



REDUÇÃO DO PERCENTUAL DE CARBONO NOS AÇOS ELÉTRICOS DE GRÃO NÃO ORIENTADO ULTRA-BAIXO CARBONO PRODUZIDOS NO DESGASEIFICADOR A VÁCUO VOD¹

Anderson Batista Lana²
José Geraldo Oliveira Ank³
Nildomar Soares Ferreira²
Péricles Guimarães Oliveira Aguiar⁴

Resumo

Este trabalho tem como objetivo mostrar a redução do percentual de carbono dos aços elétricos de grão não orientado ultra-baixo carbono (GNO) produzidos na Aperam South America através do controle de processo no desgaseificador a vácuo (VOD). Os estudos mostraram que era necessário desenvolver um novo amostrador de aço líquido que permitisse analisar o resultado real do percentual de carbono e estabelecer através da utilização de princípios metalúrgicos da desgaseificação sob vácuo, novos parâmetros de controle do processo no VOD. Este trabalho nos permitiu reduzir o teor médio de carbono dos aços elétricos GNO em 18% comparado com os valores de carbono obtidos no ano 2009. Não tivemos alterações no consumo das ligas utilizadas como desoxidantes e na estabilidade da escória.

Palavras-chave: Carbono; Aços elétricos de grão não orientado; Desgaseificação sob vácuo.

REDUCTION OF PERCENTAGE OF CARBON STEEL IN NO GRAIN ORIENTED ELECTRICAL ULTRA-LOW CARBON PRODUCED IN VACUUM DESGASSING VOD

Abstract

This work aims to show a reduction in the percentage of carbon steel non-oriented electrical ultra-low carbon (GNO) produced in Aperam South America through the process control in vacuum degassing VOD. Studies have shown that it was necessary to develop a new liquid steel sampler that allows to analyze the actual result of the percentage of carbon and establish new parameters for process control in the VOD through the use of new metallurgical vacuum degassing principles. This work has allowed us to reduce the average carbon content of the electric steels GNO by 18% when compared to the values of carbon obtained in the year 2009. There have been no changes in consumption of the alloys used as de-oxidants and the stability of the slag.

Key words: Carbon; Non-oriented electrical steels; Vacuum degassing.

¹ Contribuição técnica ao 43º Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2012, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Técnico Metalurgista; Analista Técnico da Gerência Executiva de Aciaria da Aperam South America; Timóteo, MG.

³ Engenheiro Metalurgista; Assistente Técnico da Gerência Executiva de Metalurgia de Aços Elétricos da Aperam South America; Timóteo, MG.

⁴ Engenheiro de Materiais; Assistente Técnico da Gerência Executiva de Metalurgia de Aços Elétricos da Aperam South America; Timóteo, MG.



1 INTRODUÇÃO

O carbono é um elemento muito importante na fabricação dos aços elétricos GNO. Acima de certo valor, ele causa o fenômeno de envelhecimento magnético (Deterioração das propriedades magnéticas). A Figura 1 apresenta a correlação entre o envelhecimento magnético e o teor de carbono final para o aço GNO com 2% de silício.

ENVELHECIMENTO MAGNÉTICO x TEOR DE CARBONO FINAL

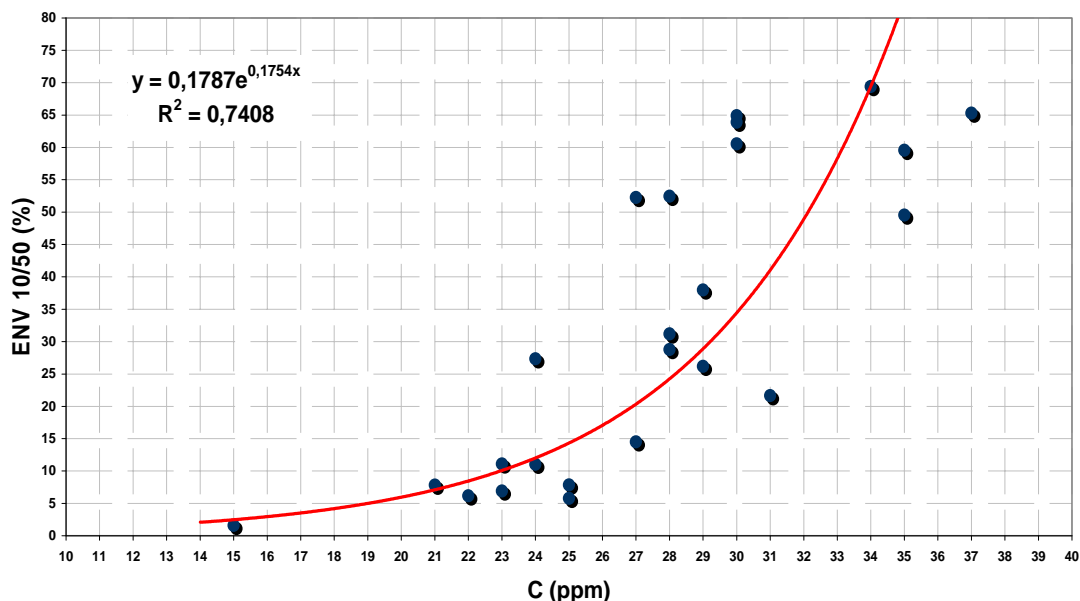


Figura 1. Evolução do envelhecimento magnético na condição 10/50 (W/kg) com o teor final de carbono no aço, para o GNO com 2% de silício.

O teor de carbono no aço pode ser controlado durante a elaboração do aço na Aciaaria ou através da descarbonetação na linha de recozimento final (Tanden). Porém, para realizar a descarbonetação no Tanden, limita-se a velocidade da linha em função do valor de carbono, reduzindo a produtividade. Outro limitador é a formação de óxido na superfície da tira (faialita – Fe_2SiO_4) que afeta a estampabilidade e soldabilidade do material, prejudicando o desempenho do aço nos clientes.

Em 2009 foi iniciado um trabalho na Aciaaria com o objetivo de reduzir o teor de carbono dos aços elétricos GNO, a fim de evitar a descarbonetação do aço na linha de recozimento final. Como apresentado na Figura 2, nosso teor médio de carbono em 2009 era de aproximadamente 28 ppm.



TEOR MÉDIO DE CARBONO NA PLACA

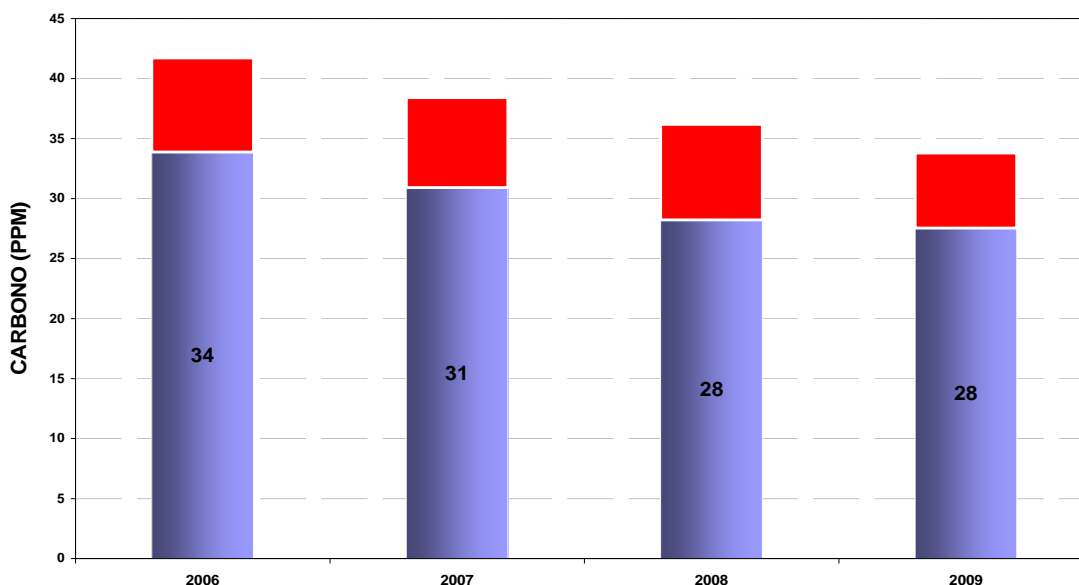


Figura 2. Teor médio de carbono no aço GNO na aciaria.

2 ADEQUAÇÃO NOS MÉTODOS E NOS PROCESSOS DE ELABORAÇÃO DO AÇO NA ACIARIA

Para os aços ultra-baixo carbono, qualquer contaminação de carbono pode ser facilmente percebida, seja proveniente dos refratários, escória remanescente de painéis, cascões aderidos nos reatores e outros. O amostrador utilizado para coletas de amostra de metal líquido também pode ser uma fonte de carbono, mas esse carbono não se encontra no aço e sim na amostra, mascarando o valor real do carbono e do *pick-up* (diferença entre o teor de carbono na última amostra do VOD com a amostra no Lingotamento Contínuo).

Os amostradores de imersão para metais líquidos apresentam em sua estrutura uma capa metálica que protege o tubo de quartzo evitando que o mesmo se funda ainda na escória. A Figura 3 apresenta um desenho esquemático do amostrador de imersão.

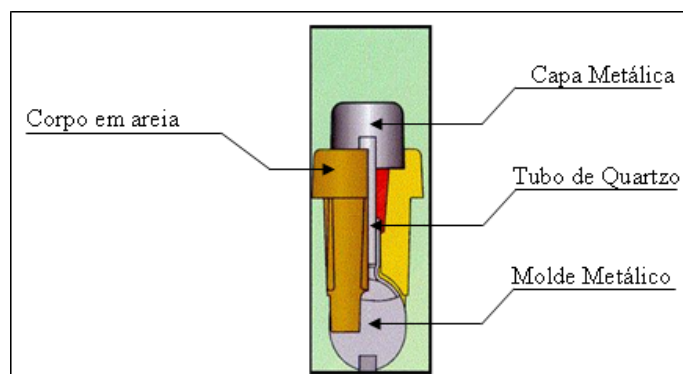


Figura 3. Desenho esquemático do amostrador de imersão.⁽¹⁾

O amostrador utilizado no VOD é o UBC (amostrador para ultra-baixo carbono), enquanto o amostrador utilizado para realizar a amostragem final do aço é o de sucção (amostrador padrão para qualquer tipo de aço).



A capa do amostrador de sucção é feita com aço carbono comum (médio carbono). Esse aço se funde durante a amostragem e contamina a amostra com carbono, mascarando o resultado. O amostrador UBC possui uma capa de aço e o corpo de areia com baixo teor de carbono, o que garante uma interferência mínima no resultado. O amostrador UBC para o Lingotamento Contínuo foi desenvolvido junto com a equipe técnica da empresa Heraeus – Eletro Nite e implantado em março de 2010. A Figura 4 apresenta a evolução do *pick-up* do valor de carbono.

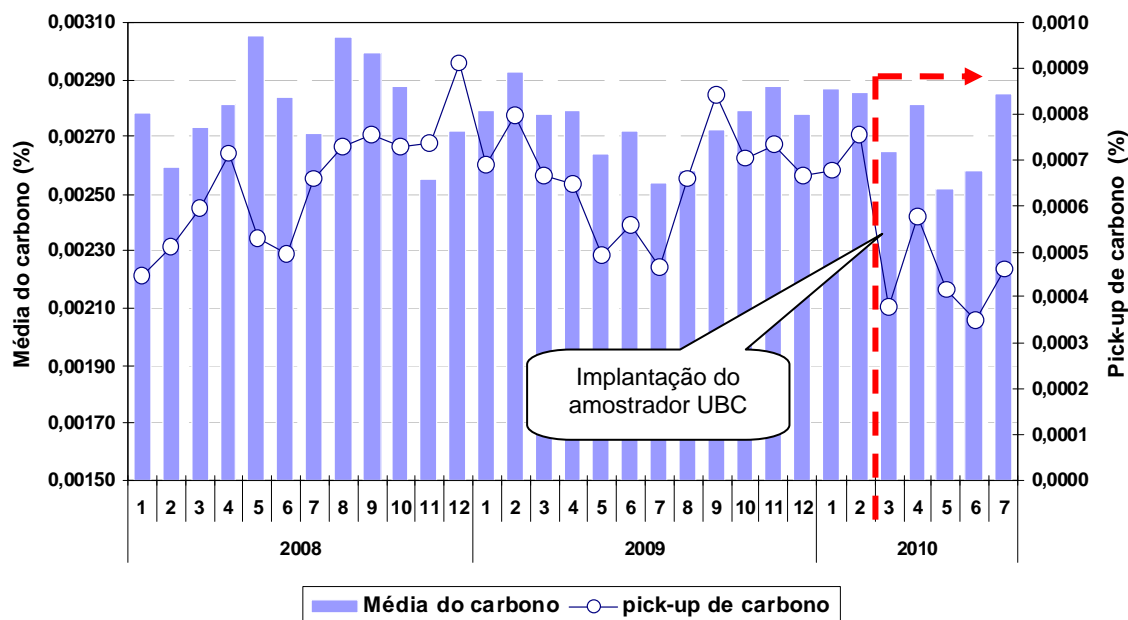


Figura 4. Média do teor de carbono e do *pick-up* entre a última amostra do VOD e a amostra no lingotamento contínuo antes e após a implantação do amostrador UBC.

A mudança do amostrador reduziu o valor do *pick-up* de carbono em aproximadamente 40%, porém a média do teor de carbono foi mantida.

Sendo o VOD o principal equipamento do fluxo de produção do aço GNO na Aciaaria, era necessário adequar os parâmetros de processo e as condições de operação para garantir um processo estável e controlado. A adequação do processo passa pela estabilidade do fluxo de produção, da pressão no interior do vaso e do controle da etapa de descarburização.

2.1 Estabilidade do Fluxo de Produção

A Aciaaria dispõe de dois desgaseificadores VOD (VOD1 e VOD2), com capacidades e funções semelhantes. Concentrar toda produção do GNO em um VOD, utilizando o outro apenas em casos de emergência, na maioria das vezes dificulta o controle do fluxo de produção, prejudicando a estabilidade do processo.

A produção do GNO se concentrava no VOD1 (Figura 5), sendo que em 2008/2009 a participação do VOD2 se dava em casos emergências, o que totalizava 14% da produção. O aumento da produção no VOD2 foi possível devido à programação prévia das corridas, passando para 20% em 2010 chegando a 24% em 2011, o que permitiu um melhor controle do fluxo de produção, do atendimento as premissas de início de processo e tranquilidade operacional.



PARTICIPAÇÃO DOS VOD's NA PRODUÇÃO DO GNO

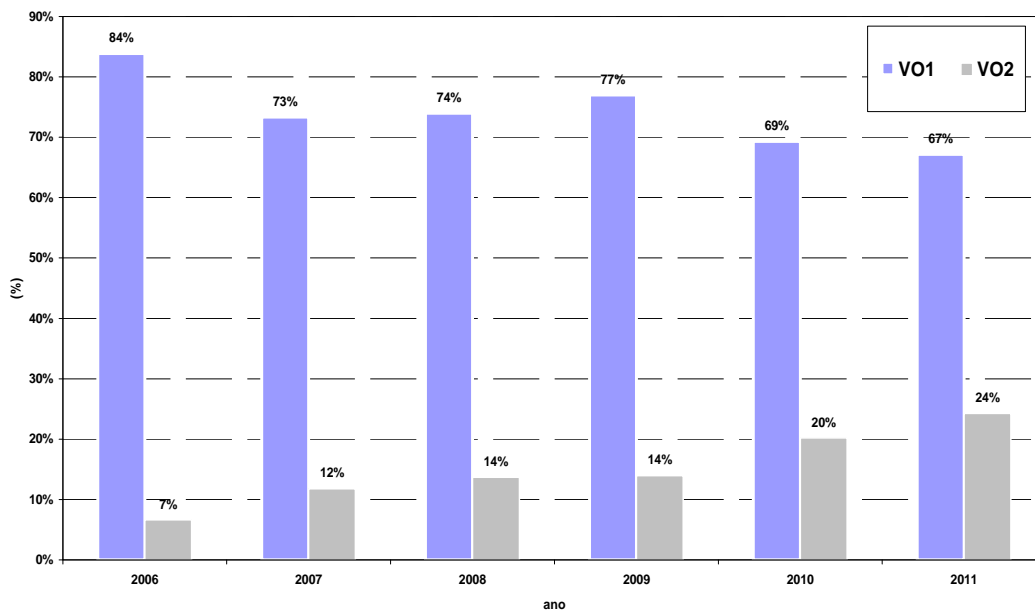


Figura 5. Evolução da participação do VOD2 na produção do aço P920P.

2.2 Controle da Pressão de Vácuo

A pressão no interior do vaso é responsável pela mudança no equilíbrio da reação do carbono com o oxigênio, o que permite atingir valores de carbono ultra-baixos. O sistema de vácuo é o controlador da pressão durante todo o processo. Melhorar o desempenho do sistema era fundamental para adequarmos o processo.

As principais ações foram:

- identificação e correção de entradas de ar no sistema de vácuo;
- aperfeiçoamento do método de limpeza dos ejetores a vapor; e
- cumprimento do plano de manutenção.

Podemos observar na Figura 6, a evolução da pressão nos VOD's entre 2009 e 2011, o que permitiu um melhor controle do processo.

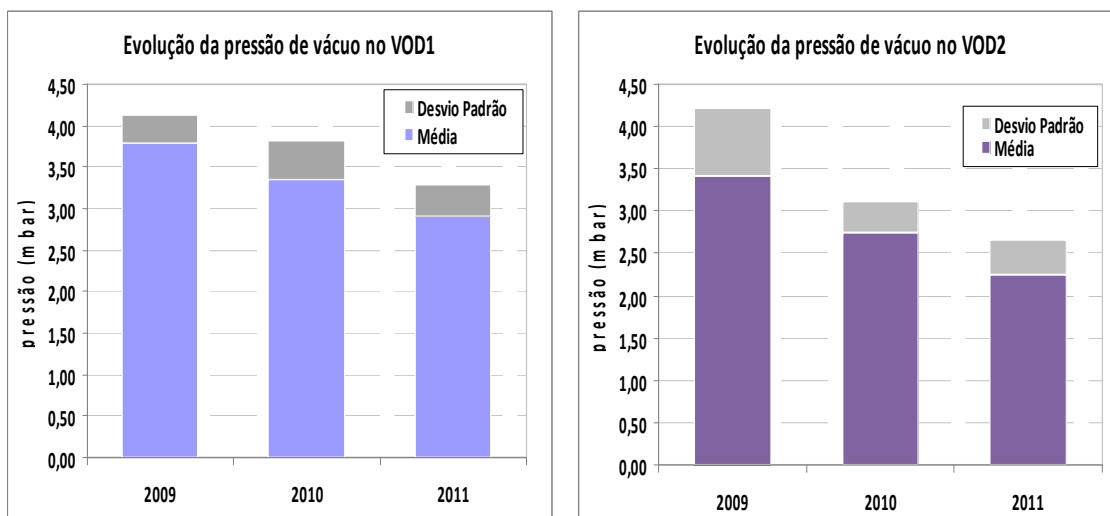


Figura 6. Média da pressão de vácuo na etapa de VCD nos desgaseificadores VOD1 e VOD2.



2.3 Controle da Etapa de Descarburização

De acordo com os princípios da termodinâmica, a descarburização do aço em equipamentos a vácuo é dependente do valor da pressão parcial do gás gerado na reação do carbono com o oxigênio, do nível de oxigênio dissolvido no banho e da quantidade de energia envolvida (temperatura do aço). Em função disso foram estabelecidos novos parâmetros para a etapa de descarburização (sopro de oxigênio e VCD).

A etapa de descarburização consiste no sopro de oxigênio a uma pressão no vaso de 100 mbar, seguida de uma descarburização profunda onde o sopro de oxigênio é interrompido e a pressão é abaixada para valores ≤ 4 mbar. Durante essa etapa é de extrema importância o monitoramento dos gases formados no interior do VOD. Os gases gerados são analisados via espectrômetro de massa. Entender essas curvas é fundamental para a estratégia do controle do processo de descarburização em equipamentos a vácuo. A Figura 7 apresenta as linhas de tendências dos gases gerados.

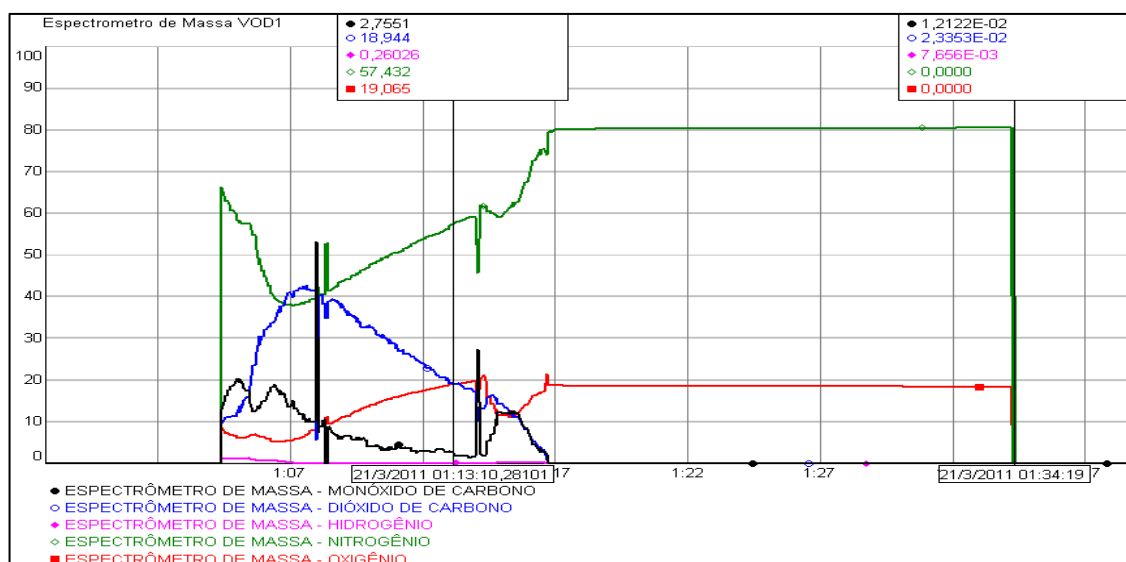


Figura 7. Tela do espectrômetro de massa.

Podemos admitir que a etapa sopro de oxigênio possa ser dividida em dois períodos. No primeiro período, no qual o teor de carbono é maior que o valor de carbono crítico, a taxa de descarburização é independente da percentagem de carbono do banho, a velocidade de descarburização é controlada pelo suprimento de oxigênio. Atingindo o carbono crítico, e para valores inferiores a este, o transporte de carbono até os sítios de reação passa a ser a etapa controladora do processo (etapa mais lenta). De acordo com Ribeiro⁽²⁾ e Fruehan⁽³⁾ o carbono crítico é definido pela temperatura e composição do banho, pressão parcial de CO, vazões de oxigênio e gás inerte, área da interface da reação e geometria do reator/ lança.

Estima-se que o valor do carbono crítico para o GNO com 2% de silício, esteja em torno 50 ppm a 100 ppm. Pela análise dos gases, podemos concluir que o carbono crítico é atingido no momento em que a curva do oxigênio cruza com a curva do dióxido de carbono, deixando que a velocidade de descarburização seja controlada pelo transporte de carbono até os sítios de reação.



Quando o valor do carbono crítico é atingido, o sopro de oxigênio é interrompido e a pressão no interior do vaso é reduzida para valores abaixo de 4 mbar. Essa mudança na pressão do vaso altera o equilíbrio do sistema, fazendo com que a reação de descarburização volte a ser controlada pelo suprimento de oxigênio, que se encontra dissolvido no aço. Porém a reação rapidamente volta a ser controlada pelo transporte de carbono até os sítios de reação, devido o aço estar com valores de carbono muito baixos. Esse transporte demanda tempo e agitação do banho. O tempo determinado para etapa de VCD é de 20 minutos. A Figura 8 apresenta a divisão da etapa de descarburização (sopro de oxigênio e VCD) e o ponto onde se atinge o carbono crítico.

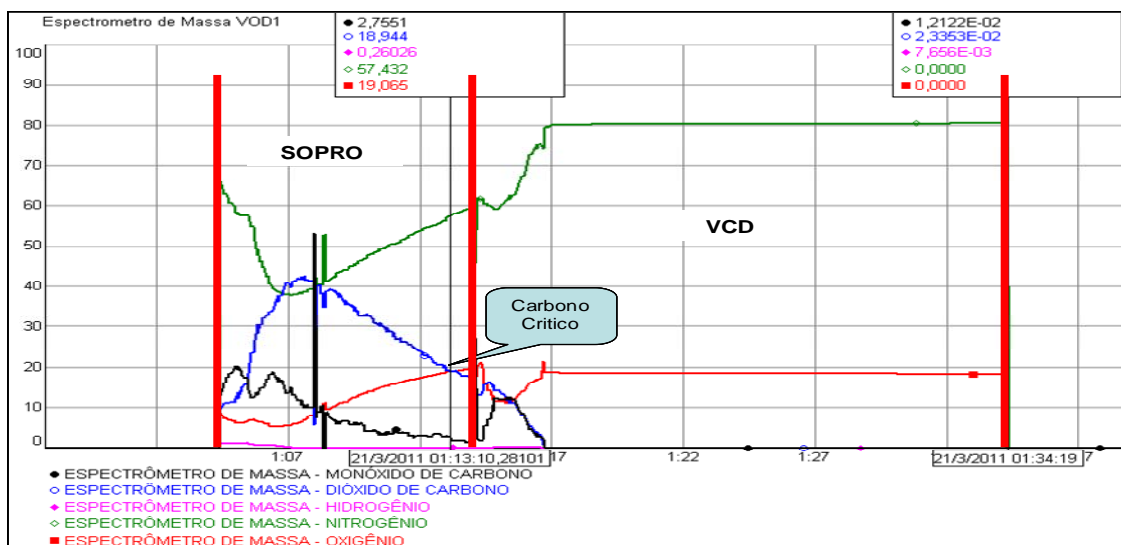


Figura 8. Divisão da etapa de descarburização e o ponto onde se atinge o carbono crítico para uma determinada corrida de P920P.

De acordo Ribeiro⁽²⁾ a agitação do banho durante o sopro de oxigênio e o VCD é fundamental, pois a pressão ferrostática do próprio banho poderia dificultar a desgaseificação da parcela de aço que permanece na região inferior da panela. A Figura 9 apresenta as linhas de tendências da pressão e vazão do gás no *plug* da panela, durante todo o processo da corrida no VOD.

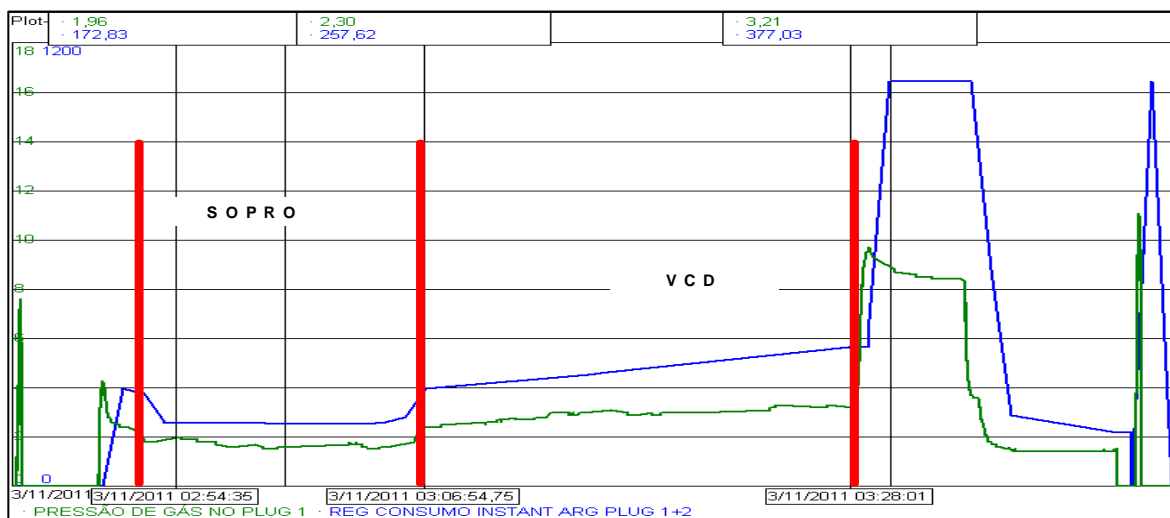


Figura 9. Linhas de tendências da pressão e vazão do gás no *plug* da panela.



Podemos observar que o valor da pressão e vazão do gás aumenta em função do tempo de VCD. Esse aumento na agitação do banho na etapa final do VCD permite que o pouco carbono presente no aço seja transportado para os sítios de reação, reduzindo o valor do carbono no aço para níveis abaixo de 20 ppm.

Ao final da descarburização é feita então a desoxidação do aço e da escória com a adição de silício. No aço GNO, o silício cumpre a função de desoxidante e elemento de liga. Na sequência ajusta-se a temperatura do aço de acordo com o padrão de lingotamento e o aço segue para o Lingotamento Contínuo.

3 RESULTADOS

Depois do período de desenvolvimento e adequação dos métodos e processos de elaboração do aço na Aciaria, o teor de carbono apresentado na Figura 10 indica o sucesso do trabalho. Comparado com o resultado de 2009, conseguimos reduzir o teor médio de carbono em 18%. Atingindo uma média de 23 ppm, o que garante um envelhecimento magnético menor que 5%.

EVOLUÇÃO DO TEOR MÉDIO DE CARBONO NO GNO

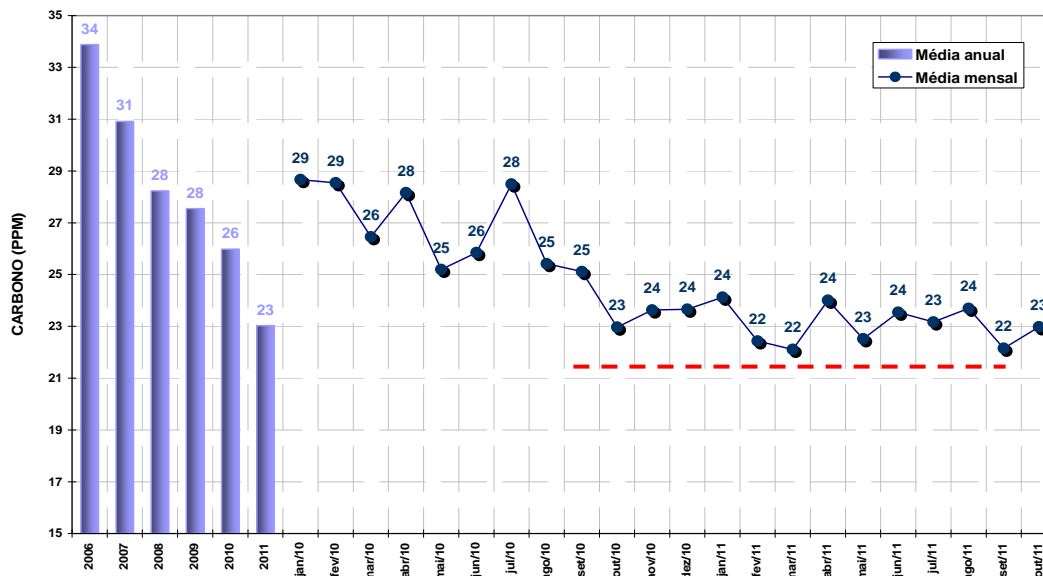


Figura 10. Evolução de teor médio de carbono no GNO.

O rendimento do silício adicionado indica a eficiência do processo. Mesmo aumentando o nível de oxigênio dissolvido no banho metálico, pode-se observar uma melhora no rendimento do silício adicionado. A Figura 11 apresenta o rendimento do silício adicionado e o volume de oxigênio soprado no VOD.

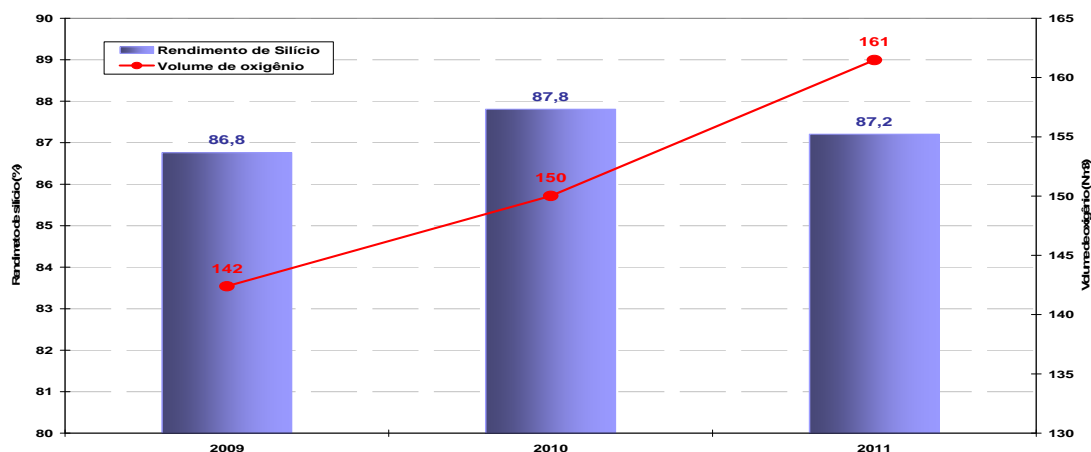


Figura 11. Média do rendimento do silício adicionado e do volume de oxigênio soprado no VOD.

O controle da basicidade binária da escória é fundamental para promover a remoção do enxofre do aço e proteger o refratário da panela. A Figura 12 apresenta a basicidade binária da escória e o teor de enxofre final no aço.

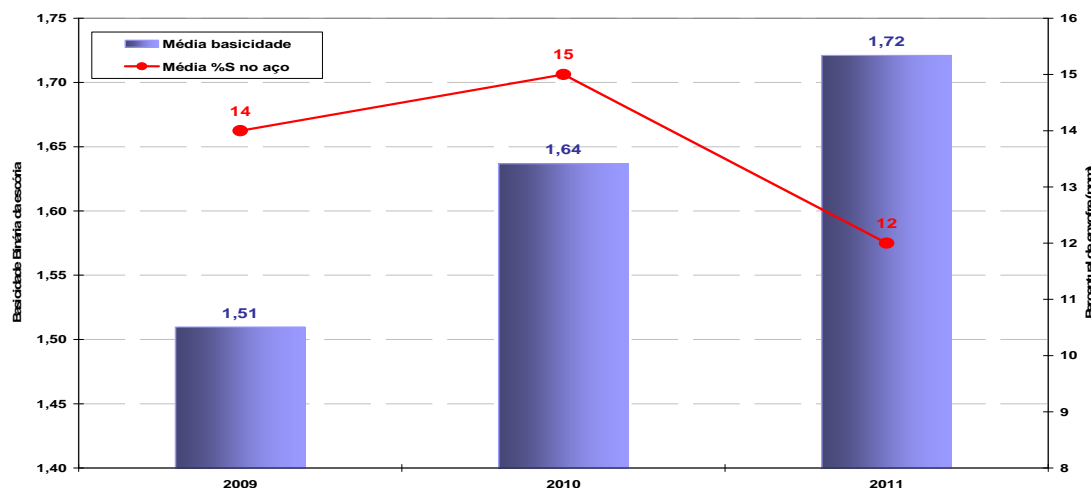


Figura 12. Média do rendimento do silício adicionado e do volume de oxigênio soprado no VOD.

4 CONCLUSÃO

Implantar o amostrador UBC no Lingotamento Contínuo foi fundamental, pois, embora não tenha reduzido significativamente o teor de carbono, reduziu o *pick-up* de carbono entre a última amostragem do aço no VOD e a amostra final do Lingotamento Contínuo em 40%.

A adequação nos métodos e nos processos de elaboração do aço GNO P920P foi eficaz, permitindo que o teor médio de carbono reduzisse em 18% de 2009 para 2011.

O aumento no volume de oxigênio soprado no VOD não alterou o rendimento do silício adicionado. Este resultado foi possível em função da melhora na pressão de vácuo durante a etapa de VCD.

O controle da basicidade binária da escória, mantendo seu valor médio acima 1,7, permitiu reduzir o teor médio de enxofre no aço e garante um desgaste mínimo do refratário da panela.



REFERÊNCIAS

- 1 MARCON, Leomar. **Estudo de inclusões não-metálicas em um aço de construção mecânica**. 2005. 109 f. Dissertação (Mestrado em Metalurgia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- 2 RIBEIRO, D. B (coord); ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS. **Refino Secundário dos Aços**; Cursos ABM; Programa de Educação Continuada, 2010.
- 3 FRUEHAN, R. **The Making, Shaping and Treating of Steel**. Steelmaking and Refining Volume, 11. ed Pittsburgh, The AISE Steel Foundation, 1998.