

## O uso de microondas para determinação de umidade de bauxita

Rodrigo Silva Magalhães

*Ms.C., Engenheiro da MRN*

Rosa Malena Fernandes Lima

*Professora do DEMIN/EM/UFOP. E-mail: rosa@em.ufop.br*

Henor Artur de Souza

*Professor do DECAT/EM/UFOP. E-mail: henor@em.ufop.br*

### Resumo

Nesse trabalho, é apresentado um estudo de secagem de bauxitas por microondas, visando a determinar a influência da umidade inicial das amostras, a massa a ser secada e a granulometria das mesmas no processo de secagem. Para a determinação da influência da umidade inicial, foram utilizadas amostras com teor de umidade igual a 12,2 e 6,9%. A influência da massa e a granulometria foram determinadas com uma amostra, cujo teor inicial de umidade era igual a 13%. Através desses estudos, observou-se que os tempos ótimos de secagem por microondas das amostras de bauxita estudadas têm uma relação direta com a umidade inicial das mesmas. Observou-se que as variáveis, massa da amostra a ser secada e o tempo de secagem, são diretamente proporcionais, apresentando elevada correlação. Dessa forma, pode-se obter os tempos de secagem para cada amostra a ser secada, de acordo com a sua massa. Não foi observada relação entre o tempo de secagem e a granulometria da amostra.

**Palavras-chave:** Processo de secagem, microondas, umidade, bauxita.

### Abstract

*This work shows the results of a bauxite drying process using microwave oven. In this research the influence of initial humidity, mass and granulometric distribution of bauxite samples were studied. To determine the humidity influence two bauxite samples having 6,9% and 12,2% of humidity were utilized and for the mass and granulometric distribution the sample initial humidity was 13%. The results show that the optimum drying time by microwave has a directly correlation with the initial humidity. The sample mass and the drying time are also directly proportional with a very high correlation. The study suggests that the drying time can be obtained considering the mass of the bauxite sample.*

**Keywords:** Drying process, microwaves, humidity, bauxite.

## 1. Introdução

As microondas são radiações eletromagnéticas não ionizantes, cuja frequência está compreendida entre 300 MHz e 300 GHz. São derivadas da energia elétrica, podendo ser refletidas por um espelho simples como uma folha metálica, refratadas em uma interface dielétrica e ser focalizadas por refletores parabólicos ou antenas (Haque, 1999).

De acordo com o regulamento da Comissão Federal de Comunicações e das Leis Internacionais de Rádio, somente quatro frequências são permitidas para uso industrial, científico e doméstico:  $915 \pm 25$ ,  $2.450 \pm 13$ ,  $5.800 \pm 74$  e  $22.125 \pm 125$ , em MHz. Os fornos de microondas comerciais fabricados para uso doméstico ou para laboratórios empregam microondas de 2.450 MHz. A potência que se gera em um forno de microondas do tipo doméstico ou analítico cobre uma faixa de 600 a 700 W, mas alguns equipamentos mais modernos operam com uma potência de até 1.100 W, o que, em outras palavras, significa um fornecimento de até 15.774 cal/min (Pereira Filho, 1999).

De acordo com a capacidade de dissipação da energia das microondas, os materiais se classificam em condutores, que refletem toda a radiação que incide sobre os mesmos (metais), isolantes, que são transparentes às microondas, ou seja, não interage com essas radiações, e dielétricos, que absorvem a energia das microondas incidentes sobre os mesmos (Haque, 1999).

A transformação de energia eletromagnética em calor, no interior dos materiais dielétricos, ocorre por um conjunto de mecanismos em escala atômica e molecular, entre os quais sobressaem a condução iônica e a rotação dipolar. Segundo Metaxas e Meredith (1983), em processos de secagem (remoção de um solvente, como por exemplo água, ácido ou substância orgânica de alta pressão de vapor, fisicamente adsorvido) de materiais em fornos de microondas, o principal fenômeno responsável pelo aquecimento e conseqüente extração da água

é a rotação dipolar. Pode-se descrever sucintamente esse fenômeno, lembrando que a molécula de água, apesar de ter carga elétrica total nula, apresenta-se como um dipolo elétrico, pois o centro de gravidade das cargas positivas não coincide com o das cargas negativas. Diz-se que a molécula de água é polar. Sob a ação de um campo elétrico externo, esse mesmo dipolo tende a girar, orientando-se na direção do campo. Essa rotação do dipolo encontra resistência, o que resulta em dissipação de energia eletromagnética do campo, sob a forma de calor, com o conseqüente aumento de temperatura, conforme mostrado na Figura 1.

As vantagens do processo de aquecimento pelo emprego de microondas em relação ao aquecimento convencional estão relacionadas ao fato de que as microondas proporcionam o aquecimento do material na ausência de contato, havendo transferência de energia com rapidez, aquecimento volumétrico, iniciando-se no interior do material, além do alto nível de segurança e automação.

Existem diversas possibilidades de aplicação de microondas na área de processamento mineral e entre elas pode-se destacar o aquecimento de minérios antes da moagem, secagem, redução car-

botérmica de óxidos minerais, lixiviação, fusão, pré-tratamento de minérios e concentrados de ouro refratário, regeneração de carvão, etc. (Kigman & Rowson, 1998). Haque (1999) em seu trabalho chamou a atenção para a economicidade da aplicação industrial de microondas, uma vez que esse tipo de energia é mais caro que a energia elétrica, pois a eficiência de conversão da energia elétrica é de aproximadamente 50% para 2.450 MHz e 85% para 915 MHz. Uma das aplicações que vêm obtendo sucesso é a determinação de umidade de minérios em laboratório, pois a quantidade de amostra manuseada é pequena. Cutmore et al. (2000) desenvolveram uma técnica para a determinação de umidade "on line", usando microondas de baixa frequência (1 GHz).

Magalhães (2002), em estudos comparativos de secagem de bauxitas da MRN (Mineração Rio do Norte) por diferentes técnicas de secagem (chapa, estufa e microondas), observou que a determinação de umidade por microondas é feita em um intervalo de tempo muito menor que por chapa aquecida (55 min.) e por estufa (16 h), agilizando, portanto, a correção de umidade dos embarques e a elaboração de boletins de análises fornecidos para os clientes.

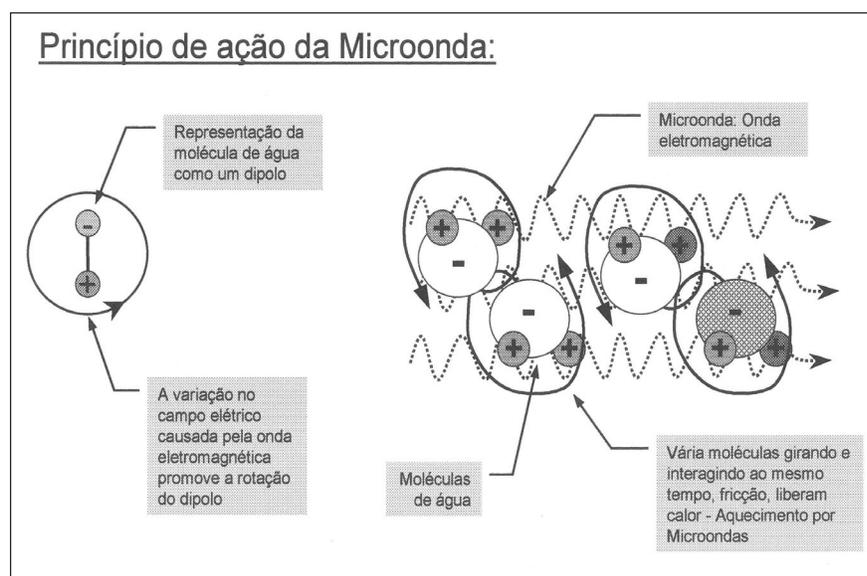


Figura 1 - Princípio de ação das microondas (Metaxas e Meredith, 1983).

Nesse trabalho, são apresentados os estudos de secagem de amostras de bauxita, em função da umidade inicial, bem como a influência da granulometria e da massa a ser seca.

## 2. Metodologia adotada

Para o estudo da secagem, foram utilizadas duas amostras de bauxita com teor inicial de umidade de 12,2 e 6,9%, respectivamente. Foram estudadas a influência da massa e da granulometria de amostras sobre a taxa de secagem, cujos teores de umidade inicial eram de 13%. A amostra que foi utilizada para o estudo da influência da massa sobre a taxa de secagem possuía granulometria entre 0,46 e 0,104  $\mu\text{m}$ . De forma análoga aos ensaios de influência da massa, o estudo da influência da granulometria sobre a taxa de secagem foi efetuado mantendo-se constante a massa inicial de 1 kg

das seguintes faixas granulométricas: 25,4 a 76,2mm; 22,225 a 25,4mm; 19,05 a 22,225mm; 15,875 a 19,05mm; 12,70 a 15,875mm; 9,525 a 12,70mm; 6,35 a 9,525mm; 3,304 a 6,35mm; 2,336 a 3,304mm; 1,652 a 2,336mm; 1,168 a 1,652mm; 0,826 a 1,168mm; 0,584 a 0,826mm; 0,413 a 0,584mm; 0,292 a 0,413mm; 0,206 a 0,292mm; 0,146 a 0,206mm; 0,103 a 0,146mm; 0,073 a 0,103mm; 0,052 a 0,073mm e 0,038 a 0,052mm.

Para a realização dos ensaios de secagem, utilizou-se a montagem conforme está esquematizado na Figura 2, onde se tem uma balança eletrônica com filtro automático de vibrações e com capacidade de 45.000 g e precisão de 0,01 g e sob a mesma há o microondas com a amostra a ser secada. A tomada de dados foi efetuada a intervalos de registro de 60 segundos. A temperatura foi medida com o uso de termopares nas amostras e de medidores de temperatura infravermelho.

## 3. Resultados e discussão

Os resultados obtidos para o processo de secagem das duas amostras de bauxita com teor inicial de umidade de 12,2% (amostra 1), 6,9% (amostra 2) e 5,5% (amostra 3) são apresentados nas Figuras 3 e 4. A temperatura durante o processo de secagem atingiu 250°C.

O período de secagem constante tem valores em torno de 1,10 massa lí-

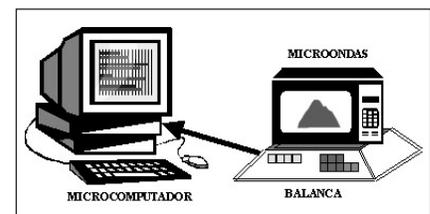


Figura 2 - Montagem dos testes de secagem em microondas.

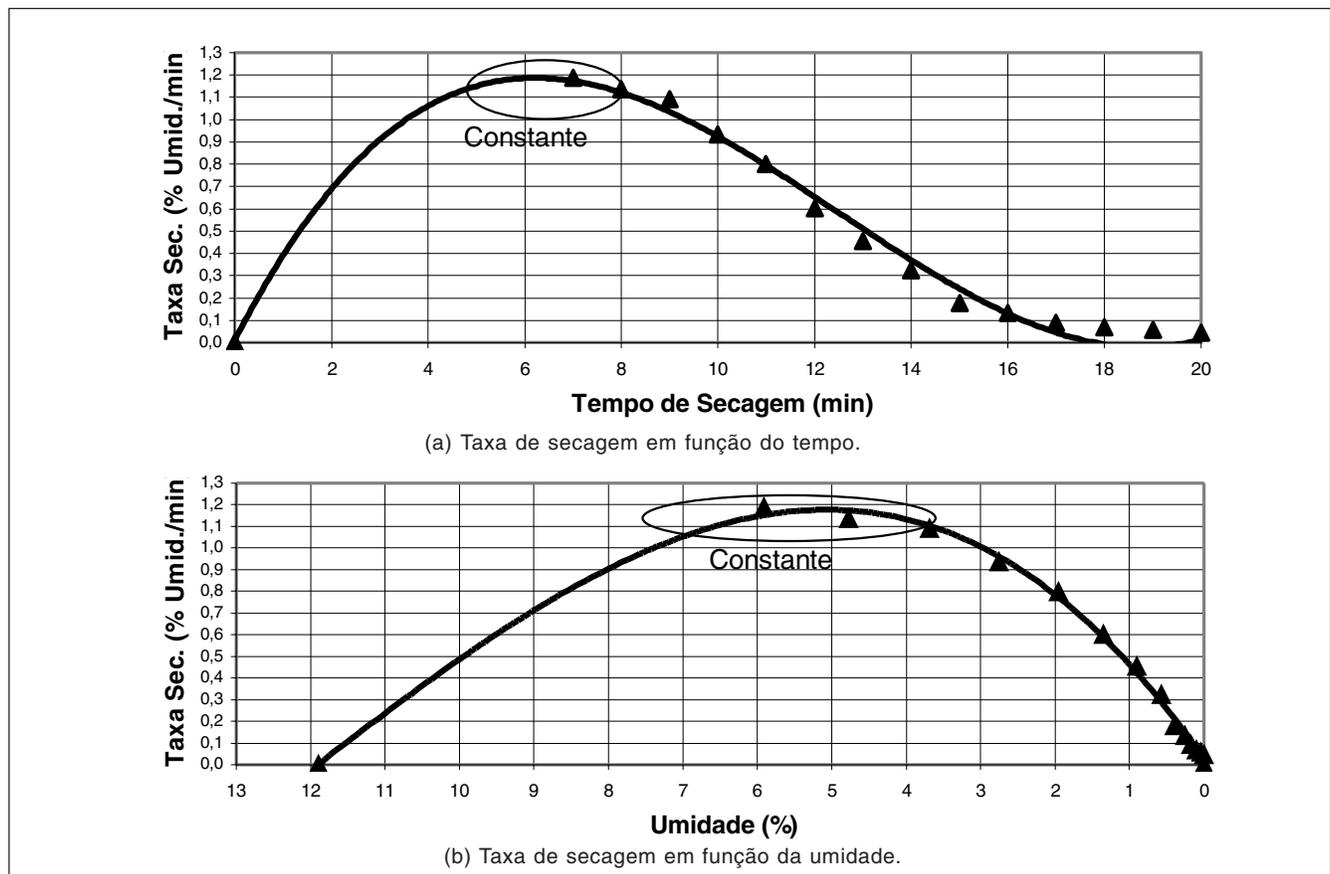
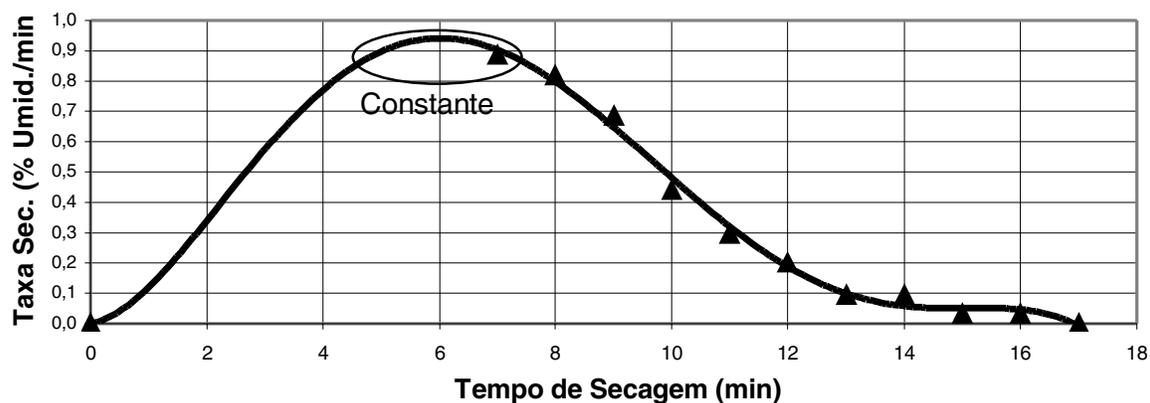
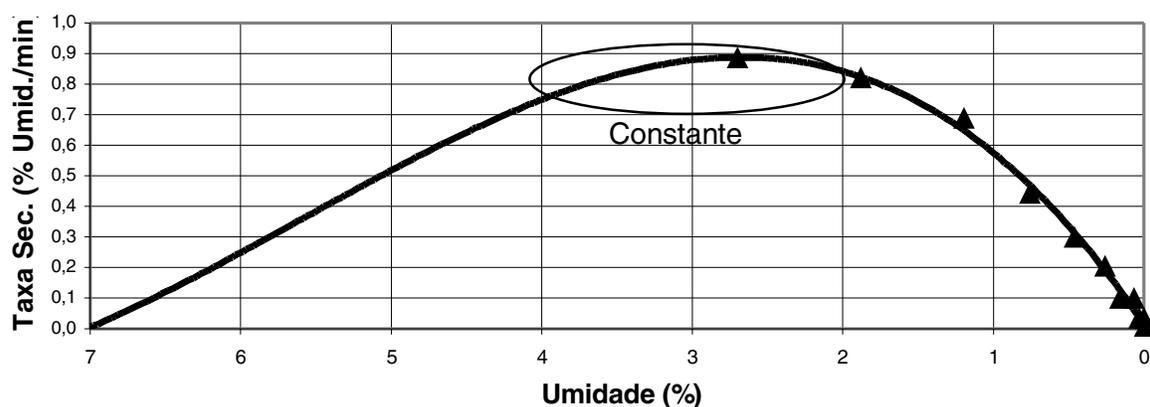


Figura 3 - Curvas de secagem em microondas da amostra 1.



(a) Taxa de secagem em função do tempo



(b) Taxa de secagem em função da umidade

Figura 4 - Curvas de secagem em microondas da amostra 2.

quida/massa de sólido seco/min e com um tempo total de secagem de 20 minutos para a amostra 1 e de 0,90 %/min, 17 minutos para a amostra 2. Observa-se que o período de secagem constante ocorre no intervalo de secagem de 5,5 a 8 minutos para a amostra 1. Verifica-se que o período de taxa decrescente (8 a 20 minutos) é muito superior ao período de taxa crescente ou não permanente (0 a 5,5 minutos), observado na Figura 3 (a) e (b) para a amostra 1. Os altos valores de taxa de secagem e baixo tempo total de secagem podem ser atribuídos ao mecanismo dominante de transferência de calor, que se dá do interior para fora da partícula, fazendo com que tanto a umidade superficial quanto a interna iniciem

sua secagem imediatamente depois de iniciado o processo de secagem.

Através das curvas mostradas nas Figuras 3 e 4, observa-se que a velocidade de secagem em microondas cresce muito mais rapidamente no início da secagem. Em seguida, o processo ocorre mais lentamente até estabilizar-se, para em seguida, cair à medida que a quantidade de água diminui e, como provavelmente é a mais interna, encontra mais dificuldade para o escoamento. Esse fato também foi observado por von Krüger (1997) na secagem com minério de ferro. Uma outra observação que se pode fazer é que o aumento da velocidade de secagem, no início do processo, independe da umidade inicial da amostra.

O comportamento do tempo de secagem em microondas, em função de diferentes massas úmidas de material, é mostrado na Figura 5. Obteve-se uma correlação de 99,40 % entre a massa de minério a ser secado e o tempo de secagem. Observa-se, ainda, que os dados experimentais na secagem em microondas mostram uma linearidade na variação do tempo de secagem com a massa de minério a ser secada e que a relação entre eles não é constante, como é mostrado pela equação (1).

$$m_{\text{úmida}} = 96,622 t_{\text{secagem}} - 395,888 \quad (1)$$

onde  $m_{\text{úmida}}$  é a massa úmida de minério em (g) e  $t_{\text{secagem}}$  é o tempo de secagem em (min).

Apresenta-se, na Figura 6, a influência da granulometria da bauxita com o tempo de secagem em microondas. Essa relação resultou numa correlação de 97,30 % entre a granulometria do material a ser seco e o tempo de secagem. De forma análoga à correlação da massa com o tempo de secagem, os testes também mostraram uma linearidade entre o tamanho da partícula e o tempo de secagem, mas sem uma relação constante entre eles, como visto na equação (2).

$$t_{\text{secagem}} = 0,011 d_{\text{material}} + 16,418 \quad (2)$$

onde  $t_{\text{secagem}}$  é o tempo de secagem (min) e  $d_{\text{material}}$  é o tamanho da partícula (mm).

Observa-se, nesse caso, que a granulometria e o tempo de secagem se comportam de forma diretamente proporcional, ou seja, quando a granulometria diminui (fica mais fina) o tempo de secagem também diminui. Pela curva de secagem obtida, nota-se que na faixa granulométrica estudada quase não existe diferença entre os tempos de secagem. Esse fato deve-se ao processo de transferência de calor da secagem por microondas, que age em toda a partícula, independente de seu tamanho, granulometria ou superfície específica.

## 4. Conclusões

- Os tempos ótimos de secagem por microondas das amostras de bauxita estudadas têm uma relação direta com a umidade inicial das mesmas, ou seja, quanto menor a umidade menor o tempo de secagem.
- Observou-se que as variáveis, massa da amostra a ser secada e o tempo de secagem, são diretamente proporcionais e fornecem valores de correlação acima de 98 %. Dessa forma, pode-se obter os tempos de secagem para cada amostra a ser secada, de acordo com a sua massa.
- Existe uma relação linear entre o tempo de secagem e a granulometria da amostra. Porém, na faixa granulométrica estudada (- 76,2 + 0,038mm), esse efeito é pequeno, se comparado à influência da massa úmida.

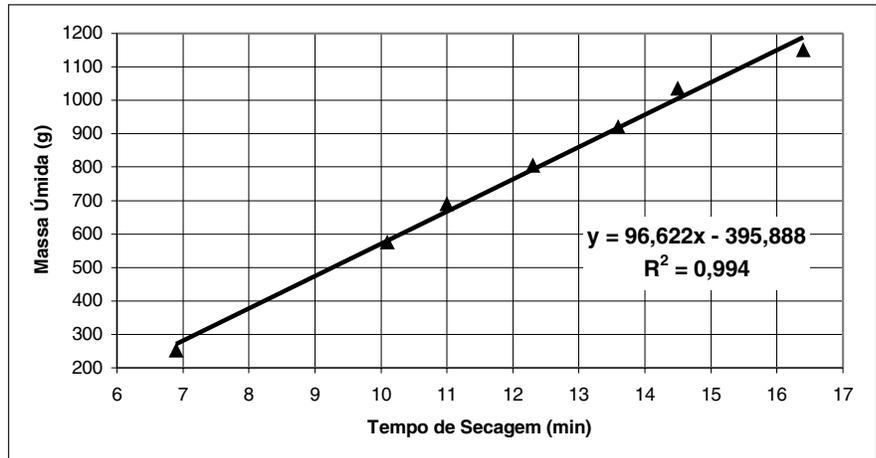


Figura 5 - Correlação do tempo de secagem em microondas com a massa úmida para amostras com teor de umidade inicial igual a 13%.

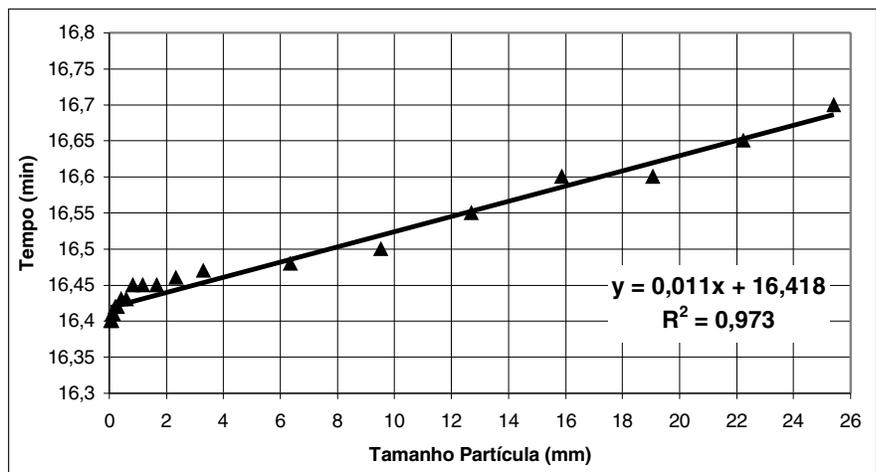


Figura 6 - Correlação do tempo de secagem em microondas com a granulometria para amostra com teor de umidade inicial igual a 13%.

## 5. Referências bibliográficas

- CUTMORE, N. G., EVANS, T. G., McEWAN, A.J., ROGERS, C.A., STODDARD, S. L. Low frequency microwave technique for on-line measurement of moisture. *Minerals Engineering*, v.13, n.14-15, p.1615-1622, 2000.
- HAQUE, K. E. Microwave energy for mineral treatment processes - a brief review. *International Journal of Mineral Processing*, n.57, p.1-24, 1999.
- KINGMAN, S. W. & ROWSON, N. A. Microwave treatment of minerals-a review. *Minerals Engineering*, v.11, n.11, p.1081-1087, 1998.
- MAGALHÃES, R. S. *Avaliação de diferentes processos de secagem de bauxita para controle de qualidade*. Ouro Preto: Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas, UFOP, 2002. 74p. (Dissertação de Mestrado).
- METAXAS, C., MEREDITH, R. J. *Industrial microwave heating*. London: Peter Peregrinus, 1983. 357p.
- PEREIRA FILHO, E. R. *Sistemas mecanizados acoplados a forno de microondas para a mineralização em linha de amostras de interesse slimentício: determinação de ferro e cobalto*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas,1999. (Dissertação de Mestrado).
- VON KRÜGER, F. L. *Redução da umidade de minério de ferro com o emprego de microondas*. São Paulo: Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, 1997. 99p. (Dissertação de Mestrado).

Artigo recebido em 24/03/2003 e  
aprovado em 02/12/2003.