

# 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1 – Contexto do trabalho

Diante da demanda crescente de energia necessária para o desenvolvimento do país, o carvão mineral brasileiro apresenta-se como opção significativa. Na exploração e no uso do carvão é importante a utilização de tecnologias adequadas de modo a minimizar-se impactos ambientais resultantes da sua extração, beneficiamento e queima.

No Brasil os carvões minerais são betuminosos e sub-betuminosos com teores altos de cinzas e enxofre. A combustão em leito fluidizado é particularmente adequada para esses carvões devido à possibilidade de controle *in loco* de emissões de gases poluentes, e devido à não fusão de cinzas. Adicionalmente, os resíduos sólidos como cinzas e calcário calcinado e sulfatado são insumos utilizáveis, por exemplo, na indústria do cimento. Embora com essas vantagens, o conhecimento específico do processo de combustão em leito fluidizado empregando carvões e calcários nacionais é bastante limitado. São necessários estudos sistemáticos que forneçam dados sobre coeficientes globais de taxa de reação, taxas de consumo otimizadas e características de reatividade dos insumos nacionais.

Na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP), encontra-se em andamento, no Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos (NETeF), um programa extenso de pesquisas na área de energia, destacando-se o processo de combustão em leito fluidizado de carvões minerais brasileiros com vistas ao desenvolvimento de tecnologia nacional. Espera-se contribuir para a utilização racional dos carvões minerais brasileiros para geração termoelétrica, com enfoque

principalmente na contenção de emissões poluentes. O programa conta com o financiamento do CNPq, FAPESP, FINEP e MCT.

As pesquisas correntes estão voltadas para a combustão de carvão e para a absorção, por calcários, do  $SO_2$  produzido no processo. Há três linhas de estudos em andamento, respectivamente em plantas de combustão em leito fluidizado borbulhante atmosférico piloto e de bancada, e em termogravimetria.

Na planta piloto foram realizados estudos sobre o comportamento hidrodinâmico do leito (DE SOUSA, 1999). Seguiram-se trabalhos de avaliação de desempenho do reator sob condições de combustão em regime permanente (TURESO, 2004), e estudos de efeito de escala nas emissões gasosas e na absorção de enxofre por calcário que são os assuntos deste trabalho.

Na planta de bancada já foram concluídos trabalhos referentes a absorção de enxofre por calcário em testes de batelada enfocando-se efeitos da temperatura (COSTA,2000), efeitos do tipo de calcário (CAMARGO,2001), tamanho médio (DA SILVA, 2001) e distribuição granulométrica do calcário (DA SILVA, 2003), efeitos da concentração de  $SO_2$  no leito (SAMANIEGO, 2003) e efeito da atmosfera de combustão de carvão (MICHELS JR., 2004). Atualmente desenvolvem-se estudos de combustão de carvão e absorção de enxofre em regime permanente, além dos estudos de emissões de poluentes gasosos e de efeito de escala pertinentes a este trabalho

Em termogravimetria foram concluídos estudos de caracterização de carvão em processo de combustão (DA SILVA FILHO, 2002) e de calcários em processos de calcinação e absorção de enxofre (CRNKOVIC, 2003, ÁVILA, 2005).

## 1.2 - Processos de fluidização, combustão e absorção de $SO_2$ em leito fluidizado borbulhante

A tecnologia de Combustão em Leito Fluidizado (CLF) baseia-se na utilização de um leito de partículas inertes de capacidade térmica elevada juntamente com partículas de combustíveis, tais como carvão. Essas partículas são fluidizadas por ar injetado na base do leito gerando uma emulsão de partículas suspensas e bolhas. Nesse ambiente, partículas de calcário são introduzidas para absorção de óxidos de enxofre que são gerados durante a combustão. O calcário introduzido no leito, tipicamente a 850 °C, calcina formando o sólido poroso óxido de cálcio e liberando dióxido de carbono. Os gases de enxofre, na maioria dióxido de enxofre, reagem com o calcário calcinado formando o sólido sulfato de cálcio. O movimento das bolhas confere elevado grau de mistura axial ao processo. Os regimes de fluidização em reatores de leito fluidizado são principalmente de dois tipos: borbulhante e circulante. Os processos podem ocorrer a pressão atmosférica ou pressurizados.

As fornalhas de CLF atmosférico borbulhante tem altura aproximadamente constante do material do leito e operam próximo da pressão atmosférica. Nas fornalhas de CLF atmosférico circulante, o ar de fluidização também entra pela base do leito, porém com velocidade suficientemente alta para arrastar o material do leito para fora da coluna. No topo da fornalha existe um ciclone que retém esse material a alta temperatura e o reinjeta de volta na base da coluna. Esta atividade de recirculação melhora a combustão e a utilização de reagentes como o calcário, por exemplo. Na maior parte dos projetos de CLF atmosférico borbulhante, carvão e calcário são inseridos continuamente na fornalha. Os resíduos de materiais queimados e reagidos geralmente são retirados a uma taxa constante, necessária para manter a quantidade adequada de material reagente no leito fluidizado. A quantidade de combustível presente no processo varia tipicamente de 2 a 3 % da massa do material do leito. O padrão excelente de mistura axial provocado pelas bolhas causa uma boa transferência de calor em toda a extensão do leito, permitindo um controle efetivo de sua temperatura, normalmente entre 800 e 900 °C. Essas características beneficiam a absorção do  $SO_2$  emitido durante a combustão e inibem a formação de  $NO_x$  tóxico. A capacidade do

leito fluidizado de queimar vasta faixa de combustíveis diferentes com elevada eficiência de combustão, e as altas taxas de transferência de calor no meio fluidizado, são os principais atrativos da CLF como tecnologia para geração de energia termoelétrica.

### **1.3 – Objetivos do trabalho**

Este trabalho refere-se a estudos do efeito da escala do reator nas emissões gasosas e na absorção de  $\text{SO}_2$  por calcário na combustão de um carvão mineral brasileiro. Os estudos foram realizados em dois reatores de leito fluidizado atmosférico borbulhante: planta piloto e planta de bancada. Especificamente, foram determinados os efeitos da relação Ca/S e da altura do leito sobre a remoção de  $\text{SO}_2$  dos gases de combustão em cada reator, mantendo-se condições operacionais semelhantes nas duas plantas. As emissões de outros gases ( $\text{CO}_2$ , CO,  $\text{O}_2$ , THC e  $\text{NO}_x$ ) também foram avaliadas e comparadas.