

## II-172 – VIABILIDADE DO USO DO SISAL (*Agave sisalana*) NA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES DERIVADOS DO PETRÓLEO PRESENTES EM CORPOS DE ÁGUA UTILIZANDO PROCESSO DE ADSORÇÃO

**Lígia Maria Ribeiro Lima**<sup>(1)</sup>

Graduada em Engenharia Química, Mestre em Engenharia Química, com Doutorado em Engenharia de Processos. Atualmente, Professora Nível C da Universidade Estadual da Paraíba, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, no Centro de Ciências e Tecnologia, Câmpus de Campina Grande – PB.

**Emanoel da Silva Carvalho**<sup>(2)</sup>

Químico Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba, Câmpus de Campina Grande – PB.

**Thiago Cabral Nepomuceno**<sup>(3)</sup>

Estudante de Engenharia Sanitária e Ambiental, pela Universidade Estadual da Paraíba, Câmpus de Campina Grande – PB.

**Nancy Morgana Ramos Diniz**<sup>(4)</sup>

Estudante de Engenharia Sanitária e Ambiental, pela Universidade Estadual da Paraíba, Câmpus de Campina Grande – PB.

**Lenilde Mérgia Ribeiro Lima**<sup>(5)</sup>

Graduada em Licenciatura em Química e Engenharia de Materiais, Mestre em Engenharia Química e Doutora em Química Inorgânica. Atualmente, professora Adjunto III da Universidade Federal de Campina Grande, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Câmpus de Sumé – PB.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rua Baraúnas, 351 – Bairro Universitário – Campina Grande – PB – CEP: 58429-500 – Brasil – Tel: +55 (83) 3315-3300 – e-mail: [ligiauepb@gmail.com](mailto:ligiauepb@gmail.com).

### RESUMO

O avanço da tecnologia industrial tem resultado na geração de águas contaminadas, assim como, biomassas como resíduos industriais e agrícolas, como é o caso do sisal (*Agave sisalana*). Esse trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade da adsorção dos derivados de petróleo, gasolina comum e óleo diesel, presentes em corpos d'água, utilizando o processo de adsorção para remoção desses contaminantes com biomassa adsorvente sisal. O aproveitamento desse resíduo agrícola em um processo adsorvente, possibilita a redução de material adsorvente necessário para a purificação de efluentes líquidos contaminados. O processo de adsorção, utilizando a biomassa sisal como adsorvente, vem se tornando uma alternativa potencialmente atrativa e econômica para o tratamento de diversos tipos de efluentes, inclusive os contaminados por derivados do petróleo. No desenvolvimento dessa pesquisa foram realizados experimentos para avaliação do potencial de adsorção da biomassa sisal, na adsorção de gasolina comum e óleo diesel, por meio da obtenção das curvas cinéticas para determinar a resistência à transferência de massa e das curvas de equilíbrio que foram obtidas das isotermas de adsorção, com o objetivo de avaliar a capacidade de diferentes adsorventes para remover uma determinada molécula. Pode-se concluir que a mucilagem de sisal conseguiu adsorver um volume significativo de gasolina, em média 3,75 mL de gasolina para cada grama do sisal, enquanto que para o óleo diesel, o sisal particulado apresentou uma menor eficiência no sistema de remoção por adsorção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adsorção, Petróleo, Biomassa sisal.

### INTRODUÇÃO

Segundo Costa *et al.* (2010) nos últimos anos tem aumentado bastante a preocupação da sociedade quanto à preservação do meio ambiente. A poluição das águas, ocasionada pela negligência no tratamento de seus rejeitos ou por acidentes cada vez mais frequentes, que acabam por lançar muitos poluentes nos ambientes aquáticos é um fato preocupante, sendo essencial o levantamento das condições de qualidade e o tratamento dos efluentes industriais, que representa um potencial de risco para os seres vivos de uma forma geral.

Muitas dessas águas residuárias apresentam hidrocarbonetos originados dos processos de produção nas indústrias de plásticos, borrachas sintéticas, tintas, corantes, adesivos, solventes, detergentes, explosivos,

produtos farmacêuticos, que derivam do petróleo. Os hidrocarbonetos leves, contendo de um a nove carbonos, estão presentes na maior parte das frações de petróleo. Além disso, pode-se citar a contaminação causada pelo petróleo, ocasionada pelo derramamento de petróleo bruto ou de seus produtos refinados, decorrentes de problemas nos tanques de armazenamento ou plataformas, vazamentos em navios ou explosões de poços. A toxicidade de hidrocarbonetos é amplamente estudada, podendo-se destacar que esta característica para alguns hidrocarbonetos é fortemente relacionada à sua estrutura química e sua hidrofobicidade, ou seja, os hidrocarbonetos mais solúveis em água são menos tóxicos (SOUZA *et al.*, 2011).

Devido a estas implicações ambientais, novas tecnologias têm sido pesquisadas para a degradação ou imobilização destes compostos. Desta forma, o desenvolvimento de métodos alternativos de tratamento de efluentes que combinem índices cada vez menores de substâncias tóxicas e baixo custo, é de extrema importância. A adsorção apresenta-se como um método alternativo ao tratamento destes efluentes (PERIN *et al.*, 2006).

O estudo do fenômeno de adsorção nas últimas décadas, de acordo com Bernardo (2011), tem merecido grande importância, especialmente no desenvolvimento de novas tecnologias separativas. Estas tecnologias fazem uso da adsorção seletiva dos componentes (adsorbatos) a separar, quando colocados em contato com um sólido poroso (adsorvente).

Novos materiais adsorventes têm despertado grande interesse no meio científico. Diversos trabalhos têm mostrado o estudo com materiais adsorventes para cátions, ânions e hidrocarbonetos, destacando-se quitosana; argilas; zeólitas, leveduras; bactérias; carvão ativado; resíduos agroindustriais e compósitos (TAGLIAFERRO *et al.*, 2011). Também estão sendo estudadas biomassas obtidas de plantas originárias da região Nordeste, tais como bagaço-de-cana de açúcar e mandacaru (LIMA, 2010; LIMA, 2014; SILVA, 2014). O estudo do bagaço de cana-de-açúcar, utilizado como biomassa adsorvente para hidrocarbonetos está consolidado, comprovando por meio de pesquisas (SANTOS, 2005; MORAIS, 2005; BRANDÃO, 2006; LIMA, 2010; LIMA *et al.*, 2012), seu alto poder adsorptivo de derivados do petróleo como gasolina e óleo diesel.

Com o aumento de subprodutos e resíduos oriundos de agroindústrias, torna-se viável e promissor o uso de resíduos agroindustriais quando observados de um ponto de vista químico e/ ou aspecto ambiental. Estes resíduos são renováveis e biodegradáveis e contém moléculas ricas em grupos hidroxilas, que podem sofrer um grande número de modificações químicas para a produção de novos materiais (COSTA *et al.*, 2010).

Os materiais empregados na adsorção de poluentes orgânicos são diversos e podem ser minerais, orgânicos sintéticos e orgânicos naturais de origem animal ou vegetal. Os materiais de origem vegetal são dos mais diversos tipos, incluindo palha, bagaço de cana-de-açúcar, feno, sabugo de milho, casca de amendoim, fibras de cascas de árvores, fibras de algodão e celulose de plantas semelhantes ao algodão (RIBEIRO *et al.*, 2000).

O presente trabalho visa ampliar os estudos acerca do poder adsorptivo de biomassas originárias da região Nordeste do Brasil, avaliando a cultura do sisal, na forma de partículas (pó), derivado da mucilagem exposta ao sol, como adsorvente no processo de adsorção de poluentes derivados do petróleo, gasolina comum e óleo diesel, presentes em corpos aquáticos.

## PROCESSO DE ADSORÇÃO

O princípio de todos os processos de separação adsorptivos é a retenção seletiva de um ou mais componentes de uma mistura alimentada em um adsorvente sólido, tal que em uma fase adsorvida haja uma composição diferente daquela da mistura alimentada, se formada quando a mistura entra em contato com o adsorvente. Isto produz uma fase fluida enriquecida na menor seletividade dos componentes da mistura alimentada. Os componentes adsorvidos são, então, desorvidos pelos mesmos meios para produzir um fluido enriquecido com maior seletividade aos componentes adsorvidos da mistura alimentada. O processo de desorção também limpa o adsorvente visto que ele pode ser reutilizado (MOTA, 2002).

Pode-se definir adsorção como sendo a fixação de moléculas de um fluido líquido ou gás (adsorbato), na superfície de um sólido (adsorvente). A atração e fixação do adsorbato à superfície do adsorvente ocorrem por meio de forças físicas (adsorção física) ou de interações químicas (adsorção química).

O processo de adsorção tem demonstrado ser um método eficaz e econômico no tratamento de efluentes com poluentes orgânicos, sendo necessária a pesquisa de materiais de baixo custo para ser utilizado industrialmente (MOREIRA *et al.*, 2000). O sucesso da adsorção como processo de separação, depende da escolha do material adsorvente e da otimização das variáveis do processo (RUTHVEN, 1996).

O processo de adsorção depende de vários fatores, os quais incluem: natureza do adsorvente, adsorbato e as condições de adsorção (SALAME e BAANDORZ, 2003; ANIA *et al.*, 2002).

Os estudos de adsorção em condições estáticas se complementam com estudos de cinética de adsorção para determinar a resistência à transferência de massa e o coeficiente efetivo da difusão, assim como estudos de adsorção em coluna.

O fenômeno de adsorção de um adsorbato sobre um sólido poroso pode englobar várias etapas de transferência de massa. Na direção da adsorção do componente químico percorre-se um caminho entre o seio do fluido e a superfície do sólido cristalino. Os efeitos de transferência de massa podem promover o aparecimento de três resistências: resistência do filme líquido externo que circunda a partícula, resistência difusional no mesoporo ou no macroporo do sólido e resistência no microporo dos cristais adsorventes ou micropartículas.

O estudo de um processo de adsorção requer conhecer os dados de equilíbrio e a velocidade com que esta se alcança. Os dados de equilíbrio são obtidos das isotermas de adsorção, as quais são utilizadas para avaliar a capacidade de diferentes adsorventes para adsorver uma determinada molécula.

As isotermas de adsorção em fase líquida são apresentadas por curvas de concentração do soluto na fase sólida, em função da concentração do soluto na fase fluida, em uma determinada temperatura.

A obtenção das isotermas é sem dúvida, a maneira mais conveniente para se especificar o equilíbrio de adsorção e o seu tratamento teórico. As isotermas constituem a primeira informação experimental, que se utiliza para escolher entre diferentes adsorventes, o mais apropriado para uma aplicação específica. A forma das isotermas também é a primeira ferramenta experimental para conhecer o tipo de interação entre o adsorbato e o adsorvente (FERNANDES, 2005).

## ADSORVENTES

A palavra adsorvente aplica-se usualmente a um sólido que mantém o soluto na sua superfície pela ação de forças físicas. Os adsorventes mais comuns incluem a sílica gel, carvão ativado, alumina, zeólitas sintéticas e diversas argilas. Os sólidos devem ter características de pequena queda de pressão e boa resistência mecânica para suportar o manuseio. Além disso, os adsorventes são seletivos quanto à capacidade de adsorverem solutos específicos (FOUST *et al.*, 1982).

A escolha de um adsorvente adequado à separação que se deseja realizar é de importância fundamental. Segundo Ruthven (1988) em um processo de separação por adsorção, é primordial que o adsorvente apresente as seguintes características: alta seletividade; adsorção preferencial de um componente em uma mistura; área superficial específica, possibilitando o uso de equipamentos economicamente viáveis; estabilidade; boa resistência para suportar o manuseio e capacidade de regeneração por dessorção.

A biotecnologia tem surgido como alternativa viável na busca de métodos e materiais adsorventes com menor impacto ambiental e de menor custo, com resultados satisfatórios. Apesar do termo biomassa ter surgido para caracterizar fontes orgânicas usadas para produzir energia a partir da energia capturada do sol pelas plantas, através da fotossíntese, transformando-a em energia química (ANEEL, 2002), a qual pode ser convertida em eletricidade, combustível ou calor; hoje as biomassas têm sido estudadas para outros fins que não apenas como combustíveis.

Dentre os materiais vegetais usados na adsorção de poluentes orgânicos provenientes do petróleo, o carvão ativado tem sido o mais usado. Porém a busca de outros materiais que atendam às características de um bom adsorvente, que tenha alta capacidade de remoção de material orgânico, seja de fácil manuseio e transporte, tenha ainda baixo custo de aquisição e operacional; tem sido intensificada, visando à utilização de subprodutos

como sabugo de milho, casca de amendoim, cascas e mesocarpo de coco, serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar, os quais têm baixo valor agregado e existem em grande quantidade como resíduos agrícolas e de usinas de álcool e açúcar (MORAIS, 2005).

### SISAL (*Agave sisalana*)

A introdução do sisal data de 1903, pelas mãos do agrônomo Horáceo Uripia Junior, que provavelmente trouxe os primeiros bulbilhos da Flórida, Estados Unidos da América (EUA). Em 1911 foram enviadas, da Bahia, as primeiras mudas de sisal para o Estado da Paraíba, mas somente em 1937/ 1938, houve expansão da cultura em base econômica, por causa do interesse e da procura pela fibra do sisal durante a Segunda Guerra Mundial (SILVA e BELTRÃO, 1999).

Atualmente o Brasil é o maior produtor de sisal do mundo e a Bahia é responsável por mais de 95% da produção da fibra nacional. O sisal pode ser colhido durante todo o ano, para isto ser possível não são destacadas do caule as folhas mais novas. É uma planta resistente à aridez e ao sol intenso do sertão nordestino. É a fibra vegetal mais dura que existe (wikipedia.org/wiki/sisal).

O sisal é um vegetal eminentemente tropical e por isso existem tão poucos plantios comerciais com a fibrosa fora desse ambiente. Pertence ao gênero *Agave* (Figura 1), que engloba um grupo bem definido de plantas de consistência herbácea e escapo floral saliente, que podem atingir 12 ou mais metros de altura. O arranjo regular de suas folhas, aliado à posição altaneira do seu escapo floral, confere-lhe aparência de invulgar beleza onde quer que seja cultivada. A denominação *Agave* dada ao gênero é derivada, apropriadamente, de *agavos* que, em grego, significa admirável, magnífico (SILVA e BELTRÃO, 1999).



**Figura 1: *Agave sisalana*.**  
Fonte: <http://www.ateffaba.org.br>

O sisal pertence à classe Monocotiledônea, série Liliiflórea, família *Agavaceae*, subfamília *Agavoidea*, gênero *Agave*, espécie *A. sisalana*. O gênero acha-se subdividido em dois subgêneros, distintos segundo as características do escapo floral: *Littaea* e *Euagave*. No primeiro, as plantas apresentam escapo floral especiforme, com flores agrupadas em fascículos de 2 a 8 na axila das brácteas, ao longo do pedúnculo florífero; no segundo, o escapo floral é do tipo paniculado, com ramificação em forma de candelabro (SILVA e BELTRÃO, 1999).

Martin *et al.* (2009) estudaram e caracterizaram a fibra de sisal brasileira da variedade *Agave sisalana*, fornecidas pela Embrapa/ CNPA de Campina Grande/ PB, a mesma utilizada para o desenvolvimento de nosso trabalho com o objetivo de remover contaminantes orgânicos pelo processo de adsorção. Os autores destacaram que essa variedade de sisal apresentou propriedades mecânicas dentro da faixa relatada na literatura, mostrando-se adequada para ser utilizada em materiais compósitos poliméricos, assim como em outras aplicações. As fibras apresentaram, também, boa estabilidade térmica até cerca de 250°C, podendo desta forma, ser utilizadas para processamento com a maioria dos polímeros na produção de compósitos. Em relação às propriedades ao longo do comprimento da fibra observou-se que a parte mais resistente da fibra está localizada cerca de 30 a 60 cm da sua base e a de menor desempenho na região apical (90-120 cm).

## METODOLOGIA UTILIZADA

Inicialmente a biomassa sisal foi triturada em um *mixer* industrial e em seguida peneirada durante 5 minutos utilizando um conjunto de peneiras série *Tyler* 10 e 14 *mesh*, com aberturas 1,18 e 1,70 mm/ $\mu$ m, de maneira a se obter um material uniforme (Figura 2) com diâmetro entre 1 e 2 mm, como preconizado em Lima *et al.* (2012).



**Figura 2: Preparação da biomassa sisal na forma particulada.**

Fonte: Autora (2014).

Os experimentos para o estudo da cinética de adsorção foram realizados em uma mesa agitadora com 12 frascos erlenmeyer acoplados à mesma. Nos estudos da cinética de adsorção, o comportamento do sisal frente aos dois contaminantes utilizados foi avaliado separadamente, fazendo-se primeiro o estudo com a gasolina comum e depois com o óleo diesel. A cada erlenmeyer foram adicionados 40 mL de água e 12 mL dos contaminantes gasolina e óleo diesel, em experimentos separados, para simular as condições dos efluentes contaminados, acrescentando-se as misturas heterogêneas 1,2 g de sisal na forma de partículas, devidamente triturado, peneirado e em sua forma seca. As misturas foram agitadas, a uma velocidade de 130 rpm, com intervalos de 5 minutos, variando os tempos de contato do adsorvente com cada um dos contaminantes, de 5 a 60 minutos. Após cada tempo, as amostras da água com sisal na forma particulada foram filtradas, com auxílio de uma peneira de *nylon*, para que ficasse retido todo o pó, e então fossem observadas as características da água tais como a coloração. Em seguida, fazendo-se uso de análises volumétricas, foram quantificados os valores totais de contaminantes adsorvidos de cada amostra contendo 40 mL, utilizando proveta de 50 mL.

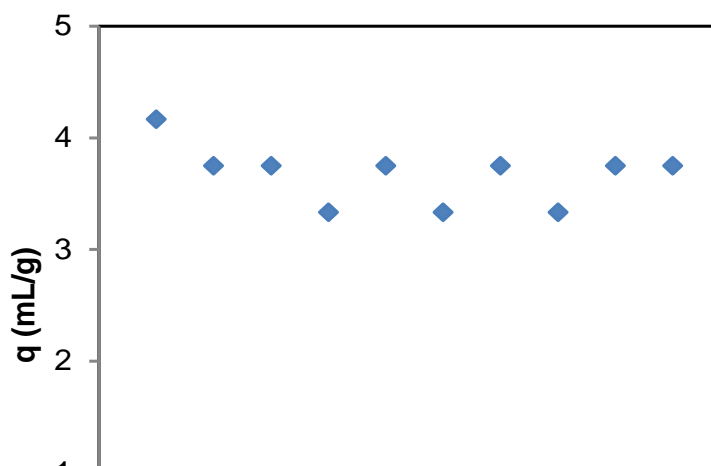
No procedimento de obtenção das isotermas de adsorção (estudo do equilíbrio), o tempo de contato entre o adsorvente e o contaminante foi mantido fixo (60 minutos), variando a concentração de contaminante em porcentagem, com concentrações de 5 a 50%, mantida a mesma massa de sisal (1,2 g) na amostra. Para cada concentração do contaminante, juntamente com a biomassa sisal, também foi utilizada a mesa agitadora, à qual foram acoplados 10 frascos erlenmeyer. Os frascos erlenmeyer foram totalmente vedados para que não ocorressem perdas por respingo e/ou evaporação.

Assim como na metodologia da cinética, os experimentos para o equilíbrio foram realizados separadamente para a gasolina comum e o óleo diesel.

## RESULTADOS OBTIDOS

Na Figura 3 estão ilustradas as curvas da cinética de adsorção da água contaminada com gasolina comum e óleo diesel, utilizando biomassa sisal.





**Figura 3: Curvas da cinética de adsorção de gasolina comum e óleo diesel, utilizando biomassa sisal.**

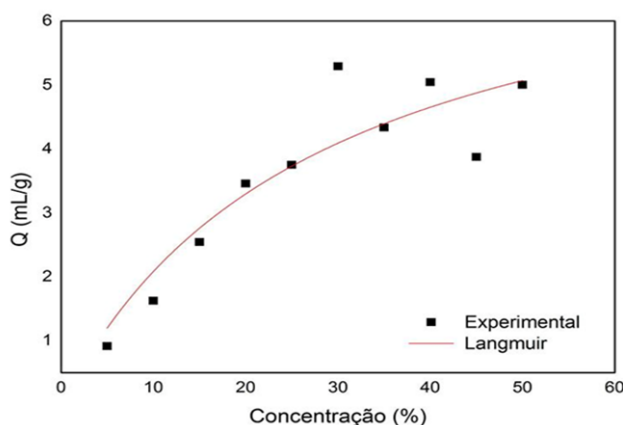
No processo de cinética de adsorção para a gasolina comum, pode-se observar que já no tempo de contato de cinco minutos ocorreu a adsorção do maior volume de contaminante, cerca de 4,17 mL de gasolina por grama de biomassa, e foi adsorvida uma média de 3,75 mL de gasolina por grama de biomassa.

No processo de cinética de adsorção para o óleo diesel, o sisal apresentou uma baixa eficiência, adsorvendo um máximo de 0,56 mL de diesel por grama de sisal no tempo de cinco minutos. Essa pouca quantidade adsorvida pode ser atribuída ao tamanho e à quantidade de ramificações presentes no diesel, que devem ser de dimensões maiores que os poros existentes nas partículas do sisal.

Além do rápido processo de adsorção observado, pode-se destacar a ocorrência de reações após o contato da água com os contaminantes e a mucilagem de sisal utilizada, ocorrendo à formação de uma camada esverdeada, para o contato com a gasolina, e uma camada avermelhada, quando em contato com o diesel. Na composição do sisal existe um tecido parenquimático que, possivelmente, reagiu em maior escala com a água preenchendo os poros e, conseqüentemente, impediu que um maior volume dos contaminantes fosse adsorvido.

As células do tecido parenquimático de vegetais apresentam comumente paredes primárias delgadas que, algumas vezes, podem se lignificar ocasionando uma maior tendência de atração pelo grupo funcional da água ([www.brasilecola.com](http://www.brasilecola.com)).

Depois de realizada toda a metodologia para o equilíbrio em adsorção, pode-se gerar a isoterma de adsorção de Langmuir, conforme Figura 4, que relaciona a concentração do contaminante com a quantidade adsorvida por unidade de massa do adsorvente.



**Figura 4: Isotherma de adsorção de gasolina utilizando biomassa sisal.**

A curva da isoterma ilustra que a quantidade de gasolina adsorvida tende a um limite, expresso pela tendência geral dos dados dispersos. De acordo com a classificação de Brunauer, Emmett e Teller, em 1938, para isotermas de equilíbrio, a isoterma de adsorção para o sisal apresentada acima é do tipo I, característica de sólidos microporosos com superfícies externas relativamente pequenas. Ainda é possível observar que com o aumento da concentração do contaminante, a quantidade adsorvida tende a aumentar, devido a existir uma maior superfície de contato entre o adsorvente e o contaminante.

Como o sisal não apresentou uma boa eficiência para adsorver o óleo diesel, não foi possível a representação da isoterma.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir que a mucilagem de sisal conseguiu adsorver um volume significativo de gasolina comum, em média 3,75 mL de gasolina para cada grama do sisal.

O sisal particulado apresentou uma menor eficiência na adsorção de óleo diesel, podendo-se justificar o fato desse contaminante possuir uma maior quantidade e tamanho de ramificações que devem ser de dimensões maiores que os poros existentes nas partículas do sisal.

Baseado nas conclusões, relativas aos resultados da adsorção de diesel, é possível recomendar um pré-tratamento da mucilagem de sisal submetendo-a a um processo de beneficiamento, para a retirada desse tecido e de outras impurezas que possam interferir na adsorção, para obtenção de resultados mais satisfatórios para o processo de adsorção.

Outra alternativa seria o reuso do sisal (ciclo 2), para a adsorção de contaminantes, após um primeiro processo de adsorção (ciclo 1), já que o tecido parenquimático já seria removido no primeiro processo, podendo aumentar a eficiência da mucilagem de sisal em uma segunda adsorção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANIA, C. O.; PARRA, J. B.; PIS, J. J. Effect of texture and surface chemistry on adsorptive capacities of activated flor phenolic compounds removal. **Fuel Processing Technology**, p. 77-78, 337-343, 2002.
2. ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica. 2002. Disponível em: <[http://www.fontesenergia.com.br/fontesenergia\\_publicacoes\\_trabalhosdepesquisa.asp](http://www.fontesenergia.com.br/fontesenergia_publicacoes_trabalhosdepesquisa.asp)>Brasília a>. Acessado em 03 de abril de 2014.
3. BERNARDO, B. T. **Estudo de adsorção em leito fixo para o sistema heptano/ tolueno/ sílica gel usando líquidos iônicos como fase móvel**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química e Bioquímica, UNL, Monte de Caparica, Lisboa, p.130, 2011.
4. BRANDÃO, P. C. **Avaliação do uso do bagaço de cana como adsorvente para a remoção de contaminantes, derivados do petróleo, de efluentes**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia - MG, 2006.
5. COSTA, E. C.; BARBOSA, C. D. A. E. S.; MACHADO, J. A.; GARCIA, C. A. B. Estudo comparativo de adsorção do corante preto *sulphcolor* utilizando o carvão ativo convencional com o bagaço da cana-de-açúcar *in natura* e tratada quimicamente. **Scientia Plena**, v. 6, n. 12, 2010.
6. FERNANDES, R. **Adsorventes alternativos para remoção de fenol em solução aquosa**. Mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2005.
7. FOUST, S. A.; WENZEL, A.; CLUMP, W. C.; MAUS, L.; ANDERSEM, B. L. **Princípios das Operações Unitárias**, 2ª Ed., Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro - RJ, 1982.
8. LIMA, L. M. R. **Avaliação de contaminantes orgânicos presentes em efluentes aquosos mediante leito fixo de biomassa em escala ampliada**. Tese de Doutorado em Engenharia de Processos, UFCG, Campina Grande - PB, 2010.
9. LIMA, L. M. R.; SOUZA, R. S.; LIMA, E. G.; SANTOS, D. V. M. **Sistema de adsorção em leito diferencial para remoção de gasolina e óleo diesel em corpos d'água**. Encontro Brasileiro Sobre Adsorção (EBA9) e Simpósio Ibero-Americano Sobre Adsorção, maio de 2012, Recife – PE, 2012.

10. MARTIN, A. R.; MARTINS, M. A.; MATTOSO, L. H. C.; SILVA, O. R. R. F. Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade *Agave sisalana*. **Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 1, p. 40-46, 2009.
11. MORAIS, V. L. M. **Purificação de efluentes contaminados com hidrocarbonetos por adsorção em leito fixo de biomassa**. Doutorado em Engenharia de Processos – UFCG, Campina Grande - PB, p. 104, 2005.
12. MOREIRA, R. F. P.; HUMBERTO, J. J.; SOARES, J. L. **Isotermas de Adsorção de Corantes sobre Carvão Ativado**. II Encontro Brasileiro de Adsorção (II EBA), Florianópolis - SC, p. 85-91, 2000.
13. MOTA, J. P. **Adsorption Processes and Technology**. Departamento de Química, Centro de Química Fina e Biotecnologia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal, p. 282-516, 2002.
14. PERIN, P.; PIVA, J. D.; BARROS, S. T. D.; SANTOS, O. A. A. **Remoção do corante reativo azul pela adsorção em carvão ativado**. Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá - PR, 2006.
15. RIBEIRO, T. H.; GROSSI, L.; AMARAL, S.; RUBIO, J. **Sorção de compostos orgânicos pela biomassa seca da *Salvinia sp.* (RS)**. II Encontro Brasileiro de Adsorção – II EBA, Florianópolis – SC, p. 383-393, 2000.
16. RUTHVEN, D. M. Zeolites as Selective Adsorbents – Synthetic Zeolites are Used Widely as Selective Adsorbents in a Range of Large Scale Separation Processes. **Chemical Engineering Progress**, p. 42-50, 1988.
17. RUTHVEN, D. M. **Adsorption – Theory & Practice**. Fortaleza - CE, 1996.
18. SALAME, I. I.; BAANDORZ, J. T. Role of Surface Chemistry in Adsorption of Phenol on Activated Carbons. **Journal of Colloids and Interface Science**, v. 264, p. 307-312, 2003.
19. SANTOS, E. G. **Estudo da adsorção de contaminantes orgânicos provenientes da água de extração do petróleo, em coluna de leito fixo, utilizando biomassas como adsorventes**. Tese de Doutorado em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande - PB, p. 229, 2005.
20. SILVA, V. L. M. M.; COSTA, K. J. B.; OLIVEIRA, E. D. C.; OLIVEIRA, E. K. G.; SANTOS, T. C.; LIMA, L. M. R.; Adsorção de contaminantes derivados do petróleo utilizando mandacaru (*Cereus jamacaru*) como biomassa adsorvente. 10<sup>o</sup> Encontro Brasileiro sobre Adsorção (10<sup>o</sup> EBA), CD-Rom, Guarujá – SP, 2014.
21. SILVA, O. R. R. F.; BELTRÃO, N. E. M. **O Agronegócio do sisal no Brasil**. Embrapa – SPI, Brasília; Embrapa – CNPA, Campina Grande - PB, 1999.
22. SOUZA, R. S.; LIMA, L. M. R.; SILVA, V. L. M. M. **Adsorção de óleo diesel em sistema de leito diferencial com biomassa bagaço de cana-de-açúcar**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos - REMAP, v. 6, p. 123-126, 2011.
23. TAGLIAFERRO, G. V.; PEREIRA, P. H. F.; RODRIGUES, L. A.; SILVA, M. L. C. P. **Adsorção de chumbo, cádmio e prata em óxido de nióbio (v) hidratado preparado pelo método da precipitação em solução homogênea**. Química Nova, v. 34, n. 1, p. 101-105, 2011.
24. Fotos Disponíveis em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/sisal>>. Acessado em 25 de abril de 2014.