



## ANÁLISE SOBRE A REDUÇÃO DO PICK-UP DE NITROGÊNIO NA PRODUÇÃO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS<sup>1</sup>

Décio Sartori Felix Filho<sup>2</sup>

Humberto Marin<sup>3</sup>

Joilson Moreira Ferreira da Silva<sup>4</sup>

Rafael Porto<sup>5</sup>

### Resumo

Este trabalho tem como objetivo mostrar uma análise da redução do pick-up de nitrogênio para os aços inoxidáveis ferríticos estabilizados ao titânio produzidos na ArcelorMittal Inox Brasil através de uma nova prática de processo no convertedor. Com o objetivo de produzir aços com baixo teor de nitrogênio no convertedor AOD, foi desenvolvida uma nova prática de vazamento do aço, através da utilização de princípios metalúrgicos de remoção/absorção de nitrogênio. Com a utilização desta nova prática foi possível aumentar o rendimento de cromo, melhorar a eficiência de remoção do enxofre no convertedor, além de melhorar a qualidade do aço produzido e reduzir o seu custo de produção.

**Palavras-chave:** Aços inoxidáveis; Nitrogênio; Convertedor AOD-L.

### ANALYSIS OF THE REDUCTION OF NITROGEN PICK-UP IN THE PRODUCTION OF STAINLESS STEEL

### Abstract

This paper aims to show an analysis of the reduction of nitrogen pick-up to stabilized ferritic stainless steels produced at ArcelorMittal Inox Brazil through a new practice in the converter process. Aiming to produce steel with low nitrogen content in the AOD converter, we developed a new practice of tapping steel through the use of metallurgical principles nitrogen for removal / absorption. Using this new practice it was possible increase the chromium yield, improve the efficiency of sulfur removing in the converter, and improve the steel quality and reduce its production cost.

**Key words:** Stainless steel; Nitrogen; AOD-L converter.

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

<sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico, MSC Engenheiro de Controle da Aciaria.

<sup>3</sup> Engenheiro Metalúrgico, MSC Gerente de Laminadores

<sup>4</sup> Engenheiro Metalúrgico, MSC Engenheiro de Controle da Aciaria

<sup>5</sup> Engenheiro Metalúrgico, Gerente de Convertedores.



## 1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis são grupos de aços resistentes a corrosão, contendo acima de 10,5% de cromo e diversos outros elementos de liga, tais como níquel, molibdênio, manganês, silício, titânio, nióbio. Estes elementos de ligas são adicionados para melhorar suas características e propriedades metalúrgicas, físicas, químicas e mecânicas, adequando-o às condições específicas de uso. Os aços inoxidáveis podem ser classificados em diferentes grupos, dependendo da composição química e microestrutura, dentre os quais podem ser mencionados os austeníticos, martensíticos e ferríticos.

Os aços inoxidáveis ferríticos, principalmente os estabilizados pela adição de nióbio e/ou titânio, possuem baixo conteúdo de carbono e nitrogênio em sua composição. Esta característica de composição química propicia melhores propriedades de resistência à corrosão, soldabilidade e conformabilidade.

O aço inoxidável AISI 409 é um aço ferrítico estabilizado (ao Titânio) e com teores de (C+N) < 200ppm, sendo aplicado principalmente na fabricação de tubos e peças para o sistema de exaustão de veículos automotores. Desde o início de produção do aço AISI 409 na ArcelorMittal Inox Brasil têm sido implementadas melhorias no processo de aciaria, destacando-se o desenvolvimento do processo duplex com baixos teores de carbono e nitrogênio no convertedor AOD-L.

O propósito do presente trabalho é desenvolver uma nova prática de produção no convertedor AOD-L para o aço AISI 409, visando assegurar um menor conteúdo de nitrogênio nas placas produzidas. Está nova metodologia possibilitou reduzir as incorporações de nitrogênio após o vazamento do aço no convertedor AOD-L além de melhorar o rendimento de recuperação do cromo e a eficiência de remoção do enxofre.

## 2 OBJETIVO

Este projeto tem como objetivo reduzir a incorporação de nitrogênio bem como melhorar o rendimento de recuperação do cromo oxidado e a eficiência de remoção do enxofre no convertedor AOD-L para o aço AISI 409.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

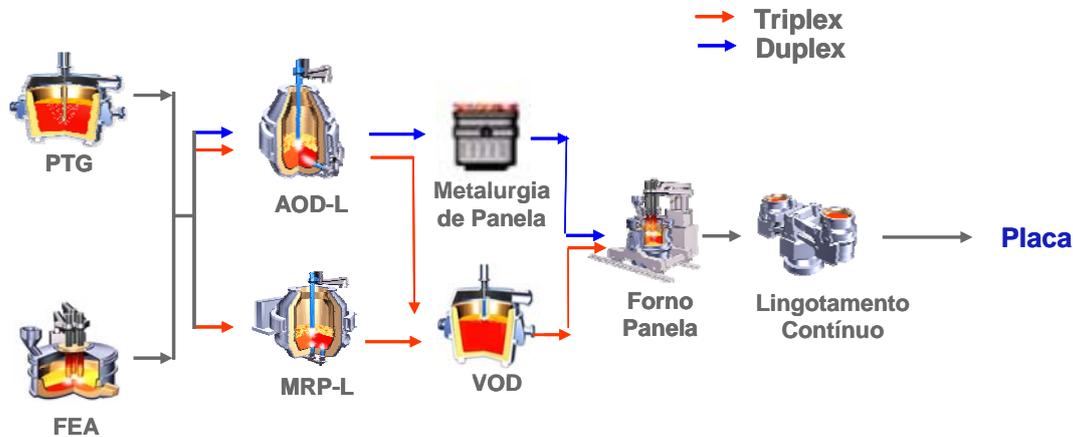
### 3.1 Método de Produção do Aço Inoxidável na ArcelorMittal

O processo de produção do aço inoxidável se inicia com a fusão das matérias primas, principalmente sucata, nos fornos elétricos a arco (FEA) e com a produção do gusa nos alto-fornos. O gusa dos alto-fornos é desfosforado na estação de pré-tratamento de gusa (PTG) e, em seguida misturado ao metal dos fornos elétricos a arco. Este produto é então carregado no convertedor AOD-L onde vai ocorrer o processo de refino, sendo convertido em aço.

Na ArcelorMittal Inox Brasil o processo de produção do aço AISI 409 é realizada através de duas diferentes rotas de produção, duplex e triplex. Na principal rota, triplex, o aço é parcialmente descarburado no convertedor AOD-L e, a etapa final de descarburagem e desnitrigenização é realizada num desgaseificador a vácuo (VOD). Já na rota Duplex o aço é completamente descarburado e desnitrigenado no AOD-L e o



ajuste final de composição química e temperatura é realizado na metalurgia de panela e forno panela, respectivamente. A Figura 1 mostra o fluxo de produção, duplex e triplex, para os aços inoxidáveis produzidos na ArcelorMittal Inox Brasil.



**Figura 1.** Fluxograma simplificado de produção do aço inoxidável na aciaria da ArcelorMittal Inox Brasil.

O processo de refino em conversores AOD-L é dividido em fases com o objetivo de maximizar a eficiência da descarbonização e reduzir a oxidação de cromo. Para que o processo seja economicamente viável, é necessário recuperar o cromo oxidado e isto normalmente é realizado após a etapa de descarbonização através de adições de agente redutor (Ferro Silício) e injeção de gás inerte (argônio), denominada de fase de redução.

Na fase de redução, os óxidos são reduzidos e ao mesmo tempo a atividade de oxigênio e enxofre no aço diminuem consideravelmente, o que facilita e acelera o processo de remoção/absorção do nitrogênio. Para o controle do teor nitrogênio dissolvido no aço é, então, essencial o controle do teor de oxigênio e enxofre no final do processo.<sup>(1)</sup>

O controle do oxigênio nos aços inoxidáveis é muito importante não somente para remover impurezas, tais como enxofre, mas também para melhorar o rendimento de elementos de liga, tais como cromo e manganês. Portanto, o ferro silício adicionado deve estar em quantidades suficientes para garantir as reações de desoxidação (redução do teor do oxigênio) no aço e as reações de redução dos óxidos nobres na escória.<sup>(2)</sup>

Durante o desenvolvimento do aço AISI 409, no processo duplex, foi observado que para obter um baixo teor de nitrogênio na placa era necessário reduzir a desoxidação do banho no convertedor AOD-L, ou seja, ter um aço com maior teor de oxigênio e enxofre no final do processo. Isto se deve ao fato que o oxigênio e o enxofre contidos no aço, por serem elementos tensoativos, impediam a absorção do nitrogênio presente no ar atmosférico durante o vazamento do aço no convertedor. A Figura 2 mostra a diferença do teor de nitrogênio em uma amostra realizada antes do vazamento e outra logo após para um aço com teor de silício variando entre 0 a 0,30%.

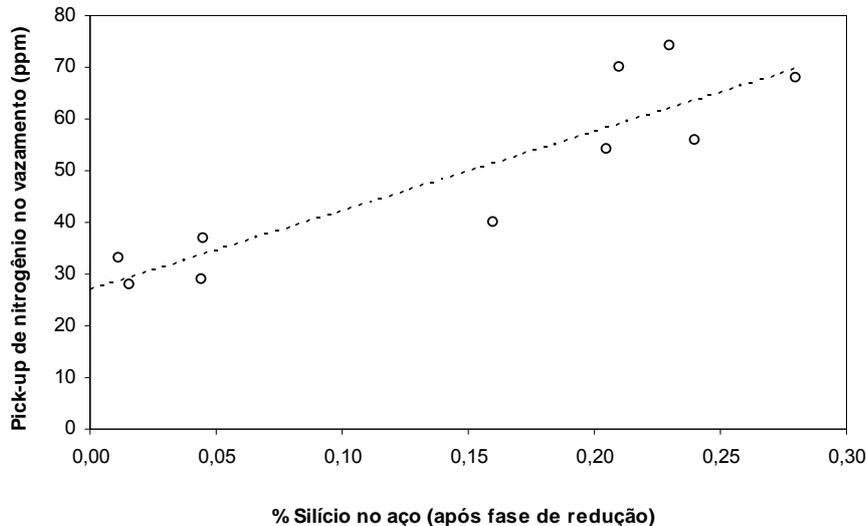


Figura 2. Influência do [%Si] no *pick-up* de nitrogênio durante o vazamento no AOD.

Na Figura 2 pode-se observar que o aço com baixo teor de silício e, conseqüentemente, um alto teor de oxigênio dissolvido, apresenta menor incorporação de nitrogênio durante o processo de vazamento do metal. Porém como a eficiência de recuperação dos óxidos está diretamente relacionada à desoxidação do aço, o rendimento dos elementos de liga, tais como cromo e manganês, ficavam comprometidos.

Como a produção dos aços inoxidáveis AISI 409 no conversor AOD-L pela rota Duplex visa aumentar a competitividade do aço e a flexibilidade de produção da Aciaria, a prática empregada, descrita acima, estava apresentando desvantagens significativas, em termos de custo, qualidade e produtividade. Portanto, a partir de novembro de 2009, foi realizado testes industriais visando melhorar a desoxidação do banho e reduzir o pick-up de nitrogênio no vazamento do aço no convertedor através de uma nova prática de vazamento.

### 3.2 Realização dos Testes Industriais

Na produção em conversores AOD-L, a recuperação dos metais nobres oxidados é realizada com ligas a base de silício, devido à atratividade técnica e econômica. A reação global da redução do cromo oxidado presente na escória pela adição da liga de ferro silício pode ser expressa como:



A eficiência de recuperação dos óxidos ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) está diretamente relacionada à desoxidação (redução do teor do oxigênio) do aço, ou seja, o controle do oxigênio nos aços inoxidáveis é feito pela presença de silício no banho. Portanto, foram realizados testes industriais com adições de quantidades suficientes de ferro silício na redução, afim de garantir as reações de desoxidação no aço e as reações de redução dos óxidos nobres na escória.



Como na fase de redução ocorre a desoxidação do banho, os mecanismos de dessulfuração (remoção do enxofre) e desnitrigenização (remoção do nitrogênio) também são favorecidos.<sup>(3)</sup> A Figura 3 mostra a relação entre a eficiência de dessulfuração em função do potencial de oxigênio da escória ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  e  $\text{MnO}$  presentes na escória). Portanto, nos testes industriais, as reações de remoção do enxofre também foram favorecidas.

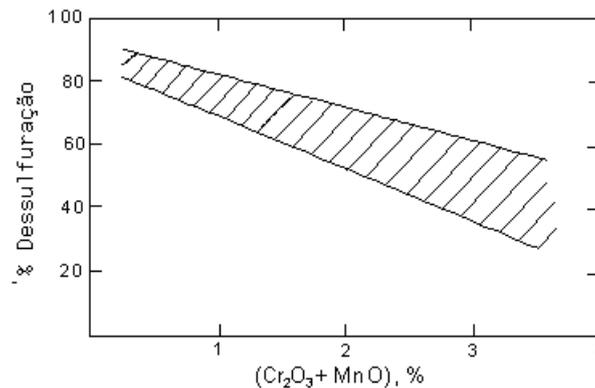


Figura 3. Eficiência de dessulfuração em função dos teores de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  e  $\text{MnO}$  da escória.

A taxa de absorção de nitrogênio depende das reações químicas na interface metal/gás e quando o aço está desoxidado a absorção de nitrogênio do aço, durante o vazamento no convertedor, tende a aumentar. Para que este efeito seja minimizado, nos testes industriais, foi desenvolvida uma nova prática para vazamento do aço no convertedor.

Esta prática consiste em vaziar uma parte da escória formada na fase de redução no fundo da panela e, outra parte, vazada juntamente com o jato de aço, de forma que os óxidos presentes na escória protejam o metal e minimizem a interface do metal desoxidado com o ar atmosférico, tanto no jato quanto no metal contido na panela. Ao final do vazamento, a panela contém o aço e a escória, sendo que parte da escória é removida antes do tratamento na metalurgia da panela.

O processo de produção de aço apresenta elevada geração de gases e poeiras, por isso a utilização de equipamentos periféricos que fazem a limpeza destes gases são extremamente necessários. Logo acima da boca do convertedor está instalado um sistema de coifa móvel. A coifa móvel permite variar o espaço entre a boca do convertedor e o duto do sistema de exaustão de gases, afim de controlar a entrada de ar atmosférico no convertedor. Além disso, no sistema de exaustão, a sucção dos gases gerados durante o processo no AOD-L é realizado por um motor e sua capacidade de sucção controlada por uma válvula denominada de *dumper*. O *dumper* quando totalmente aberto possibilita a máxima captação e, quando fechado, succiona uma menor quantidade de gás, poeira e ar atmosférico.

Portanto outra medida adotada para reduzir a incorporação de nitrogênio, durante a fase de redução no convertedor AOD-L, foi minimizar a entrada de ar atmosférico através do controle da coifa móvel e do *dumper*. Durante a fase de redução onde o aço é desoxidado e, portanto, mais susceptível a absorção de nitrogênio, a redução da entrada de ar atmosférico no convertedor reduz a probabilidade de incorporação de nitrogênio no aço.



### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na realização deste projeto foram realizados 20 testes industriais utilizando a nova prática de processo no AOD-L para o aço AISI 409, conforme descrito no item 3.2. Após a realização dos testes industriais, foi feita uma avaliação dos resultados obtidos comparando-os com os resultados da atual prática de processo, conforme mostram as figuras abaixo.

A Figura 4 mostra o resultado médio de nitrogênio nas placas produzidas com a atual e a nova prática de processo. Pode-se observar que com a nova prática foi possível reduzir o teor de nitrogênio nas placas quando comparadas com a prática atual, tanto para o aço mais desoxidado (%Si  $\approx$  0,30) quanto para o menos desoxidado (%Si  $\approx$  0).

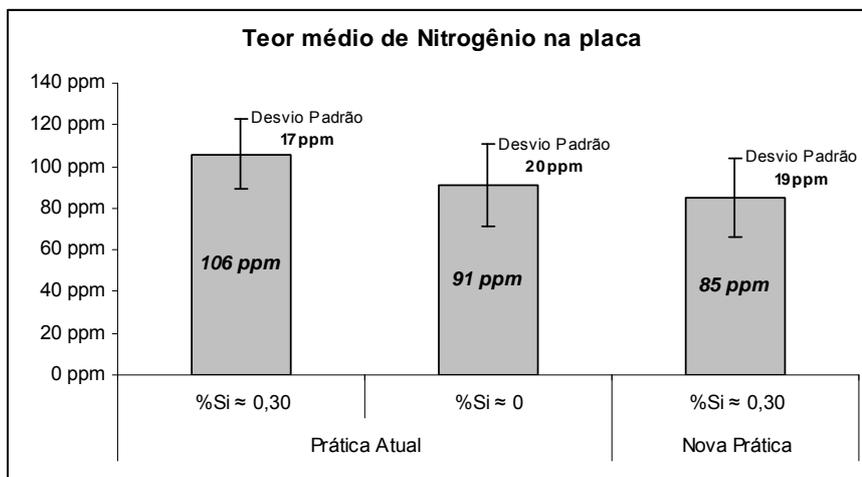


Figura 4. Teor médio de nitrogênio nas placas em função da prática utilizada no AOD-L.

A redução do teor de nitrogênio nas placas produzidas com a nova prática é devido, principalmente, a redução do pick-up de nitrogênio no vazamento do aço no AOD-L. A Figura 5 mostra de forma comparativa o pick-up de nitrogênio no vazamento em função da prática e do teor de silício do aço vazado no convertedor.

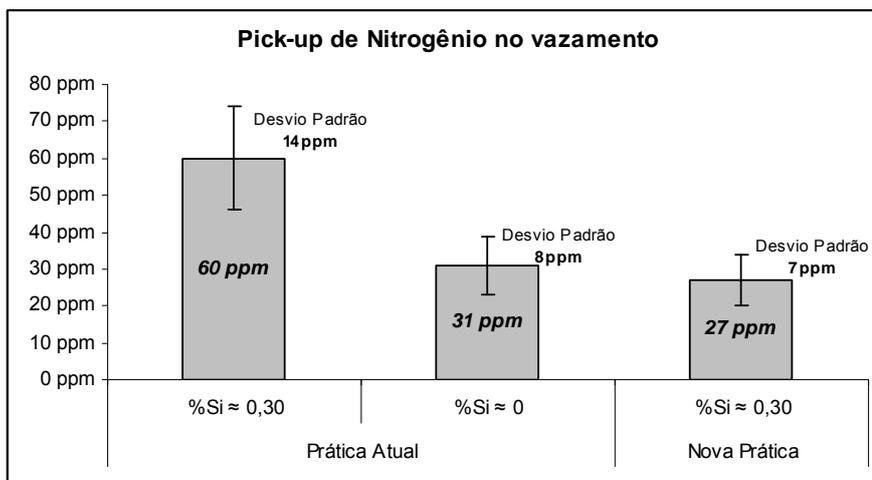


Figura 5. Pick-up de nitrogênio no vazamento do aço em função da prática utilizada no AOD-L.



De acordo com a Figura 5 pode-se observar que para um mesmo teor de silício no aço após a fase de redução ( $\%Si \approx 0,30$ ) o pick-up de nitrogênio durante o vazamento no AOD-L foi cerca de 30 ppm menor para a nova prática de produção. Pode-se observar também, que quando o teor de silício do aço após a fase de redução é próximo de zero o pick-up de nitrogênio é similar ao valor obtido com a nova prática de produção, porém com o teor de silício próximo de zero, o processo apresentava um menor rendimento de cromo. O rendimento de cromo pode ser avaliado pelo teor de cromo oxidado ( $Cr_2O_3$ ) contido na escória após a fase de redução. A figura 6 mostra de forma comparativa o teor de  $Cr_2O_3$  contido na escória após a redução do aço no convertedor em função da prática e do teor de silício do aço.

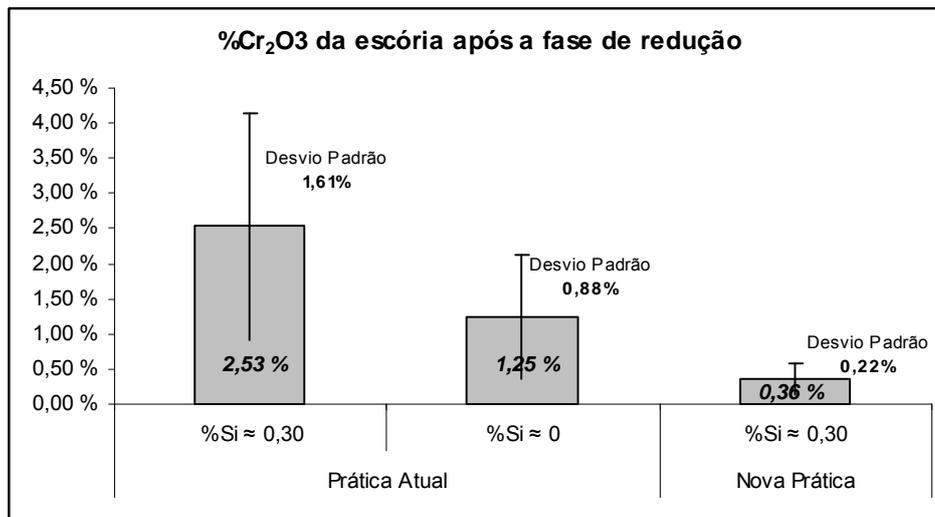


Figura 6. Teor de  $Cr_2O_3$  contido na escória em função da prática utilizada no AOD-L.

Pode-se observar que com a nova prática de produção foi possível reduzir consideravelmente o teor de cromita ( $Cr_2O_3$ ) na escória e, conseqüentemente, um maior rendimento de cromo no convertedor.

Como o enxofre é um elemento prejudicial às características mecânicas do produto laminado, pois o enxofre no aço aumenta a incidência de trincas e reduz a utilidade do aço.<sup>(4)</sup> Como o nível de oxidação do aço no final do processo no AOD-L é menor para a nova prática, pode-se portanto observar que os teores de enxofre na placa são menores, como mostra a Figura 7.

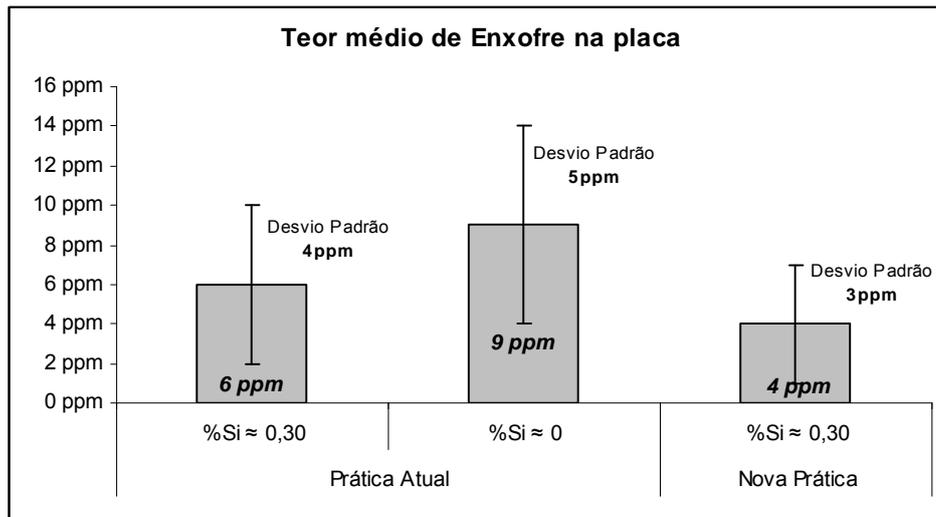


Figura 7. Teor de enxofre na placa em função da prática utilizada no AOD-L.

Outra vantagem observada com a utilização da nova prática é a redução da adição de ligas na panela, principalmente ligas de silício, cromo e titânio. Isto se deve ao fato de que o aço é completamente desoxidado no convertedor e os teores de silício e cromo são conseqüentemente maiores do que a atual prática de produção. A adição de titânio também é menor uma vez que a escória contida na panela possui menor teor de oxigênio, na forma de  $\text{SiO}_2$ , com a nova prática do que a atual prática. A menor adição na panela favorece a redução do custo de fabricação do aço, uma vez que as ligas adicionadas na panela são “especiais” por conter baixo teor de carbono. A Figura 8 mostra a quantidade de ligas adicionadas na panela para ambas as práticas.

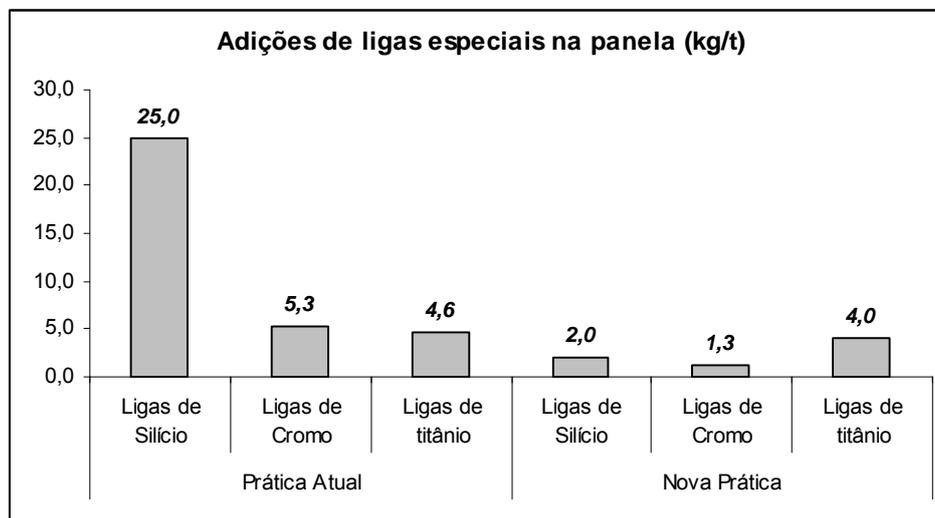


Figura 8. Adição de ligas especiais na panela em função da prática utilizada no AOD-L.



## 5 CONCLUSÕES

O trabalho permitiu produzir placas com melhor qualidade e com custo competitivo. Diante dos resultados apresentadas com a nova prática de produção do aço AISI 409 foi possível produzir placas com menores teores de nitrogênio e enxofre, além de possibilitar aumentar o rendimento de cromo e reduzir do consumo de ligas especiais tornado o custo de produção mais competitivo.

A partir deste desenvolvimento a prática atual foi modificada para a nova prática de produção apresentada neste projeto.

## REFERÊNCIAS

- 1 JUN, Z; MUKAI, K. The rate of nitrogen desorption from liquid iron by blowing argon gas under the condition of non-inductive stirring. *Ironmaking and Steelmaking* , v.39, n.3, p.219-228, 1999.
- 2 ITOH, T; NAGASAKA, T; HINO, M. Phase Equilibria between SiO<sub>2</sub> and Iron-Cromite Spinel Structure Solid Solution, and Deoxidation of Liquid Fe-Cr Alloy with Silicon. *Ironmaking and Steelmaking* , v.42, n.1, p.33-37, 2002.
- 3 FILHO, D. S. F. Avaliação do Efeito do Volume e da Vazão de Gás na Recuperação de Metais Oxidados no Processo de Produção do Aço Inoxidável em Conversores AOD ; Belo Horizonte: UFMG, 2009, 112pg. (M.Sc.,Metalurgia Extrativa).
- 4 MINTZ, B. The influence of composition on the hot ductility of steels and to Problem of Transverse cracking. *Ironmaking and Steelmaking* , v.39, n.9, p.833-855, 1999.