

# CARACTERÍSTICAS E UTILIZAÇÃO DE ADSORVENTE CARBONOSO OBTIDO EM PROCESSO DE PIRÓLISE A PARTIR DE LODO DE ETE – UMA REVISÃO<sup>1</sup>

*Characteristics and Use of Biosolids Produced in the Pyrolysis Process Sewage Sludge STP - A Review*

Murillo Barros de Carvalho<sup>2</sup> & Gláucia Eliza Gama Vieira<sup>3</sup>

**Resumo:** Em processos biológicos de tratamento de esgoto doméstico uma parte da matéria orgânica é convertida e outra é absorvida. Essa massa residual que foi absorvida e transformada é um componente da biomassa microbiana, denominada genericamente de lodo biológico ou de biossólido, por ser composta principalmente de sólidos biológicos. Dar um destino final sustentável para esse resíduo tem sido um dos grandes desafios do saneamento nos últimos anos. Neste estudo fez-se um levantamento bibliográfico das características e possibilidades de utilização do carvão produzido em processo termoquímico (pirólise), a partir de lodo ETE. Observou-se que o bioproduto carbonoso, além de combustível, pode ser um atraente adsorvente na purificação, na separação, no armazenamento e no processamento de alimentos, bebidas e produtos químicos e farmacêuticos.

**Palavras-chave:** lodo de esgoto; pirólise; carvão ativado; adsorvente.

**Abstract:** *In biological treatment processes of domestic sewage part of the organic matter is converted and the other is absorbed. This residual mass that has been absorbed and transformed is a component of the microbial biomass, known generically as biological sludge or biosolids, composed mainly by biological solids. The final destination of this sustainable waste has been one of the greatest challenges of sanitation in recent years. In this study a bibliographic survey of the characteristics and possibilities of using coal or sewage sludge produced in thermochemical process (pyrolysis) sludge from WWTP was carried out.*

**Keywords:** sewage sludge, pyrolysis, activated charcoal adsorbent.

## 1 INTRODUÇÃO

A grande quantidade de resíduos gerados diariamente em uma cidade é, sem dúvida, uma das questões ambientais mais desafiadoras enfrentadas pela administração pública. Para amenizar o problema, em algumas cidades

brasileiras o esgoto é tratado em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), com o uso de diversos sistemas tecnológicos. Só que mitigar, remediar, evitar e dispor resíduos exige elevado orçamento, e nem sempre estas são soluções ambientalmente sustentáveis (AIRES et al., 2003; BRAGA et al., 2005; VIEIRA, 2009).

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 23.11.2010 e aceito em 22.12.2011.

<sup>2</sup> Mestrando do Programa de Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins, <murillopur@yahoo.com.br>;

<sup>3</sup> Professora Adjunta do Curso de Engenharia Ambiental e do Mestrado em Agroenergia, Coordenadora do Laboratório de Ensaios e Desenvolvimento de Biomassas e Bioprodutos, Universidade Federal do Tocantins – LEDBIO/UFT, Campus Universitário de Palmas – Qd. 109 Norte, Av. NS 15, ALCNO 14 – Centro, 77020-120 Palmas-TO, <glau.eliza@ig.com.br>.

No tratamento de esgotos os microrganismos absorvem uma parte da matéria orgânica, convertem outra em biogás (anaerobiose) e outra em compostos estáveis. Essa massa residual que foi absorvida e transformada é um componente da biomassa microbiana, denominada genericamente de lodo biológico ou de biossólido, por ser composta principalmente de sólidos biológicos (ANDREOLI et al., 2001; PING et al., 2010).

Trata-se de um material heterogêneo, cuja composição depende do tipo de tratamento empregado para purificar o esgoto e das características das fontes geradoras – população, indústrias, agricultura e pecuária (CORREIA et al., 2009).

No Brasil não existe dados consistentes a respeito da produção, do tratamento e da disposição final de biossólidos. Sabe-se que apenas 87 milhões de pessoas (BIO, 2001) são atendidas por esgotamento sanitário, cuja produção *per capita* é de aproximadamente 36 gramas de sólido seco por dia (NUVOLARI et al., 2003). Esses valores mostram a magnitude do problema, que é o tratamento e a disposição final desse resíduo. Boa parte das ETEs encaminha esse material para finalidades improdutivas, como é o caso de aterros sanitários, disposição no solo ou incineração. A gerência desse biossólido pode chegar até a 60% do custo de operação da ETE (ANDREOLI et al., 2001).

A grande quantidade de produção de lodo tem incentivado, nos últimos anos, a aplicação de tecnologias que visem ao reaproveitamento do resíduo gerado. Apesar dos grandes esforços despendidos no último século, o ciclo de sustentabilidade ainda não está fechado, uma vez que durante o processo de tratamento do esgoto outro resíduo ou subproduto é gerado. Este subproduto tem alto potencial de impactos negativos ao meio ambiente, haja vista que não se tem, ainda, uma disposição econômica e ambientalmente viável para ele (SILVA et al., 2012).

Portanto, faz-se necessário caracterizá-lo inicialmente, a fim de avaliar suas propriedades físico-químicas e seu comportamento em relação às variações de concentração de matéria orgânica no efluente tratado e, conseqüentemente, sua aplicação em processos variados (VIEIRA, 2004; DINIZ, 2005; CORTEZ et al., 2008; FONTS et al., 2009).

Segundo Vieira et al. (2009), uma solução para o uso desse biossólido (biomassa) como fonte na produção de bioprodutos é, a longo prazo, a aplicação de processos termoquímicos (pirólise). Este procedimento consiste na decomposição química da biomassa a baixas temperaturas (400 – 800 °C), em meio inerte (não oxidante). É um processo constituído por uma série de reações complexas, com produção de uma fração volátil de gases, vapores orgânicos condensáveis (fração líquida orgânica) e resíduo sólido (carvão), que podem ser utilizados como combustíveis ou insumos químicos. A proporção e composição desses produtos estão diretamente ligadas aos parâmetros do processo e ao tipo de biomassa utilizada (DINIZ, 2005; CORTEZ et al., 2008).

O sólido carbonoso (carvão) obtido no processo de pirólise, além de combustível, após ser ativado tem diversos usos, especialmente na adsorção de poluentes gasosos e líquidos como o tolueno, o sulfeto de hidrogênio, o dióxido de nitrogênio, o fenol, a tintura e o mercúrio, além da purificação, da separação, do armazenamento e do processamento de alimentos, bebidas e produtos químicos e farmacêuticos, por exemplo (MOCELIN, 2007).

O carvão ativado (CA) tem sua aplicação datada de 2000 a.C., quando já era usado pelos egípcios para purificar a água. Posteriormente a maior utilidade do carvão ativado foi na 1ª Guerra Mundial, produzido na forma granular para ser utilizado nas máscaras de gás. Após a década de 1950 foi desenvolvida a manufatura de carvão ativado em pó, e o seu uso foi amplamente estendido para purificação de água e controle da emissão de poluentes.

No século XIX constatou-se que para descolorização de materiais as propriedades do carvão ativado são inerentes ao material e dependem da temperatura do meio de processamento e que também se deve levar em conta o tamanho das partículas em questão. Anualmente, cerca de 400.000 toneladas de carvão ativado são produzidas em todo o mundo, a partir de aproximadamente 1 milhão de toneladas de precursores diversos (YANG et al., 2000).

## 2 PIRÓLISE

A pirólise é uma técnica de destilação destrutiva de materiais orgânicos, em que os compostos mais leves são convertidos em frações líquidas, que conseqüentemente sofrem um processo de condensação em fase gasosa, favorecendo a formação de novas substâncias. Os processos de pirólise podem ser divididos em pirólise convencional ou lenta e pirólise rápida, dependendo das condições operacionais usadas (VIEIRA, 2000, 2004, 2009).

Esse processo consiste na decomposição química de biomassa pelo calor, na ausência de oxigênio. O calor fornecido à biomassa provoca ruptura e recombinações de ligações químicas e de interações físicas, fracionando assim a estrutura molecular da biomassa, liberando compostos de carbono na forma líquida, sólida e gasosa, que poderão ser utilizados como combustíveis ou insumos químicos (DINIZ, 2005).

Nos processos térmicos as reações são de quebra e de condensação. A pirólise é bastante endotérmica, na ordem de  $100 \text{ KJ kg}^{-1}$ , diferentemente da combustão, que é altamente exotérmica (FYTILI; ZABANIOTOU, 2008).

O óleo obtido por pirólise pode ter diversas aplicações industriais, dependendo da sua composição química; em geral é composto por hidrocarbonetos e ácidos graxos, podendo ser utilizado na produção de sabão, graxa e de ésteres metílicos, para obtenção de biodiesel. É também uma fonte de produtos químicos

refinados, com alto preço no varejo: solventes, tintas, adesivos, fibras sintéticas, resinas, cosméticos, fármacos, corantes, plásticos, desinfetantes, vernizes, plastificantes, aditivos para alimentos, aditivo para combustíveis, agente de flotação, aditivo para borrachas e resinas, eletrodos, impermeabilizantes, materiais carbonosos, pode ser usado em pavimentação de estradas, entre outros. O carvão, quando ativado, pode ser utilizado como filtro, aplicado para purificações de processos industriais em ETAs e ETEs (VIEIRA, 2000; CORTEZ et al., 2008).

### 2.1 Bioproduto carbonoso resultante da pirólise

Como mencionado, a pirólise é uma boa alternativa econômica e ambiental para o lodo de esgoto, visto que reduz os impactos negativos ao meio ambiente, e os bioprodutos obtidos podem conter alto valor econômico agregado (VIEIRA, 2004; GASCÓ et al., 2005).

Menéndez et al. (2005), ao pirolisarem o resíduo do tratamento do esgoto em um forno de micro-ondas e em forno elétrico, observaram que no primeiro obteve-se mais rendimento da fração sólida.

Entretanto Mocelin (2007) salienta que os sólidos resultantes do processo pirolítico em forno de micro-ondas são menos porosos e apresentam maior resitência à lixiviação de orgânicos e metais, podendo ser um indicador de baixa área superficial.

São compostos por diferentes espessuras de poros e constituídos por átomos de carbono, ordenados em camadas hexagonais paralelas. A matéria-prima e as condições de ativação utilizadas influenciam as propriedades do carvão, logo ele pode ter diferentes funções adsorptivas e servir para utilidades específicas (SILVA, 2009; WANG et al., 2010).

Esses sólidos têm alta capacidade de adsorver líquidos e gases. Adsorção é a capacidade do biossólido, em contato com uma fase gasosa ou líquida, criar uma interface

sólido-gasoso e sólido-líquido. O sólido é denominado adsorvente e o gás ou líquido de adsorbato (MORENO et al., 2005; SILVA, 2009).

Existe uma diferença entre adsorção e absorção. O primeiro termo caracteriza-se pela reação das moléculas entre adsorbato e adsorvente, criada por um campo de força gerado pelo desequilíbrio eletrostático, decorrente da irregularidade da superfície do carvão. Já o segundo é a penetração de um componente no outro (SILVA, 2009; TEIXEIRA et al., 2010).

## 2.2 Metodologias para caracterização

Shen et al. (2003) realizaram análise elementar de carbono (C), hidrogênio(H), nitrogênio (N) e silício (Si) para caracterização do carvão da pirólise e encontraram 39.9, 1.9, 4.4, 7.9 e 37.4, respectivamente.

Brum et al. (2008) caracterizaram a superfície do carvão ativado por infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). A soma de carvão pirolítico e substâncias alcalinas resultaram em superfícies menos ácidas, o que beneficia o processo de absorção (WANG et al., 2010).

Segundo Silva (2009), as propriedades físicas importantes são o tamanho dos poros e a área superficial. Para propriedades químicas, salienta a umidade, presença de minerais, pH, cinzas e grupos funcionais presentes na superfície do carvão.

Em relação ao tamanho e à forma da partícula, o carvão ativado pode ser classificado em quatro tipos: pó, granular, fibroso e têxtil (SILVA, 2009). Com o auxílio de microscopia de varredura, os poros do carvão ativado podem ser classificados em três grupos: microporos, com diâmetro inferior a 2 nm; mesoporos, com diâmetro entre 2 e 50 nm; e macroporos, com diâmetro superior a 50 nm.

Segundo Mocelin (2007), não existem métodos para medição da tensão superficial,

por isto a porosidade é uma das principais respostas obtidas na caracterização.

## 2.3 Ativação do sólido carbonoso

Para Silva (2009), carvão ativado é um termo genérico para descrever um material poroso complexo e de elevada área superficial, resultante de um processo de ativação química ou física e com atraentes possibilidades na adsorção de compostos tóxicos. Esse material pode ser formado a partir das diversas biomassa existentes, como materiais lignocelulósicos ou a partir de resíduos.

Os adsorventes mais notáveis são, portanto, os sólidos altamente porosos. Existem dois tipos de adsorção (Quadro 1): a física ou fisissorção e adsorção química ou quimissorção (SILVA, 2009).

Para Claudino (2003), o carvão ativado é material carbonoso altamente poroso, com uma forma microcristalina, não grafítica, que sofreu um processo de ativação para aumentar a porosidade interna. Depois de ativado, o bioproducto apresenta porosidade interna comparável com uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores. Esta porosidade diferenciada é classificada, segundo o tamanho, em macro, meso e microporosidade.

A ativação acontece como um processo subsequente ao da pirólise. O carvão pode ser ativado por processo físico ou químico. O primeiro envolve a reação do carvão com gases que contêm oxigênio combinado (geralmente  $H_2O$  e  $CO_2$  ou mistura de ambos). Ambos os gases comportam-se como agentes oxidantes moderados na faixa de temperatura de 800 a 1.000 °C. Já o segundo consiste na impregnação do material com reagentes ativantes ( $KOH$ ,  $NaOH$ ,  $ZnCl_2$ ,  $K_2CO_3$ ) (CLAUDINO, 2003; MORENO et al., 2005; MOCELIN, 2007; SILVA, 2009).

Depois de ativado o adsorvente aumenta sua porosidade interna, podendo ser comparada a uma rede de túneis que se separam por canais

**Quadro 1** - Diferença entre adsorção química e adsorção química**Table 1** - Difference between chemical and chemical adsorption

Adsorção Física	Adsorção Química
Causada por forças de van der Waals	Causada por forças eletrostática e ligações covalentes
Calor de adsorção = 2 – 6 kcal mol <sup>-1</sup>	Calor de adsorção = 10 – 200 kcal mol <sup>-1</sup>
Adsorção genérica	Reação específica e seletiva
A camada adsorvida pode ser removida por aplicação de vácuo à temperatura de adsorção	A camada adsorvida somente é removida por aplicação de vácuo à temperatura acima da de adsorção
Formação multicamadas	Formação de monocamadas
Acontece somente a baixas temperaturas	Acontece também a altas temperaturas
Adsorvente pouco afetado	Adsorvente altamente modificado na superfície

Fonte: Silva (2009).

menores, chegando a apresentar até 800 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> de área superficial (MOCELIN, 2007; CLAUDINO, 2003).

A soma das forças internas é nula, o que só muda quando as moléculas gasosas ou líquidas se fixam na superfície. As forças de atração, relativamente fracas (forças de Van Der Waal's), são as responsáveis pela tensão superficial.

Rocha et al. (2006) utilizaram noz de macadâmia e semente de goiaba como matérias-primas, submetendo-as à carbonização em mufla. O trabalho consistiu no tratamento térmico (pirólise) em atmosfera inerte (N<sub>2</sub>), em que foram tratadas a temperaturas de 460, 570 e 720°C, por 60 minutos, e à temperatura de 720°C, por 30 minutos. É uma etapa de preparação do material, em que se removem componentes voláteis e gases leves (CO, H<sub>2</sub>, CO e CH<sub>4</sub>), produzindo uma massa de carbono fixo e uma estrutura porosa primária que favorece a ativação posterior.

Em seguida, 40 gramas da amostra carbonizada com maior área superficial foram colocados em contato dinâmico, por 48 horas, com 40 gramas de ZnCl<sub>2</sub>. Os materiais foram lavados, primeiramente, com solução de ácido clorídrico a+ 2,5%, para total eliminação dos íons zinco, e com água destilada até ajuste do pH, para ficar em torno de 6,5. Em seguida o

carvão foi seco a 110°C e armazenado hermeticamente.

Brum et al. (2008) utilizaram metodologia bastante parecida com as descritas anteriormente. O material utilizado foi seco e moído, resultando em uma granulometria entre 250 e 420 µm. O pergaminho foi impregnado com ZnCl<sub>2</sub> na proporção de 1:1 (m m<sup>-1</sup>), seco a 100°C por 24 horas e ativado a 500°C, por 3 horas. A ativação foi feita em atmosfera inerte (N<sub>2</sub>), em um forno tubular horizontal. O carvão obtido foi lavado sucessivas vezes com HCl/H<sub>2</sub>O, para retirada dos resíduos do agente ativante e desobstrução dos poros formados.

A remoção dos agentes de ativação do processo, ZnCl<sub>2</sub>, NaOH ou KOH, pode ser realizada utilizando a extração ácida ou neutralização. Contudo, o emprego desses agentes não é muito atrativo, devido aos resíduos gerados, que nesse caso são os próprios agentes ativantes (MÉNDEZ et al., 2005).

Zhang et al. (2005) constataram que o biossólido carbonoso, quando ativado quimicamente com ZnCl<sub>2</sub>, NaOH ou KOH, apresentou-se bastante eficiente na remoção de mercúrio (Hg).

Gascó et al. (2005) avaliaram o uso do biossólido resultante da pirólise de lodo de esgoto como adsorvente para remoção de sódio,

potássio, cálcio e magnésio presentes em águas salinas. O adsorvente sem ativação química, ou seja, que foi ativado somente fisicamente, apresentou-se mais eficaz.

## 2.4 Aplicações

As aplicações industriais do carvão ativado fundamentam-se no fenômeno da adsorção, tanto em fase líquida quanto em fase gasosa.

De acordo com Dayton (2001), em tratamento de águas (ETA), o carvão pulverizado e granulado é muito empregado para eliminação da cor, da turbidez, do odor, do sabor, de pesticidas e de outros poluentes. Ele é utilizado, também, para descoloração de águas com alto teor de cloro. As águas residuárias (ETE), por meio de reatores de leito fluidificado alimentados com esgoto sanitário, podem ser tratadas com o carvão, pois este possui capacidade de aderência aos microrganismos em suas partículas.

Efluentes contendo metais como cádmio, cobre, chumbo e cromo exibem elevada biotoxicidade, em geral com efeitos acumulativos no bioma. A remediação de efluentes contaminados pode ser feita por adsorção de carvão ativo, argilas e sílica (FENG et al., 2004).

Na indústria alimentícia eles são utilizados na clarificação, via adsorção de elementos corantes presentes no produto a ser tratado, na produção de açúcar, óleos vegetais, xaropes, ácidos orgânicos e glicerina.

Outros exemplos de sua aplicação é a purificação de álcool, remoção de mercúrio de efluentes, descafeinização de café, adsorção de iodo radioativo, clarificação de vinho (MORIKAWA, 1990; GOLIN, 1990, 1995).

A borra de café solúvel utilizada nas indústrias químicas e os talos de mamona e as fibras cortadas da piaçava são também fontes para produção de carvão ativado diferenciado e de maior qualidade. Nessas indústrias, o carvão é utilizado para fins de purificação e/ou recuperação de compostos orgânicos líquidos e gasosos,

suporte para catalisadores em processos de hidrogenação de óleos e gorduras e tratamento da gasolina e gás natural.

O carvão ativado pode ser utilizado para fins de purificação e tratamento de insumos para indústria têxtil, água de lavanderias, manutenção de mecânica pesada (ônibus) e lava-jatos, que provêm das caixas separadoras de água/óleo e que retiram o óleo bruto no tratamento de intoxicações intestinais, na purificação de água para hemodiálise, nos filtros de cigarros entre outros.

## 3 CONCLUSÃO

Tratar o esgoto é uma exigência da legislação brasileira, só que o subproduto gerado no processo de tratamento ainda é um problema que as empresas de saneamento precisam enfrentar. A pirólise surge como uma possibilidade viável, do ponto de vista econômico, social e ambiental, para tratamento e disposição final desse resíduo. Isso porque esta tecnologia transforma o biossólido em bioprodutos que podem retornar ao saneamento, como é o caso do carvão, ou destinados à indústria, como é o caso do bio-óleo. O carvão, quando ativado, apresenta-se como um ótimo adsorvente, sendo assim utilizado na indústria para retirar cor e odor, bem como na purificação e clarificação em ETES e ETAs.

De acordo com a literatura, essa tecnologia termoquímica é um incentivo ao reaproveitamento de resíduos sólidos diversos, pois gera materiais de maior valor agregado e evita a disposição inadequada dos recursos no meio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIRES, R. D. et al. Pirólise. In: FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS, 3., 2003, Rio Claro, SP. *Anais...* Rio Claro: Faculdades Integradas Claretianas, 2003.
- ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, F.; SPERLING, M. (Eds). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG/SANEPAR, 2001. 483 p.

- BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental**. 2.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p.
- BRUM, S. S. et al. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. **Quim. Nova**, v. 31, n. 5, p. 1048-1052, 2008.
- CLAUDINO A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- CORREIA, J. E.; SANTOS, T. S. M.; DIAS, S. M. F. Caracterização físico-química do lodo gerado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Feira de Santana, BA. In: REUNIÃO DE SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 32., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBQ, 2009.
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S., GÓMEZ, E. O. (Orgs.). **Biomassa para energia**. Campinas, SP: UNICAMP, 2008. 29 p.
- DAYTON, E. A.; BASTA, N. T. Characterization of drinking water treatment residuals for use as a soil substitute. **J. Water Environment Research**, v. 73, n. 1 p. 52-57, 2001.
- DINIZ, J. **Conversão térmica de casca de arroz a baixa temperatura: produção de bioóleo e resíduo silico-carbonoso adsorvente**. 2005. 185f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2005.
- FENG, Q. et al. Adsorption of lead and mercury by rice husk ash. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 278, n. 1, p. 1-8, 2004.
- FONTS, I. et. al. Study of the pyrolysis liquids obtained from different sewage sludge. **J. Anal. Appl. Pyrolysis**, v. 85, n. 1, p. 184-191, 2009.
- FYTILI, D.; ZABANIOTOU, A. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 1, p. 116-140, 2008.
- GASCÓ, G. et al. The influence of organic matter on sewage sludge pyrolysis. **J. Anal. Appl. Pyrolysis**, v. 74, n. 1-2, p. 413-420, 2005.
- GOLIN, D. M. **Activated carbon for liquid and gas phase applications**. Pittsburgh, PA; Calgon Carbon Corporation, 1995. (Application Bulletin)
- GOLIN, D. M. Carvão ativado pulverizado e granulado, conceitos e utilização. In: SEMINÁRIO DE ASSEGURAÇÃO DE QUALIDADE, 8., Curitiba, 1990. **Anais...** Curitiba : Indústrias Químicas Carbomafra , 1990.
- MÉNDEZ A., et al. Preparation of carbon- based adsorbents from pyrolysis and air activation of sewage sludges. **Chemical Engineering Journal**, v. 108, n. 1-2, p. 169-177. 2005.
- MENENDEZ, J.A. et al. Microwaveinduced drying, pyrolysis and gasification (NWDPG) of sewage sludge: Vitrification of the solid residue. **J. Anal. Appl. Pyrolysis**, v. 74, n. 1-2, p. 406-412, 2005.
- MOCELIN, C. **Pirólise de lodo de esgoto sanitário: produção de adsorvente e óleos combustíveis**. 2007. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- MORENO, R.M. et. al. Predição da porosidade e capacidade de adsorção em carvões ativados utilizando iodo e azul de metileno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6., 2005, Campinas **Anais...** Campinas: Unicamp, 2005. p. 1-6
- MORIKAWA, L. **Introdução ao carbono ativado**. Curitiba: Indústrias Químicas Carbomafra S.A., 1990. 58 p.
- NUVOLARI, A (coord). **Esgotos sanitários: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. 520 p.
- PING, F. et al. Carbonaceous adsorbents prepared from sewage sludge and its application for Hg<sup>0</sup>. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 18, p. 231-238, 2010.

- ROCHA, W. D. et al. Adsorção de cobre por carvões ativados de endocarpo de noz macadâmia e de semente de goiaba. **Rev. Esc. Minas**, v. 59, n. 4, p. 409-414, 2006.
- SANEAMENTO em números. **BIO. Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente**, v. 11, n. 17, p. 17-36, 2001. Caderno Especial
- SHEN, L.; ZHANG, D. An experimental study of oil recovery from sewage sludge by low-temperature pyrolysis in a fluidized-bed. **Fuel**, v. 4, n. 82, p. 465-472, 2003.
- SILVA, J. **Estudo da eficiência e aplicabilidade de carvão ativado resultante de pirólise de casca de arroz em barreiras reativas na remoção de contaminantes em solos**. 2009. 202 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- SILVA, R. V. S. et al. Fractions composition study of the pyrolysis oil obtained from sewage sludge treatment plant. **Bioresource Technology**, v. 103, p. 459-465, 2011.
- TEXEIRA, A. C. H. et. al. Estudo teórico da caracterização do carvão ativado para adsorção de gás natural. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 6., 2010, Campina Grande-PB. **Anais...** Campina Grande-PB, 2010.
- VIEIRA, G. E. G. **Fontes alternativas de Energia – processo aperfeiçoado de conversão térmica**. 2004. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal Fluminense, Instituto de Química, Niterói, 2004a.
- VIEIRA, G. E. G. **Resíduos da produção industrial de borracha (ETRI) e bebida (ETE) – uma avaliação pela tecnologia de LTC**. 2000. 322 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal Fluminense, Instituto de Química, Niterói, 2000.
- VIEIRA, G. E. G. et al. Low temperature conversion (LTC) – An alternative method to treat sludge generated in an industrial wastewater treatment station – Batch and continuous process comparison. **Bioresource Technology**, v. 100, n.4., p. 1544-1547, 2009.
- WANG, P. et al. Analysis of coal tar derived from pyrolysis at different atmospheres. **Fuel**, p. 1-8, 2010.
- YANG, J. et al. Reaction of NO with carbonaceous materials: III. influence of the structure of the materials. **Carbon**, v. 38, n. 14, p. 2029-2039, 2000.
- ZHANG, F.; NRIAGU, J. O.; ITOH, Hi. Mercury removal from water using activated carbons derived from organic sewage sludge. **Water Research**, v. 39, n. 2-3, p. 389-395, 2005.