

MELHORIA DA QUALIDADE DA PLACA 1 (PLACA INICIAL DO LINGOTAMENTO CONTINUO) NOS AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENITICOS¹

Daniel Luiz Coimbra²
Joao Geraldo Alves³
José Rodrigues de Oliveira⁴

Resumo

Um dos principais requisitos para aplicação dos aços inoxidáveis é a garantia de excelente qualidade superficial das bobinas. Dentre as imperfeições a denominada esfoliação é de máxima gravidade, principalmente porque é facilmente visualizada, prejudicando a aparência da peça; é ponto preferencial para corrosão durante a aplicação e não é possível sua eliminação por lixamento da bobina. Historicamente a placa 1 (Primeira placa do sequencial do lingotamento contínuo) apresenta um índice elevado de desvio de qualidade esfoliação, devido à instabilidade gerada no início do lingotamento contínuo. Ao longo dos anos a Aperam South America tem estudado os mecanismos de formação do defeito,⁽²⁾ e testado inúmeras soluções para o problema. Neste trabalho iremos focar o estudo do problema baseado na turbulência do fluxo de aço no molde, pois mostrou ser um dos principais pontos geradores do defeito. Os testes industriais foram baseados nos resultados de simulação de fluxo no molde em modelamento físico desenvolvido junto a Universidade Federal de Ouro Preto para diferentes geometrias de válvulas submersas. Após testes industriais foi possível definir os parâmetros de início de lingotamento como: ângulo de saída da válvula, profundidade de imersão da válvula submersa e tipo de válvula submersa. O índice de desvio de qualidade por esfoliação dos aços P304 foi reduzido de 16% para 1,5 após alterações destes parâmetros.

Palavras-chave: Lingotamento Contínuo de placa; Aço inoxidável; Fluxo de aço.

QUALITY IMPROVEMENT OF SLAB 1 (FIRST SLAB CONTINUOUS CASTING) IN AUSTENITIC STAINLESS STEELS

Abstract

One of the main requirements for application of stainless steels is the guarantee of excellent quality surface coils. Among the imperfections called in the skin lamination is of maximum severity, mainly because it is easily viewed, impairing the appearance of the part, it is preferred point for corrosion during application and can not be cleared by grinding the coil. Historically the plate 1 (First plate sequential continuous casting) has shown a high index of quality deviation by skin lamination, due to instability generated at the beginning of the continuous casting. Over the years Aperam South America has studied the mechanisms of defect formation,⁽²⁾ and tested several solutions to the problem. In this paper we will focus on studying the problem based on turbulent flow of steel into the mold because it was shown to be one of the main generators of the defect. The industrial tests were based on the results of the mold flow simulation in physical modeling developed at the University Federal of Ouro Preto for different geometries submerged entry nozzle. After industrial tests was possible to define the parameters of start casting as exit ports, exit angle valve, immersion depth of the SEN. The deviation index quality by skin lamination steels P304 were reduced from 16% (2009) to 1.7% (2012) after changes in these parameters.

Key words: Slab continuous casting; Stainless steel.

¹ Contribuição técnica ao 44º Seminário de Aciaria – Internacional, 26 a 29 de maio de 2013, Araxá, MG, Brasil.

² Eng. Metalurgista, MSc, Gerência de Metalurgia de Inoxidáveis, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.

³ Eng. Metalurgista, Gerência de Solidificação da Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.

⁴ Supervisor Técnico, Gerência de Solidificação de Inoxidáveis da Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais requisitos para aplicação dos aços inoxidáveis é a garantia de excelente qualidade superficial das bobinas. Dentre as imperfeições a denominada esfoliação é de máxima gravidade, principalmente porque é facilmente visualizada, prejudicando a aparência da peça; é ponto preferencial para corrosão durante a aplicação e não é possível sua eliminação por lixamento da bobina.

Bobinas com maior incidência de esfoliações são sucataadas ou desviadas para segunda qualidade, afetando o faturamento, a margem de contribuição, a flexibilidade de programação e a imagem da empresa.

Desde as corridas iniciais produzidas na Aperam South America (Ex-Acesita) observou-se que a esfoliação é predominantemente na bobina 1000, correspondente a primeira placa do lingotamento (Placa 1). Como cada corrida de aço inoxidável é composta de 3 placas, conclui-se pela grande importância de minimizar a esfoliação na bobina 1000. A obtenção e garantia de boa qualidade das placas e bobinas provenientes do início do lingotamento é um dos grandes desafios tecnológicos dos produtores mundiais de aços inoxidáveis. A reduzida literatura sobre o assunto não apresenta solução definitiva para o problema e mostra que a eliminação do defeito é objeto de pesquisa e desenvolvimento dos fabricantes de aços inoxidáveis.⁽¹⁾

Ao longo dos anos a Aperam South America tem estudado os mecanismos de formação do defeito,⁽²⁾ e testado inúmeras soluções para o problema e redução dos desvios de qualidade da placa 1, porém com o aumento crescente das exigências de qualidade ainda assim o índice de desvio da placa 1 era elevado. Em relação ao molde, uma das variáveis mais estudadas é a geometria da válvula submersa e os efeitos que ela apresenta no escoamento e no arraste de escoria. Suas funções principais são evitar a reoxidação do aço líquido e proporcionar um escoamento que evite a turbulência na camada de escória e favoreça a flotação das inclusões.⁽³⁾ O objetivo deste trabalho é analisar a influência do diâmetro, ângulo de saída da submersa no interior do molde. Os testes industriais foram baseados nos resultados de simulação de fluxo no molde em modelamento físico desenvolvido junto a Universidade Federal de Ouro Preto para diferentes geometrias de válvulas submersas.

1.1 Caracterização do Defeito Esfoliação

A Figura 1 mostra o mapa de inspeção da bobina laminada a frio típico do desvio da placa 1. O defeito encontra-se na posição correspondente a cabeça da placa, na parte central no sentido da largura.

Na Figura 2 mostra o resultado típico da análise do MEV (microscópio eletrônico de varredura) do defeito esfoliação. Nele podemos observar a presença de Na, F, Ca que são constituintes típicos do pó fluxante, confirmando assim a hipótese de que a causa das esfoliações da placa 1 está relacionada à presença de inclusões originadas do pó fluxante do lingotamento contínuo.

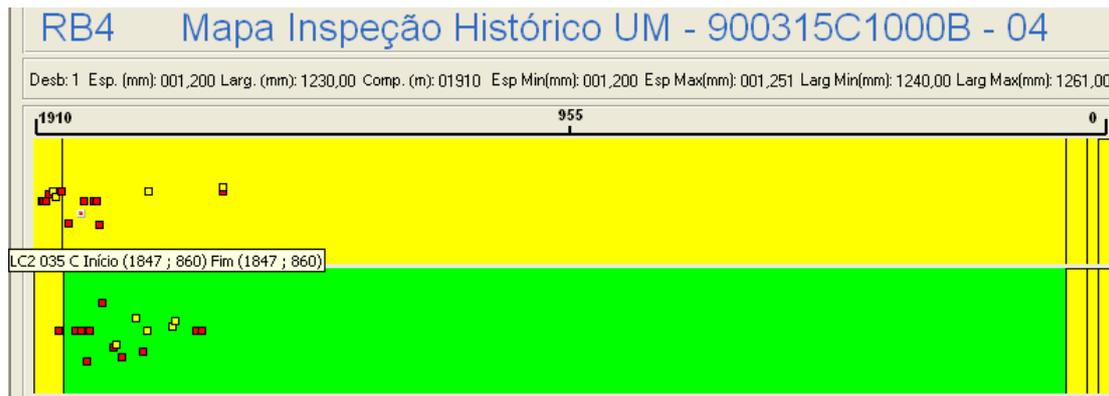


Figura 1. Mapa de inspeção bobina laminada a frio da placa 1.

Spectrum processing:
No peaks omitted

Processing option: All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard:

O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
F MgF2 1-Jun-1999 12:00 AM
Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM
Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM
Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	19.95	36.53
F K	9.73	13.00
Na K	2.77	3.54
Al K	0.84	0.92
Si K	12.36	12.89
Ca K	10.90	7.97
Cr K	8.80	4.96
Mn K	10.08	5.37
Fe K	22.48	11.79
Ni K	2.08	1.04

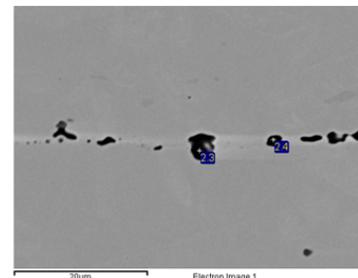
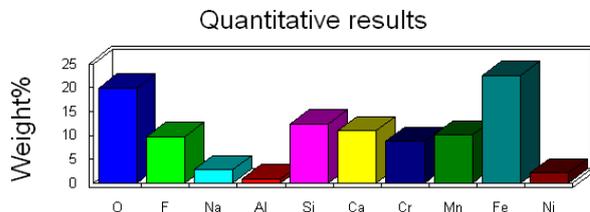
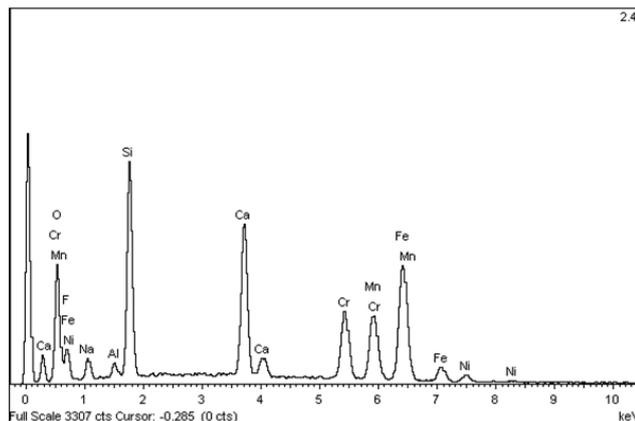


Figura 2. Análise MEV do defeito esfoliação encontrada na placa 1.

1.2 Mecanismos de Formação das Esfoliações na Placa 1

Em função das características das esfoliações na bobina descrita no item 1.1, de sua correlação com as incrustações na placa, da distribuição das incrustações e a análise quantitativa da mesma propôs o seguinte mecanismo para a formação do defeito:

1.2.1 Precipitação de partículas de aço sólido

Devido à perda de temperatura do aço no distribuidor e pela própria necessidade da selagem, a temperatura do aço no molde é baixa, próximo à temperatura *liquidus*. Portanto quando o pó fluxante é adicionado, com conseqüente retirada adicional de calor, pode ocorrer a formação de partículas, que caíram para o interior da placa devido ao efeito gravitacional e seriam aprisionada na região próxima a cabeça da barra falsa ou na sub-superfície da casca solida lateral. Quando o resfriamento da superfície superior do molde é muito intenso ocorre a solidificação de grandes pedaços de aço denominada “cascões”, que são geradores de defeitos superficiais

na bobina. Logicamente uma das formas de se evitar esta precipitação de partículas seria ter um processo com um aporte térmico adequado na partida da máquina, daí a necessidade de conhecer bem o fluxo de aço no molde na partida da máquina de lingotamento. Neste trabalho iremos focar o estudo do problema baseado no fluxo de aço no molde, pois mostrou ser um dos principais pontos para a solução do problema.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 3 mostra os desenhos geométricos das válvulas submersas usadas para lingotamento dos aços inoxidáveis. A válvula submersa denominada de 70/15° apresentava diâmetro de 70 mm e ângulo de saída de 15° para cima. Esta válvula era usada nos aços ferríticos ao Ti devido ao melhor desempenho no lingotamento, pois permitia um maior tempo de lingotamento mesmo com a ocorrência da obstrução parcial da válvula que é uma característica dos aços ao Ti. Para os demais aços era usada a válvula submersa denominada 55/10° apresentava diâmetro de 55 mm e ângulo de saída de 10° para cima.

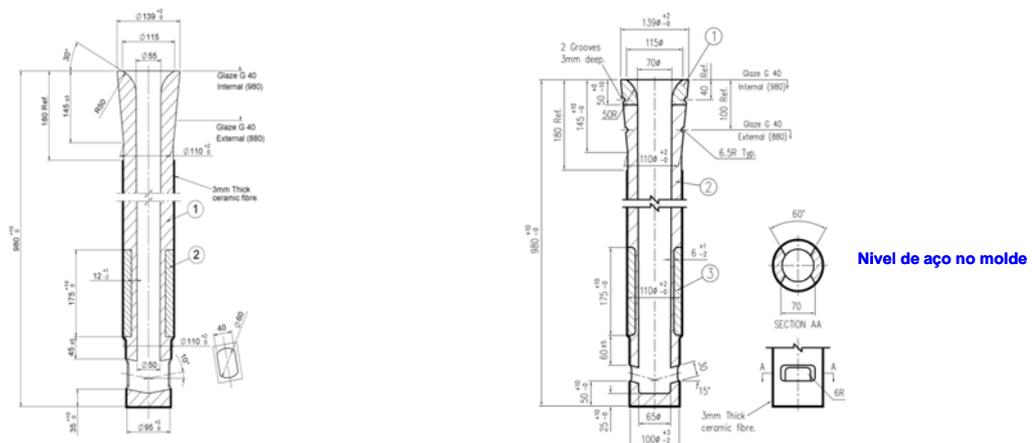


Figura 3. Desenhos geométricos das válvulas submersas utilizadas nos aços inoxidáveis.

Durante o estudo foi encontrado uma diferença significativa do desempenho das válvulas citadas acima.

Os resultados de inspeção de qualidade superficial das válvulas submersas 70/15° tinham um índice de desvio significativamente menor, de 1,2% contra 11,5% (Figura 4). Porém existia a dúvida se esta diferença era atribuída somente à geometria da válvula submersa, ou se estava associada a fatores como tipo de aço; profundidade de imersão da válvula submersa.

A investigação desta diferença de desempenho das válvulas submersas na qualidade das bobinas final foi feita através do estudo da filmagem do modelo físico desenvolvido junto a Universidade Federal de Ouro Preto em 2003.^(4,5)

Este projeto consistia na simulação em água em escala 1:1 do escoamento de água através da válvula submersa com uso de corante e observação dos fluxos presentes para cada situação testada.

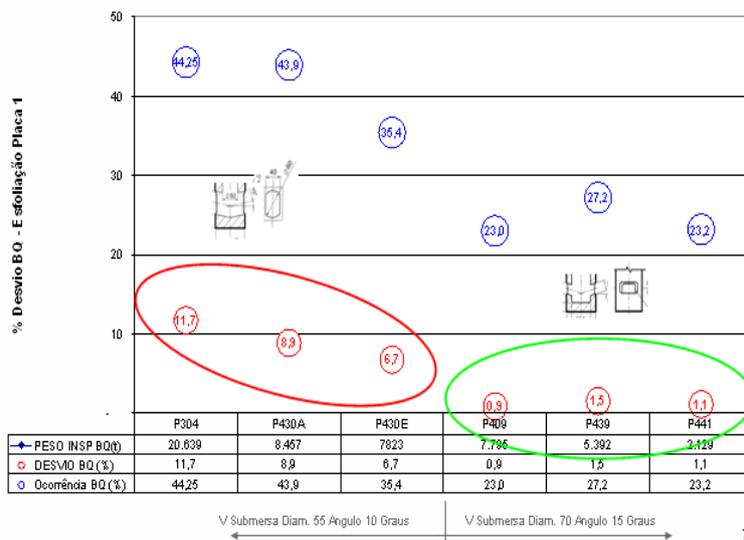


Figura 4. Comparação do índice de desvio por Qualidade – Placa 1 por tipo de válvula submersa e aço.

As condições de simulação foram:

- dimensional do molde da máquina de lingotamento 2;
- geometria das válvulas submersa 70/15 e 55/10 usadas na máquina de lingotamento 2;
- profundidade de imersão variando de 80 m a 160 mm;
- vazão de simulação de 200 l/min.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A visualização do fluxo possibilitou a identificação do padrão de fluxo existente com as duas válvulas submersas usadas para a produção de aços na Aperam.

As figuras mostram o resumo das variáveis simuladas por tipo de válvula e imersão usada.

Na Figura 5 é possível observar o padrão de fluxo denominado “duplo rolo” e uma maior turbulência no menisco na válvula submersa 55/10. O padrão de fluxo “duplo rolo” independe da profundidade, porém a turbulência com formação de vortex próximo do centro do molde é mais acentuada para a profundidade de 110 mm.

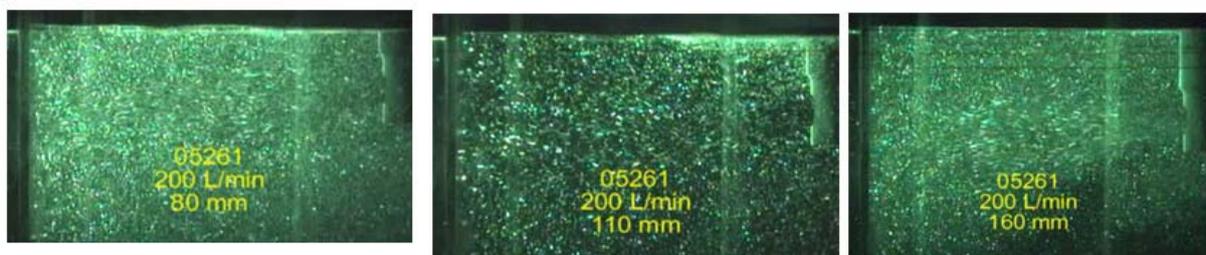


Figura 5. Simulação válvula submersa 55 mm e ângulo de saída 10° para profundidade de imersão de 80 mm, 110 mm e 160 mm. Fonte: Projeto Simulação Molde LC2 – Aperam.

Na Figura 6 é possível observar o padrão de fluxo mais suave e com menor turbulência no menisco para a válvula submersa 70/15. Porém para profundidade menor (80 mm) é observado uma forte turbulência próximo do centro do molde.

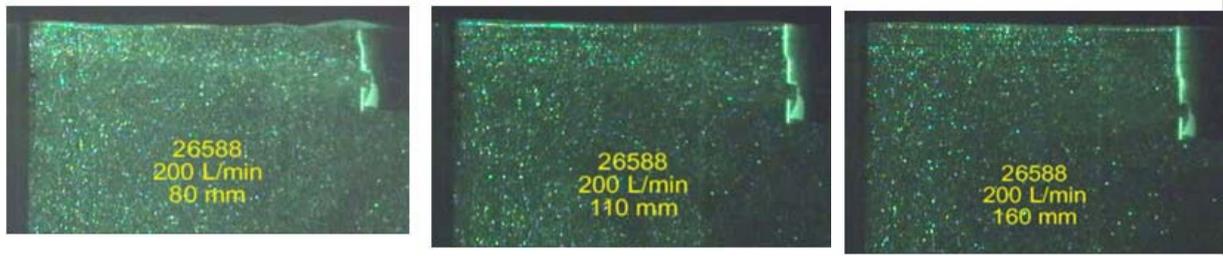


Figura 6. Simulação Válvula Submersa 70 mm e ângulo de saída 15° para profundidade de imersão de 80 mm, 110 mm e 160 mm. Desenhos geométricos das válvulas submersas utilizadas nos Aços Inoxidáveis. Fonte: Projeto Simulação Molde LC2 – Aperam.

A partir destas observações iniciamos os testes industriais com uso da válvula submersa 70/15 nos aços austeníticos (Série 304). A opção por esta série 304 foi devido ao pior desempenho de qualidade destes aços quando do uso da válvula submersa 55/10. Nos testes foi objetivado a profundidade de 110 mm a 160 mm conforme observado no modelamento físico mostrado acima.

Na Figura 7 é mostrado o resultado de qualidade obtido com uso da válvula 70/15.

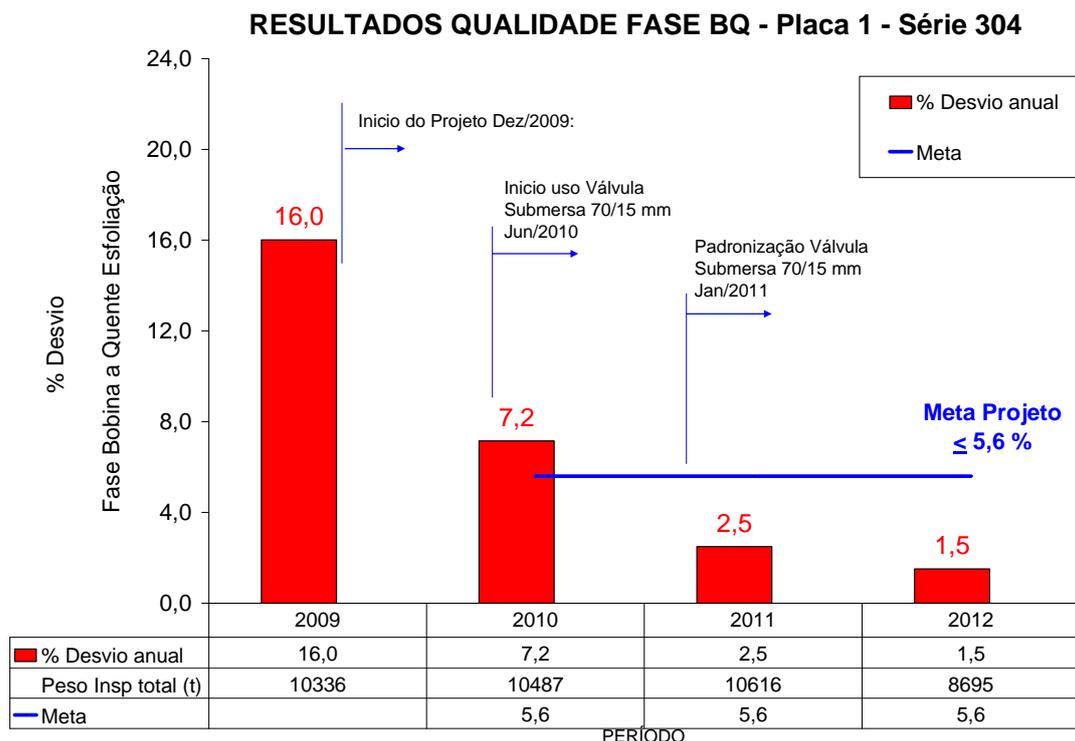


Figura 7. Resultado de qualidade da inspeção da bobina a quente das placas 1 dos aços Inoxidáveis austeníticos – Série 304.

É possível observar a redução drástica dos desvios de qualidade a partir do uso da válvula submersa 70/15 e profundidade entre 110 mm a 160 mm em junho de 2010. Com a padronização desta válvula submersa a partir de janeiro de 2011, foi possível atingir níveis de qualidade recorde para os aços inoxidáveis austeníticos.

Conforme demonstrado através do modelamento físico, para profundidade de imersão de 110 a 160 mm, esta válvula apresenta um fluxo de aço mais suave e com menor turbulência no menisco. Esta condição leva a um maior aporte térmico no menisco reduzindo assim a formação de partículas sólidas impregnadas com pó fluxante, e por fim reduzindo a formação de cascão e a geração do defeito esfoliação.⁽⁶⁾

4 CONCLUSÃO

Foi obtida uma redução do índice de desvio por esfoliação na fase bobina a quente de 16% (2009) para 1,5% (2012).

Os resultados de simulação de fluxo no molde em modelamento físico desenvolvido junto a Universidade Federal de Ouro Preto foram fundamentais para o embasamento dos testes industriais, e confirmar o mecanismo de formação do defeito na placa 1.

O uso da válvula submersa 70/15 com a profundidade de imersão entre 110 mm a 160 mm apresentaram excelentes resultados na redução do defeito esfoliação nos aços inoxidáveis austeníticos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFOP, pelo desenvolvimento do modelamento físico em água na pessoa do Professor Carlos Antônio da Silva.

REFERÊNCIAS

- 1 XAVIER; J.C.O, e outros – Relatório de visita as usinas européias produtoras de aços inoxidáveis planos – IA-146/86, 1986.
- 2 CARVALHO, J.R. Esfoliação em bobinas de aços inoxidáveis provenientes de placas 1. RAT IQ/IQM-A/391/86.
- 3 FREITAS, S.L., WOLLMANN, A.M, FRANÇOIS, M.G., VILELA, A.C.F. O efeito da inclinação dos furos laterais da válvula submersa no escoamento e no arraste de escória no molde de lingotamento contínuo. XXXI Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, 2001, Vitória ABM. P 609-618.
- 4 SILVA, C.A; Caracterização do escoamento do aço líquido no molde da máquina de lingotamento – Modelagem Física – Projeto UFOP/Acesita, 2003.
- 5 WANG, Y.H., A study of the effect of casting conditions on fluid flow in the mold using water modelling. Steelmaking Conference Proceedings, 1990, Chicago P 473-480.
- 6 W, CHIAPPAROLI, S.SYLVESTRE, J.MADIAS; G.D.GRESIA. Estudo em modelo de água del efecto del ancho de molde, velocidad de colada y profundidad de inmersión de buza. XXXI Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, 2001, Vitória ABM. P 589-598.