

Exercício 8 Refino dos Aços - Processos Primários de Aciaria – **Respostas – 16/03/13**

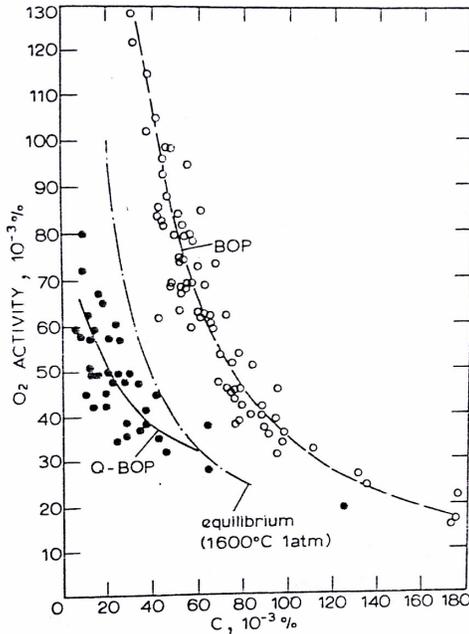


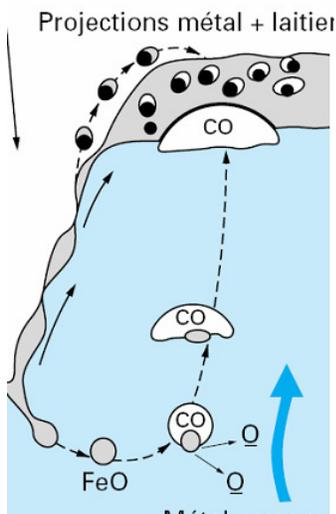
Fig. 3 - Top and bottom blowing processes, low P hot metal : relationship between oxygen activity and carbon content in the steel melt at converter turndown (2)

1. A Figura (Fig. 3) a esquerda mostra resultados de fim de sopro de %O ( $O_2$  activity) e %C para um BOP (o mesmo que BOF ou LD) e para um Q-BOP (sopro por baixo) comparados com o equilíbrio C+O=CO para 1 atm e 1600C.

Com base no processo de nucleação de bolhas, discuta a pressão “aparente” de equilíbrio (para o CO) para os dois conversores. Suponha que o efeito observado não é causado por diferenças de temperatura de vazamento, é claro!

O processo de descarburização no LD se passa, principalmente, através da passagem de gotas pela emulsão. Naturalmente, ocorre, também, dissolução de oxigênio, tanto nas gotas que passam pela emulsão como em função de algum

FeO que é “emulsionado” no banho, como mostra a Figura abaixo.



Assim, há carbono dissolvido e oxigênio dissolvido mas não há facilidade para a nucleação de bolhas de gás, no metal (embora a figura mostre que não é impossível nuclear!).

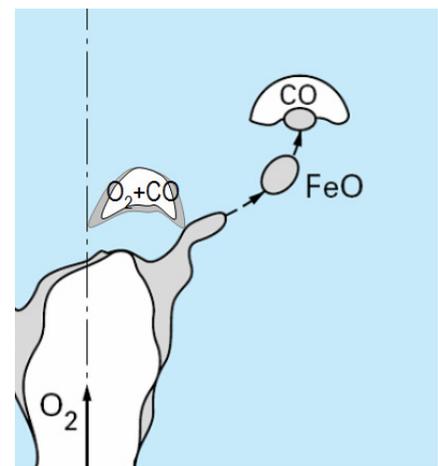
$$P_{\text{para nuclear}} = 1\text{atm} + \rho gh + \frac{2\sigma}{r}$$

Assim, não se estabelece o equilíbrio com 1 atm de CO (se tivéssemos apenas CO sobre o banho e esperássemos MUITO tempo, este equilíbrio se estabeleceria através da interface do topo do banho) e sim com uma pressão aparente superior a 1 atm.

No sopro por baixo, a barreira para nuclear uma bolha é vencida pela pressão do gás injetado.

Há bolhas contendo CO e

oxigênio em diferentes proporções a medida que o gás sobe. O próprio oxigênio age como “diluidor” do CO e a pressão efetiva de CO na bolha pode ser inferior a uma atmosfera. Isto justificaria um equilíbrio aparente abaixo da linha de 1 atm.



2. A Figura a direita (Figura 12) mostra o teor de ferro total na escória (é comum relatar o teor de Fe total ao invés do teor de FeO, embora praticamente todo o ferro na escória esteja no estado de oxidação do FeO). Há resultados para sopro por baixo (Q-BOP) sopro combinado (LD-KG) e sopro por cima (LD).

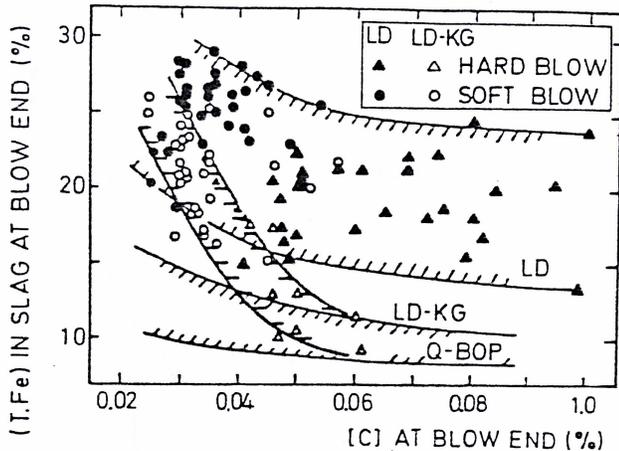


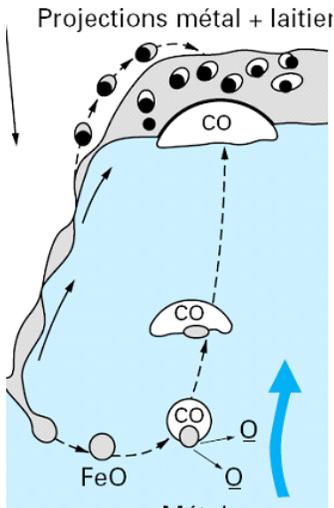
Fig. 12 - Influence of mixing on the iron oxide content of converter slag at blow end. (LD-KG stands for Ar-stirred LD with Ar 0.013 Nm<sup>3</sup>/min.ton) (7)

Além disso, os resultados para os conversores em que o oxigênio é soprado por cima, estão divididos em sopro “duro” (hard, em que o sopro é de alta energia próximo ao banho) e sopro “macio” (soft, em que a lança fica mais alta durante o sopro). Lembrando de (a) como o FeO é formado nos diferentes processos (b) qual o efeito do sopro de gás inerte por baixo, no sopro combinado, em relação ao desequilíbrio metal-escória existente quando se sopra por cima e (c) qual a “receita” de sopro usada no início da corrida, quando se quer dissolver a cal rapidamente, EXPLIQUE as posições relativas das curvas e verifique se consegue indicar alguma tendência com relação ao sopro duro e ao sopro macio.

Como o FeO é formado? No sopro por cima, o FeO forma em decorrência do impacto do jato de oxigênio sobre o banho. Não há agitação intensa do banho e escória para promover o equilíbrio entre escória e metal, podendo, portanto, o FeO da escória ser bem mais elevado do que o que estaria em equilíbrio com o %C do banho em qualquer instante. O sopro misto altera esta situação um pouco, pois a agitação do metal e da escória, pelo gás inerte injetado pelo fundo do conversor, tende a reduzir o desequilíbrio entre metal e escória. No sopro por baixo, como visto nas figuras da resposta ao item 1, o sopro forma FeO próximo as ventaneiras e este FeO tem que “viajar” através do banho até chegar a escória. Esta passagem do FeO através do banho leva a que, só chegue a escória o FeO efetivamente (ou muito próximo de) em equilíbrio.

A estratégia de sopro no LD e sopro combinada (que resulta em um “padrão de sopro”) envolve iniciar o sopro com a lança alta e menor vazão de oxigênio (sopro macio) para favorecer a formação de FeO e, portanto, dissolver a CaO e formar uma escória rapidamente. O sopro “duro” causa mais emulsificação de metal (aumenta a taxa de circulação, ver item seguinte) e só deve ser empregado depois de se ter uma escória líquida formada, para garantir a emulsificação do metal e não sua projeção que resulte em “cascão”.

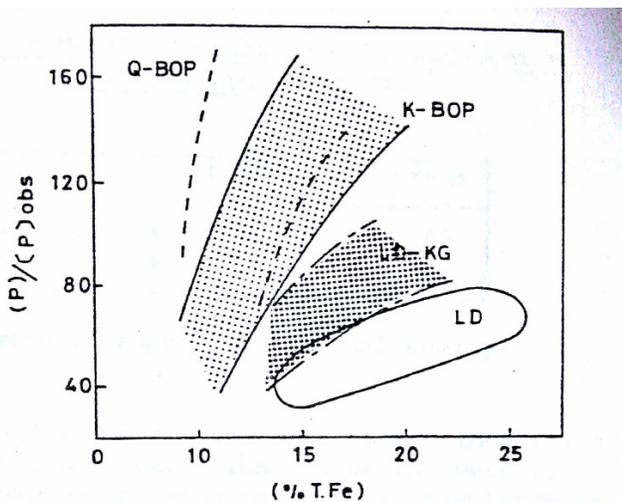
Assim, o sopro por cima (LD) deve ter os maiores FeO para um mesmo teor de carbono, pois o óxido é formado diretamente na interface metal-gás, indo para a escória, majoritariamente, e não sendo “consumido” pelo C do banho, em vista da pouca agitação



(relativamente, é claro) metal-escória. O sopro mais “macio” deve gerar mais FeO na escória do que o sopro mais duro. Observe que o mecanismo que leva a formação de gotas de FeO “entranhadas” no banho, na figura ao lado, deve ser favorecido pelo sopro duro e o “arraste” do FeO para a escória diretamente, pelo sopro macio. (nas figuras, não é marcadamente evidente a diferença entre o sopro duro e macio, mas observa-se uma tendência, consistente com esta discussão).

A introdução da agitação por baixo com gás inerte (sopro misto, LD-KG) faz com que todo o comportamento acima descrito se aproxime um pouco mais do equilíbrio banho-escória já que a passagem das bolhas pela interface metal-emulsão deve promover uma redução do desequilíbrio, pela aceleração da cinética das reações nesta interface (que são relativamente lentas no LD).

Por fim, no sopro por baixo, não se consegue gerar FeO fora do equilíbrio, pois o FeO precisa “atravessar” o banho, com elevada relação A/V, tendo, portanto, grande chance de ser “consumido” e se equilibrar com o banho. Formar escória líquida no Q-BOP no início do sopro é, inclusive, uma dificuldade conhecida do processo.



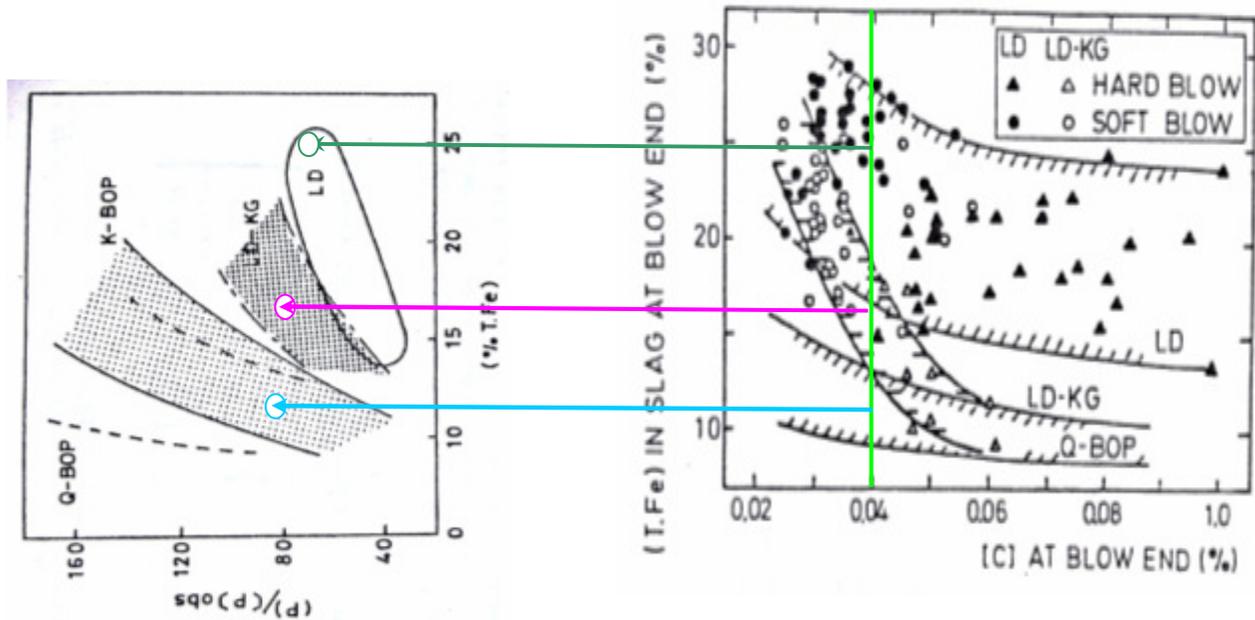
22.a - Phosphorus partition in production scale basic oxygen processes

3. A Figura abaixo (22.a) mostra a partição de fósforo no final do sopro em diferentes conversores, em função do teor de Fe total (assuma que representa a %FeO da escória) na escória. Q-BOP e K-BOP são processos de sopro por baixo, LD-KG é sopro combinado e LD é sopro por cima. 3.1 Observe a questão anterior e verifique, para um mesmo %C no final do sopro, qual dos três tipos de conversor deve apresentar maior teor de FeO na escória?

Podemos combinar as duas figuras para tentar compreender melhor a situação, como mostrado abaixo. É evidente (da questão anterior) que, para o mesmo %C de fim de sopro a ordem é  $\%FeO_{LD} > \%FeO_{LD=KG} > \%FeO_{Q-BOP}$

3.2. Supondo que a figura seja obtida para iguais temperaturas e escórias (exceto pelo FeO, é claro) explique (a) o efeito da %Fet (ou %FeO) da escória sobre a desfosforação.

A desfosforação se passa através da reação:  $2P + 5O + 3O^{-2} = 2PO_4^{-3}$ . O FeO está relacionado com o O dissolvido (mas esta relação não é a mesma nos três conversores!!). Para um mesmo conversor, quanto maior o FeO maior o  $O$  e melhor a de-P. Por outro lado, o FeO tem, em geral, efeito favorável em reduzir a atividade do  $PO_4^{-3}$  na escória. Por fim, o FeO torna a escória líquida e fluida e pode favorecer a cinética da de-P.



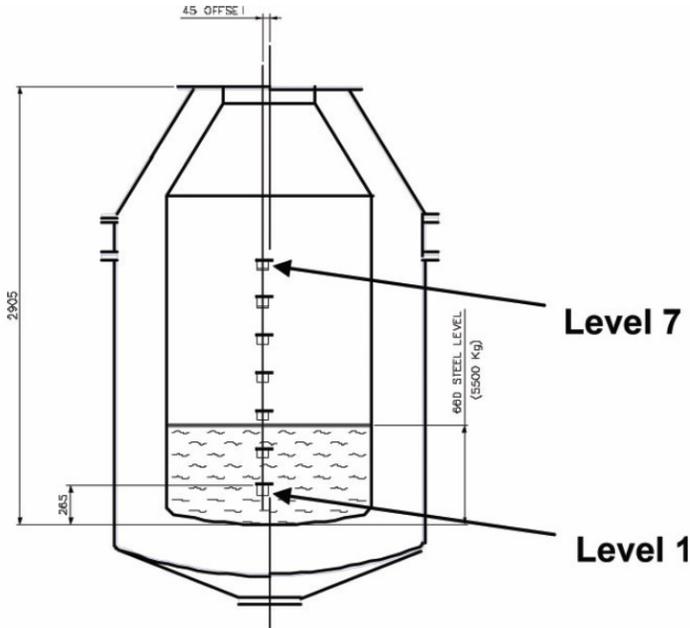
(b) a posição relativa das curvas dos 3 processos.

Em todos os processos o aumento do FeO favorece a de-P. A figura indica que a de-P PARA UM MESMO FeO, é mais favorável nos fornos que se aproximam do equilíbrio.

3.3 É possível ter uma conclusão sobre qual processo é mais eficaz na de-P, para um mesmo aço no fim de sopro? Porque? (Observe que os resultados da figura 22.a estão plotados para o mesmo FeO da escória, e não para o mesmo %C de fim de sopro!

Observa-se, na figura acima, que, se buscarmos comparar a de-P para o mesmo aço final (mesmo %C de fim de sopro) as diferenças não são tão “dramáticas” como poder-se-ia imaginar da comparação para o mesmo FeO. Especialmente, considerando que, no Q-BOP, o controle de escória (para garantir sua fluidez) é crítico, e a de-P ocorre em poucos minutos no final do sopro, SE a escória estiver bem formada! Como, para cada processo há dispersões significativas, a comparação acima é limitada e os pontos marcados são “estimados”.

Exercício 8 Refino dos Aços - Processos Primários de Aciaria – **Respostas – 16/03/13**



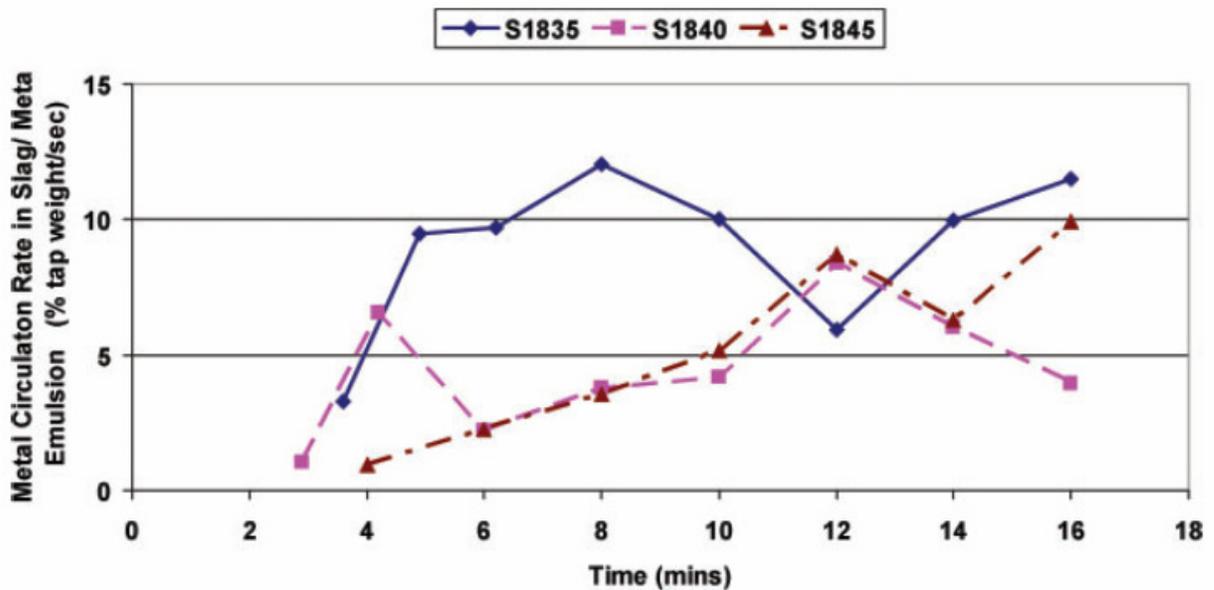
1 Position of seven lidded sample pots inside Swerea MEFOS 6 t converter

4. Em um conversor de laboratório, através da amostragem da emulsão, pesquisadores suecos mediram a taxa de circulação de aço na emulsão (com base no peso de aço encontrado em cada “potinho”: Level 4 a 7 e no tempo que o “potinho” ficou aberto.

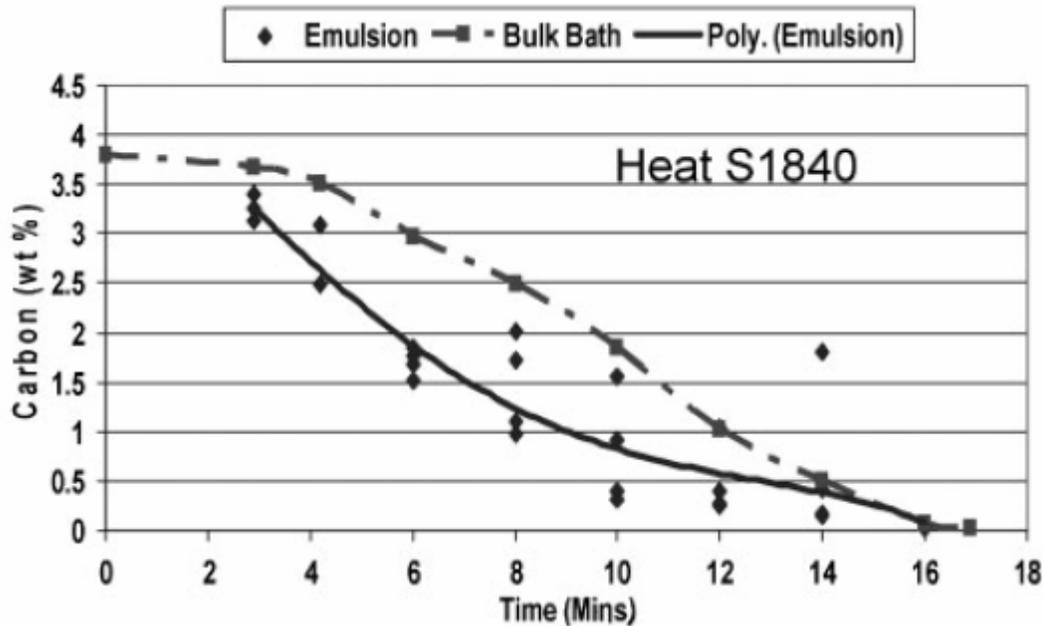
A Figura abaixo mostra a “taxa de circulação de aço na emulsão” como % do peso da corrida que passa pela emulsão/s.

a) Explique porque existe aço na emulsão, baseado no modelo de operação do conversor LD discutido em sala.

b) A outra figura mostra o teor de C do banho (medido no Level 1) comparado com o teor de C médio das gotinhas na emulsão. Explique porque existe esta diferença, baseado no mesmo modelo.



7 Metal circulation rate profiles



a) Explique porque existe aço na emulsão, baseado no modelo de operação do conversor LD discutido em sala.

O sopro do oxigênio sobre o aço causa a “projeção” de aço para cima, como mostra figura anterior. Se a escória estiver líquida, estas gotas de aço projetadas são “capturadas” pela escória. Se a escória tem alto FeO e a gota %C relativamente alta, imediatamente se forma uma bolha de CO e isto cria a emulsão. A gota não cai rapidamente de volta ao banho porque (a) tem energia cinética que recebeu do sopro e, mais importante (b) a gota forma, continuamente, CO ao reagir com a escória. Este CO fica em torno da gota e faz com que o conjunto gota-bolha subam na emulsão, até o final da descarburização daquela gota, quando, então, ela cai através da emulsão até o banho.

b) A outra figura mostra o teor de C do banho (medido no Level 1) comparado com o teor de C médio das gotinhas na emulsão. Explique porque existe esta diferença, baseado no mesmo modelo.

Se as gotas saem do banho com carbono relativamente alto e vão ser descarburadas na emulsão ao encontrar FeO alto, é natural que as gotas que sejam capturadas na emulsão tenham carbono mais baixo do que o banho, porque estão em algum estágio da descarburização. Na verdade, como a amostragem inclui vários níveis, algumas gotas que ainda estão “subindo” na emulsão devem ser amostradas e não apenas as gotas descarburadas que estão caindo. Por isto, a diferença entre o C do banho (bulk bath) e das gotas na emulsão (emulsion) não é ainda maior.