os agentes mais comuns são bentonitas e caulim.

Agentes anti-espumantes são adicionados a fim de evitar que se forme espuma na suspensão, reduzindo a tendência da mesma de gerar “janelas” na estrutura porosa.

Agentes floaculantes são acrescentados à suspensão cerâmica para aumentar a aderência da mistura à esponja. E por fim, agentes de fixação por ar são adicionados a mistura cerâmica para ajudar na fixação ou ligação desta para a queima.

IV. Imersão da esponja na lama

Este passo resume-se na impregnação da esponja com a suspensão cerâmica. Inicialmente comprime-se a esponja para retirar o ar, imerge-se na suspensão e é deixada para que ocorra a expansão, enquanto a suspensão cerâmica infiltra-se nas células abertas da esponja.

V. Remoção do excesso de lama da esponja

Após a imersão, remove-se de 25% a 75% da mistura na esponja. Os métodos podem ser por compressão da esponja entre duas superfícies de madeira ou por centrifugação, passagem por rolos de compressão entre outros.

VI. Secagem

Após a remoção do excesso da suspensão, a esponja impregnada passa pelo processo de secagem para que aconteça a deposição da cerâmica na esponja, podendo ser realizado ao ar — realizada de oito a vinte e quatro horas —, em microondas ou em estufa (que ocorre num intervalo de 100°C a 700°C podendo durar de quinze minutos até seis horas).

VII. Evaporação da esponja e componentes orgânicos

A estrutura cerâmica é aquecida numa faixa de 350°C e 800°C por longos intervalos de tempo, com aquecimento lento e controlado até alcançar o ponto de temperatura crítica dessa etapa.

VIII. Sinterização do corpo cerâmico

É a última etapa, onde ocorre a densificação da rede cerâmica através de aquecimento controlado, variando de 1000°C a 1700°C, sendo os parâmetros utilizados variáveis conforme o material cerâmico inicial.

Dessa forma, o método da réplica consiste na impregnação de uma suspensão cerâmica em uma esponja polimérica, passando por um processo de queima onde os componentes poliméricos irão se volatilizar, seguido da conformação da cerâmica porosa pela sinterização.

As esponjas poliméricas que são normalmente utilizadas para a produção de esponjas cerâmicas são as de poliuretano (PU), policloreto de vinila (PVC), poliestireno (PS) e látex.

Rosário (2013) estudou a fabricação de queimadores cerâmicos porosos pelo método da réplica de espuma polimérica para a análise das aplicações da tecnologia de combustão em meios porosos. A espuma polimérica utilizada foi a de poliuretano e suspensão cerâmica de alumina e sílica.

Falk (2013) obteve em seu estudo uma esponja cerâmica porosa de poliuretano. A esponja cerâmica foi utilizada, para processos ambientais, como suporte do catalisador TiO_2 em processos fotocatalise heterogênea para degradação de resíduos de Rodamina B em água.

Peña et al. (2011) analisaram as propriedades das estruturas de cerâmicas porosas para a análise de viabilidade do uso de esponjas cerâmicas para isolamento térmico. Assim utilizaram o método da réplica, com esponja polimérica de poliéster, para a formação da esponja cerâmica.

Dentre as diversas técnicas de obtenção de esponjas cerâmicas citadas anteriormente o método escolhido para a produção das esponjas cerâmicas será pelo Método da Esponja Cerâmica.

Diferentemente do material que é comumente utilizado nesse método, neste estudo utilizou-se a bucha vegetal (*Luffa Cylindrica*) como molde para a síntese da esponja cerâmica.

2.1.1.2 Método Espumante

Também conhecido como *Direct Foaming*, este método trata-se de um gás dispersado em uma mistura cerâmica com o intuito de manter uma

estrutura de bolhas de ar. A porosidade está relacionada à quantidade de gás que está injetado na suspensão. Assim a espuma é sinterizada a temperaturas elevadas para se obter uma esponja cerâmica com alta resistência. As propriedades da porosidade, como tamanho, são definidas pela estabilidade da espuma antes que a esponja cerâmica é consolidada (TORQUATO, 2012).

Galdino (2003, p. 30) relata que algumas formas, composições e densidades são produzidas mais facilmente através da formação de espuma, apresentando assim vantagens sobre o método da esponja polimérica.

2.1.1.3 Incorporação de Compostos Orgânicos

É uma das primeiras técnicas desenvolvidas e baseia-se na incorporação de materiais orgânicos na suspensão cerâmica, os quais, durante a queima, serão removidos. A presença desses materiais na estrutura cerâmica deixará poros conforme o tamanho das partículas orgânicas, dando porosidade ao material (DUTRA; PONTES, 2002).

A porosidade no material cerâmico pode ser de 20% a 90%. Os materiais orgânicos a serem utilizados nesse método podem ser: polímeros, fibras orgânicas, amidos comerciais, serragem, celulose e etc. (FREITAS; CAO VILLA, 2014). A vantagem desse método é que é um processo simples, de baixo custo de produção e proporciona um melhor controle do tamanho dos poros da esponja cerâmica através do diâmetro das partículas orgânicas e também da porosidade pela variação do volume do material orgânico e cerâmico (CARLOS et al, 2005).

2.1.1.4 Gelcasting

Essa técnica consiste numa suspensão com monômeros com um pó cerâmico, onde sofrerá polimerização depois da conformação em molde, formando assim gel a partir da fase líquida. Após a conformação da estrutura ocorre a secagem e a sinterização (TORQUATO, 2012).

Rodrigues et al. (2004) relataram que esse método garante porosidade de 90% com geometria esférica e paredes densas, garantindo à esponja

melhores propriedades mecânicas em comparação com as pelo método da esponja polimérica.

2.2 ADSORÇÃO

A adsorção é um processo de transferência de massa, ao qual ocorre o acúmulo de uma substância na superfície de uma interface, podendo esta ser: líquido-líquido, sólido-líquido, líquido-gás, sólido gás. A substância que se acumula na superfície da interface é denominada adsorvato e a superfície na qual o adsorvato é acumulado chama-se adsorvente. Um gradiente de concentração é formado nas vizinhanças das superfícies, assim quanto maior for a superfície mais será facilitada a adsorção de componentes e a separação destes do fluido (BASTOS, 2012).

A adsorção pode ocorrer de duas formas: a fisissorção e quimissorção. Na fisissorção a ligação entre adsorvato e superfície do adsorvente está relacionada às forças de Van der Waals e na quimissorção está relacionada com uma reação química, onde ocorre a troca de elétrons entre o adsorvato e adsorvente (PINHEIRO, 2015).

A adsorção é influenciada diversos aspectos, entre eles: a temperatura e pH do sistema, tempo de contato adsorvato-adsorvente, entre outros. Quando a temperatura do sistema é modificada diversos aspectos do adsorvato são afetados, como por exemplo: energia cinética, mobilidade de suas espécies, solubilidade, potencial químico, entre outros. Assim a capacidade de adsorção é afetada, pois com o aumento de temperatura ocorre o aumento da taxa de difusão das moléculas do adsorvato e também aumenta (PINHEIRO, 2015).

2.3 BENTONITA

A bentonita é um mineral constituído principalmente de um argilomineral denominado montmorillonita, que faz parte do grupo esmectita, e é proveniente de cinzas vulcânicas de eras geológicas pretéritas. As bentonitas são caracterizadas por possuírem alta capacidade de troca iônica, elevada

área superficial, expandem seu volume quando em contato com a água, entre outras (ARAÚJO; FARIAS; SÁ, 2008).

Entre as diversas aplicações da bentonita, como carga mineral para produtos farmacêuticos e agente plastificante para produtos cerâmicos, a mesma também é muito utilizada em processos de adsorção de metais pesados (TITO et al., 2008).

2.4 ALUMINA

A alumina, ou óxido de alumínio, é um material cerâmico com fórmula molecular Al_2O_3 , estrutura cristalina hexagonal compacta e alta dureza (REIS, 2012). Possui formas cristalográficas diferentes e distintas, sendo estas a α -alumina, a γ -alumina e também as fases κ , γ , δ , θ entre outras. A mais utilizada é a α -alumina, por ser a mais estável e mais resistente termicamente (ROCHA, 2011).

A alumina é extraída a partir do minério de alumínio, a bauxita ao qual é formada por óxido hidratado ($Al_2O_3 \cdot H_2O$), tendo também óxido de ferro, sílica, óxido de titânio e outros compostos em pequenas quantidades. Para se obter a alumina utiliza-se o Processo Bayer (GALDINO, 2003).

É uma das matérias-primas mais utilizadas no desenvolvimento de materiais cerâmicos de alto desempenho, como na confecção de produtos cerâmicos avançados porosos. Isso se deve às suas propriedades, como térmica e mecânica, estabilidade a temperaturas elevadas e o fácil processamento e produção de poros (GALDINO, 2003).

2.5 METAIS PESADOS

Trata-se de poluentes inorgânicos, tóxicos e são comumente encontrados no solo por estarem presentes na composição das rochas que constituem os solos. Mesmo em baixas concentrações podem apresentar riscos à saúde humana. Se presentes no ar, água ou solo, o metal pode atingir a cadeia alimentar quando em altas concentrações nas plantas, homens, animais, causando doenças nos seres humanos, atingindo a produtividade das plantas. Assim alguns países estipulam padrões de concentração de metais

pesados que possam ocorrer no ar, solo e água, a fim de minimizar o risco de intoxicações (REIS, 2012).

Dentre os diversos metais pesados que apresentam riscos ao meio ambiente, neste trabalho serão abordados os elementos chumbo (Pb) e bário (Ba).

2.5.1 Chumbo

O chumbo é um metal cinza, que possui condutibilidade térmica e a propriedade de absorção de radiações de ondas curtas e facilidade de combinação com os outros elementos. Normalmente é encontrado em combinação com outros elementos, como os minérios (MOTA, 2011).

Por essas características o chumbo é muito utilizado na indústria e possui vasta aplicação na fabricação de ligas metálicas, baterias, vidrarias, protetores de cabos, na indústria automotiva, metalúrgica, na fabricação de tintas. Por isso esse metal é um dos mais comumente encontrados em água (MOTA, 2011).

O chumbo, mesmo sendo muito utilizado, pode ser absorvido pelo corpo humano por contato com a pele, ingestão ou inalação, afetando os rins, músculos, cérebro e ossos, sendo que o consumo de água contaminada por esse metal, mesmo que em quantidades mínimas, causa uma série de doenças e efeitos ao metabolismo humano (MOTA, 2011).

2.5.2 Bário

O bário é um metal prateado, maleável, reage com água formando óxido ou hidróxido, onde sua principal fonte é a barita ou baritina (presente em rochas ígneas, sedimentares ou metamórficas) na forma de sais de bário. O bário pode ser encontrado também em um mineral raro chamado witherita (Ba_2CO_3) (MOTA, 2011).

A barita devido às suas características de absorver raios-X e Gama, baixa absorção de óleo, entre outros, é muito utilizada na indústria de cimentos

especiais, tubos de aparelhos de televisão, na área da medicina em exames de raio-X, indústria têxtil, papelreira, de plásticos, tintas, indústria de materiais esportivos e etc (MOTA, 2011).

Assim, o bário é emitido para o meio ambiente em processos industriais, normalmente na área mineração e produção de bário ou produtos químicos a base desse elemento. De forma natural o metal ocorre em associação a outros elementos, como sulfato e carbonato de bário ou minerais silicatados (REIS, 2012).

O bário não é um elemento essencial à nutrição humana e é considerado tóxico. Pode penetrar na cadeia alimentar através das plantas, animais e seres humanos. A sua contaminação nas plantas afeta a produtividade e pode levar a contaminação dos animais por ingestão. Compostos de bário presentes na água, como nitrato de bário, cloreto de bário, entre outros, se dissolvem e se associam a sulfatos e carbonatos e assim contaminam também os animais ali presentes e organismos aquáticos, aumentando o acúmulo de bário (REIS, 2012).

A presença de bário no organismo humano em altas concentrações causa derrames, atinge o sistema nervoso causando paralisia e convulsões e podendo causar a morte (MOTA, 2011).

2.6 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO

2.6.1 Microscopia Eletrônica de Varredura

Esse método baseia-se na emissão de um feixe de elétrons de tungstênio, ao qual incide sobre o material analisado gerando sinais relacionados com a interação do feixe de elétrons incidente e a amostra. Tais sinais apresentam-se na forma de elétrons e fótons que são captados por detectores específicos, são processados num sistema para cada tipo de sinal, medem a intensidade do sinal de acordo com a posição e por fim forma-se a imagem em monitor com aproximação de até 300.000 vezes (COSTA, 2006).

Essa técnica permite analisar a morfologia e a distribuição dos poros da esponja cerâmica (IKEGAMI, 2007). Logo, pelo uso dessa técnica pode-se

conhecer a estrutura da cerâmica porosa e analisar seus possíveis defeitos e assim, comparar a estrutura da cerâmica porosa com a de seu molde, a esponja polimérica.

2.6.2 Espectrometria de Absorção Atômica

A técnica de espectrometria de absorção atômica é utilizada para determinar a concentração das soluções no processo de adsorção. Baseia-se no fato de que moléculas são capazes de absorver energia luminosa de certo comprimento de onda, medindo-se então a variação na quantidade de luz transmitida é possível a determinação específica de um elemento (SILVA JUNIOR; BIDART; CASELLA, 2016). A relação entre a concentração da solução e a luz absorvida segue a Lei de Beer, conforme equação a seguir.

$$A = \varepsilon bc$$

Sendo ε a absorvidade molar, b o caminho ótico e c a concentração (PINHEIRO, 2015).

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1 Síntese das Esponjas Cerâmicas

I. Síntese da Suspensão Cerâmica

Para a preparação da esponja cerâmica, inicialmente foi preparada a suspensão cerâmica, conforme o método utilizado por Falk (2013), onde utilizou-se 148 g de óxido de alumínio (Dinâmica), adicionou-se 45 mL de água ultra pura, 8 mL de solução de álcool polivinílico (Dinâmica, proporção de 10% em massa de PVA e 90% em massa de água destilada), 2 mL de solução de silicato de sódio (Dinâmica, proporção de 36% em massa de silicato de sódio e 64% em massa de água). Todos os reagentes da suspensão cerâmica foram misturados em agitador de hélices em 500 rpm em um período de 40 min (Figura 1a). As amostras permaneceram 24 horas em secagem a temperatura ambiente para seguirem à etapa de tratamento térmico.

II. Síntese da Suspensão Cerâmica e Bentonita

Para a preparação da suspensão cerâmica com bentonita, seguiu-se a mesma metodologia do item anterior, onde foram adicionados 50 g de argila bentonita, Perquim, (Figura 1b). Devido à absorção de água da argila foi necessária a adição de mais água ao sistema, totalizando 140 mL de água ultra pura utilizado no processo, obtendo-se cerâmica maciça.

III. Síntese da Suspensão Cerâmica e Bentonita impregnada na Bucha Vegetal (*Luffa Cylindrica*)

O procedimento para esse item seguiu o empregado no item II anterior, onde a suspensão produzida foi impregnada manualmente na bucha vegetal (Figura 1c e 1d), submergindo a mesma na suspensão até o total preenchimento dos poros. A bucha vegetal foi escolhida devido a sua característica porosa e por ser um material natural.

IV. Tratamento térmico

Trata-se da etapa de degradação térmica através da queima do material orgânico, seguida de sinterização. Em estudos de Oliveira (2013), a bucha vegetal perde até 90% de sua massa a 425°C, segundo análise termogravimétrica. Dessa forma as esponjas cerâmicas foram calcinadas a uma temperatura de 400°C, acontecendo em duas etapas: Etapa 1 – T_{ambiente} até 200°C/ 1 hora e Etapa 2 – 200°C até 400°C/ 1 hora.

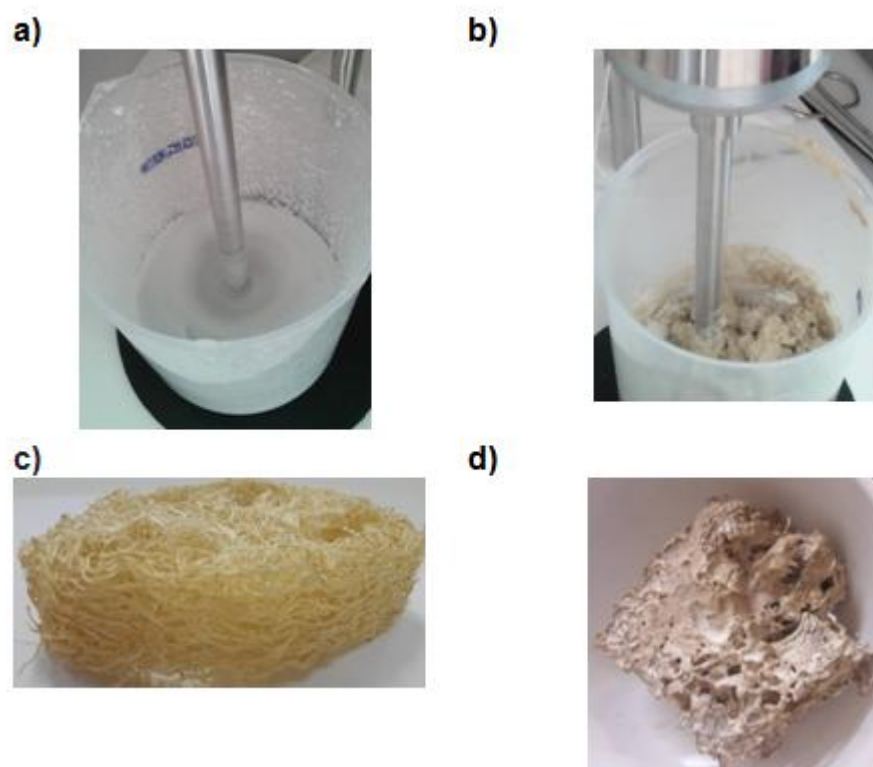


Figura 1 – Etapas de Síntese dos Materiais: (a) Suspensão Cerâmica; (b) Suspensão Cerâmica com Bentonita; (c) Esponja vegetal Natural; (d) Suspensão Cerâmica com Bentonita Impregnada na Esponja vegetal Natural.

Fonte: Própria.

3.2 Caracterização das Esponjas Cerâmicas

Foi realizada nas amostras análises de Microscopia Eletrônica de Varredura, utilizando-se um Microscópio eletrônico de varredura modelo VEJA 3 LMU marca TESCAN, completo com filamento de W 30 kV, resolução de 3.0 nm, detectores SE e BSE retrátil, modo de baixo-vácuo (500 Pa), câmara com diâmetro interno de 230 e abertura de porta de 148 mm, estágio 5 eixos compucêntrico, totalmente motorizado, com movimentos X: 80mm, Y: 60mm e Z: 47mm, câmera CCD para visualização da câmara de amostras e software “chamber view”, software operacional VegaTC, sistema de processamento de dados e track-ball. O Microscópio é também equipado com Detector EDS, seco, modelo AZTec Energy X-Act, resolução 130eV, marca Oxford.

3.3 Aplicação Ambiental - Adsorção

A adsorção foi realizada com 2 g, aproximadamente, de cada adsorvente. Os ensaios de adsorção foram feitos, em duplicata, com amostras de: material cerâmico composto de suspensão Cerâmica + Bentonita (com tratamento térmico); esponja cerâmica composta de suspensão cerâmica + Bentonita + Bucha Natural; Óxido de Alumínio e Bentonita. Os ensaios com óxido de alumínio e bentonita foram realizados a fim de avaliar se havia interferência de algum material na adsorção, onde ambos os materiais foram utilizados sem tratamento prévio. As amostras foram colocadas em béqueres contendo 50 mg/L de soluções de Bário e Chumbo a temperatura ambiente, sem agitação. Alíquotas foram coletadas em diferentes intervalos de tempo, definidos para 1, 2, 3, 4, 5, 7, e 22 horas. Os valores das concentrações de bário e chumbo foram determinados por um Espectrômetro de absorção atômica (PERKIN ELMER, modelo: Analyst 700) equipado com amostrador automático (modelo: S10) e sistema de injeção em fluxo (modelo: FIAS 100).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Esponja Cerâmica e Caracterização - MEV

Foram produzidos dois materiais cerâmicos, sendo o primeiro a suspensão com bentonita e o segundo uma esponja cerâmica composta por suspensão cerâmica, bentonita e tendo como molde esponja natural. Na Figura 2 a seguir são apresentados os materiais obtidos após o tratamento térmico...

a)



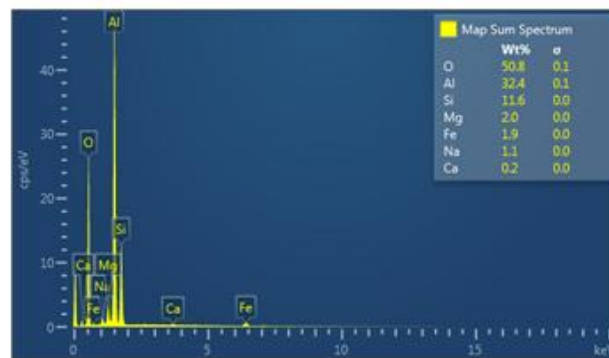
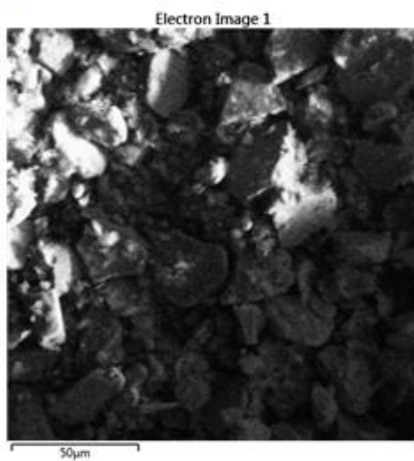
b)



Figura 2 – Materiais produzidos: (a) Suspensão Cerâmica com Argila Bentonita; (b) Esponja Cerâmica.

Amostras dos dois materiais foram analisados por microscopia MEV/EDS e os resultados estão na Figura 3 a seguir.

a)



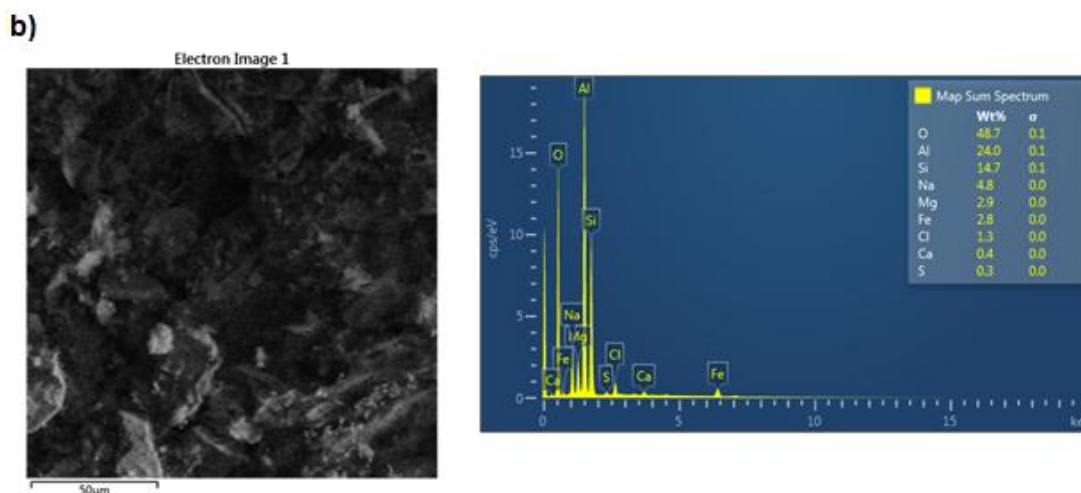


Figura 3 – MEV/EDS das amostras (a) Suspensão Cerâmica com bentonita; (b) Suspensão Cerâmica com bentonita impregnada na Esponja Natural.

Pelos resultados obtidos da microscopia pode-se perceber a maior uniformidade dos grãos do material cerâmico com bentonita (Figura 3a), apresentando grãos mais definidos, por outro lado a cerâmica impregnada na esponja natural (Figura 3b) apresenta superfície irregular, evidenciando o aumento dos poros do material.

A composição química das duas amostras apresenta como componentes principais Oxigênio, Sílica e Alumínio que provém da Bentonita e da suspensão cerâmica. Foram encontrados também Fe, Mg, minerais e matéria orgânica também podem ser encontrados na superfície dos materiais. Em comparação com a análise de composição os dois materiais possuem composições semelhantes, sendo que na esponja cerâmica foram encontrados os compostos S e Cl que podem ser provenientes que contaminações ou da esponja natural.

4.2 Adsorção de Bário

Os resultados obtidos do processo de adsorção de Bário estão indicados na Figura 4 (Bentonita + Suspensão Cerâmica e Bentonita com Suspensão Cerâmica impregnada na Esponja Natural) e Figura 5 (Alumina e Argila Bentonita).

Percebe-se que o processo de adsorção para remoção do Bário, tanto com o material Bentonita com Suspensão Cerâmica como com o material impregnado na esponja cerâmica, foram lentos. A adsorção utilizando bentonita e suspensão cerâmica apresentou resultados de remoção do metal a partir de 22h de adsorção. Os resultados da adsorção da cerâmica foram menores que a adsorção com a cerâmica impregnada, apresentando uma porcentagem de remoção de bário de 6% e 9%, respectivamente.

Tal comportamento deve-se a impregnação da esponja e tratamento térmico, onde o material possibilitou maior área de contato dos poros para a adsorção do contaminante.

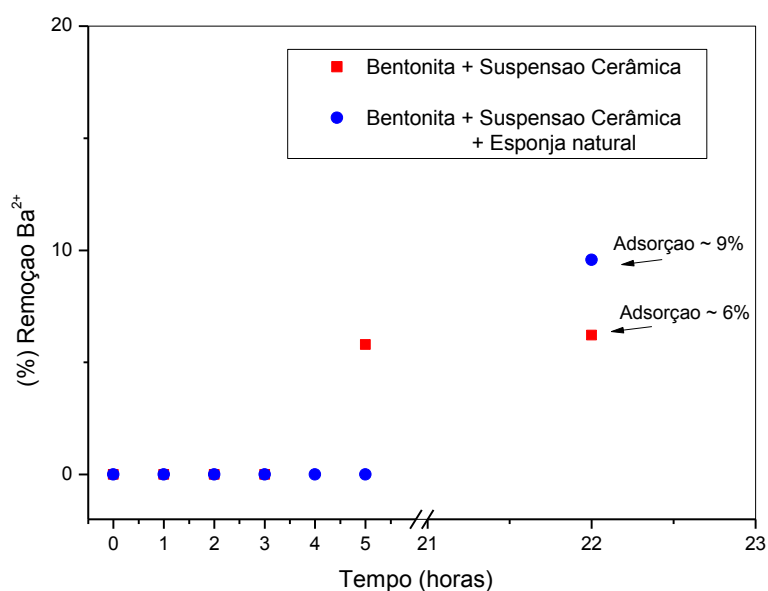


Figura 4 – Adsorção de Bário com bentonita e suspensão cerâmica e Bentonita com Suspensão Cerâmica impregnada na esponja natural.

Os resultados da adsorção com o óxido de alumínio e bentonita pura mostraram uma grande diferença da remoção do metal para os dois materiais. A bentonita apresentou uma porcentagem de remoção do bário de 90%, em contrapartida o óxido de alumínio adsorveu apenas 5%, mostrando instabilidade durante o processo de adsorção e seguindo para uma dessorção.

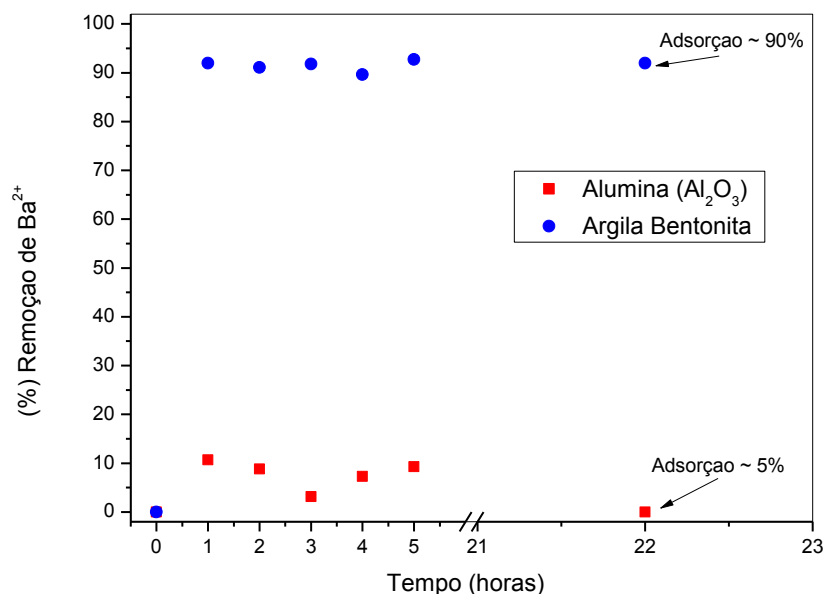


Figura 5 – Adsorção de Bário com Alumina e Argila Bentonita livre em suspensão (em pó).

A maior capacidade de adsorção da bentonita pura, quando comparada a cerâmica e a esponja cerâmica deve-se ao fato de estar livre na solução, tendo uma área de contato maior para a adsorção, em comparação com a bentonita imobilizada nos outros dois materiais.

4.3 Adsorção de Chumbo

Os resultados da adsorção de chumbo com a Bentonita com Suspensão Cerâmica e Bentonita e Suspensão Cerâmica impregnadas na esponja natural e a adsorção de chumbo com óxido de alumínio e bentonita estão indicados na Figura 6 e Figura 7, respectivamente.

Percebe-se na Figura 6 a seguir que a adsorção de chumbo com a cerâmica atingiu o ápice em 2 horas de adsorção, seguida por dessorção, apresentando uma capacidade de adsorção de 76%. Já a adsorção com a esponja cerâmica apresentou resultados melhores, onde a porcentagem de redução de chumbo aumenta conforme o tempo de adsorção, atingindo 87% de remoção. Esse resultado pode estar relacionado com a maior área de contato do adsorvente com a solução que a esponja cerâmica apresenta, devido a porosidade que apresenta.

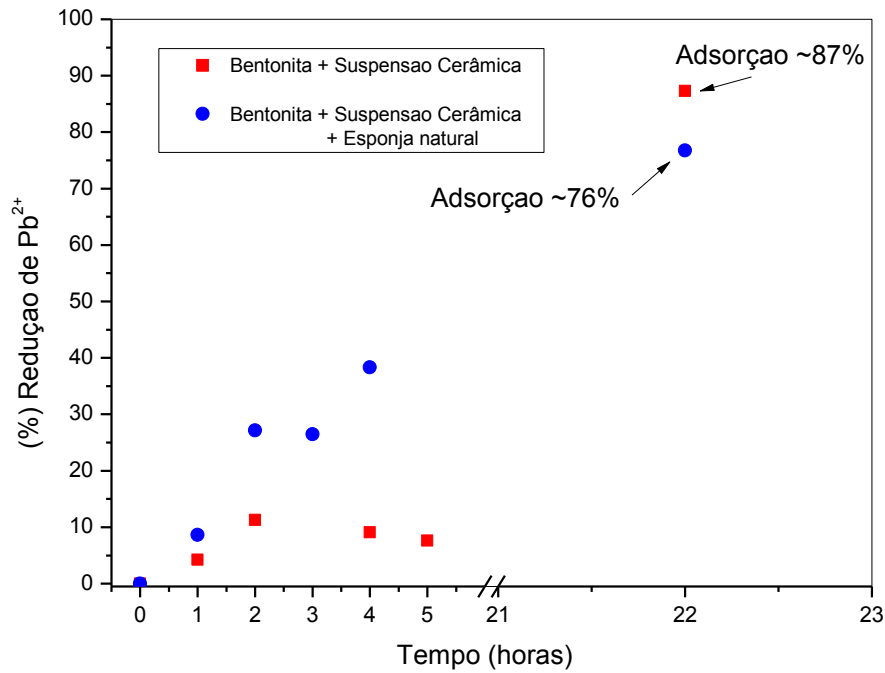


Figura 6 – Adsorção de Chumbo com Bentonita e Suspensão Cerâmica e Bentonita e Suspensão Cerâmica Impregnada em esponja natural.

Já a adsorção de chumbo com alumina e bentonita livre na solução apresentou comportamento diferente que a adsorção de bário. Pode-se perceber novamente que em comparação aos dois materiais, a adsorção com a bentonita é mais eficiente, alcançando 92% de remoção do chumbo da solução analisada. Já a adsorção com o óxido de alumínio apresentou um percentual de remoção menor, porém diferentemente da adsorção de bário, a capacidade de adsorção de chumbo aumentou conforme o tempo de contato com a solução, sendo que até as 22 h de adsorção alcançou a porcentagem mais alta de redução do metal, como pode-se observar na Figura 7 a seguir.

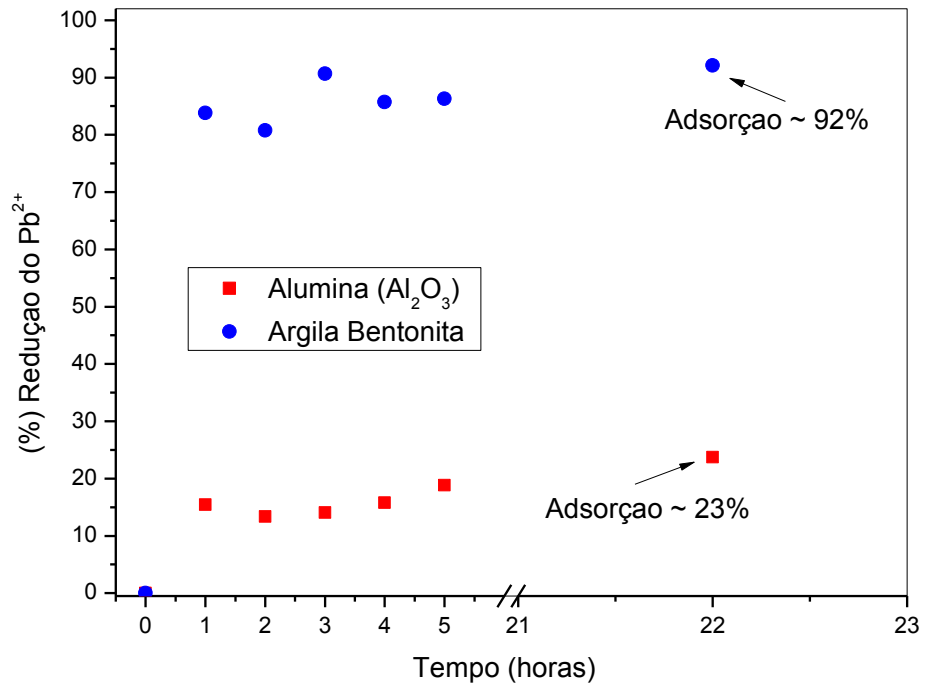


Figura 7 – Adsorção de Chumbo com Bentonita e Alumina livre em suspensão (em pó).

5. CONCLUSÃO

Analisando a aplicação dos dois materiais na adsorção dos metais Chumbo e Bário, observou-se um comportamento diferente para cada material em função do tempo de contato.

Na remoção de Bário, a sequência em ordem decrescente de adsorção foi: Bentonita, esponja Cerâmica, Cerâmica e Óxido de Alumínio. Já na remoção de Chumbo a sequência decrescente de adsorção foi: Bentonita, Cerâmica, Esponja Cerâmica e Óxido de Alumínio.

Na remoção de Pb, a Cerâmica apresentou um percentual maior de remoção, mas em um tempo de 22 horas, já a esponja cerâmica em um intervalo de 1 até 5 horas, apresentou percentual de 76% de remoção. Assim observou-se que apesar da pequena diferença na capacidade de adsorção, a esponja cerâmica apresentou uma adsorção mais rápida. Tal capacidade de adsorção pode estar relacionada com o aumento de poros.

Ao observar o comportamento da adsorção nos testes de interferência, percebeu-se a diferença na capacidade de adsorção do óxido de alumínio e a bentonita, sendo que para a remoção de Bário e Chumbo a bentonita apresentou 90% e 92% de remoção, e a alumina 5% e 23%, respectivamente.

Assim pode-se concluir que os materiais desenvolvidos neste trabalho apresentaram melhor capacidade de remoção para o Chumbo, em comparação com a remoção do Bário. O aumento de poros no material cerâmico gera um aumento na área de contato com o contaminante, ocasionando maior adsorção e influenciando o tempo de adsorção. E, por fim, o óxido de alumínio apresentou interferência, podendo ter inibido a adsorção.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, José Silvan Borborema; FARIAS, Paulo Sérgio Cunha; SÁ, Alcindo José de. Mineração e Industrialização da Bentonita e as Transformações/Permanências no Espaço Agrário de Boa Vista: Um Estudo de Caso dos Sítios Bravo e Urubu. **Revista de Geografia**, Recife, v. 25, n. 3, p.122-142, dez. 2008.

BASTOS, Andréa de Castro. **Adsorção dos Íons Cobre, Cobalto e Níquel na Superfície Organofuncionalizada 3(2-Amino-1,3,4-Tiadiazon) Sílica Gel, ATFSG**.2012. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química dos Materiais, Faculdade de Engenharia, UNESP, Ilha Solteira - SP, 2012.

COSTA, Hermes de Souza. **Fabricação de biocerâmicas de matriz porosa com estrutura em alumina, recobrimento superficial de fosfato de cálcio e zinco incorporado à superfície**. 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

CARLOS, M. O. et al. **Heteroagulação como técnica para obtenção de cerâmicas porosas**. *Cerâmica*, São Carlos, n. 51, p.78-84, 2005.

DUTRA, R. P. S.; PONTES, L. R. de Araújo. **Obtenção e análise de cerâmicas porosas com a incorporação de produtos orgânicos ao corpo cerâmico**. *Cerâmica*, João Pessoa, v. 308, n. 46, p.223-230, 2002.

FALK, G. S. et al.. **Impregnação de catalisadores em suporte de espuma cerâmica de alumina**.*Cerâmica*, Santa Maria, n. 60, p.102-107, 2014.

FALK, Gilberto da Silva. **Impregnação de TiO₂ em esponja cerâmica para aplicações fotocatalíticas**. 2013. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Área de Concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2013.

FONSECA, Flávia Mendonça et al. **Fabricação de Biocerâmicas Porosas de Hidroxiapatita por Gelcasting**. *Revista Militar de Ciência e Tecnologia*, Rio de Janeiro, v. 28, p.33-41, 2011.

GALDINO, André Gustavo de Sousa. **Caracterização Mecânica e Microestrutural de Cerâmicas Porosas Obtidas a Partir de Diferentes Aluminas**. 2003. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e

Ciência dos Materiais, Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

GLOBO.COM. **Municípios atingidos por lama terão mais R\$ 2 milhões do governo.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/minas-gerais/desastre-ambiental-em-mariana/noticia/2016/04/ministerio-da-saude-repassa-mais-r-2-mi-cidades-atingidas-por-lama.html>>. Acesso em: 21 jul. 2016.

IKEGAMI, Rogério Akihide. **Desenvolvimento de corpos cerâmicos compostos bioativos com estrutura de gradiente funcional.** 2007. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

MOTA, Izabel de Oliveira da. **Remoção de Chumbo e Bário de um Efluente Aquoso Sintético via Eletroflotação/ Eletrocoagulação.** 2011. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Química, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2011.

OLIVEIRA, Rodrigo de Matos. **Desenvolvimento de elementos sensores de cerâmicas porosas de ZrO_2-TiO_2 para aplicação no monitoramento do conteúdo de água em solos.** 2010. 212 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Tecnologia Espacial, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

OLIVEIRA, Michel Picanço. **Propriedades Mecânicas e Térmicas dos Compósitos Poliméricos Reforçados por Fibras de Bucha.** 2013. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Materiais, Departamento de Ciência e Tecnologia, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2013.

PENÃ, Karen et al.. **Ceramic Foam Synthesis and Its Modification for Use at High Temperature.** Oriental Journal Of Chemistry. Bhopal, p. 1293-1301. 2011.

PINHEIRO, Darllan do Rosário. **Adsorção de Cu^{2+} em alumina de transição obtida a partir da mistura de gibbsita e hidróxido de alumínio gel.** 2015. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém - PA, 2015.

R7.COM. **Laudo comprova alta concentração de metais pesados em lama de barragens.** Disponível em: <<http://noticias.r7.com/minas-gerais/laudo-comprova-alta-concentracao-de-metais-pesados-em-lama-de-barragens-13112015>>. Acesso em: 21 jul. 2016.

REIS, Fábio Henrique de Sousa. **Cerâmicas Porosas à Base de Alumina Incorporadas com Biovidro.** 2012. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, Lorena, 2012.

REIS, Iolanda Maria Soares. **Adsorção de Cádmio e Disponibilidade de Cádmio e Bário em Latossolos Sob Mata Nativa e Cultivados.** 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, 2012.

ROCHA, Cassiano Duarte. **Estudo do processamento da Alumina visando aplicação em geometria hemisférica.** 2011. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

RODRIGUES, J. A. et al. **Relação entre porosidade e os módulos elásticos de esponjas cerâmicas produzidas via "gelcasting".** Cerâmica, São José dos Campos, v. 50, p.209-216, 2004.

ROSÁRIO, Jefferson Jean do. **Fabricação de esponjas cerâmicas à base de mulita e avaliação de seu desempenho em queimadores porosos radiantes.** 2013. 125 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SILVA, Bianca de Carvalho Munhoz da. **Estudo de Adsorção de Chumbo (Pb) por Ensaios de Equilíbrio em Lote em Materiais Inconsolidados: Municípios de Eldorado Paulista (Vale do Ribeira – SP).** 2013. 214 f. Tese (Doutorado) – Curso de Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

SILVA JUNIOR, Ademário Iris da; BIDART, Antonio Marcos Fonseca; CASELLA, Ricardo Jorgenssen. **Absorção Atômica.** Disponível em: <http://www.ifrj.edu.br/webfm_send/545>. Acesso em: 15 set. 2016.

TITO, Gilvanise Alves et al. **Isotermas de Adsorção de Cobre por Bentonita.** Revista Caatinga, Mossoró, v. 21, n. 3, p.16-21, set. 2008.

TORQUATO, Wagner Lopes. **Desenvolvimento e Caracterização de Filtros Cerâmicos para Aplicações a Altas Temperaturas**. 2012. 136 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.