

IVONETE ÁVILA

UM ESTUDO DA SORÇÃO DE  $\text{SO}_2$  POR CALCÁRIO EM  
ANALISADOR TERMOGRAVIMÉTRICO E NA COMBUSTÃO DE  
CARVÃO EM LEITO FLUIDIZADO

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: **Térmicas e Fluidos**

Orientador: **Prof. Dr. Fernando Eduardo Milioli**

São Carlos  
2008

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

A958e      Ávila, Ivonete  
Um estudo da sorção de SO<sub>2</sub> por calcário em analisador termogravimétrico e na combustão de carvão em leito fluidizado / Ivonete Ávila ; orientador Fernando Eduardo Milioli. -- São Carlos, 2008.

Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Térmica e Fluidos) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.

1. Dessulfuração. 2. Carvão. 3. Calcário.  
4. Termogravimetria. 5. Leito fluidizado. I. Título.

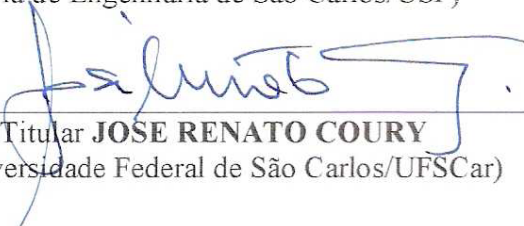
**FOLHA DE JULGAMENTO**

Candidato: Engenheira **IVONETE AVILA**

Tese defendida e julgada em 29/08/2008 perante a Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **FERNANDO EDUARDO MILIOLI (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

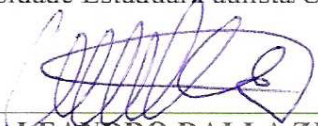
APROVADA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Titular **JOSE RENATO COURY**  
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

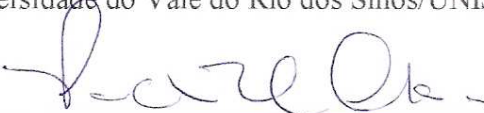
APROVADA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr.<sup>a</sup>. **ARAÍ AUGUSTA BERNÁRDEZ PÉCORA**  
(Universidade Estadual Paulista/UNICAMP)

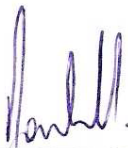
APROVADA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. **LEANDRO DALLA ZEN**  
(Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS)

APROVADA

  
\_\_\_\_\_  
Dr. **PAULA CRISTINA MANOEL CRNKOVIC**  
(Pesquisadora FAPESP)

Aprovada

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Associado **JONAS DE CARVALHO**  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**  
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC



*Ao meu amado marido, Carlos Dias Maciel, pelo  
companheirismo durante esta jornada e compreensão nas inúmeras  
ocasiões em que eu não pude dar-lhe a merecida atenção.*

*Às minhas filhas Maísa e Diana que me motivam a  
acreditar em um futuro melhor.*

*Aos meus pais Affonso (in memoriam) e Zelinda que com  
luta, dedicação e amor, me prepararam para a vida.*



# Agradecimentos

---

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Eduardo Milioli, minha grande admiração por sua excelente orientação, dedicação e suas idéias brilhantes. Meu sincero agradecimento pela credibilidade depositada em mim, por seus ensinamentos e pela parceria imprescindível na realização desta tese.

Em especial à Dra. Paula Manoel Crnkovic, pela co-orientadora, atenção e paciência em esclarecer tantas dúvidas que surgiram. Agradeço por sua disponibilidade em preciosas discussões em cinética química que tanto contribuíram para um melhor desenvolvimento deste projeto. Deixo meu reconhecimento e gratidão pela amizade, incentivo, sugestões e contribuições que ajudaram a melhorar esta tese.

Aos professores do Núcleo de Engenharia Térmicas e Fluidos (NETeF), doutores Antônio M. dos Santos, Geraldo Lombardi, Gherhardt Ribatski, Helio A. Navarro, Josmar D. Pagliuso, Luben C. Gómez, Oscar M. H. Rodriguez, Paulo Seleglim Jr. e Sérgio R. Fontes, pelos ensinamentos e ética profissional.

A FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), pelo apoio financeiro através da concessão da bolsa de doutorado para a realização desta pesquisa (Projeto 05/50152-5).

Ao assessor da FAPESP pelo apoio e reconhecimento das dificuldades inerentes ao trabalho experimental. Agradeço pelos comentários, críticas e sugestões dadas sobre os

relatórios enviados que contribuíram significativamente na apresentação e discussões dos resultados finais.

Aos funcionários do NETeF, em especial aos técnicos Hélio J. D. Trebbi, Jorge N. dos Santos, José Bogni, José F. Torres, Roberto A. Lourenço, Roberto C. Pratavieira e Theodomiro F. Luchesi, pelo suporte nos problemas experimentais e atenção nos problemas computacionais.

Aos alunos de iniciação científica, Brian H. Villanueva, Eugenio A. G. da Silva, Murillo S. Spagola, Rafael G. Ângelo e Renan M. dos Santos, pelo suporte na preparação dos materiais e ajuda na etapa experimental.

Aos alunos do NETeF, em especial aos amigos Analice C. Brandi, Anderson U. Moraes, Deuzuita S. Oliveira, Christian Léa C. C. Milioli, Edmilson de Souza, Ernesto Beck Junior, Felipe S. Pau, Fernanda O. dos Santos, Grazieli C. Carosio, Gustavo R. de Souza, Jaqueline C. Martins, Juliana M. da Silva, Julio L. Samaniego, Luis Enrique O. Vidal, Marcus Vinicius da Silva, Renata N. Haneda, Roberta Del Colle. Agradeço pelos momentos compartilhados que fizeram com o tempo passasse de forma mais prazerosa durante o desenvolvimento deste trabalho.

A Mineração Jundu Ltda., localizada em Descalvado (SP), pela doação da areia de sílica utilizada nos testes em leito fluidizado.



# Resumo

---

ÁVILA, Ivonete. **Um Estudo da Sorção de SO<sub>2</sub> por Calcário em Analisador Termogravimétrico e na Combustão de Carvão em Leito Fluidizado**. 2008, 296f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

Nesta tese investiga-se a sorção de SO<sub>2</sub> por um calcário dolomítico brasileiro em duas diferentes configurações experimentais: um analisador termogravimétrico e um combustor de carvão em leito fluidizado atmosférico borbulhante. Os experimentos termogravimétricos foram realizados em condições tão próximas quanto possível às observadas no processo de combustão em leito fluidizado. Coeficientes intrínsecos de taxa de reação, efetividades e conversões foram determinados através de termogravimetria em atmosfera contendo 65% de ar sintético, 15% de CO<sub>2</sub> e 20% de SO<sub>2</sub>, para quatro diferentes granulometrias do calcário dolomítico (385, 545, 725 e 775 μm) em quatro diferentes temperaturas de processo (800, 830, 860 e 890 °C). Os coeficientes intrínsecos de taxa de reação, na condição de máxima taxa de reação, resultaram entre  $3,86 \times 10^{-3}$  e  $7,07 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ . As efetividades médias para 200 segundos de reação resultaram entre 0,37 e 0,49 s<sup>-1</sup>. As conversões após 600 segundos de sulfatação resultaram entre 0,40 e 0,49 kmol<sub>SO<sub>2</sub></sub>/kmol<sub>Ca+Mg</sub>. Nos experimentos em combustor de leito fluidizado obtiveram-se coeficientes globais de taxa de reação, conversões e eficiência de sorção de SO<sub>2</sub>. Considerou-se um calcário dolomítico em cinco diferentes granulometrias médias (385, 545, 718, 725 e 775 μm) e um carvão mineral brasileiro (CE4500) com granulometria média de 385 μm. Aplicaram-se temperaturas entre 798,2 e 886,6 °C, U/U<sub>mf</sub> entre 5,6 e 10,8 m s<sup>-1</sup>, e relações molares (Ca+Mg)/S na alimentação entre 3,7 e 11,9 kmol<sub>Ca+Mg</sub>/kmol<sub>S</sub>. O coeficiente global de taxa de reação resultou entre 0,009 e 0,072 m s<sup>-1</sup>, a conversão resultou entre 0,020 e 0,064 kmol<sub>SO<sub>2</sub></sub>/kmol<sub>Ca+Mg</sub>, e a eficiência de sorção de SO<sub>2</sub> resultou entre 46,4 e 83,9%. Os coeficientes globais de taxa de sulfatação

obtidos em leito fluidizado foram comparados com os coeficientes intrínsecos de taxa de reação obtidos via termogravimetria. Concluiu-se que condições termogravimétricas mais realistas são necessárias para que a composição de coeficientes de taxa de reação intrínsecos e globais permita análises de controle de reação em reatores de leito fluidizado.

*Palavras-Chave:* Dessulfuração, calcário, carvão, termogravimetria, leito fluidizado.

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

