

6

Conclusões e Sugestões para trabalhos futuros

6.1.

Conclusões

(A) Caracterização dos materiais

- A caracterização térmica (ATD – ATG) da mistura equimolar $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$: 1/1, permitiu estabelecer que a decomposição da ferrita de zinco se passa numa faixa de temperatura entre 1033 e 1388K.
- A caracterização estrutural via ajuste dos espectros de difração de raios X (método de Rietveld) foi uma técnica efetiva para quantificar as fases de interesse (ferrita de zinco, óxido de ferro (III) e óxido de zinco), da ferrita de zinco produzida em laboratório e dos Pós de Aciaria Elétrica-PAE.
- Por observação dos padrões de difração de pontos (imagens no MET), que refletiram num conjunto de planos cristalográficos caracterizados pela orientação na direção [110], determinou-se a estrutura cristalina da ferrita de zinco como sendo, cúbica de faces centradas - cfc. A morfologia predominante é de partículas arredondadas formada por aglomerados micrométricos e homogêneos, tipo “clusters”, e constituída por alguns monocristais com tamanhos da ordem de 100 nm.
- A caracterização física dos materiais estudados, permitiu concluir que: (i) na medida em que o material era de tamanho granulométrico menor precisou de menor carga de briquetagem para a sua aglomeração e (ii) que existe uma relação direta entre a porosidade do briquete e sua massa específica, bem como uma relação inversa entre o tamanho médio de partícula $d(0,5)$ e a área superficial específica (A.S.E.).

- O estudo microscópico via MEV dos produtos de redução da ferrita de zinco com CO puro e misturas CO-CO₂, permitiu concluir que a redução da ferrita de zinco se inicia pela sua decomposição, liberando seus óxidos constituintes, seguida dos mecanismos simultâneos de redução do ZnO e Fe₂O₃. A redução com 100% CO evidenciou uma rápida redução do óxido de zinco em relação às misturas CO-CO₂. Os produtos sólidos típicos de redução da ferrita de zinco são constituídos por: ZnO, FeO, óxidos mistos do tipo (Zn,Fe)O, zinco e ferro metálico, com morfologias dependendo da composição gasosa, temperatura e tempo de reação.
- Particularmente, o estudo via MEV, da morfologia dos produtos sólidos de redução da ferrita de zinco com 100%CO, em temperaturas acima de 1073K e tempos prolongados (105 min), denotaram a presença de wüstita e/ou ferro metálico. Estas morfologias são coerentes com as detectadas por outros autores, ou seja: TIPO A (ferro poroso), TIPO B (wüstita porosa coberta com ferro denso) e TIPO C (wüstita densa coberta com ferro denso). Já no caso dos produtos de redução da ferrita de zinco com misturas CO-CO₂, a observação destas morfologias (TIPO A e TIPO B), ficou restrita a temperaturas superiores a 1223K e tempos de 105 min. Nas condições mencionadas, a morfologia dos produtos da redução da ferrita de zinco é similar à dos óxidos de ferro.

(B) Cinética de redução pelo CO puro e misturas CO-CO₂

- A determinação da seqüência de redução dos principais compostos dos Pós de Aciaria Elétrica - PAE (ferrita de zinco, óxido de ferro (III), óxido de zinco) com 100%CO e pela mistura gasosa CO-CO₂, mostrou ter a mesma fenomenologia apresentada pelos produtos de redução da ferrita de zinco, ou seja, sua decomposição inicial e redução posterior simultânea dos óxidos produzidos. Além disso, a redução com 100% CO evidenciou uma rápida redução do óxido de zinco comparativamente às misturas CO-CO₂.
- Foram obtidos os seguintes parâmetros cinéticos, de acordo com os melhores modelos testados:

Redução do ZnO: E_a entre 99 e 283 kJ/mol e A entre 872,5 mHz e 214,7 kHz

Redução do Fe_2O_3 : E_a entre 51 e 189 kJ/mol e A entre 2,833 mHz e 524,2 mHz.

Redução do $ZnFe_2O_4$: E_a entre 55 e 191 kJ/mol e A entre 8,833 mHz e 102,7 Hz

Redução do PAE: E_a entre 52 e 188 kJ/mol e A entre 5,00 mHz e 1,00 kHz.

- O modelo de reação química de interface - simetria esférica (M.R.Q.I.-s.e.), representado pela equação: $1 - (1 - \alpha)^{1/3} = kt$ foi o que melhor adequou-se à redução da ferrita de zinco pelo CO puro e misturas CO-CO₂. Os parâmetros cinéticos obtidos foram:
 - (a) 100%CO: $E_a = 55,60$ kJ/mol e $A = 8,833$ mHz. e
 - (b) 75%CO-25%CO₂: $E_a = 88,21$ kJ/mol e $A = 127,74$ mHz.
 - (c) 50%CO-50%CO₂: $E_a = 95,21$ kJ/mol e $A = 193,37$ mHz.
- De maneira similar, no caso da redução dos Pós de Aciaria Elétrica-PAE, o modelo que melhor representou o mecanismo, foi o modelo de reação química de interface - simetria esférica (M.R.Q.I.-s.e.), representado por: $1 - (1 - \alpha)^{1/3} = kt$, sendo os parâmetros cinéticos obtidos:
 - (a) 100%CO: $E_a = 52,34$ kJ/mol, e $A = 4,98$ mHz, e
 - (b) 75%CO-25%CO₂: $E_a = 66,70$ kJ/mol e $A = 76,06$ mHz, e
 - (c) 50%CO-50%CO₂: $E_a = 86,28$ kJ/mol e $A = 289,59$ mHz.
- A comparação entre as energias de ativação aparente, permitiu concluir que tanto na redução da ferrita de zinco como na redução dos Pós de Aciaria Elétrica-PAE, tiveram como etapa controladora da reação global a redução dos óxidos de ferro, particularmente para a redução com 100%CO. No caso da redução com misturas CO-CO₂, isto não foi observado para a ferrita de zinco, embora possa ser válida para os Pós de Aciaria Elétrica-PAE considerando seu baixo teor de zinco. Para o caso da redução da ferrita de zinco pelas misturas CO-CO₂, propõe-se como etapa controladora a redução simultânea do óxido de zinco e dos óxidos de ferro.
- Da análise estatística fatorial 3⁴, o gráfico $-\ln k = a(\%CO) + b$, demonstrou-se que a composição gasosa, %CO tem relação direta com a constante de velocidade específica de reação, k e com a temperatura T , sendo que os parâmetros “a” e “b” são

linearmente dependentes do logaritmo natural da fração composicional de CO, (f_{CO}).

Os valores são:

$$a = -32,04 \ln(f_{CO}) - 45,18$$

$$b = 0,03433 \ln(f_{CO}) + 0,04486$$

6.2.

Sugestões para trabalhos futuros

São sugestões para trabalhos futuros:

- Caracterizar estruturalmente as poeiras de aciaria via espectrômetro de Mössbauer, como suporte à análise via difração de raios X (método de Rietveld), para determinação e quantificação da magnetita e ferrita de zinco nas poeiras de aciaria, já que estes compostos possuem o mesmo grupo espacial Fd3M, o que faz seus picos característicos tenderem a ficar superpostos nos difratogramas.
- Viabilizar a redução carbotérmica das poeiras de aciaria usando redutores sólidos tais como: carvão vegetal, coque mineral, biomassas e misturas destes redutores.