

# CARACTERIZAÇÃO DE DEFEITOS SUPERFICIAIS TIPO ESCAMA EM BARRAS TREFILADAS <sup>1</sup>

Leoneros Acosta Barbosa <sup>2</sup>  
Geraldo André Fagundes <sup>3</sup>  
Leila Teichmann <sup>4</sup>  
Afonso Reguly <sup>5</sup>

## Resumo

Este trabalho visa o desenvolvimento de metodologia para caracterização de defeitos superficiais tipo escama em barras laminadas buscando uma diminuição do sucateamento destes produtos.

**Palavras-chave:** Defeito superficial; Escamas; Barra trefiladas.

## CHARACTERIZATION OF SLIVER SURFACE DEFECTS IN COLD-DRAWN BARS

### Abstracts

This work studied the development of methodology for the evaluation of sliver surface defects in cold-drawn bar aiming to decrease the volume of scrap in those products.

**Key words:** Surface defect; Slivers; Cold-drawn bars.

<sup>1</sup> Trabalho a ser apresentado no 43º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos de 17 a 20 de outubro de 2006, Curitiba – PR. Para o tema: Processos: laminação, estamparia, soldagem e conformação em geral.

<sup>2</sup> Mestrando, Programa de Pós – Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais (PPGEM) – UFRGS. leoneros@demet.ufrgs.br

<sup>3</sup> Assessor Técnico de Laminação – GERDAU – Aços Especiais Piratini.

<sup>4</sup> Assistente de Pesquisa e Desenvolvimento – GERDAU - Aços Especiais Piratini.

<sup>5</sup> Professor, Programa de Pós – Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais (PPGEM) – UFRGS.

## INTRODUÇÃO

Escama é um defeito superficial que tem o aspecto de lascas de materiais, tendo forma, distribuição e dimensões variadas. Uma característica geralmente observada é que o interior da escama do fio máquina apresenta-se, muitas vezes, preenchido com carepa ou substâncias não metálicas. É um tipo de defeito superficial que pode ocorrer paralelamente à direção de laminação podendo surgir em ambas as faces e em qualquer lugar ao longo da largura da barra trefilada.

Estudos mostraram que as escamas são sobreposições de metal com extensão maior que a profundidade e consecutivamente maior que a largura. Logo, os defeitos analisados são na sua maioria rasos e extensos.

Foi estudada a metodologia para caracterização e distribuição de defeitos superficiais tipo escama nas barras trefiladas. As análises foram realizadas através de cortes transversais aos defeitos para estudos metalográfico onde foram atacadas com os seguintes reagentes: amostra sem ataque, Nital 2%, Oberhoffer ou Stead, cromato alcalino a quente e picral bem como a macroestrutura no lado do defeito através de lupa estereoscópica de baixo aumento, magnaflux e análise em microscopia eletrônica de varredura juntamente com análise via EDS.

As diferentes técnicas utilizadas permitiram a determinação da provável causa dos defeitos observados. A análise por microscopia ótica mostrou ser uma técnica pouco eficaz na determinação da causa raiz do defeito permitindo somente a diferenciação entre prováveis origens. A análise através de microscopia eletrônica de varredura e EDS demonstraram grande eficiência na determinação das origens dos defeitos observados. Este artigo aborda uma metodologia para caracterização do defeito superficial tipo escama.

## METODOLOGIA

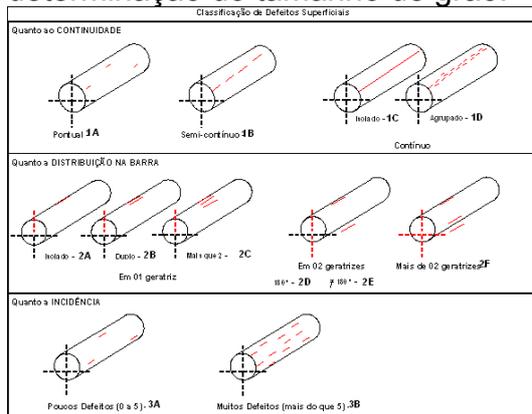
A metodologia empregada para análise consistiu em caracterização visual dos defeitos em lupa estereoscópica e análises metalográficas em microscópio ótico e em microscópio eletrônico de varredura, juntamente com análise via microsonda acoplada ao microscópio eletrônico (EDS). As barras trefiladas rejeitadas na inspeção por correntes parasitas, foram recolhidas e levadas ao equipamento de partículas magnéticas Magnaflux para localização e caracterização visual dos defeitos, assim como foi realizada a descrição da distribuição e frequência dos defeitos existentes nas barras, conforme a **Figura 1**.

As seções que apresentavam defeitos foram cortadas, conforme a **Figura 2**, onde os defeitos foram caracterizados em lupa estereoscópica (Zeiss Stemi SV11), com sistema de aquisição digital de imagens. Logo após, foram cortadas em máquinas de disco abrasivo Buehler Abrasimatic 2 e Struers Secotom-10, em duas ou três amostras, dependendo da dimensão do defeito. Após foram embutidas em baquelite na máquina Struers LaboPress-3, sendo preparadas conforme procedimento metalográfico padrão.

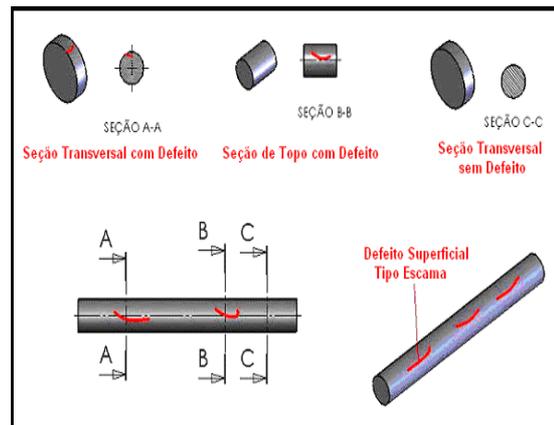
Para análise ao microscópio ótico Olympus BX-60M foram empregadas amostras sem ataque, ataque com Nital 2%, ataque com picral, reagente Stead ou Oberhoffer's e reagente cromato alcalino a quente, conforme a **Tabela 1**.

As micrografias feitas em amostras sem ataque mostram as regiões onde há oxidação e presença de inclusões perto do defeito. Já as micrografias com Nital 2%, além de revelarem o padrão microestrutural do aço analisado, delineiam a extensão de uma possível descarbonetação bem como possíveis linhas de deformação do

material ou crescimento anormal de grão. O reagente picral foi empregado para determinação do tamanho de grão.



**Figura 1.** Classificação quanto à distribuição dos defeitos superficiais.



**Figura 2.** Corte das barras treiladas.

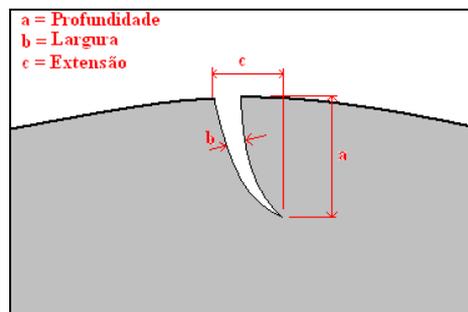
O cromato alcalino, solução de 16g de ácido crômico e 80g de hidróxido de sódio em 150ml de água, ressalta a região onde há presença de oxigênio, nitidamente as regiões oxidadas, sendo que esta região torna-se esbranquiçada. E o reagente Stead ou Oberhoffer's determina áreas com segregação de fósforo e enxofre (defeito oriundos do tarugo) e delineiam marcas de deformação, uma das características de defeitos típicos de laminação.

**Tabela 1.** Identificação das análises realizadas para determinação da origem do defeito tipo escama através da caracterização microestrutural.

Reagente/Método	Revela	Como Identificar
Magnaflux	- Distribuição do defeito	-Defeito contínuo identifica defeito tipo dobra de laminação.
Lupa Esteroscópica	- Morfologia do defeito	-Permite a diferenciação entre marcas de manuseio e escamas.
S/ Ataque (Microscopia ótica)	- Oxidação - Presença de inclusões	-Inclusões vítreas identificam defeito oriundo da aciaria.
Nital (Microscopia ótica)	- Microestrutura - Descarbonetação - Linhas de deformação	-Fusão parcial ou total no contorno de grão indica superaquecimento ou queimados que é um defeito oriundo da laminação. -Descarbonetação pode ser oriunda da laminação ou aciaria. Marcas de deformação identificam defeito oriundo da laminação.
Stead ou Oberhoffer (Microscopia ótica)	- Segregação de Fósforo e enxofre - Linhas de deformação	-Região não atacada pelo reagente é a que apresenta segregação de P e S, problema oriundo da aciaria. -Marcas de deformação identificam defeito oriundo da laminação ou aciaria.
Cromato Alcalino (Microscopia ótica)	- Ressalta região com presença de oxigênio	-Regiões esbranquiçadas identificam defeito que pode ser oriundo da aciaria ou laminação.
Picral (Microscopia ótica)	- Distribuição e Tamanho de grão	-Mudança de tamanho de grão: grão menor próximo ao defeito identifica defeito de aciaria (trinca de solidificação).
Microscopia Eletrônica - EDS	- Análise da superfície do defeito e análise química qualitativa	-Determinação da composição química e do tamanho das inclusões presentes no defeito e em sua proximidade.

As amostras embutidas foram ainda levadas ao microscópio eletrônico de varredura Phillips XL - 20 para caracterização por microsonda de regiões de interesse, como de óxidos e inclusões. Para a análise química com ajuda do

MEV/EDS, ainda foram cortadas amostras das barras de cada ordem de produção no sentido longitudinal, deixando a região do defeito intacta, apenas levantando ou retirando a aba superior do defeito tipo escama para ali realizar a análise química. Análises transversais também foram realizadas em área adjacente ao defeito e na outra extremidade da barra, para poder comprovar que regiões próximas ao defeito têm aspectos diferenciados das regiões mais afastadas. Já para a determinação das dimensões dos defeitos analisados, foi utilizado o método utilizado demonstrado pela na **Figura 3**.



**Figura 3.** Método utilizado para determinação do dimensional dos defeitos analisados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Macro Análise

O estudo da frequência, localização, espaçamento de um defeito é a primeira tarefa necessária para estudar sua origem. Discutem-se separadamente as características gerais dos defeitos e a observação a simples vista, com lupa estereoscópica e partículas magnéticas (magnaflux) é um bom recurso para se diferenciar escamas de outros tipos defeitos.

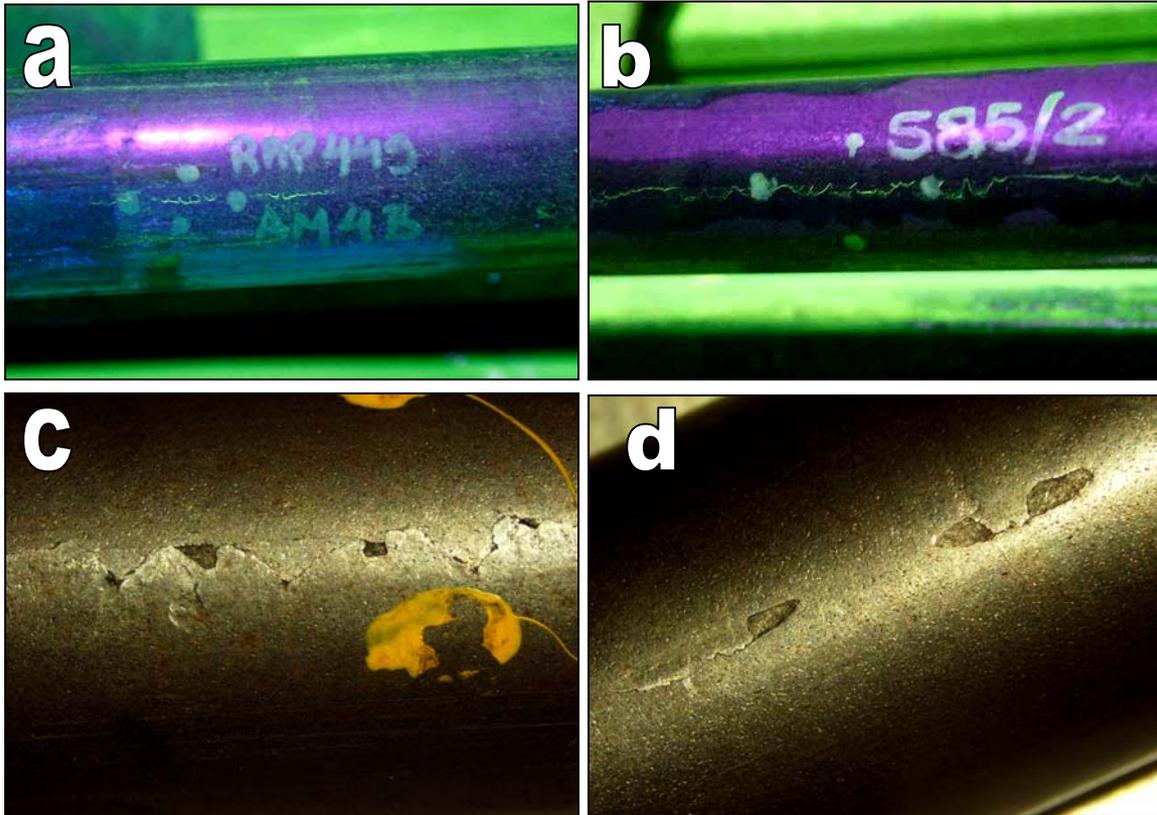
### Magnaflux

As macroestruturas observadas nas Figura 4a e 4b tem como objetivo determinar a posição dos defeitos em relação à barra. Pode-se ainda observar a distribuição dos defeitos ao longo da mesma diferenciando escama de dobra de laminação que é um defeito contínuo.

### Lupa Esteroscópica

Para observação de defeitos superficiais em tarugos não há uma possibilidade de se limpar previamente a superfície do tarugo com jato de areia ou decapagem. Logo, a observação da superfície da barra, com carepa, só permite ver defeitos muito grosseiros e muitas vezes não permite ver trincas transversais, porosidade superficial e muitos detalhes da superfície que ajudam a ter uma idéia das causas dos defeitos.

Nas **Figura 4c** e **4d** podem-se observar os defeitos tipo escama, apresentando uma lasca fina de metal presa à barra em um ponto. Pode-se também observar que a parte externa da lasca apresenta-se brilhante, diferente do restante da barra, enquanto a parte interna do defeito apresenta-se rugosa com ou sem preenchimento com carepa/óxidos.



**Figura 4.** Macro análise mostrando a e b) barra analisada com magna flux, c e d) barra analisada com lupa estereoscópica.

## Micro Análise

### Sem ataque químico

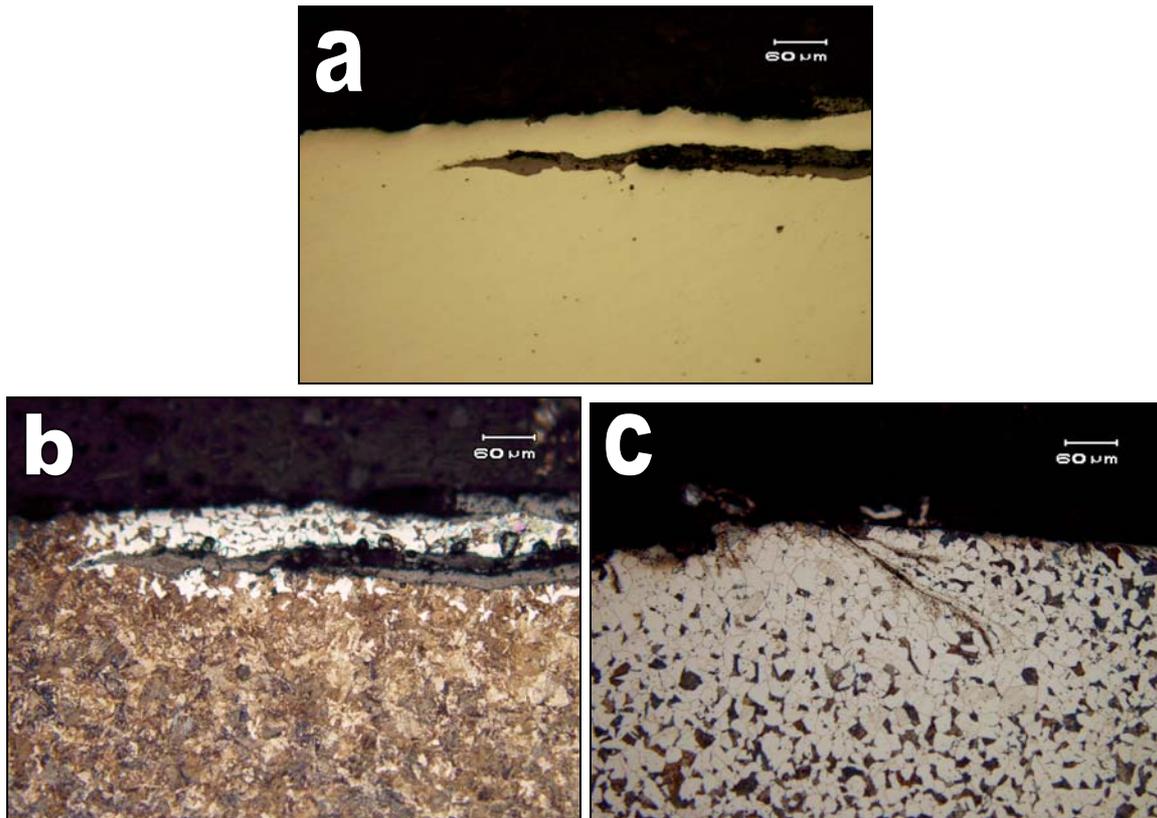
Na observação sem ataque, pode ficar clara a origem do defeito se aparecer macroinclusões associadas. A observação metalográfica deve ser completada com análise via EDS para poder estabelecer a provável origem da macroinclusão.

A **Figura 5a** apresenta uma imagem ao microscópio ótico, sem ataque químico, de uma secção transversal da barra na região do defeito. Com esta técnica podem-se caracterizar as dimensões do defeito em profundidade, largura e extensão, conforme o método demonstrado pela **Figura 3**. Além disto, pode-se verificar a presença de outras características como a presença de inclusões não metálicas, também sendo possível a sua quantificação em termos de tamanho e quantidade.

### Reagente Nital 2%

Segundo Madias e Reda (2004), o ataque com nital permite definir bem os bordes dos grãos de ferrita e obscurece a perlita. Permite observar a descarbonetação, o crescimento anormal de grão, a estrutura bandeada, a segregação central e as linhas de fluência em defeitos submetidos á deformação.

Nas **Figura 5b** e **5c** observam-se imagens ao microscópio ótico de amostras atacadas com Nital 2%. Este ataque permite a verificação da microestrutura da região, bem como a presença de marcas de deformação sugerindo defeito ocasionado no processo de laminação. Também se pode observar a presença de óxidos e descarbonetação na superfície ou nas proximidades do defeito, embora estas características não indiquem a provável origem do defeito.



**Figura 5.** Micrografias (a) sem ataque e (b e c) com o reagente nital 2 %.

### Reagente Cromato Alcalino

Segundo Madias e Redá,<sup>(1)</sup> o cromato sódico alcalino obscurece a martensita rápido, a ferrita mais devagar e a região com alto teor de oxigênio deveria ficar sem atacar, de cor clara. Normalmente a faixa atacada fica ao redor do defeito. A magnitude da penetração de oxigênio fica revelada pela largura da faixa.

A Figura 6a apresenta uma imagem de uma amostra atacada com o reagente de cromato alcalino. Observam-se regiões esbranquiçadas nas proximidades do defeito, indicando a penetração de oxigênio. Se a penetração de oxigênio for muito profunda nas vizinhanças do defeito pode supor que o defeito seja oriundo do tarugo. Porém pouca penetração ou ausência de oxigênio não significa que o defeito seja oriundo de laminação, pois o defeito pode estar presente no tarugo e aflorar no processo de laminação.

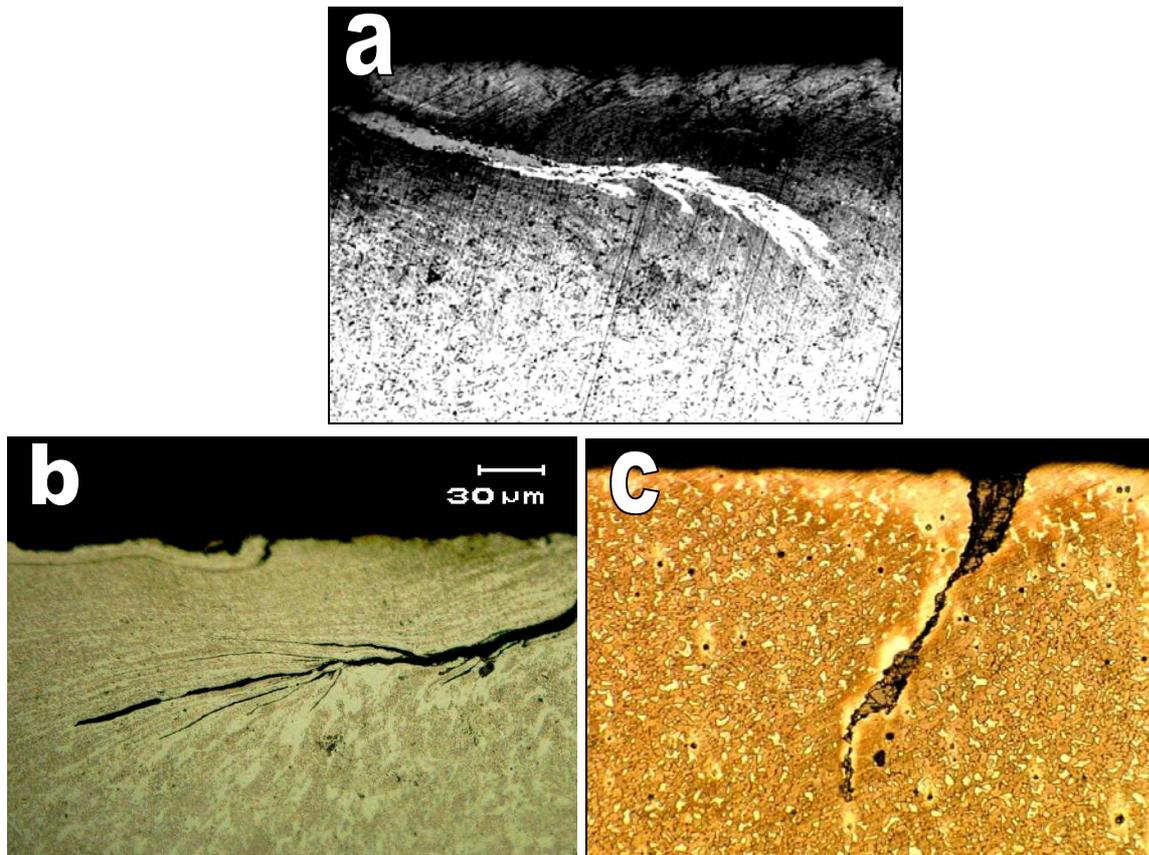
### Reagente Stead ou Oberhoffer

O reagente Oberhoffer ou Stead é utilizado para estudar fenômenos relacionados com a segregação. Apresenta algumas dificuldades na utilização, exigindo que a amostra esteja muito limpa para se atacar.

Nas Figura 6b e 6c temos amostras atacadas com os reagentes Stead e Oberhoffer, utilizados para visualizar segregações de fósforo e enxofre na direção do interior da barra, associada a poro subsuperficial, conforme Madias e Redá.<sup>(1)</sup> Isto passa despercebido na observação com nital 2%. Pode-se observar nas ainda nas Figura 6b e 6c as regiões mais claras onde temos regiões ricas em fósforo ou enxofre. Com este reagente ainda pode-se observar na Figura 6b as linhas de deformação decorrentes do processo de conformação do material indicando uma provável origem no processo de laminação.

Segundo Meyette e Elliott,<sup>(2)</sup> em geral fósforo e algum enxofre são segregados próximos a blowholes. Se os reagentes Stead ou Oberhoffer demonstrarem segregação de fósforo próximo ou de baixo da falha, podemos deduzir que esta falha é devida a blowholes.

De acordo com Tsai, Sammon e Hazelton,<sup>(3)</sup> Emling e Waugaman,<sup>(4)</sup> Nakamura e cols.<sup>(5)</sup> e Sidorenko e Bonilla,<sup>(6)</sup> os blowholes são originados pela variação do nível do banho no molde. Esta variação é ocasionada pelo entupimento de válvula e tubos pela alumina.<sup>(7)</sup> Portanto a presença de blowholes indica alumina no banho e sugere que o defeito esteja presente no tarugo.



**Figura 6.** Micrografias atacadas com os seguintes reagentes: a) cromato alcalino, b) Stead e c) Oberhoffer.

De acordo com Tsai, Sammon e Hazelton,<sup>(3)</sup> os defeitos oriundos de tarugo trincado podem apresentar uma variedade de formas. Um defeito multi-linha, variando em espessura, é típico de origem de tarugos trincados. Caracterizado por grãos finos e equiaxiais e óxidos internos dispersos nas vizinhanças do defeito e uma microestrutura normal afastado da região com falha. A troca de grão de grosso para fino é causada devido a trabalho a quente localizado. O grão não cresce devido ao seu ancoramento pelos óxidos. A carepa não removida reduz-se após o recozimento.

### **Microscópio Eletrônico de Varredura e Análise via EDS**

Os defeitos podem ser observados no microscópio eletrônico de varredura tal qual ou sobre amostras polidas. A observação tal qual, que é certamente importante no estudo de defeitos superficiais em barras trefiladas. A observação de amostras polidas, sem ataque ou com ataque, também não proporciona muita informação, além do observado no microscópio ótico. Segundo Ray, Dhua e Jha,<sup>(8)</sup> o mais

importante é a possibilidade de fazer EDS, para assegurar a identificação de carepa, sulfetos e óxidos, e ter um conjunto interessante de estudo onde à análise localizada dá informação útil para definir a origem de diversos defeitos.

Nas Figura 7a e 7b temos as imagens obtidas através de microscopia eletrônica de varredura, sendo na Figura 7a uma imagem da secção transversal da barra na região do defeito e na Figura 7b a imagem na superfície da barra, apresentando o defeito.

O microscópio eletrônico de varredura permite uma excelente visualização da topografia dos defeitos, apresentando alta resolução e grande profundidade de foco. Além disto, analisando-se as amostras sem recobrimento com ouro ou carbono, evidencia-se a presença de inclusões vítreas devido às suas características de condutividade elétrica. Estas inclusões são visualizadas como pontos brancos e brilhantes, como observados nas Figura 7a e 7b. também devido à grande capacidade de ampliação deste equipamento, conseguem-se uma boa precisão na medida do tamanho e forma das inclusões e da sua distribuição na amostra.

Acoplado ao Microscópio eletrônico de varredura temos o equipamento EDS, que possibilita uma análise qualitativa e quantitativa através do espectro de raios X emitidos pelos elementos químicos presentes em uma determinada área ou ponto da amostra. Com isto consegue-se determinar a composição de inclusões presentes nas amostras.

As Figura 7c e 7d apresentam espectros de raios X, obtidos através do EDS, das inclusões presentes nas amostras. Observa-se a presença dos picos de emissão de vários elementos, notadamente de cálcio, alumínio e oxigênio, sugerindo que estes defeitos são oriundos do tarugo.<sup>(9,10)</sup> Através da análise química, via EDS, das inclusões presentes próximos ou no interior do defeito pode-se sugerir qual etapa do processo produtivo de obtenção do tarugo foi determinante para a ocorrência do defeito.

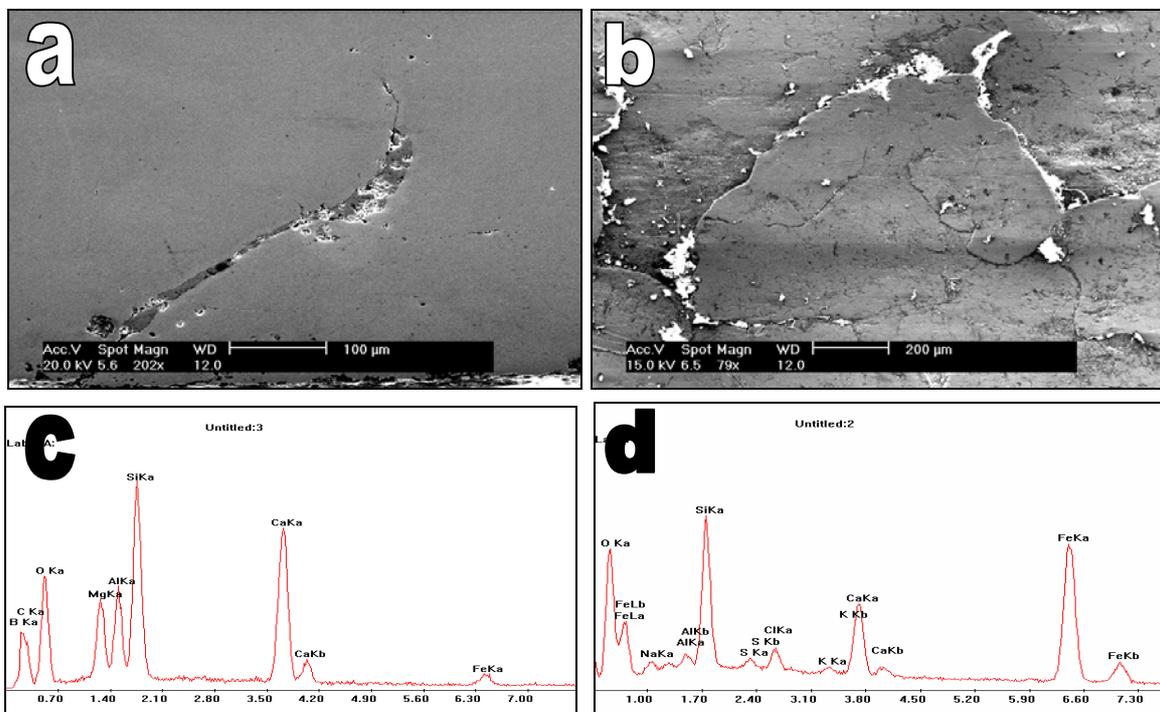


Figura 7. Análise por microscopia de varredura na região com o defeito juntamente com seu EDS.

## CONCLUSÕES

Através da coleta de amostras de diferentes qualidades de aço apresentando defeitos tipo escama e a sua análise utilizando-se diversos reagentes de ataque e técnicas de microscopia, aliado à utilização do microscópio eletrônico de varredura e EDS, foi possível efetuar uma caracterização e a determinação da provável origem deste defeito.

Inspeção visual e macrografias via magnaflux permitem a caracterização da distribuição dos defeitos na barra.

A análise por técnicas de microscopia ótica com diferentes reagentes de ataque químico permite uma diferenciação entre as prováveis causas dos defeitos sendo, no entanto, pouco eficaz na determinação da causa raiz do defeito.

A análise via microscopia eletrônica de varredura juntamente com o EDS demonstrou grande eficiência na determinação das origens dos defeitos observados.

## Agradecimentos

Os agradecimentos vão ao CNPq Conselho Nacional Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro e ao técnico em metalurgia **Jair Leopoldo Janoski** - GERDAU - Aços Especiais Piratini pela gentileza de ceder as micrografias e macrografias para confecção deste artigo.

## REFERÊNCIAS

- 1 Madias J. ; Reda L., “**Defeitos em Produtos Longos de Aços ao Carbono e Baixa Liga**”, Instituto Argentino de Siderurgia – IAS. Outubro 2004.
- 2 Meyette, C. L.; Elliott, V.E. “**A Method for Determining the Origin of Surface Defects in Rolled Steel Products**”. Transactions of the AIME, v. 176, pp. 201-218, 1948.
- 3 Tsai, H. T.; Sammon, W. J.; Hazelton, D. E. “**Characterization and Countermeasures for Sliver Defects in Cold Rolled Products**”. Steelmaking Conference Proceedings, pp. 49-59, 1990.
- 4 Emling, Z. H.; Waugaman, T. A. “**Subsurface Mold Slag Entrainment in Ultra Low Carbon Steel**”. Steelmaking Conference Proceedings, pp. 371-379, 1994.
- 5 Nakamura, H.; Kohira, S.; Kubota, J.; Kondo, T.; Suzuki, M.; Shiratani, Y. “**Technology for Production of High Quality Slab at High Speed Casting**”. Steelmaking Conference Proceedings, pp. 409-415, 1992.
- 6 Sidorenko, D.; Bonilla, C. “**Quality Evaluation of Billet Surface at Ivaco Rolling Mills**”. Iron and Steelmaker, pp. 35-39, Abril 1998.
- 7 Chakraborty, S; Hill, W. “**Reduction of Alumina Sliver at Great Lakes no. 2 CC**”. Steelmaking Conference Proceedings, pp. 389-395, 1994.
- 8 Ray, S.K. Dhua, S. Jha. “**Electron-Probe Microanalysis: Some Applications in the Assessment of Steel Product Quality**”. X-Ray Spectrometry 28, 41-50 (1999).
- 9 Herrera, G. and Santos, R.; “**Improvement in Surface Quality and Internal Cleanliness of Thin-Slab Casting at HYLSA**”. September 2005.
- 10 Bommaraju, R.; Jackson, T; Lucas, J.; Skoczylas, G. “**Design, Development and Applications of Mold Powder to Reduce Sliver**”. Iron and Steelmaker, pp. 21-27, Abril 1992.