



VARIAÇÃO DA TAXA DE DESCARBURAÇÃO PARA VÁRIOS PADRÕES DE INJEÇÃO DE ARGÔNIO NA PERNA DE SUBIDA DO DESGASEIFICADOR A VÁCUO RH¹

Marlon José dos Anjos Silva²
Roberto Parreiras Tavares³

Resumo

Neste trabalho foi desenvolvida uma investigação sobre a variação da constante aparente de descarburização (k_c) em função da vazão de argônio utilizada no desgaseificador a vácuo RH, otimizando a vazão em cada etapa da descarburização. Acompanhou-se 97 corridas de aço ultra baixo carbono utilizando três vazões de argônio diferentes. Foram retiradas amostras de aço aos 0, 6 minutos e 12 minutos de cada corrida. Para a primeira etapa do tratamento obteve-se valores semelhantes de k_c nas três vazões testadas. Nesse caso, reduziu-se esta vazão para 80 Nm³/h. Obteve-se com essa alteração uma redução no consumo de argônio de 18.900 Nm³/ano. Obteve-se também uma menor queda de temperatura do aço durante o tratamento e um menor volume de gás a ser succionado pelo sistema de vácuo. Para a segunda etapa do tratamento manteve-se a vazão de 140 Nm³/h por apresentar o maior valor de k_c .

Palavras-chave: Descarburização; Desgaseificador RH; Argônio.

VARIATION OF THE DECARBURIZATION RATE FOR DIFFERENT ARGON FLOW RATES IN THE UPLEG SNORKEL OF THE RH DEGASSER

Abstract

In the present work, the variation of the apparent decarburization constant (k_c) as function of the argon flow rate injected in a RH degasser was investigated. It allowed optimization of the flow rate at each decarburization stage. For that, 97 ultra low carbon steel heats were analyzed using three different argon flow rates. The steel samples were taken at 0, 6 and 12 minutes of each heat. In the first decarburization stage, the k_c values were similar for the three flow rates tested. In this case, the flow rate was reduced to 80 Nm³/h. The argon consumption decreased 18.900 Nm³/year. With this change, the temperature drop during the treatment and the gas volume to be sucked were reduced. In the second decarburization stage, the flow rate was kept at 140 Nm³/h due the highest k_c value.

Key words: Decarburization; RH degasser; Argon.

¹ Contribuição técnica ao 42º Seminário de Aciaria – Internacional, 15 a 18 de maio de 2011, Salvador, BA, Brasil.

² Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, Superintendência de Aciaria da Usiminas, Ipatinga, MG.

³ Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, PhD; Professor Associado do Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais da UFMG; Belo Horizonte, MG.



1 INTRODUÇÃO

O tratamento para descarburização caracteriza-se pela reação do carbono dissolvido no aço com o oxigênio produzindo gás CO, que é retirado pelo sistema de vácuo. A nucleação de bolhas de CO pode ocorrer no seio e na superfície do banho, na bolha de argônio e na superfície do revestimento refratário.^(1,2) A Figura 1 mostra quatro possíveis sítios de reação no reator RH.⁽³⁾

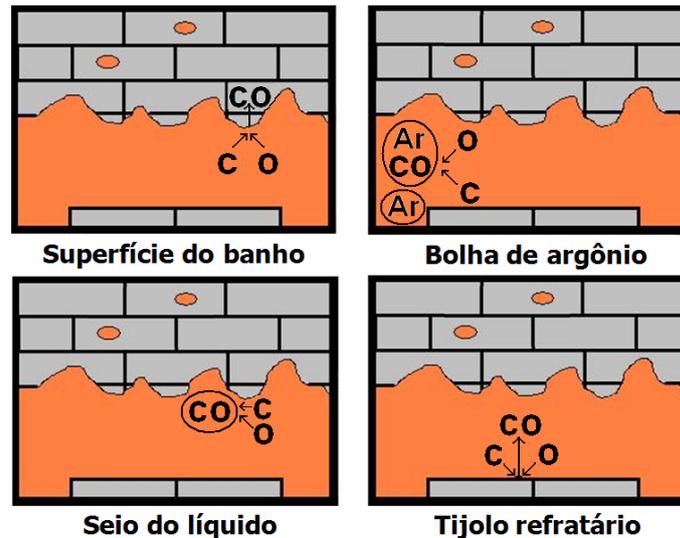


Figura 1. Desenhos esquemáticos de quatro sítios de reação possíveis no RH.⁽³⁾

Cálculos termodinâmicos mostram que seria possível atingir 1 ppm de carbono a uma pressão menor que 2 torr. Porém, isso não ocorre na prática, pois, em geral, processos industriais a vácuo não atingem o equilíbrio termodinâmico e são limitados pela cinética das reações.⁽⁴⁾ Os teores de carbono do equilíbrio não são atingidos pelo fato de haver um valor crítico desse carbono abaixo do qual a reação de descarburização depende da velocidade de difusão do carbono, o que faz com que a velocidade de descarburização se torne muito baixa na etapa final do tratamento.

No processo RH, o grau de vácuo e a concentração de carbono mudam consideravelmente durante o tratamento, por isso, os fatores que governam a taxa de descarburização mudam com o tempo.⁽⁵⁾

Para caracterizar a descarburização no RH pode-se levar em conta dois estágios.^(6,7) Estágio inicial no qual a descarburização atinge valores em torno de 30 ppm e estágio final para valores inferiores a esse. No primeiro estágio, a pressão parcial de CO em equilíbrio com o carbono e o oxigênio no aço é muito alta. Nessa etapa, a descarburização pode acontecer inclusive no seio do metal. Durante o segundo estágio, a descarburização acontece principalmente na superfície exposta ao vácuo. Nessa etapa ocorre o decréscimo na taxa de descarburização⁽⁸⁾ devido à baixa concentração dos reagentes (carbono e oxigênio) e ao decréscimo da área interfacial de reações entre a fase líquida e gasosa.⁽¹⁾ Portanto, uma das maneiras de se aumentar a taxa de descarburização nessa etapa é através do acréscimo da área interfacial.



Algumas medidas podem ser tomadas para maximizar a taxa de descarburização no processo RH.⁽⁵⁾ Na primeira etapa deve-se propiciar a maximização da taxa de circulação e o aumento da taxa de evacuação, com a criação de um vácuo suficiente para proporcionar reação inclusive no seio do banho metálico. Na segunda etapa da descarburização deve-se incrementar a turbulência na superfície, propiciando um aumento na área superficial do banho metálico em contato com as baixas pressões no interior do vaso. Esse efeito pode ser alcançado aumentando-se a vazão de argônio.

Porém, nem sempre o aumento na vazão de gás inerte leva a um aumento na taxa de descarburização. Dependendo das condições estudadas, existe um valor limite a partir do qual o incremento na vazão de argônio não aumenta a taxa de descarburização.^(6,9,10)

A vazão de gás nos bicos de injeção é uma das variáveis de controle mais importantes do processo RH, pois determina a taxa de circulação, influenciando na cinética das reações⁽¹¹⁾ e, em determinadas condições, na taxa de descarburização. Portanto, a eficiência do RH está ligada ao valor da vazão de gás utilizada, que pode variar de acordo com a característica de cada equipamento.

Tendo em vista a importância do conhecimento da descarburização no processo, este estudo teve como objetivo investigar a variação na taxa de descarburização em função da vazão de argônio nos bicos da perna de subida do desgaseificador a vácuo RH. Em cada etapa do processo, buscou-se condições que conciliem altas taxas de descarburização com a menor vazão de argônio possível, propiciando redução do consumo de gás no equipamento. As principais características do equipamento utilizado são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Principais características do RH da Aciaria 2 da Usiminas - Ipatinga

Tamanho da corrida (toneladas)	170
Diâmetro do vaso (mm)	2070
Diâmetro interno da perna (mm)	600
Vazão de argônio (Nm ³ /h)	80 a 140
Número de bicos de injeção de argônio (1 nível)	10
Taxa de circulação aproximada (toneladas/minuto)	130
Capacidade de sucção a 0,5 torr (Kg/h/t)	3,8

2 METODOLOGIA

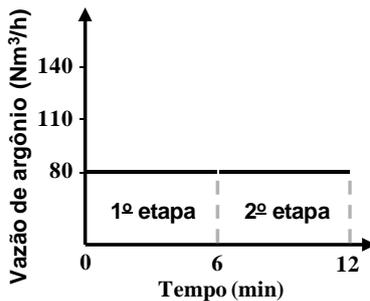
Realizou-se o tratamento de 97 corridas de aço ultra baixo carbono utilizando uma combinação de três vazões de argônio diferentes em dois períodos de descarburização distintos, totalizando 277 amostras analisadas. Utilizando esses resultados para calcular o valor de Kc obteve-se 86 valores para a primeira etapa e 94 para a segunda. Em condições normais, o tratamento de descarburização na Usiminas/Ipatinga é de aproximadamente 12 minutos. Definiu-se, portanto, que a primeira etapa compreenderia o tempo de tratamento entre 0 e 6 minutos e a segunda etapa o tempo restante (entre 6 e 12 minutos). Na Usiminas, anteriormente aos testes, utilizava-se como padrão o valor de 110 Nm³/h na primeira etapa da descarburização e de 140 Nm³/h na segunda etapa, distribuídos nos dez bicos de injeção.

Os valores de vazão de argônio utilizados nos testes levaram em consideração o mínimo para evitar obstrução dos bicos, um valor intermediário e o máximo utilizado na Usiminas atualmente, 80 Nm³/h, 110 Nm³/h e 140 Nm³/h, respectivamente.

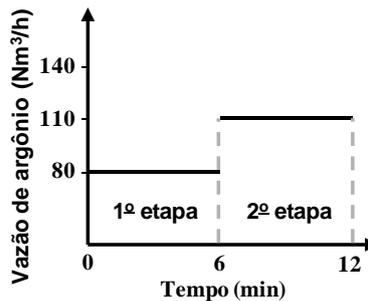


Para minimizar a influência das outras variáveis que poderiam interferir nos resultados, as corridas foram produzidas utilizando vazões de argônio alternadas, conforme Figura 2, e as seguintes condições:

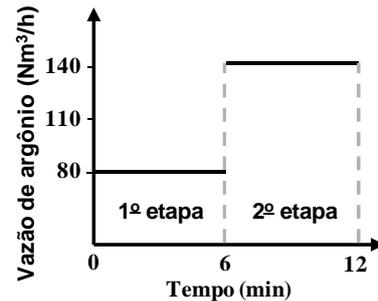
- temperatura inicial de tratamento entre 1.570°C e 1.620°C;
- teor de oxigênio entre 500 e 1100 ppm (medidos aos 2 minutos de vácuo);
- nenhum sopro de oxigênio e nenhuma adição durante o período dos testes; e
- corridas com teor de carbono inicial inferior a 0,04% e enxofre inferior a 0,02%.



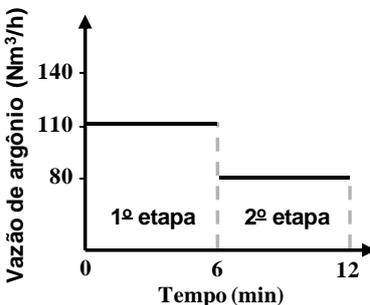
Condição 1: 1ª etapa = 80Nm³/h
2ª etapa = 80Nm³/h



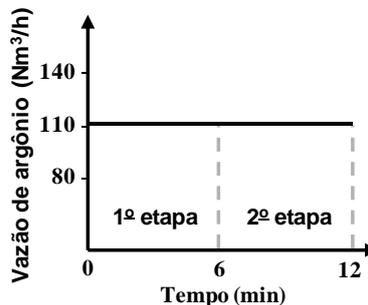
Condição 2: 1ª etapa = 80Nm³/h
2ª etapa = 110Nm³/h



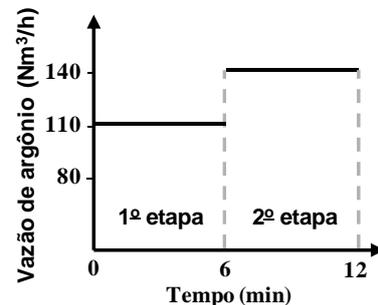
Condição 3: 1ª etapa = 80Nm³/h
2ª etapa = 140Nm³/h



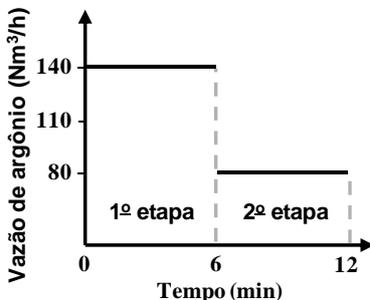
Condição 4: 1ª etapa = 110Nm³/h
2ª etapa = 80Nm³/h



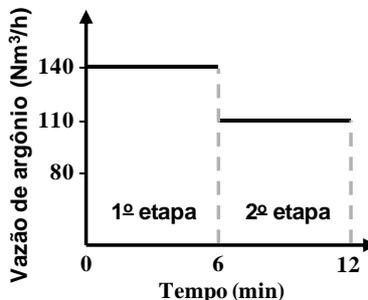
Condição 5: 1ª etapa = 110Nm³/h
2ª etapa = 110Nm³/h



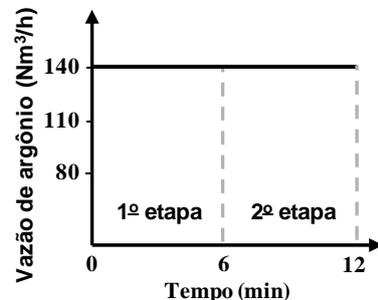
Condição 6: 1ª etapa = 110Nm³/h
2ª etapa = 140Nm³/h



Condição 7: 1ª etapa = 140Nm³/h
2ª etapa = 80Nm³/h



Condição 8: 1ª etapa = 140Nm³/h
2ª etapa = 110Nm³/h



Condição 9: 1ª etapa = 140Nm³/h
2ª etapa = 140Nm³/h

Figura 2. Esquemas dos valores de vazão de argônio utilizados nos testes.



Foram retiradas três amostras de cada corrida, sendo a primeira amostra ao final do vazamento do aço do convertedor para a panela (amostra C₀), a segunda a aproximadamente 6 minutos de tratamento no RH (amostra C₆) e a terceira a aproximadamente 12 minutos de tratamento no RH (amostra C₁₂). O equipamento de amostragem no RH pode ser visto na Figura 3.

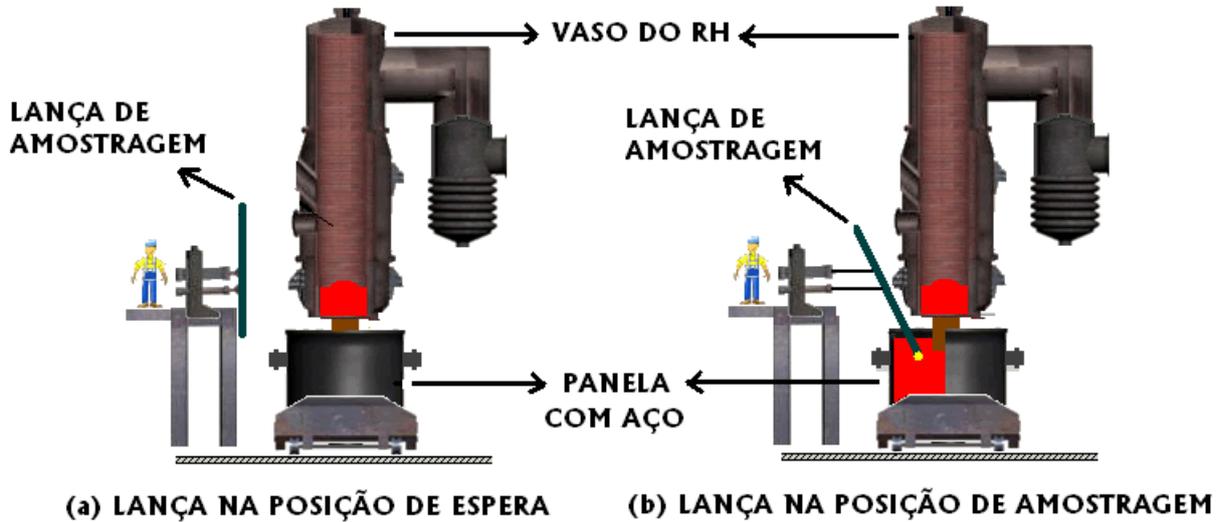


Figura 3. Lança de amostragem automática no RH.

Para a retirada da amostra foi utilizado um amostrador tipo “pirulito”, com revestimentos especiais para prevenção de contaminação. A análise de carbono das amostras foi realizada em um forno de indução com análise de carbono por infravermelho (LECO). De posse dos resultados dos teores de carbono, avaliou-se a taxa de descarburização através do cálculo da constante aparente de descarburização. Para a primeira etapa do tratamento utilizou-se as amostras C₀ e C₆ como carbono inicial e final, respectivamente. Para a segunda etapa utilizou-se as amostras C₆ e C₁₂ como carbono inicial e final. Esse cálculo foi realizado através da equação:

$$k_{ci,j} = - \frac{\ln \left(\frac{(\%C_f - \%C_{eq})}{(\%C_{in} - \%C_{eq})} \right)}{t_{in,f}} \quad (1)$$

Na equação os termos indicam:

$k_{ci,j}$ = constante aparente de descarburização na etapa i para a vazão j (minuto⁻¹);

$\%C_f$ = percentagem final de carbono em cada etapa;

$\%C_{in}$ = percentagem inicial de carbono em cada etapa;

$\%C_{eq}$ = percentagem de carbono no equilíbrio;

$t_{in,f}$ = tempo decorrido entre as amostragens inicial C_{in} e final C_f (minuto).

Para o cálculo do carbono em equilíbrio foram utilizados a temperatura, o teor de oxigênio e a pressão de CO obtida durante o tratamento. Os teores de carbono das



condições 1, 2 e 3, da primeira etapa, conforme mostrado na figura 2, forneceram os valores para o cálculo de $K_{C1,80}$. O valor de $K_{C1,110}$ foi calculado de modo análogo para as condições 4, 5 e 6 e o valor de $K_{C1,140}$ foi calculado para as condições 7, 8 e 9.

Os teores de carbono das condições 1, 4 e 7, da segunda etapa, conforme mostrado na figura 2, forneceram os valores para o cálculo de $K_{C2,80}$. O valor de $K_{C2,110}$ foi calculado de modo análogo para as condições 2, 5 e 8 e os teores de carbono das condições 3, 6 e 9 forneceram os valores para o cálculo de $K_{C2,140}$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando a equação 1, pode-se observar que quanto maior o valor de K_{Ci} , menor será o teor de carbono obtido ao final da etapa de tratamento. Portanto, pretende-se utilizar os maiores valores de K_{Ci} quando o objetivo do tratamento é o de se obter maiores taxas de descarburização.

3.1 Constante Aparente de Descarburização na Primeira Etapa (k_{C1})

Um resumo dos valores obtidos para a constante aparente de descarburização na primeira etapa do tratamento é apresentado na Tabela 2 e na Figura 4.

Tabela 2. Valores da constante aparente de descarburização obtidos para as três vazões testadas

Vazão de argônio	K_{C1} (min^{-1})		Número de casos
	Média	Desvio Padrão	
80 Nm^3/h	0,34	0,07	27
110 Nm^3/h	0,33	0,05	34
140 Nm^3/h	0,34	0,06	25

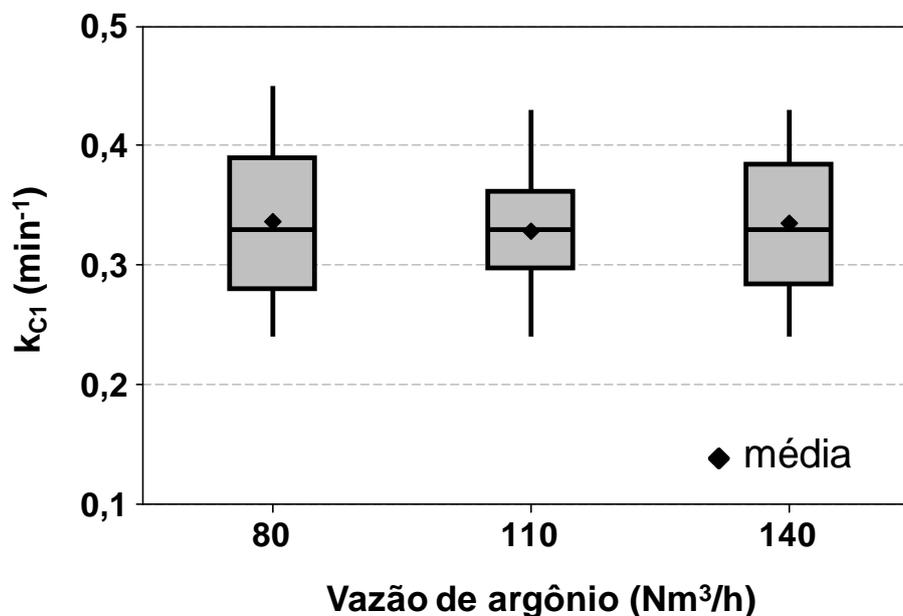


Figura 4. Valores obtidos para as três vazões na primeira etapa.



Analisando os resultados, pode-se constatar que os valores médios da constante aparente de descarburização obtidos para as três vazões testadas são semelhantes. Resultados similares foram obtidos em outros trabalhos^(7,10) analisando o teor de carbono final atingido para tratamentos sem distinção de etapas de descarburização. Portanto, para a primeira etapa do tratamento, optou-se por utilizar a vazão de 80 Nm³/h, devido ao menor consumo de argônio, sem reduzir a constante aparente de descarburização.

Uma explicação para os resultados seria que, devido ao elevado teor de carbono e oxigênio na primeira etapa do tratamento, o transporte de massa é facilitado e a reação de descarburização acontece a elevadas taxas, podendo ocorrer inclusive no seio do líquido. Esse fato, somado ao efeito da agitação adicional do banho devido ao grande volume de gás gerado, torna irrelevante o incremento da vazão de gás inerte nessa etapa.

Nos primeiros 6 minutos de tratamento, ocorre uma grande geração de gás CO, como pode ser visto na Figura 5. Essa geração associada à expansão dos gases do sistema, devido ao aumento da temperatura e a redução da pressão, à medida que as bolhas seguem seu caminho ascendente na perna de subida, pode afetar a circulação de aço devido à ocupação da área útil da perna de subida com excesso de gás. Conclusão semelhante foi obtida por Tsukihashi.⁽¹²⁾ Portanto, o excesso de injeção de gás inerte nessa etapa pode prejudicar a renovação de aço na câmara de vácuo, podendo culminar inclusive na redução da taxa de descarburização. Nessa etapa, é importante manter o equipamento em condições de promover a máxima capacidade de sucção dos gases. Outra opção é de se trabalhar com pré-vácuo para acelerar a remoção dos gases do sistema.

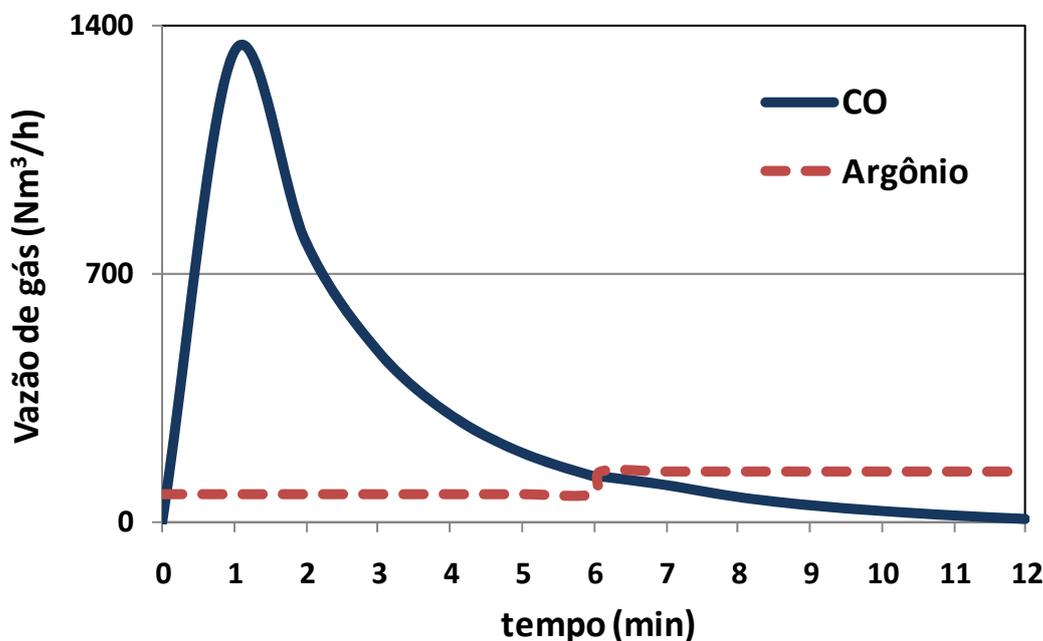


Figura 5. Estimativa da vazão de gás no sistema durante a descarburização no RH para uma vazão de argônio de 80 Nm³/h na primeira etapa do tratamento e 140 Nm³/h na segunda.



Outro fato relevante é que essa elevada geração de CO somada às altas taxas de injeção de gás inerte pode aumentar o volume de *splash* no sistema, aumentando assim a incidência de cascão nas partes superiores do equipamento. Portanto, a redução da vazão de gás inerte nesta etapa pode minimizar esse efeito.⁽¹³⁾

Quando existem limitações do equipamento quanto à taxa de sucção dos gases, altas taxas de injeção de argônio podem dificultar a obtenção de baixas pressões na câmara de vácuo, principalmente nos primeiros instantes do tratamento onde o volume de gás gerado é muito grande. Portanto, essa redução da vazão na primeira etapa pode melhorar a performance do equipamento no que diz respeito à obtenção destas baixas pressões.

3.2 Constante Aparente de Descarburção na Segunda Etapa (k_{C_2})

Um resumo dos valores obtidos para a constante aparente de descarburção na segunda etapa do tratamento é apresentado na Tabela 3 e na Figura 6.

Tabela 3. Valores da constante aparente de descarburção obtidos para as três vazões testadas

Vazão de argônio	k_{C_2} (min^{-1})		Número de casos
	Média	Desvio Padrão	
80 Nm^3/h	0,11	0,05	30
110 Nm^3/h	0,12	0,05	32
140 Nm^3/h	0,14	0,06	32

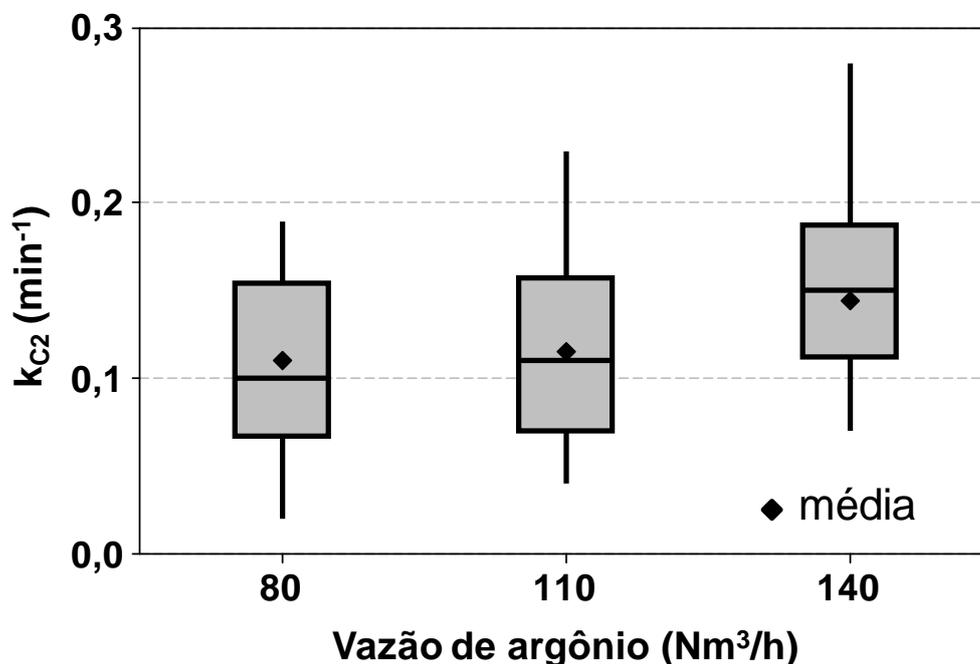


Figura 6. Valores obtidos para as três vazões na segunda etapa.

A média da constante aparente de descarburção na segunda etapa para a vazão de 140 Nm^3/h apresentou valores superiores aos das vazões de 80 Nm^3/h e 110 Nm^3/h .



Alguns autores^(6,14) afirmam que incrementos na vazão de argônio nas etapas finais do tratamento aumentariam a taxa de descarburização, o que está de acordo com os resultados obtidos.

Foi realizado o teste de hipóteses para comparação das médias. Comparando-se a média da constante aparente de descarburização obtida para a vazão de 80 Nm³/h e de 140 Nm³/h (0,11 min⁻¹ e 0,14 min⁻¹), pode-se afirmar com 95% de confiança que a média de $k_{C2,80}$ é menor que a média de $k_{C2,140}$. As hipóteses comparadas são mostradas na Tabela 4:

Tabela 4. Condições utilizadas no teste de hipóteses

Hipótese nula	média de $k_{C2,80}$ – média de $k_{C2,140} = 0,0$
Hipótese alternativa	média de $k_{C2,80}$ – média de $k_{C2,140} < 0,0$

Analogamente, comparando-se a média da constante aparente de descarburização obtida para a vazão de 110 Nm³/h e de 140 Nm³/h (0,12 min⁻¹ e 0,14 min⁻¹), pode-se afirmar com 94% de confiança que a média de $k_{C2,110}$ é menor que a média de $k_{C2,140}$. Desse modo, para a segunda etapa do tratamento, optou-se por manter a vazão de 140 Nm³/h, não alterando o padrão nessa etapa.

Uma explicação para os resultados obtidos é que, na segunda etapa do tratamento, a reação de descarburização ocorre principalmente na superfície do banho e das bolhas de gás. Nessa etapa, a geração de CO reduz drasticamente, como pode ser visto na figura 5, diminuindo o volume de gás no sistema e reduzindo a agitação do banho. O aumento da vazão de argônio nessa etapa aumenta a área de reação, introduzindo maior perturbação na superfície do banho e oferecendo um substrato para nucleação através das bolhas. Nessa etapa, o controle do processo se dá por transferência de massa. Portanto, ações no sentido de incrementar a agitação no sistema aumentando o coeficiente de transporte de massa podem trazer benefícios ao processo.

3.3 Novo Padrão de Argônio Utilizado

O novo padrão utilizado é apresentado na Figura 7. A divisão do processo de descarburização em dois estágios utilizando vazões mais baixas no estágio inicial e vazões mais elevadas no estágio final está de acordo com o proposto por Tembergen.⁽¹⁵⁾

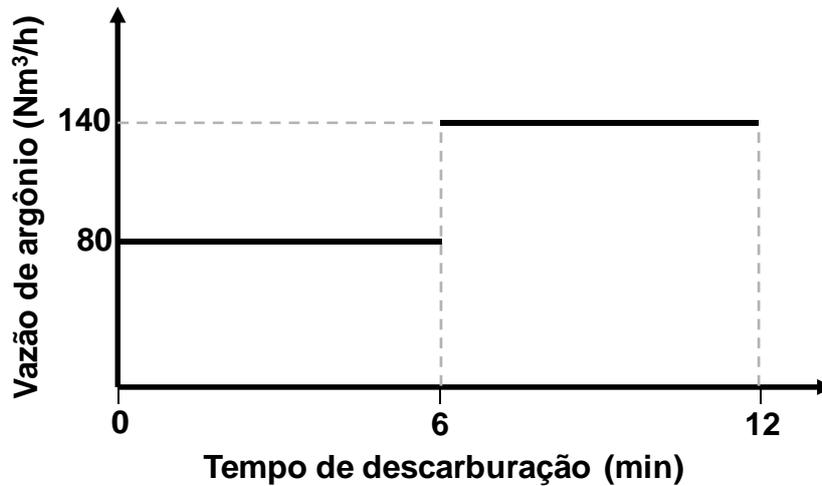


Figura 7. Novo padrão de argônio utilizado.

Com essa alteração, estima-se uma redução no consumo de argônio de aproximadamente 18.900 Nm³/ano. Outro fator importante é a disponibilização desse gás para outras atividades na aciaria.

Outro benefício da redução dessa vazão é a menor queda de temperatura do aço durante o tratamento. O argônio é injetado à temperatura ambiente e em contato com o aço a aproximadamente 1.600°C promove uma redução da sua temperatura. Portanto, a redução da vazão de argônio reduzirá a queda de temperatura do aço. Estima-se uma redução na perda de temperatura de aproximadamente 0,04°C em cada tratamento. Apesar de pequena, esta alteração propicia uma redução do consumo anual de 1.360 kg de alumínio e 845 Nm³ de oxigênio para aquecimento. Ocorre também a redução da geração de alumina no banho, o que pode representar uma melhoria na limpeza dos aços.

A Figura 8 mostra uma média do teor de carbono obtido durante os testes. Pode-se observar que nos primeiros 6 minutos de tratamento, independente da vazão de argônio utilizada, obtém-se o mesmo teor de carbono. Portanto, pode-se utilizar a menor vazão sem afetar o valor de carbono na primeira etapa da descarburização. Para a segunda etapa (de 6 a 12 minutos) quanto maior a vazão de argônio menor o teor de carbono obtido. Para a vazão de 140 Nm³/h atinge-se valores médios de 12 ppm de carbono aos 12 minutos de descarburização.

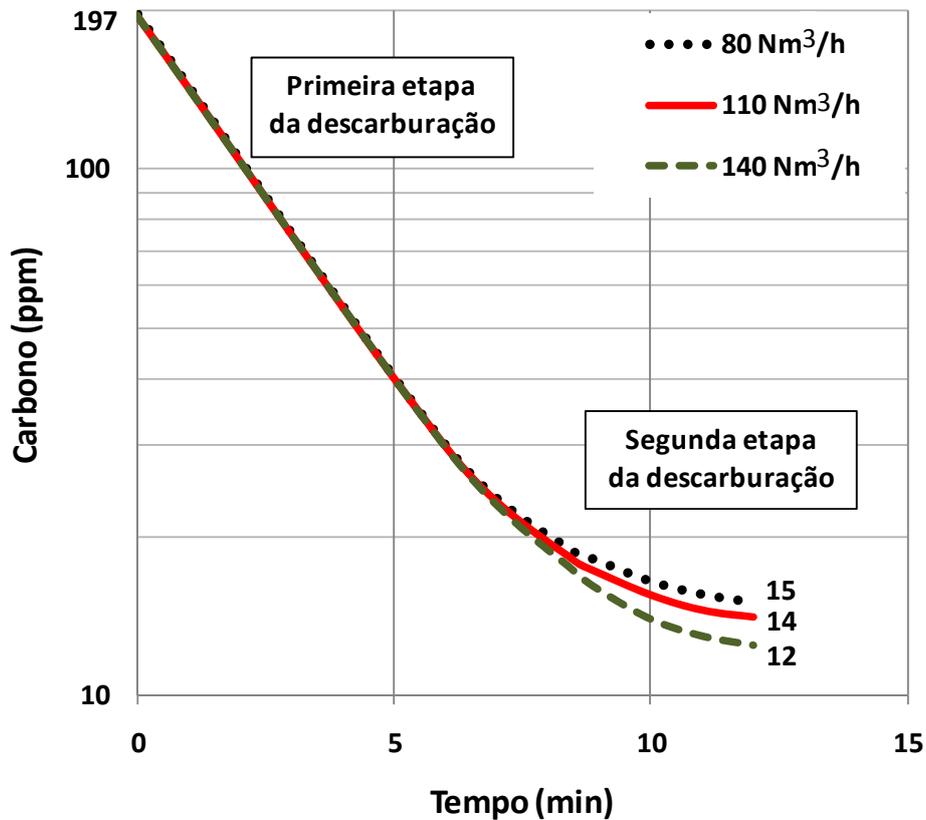


Figura 8. Curva de descaburação para as três vazões de argônio testadas.

4 CONCLUSÕES

Os valores médios da constante aparente de descaburação obtidos ($0,34 \text{ min}^{-1}$, $0,33 \text{ min}^{-1}$ e $0,34 \text{ min}^{-1}$) para as três vazões testadas ($80 \text{ Nm}^3/\text{h}$, $110 \text{ Nm}^3/\text{h}$ e $140 \text{ Nm}^3/\text{h}$) na primeira etapa do tratamento de descaburação são semelhantes. Portanto, para essa etapa foi alterada a vazão de $110 \text{ Nm}^3/\text{h}$ para $80 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Os principais benefícios desta alteração foram:

- redução no consumo de argônio de aproximadamente $18.900 \text{ Nm}^3/\text{ano}$ e, conseqüentemente, a disponibilização desse gás para outras atividades na aciaria;
- menor queda de temperatura do aço durante o tratamento com uma redução do consumo anual de 1360 kg de alumínio e 845 Nm^3 de oxigênio para aquecimento;
- menor volume de gás a ser succionado pelo sistema, o que pode levar à obtenção de pressões mais baixas na câmara de vácuo.

A média da constante aparente de descaburação na segunda etapa para a vazão de $140 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ($0,14 \text{ min}^{-1}$) apresentou valores ligeiramente superiores aos das vazões de $80 \text{ Nm}^3/\text{h}$ e $110 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ($0,11 \text{ min}^{-1}$ e $0,12 \text{ min}^{-1}$, respectivamente). Portanto, para a segunda etapa do tratamento optou-se por manter a vazão de $140 \text{ Nm}^3/\text{h}$ não alterando o padrão nessa etapa.



REFERÊNCIAS

- 1 KISHIMOTO, Y.; et al. Decarburization in ultra-low carbon iron under reduced pressure. *ISIJ International*, Vol. 33, nº 3, p. 391-399, 1993.
- 2 HANNA, R.K.; et al. Water modelling to aid improvement of degasser performance for production of ultralow carbon interstitial free steels. In: *Ironmaking and Steelmaking*, v.21, n.1, p.37-43. 1994.
- 3 SILVA, M. J. A.; Viana, J. F.; Araújo, T. C. S. Modernização do desgaseificador a vácuo da aciaria 2. In: *5º Seminário Interno da Qualidade*. Usiminas, 2004.
- 4 FRUEHAN, R.J. An introduction to vacuum degassing - part II. In: *Iron & Steelmaker*, v.17, n.7, p.42-43, July. 1990.
- 5 YANO, M.; et al. Recent advances in ultralow-carbon steel refining technology by vacuum degassing processes. In: *Nippon Steel Technical Report*, Japan, No. 61, apr. 1994, p.15-21.
- 6 AHRENHOLD, F.; et al. Experience with the second RH degasser at the Beeckerwerth Steel of TKS. In: *Brazilian Metals Society Congress*, Belo Horizonte, may, 2003. p. 19-21.
- 7 GUO, D; IRONS, G. A. Modelling of gás-liquid reactions in ladle metallurgy; Part 1; Physical modeling. *Metallurgical and Materials Transactions B*, v. 31B, p. 1447-1455, dec. 2000.
- 8 PARK, Y-G.; YI, K-W. A new numerical model for predicting carbon concentration during RH degassing treatment. In: *ISIJ International*, vol. 43, nº 9, p. 1403-1409, 2003.
- 9 WEI, J-H.; YU, N-W. Mathematical modeling for RH refining process of molten steel. In: *Ironmaking Conference*, 61, 2002, Nashville. Proceedings. Warrendale: *Iron & Steel Society*. 2002. v.61. p. 775-792.
- 10 KATO, Y.; et al. Décaburation de l'acier à moins de 10 ppm par dégazage au RH avec insufflation d'oxygène. In: *Aciérie de Conversion. La Revue de Métallurgie*, 1992. P. 616-621.
- 11 SILVA et al. 2005. Curso de Refino Secundário dos Aços, *Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais*, Belo Horizonte, p. 490, 03 a 07 out. 2005.
- 12 TSUKIHASHI, F.; LI, B. Modeling of circulating flow in degassing vessel water model designed for two-and multi-legs operation. *ISIJ International*, vol. 40, n. 12, p. 1203-1209, 2000.
- 13 HAHN, F.I.; et al. Application of the RH process to the production of ultra low carbon steels at Thyssen Stahl AG. In: *Ironmaking and Steelmaking*, v.17, n.3, p.43-47, Mar. 1990.
- 14 KUWABARA, T.; et al. Investigation of decarburization behavior in RH-reactor and its operation improvement. In: *Transactions ISIJ*, Vol. 28, 1988, p. 305-314.
- 15 TEMBERGEM, D.; TEWORTE, R.; ROBEY, R. Vacuum ladle treatment using RH metallurgy. In: *MTP International*, mar. 2007.