UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRO REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

PREPARAÇÃO DE COMPÓSITO DE Fe/C A PARTIR DE HEMATITA E TORTA DE SEMENTE DE INAJÁ PARA REDUÇÃO DE CONTAMINANTE ORGÂNICO EM MEIO AQUOSO

MARCELA DOS SANTOS **BARBOSA**
Bolsista CNPq

Manaus - AM
Julho/2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRO REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO FINAL
PIB-E-/0010/2010

PREPARAÇÃO DE COMPÓSITO DE Fe/C A PARTIR DE HEMATITA E TORTA DE SEMENTE DE INAJÁ PARA REDUÇÃO DE CONTAMINANTE ORGÂNICO EM MEIO AQUOSO

MARCELA DOS SANTOS **BARBOSA**
Bolsista CNPq

Prof. Dr. PAULO ROGÉRIO DA COSTA **COUCEIRO**
Orientador

Manaus - AM
Julho/2011

RESUMO

Atualmente, muitas pesquisas visando à diminuição de poluentes em ambientes aquosos vêm sido desenvolvidas empregando materiais compósitos de óxidos de ferro magnético impregnados em carvão ativado. Nesse sentido, compósito Fe magnético/C foi preparado a partir da mistura de hematita sintetizada com carvão vegetal comercial a 400 ^{o}C por 3 h. Estudo de adsorção desse compósito apresentou limite máximo de adsorção de cerca de 5,5 mg/g de azul de metileno. E o modelo cinético que apresentou melhor ajuste foi o de Langmuir, com correlação da reta $R^2 > 0{,}982$. Os parâmetros de isoterma de Langmuir calculados a partir do resultado do ajuste são: $q_0 = 5{,}495$ mg/g, $b = 0{,}129$ L/mg e $K_L = 0{,}712$ L/g. Esses resultados denotam a condição favorável ao processo adsortivo.

Palavras-chave: compósito Fe/C, cinética de adsorção, isoterma de Langmuir.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 7
2. OBJETIVOS 8
2.1. Geral 8
2.2. Específico 8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 9
3.1. Problema Ambiental 9
3.2. Materiais Adsorventes 9
4. MATERIAIS E MÉTODOS 11
4.1. Amostras 11
4.2. Síntese da Hematita (α-Fe_2O_3) 11
4.3. Síntese do Carvão 11
4.4. Preparação do Compósito 11
4.5. Cinética de Adsorção 11
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 12
5.1. Estudo de Adsorção 12
5.1. Caracterização do material 14
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 17
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquerda - Cacho de frutos de inajá (*Maximiliana maripa*) coletado no município do Careiro Castanho/AM. Direita - Detalhe das sementes de inajá limpas e secas. 12
Figura 2. Tubo1 - Amostra de carvão vegetal comercial. Tubo 2 - Amostra de hematita sintetizada. Tubo 3 - Amostra do compósito Fe/C mostrando em detalhe o efeito magnético com imã de mão. 12
Figura 3. Curva padrão para o azul de metileno, relação entre a absorvância(A) e a concentração(C). 13
Figura 4. Gráfico da capacidade de adsorção (q_e) e a concentração de equilíbrio (C_e). 14
Figura 5. Apresentação da linearização através do modelo de Langmuir das isotermas de adsorção dos compósitos Fe/C. 14
Figura 6. Análise Raman da hematita 14
Figura 7. Análise Raman do compósito Fe/C tratados a 400 °C. 15

LISTA DE ABREVIATURAS

AM	- Azul de Metileno
CA	- Carvão Ativado
DRX	- Difração de Raios de X
FRX	- Fluorescência de Raios
IV-TF	- Infravermelho com Transformada de Fourier
TGA/DTA	- Análise Termogravimétrica/Análise Termogravimétrica Diferencial
2,4-D	- Ácido 2,4 diclorofenoxiacético

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o crescimento populacional associado ao desenvolvimento industrial vem contribuindo diretamente no aumento indiscriminado da poluição ambiental degradando vários ecossistemas naturais. Mas, por outro lado, esse fato tem impulsionado diversas pesquisas visando à diminuição de poluentes nos ambientes aquáticos, atmosféricos e terrestres.

Os materiais adsorventes vêm sendo intensamente empregados na remoção metais pesados e agentes orgânicos de ambientes aquáticos poluídos. O elevado consumo e o alto custo desses materiais têm remetido ao desenvolvimento de estudos sobre adsorventes de baixo custo, utilizando como matéria-prima os materiais residuais que apresentem características semelhantes ou até melhores do que os adsorventes convencionais.

Os óxidos de ferro (naturais e sintéticos) e os carvões ativados surgem como materiais potencialmente comprovados como remediadores desses ambientes contaminados. A hematita (fórmula ideal: α-Fe_2O_3) e a magnetita (Fe_3O_4) são os principais minerais de óxidos de ferro encontrados naturalmente ou podem ser sintetizados para uso como catalisadores oxidativos. Entretanto, os carvões ativados (CA's) também podem atuar diretamente como catalisadores em diferentes reações químicas ou como suportes catalíticos, por apresentarem grande área superficial e porosidade bem desenvolvida.

Assim, os óxidos de ferro têm sido amplamente utilizados para ser impregnado em matriz carbonácea por apresentar uma pequena área superficial e um volume microporoso fazendo com que sua presença não afete a capacidade oxidativa do carbono ativado. Tais materiais compósitos de óxidos de ferro magnético e CA (Fe/C) vêm sendo intensamente aplicados para a remoção ou redução de agentes poluidores em ambientes aquáticos.

Os compósitos Fe/C são utilizados principalmente como adsorventes para eliminação de contaminantes em efluentes aquosos. A excelente característica adsorvente do compósito possibilita o uso em vários processos, tais como filtração, purificação, desodorização e separação.

O presente projeto tem como principal proposta à preparação, caracterização e aplicação de compósitos a base de mistura de óxidos de ferro magnético impregnado em matriz carbonácea, para remoção parcial ou total de composto organoclorado em ambientes contaminados. A fonte de CA será os resíduos (torta) provenientes das sementes de Inajá (*Maximiliana Maripa*).

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Sintetizar compósitos de Fe/C a partir de hematita sintética e torta de semente de inajá, caracterizar e testar a sua eficiência oxidativa frente a um composto organoclorado em meio aquoso.

2.2. Específico

- Sintetizar hematita por via úmida (Magalhães *et al.,* 2009);
- Produzir o carvão a partir de amostra de torta de semente de inajá (*Maximiliana maripa*);
- Preparar compósito de óxido de ferro magnético em carvão ativado, a partir da hematita sintética e do carvão obtido de amostras de torta de semente de inajá;
- Caracterizar o carvão mediante espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (IV-TF);
- Caracterizar a hematita sintética e o compósito Fe/C mediante as técnicas de Fluorescência de Raios (FRX), Difração de Raios de X, Espectroscopia Raman e Análise Termogravimétrica/Análise Termogravimétrica Diferencial (TGA/DTA).
- Investigar a eficiência do compósito frente ao corante azul de metileno e um composto organoclorado através de estudos de atividades de adsorção ou degradação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Problema Ambiental

Os problemas com o meio ambiente ocorrem devido a uma desordem mundial oriundos de aumento populacional, a falta de infra-estrutura nos meios urbanos, a falta de saneamento básico, aos resíduos tóxicos que algumas fábricas lançam nos rios, aos produtos químicos que os agricultores utilizam para combater as doenças e pragas das plantas e as águas das chuvas arrastam para os rios e para os lençóis de água existentes no subsolo, enfim, esses e outros exemplos ampliam a área da pesquisa para a criação de novos materiais que possam auxiliar na diminuição de poluentes, principalmente em meio aquoso (PENG, 2005).

Desta forma estudo de compósitos de Fe/C vem sendo utilizados como adsorventes eficazes na eliminação ou redução de poluentes inorgânicos e orgânicos, para os poluentes orgânicos destaca-se a degradação de compostos organoclorados presentes em meio aquoso (MAGALHÃES, 2009).

3.2. Materiais Adsorventes

3.2.1. Óxido de Ferro

O ferro é um importante agente redutor, e possui um comportamento químico redox e uma baixa toxicidade, de maneira que, nos últimos anos tem sido largamente investigado e extensamente utilizado em reações geradoras de radicais, principalmente como catalisadores em diversos processos de remediação de contaminantes ambientais tais como, os organoclorados, nitroaromáticos, corantes, pesticidas, nitrito/nitrato, crômio VI, mercúrio II e arsênio (MAGALHÃES *et al*., 2009).

O óxido de ferro é abundante na crosta terrestre e facilmente sintetizado em laboratório. Os minérios de ferro mais comumente encontrados são a hematita, Fe_2O_3, a magnetita, Fe_3O_4, a limonita, FeO(OH), e a siderita, $FeCO_3$ (LEE, 1999). Entretanto, os mais utilizados são a hematita e a magnetita.

3.2.2. Carvão Ativado (CA)

O CA é amplamente empregado na remoção de poluentes ambientais, pois apresenta excelentes características adsorventes, sendo usado em uma grande variedade de processos, tais como filtração, purificação, desodorização e eliminação

de contaminantes ambientais. Porém, eles são conhecidos como adsorventes muito eficazes devido à sua porosidade altamente desenvolvida, grande área de superfície, características variáveis da química de superfície, e alto grau de reatividade de superfície (GUIMARÃES, 2007; DIAS *et al*., 2007).

No processo de preparação do CA, é preferível o desenvolvimento de adsorventes de baixo custo que utilizam materiais residuais como matéria-prima ou desenvolvam métodos de produção adequada, ou seja, com baixo consumo de energia. (CASTRO, 2009).

3.2.3. Compósitos de Fe/C

Vários estudos de materiais compósitos baseados em óxidos de ferro magnético/carvão ativado têm mostrado crescente avanço tecnológico na remoção de contaminantes ambientais (GONÇALVES, 2009), uma vez que combinam as propriedades de adsorção dos óxidos de ferro e dos CA´s dispersos em suas superfícies. A impregnação do carvão com óxido de ferro reduz a área de superfície, por sua deposição nos poros do carvão ativado. No entanto, uma maior concentração de ferro promove uma maior taxa de oxidação, indicando que a eficiência da reação de oxidação está relacionada com o teor de ferro (GUIMARÃES, 2007).

3.2.4. Estudo de Adsorção

A adsorção é um fenômeno de superfície constituído de adsorvente e adsorvato. O material adsorvido é denominado adsorvato, e o meio onde se faz o acúmulo deste é chamado de adsorvente (PERUZZO, 2003). O adsorvato concentra-se na superfície do adsorvente e o favorecimento de aumento da área superficial resulta numa maior eficiência da adsorção.

Por isso, geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas. A quantidade de substância adsorvida na superfície decresce com o aumento da temperatura, já que todos os processos de adsorção são exotérmicos. A uma temperatura constante a quantidade adsorvida aumenta com a concentração do adsorbato (em solução ou na fase gasosa), e a relação entre a quantidade adsorvida (x) e a concentração (C) é conhecida como a isoterma de adsorção.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Amostras

(i) Matéria-Prima do CA - Frutos de sementes de inajá (*Maximiliana maripa*) foram coletados na área de floresta do município do Careiro Castanho/AM. No laboratório foram separadas as amêndoas, e a sua torta foi obtida em um extrator radial tubular da Scott Tech, modelo ER60-11.

(ii) Organoclorado - herbicida comercial Tordon (2,4 –D).

4.2. Síntese da Hematita (α-Fe_2O_3)

Foi utilizado o procedimento de MAGALHÃES e colaboradores (2009). Cerca de 5,0 g (precisão analítica) de Fe $(NO_3)_3.9H_2O$ e 100 mL de NH_4OH foram misturados e homogeneizados. Nessa mistura foi adicionado 60 mL de água destilada e centrifugada a 3.000 rpm/15 min. A fração aquosa foi descartada e o resíduo sólido lavado com solução de CH_3COONH_4 20 % por 6x e secado em estufa a 80 ^{O}C/12 h.

4.3. Síntese do Carvão

Uma quantidade de resíduos secos colocados em estufa a 110 ^{o}C por 24 hs, e tratados com $ZnCl_3$. foi pirolisado em forno, sob fluxo de N_2 até 400 ^{o}C por 3 h, em seguida foi lavado com de HCl 50 % para remover o $ZnCl_3$ residual, até pH ~7.

4.4. Preparação do Compósito

Na obtenção do compósito foi usado um tubo reator de ativação, modelo Forno FC–23P (Fabricante EDG Equipamentos e Controles LTDA) em que a mistura hematita/carvão na proporção 2:1 foi homogeneizada e colocada em fluxo de N_2 até 400 ^{o}C/3 h.

4.5. Cinética de Adsorção

Para investigar a capacidade de adsorção do compósito Fe/C foi usado um equipamento espectrofotômetro FEMTO, modelo 700 Plus, com comprimento de onda de 660 nm. O teste de capacidade de adsorção do compósito Fe/C foi feito a partir de soluções do corante e do organoclorado, nas concentrações de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 mg L^{-1} .Para obtenção da isoterma de adsorção, as soluções (25 mL) foram deixadas em contato com o material adsorvente (20 mg) por um período de 10 minutos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os frutos de Inajá (*Maximiliana maripa)* coletados apresentavam coloração marrom escura e forma ovóide (Figura 1). As sementes apresentavam consistência dura e espessa (Figura 2).

Figura 1. Esquerda - Frutos de inajá (*Maximiliana maripa*) coletado no município do Careiro Castanho/AM. Direita - Detalhe das sementes limpas e secas.

As amostras de hematita sintetizadas apresentaram coloração marrom-avermelhada, aspecto cristalino e de tamanho visualmente pequeno. Após a síntese do compósito foi feito o teste com um imã de mão que confirmou o caráter magnético do compósito (Figura 2).

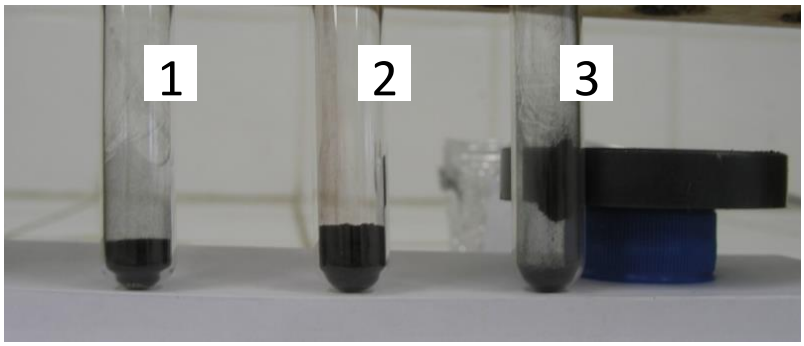

Figura 2. Tubo1 - Amostra de carvão vegetal comercial. Tubo 2 - Amostra de hematita sintetizada. Tubo 3 - Amostra do compósito Fe/C mostrando em detalhe o efeito magnético com imã de mão.

5.1. Estudo de Adsorção

A adsorção dos corantes AM (Figura 3) nos compósitos Fe/C, foi acompanhada pela descoloração da solução. Os experimentos foram realizados misturando-se 25,0

mL da solução do corante AM de concentração crescente e 20 mg (precisão analítica) do compósito Fe/C. Em tempo de 10 min a solução do sobrenadante foi separada do catalisador utilizando um imã de mão.

Para o estudo de adsorção do azul de metileno, primeiramente foi plotada a curva padrão de absorbância *versus* concentração (1,0 a 5,0 mg L^{-1}) (Figura 5) que mostrou uma excelente linearidade, $R^2 > 0,99932$.

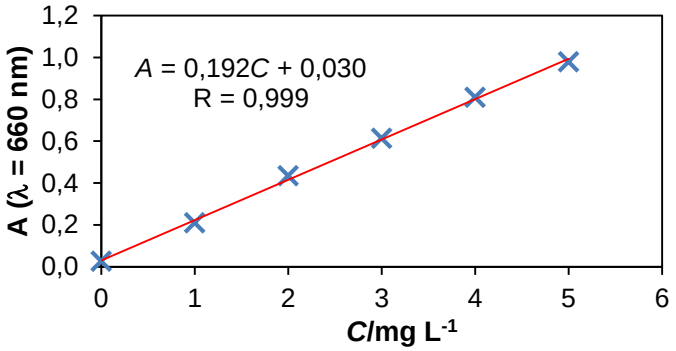

Figura 3. Curva padrão para o azul de metileno, relação entre a absorvância(A) e a concentração(C).

A capacidade de adsorção do azul de metileno aumenta à medida que o a quantidade de compósitos de Fe/C aumenta (Figura 3). O resultado também indica que uma diminuição da superfície causadas pela presença de uma elevada quantidade de compósito de Fe/C ocupa os sítios ativos evitando o contato das moléculas de AM para sítios de adsorção sobre a superfície de carbono (NUNES, 2009).

O equilíbrio na remoção do azul de metileno foi expresso em termos de isotermas de adsorção. O melhor resultado do coeficiente de correlação do método cinético foi o apresentado pela equação de adsorção de Langmuir, $R^2 > 0, 9993$.

Os parâmetros de isoterma de Langmuir calculados a partir do resultado do ajuste são: $q_0 = 0,030$ mg/g, $b = 0,300$ L/mg e $K_L = 0,009$ L/g. Esses resultados denotam a condição favorável ao processo adsortivo, concordante com o perfil gráfico de isoterma convexa observado na Figura 4.

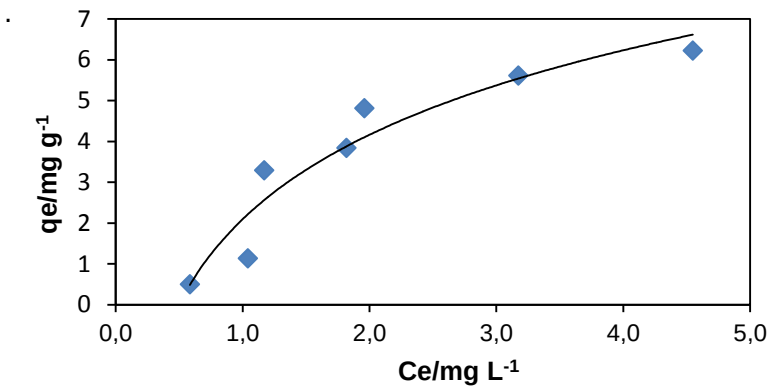

Figura 4. Gráfico da capacidade de adsorção (q_e) e a concentração de equilíbrio (C_e).

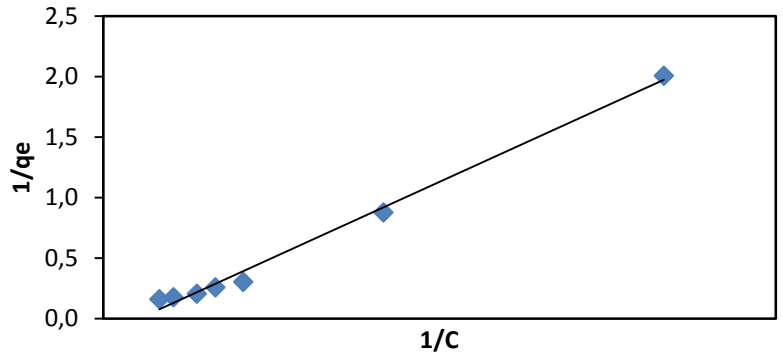

Figura 5. Apresentação da linearização através do modelo de Langmuir das isotermas de adsorção dos compósitos Fe/C.

5.1. Caracterização do material

5.1.1. Espectroscopia Raman

O espectro Raman obtido para a hematita, observa-se as bandas de adsorção em número de onda em aproximadamente 215 280, 395, 604 e 1295 cm^{-1}(Figura 6), o que corresponde a fase Fe_2O(Magalhães, 2008).

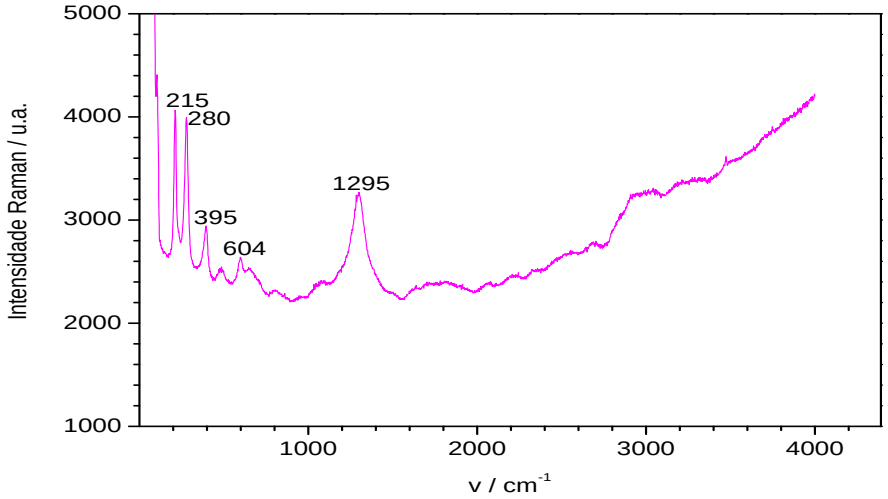

Figura 6. Análise Raman da hematita.

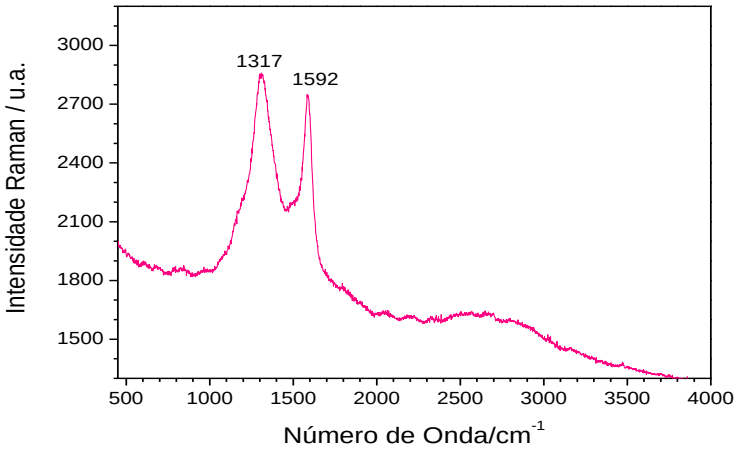

Figura 7. Análise Raman do compósito Fe/C tratados a 400 °C.

Os espectros Raman dos compósitos Fe/C apresentam bandas de adsorção em aproximadamente 1592 (banda G) e 1317 cm^{-1} (banda D) (Figura. 7). A presença da banda G sugere a formação de um carbono mais organizado, como o grafite e a banda D sugere a presença de carbono amorfo nestes compósitos.

5.1.2. Caracterização do compósito por termogravimetria

Com o objetivo de selecionar as condições experimentais, foram obtidas curvas TG em atmosfera de N_2 para o compósito Fe/C e para a hematita.

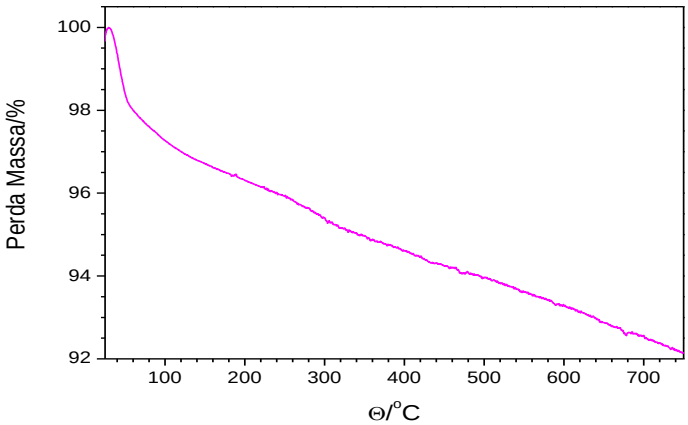

Figura. 8. Análise TG/DTA da hematita obtida em atmosfera de ar sintético.

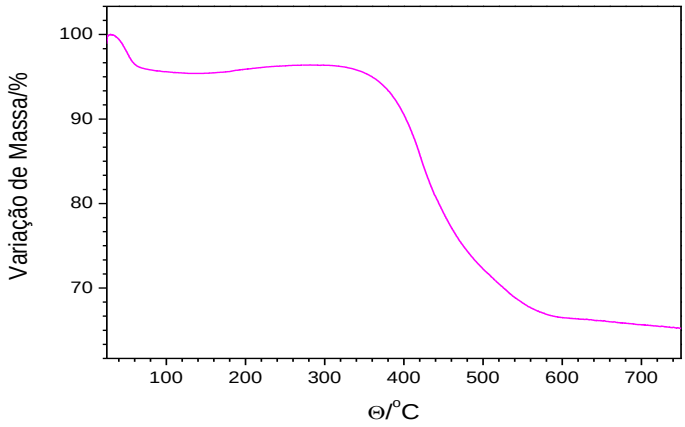

Figura. 9. Curvas TG obtidas em atmosfera de N_2 para o compósito Fe/C.

Observando as curvas TG para o compósito (Figura. 9), pode-se notar a decomposição térmica com perda de massa. Nesta decomposição o piche perde moléculas voláteis tais como CO_x, H_2O e moléculas orgânicas menores restando basicamente carbono.

Durante a pirólise dos compósitos Fe/C, o carvão pode reduzir as espécies Fe^{3+} e Fe^{2+} produzindo diferentes espécies de ferro.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O compósito Fe/C apresentou caráter magnético que foi comprovado mediante atração quando submetida à presença de um imã de mão (Figura 2). O caráter magnético observado no compósito sugere que o precursor contendo ferro foi de uma hematita sintetizada.

O compósito apresentou limite de adsorção de cerca de 5,5 mg/g de AM. E o modelo cinético que apresentou melhor ajuste foi o de Langmuir, com correlação da reta $R^2 > 0,9993$.

Os resultados mostraram que o tratamento a 400oC produz essencialmente a fase magnetita (Fe3O4). Estes materiais foram testados como adsorventes magnéticos de corantes e apresentaram resultados promissores. A adsorção de molécula orgânica atingiu valores iguais a 21,5 mg g^{-1}.

CRONOGRAMA

Nº	Descrição	2010					2011						
		Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
1	Revisão da literatura	**R**	**R**	**R**	**R**	**R**	**R**	**R**	**R**	**R**	**R**		
2	Síntese do óxido de ferro		**R**	**R**									
3	Caracterização do óxido de ferro – FRX e DRX			**R**	**N**								
4	Preparação do compósito de Fe/C				**R**	**R**	**R**	**R**					
5	Caracterização do compósito de Fe/C – FRX, DRX, Raman e TGA/DTA						**R**	**R**	**N**	**N**			
6	Apresentação Parcial				**R**								
7	Elaboração do relatório parcial						**R**						
8	Estudos de atividade oxidativa com azul de metileno via UV-vis						**R**		**R**	**R**			
9	Estudos de atividade oxidativa com composto organoclorado via UV-vis										**R**	**R**	
10	Elaboração do Resumo e Relatório Final											**R**	
11	Preparação da Apresentação Final para o Congresso												**X**

Legenda:

R – realizado. **N** – não realizado. **X** – a realizar.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANDAO, P. C.; Avaliação do uso do bagaço de cana como adsorvente para remoção de contaminantes derivados do petróleo, de efluentes. 160 f. Dissertação Mestrado em Faculdade de Engenharia Química: Uberlândia, 2006.

BROWN, T. L.; LEMAY JR., H. E.; BURSTEN, B. E. Química, a Ciência Central, 9ª. ed., Pearson Prentice Hall: São Paulo, 2007, 972 p.

CASTRO, C. S.; GUERREIRO, M. C.; OLIVEIRA, L. C. A.; GONÇALVES, M.; Remoção de compostos orgânicos em água empregando carvão ativado impregnado com óxido de ferro: ação combinada de adsorção e oxidação em presença de H_2. Química Nova, v. 32, n. 6, p. 1561-1565, 2009.

CORNELL, R. M.; SCHWERTMANN, U.; The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses, Wiley-VCH, Weinheim, 2003, 664 p.

CUSSLER, E. L.; Diffusion: mass transfer in fluid systems. 2th. ed., Cambridge: New York, 1997, 580 p.

DIAS, J. M.; ALVIM-FERRAZ, M. C. M.; ALMEIDA, M. F.; RIVERAUTRILLA,J.; SÁNCHEZ-POLO, M.; Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: A review. Journal of Environmental Management, v. 85, p. 833-846, 2007.

GONÇALVES, M.; CASTRO, C. S.; OLIVEIRA, L. C. A.; GUERREIRO, M. C.; Síntese e Caracterização de nanopartículas de óxido de ferro suportadas em matriz carbonácea; remoção do corante orgânico azul de metileno em água. Química Nova, v. 32, n. 7, p. 1723-1726, 2009.

GUIMARÃES, L. R.; Utilização de óxidos de Ferro naturais e sintéticos na degradação de compostos orgânicos. 2007. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Lavras: Lavras, 2007.

LEE, J. D.; Química inorgânica não tão concisa. 5ª. Ed., Blucher: São Paulo, 1999.

MAGALHÃES, F.; PEREIRA, M. C.; FABRIS, J. D.; BOTTREL, S. E. C.; SANSIVIERO, M. T. C.; AMAYA, A.; TANCREDI, N.; LAGO, R. M.; Novel highly reactive and regenerable carbon/iron composites prepared from tar and hematite for the reduction of Cr(VI) contaminant. Journal of Hazardous Materials. v. 165, p. 1016-1022, 2009.

MAGALHÃES, F.; Síntese e caracterização de óxidos de ferro e compósitos para aplicações no tratamento redox de efluentes aquosos. 100 f. Tese de Doutorado. Univesidade Federal de Minas Geral: Belo Horizonte, 2008.

NUNES, D. L., Preparação de carvão ativado a partir de torta prensada de Raphanus sativus. 117f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2009.

OLIVEIRA, L. C. A.; RIOS, R. V. R. A.; FABRIS, J. D.; SAPAG, K.; GARG, V. K.; LAGO, R. M.; Clay–iron oxide magnetic composites for the adsorption of contaminants in water. Applied Clay Science, v. 22, p. 169-177, 2003.

OLIVEIRA, L. C. A.; SILVA, C. N.; YOSHIDA, M. I.; LAGO, R. M.; The effect of H_2 treatment on the activity of activated carbon for the oxidation of organic contaminants in water and the H2O2 decomposition. Carbon, v. 42, p. 2279-2284, 2004.

PANELS, J. E.; LEE, J.; PARK, K. Y.; KANG, S. Y.; MARQUEZ, M.; WIESNER, U.; JOO, Y. L.; Synthesis and characterization of magnetically active carbon nanofiber/iron oxide composites with hierarchical pore structures. Nanotechnology, v. 19, p. 455-612, 2008.

PENG, X.; LUAN, Z.; DI, Z.; ZHANG, Z.; ZHU, C.; Carbon nanotubes-iron oxides magnetic composites as adsorbent for removal of Pb(II) and Cu(II) from water. Carbon, v. 43, p. 855-894, 2005.

PEREIRA, E.; OLIVEIRA, L. C. A.; SAPAG, A. V.; PEREIRA, K. M.; Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de $FeCl_3$ como agente ativante. Química Nova, v. 31, n. 6, p. 1296-1300, 2008.

PERUZZO, L. C.; Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluentes da indústria têxtil em colunas de leito fixo. 80 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2003.

RODRÍGUEZ-REINOSO, F.; MARSH, H.; Activated carbon, 1st ed., Elsevier: Oxford, 2006.

TRISTÃO, J.; Materiais Nanoestruturados Magnéticos à Base de Ferro Recobertos por Carbono: Síntese, caracterização e aplicações. Tese de Doutorado. Univesidade Federal de Minas Geral: Belo Horizonte, 2010.

VIEIRA, E. M., Estudo da adsorção/dessorção do herbicida 2,4-D no solo e nas substâncias húmicas. São Carlos. Tese de doutorado. Departamento de Química e Fisíca Nuclear, Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Carlos, 1996.