

## **A INFLUÊNCIA DO CROMO NA FORMAÇÃO DE CAREPA PÓS LAMINAÇÃO À QUENTE EM UM AÇO LNE 380**

Gustavo Noronha Oliveira <sup>1</sup>, Carlos Roberto Ferreira<sup>2</sup>

1 Gustavo Noronha Oliveira – Graduando em Engenharia Metalúrgica - IFMG Campus Ouro Branco. Ouro Branco - MG; gustavonoronha64@gmail.com

2 Carlos Roberto Ferreira - Orientador: Pesquisador do IFMG, Campus Ouro Branco; carlos.ferreira@ifmg.edu.br

### **RESUMO**

A produção de bobinas laminadas a quente de aços ARBL, alta resistência e baixa liga, tem se tornado comum nas siderúrgicas. Se comparados aos aços carbono, os aços ARBL apresentam propriedades mecânicas, resistência a corrosão e soldabilidade consideradas superiores e, em função de propriedades citadas, esses materiais se aplicam à fabricação de longarinas, travessas, componentes automobilísticos diversos, componentes para máquinas agrícolas e artefatos usados na construção civil. O laminador Steckel no qual se realiza a laminação das bobinas obtém produtos considerados de boa qualidade, porém, com uma maior ocorrência de carepas, resíduo, esse, comum nas laminações à quente. O presente trabalho tem como objetivo estudar a influência do cromo na formação de carepa durante a processo de lingotamento do aço e no, posterior, processo de laminação da placa metálica. Para tal fim, durante as diversas etapas de processamento para conformação, foram retiradas das placas, em processamento, diversas amostras para se avaliar a formação de carepa. As amostras de placas lingotadas, lingotamento contínuo, e também do material laminado foram analisadas por técnicas de microscopia eletrônica de varredura. Foi possível identificar que, nas carepas das amostra obtidas pós lingotamento, a formação de óxidos de cromo é mais intensa na superfície superior da amostra e em posições mais internas da camada de oxidada tendo como provável causa a alta temperatura na qual o material foi submetido e sua intensa exposição, direta, ao oxigênio. Já na superfície inferior da amostra, isso acontece com menos intensidade, pois a placas lingotadas passaram por um processo de movimentação sobre o roletes ao longo leito de carga e tal movimentação danificou a superfície inferior impossibilitando, dessa forma, a análise superficial dessa área. Também foi possível identificar que o cromo, na carepa, se concentra de maneira bem intensa na interface metal-óxido, criando nessa uma camada que é, de acordo com alguns autores, protetiva

Palavras - Chave: Bobina; laminação; oxidação, carepa, cromo

## INTRODUÇÃO:

A produção de aços de alta resistência e baixa liga – ARBL tem se tornado bastante comum nas indústrias siderúrgicas e têm por finalidade o uso em aplicações que exigem alta resistência mecânica e boa soldabilidade. Aços alta resistência e baixa liga são materiais que fazem parte do grupo de aços carbono, nos quais são inseridas pequenas quantidades de elementos ligantes como o Ni, Ti e Va e, nesse aços, realiza-se um processo de endurecimento por precipitação e refinamento de grãos, por meio tratamentos termomecânicos adequados, conferindo-os valores para limite de escoamento maior ou igual a 275 MPA. A Tabela 1 indica algumas normas, segundo ASTM, de aços de alta resistência e baixa liga. (Silva, 2006).

Tabela 1- Composição química de aços alta resistência baixa liga.

Norma	Limite da composição percentual (%)									
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Cu	V	Outros
A 242	0,15	1	0,45	0,05	...	...	...	0,2 min	...	...
A 572	0,21-0,26	1,35-1,65	0,04	0,05	0,3	...	...	0,2 min	...	...
A 588	0,1-0,2	0,5-1,35	0,04	0,05	0,15-0,9	0,3-0,95	...	0,2-0,5	0,01-0,1	0,005-0,05 Nb 0,05-0,15 Zr 0,1 Mo
A 606	0,22	1,25	...	0,05	...	...	...	...	...	...
A 607	0,22-0,26	1,35-1,65	0,04	0,05	...	...	...	0,2 min	...	...
A 618	0,15-0,23	0,85-1,35	0,04-0,15	0,05	0-0,3	...	...	0,2 min	0-0,02	0,05 Nb min

A produção de bobinas laminadas a quente é uma, boa, opção para que as siderúrgicas atinjam um nível de qualidade e variabilidade de produtos no processo de conformação mecânica e, para tal fim o laminador Steckel é empregado e, como esse equipamento é possível produzir bobinas, a quente, de aços ARBL de boa qualidade, porém, é necessária uma atenção em relação aos requisitos superficiais dos materiais quanto à “grande” geração de carepa. Sendo assim, é aconselhável que todo o processo de laminação seja bem executado e, principalmente quanto à remoção de carepa, já que uma possível laminação sem o controle de remoção dessa carepa poderá afetar, e muito, a superfície do material com consequentes danos a sua estética e até mesmo sua aplicação futura.

Os Laminadores Steckel foram desenvolvidos para a laminação de placas oriundas de um processo de lingotamento contínuo e o início do processo se realiza a temperaturas entre 1150 a 1250°C para aços ao carbono. Em algumas unidades industriais, conhecidos como Mini Mills, é comum que as placas entrem no laminador oriundas diretamente do lingotamento contínuo, sem que haja um resfriamento total do material, no entanto, o mais comum é que exista na planta industrial a presença de um forno de reaquecimento de placas, responsável por elevar a temperatura das placas até a temperatura de início de laminação. O equipamento de laminação Steckel ilustrado na Figura 1 é composto por dois cilindros de encosto e dois cilindros de trabalho, reversíveis, que são trocados periodicamente para retificação. Também, anexados à “cadeira” Steckel há dois fornos para reaquecimento, os jatos de água em alta pressão para descarepação e bobinadeiras.

O presente trabalho tem como objetivo estudar a influência do cromo na formação de carepa durante o processo de lingotamento do aço e no, posterior, processo de laminação da placa metálica.

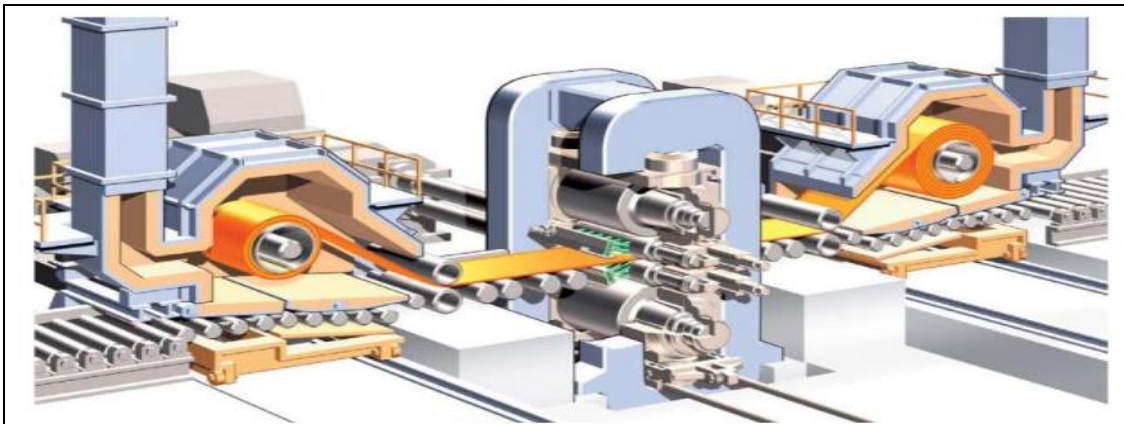


Figura 1 – Imagem ilustrativa de uma Laminador Steckel. (SMS Group)

De modo geral, os metais e ligas metálicas processados em altas temperaturas, quando expostos ao ar atmosférico poderão, sob certas condições gerar compostos óxidos estáveis uma vez que; o metal em contato com a atmosfera oxidante, pela transferência direta de elétrons que cada átomo do metal cede a átomos de um elemento oxidante ( $O_2$  g), e então iniciará um processo corrosivo. (Shackelford, 2008). Certos aços, quando laminados à quente, ao serem expostos à atmosfera oxidante ou rica em  $O_2$  geram uma película de óxido chamada de carepa podendo, essa película, apresentar uma coloração preta ou azul-preta. (Gentil, 2011)

A carepa é o nome dado a camada superficial de óxidos formados a altas temperaturas em diversos tipos de ligas ferrosas durante o processo de resfriamento das mesmas. Nas siderurgias as carepas são geradas basicamente pelas operações de lingotamento contínuo e laminação, podendo gerar facilmente em média 1000 toneladas/mês nas usinas integradas. A carepa é constituída pelos óxidos, Wustita ( $FeO$ ), Hematita ( $Fe_2O_3$ ) e Magnetita ( $Fe_3O_4$ ). (Gentil, 2011) e, a película formada pode ser benéfica quanto a proteção à intempéries em alguns materiais que posteriormente passaram por algum tipo de processo de remoção de carepa e laminação, mas em outras circunstância, a película pode ser prejudicial devido a formação de uma carepa incrustada que não é facilmente removida, e, no mínimo, prejudicará esteticamente o material. (Guimarães, 2018).

#### METODOLOGIA:

Para caracterizar a formação de carepa incrustada sobre sua superfície de um aço ARBL, com adição de cromo, cuja composição está apresentada na Tabela 2, fornecido sob a forma de bobinas conforme norma NBR 6656 grau LNE380 procedeu-se a amostragem da placa pós lingotamento contínuo para análise via MEV.

Tabela 2 - Composição química da bobina.

Elemento	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Cr (%)	Nb (%)	Ti (%)	V (%)
Valor	0,11	0,93	0,03	0,017	0,007	0,032	0,35	0,046	0,012	0,036

O corte das amostras, como ilustrado esquematicamente na Figura 2, foi realizado com o uso de um maçarico de corte a oxigênio e, logo após, para preservar as superfícies das amostras, superior e inferior, de interesse para análises fez se, então, o uso de uma serra-fita para continuar o corte. Após esses dois procedimentos, as amostras ficaram com dimensões de 1250 mm de largura, comprimento de 200 mm e espessura original de 250 mm.

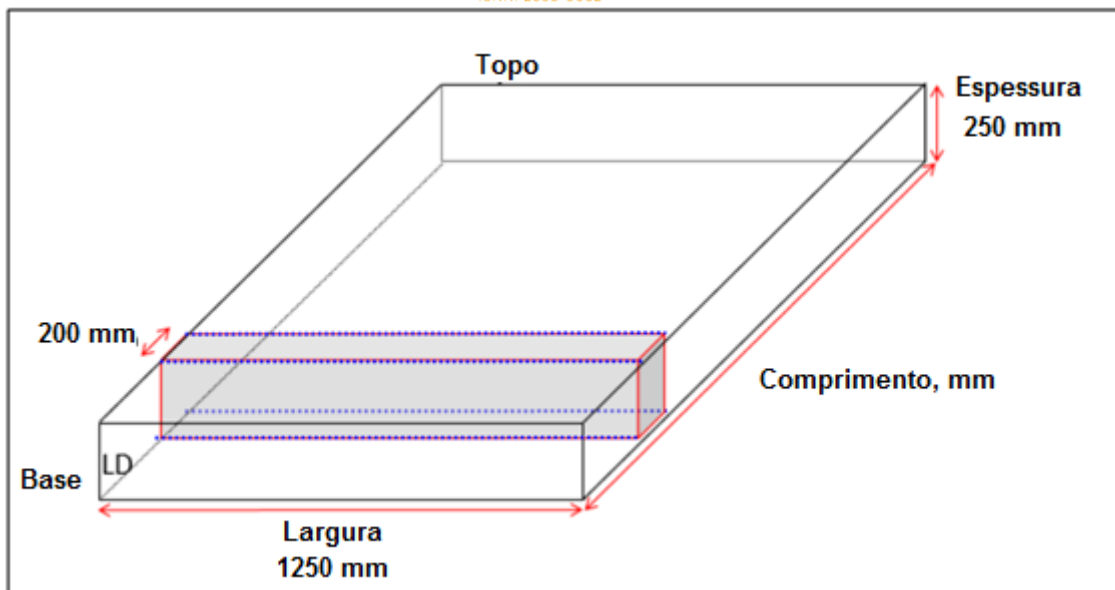


Figura 2- Esquema de corte, para amostragem, da placa lingotada.

A preparação das amostras para análise segue os seguintes passos,

1. As amostras foram cortadas, a um tamanho adequado ao manuseio e análise, em disco abrasivo com resfriamento à água e óleo refrigerante, Em relação a espessura das amostras essa dimensão foi mantida tal qual à amostra inicial.
2. As amostras foram envelopadas, para conservar a carepa formada no material, em alumínio doméstico e, em seguida fez-se o embutimento, à quente, em resina para preparação metalográfica.
3. Fez se a preparação, por lixamento, de todas as amostras com lixas de granulometria de 200, 400, 600, 800, 1000 e 1200 mesh
4. Com as amostras lixadas, fez-se o polimento em feltro grosso e feltro fino com pasta de diamante na granulometria de 1 $\mu$ m. Logo após, as amostras ficaram prontas para serem analisadas no MEV/EDS com o intuito de medir a quantidade de elementos presentes na superfície e nas carepas formadas sobre cada amostra.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Análises por meio de microscopia eletrônica de varredura - MEV realizadas nas superfícies inferior, superior e na seção transversal, da amostra de placa lingotada e sem enformamento, relevaram a presença de cromo somente na carepa da superfície superior e, sendo essas, provavelmente, causadas pelo processo de resfriamento que o material sofreu após o seu lingotamento. Tal formação se deve à alta afinidade do cromo pelo oxigênio conduzindo à formação de óxido de cromo em temperaturas entre 800 à 1000°C. No presente estudo, acredita-se que a formação de óxido de cromo foi causada pela concentração de O<sub>2</sub> presente na atmosfera, do leito de resfriamento, a qual o material estava exposto após o seu lingotamento.

A Figura 3 e a Tabela 3 apresentam, respectivamente, os espectros e uma análise semi quantitativa detectados pelo MEV/EDS em relação as duas superfícies, sendo aquela superior representada pela linha na cor preta e a superfície inferior representada pela linha de cor verde.

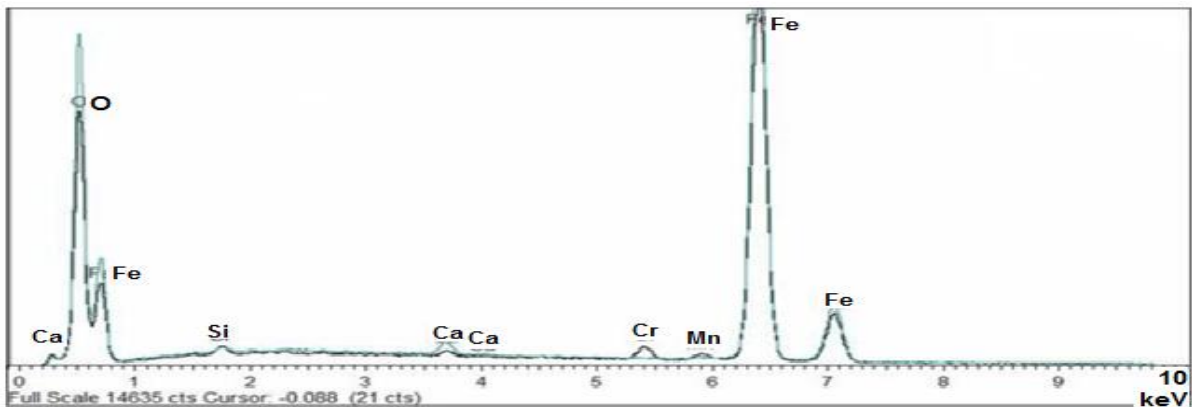


Figura 3 - Espectros das carepas presentes nas superfícies; superior (linha preta) e inferior (linha verde).

Tabela 3 - Análise semiquantitativa das carepas presentes nas superfícies superior e inferior.

Composição (%)	O	Si	Ca	Cr	Mn	Fe
Inferior(Verde)	27,27	0,16	1,34	0	0,26	70,96
Superior(Preto)	26,23	0,62	0,4	1,43	0,76	70,55

A menor presença ou a inexistência de óxidos dos elementos Mn, Si e Cr na superfície inferior da amostra é explicada pelo fato da pouca exposição, dessa, à atmosfera em relação a superfície superior além de ser a região onde houve intenso atrito do material com solo e, por consequência durante o manuseio, essa superfície sofre um processo de descarepação “natural”

Ainda, após o seccionamento transversal foi constatado a presença de cromo na carepa de ambas as superfícies. A Figura 4 (a) e (b) e a Tabela 4 apresentam, respectivamente, aspectos da carepa da superfície inferior na seção transversal, os espectros e as análises semi quantitativas dos pontos 1, 2 e 3 obtidos via MEV/EDS.

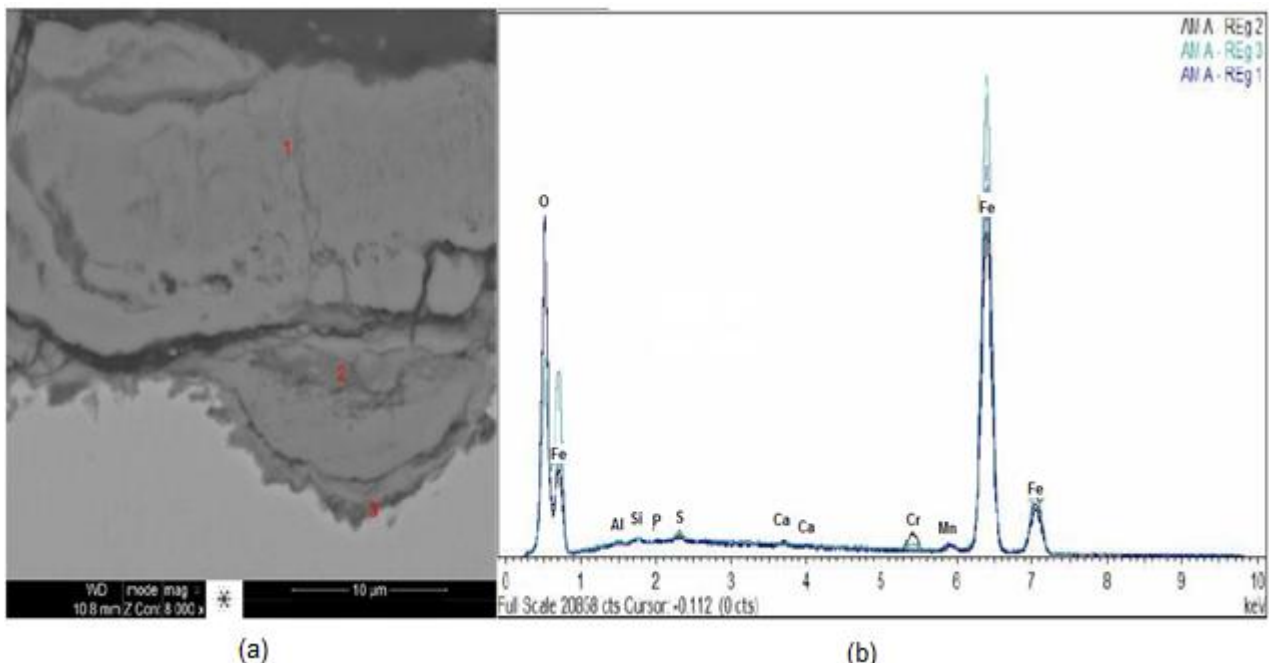


Figura 4 – (a) Imagem da carepa da superfície inferior, seção transversal, com aumento de 8000x e (b) espectros das carepas presentes nas regiões pré-definidas para análise



Tabela 4 - Análise semi quantitativa das regiões 1, 2 e 3 da carepa seccionada transversalmente de superfície inferior.

Composição (%)	O	S	Ca	Cr	Mn	Fe
AM A - REg 1	31,51	0,26	0,12	0	0,85	67,26
AM A - REg 2	33,16	0,36	0,37	1,89	0,53	63,69
AM A - REg 3	18,5	0,46	0,13	0,45	0,61	79,86

A carepa gerada na superfície inferior, após seccionamento transversal é porosa, não é uniforme e, nela, os elementos oxidados como o Si, Mn e o Cr foram mais facilmente detectado,

A análise, da superfície superior, após seccionamento transversal revelou a presença de cromo na carepa foi mais intensa. As Figuras 5 (a) e (b) e a Tabela 5 apresentam, respectivamente, aspectos da carepa da superfície superior na seção transversal, os espectros e as análises semi quantitativas dos pontos 1, 2 e 3 obtidos via MEV/EDS.

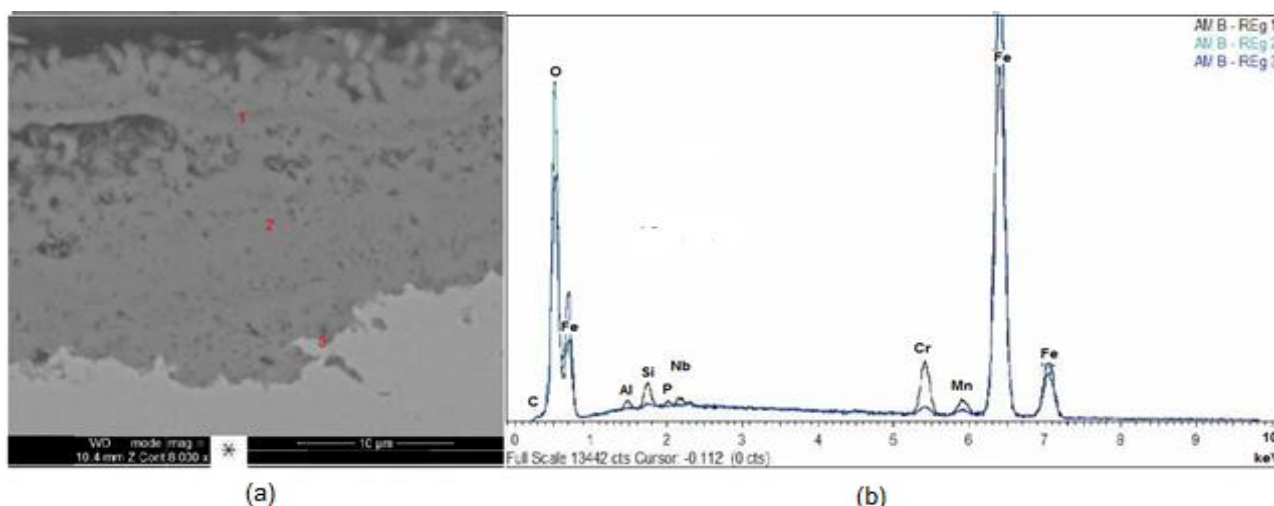


Figura 5 – Imagem da carepa da superfície superior, seção transversal, com aumento de 8000x e os espectros das carepas presentes nas regiões pré-definidas para análise

Tabela 5 - Análise semi quantitativa das regiões 1, 2 e 3 da carepa seccionada transversalmente de superfície superior.

Composição (%)	O	Al	Si	P	Cr	Mn	Fe	Nb
AM B - REg 1	30,86	0,63	1,4	0,34	5,45	1,49	58,71	1,12
AM B - REg 2	29,18	0	0,21	0	0,75	0,56	69,3	0
AM B - REg 3	21,96	0,12	0,19	0	0,71	0,59	76,43	0

A análise dos valores contidos na Tabela 5 indica que, a medida que se aproxima da região central da amostra metálica, a quantidade de óxidos dos elementos residuais, então formados, vai diminuindo e, assim, acredita-se que a concentração desses elementos residuais, na placa laminada, se apresenta de maneira decrescente à medida que se aproxima da região intermediária da espessura do material laminado.

Avaliando-se o mapa de raio x da carepa apresentado na Figura 6, há indícios de que a formação dos óxidos de cromo, destacada na nas áreas denominadas de região 1, ocorre mais intensamente na interface metal-carepa criando, assim, uma camada que seria, teoricamente, protetiva.

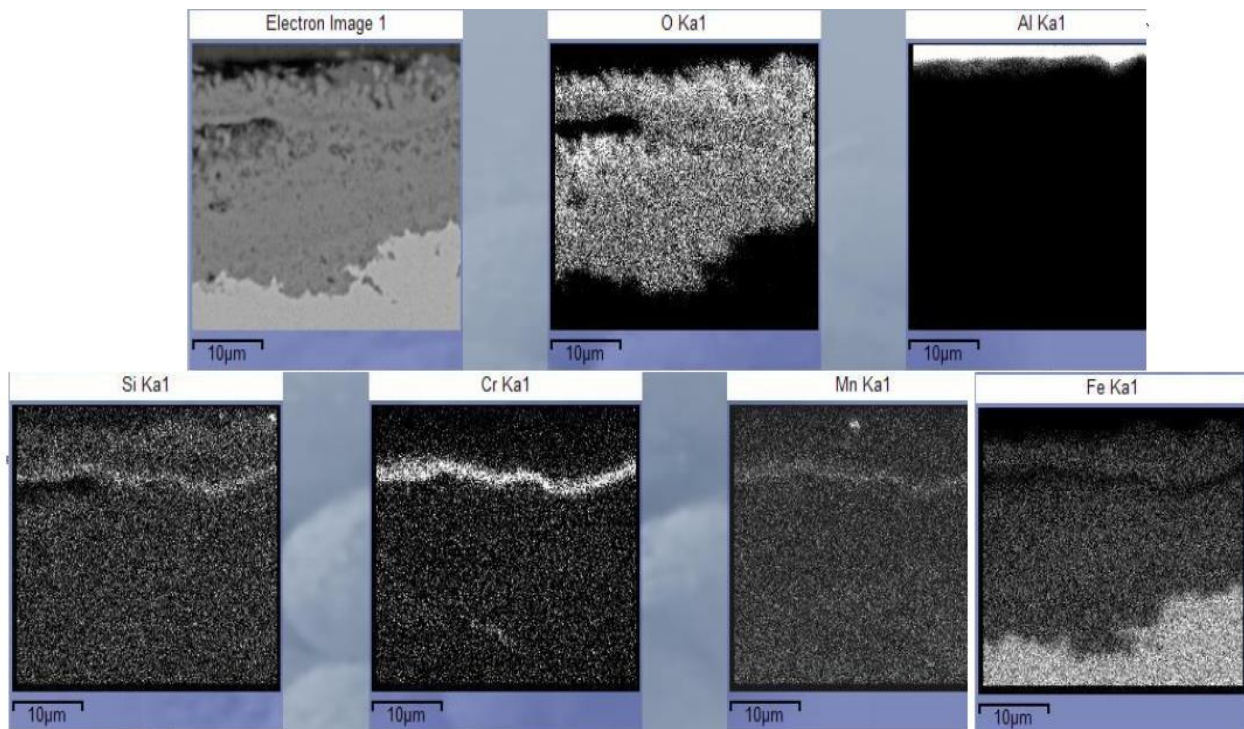


Figura 6 - Mapa de raio x da carepa presente na superfície superior com seccionamento transversal

## CONCLUSÕES:

Seguindo os fatos apresentados pelas análises realizadas por meio de MEV/EDS nas amostras derivadas do lingotamento contínuo e do laminador Steckel, foi possível realizar algumas conclusões em relação a oxidação de elementos residuais que possuem alta afinidade com o oxigênio, em aços ARBL.

Conclui-se que a formação de óxidos de cromo na carepa, da amostras pós lingotamento, é mais intensa na superfície superior das amostras conforme ilustrado, na região identificada pelo algarismo 1, na Figura 5. A intensidade na formação da camada oxidada é, provavelmente, decorrente da alta temperatura a qual o material foi submetido e de sua intensa exposição ao oxigênio.

Já na superfície inferior da amostra, o fenômeno de oxidação aconteceu de forma menos intensa, pois a placa lingotada passa por um processo de movimentação nos leitos e, essa movimentação danificou a superfície inferior, reduzindo a possibilidade de se fazer a análise superficial dessa área.

Avaliando o mapa de raio x da carepa presente na superfície superior com seccionamento transversal, figura 6, foi possível identificar como é a distribuição do compostos de cromo na carepa. Esse, elemento, concentra-se de maneira bem intensa na interface metal-óxido e, assim, criando uma camada, de acordo com alguns autores, protetiva.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Gentil, V. **Corrosão**. 6ª edição. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2011.
- Guimarães, P. H. B. **Análise da Oxidação em Altas Temperaturas de Bobinas de Aço Baixo Carbono Conformadas em um Laminador Steckel**. Trabalho de conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Metalúrgica – IFMG. Ouro Branco, 2018.
- Shackelford, J. F. (2008). **Ciência dos Materiais**. São Paulo.
- Silva, A. L. (2006). **Aços e Ligas Especiais**. Edgard Blücher-Villares Metals.
- SMS Group - **Steckel Mills** – creative solutions for the metal industry,