

# CARACTERIZAÇÃO DA OXIDAÇÃO A QUENTE E DECAPAGEM DOS AÇOS INOXIDÁVEIS FERRÍTICOS<sup>1</sup>

*Edson Hugo Rossi*<sup>2</sup>

*Geovane Martins Castro*<sup>2</sup>

*Adão Adélcio Campos*<sup>3</sup>

## **Resumo**

A qualidade da superfície da bobina laminada a frio – BF, do aço inoxidável Ferrítico ABNT430, recebe uma herança do processo e da formação do óxido da bobina laminada a quente – BQ, do recozimento em BOX e do processo de remoção deste óxido, por preparação mecânica e decapagem química. A redução da temperatura de laminação, o uso da descarepação nos passes de acabamento e a redução da temperatura de bobinamento, são variáveis importantes que alteram a composição, reduzem a espessura da carepa e o nível de oxidação de Cromo na interface óxido e metal base, fatores importantes na decapabilidade do aço. No recozimento via BOX, há um aumento do constituinte  $Fe_3O_4$  e Ferro, há redução do  $Fe_2O_3$ . O constituinte  $FeCr_2O_4$  se mantém estável e há um notável crescimento do  $Cr_2O_3$  na interface metálica. É observado ainda que no recozimento com 100% $H_2$  há maior formação de Ferro que no recozimento com 95% $N_2$ . Na preparação mecânica a rugosidade superficial cresce sob a influência das cavidades provocadas pelo jato, mas é amenizada pela suavização dos picos, provocada pelo escovamento.

**Palavras-chave:** Oxidação; Inox ferrítico.

## **CHARACTERIZATION OF THE HOT OXIDATION AND PICKLING OF THE FERRITIC STAINLESS STEELS**

### **Abstract**

The surface quality of the cold rolled coil - BF, of the ferritic stainless steel ABNT430, receives an inheritance from the process and from the oxide formation of the hot rolled coil - BQ, from the BOX annealing and from the removal process of this oxide, by mechanical preparation and acid pickling. The reduction of the rolling temperature, the use of the interpass descaling in the finished passes and the reduction of the coiling temperature, both are important variables that change the composition, reduce the scale thickness and the level of chromium oxidation in the interface oxide metal base, important factors on the pickling of the steel. In the BOX annealing, there is an increase of the constituent  $Fe_3O_4$  and Fe, and a reduction of the  $Fe_2O_3$ . The constituent  $FeCr_2O_4$  keep stable and there is a noticeable growth of the  $Cr_2O_3$  in the metallic interface. It is still observed during 100% $H_2$  annealing a formation of Fe larger than on the 95% $N_2$  annealing. In the mechanical preparation the superficial roughness grows under the influence of the cavities caused by the shot blast, but it is livened up by the smoothed picks, caused by the brushing.

**Key words:** Oxidation, Ferritic stainless steel.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 44º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 16 a 19 de outubro de 2007, Campos do Jordão – SP, Brasil.*

<sup>2</sup> *Eng.º Metalúrgico, MSc.; Pesquisador do Centro de Pesquisas da Acesita*

<sup>3</sup> *Eng.º Materiais, Aciaria da Acesita*

## 1 INTRODUÇÃO

A evolução da superfície metálica e o efeito da oxidação na Laminação a Quente e Recozimento dos aços ferríticos classe ABNT 430, tem sido motivo de pesquisa recente, devido a uma maior propensão deste aço de formar uma superfície fosca na Bobina laminada a frio. A classe dos aços ferríticos laminados a frio, ao nível de análise microscópica no MEV ou ótica, entre outras irregularidades, apresenta maior grau de porosidade, cavidades em forma de redes ou alongadas. Parte destes defeitos são oriundos da formação da Bobina Laminada a Quente e decapada. Assim, a temperatura durante a laminação a quente, descarepação nos passes de acabamento e rápido resfriamento no bobinamento, são determinantes na redução da espessura da carepa e formação de fases e constituintes de melhor decapabilidade.

A fase seguinte do processo, o recozimento via BOX, com atmosfera redutora por H<sub>2</sub>, modifica acentuadamente a natureza do óxido formado na laminação a quente. Há um aumento do constituinte Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> e Fe, há redução do Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. A fase spinela FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> se mantém estável e há formação do Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na interface metálica, aderente e de difícil decapagem. Após BOX, na linha de preparação mecânica e decapagem há o efeito do impacto das granalhas do jateamento provocando a formação de cavidades na superfície da bobina, podendo permanecer resíduos destas cavidades ainda após a laminação a frio. Por outro lado, o escovamento suaviza a superfície da BQ branca pela redução dos picos formados na superfície da bobina laminada a quente.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi executado no Centro de Pesquisa da ACESITA, as amostras foram recolhidas de bobinas laminadas a quente – BQ, de bobinas recozidas e após preparação mecânica e decapagem. Para análise ótica e de MEV, as amostras foram cortadas em seção transversal à de laminação, niqueladas por deposição eletrolítica para preservação da carepa, embutidas em baquelite e polidas com pasta de diamante. A espessura da carepa foi medida em um analisador de imagens e software desenvolvido pela LECO. O mapeamento dos elementos presentes ao longo da seção da carepa foi realizado no MEV – BSE fabricação PHILIPS pelo processo de análise por energia dispersiva. A área de varredura e o espaçamento entre as medições são previamente definidos, em função do grau de precisão das análises desejada. A identificação dos compostos presentes na carepa foi feita pela análise na superfície da carepa, em um difratômetro de raios-X marca Philips, modelo X'pert PRO MPD, empregando-se um ângulo de incidência de 15° e fonte de cobalto. Finalmente, as medidas de rugosidade foram realizadas na superfície metálica, após decapagem mecânica e química em um perfilômetro de superfície, que traça a topografia da superfície da amostra.

## 3 RESULTADOS

A distinção entre superfície fosca e não fosca é muito sutil e é mais facilmente observada na linha de inspeção, quando uma grande superfície pode ser vista ao mesmo tempo e comparada em toda sua largura e comprimento. Uma superfície pode então ser considerada fosca se reflete pouco a luz ou se a imagem refletida na sua

superfície é pouco nítida. A nível microscópico, os aspectos da superfície que contribuem para a formação de uma superfície fosca, são cavidades remanescentes da chapa laminada a quente e decapada. Além disso, a velocidade de laminação a frio, o diâmetro e a rugosidade do cilindro de trabalho e a qualidade do óleo, afetam diretamente no nível de brilho ou de fosco. Porém este estudo se limita na avaliação da influência dos parâmetros de laminação a quente e da preparação mecânica e decapagem sobre o estado da superfície da BQ branca.

### 3.1 Caracterização da Carepa Formada na LTQ e Após Recozimento

#### 3.1.1 Espessura da carepa

A espessura e a natureza da carepa têm influência direta na superfície metálica resultante da remoção desta camada de óxido. Assim, quanto mais espessa a carepa formada, maior a rugosidade resultante na BQ decapada.

Nesta fase são então analisados a evolução da espessura da carepa e a composição do óxido formado na BQ preta.

Na Figura 1 é mostrado que a espessura é maior no esboço e é menor na BQ preta e é ainda mais reduzida no recozimento no Box, devido à reação química de redução do óxido de ferro, que reduz o volume da carepa.

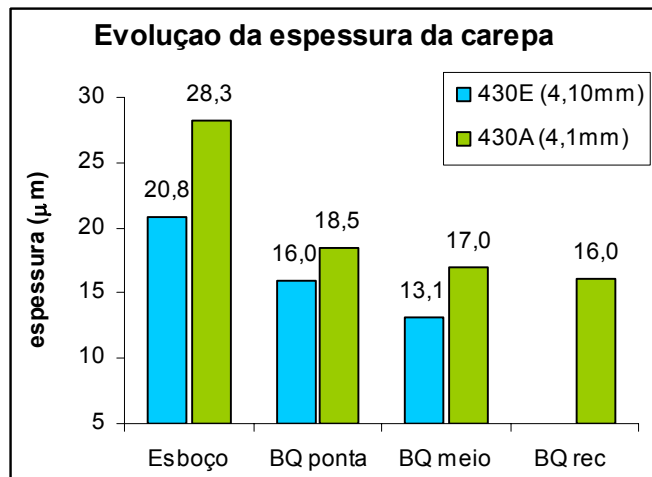


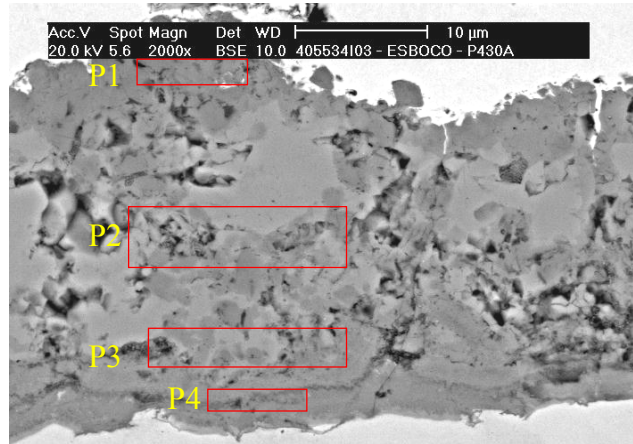
Figura 1: Redução da espessura da carepa do esboço à BQ recozida

Esta última influência é mais notada em recozimento com atmosfera de 100% H<sub>2</sub>, nas espiras externas da BQ recozida. A temperatura de processo, a descarepação e o resfriamento da superfície da tira são também variáveis importantes na definição da natureza e espessura da carepa. Assim, o P430A (ABNT 430 não estabilizado) tem temperatura de laminação na LTQ em média 170°C acima do P430E (ABNT 430 não estabilizado).

#### 3.1.2 Composição da carepa - evolução do Esboço a BQ recozida

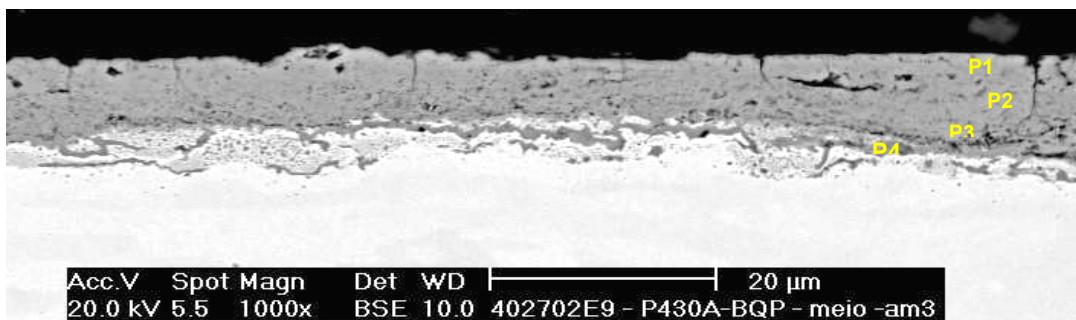
A composição da carepa é também fortemente influenciada pela etapa de recozimento. Aqui se estudou a variação da natureza do óxido ao longo da espessura da carepa da superfície à interface com o aço, no esboço, em BQ laminada a quente e em BQ recozida no BOX, do aço P430A. O desenvolvimento da carepa no esboço ocorre de forma irregular

com oscilação da composição do óxido. Na Figura 2, podem ser observadas ilhas com tonalidade cinza mais escuro, onde ocorre maior concentração de óxido de ferro-cromo, tipo  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ .<sup>(1)</sup> As altas temperaturas envolvidas na laminação de desbaste são responsáveis pelo rápido crescimento do óxido e de forma desordenada no esboço, com predominância de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .<sup>(2)</sup>



**Figura 2:** aspecto carepa P430A do esboço, corte transversal, MEV

Na BQ laminada são observados um decréscimo do teor de Fe e de oxigênio e um aumento do teor de Cromo de forma gradual, da superfície da carepa para a interface metálica, sentido P1 a P4 (Figura 3 e Tabela 1). Isto ocorre pelo decréscimo da atividade do oxigênio e o crescimento do óxido segue uma lei parabólica,<sup>(3)</sup> onde a camada de carepa da BQ laminada, exibe uma faixa interna P4, cinza mais escura, de aproximadamente 1,0 a 2,0 $\mu\text{m}$  de espessura e com maior concentração de Cr.



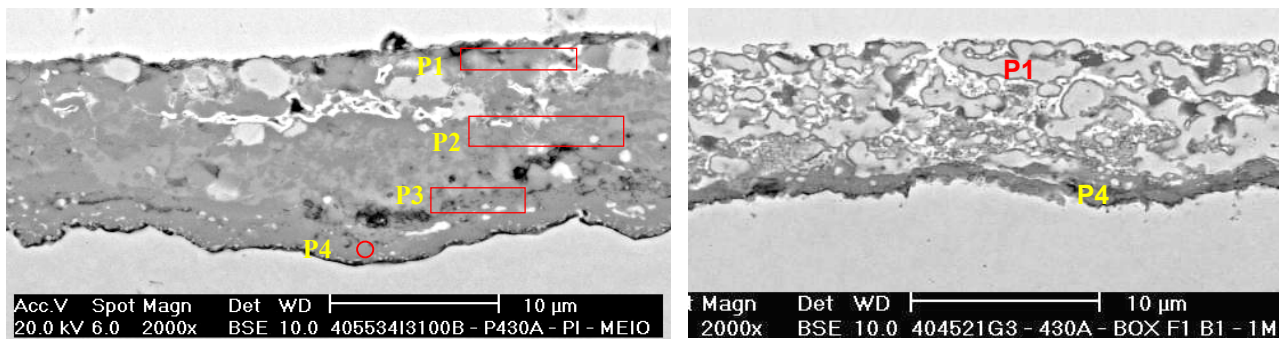
**Figura 3:** Aspecto da carepa da BQ, P430A de 4,10mm, laminada a quente. Presença de camada interna de óxido rico em Cromo e início de oxidação interna (camada interna cinza claro)

**Tabela 1:** Variação do teor de Cr da superfície à interface, P1 a P4, dados do MEV-BSE

Posição	O2	Si	Cr	Mn	Fe
P1	27,6	0,8	4,7	0,7	66,3
P2	25,5	0,9	17,1	1,1	55,5
P3	24,1	0,9	23,8	1,1	50,3
P4	21,1	0,9	32,6	1,6	44,0

Esta faixa é mais compacta e constituída basicamente de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , que age como uma barreira de difusão de outros elementos e também diminui o potencial de oxigênio na interface interna do filme de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  e impede os elementos metálicos de oxidar, exceto o cromo. Portanto é comum encontrar um início de oxidação interna ou *gulfs* que se dá por oxidação lenta em temperaturas de bobinamento mais elevadas, algo acima de  $650^\circ\text{C}$  e por resfriamento lento da bobina e com oxidação preferencial do cromo. Portanto este tipo de oxidação é observado em posição central da bobina. Por conseguinte, quanto menor a temperatura de bobinamento e maior a taxa de resfriamento menor a ocorrência dos *gulfs*, que devem ser evitados para favorecimento da decapagem.

Em BQ recozida comportamento similar é observado, porem a parcela dos elementos no óxido fica bem acentuada, com o forte decréscimo do ferro e o forte enriquecimento do Cromo e o aparecimento do óxido de Si e Mn (Figura 4 e Tabela 2). Isto ocorre pela reação de redução do óxido de ferro pelo  $\text{H}_2$ , na mistura,  $\text{H}_2 + 95\%\text{N}_2$ . É observado, ao contrário da BQ laminada, um decréscimo do oxigênio da interface para a superfície, o que significa que a reação de redução é mais forte na superfície da BQ, onde a camada de carepa da BQ recozida apresenta ilhas de ferro – P1, maior porosidade e uma camada da interface carepa – metal fortemente enriquecida em cromo – P4. Caso extremo, de redução do óxido e aumento da concentração de Cr na interface é observado com recozimento em atmosfera de hidrogênio (Figura 4 à direita).



**Figura 4:** Esquerda, carepa da BQ, P430A de 4,10mm, recozida com 95%N<sub>2</sub> 5%H<sub>2</sub>. Na direita, Carepa do mesmo material, recozida com 100%H<sub>2</sub>. Presença de ilhas de ferro – P1, com porosidade e camada interna de óxido rico em Cr - P4 . MEV-BSE

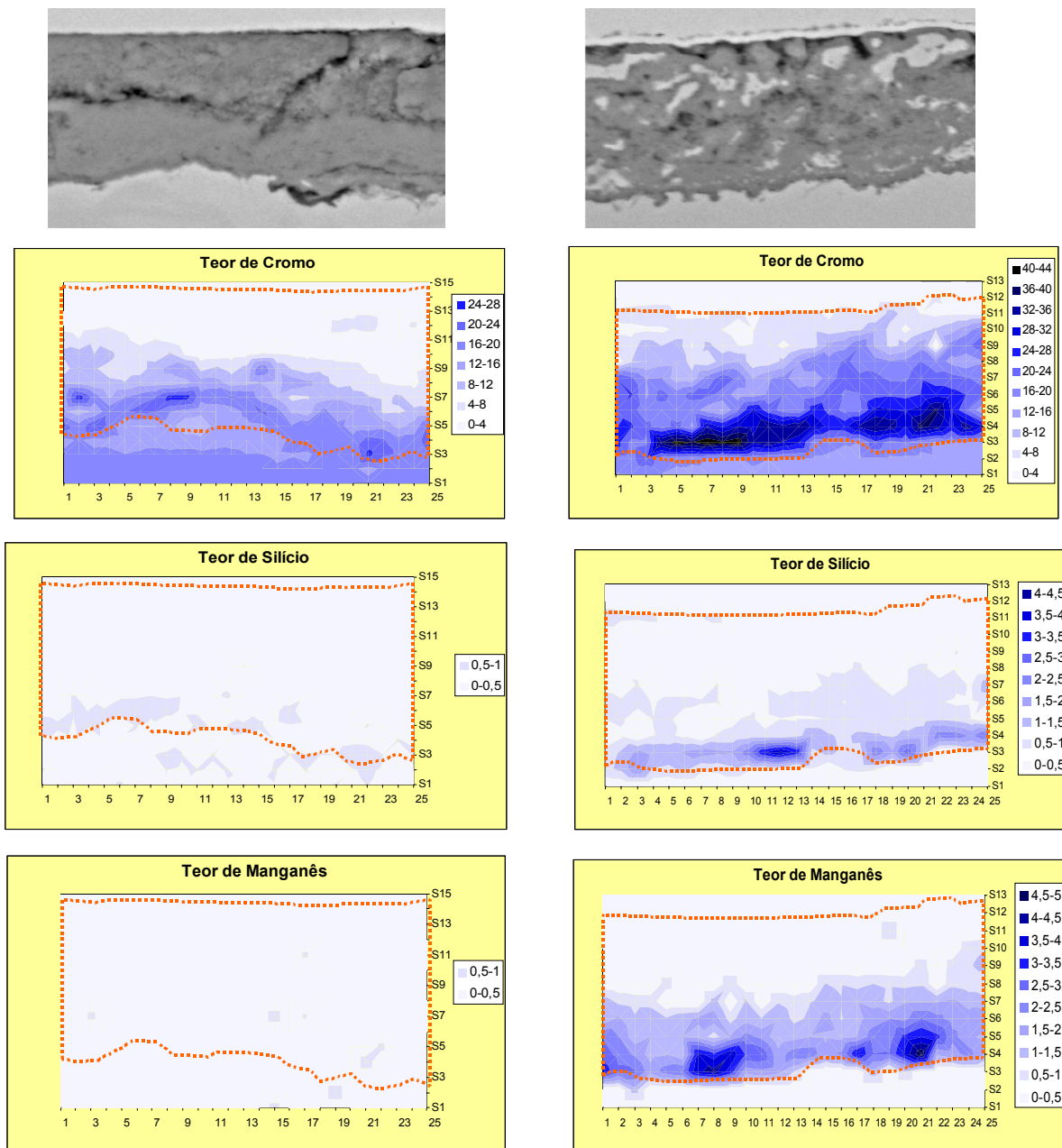
**Tabela 2:** Dados analisados no MEV-BSE, referente a amostra da figura 04 esquerda. Variação da concentração de Cr, de P1, próximo à superfície para P4, interface óxido –metal base.

posição	O <sub>2</sub>	Si	Cr	Mn	Fe
P1	18,8	0,4	2,2	1,7	77,0
P2	22,1	0,4	9,7	1,6	66,3
P3	25,8	0,8	28,4	1,9	43,2
P4	26,6	2,0	43,8	2,8	24,8

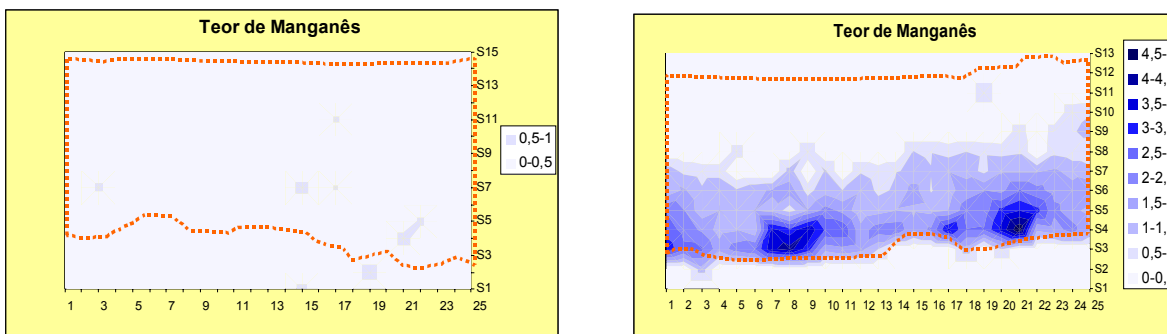
### 3.1.3 Mapeamento da carepa pela composição dos elementos –MEV

É mostrado na Figura 5, na parte superior as fotos do MEV–SE, da região da carepa selecionada e abaixo o resultado do mapeamento da análise dos elementos Cr, Si e Mn, na área seccionada da carepa, segundo a espessura da BQ. Na coluna esquerda, o mapeamento dos elementos presentes na bobina laminada a quente (BQ preta) e na coluna da direita, os elementos presentes na bobina após recozimento em Box.

Na oxidação da BQ preta, são observadas duas camadas de óxido distintas. Uma camada superior mais porosa, rica em óxido de ferro (maior concentração de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) e uma segunda inferior mais compacta, predominantemente rica em  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ , ou seja, óxido de Ferro–Cromo, com concentração de Cromo máxima de 26% e média de 14%. Na BQ preta o teor de oxigênio da carepa é uniforme, média de 31%, a presença de óxido de Si é baixa, pouco acima de 0,5% Si e quase ausente o óxido de Mn. Após recozimento em BOX a concentração de Cromo na carepa, sobe para valores muito elevados, acima de 40%. A maior concentração de Cromo fica próximo à interface (Figura 5 gráfico superior direito). Na BQ preta recozida no BOX, o teor de oxigênio da carepa é heterogêneo. A presença de óxido de Si já é significativa e concentrada próximo à interface carepa-metal com picos de concentração em torno de 4%. Também o óxido de Mn é encontrado em uma faixa larga logo acima da interface com picos de 4,8% . Estes fatos são relevantes na condição de decapagem e qualidade da superfície da BQ branca.



**Figura 5:** Mapeamento da carepa do P430A. Na coluna à esquerda, análise por varredura, MEV-BSE, dos elementos presentes na carepa da bobina laminada a quente e na coluna à direita, dos elementos presentes na carepa da bobina após recozimento em BOX.

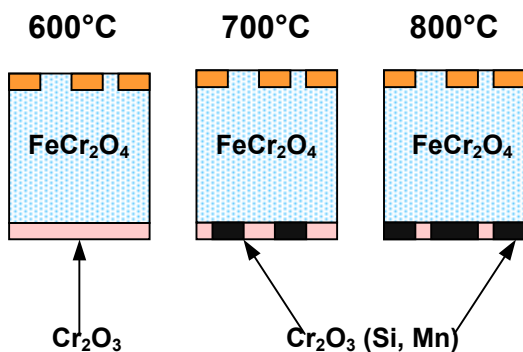


**Figura 5:** Mapeamento da carepa do P430A. Na coluna à esquerda, análise por varredura, MEV-BSE, dos elementos presentes na carepa da bobina laminada a quente e na coluna à direita, dos elementos presentes na carepa da bobina após recozimento em BOX.

### Aspectos da oxidação do aço ABNT 430 estabilizado (P430A) e não estabilizado (P430E)

Não há diferença significativa na natureza do óxido encontrado na carepa da BQ do P430A, ou da BQ do P430E, porém, algumas diferenças de características podem ser notadas como:

- Aço P430E com menor nível de oxidação da carepa e com presença de precipitado de Nb, comparativamente ao P430A.
- Formação na interface óxido-metal, dos “gulfs”, óxido formado após resfriamento da BQ, óxido tipo  $\text{Cr}_2\text{O}_3(\text{Mn, Si})$  - (Spinel)<sup>(4)</sup>. Em função de uma menor taxa de resfriamento da bobina, há maior incremento do composto de cromo, conforme ilustrado na Figura 6.



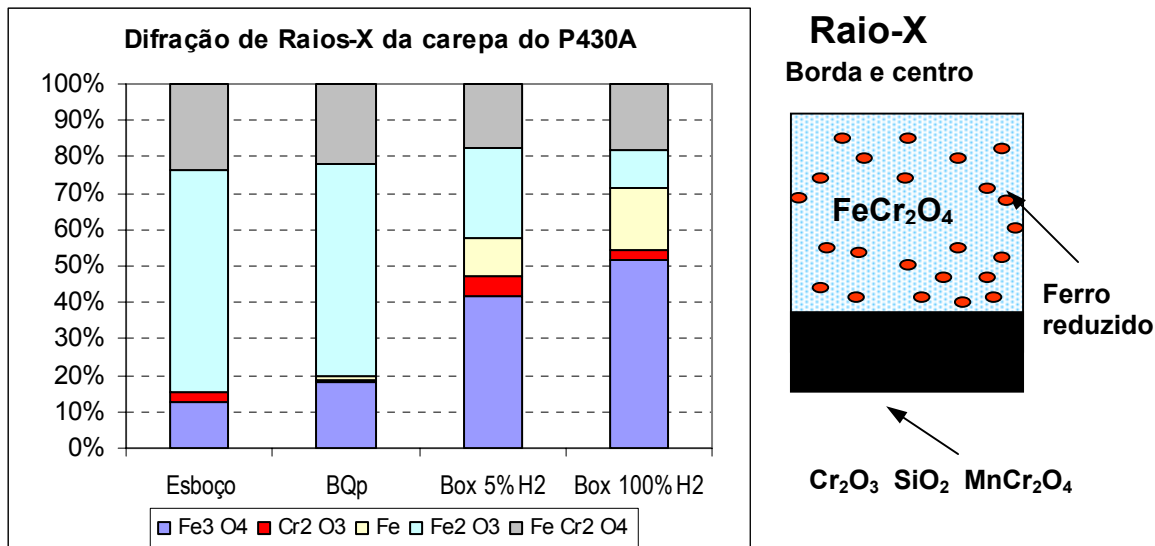
**Figura 6:** Efeito da temperatura de bobinamento na formação da oxidação interna, parte inferior.

- No P430A não se observa formação de “gulfs”, como no P430E, devido a maior velocidade de resfriamento após Steckel, pelo uso da zona úmida e controle de bobinamento abaixo de 650°C.

#### 3.1.4 Difração de Raios-X da carepa dos aços P430A e P430E

Uma série de análises foi realizada em amostras de esboço, BQ laminada a quente e BQ recozida. A identificação das fases cristalinas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com o banco de dados ICDD- *International Center for Diffraction*. Esta é uma análise qualitativa das fases encontradas na carepa. Os mesmos constituintes são observados no esboço, na BQ preta e BQ recozida, porém a

proporção das fases muda significativamente na BQ recozida. A evolução destas fases é observada no gráfico da figura 07, e algumas importantes conclusões podem ser tiradas: Em primeiro lugar, em função de temperaturas mais elevadas aparece em maior intensidade no esboço os compostos  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  e  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , observados em menor intensidade na BQ laminada. No recozimento há um aumento do constituinte  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  e Fe, há redução do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . O composto  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  se mantém estável e há um notável crescimento do  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  na interface metálica, veja distribuição esquemática, na Figura 7. O Fe metálico na carepa é o resultado da redução do óxido de ferro pelo  $\text{H}_2$ , em reações do tipo:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2 = 2\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O}$ . É observado ainda que no recozimento com 100% $\text{H}_2$  há maior formação de Fe que no recozimento com 95% $\text{N}_2$ . Portanto as fases presentes no óxido variam com o recozimento e mais ainda com a atmosfera rica em  $\text{H}_2$ . Os óxidos compostos de Cromo são bem mais compactos e aderentes e situam-se próximo à interface carepa – metal base, como já observado nas análises de elétrons retro-espalhados no MEV, visto anteriormente.



**Figura 7:** Esquerda, difração de Raios -X , carepa do aço P430A , laminado e recozido em BOX, constituintes presentes no esboço à BQ recozida em percentual de fases e à direita a distribuição esquemática destes compostos ao longo da espessura da carepa.

Esta é uma análise qualitativa das fases encontradas na carepa. Os mesmos constituintes são observados no esboço, na BQ preta e BQ recozida, porém a proporção das fases muda significativamente na BQ recozida. A evolução destas fases é observada na Figura 10, e algumas importantes conclusões podem ser tiradas: Em primeiro lugar, em função de temperaturas mais elevadas aparece em maior intensidade no esboço os compostos  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  e  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , observados em menor intensidade na BQ laminada.<sup>(1)</sup> No recozimento há um aumento do constituinte  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  e Fe, há redução do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . O constituinte  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  se mantém estável e há um notável crescimento do  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  na interface metálica, veja distribuição esquemática na Figura 11. O Fe metálico na carepa é o resultado da redução do óxido de ferro pelo  $\text{H}_2$ , em reações do tipo:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O}$ . É observado ainda que no recozimento com 100% $\text{H}_2$  há maior formação de Fe que no recozimento com 95% $\text{N}_2$ . Portanto as fases presentes no óxido variam com o recozimento e mais ainda com a atmosfera rica

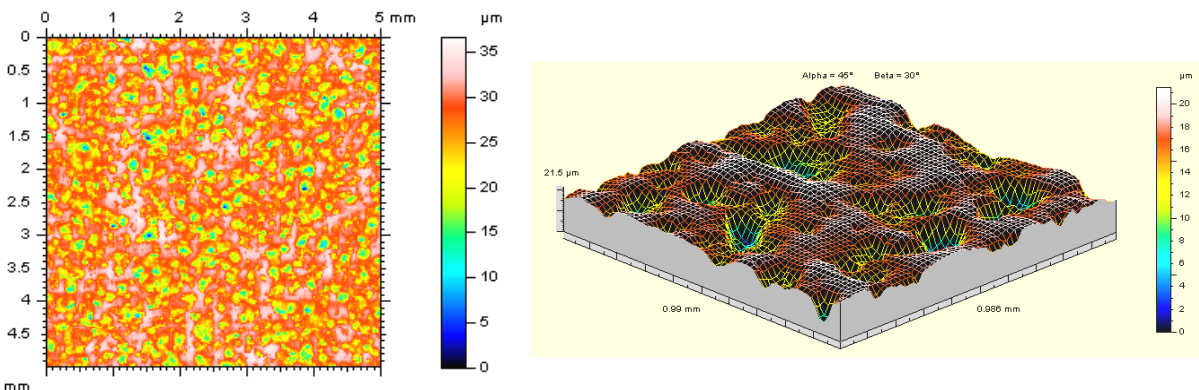


em H<sub>2</sub>. Os óxidos compostos de Cromo são bem mais compactos e aderentes e situam-se próximo à interface carepa – metal base, como observado nas análises de elétrons retro-espalhados no MEV, visto anteriormente.

### 3.2 Estudo da Evolução da Topografia da Superfície Metálica – Perfilometria

A evolução da topografia da superfície metálica desde o esboço até a BQ decapada é um fator determinante para a qualidade ou nível de brilho da superfície da BF. Este estudo complementar foi conduzido com a avaliação da rugosidade planar ou **perfilometria**, após remoção do óxido ou carepa, por dissolução química através de solução alcalina oxidativa, com KMnO<sub>4</sub>, de forma a preservar a integridade da superfície metálica, na análise do esboço, BQ preta e BQ recozida

A rugosidade superficial média, **S<sub>a</sub>**, apresenta o maior valor no esboço, sendo minimizada na BQ preta após LTQ, voltando a crescer após o BOX e ainda mais após decapagem mecânica e química. Após laminação de acabamento no STECKEL, há uma redução da rugosidade superficial. Após recozimento, BQ-BOX, há pequena redução da espessura da carepa, e da mesma forma, ocorre novamente pequena redução da rugosidade média. Após a preparação mecânica e decapagem BQ-RB3, fica marcante o efeito do jateamento e do escovamento, a rugosidade superficial cresce sob a influência das cavidades provocadas pelo jato, mas é amenizada pela suavização dos picos, provocada pelo escovamento (Figura 8).



**Figura 8:** Aspecto bidimensional da bobina decapada (BQ branca) em topografia de superfície à esquerda, e mesma visão em tridimensional em detalhes, do efeito do jateamento e escovamento. Imagem do perfilômetro à direita.

## 4 DISCUSSÃO

- A espessura da carepa é maior no esboço, é reduzida na laminação de acabamento e é ainda mais reduzida após o recozimento no Box, devido à reação química de redução do óxido de ferro, que diminui o volume da carepa. Esta influência é mais notada em recozimento com atmosfera de 100% H<sub>2</sub>, nas espiras externas da BQ
- A redução da temperatura de laminação, o uso da descarepação nos passes de acabamento e a redução da temperatura de bobinamento, são também variáveis

importantes na natureza, redução da espessura e da oxidação interna ou formação do chamado *gulf* da carepa, fatores importantes para otimização de decapagem.

- Na BQ laminada são observados um decréscimo do óxido de Fe e de oxigênio e um aumento do teor de óxido de Cromo da superfície da carepa para a interface metálica. Na BQ recozida há um forte decréscimo do óxido de ferro, acompanhado pelo forte enriquecimento em óxido de Cromo e aparecimento do óxido de Mangaês e Silício. Isto leva à formação de uma carepa muito aderente e uma necessidade de preparação mecânica e decapagem bem mais agressiva, para remoção do óxido.
- No recozimento há um aumento do constituinte  $Fe_3O_4$  e Fe, há redução do  $Fe_2O_3$ . O constituinte  $FeCr_2O_4$  se mantém estável e há um notável crescimento do  $Cr_2O_3$  na interface metálica. O Fe metálico na carepa é o resultado da redução do óxido de ferro pelo  $H_2$ , em reações do tipo:  $Fe_2O_3 + 3H_2 \rightleftharpoons 2Fe + 3H_2O$ . É observado ainda que no recozimento com 100% $H_2$  há maior formação de Fe metálico que no recozimento com 95% $N_2$ .
- Dados do estudo topográfico mostram que após laminação de acabamento no STECKEL, há uma redução da rugosidade superficial. Após recozimento, há pequena redução da espessura da carepa, e da mesma forma, ocorre novamente pequena redução da rugosidade média. Após preparação mecânica e decapagem na RB3, fica marcante o efeito do jateamento e do escovamento, a rugosidade superficial cresce sob a influência das cavidades provocadas pelo jato, mas é amenizado pela suavização dos picos, efeito do escovamento.

## 5 CONCLUSÃO

Bobinas de aços Inox Ferrítico, não estabilizado, tipo ABNT430, após recozimento prolongado, em fornos tipo BOX, com atmosfera protetora a base de hidrogênio e nitrogênio promovem uma modificação na constituição da carepa tornando-a mais aderente e de difícil decapagem. Para a remoção desta carepa aderente, torna-se necessário a forte utilização do jateamento mecânico, o que afeta a topografia da superfície metálica, podendo gerar uma superfície fosca na bobina laminada a frio.

A redução da temperatura de bobinamento associada à formação de uma carepa de menor espessura e um jateamento menos agressivo, são variáveis a serem exploradas para garantia de uma ótima qualidade superficial da bobina laminada a frio.

## REFERÊNCIAS

- 1 GEOVANE, M. C.; SANTOS, D. B., ROSSI, E. H.,– Caracterização da Carepa do Aço Inox Ferrítico ABNT 430, Tecnologia – ABM , Vol. 9, No. 4, 1-00, 2006
- 2 CARVALHO, C. E. R. ; COSTA, G. M.; COTA, A. B.; ROSSI, E. H., “High Temperature Oxidation Behavior of AISI 304 and AISI 430 Stainless Steels”, Materials Research, Vol. 9, No. 4, 1-00, 2006.
- 3 TOSCAN, F.; GALERIE, A.; SANTACREU, P. O. "Relations Between Oxidation Kinetics and Chromium Diffusion in Stainless Steels", *Materials Science Forum* Vols.461-464(2004) pp. 45-52
- 4 MANTEL, M. Oxidação de Metais. . Seminário Inox 2000. Módulo Geral, Roças Novas, MG, 2000.