

8 Conclusões

Como base nos resultados dos experimentos realizados neste trabalho, pode-se concluir que é possível produzir pelotas de minério de ferro, em fornos de endurecimento do tipo grelha móvel, onde o fósforo encontra-se fluxado em fases escorificadas estáveis ao processo de redução posterior, em fornos do tipo Midrex e que estas fases podem ser transferidas, diretamente, para a escória dos FEA durante o refino oxidante, desde que a temperatura de refino seja inferior a 1570^oC, a basicidade binária entre 2,0 a 2,7 e o estado de oxidação da escória seja mantido entre de 15% a 34%, limites considerados nos experimentos realizados neste trabalho. Os seguintes resultados abaixo fundamentam esta conclusão:

- O fósforo combinado á estrutura dos minerais de ferro, mais especificamente á estrutura da gohetita, é liberado quando submetido a um aporte térmico; neste trabalho em temperaturas entre 900^oC a 1350^oC. A quantidade liberada pode ser medida pela aplicação do procedimento analítico de ataque sequencial por soluções de soda caustica (NaOH) 5 Mol/l e ácido nítrico (NH₃) 2,5 normal;
- A cinética de liberação do fósforo das amostras de pellet feed com basicidades binárias iguais a 0,1; 0,6 e 0,9; submetidas a temperaturas de 900; 1050; 1350^oC, obedece a um modelo de reacionário de primeira ordem, sendo as energias de ativação 47,44; 41,17 e 42,55 KJ/mol características de processos cujos mecanismos controladores são por difusão. As liberações máximas do fósforo, nas temperaturas consideradas, foram atingidas em 10 minutos e mantiveram constante independente do aumento do tempo de permanência;
- O óxido de cálcio reduz a energia de ativação necessária para iniciar o processo de liberação do fósforo; sendo as velocidades iniciais fortemente dependentes da temperatura;

- As escórias formadas nas pelotas de redução direta são amorfas, devido velocidade de resfriamento do processo de endurecimento (9 a 15 minutos); o equilíbrio e, portanto, a formação de fases cristalinas só acontece em tempos de resfriamento muito longos, aproximadamente 24 horas.
- A metodologia de análise química seletiva para medição da liberação do fósforo mostrou-se eficiente para solubilização das escórias sintéticas, principalmente para a solubilização das escória amorfas;
- As variáveis do processo de endurecimento, temperatura; tempo de residência e basicidade binária; tem influência sobre liberação do fósforo e de forma mais significativa a temperatura e basicidade binária; os resultados de liberação obtidos neste trabalho variaram de 60 a 90%.
- O fósforo liberado durante o endurecimento das pelotas é fluxado nas escórias formadas nos contornos dos grãos de hematita e este processo aumenta significativamente com o incremento da basicidade e temperatura de endurecimento, como pôde ser confirmado pelos padrões obtidos através das análises de EDS;
- O diagrama de predominâncias para o sistema Fe-P-3CaOP₂O₅-H₂-H₂O-CO-CO₂; confirma a estabilidade termodinâmicas das fases escorificas quando as pelotas são submetidas ao processo de redução reinantes nos fornos Midrex. Considerando que os teores de CaO e P₂O₅ presentes nas composições químicas das pelotas, cujas basicidades binárias são superiores a 0,5, consideradas nos experimentos realizados; permitem a formação de compostos semelhantes aos ortofosfato de cálcio;
- O ajuste dos parâmetros de processo de endurecimento, temperatura; basicidade binária e tempo de residência tem influência sobre os índices de resistência a compressão a frio das pelotas e de metalização do DRI, assim sempre será necessário um estudo de valor em uso para escolha da melhor solução.
- Os ensaios de fusão e refino confirmaram a transferência total do fósforo fluxado para escória e incorporação, predominantemente, do fósforo livre no banho metálico nas corridas onde as condições para desfosforação não eram favoráveis.

8.1. Sugestões para Trabalhos Futuros

Os resultados obtidos neste trabalho são oriundos de técnicas e procedimentos desenvolvidos de forma original para geração, fundamentação e interpretação dos resultados encontrados, assim, para plena aplicação dos mesmos nos processos industriais, recomenda-se que seja dada a continuidade a estes estudos; neste sentido algumas sugestões são indicadas:

- Avaliar o efeito heterogeneidade do leito de pelotas queimadas do processo de grelha móveis, sobre a eficiência da liberação e auto-fluxação do fósforo,
- Estudar o comportamento das fases fluxadas no processamento de HBI em fornos à arco elétrico;
- Estudar os benefícios da auto-fluxação no processo de endurecimento das pelotas produzidas a partir de minérios com teores mais elevados de fósforo;
- Avaliar a eficiência da auto fluxagem em pelotas produzidas nos processos Rotary Kilm; neste caso entende-se que a maior homogeneidade térmica do processo de endurecimento pode contribuir positivamente para maior eficiência da liberação e fluxação do fósforo;
- Estudar o comportamento das fases auto fluxadas na produção de aços com altos e baixos teores de carbono;
- Desenvolver parcerias com produtores industriais para validação dos experimentos em fornos de grande escala;
- Avaliar a estabilidade das fases fluxadas nas condições de redução dos reatores HyL;
- Avaliar a influência da granulometria dos insumos (calcários) sobre a eficiência da fluxação do fósforo;
- Avaliar a influência de diferentes dosagens de carvões, pet coke e outros insumos usados como fonte de energia térmica sobre a liberação e fluxação do fósforo, no processo de endurecimento.
- Avaliar a influencia da variação da dosagem de CaO, na absorção de enxofre na pelota durante o processo de endurecimento e liberação no processo de redução gasosa em fornos Midrex.