



## IMPLANTAÇÃO DE PROCEDIMENTOS E MECANISMOS PREVENTIVOS PARA REDUÇÃO DE ROMPIMENTOS DE PELE NAS MLC's 1, 2 e 3 DA ARCELORMITTAL TUBARÃO<sup>1</sup>

Alexandre Aparecida Morais<sup>2</sup>

Carlos Alberto Perim<sup>3</sup>

Altemar Dettogne do Nascimento<sup>4</sup>

Sandro de Souza Santos<sup>5</sup>

### Resumo

A anomalia denominada rompimento de pele (*breakout*) é considerada uma das mais danosas ao processo de lingotamento contínuo de placas de aço. Esta ocorrência normalmente resulta em pesadas perdas de produção e danos aos equipamentos. Estima-se que o custo potencial de um rompimento de média intensidade possa atingir a cifra de US\$270.000,00, considerando o custo de reprocessamento do material e a recomposição dos equipamentos como segmentos, moldes, etc. Trata-se, portanto, de uma perda econômica expressiva e também com impacto na segurança. Visando mitigar estes efeitos, as equipes técnico-operacionais da ArcelorMittal Tubarão, vem desenvolvendo estudos sistematizados no sentido de entender a fenomenologia do rompimento, visando identificar suas causas reais e potências. Neste trabalho, apresentam-se alguns resultados destes estudos, obtidos através da utilização da metodologia DMAIC, que resultaram na estratificação das causas mais relevantes e na implantação de procedimentos para prevenção da ocorrência de rompimentos, proporcionando uma redução significativa nas ocorrências, destacando-se a introdução de novos procedimentos de segurança na partida de máquina.

**Palavras-chave:** Rompimento de pele; Lingotamento contínuo de placas de aço; *Meniscus*.

### IMPLEMENTATION OF PREVENTIVE PROCEDURES AND MECHANISMS FOR REDUCTION OF BREAKOUT IN MLC's 1, 2 and 3 OF ARCELORMITTAL TUBARÃO

#### Abstract

The occurrence of breakouts is considered one of the most harmful events that happens during process of continuous casting of steel slabs. Frequently, it implies in heavy losses and damage to equipments. It can be estimated that a medium size event has a potential cost that can be so high as US\$ 270,000.00 when you consider the reprocessing of materials and repairing of equipments, such as segments, molds, etc. Considering that the economic losses are significant and, also, it implies in security aspects, technical and operational teams at ArcelorMittal Tubarão developed systematic studies towards understanding the phenomenology of the disruption, its causes and real powers. This paper presents some results of these studies, obtained using the DMAIC methodology, which resulted in the identification of the most important causes and implementation of procedures to mitigate the occurrence of breakout, providing a significant reduction in the occurrence, where it can be highlighted the introduction of new security procedures to control the casting start in the machine.

**Key words:** Breakout; Continuous casting of steel slabs; *Meniscus*.

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

<sup>2</sup> Físico, Mestre em Engenharia de Materiais, Lingotamento Contínuo da ArcelorMittal Tubarão, Membro da ABM, Vitória, ES, Brasil. E-mail: alexandre.aparecida@arcelormittal.com.br.

<sup>3</sup> Engenheiro Metalúrgico, Mestre em Metalurgia, Controle de Qualidade de Produtos da ArcelorMittal Tubarão, Membro da ABM, Vitória, ES, Brasil. E-mail: carlos.perim@arcelormittal.com.br.

<sup>4</sup> Engenheiro Metalúrgico, Mestre em Engenharia de Materiais, Lingotamento Contínuo da ArcelorMittal Tubarão, Membro da ABM, Vitória, ES, Brasil. E-mail: altemar.dettogne@arcelormittal.com.br; sandro.santos@arcelormittal.com.br.



## 1 INTRODUÇÃO

O lingotamento contínuo de aços planos, (placas) em moldes simples, (single) ou geminados, (tipo *twin*), proporciona um considerável ganho de produtividade e uma flexibilidade dimensional a custos muito baixos, conforme mencionado nos trabalhos de Nascimento, Perim e Passos<sup>(1)</sup> e Morais e Nascimento.<sup>(2)</sup> Todavia, conforme estes mesmos estudos (Nascimento, Perim e Passos<sup>(1)</sup> e Morais e Nascimento<sup>(2)</sup>), tal processo possui alguns inconvenientes operacionais que muitas vezes impedem uma progressão normal do mesmo. Dentre os fatores adversos que contribuem para tal, destaca-se a ocorrência de *breakout*, que apesar dos controles rigorosos de temperatura, resfriamento e velocidade de lingotamento impostos ao aço em estado líquido desde o molde, ainda se constitui em um dos principais desafios para a garantia da estabilidade operacional.

No caso específico da ArcelorMittal Tubarão, onde muitas vezes se trabalha com larguras maiores que 1.800 mm e espessuras de 250 mm, o controle deste item é de vital importância. Grandes dimensões de placa normalmente resultam nos rompimentos de maior magnitude, que causam grande derramamento de aço líquido sobre os primeiros segmentos. Um *breakout* nesta condição, além de colocar em risco a integridade dos operadores de lingotamento (devido a projeções de fagulhas), pode acarretar paradas operacionais de longa duração (acima de 8 horas), para recuperação do equipamento, com perdas econômicas consideráveis.

Visando reduzir as perdas por este tipo de anomalia, as equipes técnicas de operação e manutenção vêm analisando de forma sistemática todas as ocorrências deste fenômeno, estudando-o dentro de uma abordagem metodológica para aplicação de ações corretivas e preventivas.

### 1.1 Objetivo

O principal objetivo do trabalho é mostrar alguns resultados dos estudos realizados na Unidade de Lingotamento Contínuo de Placas de Tubarão sobre *breakout*, destacando-se ações que foram implantadas na prevenção de rompimentos durante as operações de partida de máquina.

### 1.2 Revisão da Literatura

O molde de lingotamento contínuo é onde ocorre a etapa inicial de solidificação do aço líquido, e também onde existe uma grande sensibilidade aos diversos distúrbios inerentes ao processo. No molde, o aço líquido em contato com as placas de cobre, resultando na formação da primeira pele solidificada, da região externa para a interna. Segundo Lait e Brimacombe<sup>(3)</sup> esta pele de aço solidificada que foi formada está sujeita à ação prejudicial dos seguintes fatores: (i) atrito com a parede de cobre, o que pode provocar a nucleação de trincas; (ii) tensões térmicas residuais, devido a um fluxo de calor não uniforme ao longo do veio; e (iii) contração do aço, intrinsecamente associada ao processo de solidificação, que pode reduzir significativamente o fluxo de calor pela formação do *air gap* entre a pele de aço solidificado e o molde. Portanto, todo o mecanismo da solidificação depende do complexo fenômeno da extração de calor que se dá através das diferentes formas de transferência de calor. Dentro deste contexto, Garcia<sup>(4)</sup> descreve que o fenômeno de solidificação dos metais apresenta fundamentalmente dois aspectos: um aspecto metalúrgico ligado à composição química do metal e um aspecto térmico relativo à



história térmica anterior do metal, ao modo pelo qual o calor é transferido e à distribuição de temperatura no interior da “peça em formação” a cada instante do processo. Em resumo, a solidificação dos metais, é um processo em regime transiente, envolvendo a remoção de calor de sua forma latente para que ocorra a solidificação, e a evolução da interface sólido-líquido.

O diagrama esquemático mostrado na Figura 1 foi sintetizado por Kurz e Fisher<sup>(5)</sup> e mostra a influência do gradiente térmico ( $G$ ) e da “velocidade de solidificação ( $V$ )” na formação das microestruturas durante o processo inicial de solidificação.

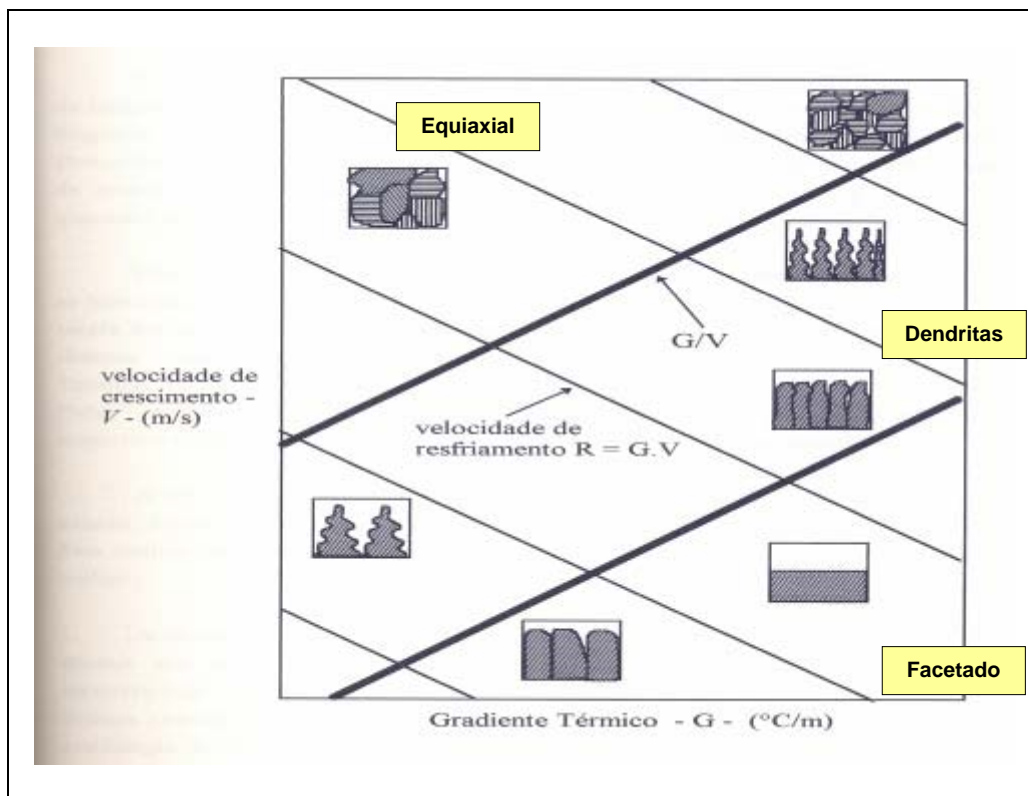


Figura 1. – Diagrama Esquemático de Kurz e Fisher (apud Morais).<sup>(6)</sup>

Observa-se no diagrama mostrado na Figura 1 que as alterações na “velocidade de resfriamento  $R$ ”, onde ( $R = G.V$ ) implicam em mudança na escala da microestrutura formada. Durante o processo de solidificação, os cristais formados, vão crescendo em diferentes direções, formando os denominados eixos de cristalização. A partir de um eixo principal, crescem eixos secundários, que por sua vez se desdobram em novos eixos e assim por diante até que toda a massa do metal se torne sólida. O conjunto formado pelo eixo principal e secundários de um cristal é denominado dendrita. Toda esta complexidade faz com que o mecanismo do processo de solidificação seja bastante frágil, impondo condições limitadas de variação, o que diante de qualquer distúrbio durante a formação da pele, pode levar à ruptura que é o *breakout*.

Dentro deste contexto a ocorrência de perturbações no processo de solidificação desde a partida do veio, segundo Nascimento, Perim e Passos,<sup>(1)</sup> podem fragilizar a pele a ponto de provocar um vazamento de aço na saída do molde ou no segmento zero. Esta tese também é defendida por Morais<sup>(6)</sup> ao estabelecer como bastante vulnerável a qualquer anormalidade mecânica ou térmica, a primeira porção de placa formada no início de lingotamento, admitindo-se este como um momento propício à ocorrência de um vazamento.



## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo fundamentado em casos reais sistematizados num banco de dados construído por Moraes e Nascimento<sup>(2)</sup> permitiu que o grupo de trabalho, utilizando a metodologia 6 Sigma - Dimac<sup>(7)</sup> caracterizasse o problema *breakout* nas suas mais diversas formas e estabelecesse ações mitigadoras eficientes.

Na fase inicial, foi definido como problema o vazamento de aço na saída do molde ou no segmento zero, devido à ruptura da pele durante o processo de solidificação.

O histórico do problema indicava um aumento de 100% na ocorrência de rompimentos de 2007 para 2008. (Parte destes poderia ser explicado pelo maior volume de produção devido a entrada em funcionamento da MLC#3, entretanto, os valores estavam acima do limite máximo estabelecido de 12 rompimentos por ano para 6 veios – (não considerando os veios *twin*)). A Figura 2 mostra a taxa de rompimento de Tubarão em relação a outras empresas.

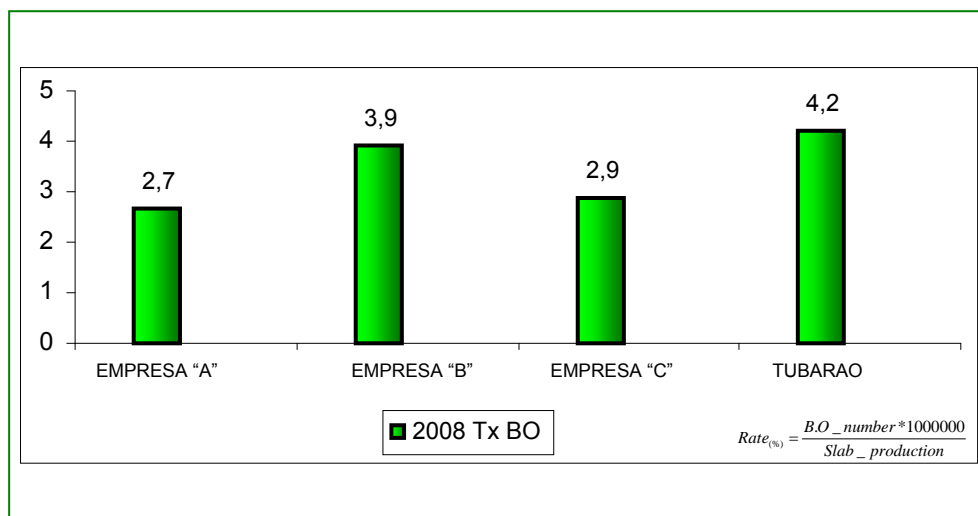


Figura 2. Taxa de rompimento de pele.<sup>(2)</sup>

Analisando as causas dos rompimentos a partir de um diagrama de causa e efeito estabeleceu-se a partir de uma matriz de priorização as causas a serem tratadas.

A Figura 3 mostra as causas definidas para tratamento prioritário tendo como principais referências o número de ocorrências e o tempo de manutenção para o retorno do equipamento, estratificados resumidamente na Figura 4.

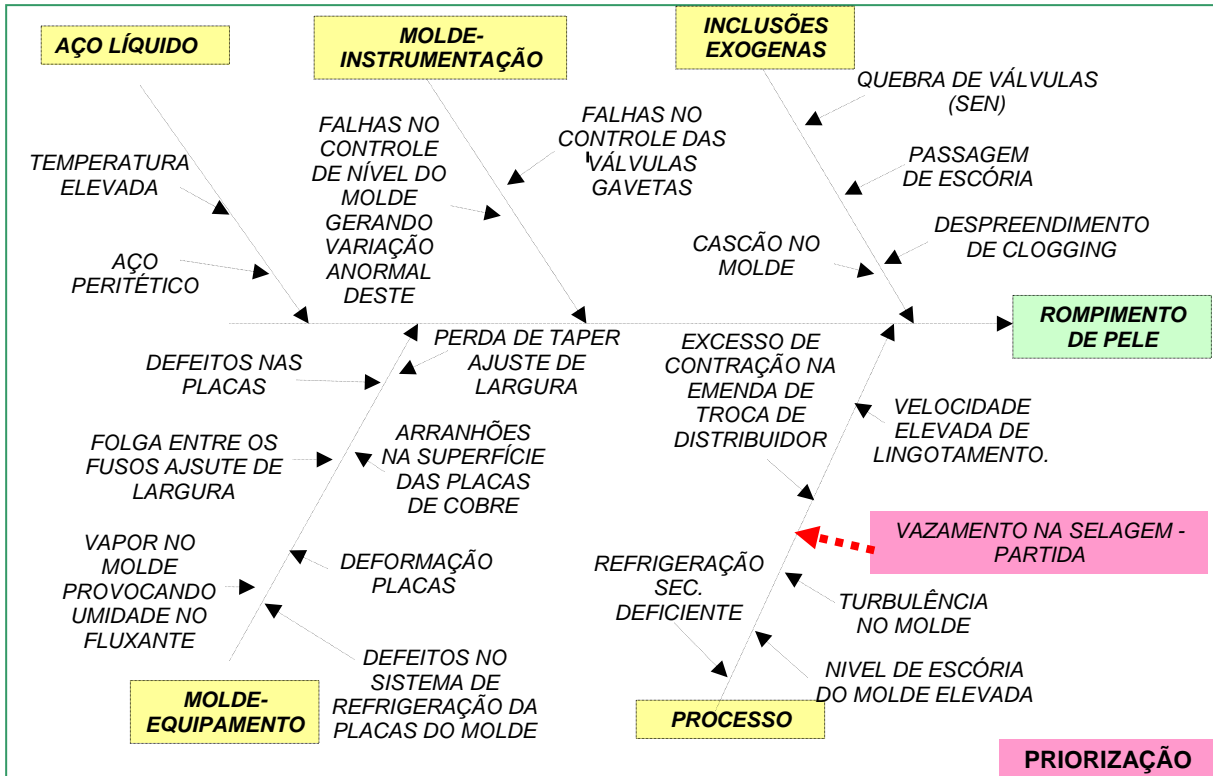


Figura 3 – Esquemática do diagrama de causa e efeito de causas de rompimento com priorização.<sup>(2)</sup>

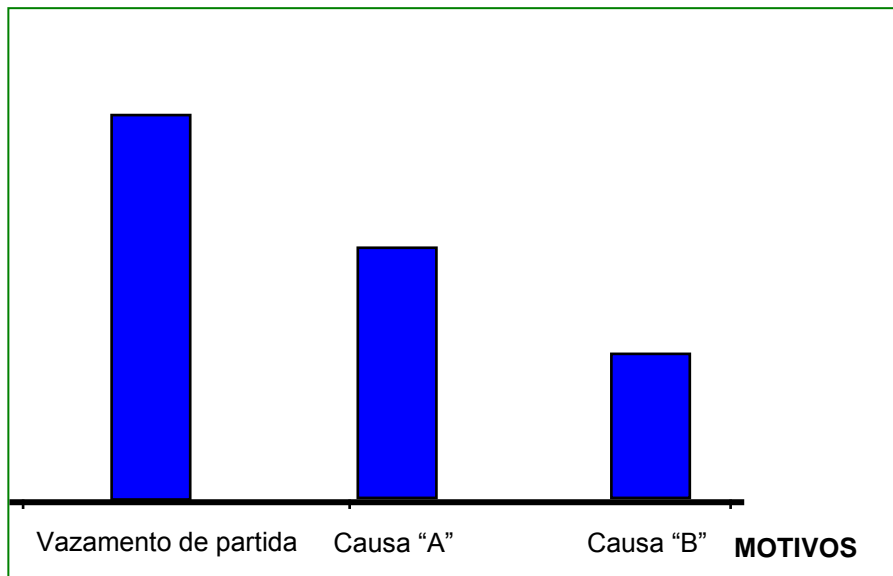


Figura 4 – Estratificação das causas em função do número de ocorrências.<sup>(2)</sup>

O foco do estudo nestas duas causas possibilitou caracterizar o tipo rompimento proveniente desta e desenvolver procedimentos e novos padrão para mitigar estas ocorrências.





### 2.1 Rompimento de Partida – Vazamentos de Selagem

A caracterização deste dá-se pela ocorrência do vazamento ainda dentro do molde ou imediatamente após a saída do mesmo.

A pesquisa sobre as principais contribuições para a ocorrência deste tipo de vazamento passou por: influência do tipo de aço, dimensões da placa, material empregado na selagem (umidade, resistência...), condições das barras falsas (articulações, dimensão, desgaste...), procedimentos de partida (velocidade, aceleração, temperatura, fluxo de aço no molde...), sistema de oscilação do molde, alinhamento molde – segmentos, velocidade dos rolos extratores etc.

Empregando-se parte da metodologia de Análise em Árvore de Falha (demonstrada na Figura 5 por uma macro análise FTA) associada aos conceitos de priorização de Análise Fmea, chegou-se a duas causas iniciais de maior contribuição: as cunhas de selagem e o desgaste das barras falsas.

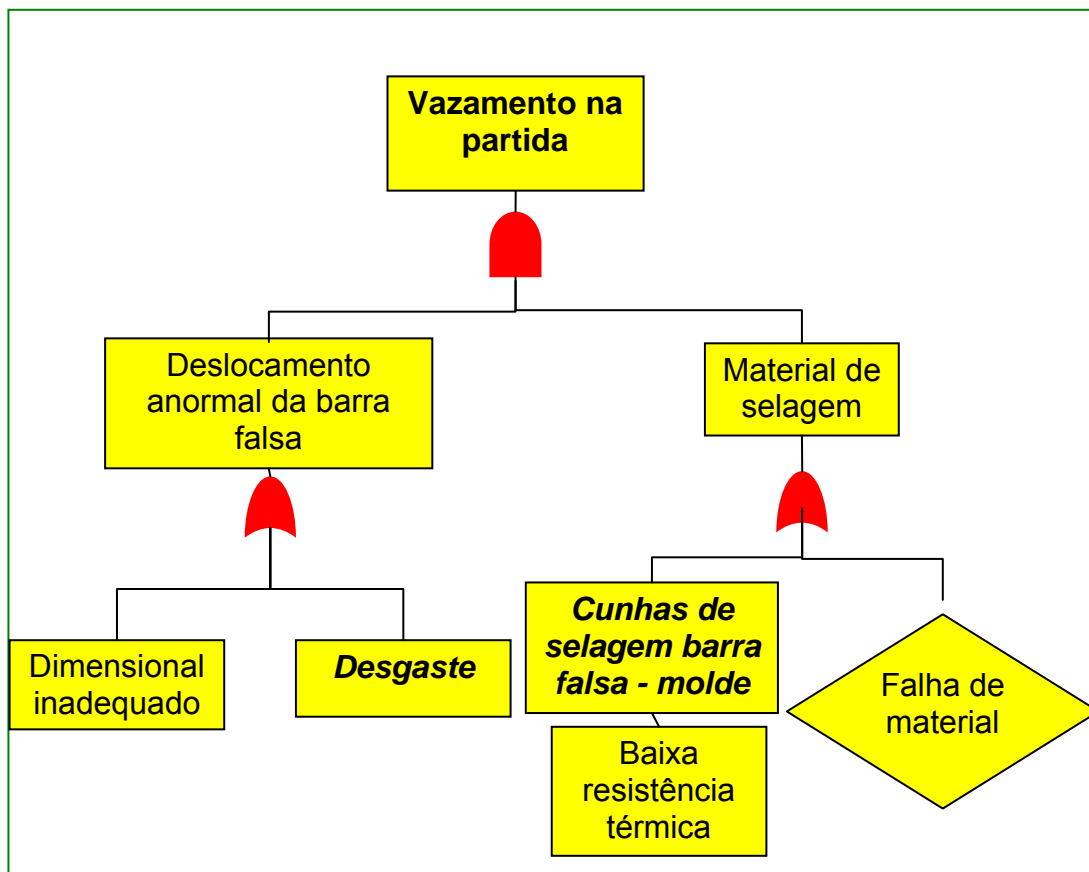


Figura 5 – Macro Análise FTA sobre vazamento de partida.<sup>(2)</sup>

#### 2.1.1 Cunhas de selagem

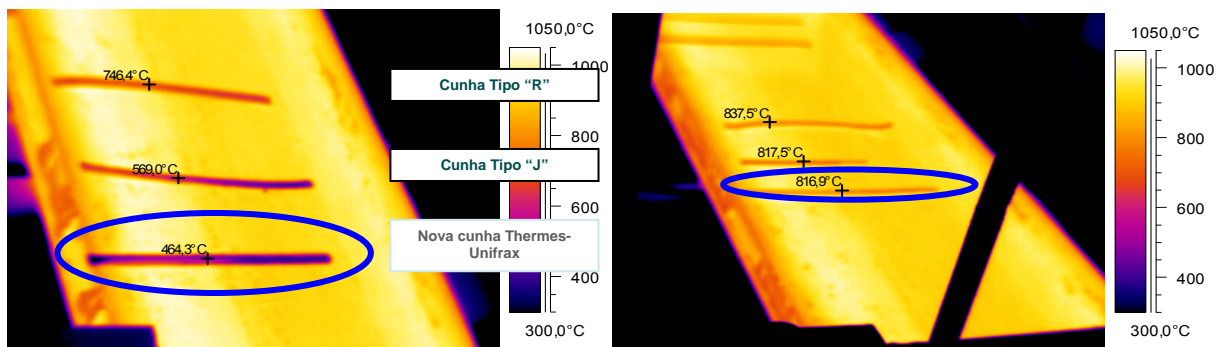
As análises indicaram como um dos principais motivos dos vazamentos de selagem, a baixa resistência das cunhas de selagem utilizadas para vedar a cabeça de barra falsa e o molde nas partidas. Indicou-se com isso, a necessidade do desenvolvimento de uma nova cunha.

Através de uma parceria com um fornecedor nacional iniciou-se um processo de desenvolvimento de uma nova cunha de selagem de maior robustez (com características de maior resistência às temperaturas elevadas do aço líquido (maior



ponto de fusão) e maior resistência ao impacto do aço durante o enchimento do molde. Na avaliação técnica da nova cunha considerou-se: (i) análise através da termografia, medindo a temperatura alcançada na superfície da cunha experimental em relação a outras já aprovadas, quando colocadas sobre uma superfície de placa com a temperatura superior a 750°C; (ii) aspecto físico da cabeça do placão na região de desconexão da barra falsa; (iii) avaliação das condições de desconexão do placão da cabeça de barra falsa; (iv) ocorrência de sangria ou vazamento de selagem; (v) condições operacionais da selagem (manuseio, tempo e outros); (vi) ocorrência de bolhas e incrustação de pó na primeira placa; (vii) análise termo gravimétrica para verificação da perda de massa sofrida durante o aquecimento; (viii) análise por microscopia de aquecimento (norma DIN 51730:1998)<sup>(8)</sup> para detecção da deformação; (ix) consumo.

Os resultados da termografia são mostrados na Figura 6. A cunha experimental colocada sobre uma superfície metálica com 1.000°C (temperatura constante durante aproximadamente 5 minutos), mostrou ao longo do tempo de 3 minutos, uma temperatura de aquecimento inferior às cunhas atualmente em uso.



**Figura 6** - Temperatura medida nas cunhas testadas sobre a mesma superfície térmica (1.000°C) após 1 e 3 minutos de exposição.<sup>(9)</sup>

A Figura 7 mostra os resultados das análises termo gravimétrica para detecção de perdas de massa sofridas pela cunha experimental e de um fornecedor credenciado. Os testes de aquecimento realizados mostraram que a 800°C houve estabilização da perda de massa da cunha de selagem para ambos os fornecedores e o percentual de massa perdida foi similar.

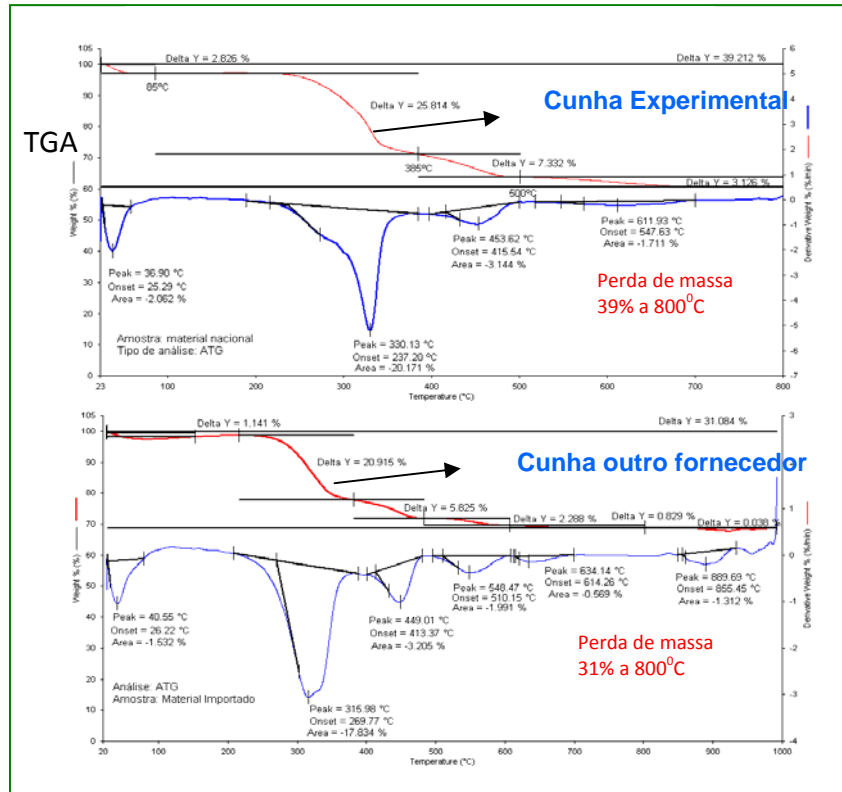


Figura 7 – Análises Termo gravimétricas.<sup>(2)</sup>

Na Figura 8 mostra-se os resultados das análises por microscopia de aquecimento (norma DIN 51730:1998).<sup>(8)</sup> Segundo a norma DIN 51730:1998,<sup>(8)</sup> a temperatura de deformação é caracterizada pelos primeiros indícios de deformação do corpo de prova, como o arredondamento das extremidades e/ou o início do inchamento do material; a temperatura de fluidez corresponde à temperatura em que o corpo de prova atinge um terço da altura. A temperatura de início de deformação do material do fornecedor credenciado foi 1.260°C e da cunha experimental foi acima de 1.550°C, ou seja, 20% superior.

Baseado nas análises realizadas, a cunha para vedação da cabeça de barra falsa de alta resistência, atendeu a todos os quesitos Técnico-operacionais avaliados nos testes experimentais. Não se verificou a ocorrência de anormalidades.

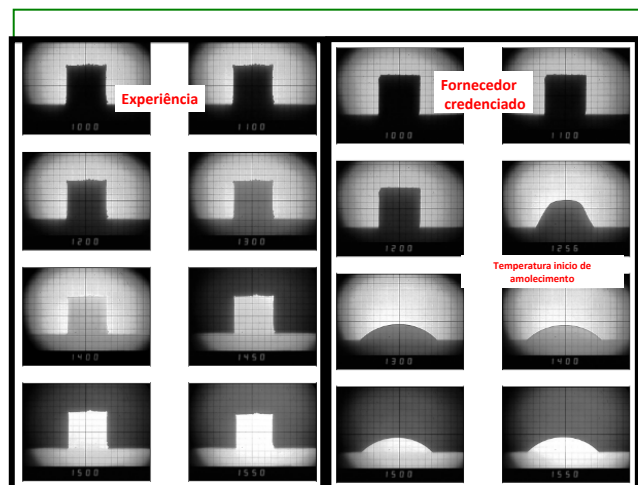


Figura 8 - Microscopia de aquecimento (norma DIN 51730:1998<sup>(8)</sup>).<sup>(2)</sup>





### 2.1.2 Checagem do corpo da barra falsa

O desgaste do corpo das barras falsas mostrou-se como um componente significativo para provocar escorregamentos anormais da barra, tanto na inserção quanto na partida. Verificou-se que, quando existem desgastes na espessura dos elos da corrente de barra falsa e estes se posicionam sob os rolos pressionadores (motrizes) na partida da máquina, em função da redução da área de contato, existe risco de ocorrer um deslizamento milimétrico na partida, que pode provocar um vazamento. Com base nesta verificação, desenvolveu-se um padrão de checagem dimensional do corpo da barra falsa para garantir um contato seguro dos rolos pressionadores sobre o corpo da mesma. A Figura 9 mostra a configuração básica deste padrão com os pontos de checagem, as tolerâncias e o local de posicionamento dos rolos motrizes sob o corpo da barra falsa no momento da partida. O padrão de referência é para diferença ( $\Delta$ ) entre os pontos "A" a "D" (entre os elos) =  $\pm 1\text{mm}$  e para a espessura dos elos é 155 mma 170 mm. Existindo desgastes acima da tolerância e estes coincidirem com os desgastes dos respectivos rolos motrizes, pode gerar deslocamento anormal durante a partida da barra falsa.

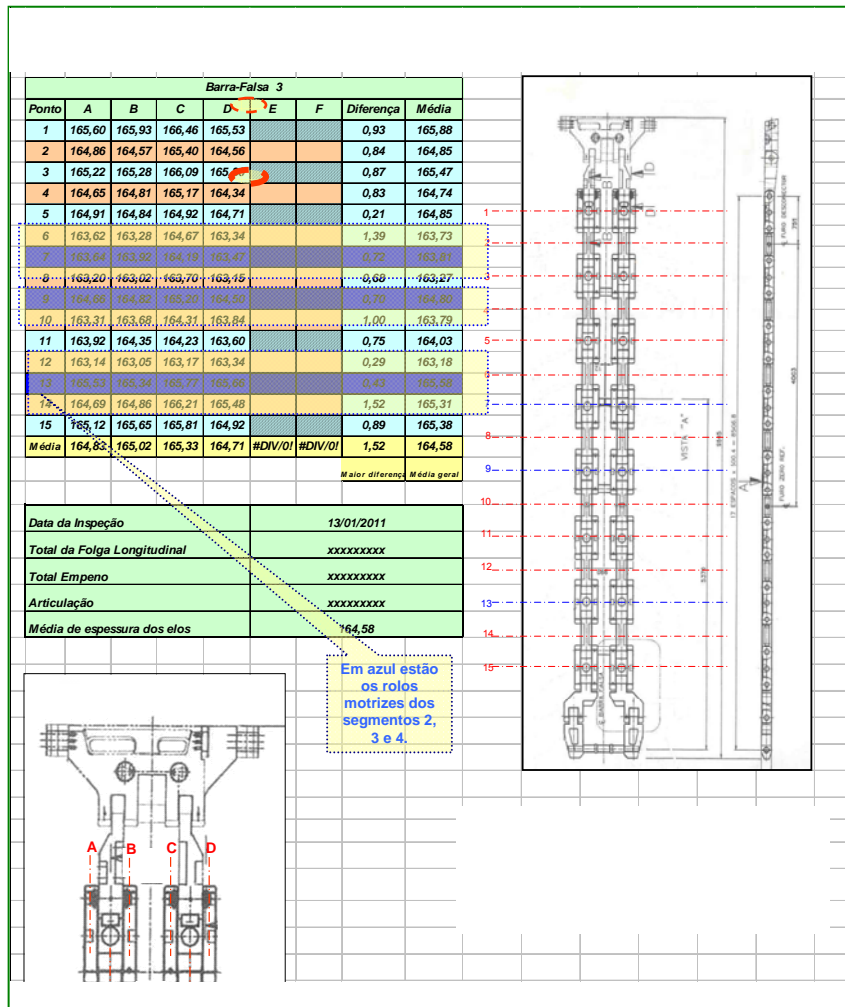


Figura 9 – Padrão de checagem do corpo da barra falsa.<sup>(2)</sup>



### 3 RESULTADOS

Os resultados apresentados em relação às ações e procedimentos desenvolvidos são bastante promissores.

No caso da cunha desenvolvida, a mesma foi implantada e vem substituindo com sucesso as cunhas de outros fornecedores usadas anteriormente.

Quanto ao padrão de checagem do corpo da barra falsa também tem se mostrado eficiente quando usado no afastamento preventivo da corrente de barra falsa para manutenção. A Tabela 1 mostra que, quando o corpo de barra falsa usado encontra-se dentro do padrão, não se observa anormalidades.

**Tabela 1** – Testes - Inserções de barra falsa com e sem desgaste da corrente – Maio – Junho 2010

Período	Maio 2010	Junho 2010
<b>Nº inserções</b>	12	12
<b>No padrão</b>	4	12
<b>Fora do padrão</b>	8	0
<b>Deslizamentos</b>	6	0

Quanto ao número de rompimentos na partida, relacionados à baixa resistência da cunha de selagem, apenas uma ocorrência anormal no início do processo de industrialização foi atribuída à mesma. Neste caso, foi detectada uma falha na secagem do material na fábrica, em um lote de 100 peças fornecido.

### 4 DISCUSSÃO

Os estudos e ações apresentados evidentemente não são suficientes para reduzir totalmente as ocorrências de rompimento de partida. Entretanto, os desenvolvimentos e resultados obtidos ganham importância dentro do contexto do mix de trabalho de Tubarão, onde prevalecem significativas variações dimensionais. No caso da cunha desenvolvida além dos benefícios físicos vale ressaltar também o retorno financeiro. Em relação ao fornecedor anterior que era importado houve uma redução de preço de 35% (fonte: Seção de Suprimentos AMT).

Apurando-se as ações de controle de desgaste da barra falsa e utilização da cunha de alta resistência, encontra-se uma redução de 30% na redução do número de rompimentos de 2008 para 2009 e 2010.<sup>(2)</sup> Também vale ressaltar que o trabalho realizado em Tubarão para a redução de breakouts tem mostrado uma evolução favorável. Comparando a taxa de rompimentos de 2008 com 2009 entre Tubarão e empresas de mesmo porte verifica-se que existe uma evolução importante. A Figura 10 mostra estes resultados.

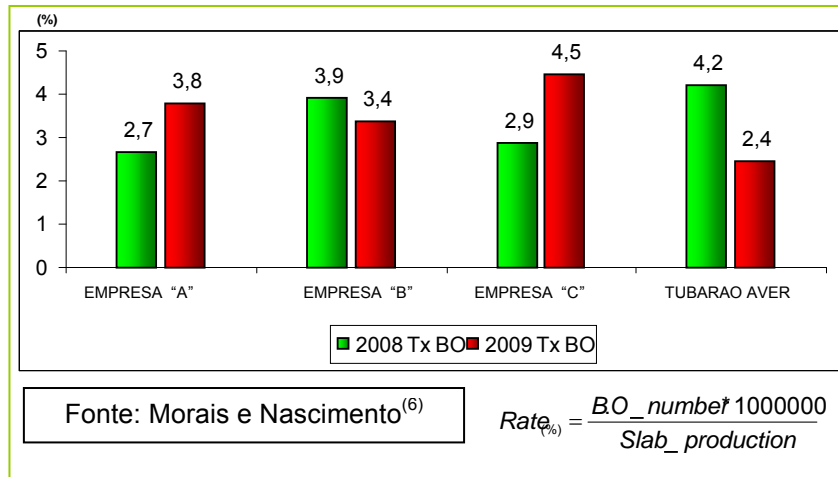


Figura 10 – Comparação de taxa de rompimento.<sup>(2)</sup>

## 5 CONCLUSÃO

O entendimento dos *breakouts*, sua correta caracterização é fundamental na priorização das causas de contribuição. As ações apresentadas para redução dos rompimentos de partida são uma pequena parte do trabalho sistematizado de prevenção de *breakouts* que vem sendo realizado pelas equipes técnicas da ArcelorMittal Tubarão. Muitas ações e procedimentos já foram implantados e outros estão em desenvolvimento ou em fase de implantação. A meta é a busca do zero *breakout*.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a todos que contribuíram direta e indiretamente na elaboração deste trabalho, em especial às equipes de manutenção eletromecânica.

## REFERÊNCIAS

- 1 NASCIMENTO, A.D., PERIM, C.A., PASSOS, J.C.O., Breakout index reduction in continuous casting machines – international ATS Steelmaking Conference – December 2001.
- 2 MORAIS, A.A., NASCIMENTO, A.D., Seminário Interno ArcelorMittal Tubarão – Novembro 2010.
- 3 LAIT, J.E., BRIMACOMBE, J.K. Solidification during continuous casting of steel. Transactions of the Iron and Steel Society of AIME. v.1, p.1-13, 1982.
- 4 GARCIA, A., Solidificação dos Metais – Apostila do Curso – Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP, 1980.
- 5 KURZ, W.; FISHER, D.J., Fundamentals of Solidification – 3 ed. Switzerland, Trans Tech Publications, 1992.
- 6 MORAIS, A.A., Dissertação de Mestrado “Estudo Fenomenológico do Mecanismo de Obstrução do Fluxo de aço do Distribuidor para o Molde no Início do Lingotamento Contínuo de Placas” – UFOP, Setembro de 2006.
- 7 WERKEMA, C., Criando a Cultura Seis Sigma. Nova Lima, Minas Gerais: 2004.
- 8 DIN Norma 51730 – Edição 1998. Determination of fusibility of solid fuels. German:1998.
- 9 MORAIS, A.A., Projeto Seis Sigma - (Green Belt) – Redução da Oscilação do Tempo de “Set Up” Operacional das Máquinas de Lingotamento Contínuo N° 1 e 2 da ArcelorMittal Tubarão, - Serra – ES, Dezembro de 2009.