

**RELATÓRIO SOBRE EXPERIÊNCIA ORGANIZACIONAL**

**DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E  
O APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE USINAS  
TERMELÉTRICAS**

**Denise Alves Fungaro, Juliana de Carvalho Izidoro e Anderson Oliveira de  
Andrade**

CATEGORIA: Ciência e Tecnologia em P+L

**INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES**

Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária

CEP 05508-000 – São Paulo – SP

dfungaro@ipen.br

## INTRODUÇÃO

Todo processo industrial gera resíduos, muitas vezes tóxicos e perigosos, não sendo possível simplesmente descartar esses materiais na natureza sem causar danos à saúde e ao meio ambiente. A solução dos problemas do acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e/ou disposição final dos resíduos perigosos, está intimamente ligada à sua composição. Na busca da minimização dos problemas ambientais a utilização de rejeitos em processos industriais tem uma grande importância, haja vista que diminui o volume dos depósitos e contribui significativamente para a redução na extração da matéria-prima. Atualmente vem sendo ampliado o aproveitamento de rejeitos industriais, dentro de uma visão que trata estes poluentes como matérias-primas importantes para aplicações nobres e com maior valor agregado.

O carvão queimado em usinas termelétricas gera energia, mas há também a produção de resíduos sólidos durante o processo. Estima-se que cerca de 3 milhões de toneladas de cinzas de carvão são produzidas no país ao ano e este número irá aumentar devido à demanda de energia elétrica pela sociedade (Plano Nacional de Energia Elétrica 2030). A forma de acumulação destas cinzas se dá numa decisão puramente econômica, sem considerar as relações com o meio ambiente, sendo dispostas de forma inadequada dentro do perímetro urbano e nas zonas rurais (Foto 1). A disposição das cinzas em aterros oferece perigos potenciais aos mananciais hídricos, pois contaminam as águas superficiais e subterrâneas, e ao solo pela lixiviação.



Foto 1 – Depósito de cinzas de carvão ao redor de usina

A principal aplicação das cinzas de carvão é a comercialização para o setor de construção, mas isto ainda ocorre em pequena escala e em apenas algumas centrais termelétricas do Brasil (~ 34 % da cinza gerada). Uma das maneiras de reduzir os impactos ambientais decorrentes da disposição destes resíduos no meio ambiente consiste na ampliação das potencialidades de sua utilização.

A implantação de modelos de Produção Mais Limpa em processos industriais tem se constituído em um importante elemento na minimização dos resíduos gerados, como também tem tornado possível uma intervenção dos centros de pesquisa na solução do problema e na identificação de

matérias-primas secundárias para o desenvolvimento de materiais. Dentro deste contexto, estabeleceu-se uma importante parceria entre Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (**IPEN/CNEN-SP** - [www.ipen.br](http://www.ipen.br)) desde 1999, sob coordenação da Dra Denise Alves Fungaro, com a Companhia Carbonífera do Cambuí Ltda., responsável pela Usina Termelétrica a Carvão de Figueira, localizada no município de Figueira, a nordeste do Estado do Paraná. O grupo de pesquisa é formado por pesquisadores, estudantes de graduação e pós-graduação e conta com o auxílio financeiro da Companhia Carbonífera do Cambuí Ltda. e do órgão de fomento Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Edital Universal MCT/CNPq 02/2006).

### **A Usina Termelétrica de Figueira**

A Usina Termelétrica de Figueira foi construída, em 1959, às margens do rio Laranjinha (ou rio do Peixe), no município de Figueira e tem potencial atual de geração de energia elétrica de 20 MW. No dia 01 de janeiro de 1997, a administração, operação e manutenção passaram à Companhia Carbonífera do Cambuí. O município de Figueira apresenta um total de 9.038 habitantes (IBGE, 2005) e a maioria da população vive nas proximidades da usina devido ao fator empregatício. Em Figueira perto de 42% do trabalho formal do município está concentrado na atividade de extração mineral.

As análises feitas sobre a relação da Usina Termelétrica Figueira sobre o Município de Figueira mostram um grande grau de dependência no desenvolvimento do município para com a Usina. No entanto, essas mesmas atividades que proporcionaram desenvolvimento para a região também geraram uma série de impactos ambientais aos quais serão remediados apenas a longo prazo.

Os principais resíduos oriundos das atividades da termelétrica a carvão são as cinzas e emissões atmosféricas de SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub> (genericamente SO<sub>x</sub>). Estes são os responsáveis pelos possíveis impactos ambientais aos redores da usina termelétrica. Cerca de 250 mil ton/ano de resíduos sólidos são gerados na queima do carvão e atualmente a administração da usina não comercializa as cinzas, optando por depositá-las em antigas áreas mineradas a céu aberto.

### **ESTRATÉGIA DE AÇÃO**

O presente projeto envolveu o desenvolvimento tecnológico de alternativa de aproveitamento destes resíduos pela transformação das cinzas de carvão em um material adsorvente de baixo custo visando à ampliação do processo de reciclagem e ao aumento do valor agregado do resíduo poluidor.

As cinzas de carvão da usina são constituídas basicamente por sílica e alumina sendo possível convertê-las em zeólita após tratamento hidrotérmico em meio alcalino. A zeólita é caracterizada por alta capacidade de troca catiônica e propriedades de adsorção e catálise possibilitando inúmeras aplicações comerciais em vários ramos de atividade. Assim, sintetizar zeólitas a partir de cinzas de carvão agrega maior valor ao produto do que a aplicação das cinzas como material da indústria de construção civil, por exemplo.

No estudo, as condições ótimas para a síntese de zeólitas a partir de diferentes tipos de cinzas de carvão da Usina Termelétrica de Figueira foram

estabelecidas. As zeólitas foram avaliadas como material alternativo para os seguintes tipos de aplicações: (1) no tratamento de drenagem ácida de mina gerada na Usina pela operação de mineração (2) na remediação de solo contaminado da Usina; (3) no aproveitamento em outros processos industriais para fins de comercialização.

Os resultados mostraram que a implantação da produção de zeólita sintetizada a partir de cinzas de carvão em usinas termelétricas é uma alternativa importante sob os pontos de vista de estratégia econômica e ambiental para a concretização da concepção de Desenvolvimento Sustentável.

## **APLICAÇÕES DAS ZEÓLITAS SINTETIZAS A PARTIR DE CINZAS DE CARVÃO – RESULTADOS ALCANÇADOS**

### **Tratamento de drenagem ácida de mina**

A zeólita sintetizada a partir de cinzas de carvão foi empregada no tratamento da drenagem ácida de mina gerada na Usina de Figueira apresentando eficiência de redução de íons metálicos na faixa de 70 a 90%. A qualidade final do efluente permitiria o descarte em corpos d'água segundo a legislação vigente.

(FUNGARO, D. A. Tratamento de drenagem ácida de mina usando zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão. *Revista Meio Filtrante*, ano IV, n.18, p. 5–9. Janeiro/Fevereiro 2006. <<http://www.meiofiltrante.com.br>>)

### **Remediação de solo contaminado**

As zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão foram adicionadas á amostras de solo da Usina termelétrica de Figueira contaminadas com zinco proveniente das cinzas de carvão por deposição atmosférica. A lixiviação foi reduzida para mais de 80% usando um mínimo de 10% de aditivo. O material é uma alternativa no processo de remediação *in situ* de solos contaminados.

(FUNGARO, D. A.; FLUES, M. S-M.; CELEBRONI, A. P. Estabilização de solo contaminado com zinco usando zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão. *Química Nova*, v. 27, p. 582 – 585, 2004).

### **Tratamento de efluente de galvanoplastia**

A zeólita de cinza leve foi usada para descontaminar o efluente de um processo de zincagem de uma indústria de galvanoplastia. A quantidade do íon metálico e o pH no efluente, após o tratamento, estavam dentro dos limites permitidos pela legislação para descarte no meio ambiente.

(FUNGARO, D. A. Aplicação de material zeolítico preparado com cinzas de carvão no tratamento de águas contaminadas. *Revista Meio Filtrante*, ano III, n. 09, p. 12 – 13, Abril/Maio/Junho 2004. <<http://www.meiofiltrante.com.br>>).

O tratamento foi igualmente eficaz com o uso de zeólita de cinza pesada da base da chaminé.

(FUNGARO, D. A.; SILVA, M. G. Utilização de zeólita preparada a partir de cinza residuária de carvão como adsorvedor de metais em água. *Química Nova*, v. 25, p.1081 – 1085, 2002).

### **Tratamento de efluente contaminado com corante**

Uma eficiência de retenção  $\geq 88\%$  do azul de metileno em solução aquosa foi obtida em processo de adsorção com zeólita de cinzas de carvão. A remoção não apresentou interferência do pH inicial e a solução aquosa após o tratamento exibiu coloração permitida em um efluente para descarte. O processo foi avaliado visando à utilização da zeólita de cinzas de carvão no tratamento de efluentes da indústria têxtil. (FUNGARO, D. A.; IZIDORO, J. C.; ALMEIDA, R. S. Remoção de compostos tóxicos de solução aquosa por adsorção com zeólita sintetizada a partir de cinzas de carvão. *Eclética Química*, v.30, p. 31 – 35, 2005).

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Todos os ramos da indústria e dos serviços confrontam-se com os desafios da Produção Mais Limpa. Na mineração, processos produtivos mais limpos dependem diretamente de pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

A tecnologia de aproveitamento de resíduo enfocada no presente projeto oferece consideráveis vantagens como uma estratégia de utilização de cinzas de carvão em termos econômicos, técnicos e ambientais. A adoção desta prática na gestão ambiental das usinas termelétricas a carvão se justifica por acarretar uma redução de ônus ambientais (legislação), sociais (saúde da comunidade, geração de empregos) e comerciais (colaboradores, investidores, clientes, etc). A comercialização das zeólitas como adsorvente de baixo custo tem abrangência nas áreas industrial, doméstica e saúde e, um mercado potencial de grande volume na área da agricultura como fertilizante de liberação lenta.

A Companhia Carbonífera do Cambuí Ltda. será responsável pela implantação do processo de produção da zeólita na Usina de Figueira. A primeira etapa consiste nos estudos sobre a ampliação de escala do processo de zeolitização de cinzas de carvão, cuja proposta foi encaminhada para aprovação da Eletrobrás.

A intenção é simplesmente seguir uma tendência mundial de melhoria da ecoeficiência, ou seja, a obtenção de resultados econômicos em paralelo à obtenção de ganhos ambientais. O custo da implantação de produção de zeólita de cinzas de carvão foi estimado em R\$ 24939,52 / ton de zeólita produzida. Considerando R\$ 28,00 / Kg o preço da comercialização da zeólita, um retorno do investimento de implantação (break-even) á partir da produção de 43 toneladas de zeólita.

No Brasil existe uma carência de Indicadores de Sustentabilidade para o setor de energia elétrica. No entanto, os pesquisadores do CEFET/PR (Camargo *et al.*, 2003) acreditam que o parâmetro “Resíduos reciclados ou utilizados” deve ser aplicado ao setor elétrico brasileiro como Indicador de Sustentabilidade Ambiental. Este parâmetro se enquadra no suporte do presente projeto para a Usina Termelétrica de Figueira que poderá utilizá-lo no futuro.

## **PREMIAÇÃO DO PROJETO**

### **XIX PRÊMIO JOVEM CIENTISTA DO CNPq**

Tema: Água – Fonte da Vida

2º. Lugar da Categoria Estudante

Trabalho: Tratamento de efluentes industriais usando material zeolítico preparado com cinzas de carvão.

Orientação: Dra. Denise Alves Fungaro

Estudante: Juliana de Carvalho Izidoro

Brasil - Brasília – 2003

### **3ª EDIÇÃO DO PRÊMIO BRAMEX AMBIENTAL**

Organização: Câmara de Indústria, Comércio e Turismo Brasil México

Trabalho: Contribuição à Preservação Ambiental em Região de Complexo Carboelétrico.

Brasil - São Paulo - 2005

### **PRÊMIO INTERNACIONAL DA ÁGUA E DA CIÊNCIA**

8th International Cannes Water Symposium

Organização: UNESCO, Cidade de Cannes, Universidade das Nações Unidas e Universidade de Nice Sophia-Antipolis

Trabalho: Application of zeolite synthesized from fly ash as an adsorbent to the decontamination of wastewater.

França – Cannes – 2006

### **PRÊMIO FERNANDO CERVIÑO LOPEZ - NOVAS TÉCNICAS DE RECICLAGEM**

Organização: Sindicato dos Químicos, Químicos Industriais e Engenheiros Químicos do Estado de São Paulo (SINQUISP)

Trabalho: Reciclagem de Resíduos Gerados em Usina Termelétrica para Aplicação na Remoção de Corante em Água

Brasil - São Paulo – 2007