



REALIZAÇÃO DE LIMPEZA ÁCIDA EM MÁQUINA DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO¹

Gabriel Mombrini Pigatti²
Paulo Sérgio S. Santiago³
Ederson Fernandes Pimentel⁴
Flavio Paulo Pugnall da Silva⁵
José Carlos de Pontes Junior⁶

Resumo

O lingotamento contínuo é uma das etapas mais importantes na produção de aço, sendo um método rápido e eficiente na fabricação de placas ou tarugos através de processos de resfriamento onde o aço líquido é moldado e solidificado. A água de resfriamento é crítica neste processo para assegurar que cada placa / tarugo sejam produzidos isentos de defeitos, que a máquina seja protegida de danos relacionados a resfriamento inadequado e que a disponibilidade, vida útil e índices de produtividade da máquina sejam maximizados. Assim, os sistemas de resfriamento primário e secundário devem estar operando plenamente, e, mediante a existência de problemas relacionados com corrosão e/ou deposição que impeçam o atingimento das vazões requeridas, a condição ótima pode ser recuperada através de utilização de processos de limpeza química. Este trabalho descreve os testes de aceitação, planejamento e execução de limpeza ácida inédita e com grande sucesso em duas máquinas de lingotamento contínuo da ArcelorMittal Tubarão que enfrentavam problemas de redução em velocidade de lingotamento, constantes alarmes por baixa vazão de água e entupimento de bicos spray causados por excessiva deposição nas tubulações de água de resfriamento.

Palavras-chave: Limpeza ácida; Lingotamento contínuo; Sistema de resfriamento.

ACIDIC CLEANING CARRIED OUT IN CONTINUOUS CASTING MACHINE

Abstract

The continuous casting is one of the most important steps in the production of steel, being a fast and efficient method in the manufacturing of slabs or billets through cooling process where the liquid steel is molded and solidified. The cooling water is critical in the process to ensure that each slab/billet are produced free of defects, the machine is protected from improper cooling-related damage and the availability, useful life and machine productivity indices are maximized. Thus, primary and secondary cooling systems should be operating fully, and, upon the existence of problems related to corrosion and/or deposition that impede the achievement of the required flow rates, the optimal condition can be recovered through the use of chemical cleaning processes. This paper is a description of the acceptance testing, planning and execution of an unprecedented acidic cleaning with great success on two casters of ArcelorMittal Tubarão which were facing problems of casting speed reduction, constant alarms due to low water flow and spray nozzles plugging caused by excessive deposition in cooling water pipes.

Keywords: Chemical cleaning; Continuous casting; Cooling system.

¹ Contribuição técnica ao 33º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 27º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 22 a 24 de agosto de 2012, Belo Horizonte, MG.

² Eng. Metalúrgico. Especialista de Produção de Placas, ArcelorMittal Tubarão. Serra.

³ Eng. Químico. Gerente de Desenvolvimento de Mercado, Nalco Brasil Ltda. Campinas.

⁴ Eng. Metalúrgico. Engenheiro de Aplicação da Nalco Brasil Ltda. Serra.

⁵ Eng. Produção. Especialista de Manutenção Mecânica, ArcelorMittal Tubarão. Vitória.

⁶ Eng. Metalúrgico. Gerente de área de Confiabilidade de Produção de Placas. ArcelorMittal Tubarão. Vitória.



1 INTRODUÇÃO

A planta de lingotamento contínuo da ArcelorMittal Tubarão (AMT) iniciou operação em 1995, sendo que atualmente existem 3 máquinas em operação, como descrito na Tabela 1.

Tabela-1: dados de projeto das máquinas de lingotamento

| MÁQUINA | MLC#1 | MLC#2 | MLC#3 |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------------------|
| Projeto | SMS Demag | SMS Demag | SPCO - Steel Plantech |
| Tipo | Placas | Placas | Placas |
| Partida | 1995 | 1998 | 2007 |
| Veios | 2 | 2 (twin) | 2 |
| Cap. de produção (M Ton/ano) | 2,1 - 2,3 | 2,4 - 2,6 | 2,8 - 2,0 |
| Velocidade de Lingotamento (m/min) | 1,7 | 1,7 | 1,7 |

Todas as máquinas possuem sistema de resfriamento primário (sistema de resfriamento fechado dos moldes), secundário (sistema direto de resfriamento de sprays - Figura 1) e de máquina (indireto).

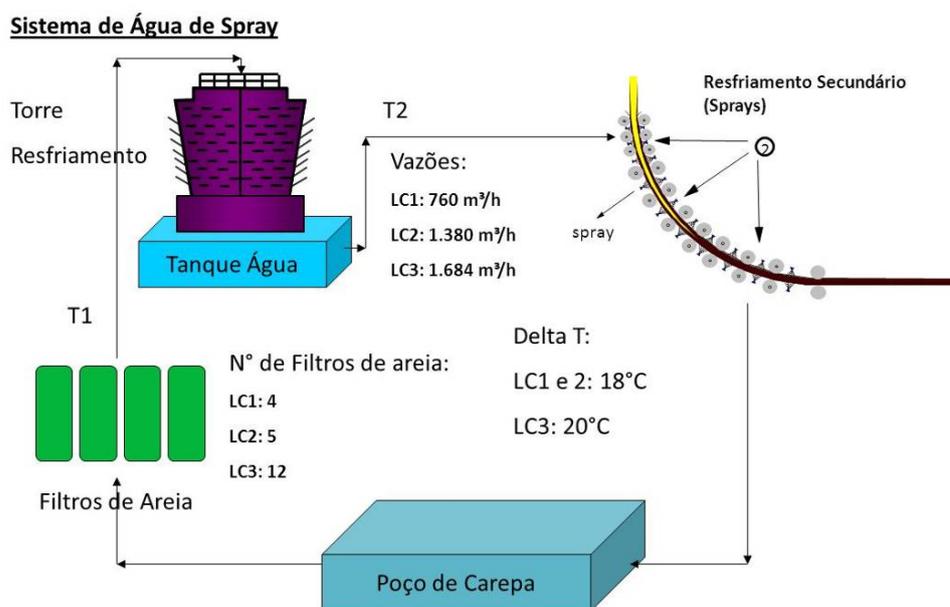
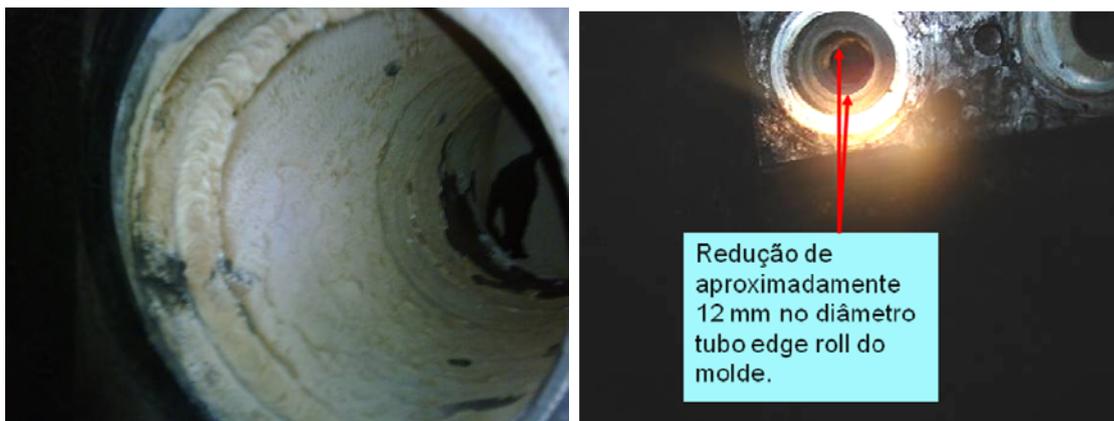


Figura-1: sistema de resfriamento secundário

A partir de 2009 as máquinas 1 e 2 começaram a apresentar perda de índices de produtividade, diminuição na velocidade de lingotamento, paradas não programadas para desobstrução de bicos (o índice de obstrução chegou a 50%) motivados por problemas de forte deposição nos circuitos de água de resfriamento como mostrado nas fotos (Figuras 2, 3 e 4).



Redução de aproximadamente 12 mm no diâmetro tubo edge roll do molde.

Figura 2: Tubos do Segmento zero e da placa de conexão de água spray de um molde (Edge roll) da MLC#1.



Figura 3: Tubos de distribuição de água spray e detalhes de bicos sprays da MLC #1.



Figura 4: Loop de segmento da MLC#2.

Amostras tomadas em diferentes partes da máquina apresentaram a composição analítica mostrada na Tabela 2.



Tabela-2: Análises de depósitos

| ELEMENTO ANALISADO | Segmento zero, MLC-1 | Segmento 2, * MLC-1 |
|--|---|--|
| Data amostra | 25/Fev/2010 | 12/Fev/2010 |
| Cálcio (% CaO) | 13 | 14 |
| Ferro (% Fe ₂ O ₃) | 12 | 39 |
| Alumínio (% Al ₂ O ₃) | 11 | 2 |
| Silica (% SiO ₂) | 10 | 4 |
| Fluoreto (% F) | 9 | 12 |
| Manganês (% MnO) | 4 | 4 |
| Fósforo (% P ₂ O ₅) | 4 | 2 |
| Zinco (% ZnO) | 2 | 1 |
| Magnésio (% MgO) | 1 | 1 |
| Sódio (% Na ₂ O) | 1 | 1 |
| Enxôfre (% SO ₃) | 1 | |
| Perda a 500 C | 25 | 13 |
| Perda a 925 C | 31 | 19 |
| Difração por Raio-X | Magnetita, Fluorita (CaF ₂) | Magnetita, Fluorita (CaF ₂) Goetita (FeOOH) |

A partir de abril/2010 a AMT contratou a Nalco para tratar estes sistemas de resfriamento, com garantia contratual de resultados. Dentre os índices de performance estabelecidos destacavam-se o índice de obstrução de bicos spray (máximo de 10% ao mês) e o atendimento às vazões requeridas de água nos loops de resfriamento visando atender a determinada curva de resfriamento nas máquinas (relativa à determinadas espessura de placa e velocidade de lingotamento).

Para atender a este requerimento contratual a Nalco solicitou que fossem realizadas limpezas nas máquinas que apresentavam pior condicionamento (MLC #1 e #2), visto que não seria seguro a remoção dos depósitos existentes apenas com a aplicação do tratamento químico e com as máquinas em operação pelo risco de causar aumento nos índices de entupimento dos bicos spray (com orifício de até 1 mm).

Como uma limpeza química se trata de operação de risco, foram realizados testes para avaliação dos mesmos. A seguir descrevemos os testes e, na sequência, os procedimentos implementados visando assegurar o sucesso da referida limpeza, recuperando os índices de produtividade sem consequências colaterais indesejáveis.

1 AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE LIMPEZA A SER ADOTADO

Conforme visto na Tabela 2, as análises de depósitos coletados na MLC#1 indicaram forte presença da fluorita (CaF₂), que normalmente apresenta tenacidade e forte dificuldade na remoção mecânica. Fazia-se necessário, então, avaliar qual seria o procedimento químico mais efetivo para auferir uma boa eficiência de limpeza sem comprometer a vida útil das diversas partes da máquina, o que foi feito considerando os seguintes aspectos:

- os riscos inerentes à realização de uma limpeza química ácida;
- a dificuldade na remoção das incrustações existentes, o que requeria a aplicação de ácidos inorgânicos;
- a possibilidade de formação de ácido fluorídrico quando da realização de limpeza ácida;



- a existência de metalurgia e material diversificados nos loops de resfriamento - aço carbono, cobre/admiralty, aço inox, O-rings - que poderiam ser atacados pelo HCl.

Optou-se então pela realização de testes em laboratório, com apoio da Hidro Química (empresa especializada em limpezas químicas) e do suporte técnico da Nalco na Europa e EUA, visando pré-avaliar a eficiência da limpeza e a incidência de ataques corrosivos nos diferentes materiais envolvidos.

Foram então enviados para o laboratório da Hidro Química peças dos loops de resfriamento da MLC1 (um tubo de aço inox 316L contendo depósitos, mangueiras de aço inox, de borracha e nipples de admiralty) para a realização de testes para definição, através de procedimento piloto (Figura 5), de procedimento seguro e eficaz para limpeza do tubo sem danos às metalurgias presentes.



Figura-5: Sistema de Testa Piloto.

2.1 Procedimento Aplicado

Foram aplicados nestes testes laboratoriais todas as fases típicas de uma limpeza química incluindo as fases ácida, de complexação, neutralização e passivação.

2.1.1 Testes de solubilidade

Foi retirado do tubo, uma pequena porção do resíduo contido e verificada sua solubilidade em soluções aquosas com diferentes teores de acidez.

2.1.2 Fase ácida

Foi elaborada uma solução aquosa a base de ácido clorídrico com inibidor de corrosão e bifluoreto de amônia; em seguida o tubo foi imerso até uma altura de aproximadamente 10 cm em um béquer contendo esta solução, sob efeito de borbulhamento contínuo com gás nitrogênio, sob condições ambiente de temperatura e pressão. O tubo foi mantido neste sistema por um período de 6 horas. Em outro béquer, contendo a mesma solução e inibidor de corrosão, também com temperatura e pressão ambiente, foram colocadas imersas as conexões, mangueira e borrachas, por 6 horas, afim de verificar possíveis reações que porventura trouxessem danos a estes materiais. Durante esta fase foi monitorado de hora em hora o teor de acidez do meio.

2.1.3 Fase de complexação

Após o período da fase ácida, o tubo foi retirado e enxaguado; em seguida a solução ácida anterior foi substituída por outra, a base de ácido cítrico, para complexação



dos possíveis íons de ferro livres existentes na superfície metálica. Foi mantido o tubo em sistema similar ao anterior por um período de 30 minutos. Esta etapa prepara a superfície do sistema, convertendo o ferro que se encontra em forma de cloretos, sulfatos e outros em citrato de ferro, evitando desta forma a formação de precipitados de hidróxido de ferro durante a neutralização, o que contaminaria todo o sistema e comprometeria a decapagem química.

2.1.4 Fase de neutralização

A seguir foi realizada a neutralização com carbonato de sódio, até que a mesma atingisse valor de pH estável na faixa de 7,5 à 8,5.

2.1.5 Fase de passivação

Esta etapa garante a formação de uma película protetora do metal, prevenindo possíveis e indesejáveis reações de oxidação e desenvolvimento de processo corrosivo. O tubo foi mantido imerso, até uma altura de cerca de 10 cm, por um período de 1 hora, em solução com 10.000 ppm de nitrito.

2.2 Resultados dos Testes

Na Figura 6 mostramos os dados de variação do teor de acidez durante o teste. Constatou-se que o sistema se comportou conforme o esperado, com decaimento da concentração de ácido mais pronunciado no início da fase, pela reação com os depósitos existentes, com posterior estabilização. Ao término da limpeza observou-se eficiente remoção dos depósitos visto que a região do tubo imersa na solução ficou totalmente limpa, contrastando com a região acima do nível do solvente que propositalmente não foi limpa para efeito comparativo (Figura 7).

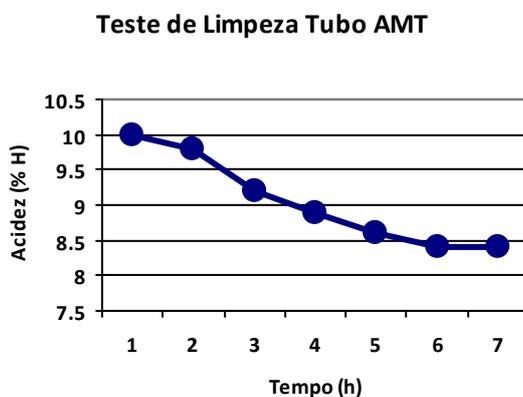


Figura 6: Variação do Teor de Acidez em prova laboratorial.



Figura 7: Condição do tubo antes e após a limpeza ácida – teste em laboratório.

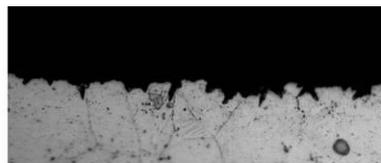
Investigações posteriores realizadas nos laboratórios da AM Tubarão, em outra peça de aço-inox, constataram que a agressividade do ácido clorídrico inibido com 10% de acidez (o que equivale a concentração de 30% do HCl comercial a 33%) estava numa faixa aceitável (Figuras 8 e 9). A partir destas investigações decidiu-se pela realização da limpeza nas máquinas MLC-1 e 2 com a execução pela Hidro Química e acompanhamento da Nalco.



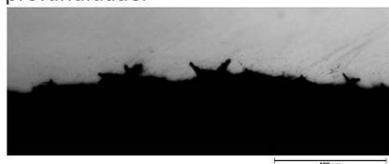
Figura 8: Tubo de aço inox 3160L submetido a limpeza por ácido clorídrico 10% (acidez), por imersão sem agitação durante 4 horas, 8 horas e 12 horas.



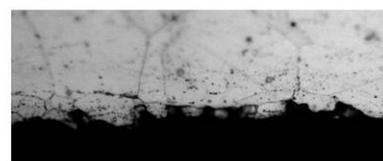
Superfície externa da região submetida a 12 horas em ácido, foram identificadas corrosões de 3 a 9 μm de profundidade.



Superfície externa da região submetida a 12 horas em ácido, nota-se que a corrosão se propaga intragranularmente.



Superfície interna da região submetida a 12 horas em ácido, foram identificadas corrosões de 3 a 6 μm de profundidade.



Superfície interna da região submetida a 12 horas em ácido, nota-se que a corrosão se propaga intragranularmente.

Figura 9: Microscopia Ótica da peça de Aço Inox submetida a 12 horas de imersão na solução de HCl com 10% de acidez.



2 PROCEDIMENTOS IMPLEMENTADOS NA REALIZAÇÃO DA LIMPEZA QUÍMICA

3.1 Aspectos Mecânicos

Foram montadas conexões no sistema de resfriamento das máquinas de forma a ter circuitos independentes para a realização da limpeza por partes; nas duas máquinas, que possuem 17 loops de resfriamento/veio, sendo 2 veios, foram montados um circuito principal (header de aço carbono) e 3 circuitos menores nos loops de resfriamento (A-120, 130 e 150), conforme mostrado nas Figura 10 e 11. Na Figura 12 temos um diagrama com o perfil da máquina e seus 14 segmentos.

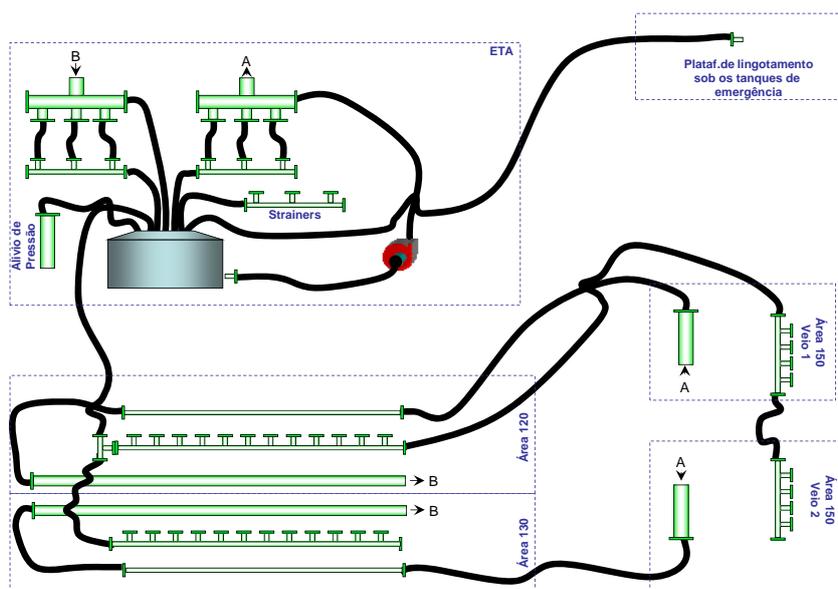


Figura 10: Circuito principal da MLC-1.

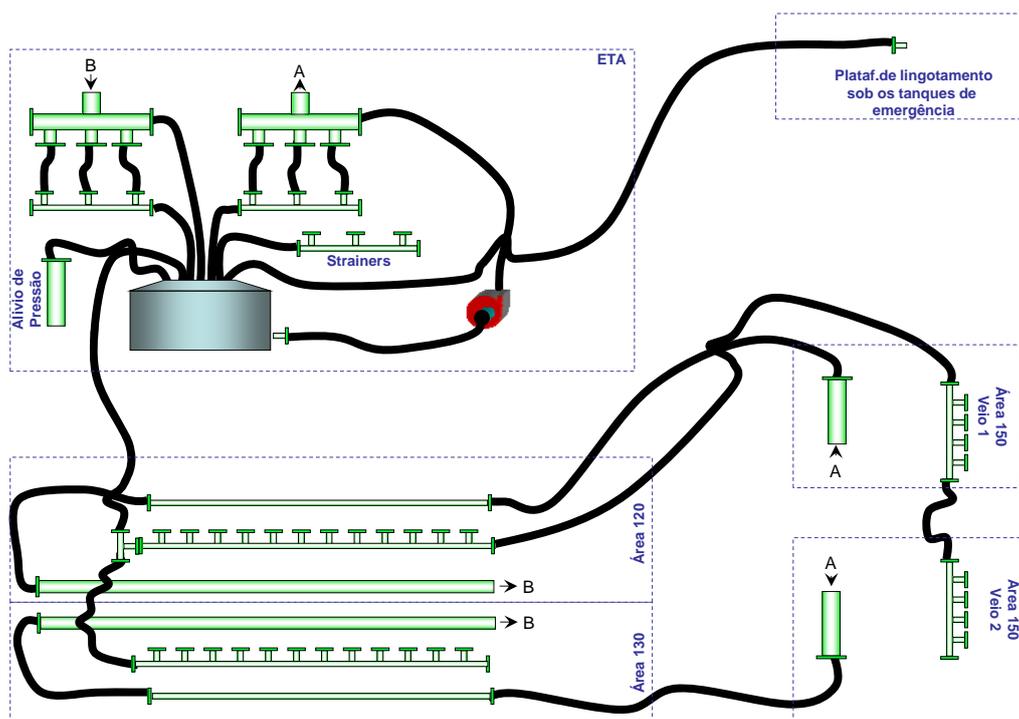


Figura 11: esquema típico dos loops, MLC-1.

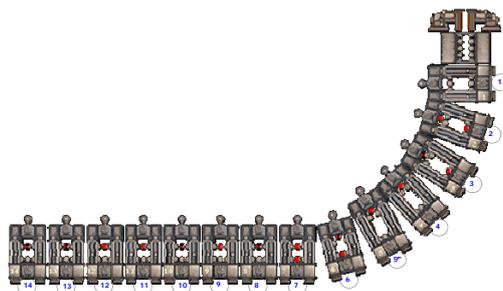


Figura 12: Perfil da máquina.



Figura 13: Sistema de limpeza dos bicos sprays.

Foram instalados PI's na entrada e saída de cada circuito independente para monitoramento indireto da remoção de depósitos. Além disto, foram retirados os bicos spray (superior e inferior) de cada segmento, bem como as grades os quais foram limpos à parte em sistemas montados para este fim (Figura 13).

3.2 Aspectos Químicos e Operacionais

A limpeza foi feita seguindo as etapas realizadas nos testes laboratoriais, acrescida de uma fase inicial de desengraxe para remoção de fouling orgânico e de resíduos de óleos e graxas (Tabela 3). Na Tabela 4 seguem dados típicos obtidos durante o monitoramento realizado na limpeza dos circuitos.

Tabela 3: Etapas da Limpeza

| FASE | PRODUTOS APLICADOS | CONC. | DURAÇÃO | MONITORAMENTO |
|---------------|---|---------------------------|-----------|--|
| Desengraxe | Metassilicato de Sódio Soda 50% Fosfato Trissódico Surfactante | 1% 1% 1% 300 ppm | 8 hs | Alcalinidade OH (%) Pressões |
| Ácida | Ácido Clorídrico 33% Inibidor Bifluoreto de Amônia | 30% 0,5% 1,0% | 10 -12 hs | Acidez, ferro-total, ferro-solúvel Pressões |
| Complexação | Ácido Cítrico | 0,25% | 2 hs | |
| Neutralização | Carbonato de Sódio | 0,5% | 1 h | pH |
| Passivação | Nitrito | 1,0% | 2 hs | NO2 |



Tabela 4: Monitoramento da Limpeza:

| HORA | FASE | Alc-OH (%) | Acidez (% H ⁺) | Ferro-Total (ppm) | Ferro-solúvel |
|------|-------------------|------------|----------------------------|-------------------|---------------|
| 0 | Início Desengraxe | | | | |
| 2 | | 1,3 | | | |
| 4 | | 1,1 | | | |
| 6 | | 1,0 | | | |
| 8 | | 1,0 | | | |
| 10 | | 1,0 | | | |
| 12 | Drenagem, Enxague | | | | |
| 0 | Início fase Acida | | 10,3 | 0 | |
| 1 | | | 10,1 | 327 | 1,2 |
| 2 | | | 10 | 436 | |
| 3 | | | 9,5 | 436 | |
| 4 | | | 9,4 | 545 | 155 |
| 5 | | | 8,8 | 654 | |
| 6 | | | 8,8 | 763 | |
| 7 | | | 8,8 | 763 | |
| 8 | | | 7,4 | 763 | |
| 9 | | | 7,3 | 763 | 392 |
| 11 | Drenagem, enxague | | | | |

4 RESULTADOS DA LIMPEZA

Antes e após a execução da limpeza foram realizadas inspeções, por processo de boroscopia, em pontos críticos de cada circuito, previamente selecionados como indicadores da performance do procedimento. Nas Figuras 13 a 16 mostramos fotos comparativas de alguns destes pontos, mostrando a forte remoção dos depósitos que existiam. No aspecto operacional também observou-se melhoria nas vazões de água em cada loop de resfriamento após a limpeza, como pode ser visto nas Tabelas 5 a 7.

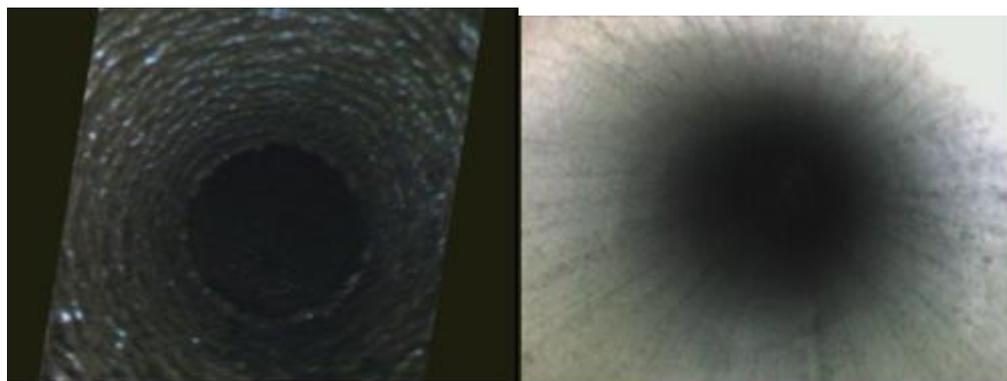


Figura 13: MLC-1, Foot-roll e Edge-roll, Veio 1, antes e após a limpeza química.

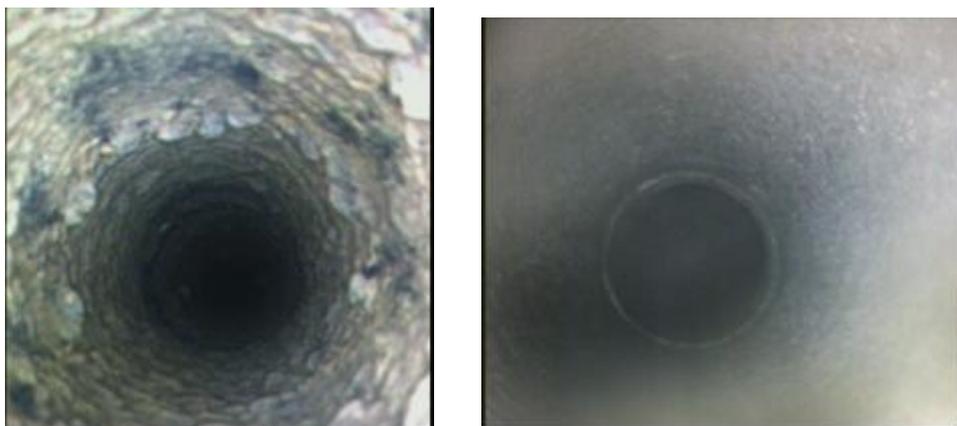


Figura 14: MLC-1, Segmento 7 - 9, Superior, Veio 1, antes e após a limpeza química.



Figura 15: MLC-2, Segmento 8 - 9, Superior, Veio 3, antes e após a limpeza química.



Figura 16: MLC-2, Segmento 3, Superior, Veio 4, antes e após a limpeza química.

Tabela 5: Vazões de Água nos Loops de Resfriamento da MLC-1, Veio 1, em Set/11

| Parâmetros Estipulados ($\pm 10\%$) | | Semana | 33 | Data: | 24/9/2011 | Resultado |
|---------------------------------------|---------------|--------------|-------------|---------------|------------------------|------------|
| Loop | Vazão (L/min) | Vazão (m3/h) | Válvula (%) | Vazão (L/min) | Δ Vazão (L/min) | |
| 1 | 395 | 21.71 | 53.3 | 361.83 | -33.17 | ATENDE |
| 2 | 162 | 9.54 | 61.7 | 159.00 | -3.00 | ATENDE |
| 3 | 984 | 57.60 | 100.0 | 960.00 | -24.00 | ATENDE |
| 4 | 752 | 48.69 | 69.2 | 811.50 | 59.50 | ATENDE |
| 5 | 203 | 7.86 | 100.0 | 131.00 | -72.00 | ATENDE |
| 6 | 203 | 5.39 | 100.0 | 89.83 | -113.17 | NÃO ATENDE |
| 7 | 203 | 9.95 | 100.0 | 165.83 | -37.17 | ATENDE |
| 8 | 203 | 7.47 | 100.0 | 124.50 | -78.50 | NÃO ATENDE |
| 9 | 374 | 17.72 | 100.0 | 295.33 | -78.67 | NÃO ATENDE |
| 10 | 374 | 15.78 | 100.0 | 263.00 | -111.00 | NÃO ATENDE |
| 11 | 250 | 12.74 | 100.0 | 212.33 | -37.67 | ATENDE |
| 12 | 282 | 16.32 | 100.0 | 272.00 | -10.00 | ATENDE |
| 13 | 160 | 9.69 | 56.5 | 161.50 | 1.50 | ATENDE |
| 14 | 194 | 9.12 | 100.0 | 152.00 | -42.00 | ATENDE |
| 15 | 222 | 11.56 | 67.0 | 192.67 | -29.33 | ATENDE |
| 16 | 246 | 14.84 | 49.5 | 247.33 | 1.33 | ATENDE |


Tabela 6: Vazões de Água nos Loops de Resfriamento da MLC-1, Veio 2, em Set/11

| Parâmetros Estipulados ($\pm 10\%$) | | Semana | 33 | Data: | 24/9/2011 | Resultado |
|---------------------------------------|---------------|---------------------------|-------------|---------------|------------------------|-----------|
| Loop | Vazão (L/min) | Vazão (m ³ /h) | Válvula (%) | Vazão (L/min) | Δ Vazão (L/min) | |
| 1 | 247 | 23.10 | 85.1 | 385.00 | 138.00 | ATENDE |
| 2 | 101 | 9.43 | 66.9 | 157.17 | 56.17 | ATENDE |
| 3 | 615 | 57.16 | 100.0 | 952.67 | 337.67 | ATENDE |
| 4 | 470 | 50.00 | 68.0 | 833.33 | 363.33 | ATENDE |
| 5 | 127 | 9.19 | 100.0 | 153.17 | 26.17 | ATENDE |
| 6 | 127 | 10.60 | 100.0 | 176.67 | 49.67 | ATENDE |
| 7 | 127 | 9.36 | 100.0 | 156.00 | 29.00 | ATENDE |
| 8 | 127 | 11.36 | 100.0 | 189.33 | 62.33 | ATENDE |
| 9 | 234 | 20.04 | 100.0 | 334.00 | 100.00 | ATENDE |
| 10 | 234 | 19.88 | 100.0 | 331.33 | 97.33 | ATENDE |
| 11 | 156 | 14.61 | 100.0 | 243.50 | 87.50 | ATENDE |
| 12 | 176 | 14.99 | 100.0 | 249.83 | 73.83 | ATENDE |
| 13 | 100 | 9.38 | 100.0 | 156.33 | 56.33 | ATENDE |
| 14 | 121 | 9.63 | 100.0 | 160.50 | 39.50 | ATENDE |
| 15 | 139 | 12.85 | 97.8 | 214.17 | 75.17 | ATENDE |
| 16 | 154 | 14.79 | 40.8 | 246.50 | 92.50 | ATENDE |

Tabela 7: Vazões de Água nos Loops de Resfriamento da MLC-2, Veio 3, em Set/11

| Parâmetros Estipulados ($\pm 10\%$) | | Semana | 34 | Data: | 27/9/2011 | Resultado |
|---------------------------------------|---------------|-------------------------------|-------------|---------------|------------------------|------------|
| Loop | Vazão (L/min) | Pressão (Kg/cm ²) | Válvula (%) | Vazão (L/min) | Δ Vazão (L/min) | |
| 1 | 467.1 | 9.50 | 90.3 | 464.70 | -2.40 | ATENDE |
| 2 | 205.2 | 9.70 | 68.4 | 204.10 | -1.10 | ATENDE |
| 3 | 45 | 13.30 | 0.0 | 0.10 | -44.90 | NÃO ATENDE |
| 4 | 902.3 | 7.70 | 74.6 | 898.70 | -3.60 | ATENDE |
| 5 | 673.4 | 9.10 | 78.1 | 683.10 | 9.70 | ATENDE |
| 6 | 506 | 4.30 | 43.9 | 502.00 | -4.00 | ATENDE |
| 7 | 636.4 | 9.90 | 100.0 | 537.20 | -99.20 | NÃO ATENDE |
| 8 | 226.6 | 2.30 | 62.7 | 228.00 | 1.40 | ATENDE |
| 9 | 249.2 | 7.70 | 92.9 | 251.70 | 2.50 | ATENDE |
| 10 | 333.3 | 6.90 | 42.4 | 335.80 | 2.50 | ATENDE |
| 11 | 360.9 | 6.70 | 43.1 | 362.20 | 1.30 | ATENDE |
| 12 | 226.9 | 2.70 | 77.7 | 226.40 | -0.50 | ATENDE |
| 13 | 273.7 | 4.40 | 71.7 | 272.30 | -1.40 | ATENDE |
| 14 | 108.5 | 10.40 | 43.7 | 105.40 | -3.10 | ATENDE |
| 15 | 132.3 | 4.50 | 53.0 | 128.50 | -3.80 | ATENDE |
| 16 | 79.7 | 10.40 | 38.0 | 79.00 | -0.70 | ATENDE |
| 17 | 106.3 | 7.30 | 45.2 | 111.50 | 5.20 | ATENDE |
| 18 | 83.8 | 8.90 | 34.2 | 83.80 | 0.00 | ATENDE |
| 19 | 120.7 | 3.40 | 26.3 | 120.90 | 0.20 | ATENDE |

5 CONCLUSÃO

A qualidade da água de resfriamento tem papel fundamental na desempenho de uma máquina de lingotamento contínuo e faz-se necessário um monitoramento adequado de forma que se evitem formações de depósitos ao longo dos loops de resfriamento e que venham a comprometer esta performance.

Uma vez que venham a ocorrer problemas como os descritos neste trabalho, faz-se necessário uma avaliação criteriosa das possibilidades de limpezas a serem implementadas:

- a limpeza mecânica deve ser a primeira opção desde que seja viável a sua aplicação;
- a segunda alternativa seria a aplicação de ácidos orgânicos como cítrico, sulfâmico desde que demonstrem a capacidade de dissolver os depósitos existentes; e
- a terceira alternativa seriam ácidos inorgânicos, como o sulfúrico e o clorídrico; o clorídrico é o mais eficiente, mas tem forte possibilidade de causar corrosão localizada em metalurgias de aço-inox.



No caso apresentado neste trabalho, a única alternativa que se apresentou capaz de efetivamente remover os depósitos foi a com o HCl.

Procedeu-se então à realização de cuidadosos testes laboratoriais, não só para confirmar a concentração efetiva para a limpeza das superfícies metálicas, mas também para avaliar os riscos inerentes a esta aplicação devido à elevada incidência de metalurgia de aço inox na máquina e à possibilidade de ataques localizados (corrosão tipo *pitting* ou *stress-corrosion cracking* que pode ser acarretada pelo ácido clorídrico).

Os testes realizados indicaram que o risco poderia ser administrado, o procedimento foi implementado de forma planejada e monitorada e obteve-se o resultado esperado com a limpeza das máquinas de lingotamento 1 e 2 da ArcelorMittal Tubarão e o restabelecimento da performance desejada.