



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO À PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

**SÍNTESE DE NOVOS MATERIAS ADSORVENTES À BASE DE
CAULINITA PARA ADSORÇÃO DE COBRE**

Bolsista: João Vitor Silva de Loureiro, CNPq

Manaus

2010



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO À PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

**SÍNTESE DE NOVOS MATERIAS ADSORVENTES À BASE DE
CAULINITA PARA ADSORÇÃO DE COBRE**

RELATÓRIO FINAL
PIB-E/0021/2009

Bolsista: João Vitor Silva de Loureiro
Orientador: Profº Drº Genilson Pereira Santana

Manaus
2010

**SÍNTESE DE NOVOS MATERIAS ADSORVENTES À BASE DE
CAULINITA PARA ADSORÇÃO DE COBRE**

RESUMO

A contaminação por metais potencialmente tóxicos, como o Cu^{2+} , ocasiona um desequilíbrio ambiental no sistema aquático. Uma alternativa para amenizar o problema é o uso de métodos de adsorção, cuja retenção de íons pode ocorrer em sistemas líquido-gás, líquido-líquido e sólido-gás. Este trabalho buscou sintetizar um novo adsorvente à base do argilomineral caulinita, devido sua viabilidade, eficiência e baixo custo. O princípio da síntese é baseada na modificação da estrutura da caulinita misturando-a com $\text{Al}(\text{OH})_3$ e matéria orgânica, aproveitando sua superfície hidroxilada e oxigenada. A amostra de solo (contendo caulinita) foi coletada na Universidade Federal do Amazonas, com profundidade de 0-20 cm. Foram secas ao ar, em local seco e protegido da poeira, sendo posteriormente desagregadas manualmente e peneiradas em malha de 0,053 mm. A fração $< 0,053$ mm foi tratada com ácido para purificação da caulinita. Essa caulinita foi separada em três tipos de amostras (com misturas 1:1): caulinita pura (CP), caulinita pura mais $\text{Al}(\text{OH})_3$ (CA) e caulinita pura mais açúcar (CAc). Em seguida as amostras CP e CA foram calcinadas a 600, 700, 800 e 900 °C, e as amostras CAc calcinadas a 400, 500, 600 e 700 C. A estrutura da caulinita foi caracterizada por DRX e por IV-FT. Os resultados mostraram que a combinação do alumínio fornecido na forma de hidróxido de alumínio com o alumínio da caulinita não provocou possível modificação estrutural, e no caso da matéria orgânica (CAc), em altas temperaturas, não ocorreu uma atmosfera redutora que pudesse possibilitar a modificação estrutural da caulinita de tal forma a aumentar a sua capacidade de troca catiônica. Observou-se que não houve resultados significativos, ao ser analisado os difratogramas de raios X e os espectrogramas do IV-FT. Esse método utilizado não favoreceu a síntese para ser um material adsorvente. Tornando-se necessário fazer novos testes com temperaturas em torno de 500 C.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Metais potencialmente tóxicos	5
2.2. Caulinita	5
2.3. Aspectos teóricos de adsorção.....	7
3. MATERIAIS E MÉTODOS	7
3.1. Coleta de amostra e purificação da caulinita	7
3.2. Preparo de adsorventes à base de caulinita.....	7
3.3. Caracterização da Caulinita in natura e ativada.....	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	8
5. CONCLUSÃO	17
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	17
7. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES	19

1. INTRODUÇÃO

Os processos industriais normalmente geram resíduos, muitas vezes tóxicos e perigosos. Ao serem despejados na natureza causam danos ao ambiente que representam grandes riscos de contaminação para população. A possibilidade de impactos ambientais fez com que muitos países mundiais estabelecessem resoluções e leis com a finalidade de reduzir ou mesmo determinar a proibição de fabricação de muitos produtos. O rigor de determinadas leis obrigou muitas industriais mundiais a desenvolver novos métodos de fabricação e mesmo processos para os tratamentos de seus rejeitos.

Particularmente, no caso do Pólo Industrial de Manaus, o lodo galvânico, que é o resultado do tratamento de efluentes da indústria de tratamento superficial de peças, é um dos resíduos que mais causam poluição aquática, principalmente no Igarapé do Quarenta (GUEDES, 2003). Algumas fábricas têm resolvido o seu problema, como em fábricas de cimentos, que utilizam este rejeito como uma de suas matérias-primas. Entretanto, a água de lodo galvânico ainda apresenta altas concentrações de metais potencialmente tóxicos, principalmente Ni, Cu, Cr, Zn e Fe (DAS e JANA *et al.*, 2006).

Existem muitos processos capazes de retirar ou imobilizar os metais potencialmente tóxicos presentes em resíduos líquidos. Dentre os quais se destacam os métodos eletroquímicos, precipitação, ultrafiltração, adsorção etc. (MANAHAN, 1999). O processo de adsorção se apresenta como uma boa opção devido ao fato de sua viabilidade, eficiência e baixo custo, e esse projeto propôs sintetizar adsorventes à base de Caulinita, $\text{Al}(\text{OH})_3$, e matéria orgânica para imobilização de cobre desses efluentes líquidos. A princípio as amostras de caulinita purificadas foram misturadas a seco com $\text{Al}(\text{OH})_3$ e açúcar (representando a matéria orgânica). Posteriormente, foram calcinadas a 600, 700, 800 e 900 °C (MONTEIRO, 2007), sendo as misturas compostas com açúcar aquecidas a 400, 500, 600 e 700 °C conforme (SANTANA *et al.*, 2001). No caso o material que se busca para adsorção em meio líquido é um sólido, a caulinita quimicamente modificada com objetivo de criar poros em sua estrutura, facilitando a adsorção do Cu^{2+} . A modificação na estrutura da caulinita foi caracterizada por DRX, com a verificação da cristalinidade que é observada nas posições dos picos do difratograma, e nos espaçamentos interplanares (d), e por IV-FT na observação das bandas características dos óxidos de alumínio e óxidos de silício da caulinita.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Metais potencialmente tóxicos

A expressão "metais pesados", mesmo sendo comumente usada, não é muito bem definida, é comum encontrar na literatura, sinônimos, como "*metais traços*", "*elementos-traços*", "*micronutrientes*", "*microelementos*", entre outros (DUARTE e PASQUAL, 2000). Todos esses termos variam de acordo com o ramo da ciência: Biologia, Geociência, Agronomia etc. A Tabela 1 mostra o efeito e a toxicidade sobre os metais potencialmente tóxicos objeto de estudo deste projeto, em algumas espécies de água doce.

O Cu tem função biológica essencial para o metabolismo celular no transporte de ferro e constituinte de diversas enzimas tais como: ceruloplasmina (carreia o Fe^{2+} armazenado para o local de síntese da hemoglobina) e superóxido dismutase (protege a célula da lesão oxidativa produzida por superóxidos). Quanto a sua toxicidade, é muito tóxico para as plantas; altamente tóxico para invertebrados, moderadamente para mamíferos.

Tabela 1 - Concentração tóxicas de cobre para diferentes espécies de água doce.

Concentração (mg L^{-1})	Tempo de exposição (h)	Espécie	Efeito
0,056	-	Daphnia magna	Inibe o crescimento
0,015	-	Peixe	Tóxicos
1,250	24	Truta arco-íris	CT50
0,015	-	Crustáceos/moluscos/insetos	Tóxicos
0,100 – 0,300	-	Algas azul e verde	Inibe o crescimento
0,100	24	Larva de perca listrada	CL50

CT50 = concentração tóxica 50%; CL50 = concentração letal 50%. Fontes: OHM/TAD, 2000; WHO, 1998.

2.2. Caulinita

Segundo De Sena (2005), os argilominerais resultam das alterações químicas das rochas feldspáticas e ferromagnesianas, que dependem das condições geológicas do ambiente e do processo de intemperização. Eles são formados por aluminossilicatos hidratados que possuem estruturas cristalinas em camadas ou em fibras. A maioria se apresenta em camadas constituída de uma folha contínua de tetraedros de silício e oxigênio empilhada a folha octaédrica de alumínio e oxigênio ou hidroxila. O encontro das folhas tetraédricas e octaédricas em diferentes proporções contribui para a formação de camadas

do tipo 1:1, 2:1, 2:2 ou 2:2:1; sendo a camada do tipo 1:1 a mais comum (MOORE e JUNIOR REYNOLDS, 1989).

O mineral do caulim mais comum e importante industrialmente é a caulinita $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$. A caulinita tem composição química teórica de 39,50% de Al_2O_3 , 46,54% de SiO_2 e 13,96% de H_2O . Pequenas variações na composição são observadas. Os principais elementos contaminantes dos caulins comerciais são o ferro e o titânio. O ferro está presente em grande parte nos minerais goethita, hematita, magnetita, pirita e ilmenita e o titânio nos minerais rutilo, anatásio e ilmenita. O ferro também pode ser encontrado como impureza substitucional na estrutura da caulinita, onde o Fe^{3+} substitui o Al^{3+} em sítios octaédricos. A quantidade de ferro estrutural pode variar de um caulim para outro, dependendo da origem do depósito e dos processos geológicos. A estrutura é formada por uma folha de tetraedros de silício ligados entre si num plano hexagonal e uma folha de octaedros de alumínio ligados entre si também em um plano hexagonal. Estas folhas são ligadas por átomos comuns de O (oxigênios apicais) e OH da folha tetraédrica. A camada é classificada como dioctaédrica porque apresenta 2/3 das posições catiônicas desta folha preenchidas por Al^{3+} . Conforme ilustra a Figura 1.

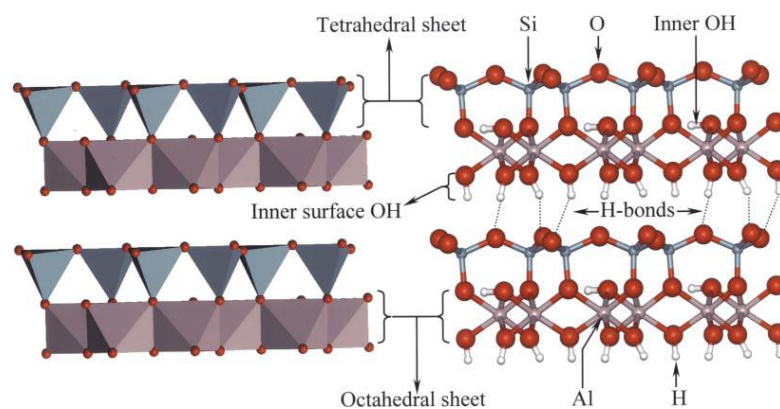


Figura 1 – modelo de estrutura da caulinita. Fonte: Deng et. al. (2002).

As folhas tetraédricas e octaédricas da caulinita são contínuas, nas direções dos eixos cristalográficos a e b , e estão uniformemente empilhadas na direção do eixo cristalográfico c . O empilhamento do cristal de caulinita acontece entre 40-50 camadas estruturais ligadas por átomos de hidrogênio (GOMES, 1986). Diferente de outros grupos de argilominerais, a caulinita praticamente não sofre substituição isomórfica e se apresenta

eletricamente neutra. Esta é a sua grande desvantagem, já que tem pouca reatividade e quase não sofre troca catiônica.

2.3. Aspectos teóricos de adsorção

A adsorção é um processo no qual uma substância (gás, líquido ou sólido) fica presa à superfície de um sólido. Em contraste, a absorção envolve a retenção de uma substância dentro dos poros de um sólido (Skoog, 2006). Dependendo do tipo de fases em contato, pode-se considerar este processo nos seguintes sistemas: líquido-gás, líquido-líquido, sólido-líquido, sólido-gás.

No caso o material que se busca para adsorção de Cu em meio líquido é um sólido, a caulinita quimicamente modificada com objetivo de criar poros em sua estrutura, facilitando a adsorção do Cu^{2+} . A modificação na estrutura da caulinita pode ser caracterizada por DRX, com a verificação da cristalinidade que é observada nas posições dos picos do difratograma, e nos espaçamentos interplanares (d), e por IV-FT na observação das bandas características dos óxidos de alumínio e óxidos de silício da caulinita.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Coleta de amostra e purificação da caulinita

As amostras de solo foram coletadas no Campus Universitário da Universidade do Federal Amazonas, Manaus. As amostras foram secas ao ar, peneiradas em peneira de 2 mm e 0,053 mm com ajuda de água, e secas novamente ao ar.

3.2. Preparo de adsorventes à base de caulinita

A princípio as amostras de caulim purificadas foram misturadas a seco com $\text{Al}(\text{OH})_3$ e açúcar, conforme mostra a Tabela 2, que mostra também as amostras puras. Posteriormente, foram calcinadas a 600, 700, 800 e 900 °C (MONTEIRO, 2007), sendo as misturas compostas com açúcar aquecidas a 400, 500, 600 e 700 °C conforme (SANTANA *et al.*, 2001).

Tabela 2 - Mistura dos materiais adsorventes.

Ordem	Código/temperatura (°C)	Ordem	Código/temperatura (°C)
1	CP	9	CA/800
2	A	10	CA/900
3	CP/600	11	CAC/400
4	CP/700	12	CAC/500
5	CP/800	13	CAC/600
6	CP/900	14	CAC/700
7	CA/600		
8	CA/700		

CP = caulim puro, CA = caulim puro + hidróxido alumínio (1:1), A = hidróxido de alumínio, CAC = caulim puro + açúcar (1:1).

E como inovação para o processo de teste de adsorção foi feito blocos de corpo de prova (com tamanho aproximado de 7,0x2,0x0,5 cm prensados a 2,5 Ton.).

3.3. Caracterização da Caulinita in natura e ativada

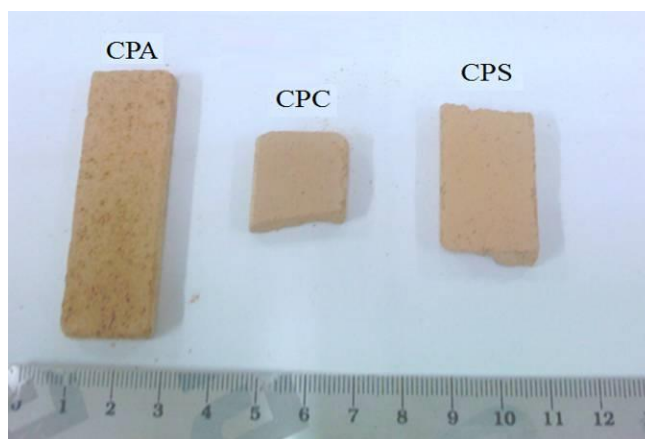
A caracterização dos adsorventes foi realizada por métodos físicos: espectrometria no infravermelho com transformada de Fourier (IV-TF) e difratometria de raios-X (DRX) (Lab-X Shimadzu 6000) com tubo de Cu (fonte $K\alpha$) pelo método de pó (DOS SANTOS SOUZA, 1989, MOORE e REYNOLDS, 1989).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A amostra foi coleta em um ambiente inabitado, com solo característico que contém a presença de caulinita em proporção considerável, confirmados por vários estudos realizados no solo da região. A Caulinita é uma rocha de granulometria fina, geralmente de cor branca e de boa inércia química; devido as suas características é amplamente utilizado na indústria. A principal aplicação do caulim é na indústria do papel, sendo também utilizado como matéria prima para produção de tintas, cerâmicas, borracha, plásticos, remédios, fibra de vidro, catalisadores, fertilizantes e outros (ARAÚJO, J.C. 2006).

Após a coleta do solo, foi feita a peneiração, no qual se reduziu a uma fração menor do que 0,053 mm, com aproximadamente 1,00 Kg. Boa parte desse material foi utilizado para a síntese dos materiais adsorventes, com as combinações descritas na Tabela 2.

O aquecimento das misturas foi feito através de uma mufla, sendo cada mistura aquecida por um tempo de duas horas na sua respectiva temperatura, Tabela 2.



Mistura com açúcar (CPA), mistura com sal (CPS); mistura com carvão (CPC).

Figura 2 - Blocos de corpo de prova para testes de adsorção.

E como inovação para o processo de teste de adsorção foi feito blocos de corpo de prova (com tamanho aproximado de 7,0 x 2,0 x 0,5 cm prensados a 2,5 Ton.) com a caulinita pura misturada com outros materiais que facilitem a adsorção do cobre em meio aquoso contaminado. Três tipos de blocos foram feitos: a caulinita pura, caulinita pura com açúcar, e caulinita pura com carvão. Depois de prensadas as misturas, foram feitos o aquecimentos a 600 C com objetivo de criar poros em cada corpo de prova, onde através de uma lupa (10x) observou-se que não foi gerado poros na superfície, poros que são característicos de materiais adsorventes. Como ilustra a Figura 2.

Os dados da difração de raios X dos materiais sintetizados foram obtidas no laboratório do Curso de Geologia da Universidade Federal do Amazonas pelo aparelho XRD-6000 Shimadzu - X-ray difractometer, com ângulo de varredura de 2θ no intervalo de 5 a 60 (passos de 0,02) com tempo de 0,5 segundos para cada ângulo, usando radiação $\text{CuK}\alpha$ (Comprimento de onda - 1,54186).

A Figura 3 ilustra o difratograma do material puro no primeiro gráfico, e o difratograma da amostra de caulinita pura e aquecida nas temperaturas de 600, 700, 800 e 900 °C nos seguintes gráficos, respectivamente. Através do primeiro difratograma da Figura 3 pode-se confirmar que se trata de uma caulinita com impurezas de quartzo, que é

confirmado com a Tabela 3, com índices de Miller e seus respectivos valores de distância interplanares ($d(\text{Å})$) comparados com da literatura, característico da caulinita e do quartzo.

A análise dos difratogramas dos produtos das sínteses não indica a formação de um adsorvente de boa cristalinidade e pureza, pois estão amorfos, já que a caulinita perde sua cristalinidade com uma temperatura aproximada de 550 °C, Permanecendo apenas um pico muito baixo após os aquecimentos, (no ângulo aproximado de 25 -30), podendo ser a permanência de quartzo. A estrutura da Caulinita está esquematizada na Figura 1, onde se observa que possui uma estrutura laminar. A ideia é criar uma estrutura que contém canais abertos permitindo assim o fluxo livre de moléculas de água e íons, podendo ser usada como peneira química.

A Figura 4 ilustra o difratograma do material puro no primeiro gráfico, e o difratograma da mistura da amostra de caulinita com $\text{Al}(\text{OH})_3$ aquecida nas temperaturas de 600, 700, 800 e 900 °C nos seguintes gráficos, respectivamente, sendo o segundo gráfico o difratograma do $\text{Al}(\text{OH})_3$ aquecido a 600 °C. A análise dos difratogramas dos produtos das sínteses no na Figura 4 não indica a formação de um adsorvente de boa cristalinidade e pureza, pois estão amorfos.

E a análise dos difratogramas dos produtos das sínteses na Figura 5, onde ilustra o difratograma da mistura da amostra de caulinita com açúcar aquecido nas temperaturas de 400, 500, 600 e 700 °C, notou-se no segundo gráfico, a 400 °C, a permanência da cristalinidade da amostra de caulinita, mas com uma intensidade dos picos menor do que na amostra pura, levando a hipótese de que é o início da amorfização com o aumento da temperatura.

Os espectrogramas de IV-FT das amostras, organizados igualmente aos difratogramas, estão ilustrados na Figura 6, Figura 7 e Figura 8. Revelam bandas de estiramento e/ou deformação relativas aos intervalos: 3716-3318 e 1784-400 (Figura 6). As vibrações de deformação originam bandas de absorção em 3698 cm^{-1} e 3625 cm^{-1} com diferentes intensidades entre as amostras. Segundo Kristóf *et al.* (1997) são bandas atribuídas às vibrações O-H localizadas na superfície da camada octaédrica (hidróxidos externos) e no plano comum dos oxigênios apicais da camada tetraédrica (hidróxidos internos) da caulinita. Já a banda que aparece em 3427 cm^{-1} refere-se às vibrações de estiramento O-H da água (Frost *et al.*, 2002).

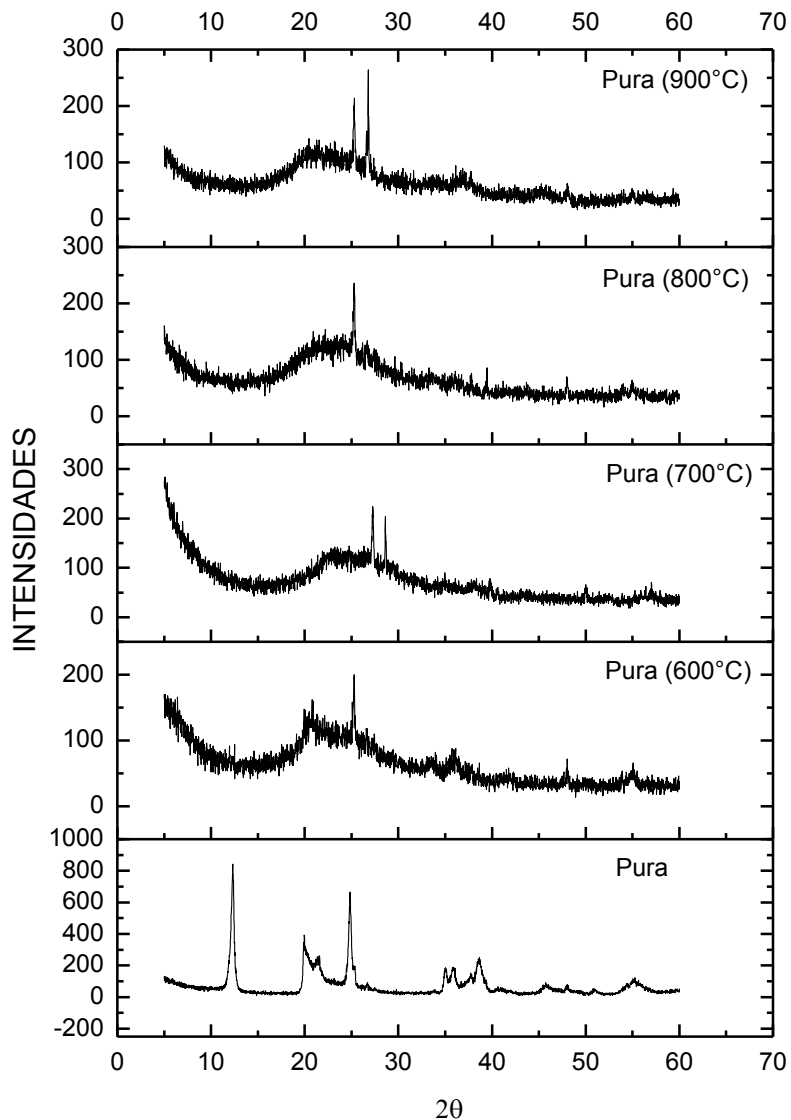


Figura 3 - Difratoograma de raios X da amostra pura e aquecida.

Tabela 3 - Dados de difração de raios X da caulinita, e quartzo (adaptado da literatura).

	2θ	Índices de Miller	$d(\text{Å})$ Literatura	$d(\text{Å})$ Amostra pura (CP)
Caulinita	$\sim 13^\circ$	001	7,15	7,16
	$\sim 20^\circ$	020	4,45	4,42
	$\sim 25^\circ$	002	3,57	3,55
Quartzo	$\sim 27^\circ$	101	3,34	3,31

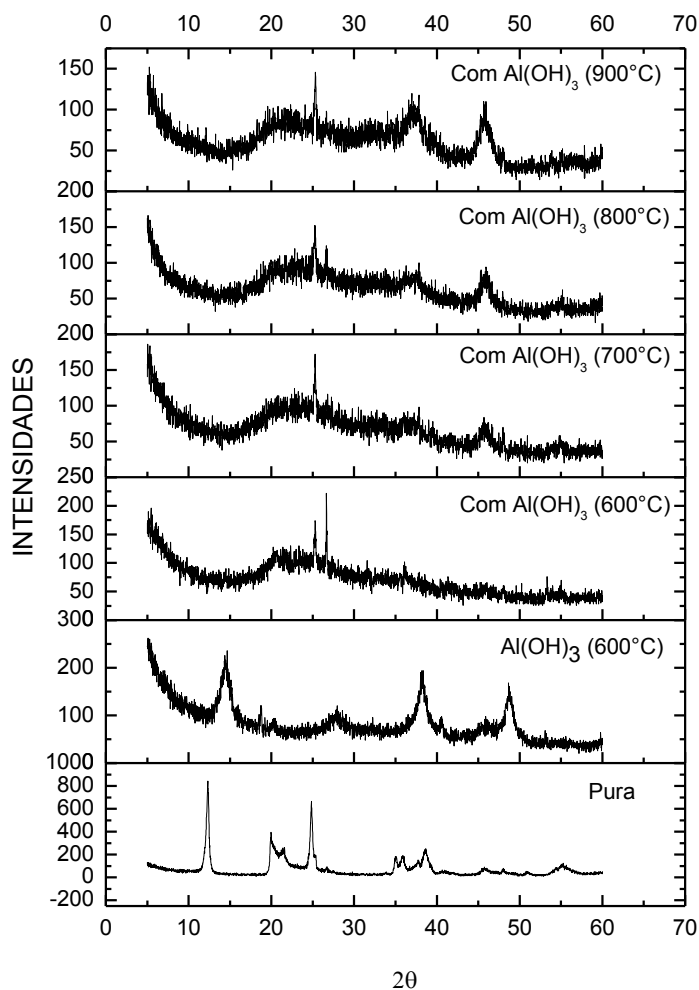


Figura 4 - Difratoograma de raios X da amostra pura, do Al(OH)₃ e da mistura da amostra com Al(OH)₃ aquecida.

Havendo uma identificação da caulinita entre as bandas nos intervalos 3716-3318 e 1784-400, pode-se acompanhar, na Figura 6, que durante o aquecimento não houve sua permanência no material, já notado nos difratogramas. Na Figura 7, observa-se que há uma igualdade nos espectrogramas das misturas das amostras com Al(OH)₃, com o espectrograma do próprio Al(OH)₃, mesmo quando aquecido. E na Figura 8, nota-se que alguns componentes da estrutura da caulinita se mantêm até a temperatura de 500 C, mas são perdidas a partir da temperatura de 600 C.

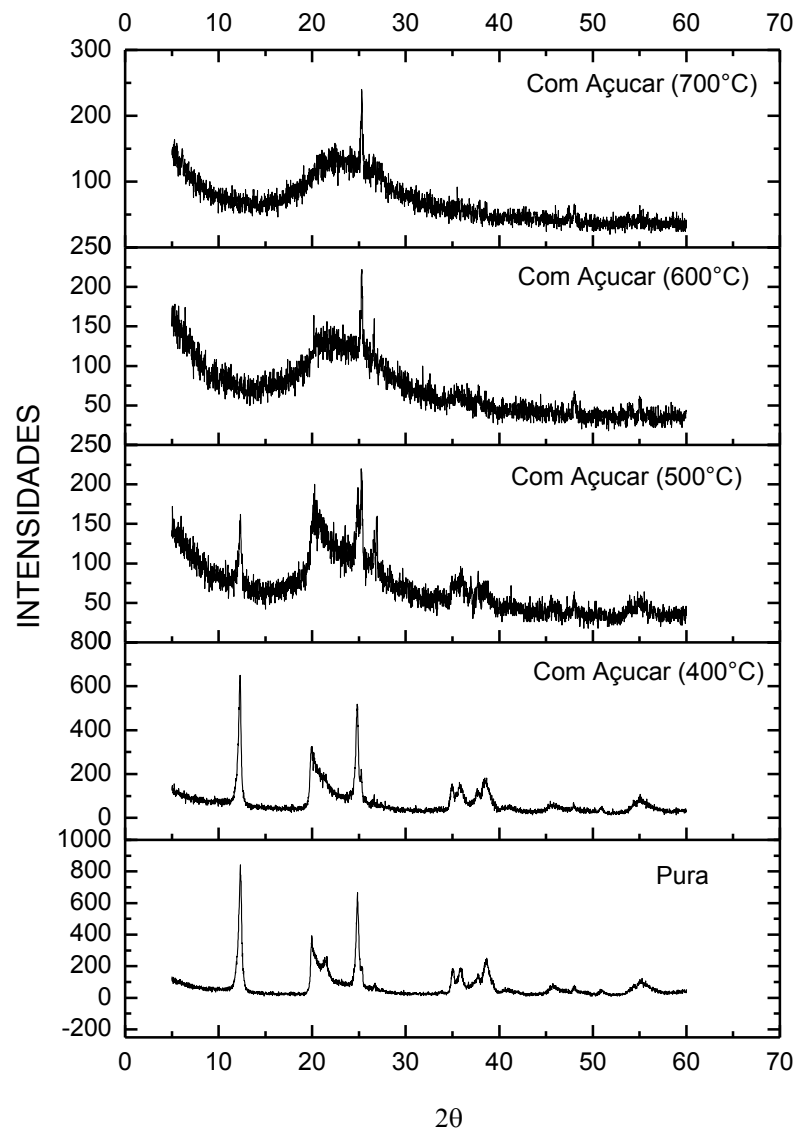


Figura 5 - Difratoograma de raios X da amostra pura e da mistura da amostra com açúcar aquecida.

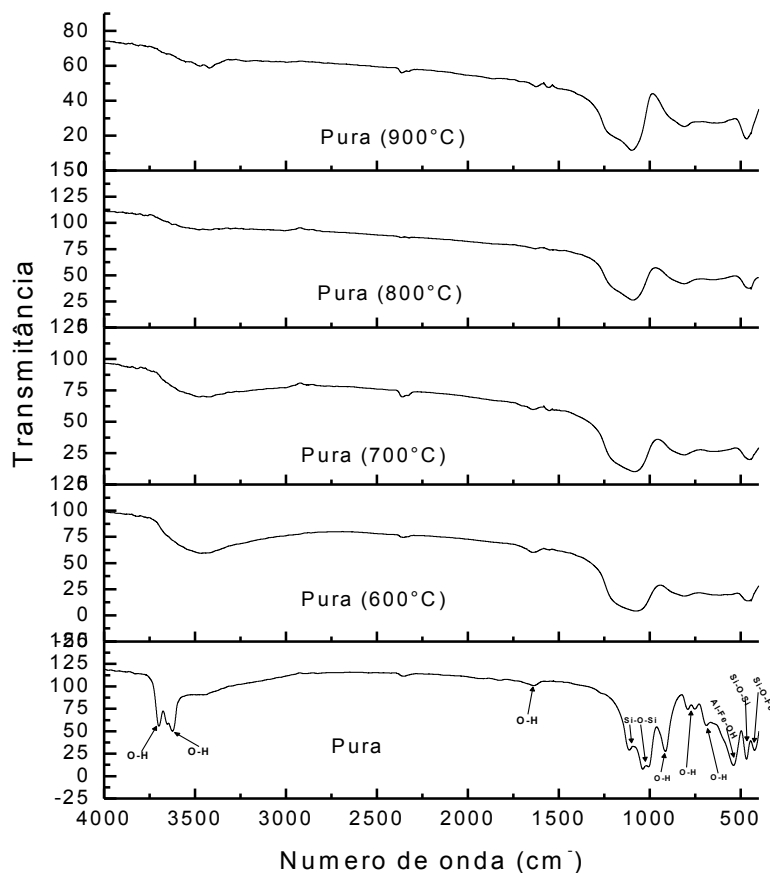


Figura 6 - Espectrograma IV-FT da amostra pura e aquecida.

Analisando os difratogramas e os espectrogramas, pode-se perceber que não se obteve um resultado positivo, e que esses aquecimentos a cima de 500 C, mesmo a caulinita sendo misturada com outros materiais, não se conseguiu modificar sua estrutura para ser utilizado como adsorvente.

Na região de 1120 cm^{-1} e 1000 cm^{-1} observa-se duas bandas de absorção em 1039 cm^{-1} e 1007 cm^{-1} . Estas bandas referem-se às vibrações de estiramento Si-O-Si do plano interno da folha tetraédrica da caulinita (TARI *et al.*, 1999; DENG *et al.*, 2002).

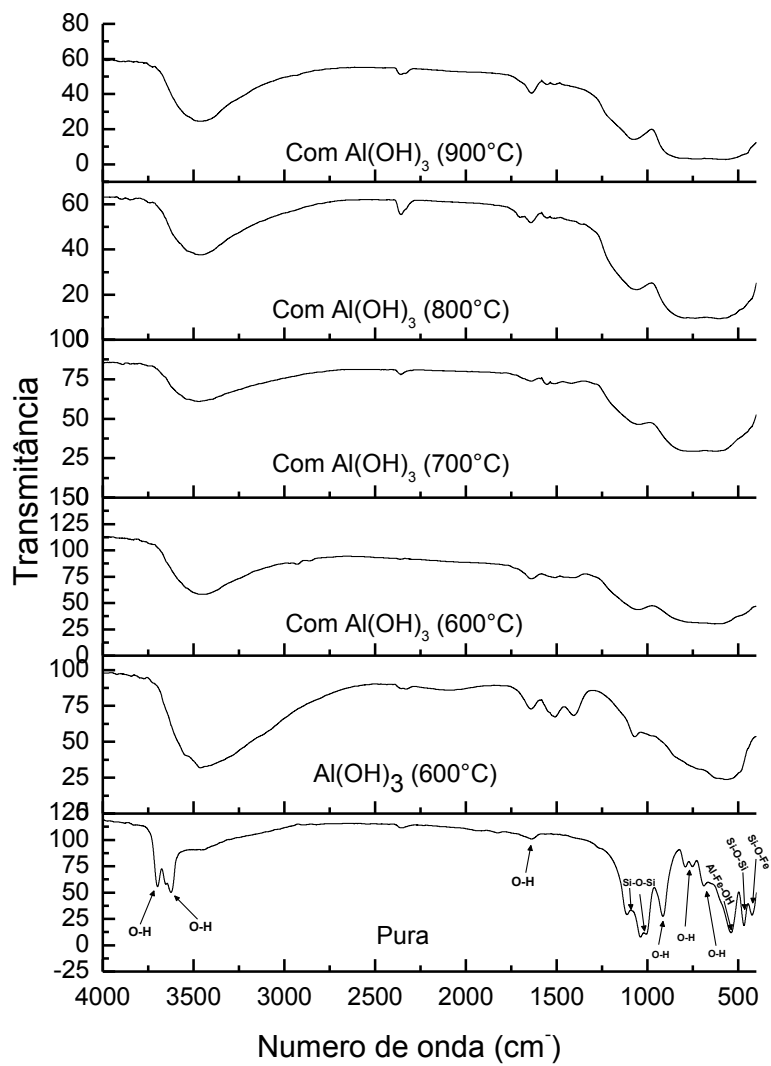


Figura 7 - Espectrograma IV-FT da amostra pura, do Al(OH)₃ e da mistura da amostra com Al(OH)₃ aquecida.

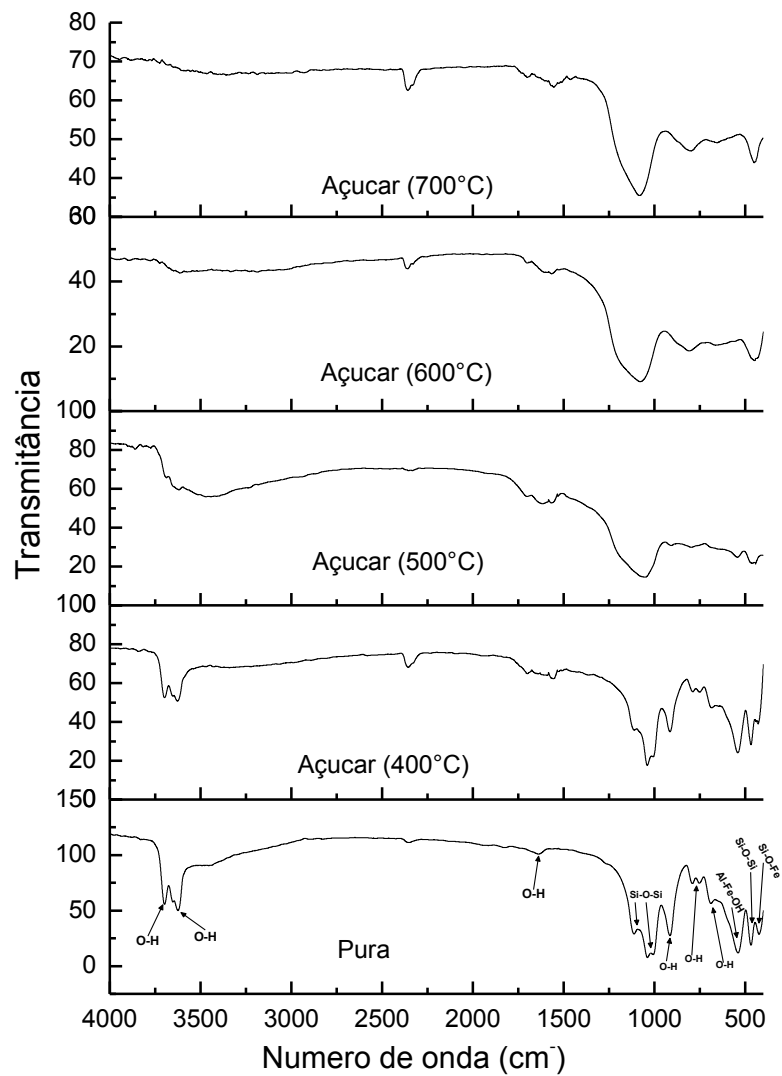


Figura 8 - Espectrograma IV-FT da amostra pura e da mistura da amostra com açúcar aquecida.

5. CONCLUSÃO

A caulinita é abundante na natureza, mas sua estrutura se mostrou difícil de ser modificada com os métodos utilizados. Pois a mistura da caulinita, tanto com hidróxido de alumínio quanto com a açúcar, não trouxe bons resultados, já que nos difratogramas de raios X a cristalinidade foi muito baixa, e até a permanência do óxido de silício e do óxido de alumínio foram prejudicadas, revelados pelos espectrogramas de IV-FT. Uma vez não tendo a modificação desejada da estrutura da caulinita, os testes de adsorção foram realizados.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGUIAR, M.R.M.P. *et al.* Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. *Química Nova*, São Paulo, v. 25, n. 6B, p. 1145-1154, 2002.

ARAÚJO, J.C., ASSIS, J.T., MONINE, V.I., BERTOLINO, L.C., *Revista Matéria*, v. 11, n. 3, pp. 361 – 371, 2006.

DE SENA, L.F. **Adsorção de Pb por caulinita tratada com ácidos acético e cítrico.** (2005). 67f. Dissertação (Mestrado em Geociências)-Universidade Federal do Pará, Belém.

DE SOUZA SANTOS, P. **Ciências e Tecnologia de Argilas.** 2º edição. Editora: Edgard Blücher, São Paulo, v.1, 1-408, 1989.

DE SOUZA SANTOS, P. **Ciências e Tecnologia de Argilas.** 2º edição. Editora: Edgard Blücher, São Paulo, v.3, 1-1071, 1992.

DIEGO, I. P. *et al.* Síntese da Zeólita Analcima partindo de um caulim natural. *Espaço Química*, v. 1, n. 1, pg 9, 2004.

DUARTE, R. P. S.; PASQUAL, A. Avaliação do Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. *Energia na Agricultura*, v.15, n. 1, p. 46-58, 2000.

FROST, R.L.; KLOPROGGE, J. T.; DING, Z. The and Uley nontronites-an infrared spectroscopic comparison. *Spectrochimica Acta Part A*, v. 58, p. 1881-1894, 2002.

GOMES, C. F. **Argilas: O que são e para que servem**. 1º ed., Aveiro: Fundação Calouste Gulbenkian, 1986.

GUERRA, D. L. *et al.* Influência do método de síntese no processo de pilarização com titânio de uma esmectita da região amazônica. / *Cerâmica* v. 52, 2006, pg. 232-239.

KRISTÓF, J.; FROST, R.L.; FELINGER, A. e MINK, J. FITIR spectroscop study of intercalated kaolinite. *Journal of Molecular structure*, v. 410-411, p. 119-122, 1997.

MAHAN, K.; ESCOTT-STUMP, S. Krause: alimentos, nutrição e dietoterapia. 10. ed. São Paulo: Roca, 2002. 1157p.

MANAHAN, S. E. Environmental Chemistry. Seventh edition. Lewis Publishers, 1999.

MONTEIRO, E.P. 2007. Novos materiais à base de caulinita para imobilização de Pb^{2+} presente em solução de bateria. *Manaus – Amazonas*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, 93pp.

SANTANA, G.P., FABRIS, J. D., GOULART, A. T., SANTANA, D. P. Magnetite and its transformation to hematite in a soil derived from steatite. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, 2001, 33-42.

SKOOG, Douglas A.: et al. Fundamentos de Química analítica. 8ª ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

TARI, G.; BOBOS, I.; GOMES, C.S.F. e FERREIRA J.M.F. Modification of surface charge properties during kaolinite to halloysite-7Å transformation. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 210, p. 360-366,1999.

