



## EVOLUÇÃO DA ESFOLIAÇÃO QUÍMICA NO MATERIAL LAMINADO PARA APLICAÇÃO AUTOMOBILÍSTICA NA ARCELOR MITTAL TUBARÃO / VEGA<sup>1</sup>

Jayme Alves de Souza Júnior<sup>2</sup>

Fabiano Almir Barbosa<sup>3</sup>

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

Jose Roberto de Oliveira<sup>5</sup>

### Resumo

Em 2009 iniciou-se na ArcelorMittal Tubarão uma investigação no processo de aciaria visando identificar as possíveis causas da esfoliação química no material ultra-baixo carbono, laminado a frio para aplicação automobilística, focando no quesito limpidez. Realizado levantamento das principais variáveis de processo no refino e no lingotamento contínuo, e essas, correlacionadas com a limpidez do aço líquido usando os métodos Spark-DAT e oxigênio total (TOS). Também foi feita correlação com o defeito no produto final. Os resultados mostraram incremento do nível de inclusões do refino para o lingotamento contínuo, bem como a evolução da limpidez ao longo do sequencial do distribuidor. As variáveis de processo que mais se mostraram sensíveis ao defeito final foram a velocidade de lingotamento e a obstrução por alumina. Além disso, houve a identificação da necessidade de revisão do modelo de qualidade para aplicações críticas. O acompanhamento e controle das principais variáveis, juntamente com a revisão do modelo de qualidade, levaram a uma redução de aproximadamente 95% no índice de esfoliação no material UBC exposto.

**Palavras-chave:** Esfoliação; Limpidez; Spark-DAT.

### SLIVER EVOLUTION IN THE ROLLED MATERIAL FOR AUTOMOTIVE APPLICATION IN ARCELOR MITTAL TUBARÃO / VEGA

#### Abstract

In 2009 it was carried out an investigation in the Arcelor Mittal Tubarão steelmaking process to identify the origins of sliver index rejection for cold rolled ultra-low carbon material for automotive application, focusing on cleanliness. It was analyzed the main refining and continuous casting process variables and correlated with the liquid steel cleanliness using the Spark-DAT and total oxygen (TOS) methods. Correlation with the defect in the final product was conducted as well. The results showed an increase in the inclusions level from refining to the continuous casting, as well as the cleanliness evolution along the tundish sequence. The most sensitive variables correlated with the final defect were the cast speed and the alumina clogging. Furthermore, there was the necessity to review the quality model for critical applications. The main variables control and the quality model revision led to a sliver index reduction in order of 95 % in the exposed material.

**Key words:** Sliver; Cleanliness; Spark-DAT.

<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 Metalurgista, Especialista de Processo de Produção de Placa da AM Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro Metalurgista, Msc., Membro da ABM, Especialista de Controle Integrado de Produtos da AM Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro Metalurgista, Msc., Especialista de Processo de Produção de Placa da AM Tubarão, Vitória, ES, Brasil.

<sup>5</sup> Prof. Dr. Instituto Federal do Espírito Santo.



## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Apresentação

O defeito esfoliação é uma das grandes preocupações de produtores de chapas de aço de alto valor agregado para a indústria automobilística, principalmente para a fabricação de peças que farão parte da superfície exposta no automóvel, peças essas que têm elevada exigência de qualidade superficial. Além disso, demandas crescentes de altos requisitos de qualidade para esses tipos de materiais (ex. bobinas / chapas de aço destinadas aos clientes Honda e Toyota) levam os produtores a controles mais restritos dos processos produtivos.

A esfoliação química é um defeito diretamente ligado à limpidez do aço, que por sua vez, está relacionada a uma série de procedimentos e etapas do processo de fabricação do aço líquido na aciaria, desde seu refino até sua solidificação na máquina de lingotamento contínuo.<sup>(1)</sup> Portanto, a tratativa de tal defeito deve obrigatoriamente passar pela revisão e checagem de grande parte do processo produtivo da aciaria.

### 1.2 Objetivo

É mostrado nesse trabalho todo o desenvolvimento do processo investigativo do nível de limpidez do aço, correlacionando-o com o aumento do índice de esfoliação no material UBC aplicação exposta processado em AMTubarão/Vega.

Para tal, foi realizado levantamento das principais variáveis de processo do refino e do lingotamento contínuo que possam impactar na limpidez do aço líquido. Essas mesmas variáveis foram correlacionadas com o nível de inclusões de alumina, medida por meio de um espectrômetro de emissão óptica utilizando a metodologia Spark-DAT (Spark Digital Acquisition and Treatment) e com a medição de oxigênio total do aço líquido pelo método TOS. Além disso, essas variáveis também foram correlacionadas com o defeito no produto final.

### 1.3 Revisão da Literatura

#### 1.3.1 Esfoliação

A esfoliação, também conhecida como *sliver*, é um defeito superficial linear que ocorre na tira de aço. É um dos mais típicos e dominantes defeitos presentes em tiras de aço para aplicações automobilísticas e produtos da chamada "linha branca". Este defeito ocorre paralelo ao sentido de laminação e pode surgir em qualquer lado, face e aleatório ao longo da largura e do comprimento da tira. Além disso, pode apresentar coloração tanto escura quanto esbranquiçada.<sup>(2)</sup>

Embora seja um defeito com origem predominante no processo de refino do aço e de lingotamento contínuo, também pode ter origem nos processos de condicionamento, laminação a quente e a frio.

Diz-se que a esfoliação tem natureza química, quando atribuída ao processo de produção do aço na aciaria, e natureza mecânica, quando atribuída ao processo de condicionamento da placa ou ao processo de laminação.

Com relação à origem química podem ser atribuídas quatro diferentes causas ao processo de aciaria:<sup>(2)</sup>



- arraste de pó fluxante durante o processo de lingotamento contínuo. Neste caso, é observada a presença dos elementos químicos Na, K, Ca, Si, Al e/ou F, típicos das composições químicas dos pós fluxantes;
- arraste de escória do distribuidor ou panela. Observa-se a presença de Ca, Al, Mg, Si, Cr, Ti, Mn e/ou Zr;
- produtos originários de reoxidação e da oxidação do aço tais como Al e Mn em aços baixo carbono ou Al, Ti, Mn e Si em aços ultra-baixo carbono ao titânio.
- produtos originados de refratário com presença de inclusões de MgO ou Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### 1.3.2 Fenômeno de formação da esfoliação química

De forma geral, a esfoliação pode aparecer no processo de laminação a quente, quando durante o processamento da bobina inclusões superficiais presentes no aço são afloradas e/ou somente durante o processo de laminação a frio, quando as inclusões estão numa camada sub-superficial mais profunda - nesses casos, as inclusões não são detectadas pelo Parsytec da AMTubarão, um equipamento de inspeção automática localizado no tiras a quente.

Mesmo escarfando toda a superfície da placa, as vezes não é possível remover totalmente as inclusões que originarão o defeito. A escarfagem pode até piorar o defeito caso aflore bolhas, que por sua vez, têm sua região superficial oxidada gerando FeO.

A esfoliação de origem química pode ser causada tanto pelas inclusões não metálicas do tipo endógenas quanto do tipo exógenas, sendo que ambas prejudicam a limpidez do aço e do produto final.<sup>(3)</sup>

- *Inclusões Endógenas* - As inclusões endógenas são aquelas que formam precipitados como resultado de reações químicas que ocorrem no processo de fabricação do aço e são compostas principalmente de óxidos e sulfetos. Como exemplo, tem-se as inclusões de alumina, que é originada da reação entre o oxigênio dissolvido no aço líquido e o alumínio adicionado para desoxidação; e as inclusões de precipitados de alumina, cálcio, sílica e sulfetos, chamadas de inclusões complexas não metálicas, quando associadas em mais de um óxido.
- *Inclusões Exógenas* - As inclusões exógenas formam-se como resultado de incorporações mecânicas de escória, pó fluxante, partículas de refratários ou de outros materiais que tem contato com o aço líquido, como também pela reoxidação do aço. Como exemplo, tem-se as inclusões de refratário, inclusões de cálcio e inclusões de alumina formadas principalmente pela reação química não desejada de reoxidação do aço quando em contato com o ar atmosférico. A Figura 2 mostra os diferentes mecanismos de aprisionamento de outras duas importantes fontes de inclusão exógena, as inclusões de pó fluxante e de escória.

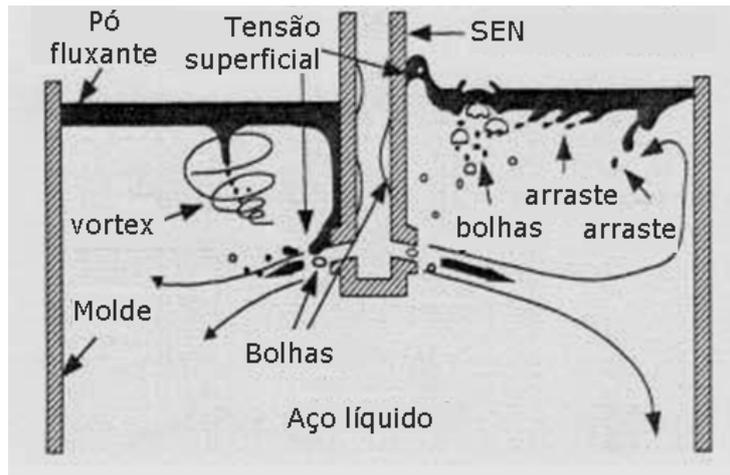


Figura 1. Mecanismos de aprisionamento de pó fluxante e escória no aço.

### 1.3.3 Metodologia Spark-Dat (Spark Digital Acquisition and Treatment)

O método Spark-DAT, as vezes referido como OES-PDA (*Optical Emission Spectrometry with Pulse Discrimination Analysis*),<sup>(4)</sup> consiste na contagem individual do número de picos obtidos com o espectrômetro de emissão óptica, com objetivo de avaliar o número de inclusões não metálicas contidas em uma amostra de aço. A metodologia consiste na obtenção do número de inclusões da amostra de um total aproximado de 2.000 picos (sparks) analisados, picos esses correspondentes às emissões de energias observadas devido à excitação da amostra analisada.

Esse método fornece rápida informação sobre o nível de limpeza de uma amostra (conseqüentemente do aço). A identificação de compostos não metálicos é feita correlacionando os picos dos diferentes elementos químicos observados. Por exemplo, picos aparecendo simultaneamente os elementos Al e O podem ser atribuídos a inclusões de  $Al_2O_3$ . Correlações podem ser feitas também para mais de dois elementos, como Al, Ca e Mg, gerando informações sobre inclusões de aluminatos de cálcio e magnésio, conforme pode ser visto na Figura 2.

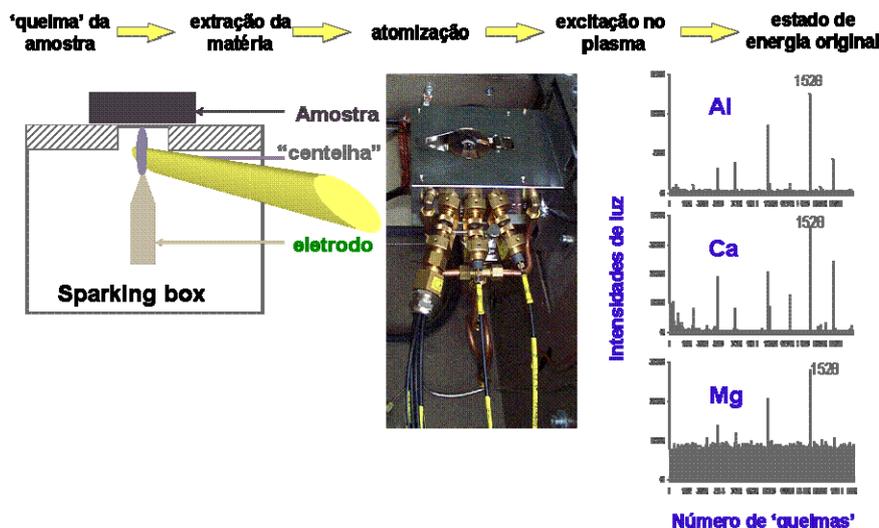


Figura 2. Método Spark-Dat (OES-PDA) e os picos de energia emitidos pelo espectrômetro, detectando a presença dos elementos Al + Ca + Mg contidos na inclusão de  $Al_2O_3$ -CaO-MgO.



## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Depois de constatada uma elevação nos índices de desclassificação do defeito esfoliação no produto final laminado em AM Vega, iniciou-se um processo investigativo com um grupo multidisciplinar e com uso da metodologia 6 Sigma.<sup>(5)</sup> Com ênfase especial na análise do processo, buscou-se correlacionar as principais variáveis de refino e de lingotamento contínuo com a qualidade do aço produzido e o defeito final na chapa. Entre as principais variáveis relacionadas à limpidez do aço investigadas, destacam-se:

- *Refino / panela*: tempo de circulação após DeO e aquecimento, tempo entre fim de vácuo e abertura de panela, práticas de vazamento no convertedor, faixa de alumínio no aço, cromo da areia de panela;
- *Válvula longa*: eficiência do Amepa e selagem da válvula longa, pressão do manipulador, válvula tipo sino, garfo de selagem de argônio;
- *Distribuidor*: pó de cobertura, selagem e purga do distribuidor, desenho do distribuidor, pad de distribuidor, desgaste da tampa de distribuidor, limpidez do aço (MEV, TOS, ASCAT e SPARKDAT);
- *Válvula de distribuidor*: volume de argônio, eficiência de selagem da válvula, Montagem do K7, vazamentos em conexões;
- *Molde*: profundidade da SEN, gasket de selagem, velocidade de menisco (ou de lingotamento).

Neste estudo foram realizadas análises para avaliação da limpidez do aço utilizando os métodos Spark-DAT e oxigênio total – TOS. Além disso, foram caracterizadas mostras de bobinas que apresentaram esfoliações no produto final, visando auxiliar no processo investigativo.

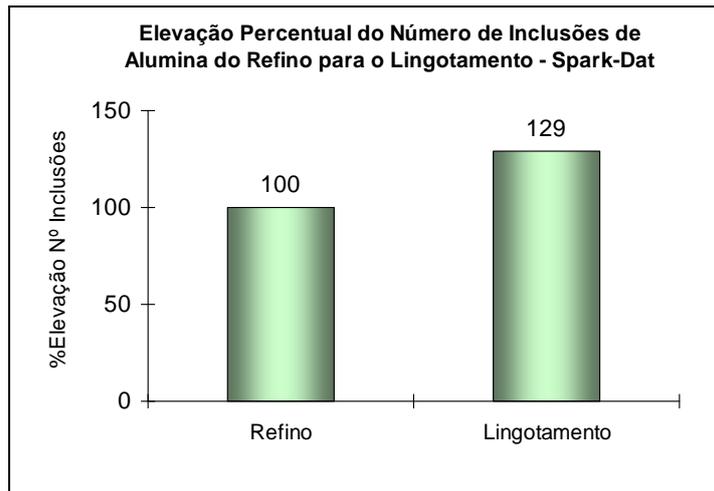
## 3 RESULTADOS

O problema foi inicialmente estratificado e constatado que as principais ocorrências de esfoliação concentravam-se em materiais ultra-baixo carbono tanto para aplicações expostas quanto não-expostas, nas primeiras corridas do sequencial do distribuidor e em placas com larguras acima de 1.400 mm.

Na análise do processo, observou-se principalmente uma tendência clara de elevação dos índices de desclassificação de bobinas por esfoliação na AM Tubarão/Vega quando se reduz significativamente a velocidade de lingotamento. Esse fenômeno pode ser explicado pela interação desfavorável entre o aço e a escória no menisco quando em baixas velocidades, prejudicando a absorção de inclusões dentro do molde. Estudo futuro pretende abordar a faixa de velocidade ideal de menisco (*f value*) para lingotamento dos diferentes tipos de aplicações de aços UBC para a indústria automobilística.

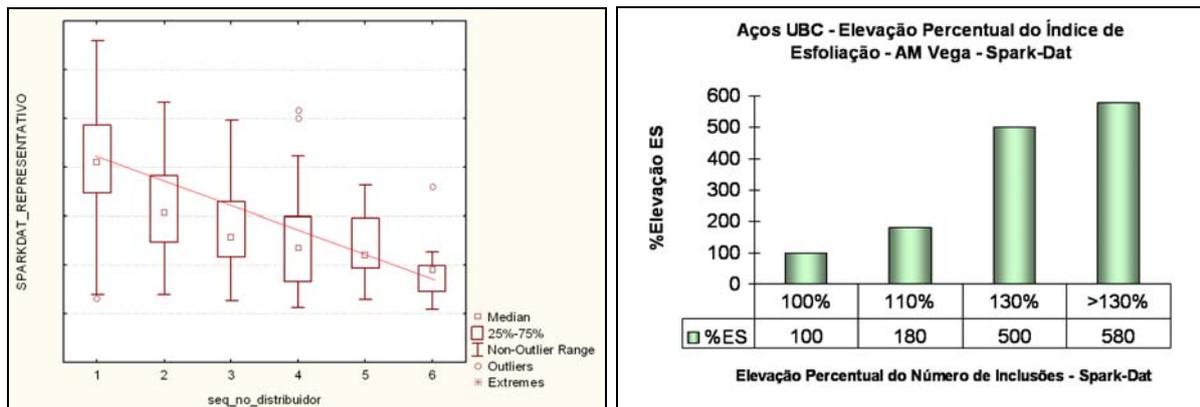
Verificou-se também, durante as análises de processo, um impacto significativo das ocorrências de obstruções por alumina no processo de lingotamento contínuo nos índices de esfoliação obtidos na AM Tubarão/Vega, assim como, uma elevação das obstruções em 2009.

As análises de limpidez de aço, medidas pelo método Spark-DAT, mostraram uma elevação média de aproximadamente 30% do número de inclusões de alumina da etapa de refino secundário para o lingotamento contínuo, como apresentado na Figura 3.



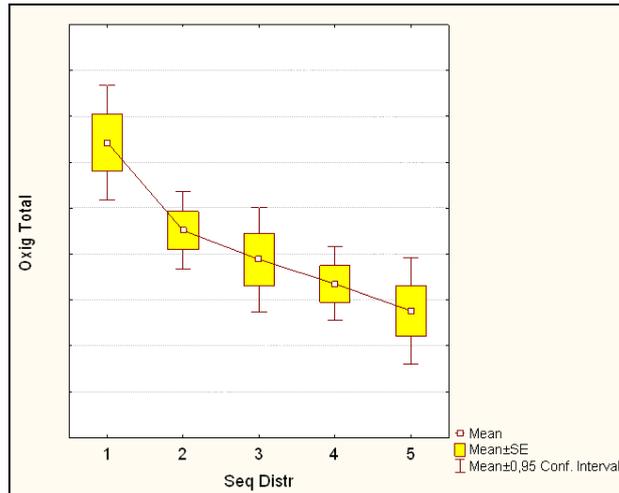
**Figura 3.** Piora da qualidade do aço do refino secundário para o lingotamento, medido através da contagem de inclusão pelo método Spark-DAT.

A Figura 4 mostra a evolução do número médio de inclusões ao longo das corridas no sequencial de um distribuidor e a ocorrência de esfoliação em função de faixas de contagem do número de inclusões. Observa-se claramente faixas críticas de inclusão de alumina com relação à ocorrência do defeito no produto final, o que possibilita usar os resultados deste método como um item valioso de referência para nortear o tratamento a ser adotado ao produto semi-acabado.



**Figura 4 -** Relação da contagem de inclusão com o sequencial de distribuidor e com o índice de esfoliação no produto final.

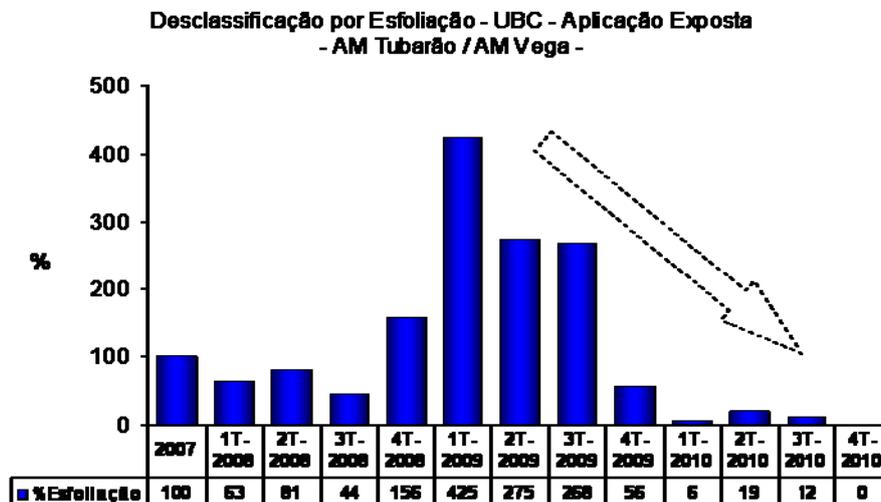
A Figura 5 mostra a evolução do número médio de inclusões ao longo das corridas no sequencial de um distribuidor pelo método de análise do oxigênio total – TOS. Verifica-se a mesma tendência obtida pelo método Spark-DAT, ou seja, piores níveis de qualidade nas primeiras corridas do sequencial do distribuidor. Contudo, observou-se grande dispersão de valores obtidos através do método de oxigênio total – TOS.



**Figura 5** - Relação do oxigênio total – TOS com o sequencial de distribuidor.

Depois de concluídas as análises de processo e as avaliações da limpidez do aço, foram definidas e realizadas várias ações de cunho emergencial e de melhoria operacional, tais como: controle da velocidade mínima de lingotamento, treinamento operacional, melhoria da purga de distribuidor, revisão do modelo de qualidade, ações relativas à melhoria das ocorrências de obstrução por alumina no processo de lingotamento contínuo e da limpidez do aço.

Essas ações, conforme pode ser visto na Figura 6, possibilitaram uma redução significativa dos níveis de esfoliação obtidos no produto final na AM Vega, atingindo valores inferiores ao histórico anterior a 2009.



**Figura 6** – Evolução do índice de esfoliação (%) em relação ao índice de 2007 (referência) no material UBC aplicação exposta após as ações de contenção e melhoria.

## 4 DISCUSSÃO

As variáveis de processo que mais se mostraram sensíveis ao defeito esfoliação no produto final foram a velocidade de lingotamento e a obstrução por alumina, que reduziu substancialmente o sequencial de distribuidor. Além disso, houve a identificação da necessidade de revisão do modelo de qualidade para as aplicações



automobilísticas mais críticas, pois com o crescente e rápido aumento dos requisitos de qualidade dos clientes, ocorreu também um aumento na mesma velocidade das restrições de qualidade que levaram a uma maior desclassificação do produto.

Como resultado final do processo investigativo, além da melhora da qualidade, destaca-se como criação de valor a elaboração de uma nova sistemática de controle e acompanhamento dos principais itens de verificação e de controle relacionados ao defeito, representado na Figura 7. Esse novo modelo torna-se quase um método de predição, que leva a atuações mais rápidas e eficazes no processo antes do defeito final se manifestar.

A investigação da limpidez do aço levou a AM Tubarão a um novo patamar de conhecimento e de avaliação da qualidade interna dos aços, pois com o uso inédito do método Spark-DAT foi possível correlacionar satisfatoriamente os níveis críticos de limpidez com o defeito esfoliação no produto final. Também foi possível a comprovação de piores níveis de qualidade nas primeiras corridas do distribuidor, comparativamente às demais corridas do sequencial.

Após as ações implementadas, os índices alcançados de desclassificação por esfoliação superaram as expectativas iniciais, visto que quando comparados com os principais dados de benchmark do grupo ArcelorMittal América, a AM Tubarão/Vega encontra-se em especial lugar de destaque.

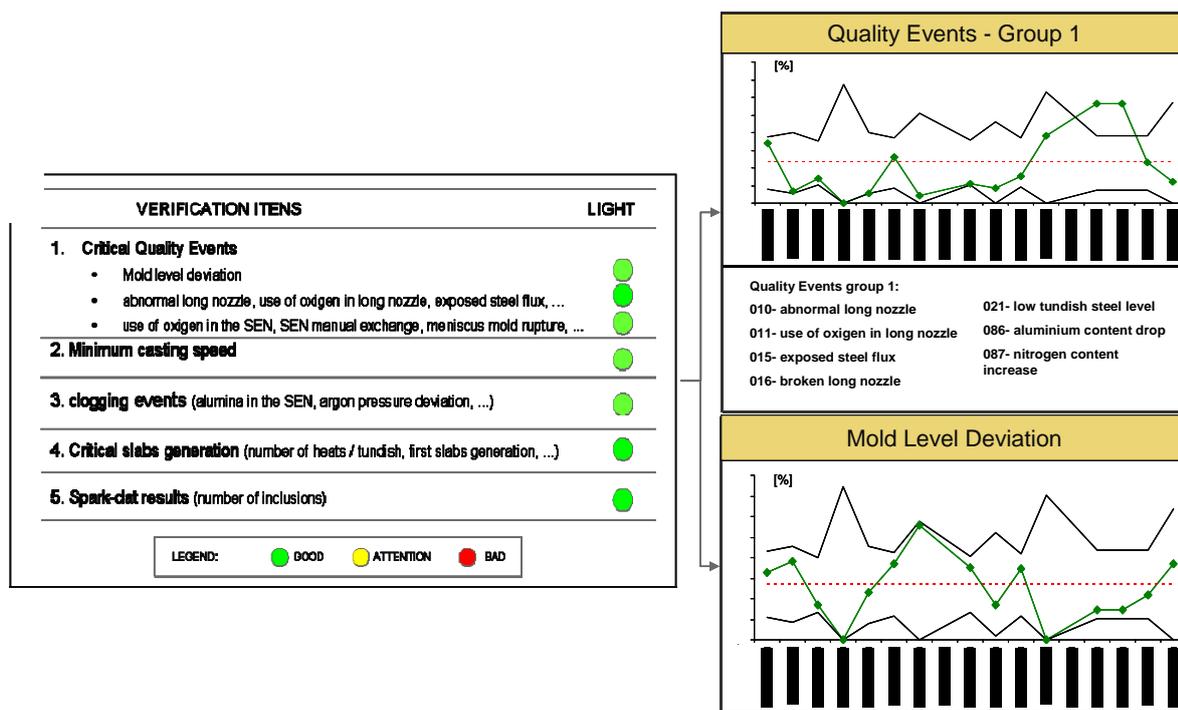


Figura 7 – Modelo de acompanhamento dos principais itens de verificação e de controle relacionados ao defeito esfoliação.

## 5 CONCLUSÃO

Muito ainda tem-se que avançar no controle e prevenção da esfoliação nos produtos laminados. Nesta linha, a AMTubarão/Vega busca continuamente aprimorar os controles dos parâmetros de processo, visando obter correlações mais precisas destes com o defeito esfoliação, assim como, desenvolver e aperfeiçoar os sistemas de inspeção automático da superfície da tira de aço – Parsytec / SIAS. Também



busca-se a disponibilização de mais informações sobre a ocorrência do defeito no produto final, tais como, a densidade de ocorrência na superfície da bobina, a sua precisa localização ao longo do comprimento e da largura da bobina, ou seja, um mapa mais detalhado do defeito. Como referência cita-se o modelo realizado na Inland Steel Company, EUA.<sup>(1)</sup>

No lingotamento contínuo, o aprofundamento do conhecimento do fluxo do aço dentro do molde e suas variáveis, como volume de argônio, projetos da válvula superior do distribuidor e da válvula submersa, profundidade de imersão da válvula submersa, velocidade de lingotamento, largura do molde e o *f value*, tende a levar a um novo patamar de excelência de limpidez.

Outro campo promissor de investigação é a busca pela melhoria da limpidez das primeiras corridas do seqüencial do distribuidor, bem como, o aperfeiçoamento e o desenvolvimento de técnicas de avaliação da limpidez dos aços (*Spark-DAT*, *TOS*, *Lamb Wave*).

### Agradecimentos

Os autores agradecem todas as pessoas que participaram do grupo multidisciplinar criado para o estudo do defeito esfoliação, que teve presença de especialistas das áreas refino, lingotamento contínuo, controle metalúrgico, assistência técnica e do suporte do Centro de Pesquisa Global da ArcelorMittal, pelas valorosas contribuições na execução deste trabalho.

### REFERÊNCIAS

- 1 International Institute of Steel and Iron. IISII Study on Clean Steel, 504 pages, published 09/09/2004
- 2 H. T. Tsai; W. J. Sammon; D. E. Hazelton - Inland Steel Company. Characterization and Countermeasures for Sliver Defects in Cold Rolled Products. 1990 STEELMAKING CONFERENCE AWARD.
- 3 Lifeng Zhang; Brian G. Thomas; Xinhua Wang; Kaike Cai. Evaluation And Control Of Steel Cleanliness – REVIEW. 85TH STEELMAKING CONFERENCE PROCEEDINGS, ISS-AIME, Warrendale, PA, 2002 pp. 431-452.
- 4 Thermo Scientific. Spark-DAT Option On-Line Single Spark. Disponível em: [http://www.thermo.com/eThermo/CMA/PDFs/Articles/articlesFile\\_1368.pdf](http://www.thermo.com/eThermo/CMA/PDFs/Articles/articlesFile_1368.pdf) . Acesso em: 12 Janeiro 2011.
- 5 WERKEMA, C.. Criando a Cultura Seis Sigma. Nova Lima, Minas Gerais: 2004