

DESENVOLVIMENTO DE AÇOS COM MICROESTRUTURA CONTROLADA PARA RODAS AUTOMOTIVAS NA CST ARCELOR BRASIL ¹

*Vanessa Gomes Santana²
Charles de Abreu Martins²
Ricardo Porto²
Júlio Cezar Bellon³
Renato Diniz Carvalho⁴
Leonardo Barbosa Godefroid⁵*

Resumo

O segmento de autopeças é definido pela CST Arcelor Brasil como estratégico, sendo aços de alto valor agregado e com uma demanda cada vez maior. A partir do sucesso dos desenvolvimentos de aços para rodas pesadas (em geral com espessuras maiores que 5,0mm) e leves (espessuras menores que 5,0mm e maior rigor na superfície do material) na CST Arcelor Brasil que se iniciou em 2003 com a entrada em operação do laminador de tiras a quente; e, seguindo a tendência de um mercado cada vez mais exigente, partiu-se em 2005 para o desenvolvimento dos aços com controle da microestrutura para aplicação em rodas automotivas. Um grande desafio no desenvolvimento destes aços é o de atender não somente às propriedades mecânicas exigidas pelo mercado com a microestrutura desejada, mas também aos demais requisitos de aços para rodas leves, como planicidade e superfície. Resultados preliminares tanto na CST quanto no cliente mostram que os desafios estão sendo superados com sucesso.

Palavras-chave: Rodas; Aços com microestrutura controlada; Ferrita-bainita; Ferrita-martensita.

DEVELOPMENT OF STEELS WITH CONTROLLED MICROSTRUCTURE FOR AUTOMOTIVE WHEELS BY CST ARCELOR BRASIL

Abstract

CST Arcelor Brasil defines the autoparts segment as strategic, since it uses steels of high aggregate value and shows a fast growing demand. The successful development of steel for heavy wheels (generally featuring thicknesses above 5.0mm) and light wheels (thicknesses below 5.0 mm and a stronger material surface) that started taking place at CST Arcelor Brasil in 2003, when the hot strip mill started operating, as well as the need to follow the trend of a every time more demanding market, made the company launch the development of steels with microstructure control for applications in automotive wheels in 2005. One of the main challenges in developing these steels is not only to meet the mechanical properties required by the market regarding the desired microstructure, but also to satisfy the additional requirements of steels used for light wheels, which include flatness and surface features. However, preliminary results both at CST and with customers show that the challenges have been met successfully.

Keywords: Wheels; Steels with controlled microstructure; Ferrite-bainite; Ferrite-martensite.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Especialistas do Departamento de Metalurgia e Planejamento da Produção da CST Arcelor Brasil.*

³ *Especialista do Departamento de Laminação da CST Arcelor Brasil.*

⁴ *Especialista do Departamento de Vendas da CST Arcelor Brasil.*

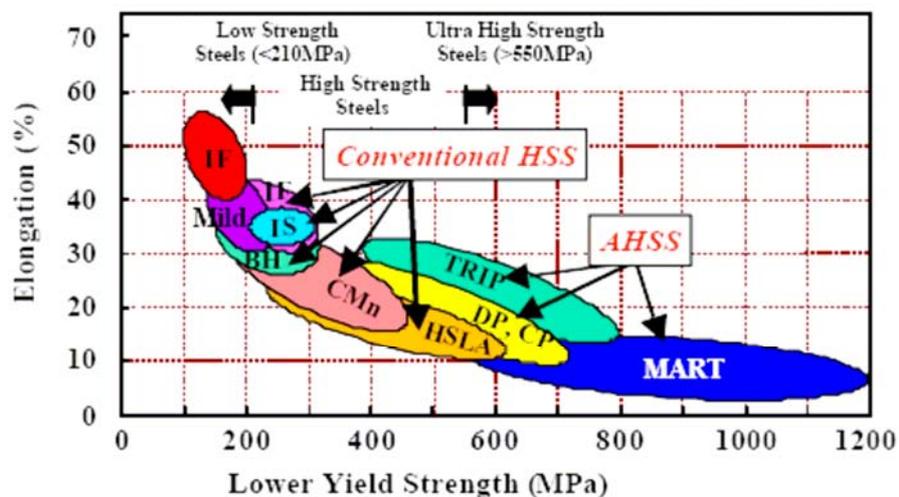
⁵ *Engenheiro Metalúrgico, M.Sc., D.Sc., REDEMAT/UFOP- MG.*

1 INTRODUÇÃO

A redução de peso de veículos tem sido um tópico bastante importante para a indústria automotiva, devido às exigências para eficiência no consumo de combustível, que estão relacionadas com economia de energia e restrições ambientais.

Neste contexto, um grande esforço está sendo feito no sentido de se desenvolverem e de se aplicarem novos aços,^[1] que combinam uma boa formabilidade com uma elevada resistência mecânica, para redução da espessura do material sem perda de desempenho, especialmente a segurança do passageiro. Outros aspectos importantes na seleção de aços para rodas são a tenacidade à fratura e a resistência à fadiga que se tornam importantes características exigidas para estes materiais, devido às condições de operação do produto.

A nível internacional, o consórcio chamado de “ULSAB-AVC – UltraLight Steel Auto Body – Advanced Vehicle Concepts” publicou, um documento mostrando a existência de inúmeros aços capazes de atender às especificações para a indústria automotiva.^[2] Nota-se também que, para este setor, o conceito de elevada resistência mecânica se estende a um limite de escoamento entre 210 MPa a 550 MPa. A Figura 1 apresenta alguns dos aços propostos pelo referido consórcio, correlacionando a sua resistência mecânica com a sua formabilidade.



Fonte: ULSAB-AVC, 2001.

Figura 1: Relação entre resistência mecânica e formabilidade de aços convencionais e de aços avançados de elevada resistência mecânica.

Low Strength steels: aços de baixa resistência

High Strength steels: aços de alta resistência

Ultra High Strength steels: aços de ultra alta resistência

Elongation: alongamento total

Tensile Strength: limite de resistência

O desenvolvimento de aços para rodas torna-se atrativo devido ao fato de ter alto consumo anual, além de possuírem alto valor agregado.

A partir disso, a CST decidiu dar continuidade ao desenvolvimento de aços para rodas leves seguindo a linha dos aços com microestrutura controlada.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia estabelecida foi de desenvolver os aços com microestrutura controlada, após os resultados bem sucedidos de processamento na CST e no cliente dos aços microligados de alta resistência mecânica com microestrutura ferrita perlita.

A partir disso, o desenvolvimento em escala industrial no laminador de tiras a quente da CST de aços para rodas com microestrutura controlada pode ser dividido em duas etapas:

Na primeira etapa, foram desenvolvidos aços com microestrutura ferrita-bainita. Já na segunda etapa, iniciou-se o desenvolvimento do aço dual-phase, com microestrutura ferrita-martensita.

As composições químicas estão apresentadas na Tabela 1.

O desenvolvimento de cada uma das especificações citadas na tabela 1 iniciou-se com a produção de 300t, processamento e análises internas na CST, seguida de processamento no cliente e análise dos resultados finais obtidos.

A caracterização das bobinas produzidas foi realizada através de ensaios mecânicos e metalográficos.

Os ensaios mecânicos foram compostos por ensaios de tração, longitudinal à direção de laminação, determinando-se os valores de limite de escoamento (LE), limite de resistência (LR) e alongamento (AL) e testes de dobramento a 180°, transversal à direção de laminação.

Os ensaios metalográficos foram compostos de análise via microscopia ótica e eletrônica de varredura.

Tabela 1 – Composições químicas estabelecidas para os aços desenvolvidos para rodas com microestrutura controlada (% em peso).

| Aço | Aplicação | Composição Química (%) | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------------|------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------|------------------|--------------|-------------|--------------------------|
| | | C | Mn | Si | P | S | N | Al | Nb | Cr | Ti+Cu+ Cr+Mo+ V+Nb |
| Bainítico | Aro/Disco Passeio e Utilitário | 0,14 Máx | 1,60 Máx | 0,18 Máx | 0,025 Máx | 0,006 Máx | 0,0090 | 0,010 ~ 0,060 | 0,070 Máx | - | - |
| Martensítico | Disco Passeio | 0,12 Máx | 1,60 Máx | 0,18 Máx | 0,090 Máx | 0,010 Máx | 0,0090 | 0,010 ~ 0,060 | 0,010 Máx | 1,20 Máx | 1,70 Máx |

Os projetos de liga estabelecidos na Tabela 1 visaram o atendimento dos valores definidos para estas especificações, que se encontram na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas exigidas para aços desenvolvidos para rodas com microestrutura controlada.

| Aço | Propriedade Mecânica | | | Dobramento (180°) |
|------------------------|----------------------|----------|----------------------|----------------------|
| | LE (Mpa) | LR (Mpa) | Along (%) Min b50 | |
| Ferrita- bainita | 450 ~550 | 550~650 | 23 | 1,0e |
| Ferrita- martensita | 320 ~470 | 550~700 | 24 | 1,0e |

Tanto o aço ferrita-bainita quanto o aço ferrita-martensita possuem baixa razão elástica e deformação contínua sem a presença do patamar de escoamento. Para atender aos requisitos da aplicação utiliza-se aços microligados, podendo ter adições como nióbio e cromo. As influências destes elementos de liga são:

a) Nióbio

O nióbio tem um produto de solubilidade que admite dissolução substancial de carbonitretos de nióbio somente em temperaturas elevadas. Em baixas temperaturas na faixa austenítica mostram uma solubilidade restrita, de tal sorte que o endurecimento por precipitação não é observado. Os carbonitretos não dissolvidos nestas temperaturas atuam como um efetivo refinador de grão. A mudança significativa na dissolução dos carbonitretos entre elevadas e baixas temperaturas (1300°C e 900°C) na faixa de temperatura austenítica provoca substancial precipitação induzida por deformação em temperaturas abaixo de 1000°C, e produz o que é argumentado como sendo o efeito mais peculiar do nióbio nos aços, isto é, o significativo retardamento da recristalização nestas temperaturas. Embora este efeito possa ser verificado em aços ao vanádio e aços ao titânio, ele não é tão marcante como nos aços ao nióbio.^[3]

b) Cromo:

A austenita, dependendo do teor de elemento de liga, pode ou não transformar-se em martensita por resfriamento, causando problemas de fragilidade. O cromo afeta muito pouco a “janela de bobinamento”. Entretanto, ele tem papel fundamental para o aumento da estabilidade (ou temperabilidade) da austenita remanescente no decorrer do resfriamento da bobina.

Demandas para o projeto de qualidade: ^[4-6]

Aço ferrita-bainita:

- ✓ Adição de elementos de liga que aumentem a temperabilidade. Em geral, manganês e nióbio, pela excelente relação custo / benefício. O aumento da temperabilidade permite a obtenção da bainita, utilizando a taxa de resfriamento usual em um LTQ (da ordem de 40 °C/s);
- ✓ Temperatura de bobinamento baixa. Em geral, entre 400 e 500 °C. A temperatura de bobinamento precisa ser abaixo da temperatura de início de transformação bainítica (função da composição química). Em geral da ordem de 500 °C;

Aço ferrita-martensita:

- ✓ Adição de elementos de liga que aumentem mais intensamente a temperabilidade. Em geral, combinação de manganês, cromo e fósforo. O aumento intenso da temperabilidade permite a obtenção da martensita, utilizando a taxa de resfriamento usual em um LTQ (da ordem de 40 °C/s);
- ✓ Temperatura de bobinamento muito baixa, em geral, abaixo de 250 °C. A temperatura de bobinamento precisa ser abaixo da temperatura de início de

transformação martensítica (função da composição química). Em geral da ordem de 350 °C;

✓ Resfriamento da tira em 2 estágios, com definição de temperatura e tempo entre estágios. O resfriamento em dois estágios permite que entre estes estágios ocorra a difusão de carbono para os grãos de austenita ainda não transformados, facilitando a formação de martensita.

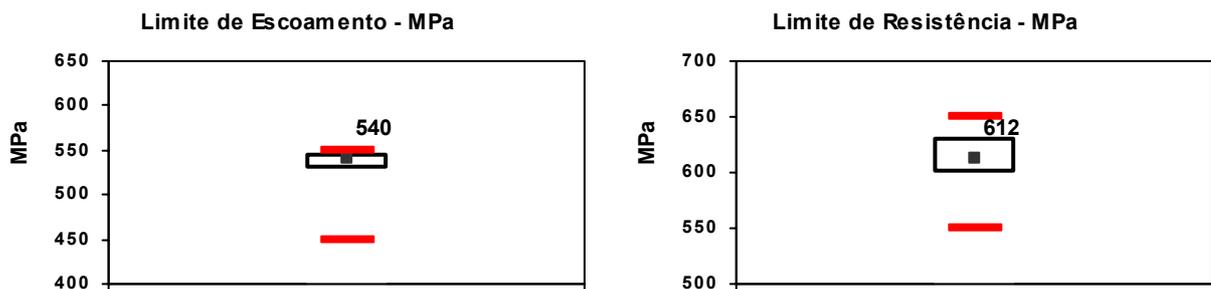
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Ensaios Mecânicos

3.1.1 Aço ferrita-bainita

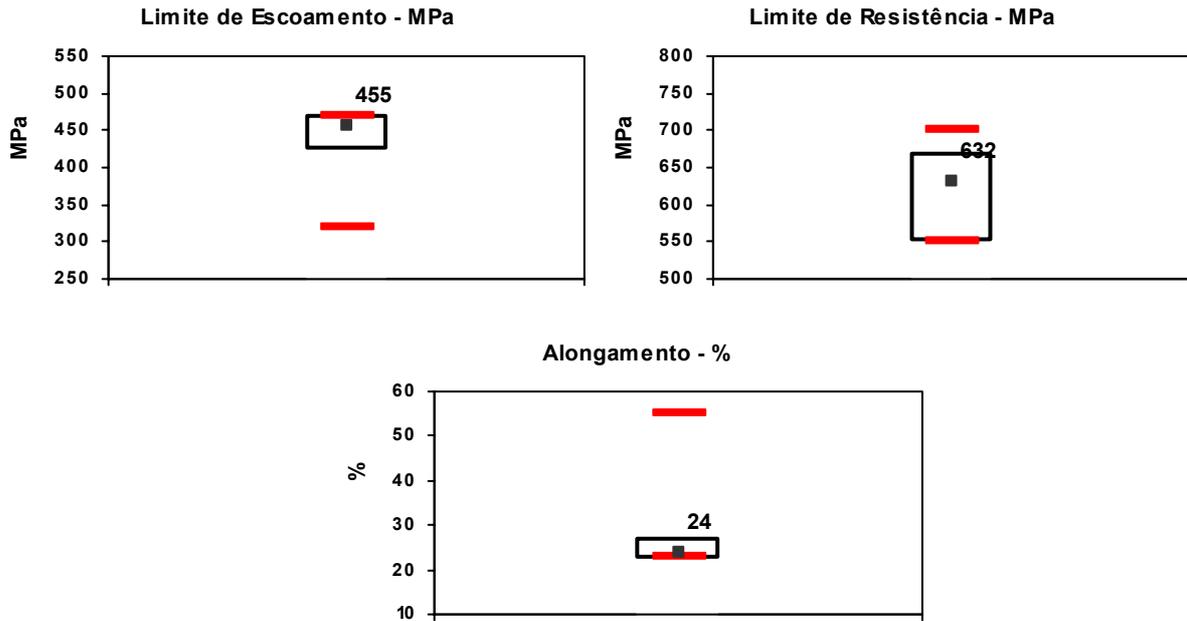
Os resultados dos ensaios mecânicos realizados para o aço ferrita-bainita são apresentados a seguir.

Observa-se que a produção do 1° lote atendeu as especificações do cliente mostrando que a composição química e os parâmetros de laminação foram adequados ao projeto de qualidade. Observa-se que o limite de escoamento apresentou valores próximos do máximo estabelecido o que será ajustado em próximo lote com adequações nos parâmetros de processo. Os resultados dos ensaios de dobramento tiveram 100% de aprovação.



3.1.2 Aço Ferrita-martensita

Os resultados preliminares indicaram atendimento das propriedades mecânicas especificadas, conforme gráficos abaixo. Entretanto para os resultados do limite de escoamento e alongamento, existe necessidade de ajuste nos parâmetros de produção visando valores intermediários aos especificados. Os ensaios de dobramento tiveram 100% de aprovação.



3.2 Ensaios Metalográficos

Após a análise dos resultados obtidos nos ensaios relatados, foram realizados ensaios metalográficos, com o objetivo de se avaliar, do ponto de vista microestrutural o comportamento mecânico apresentado.

Os resultados encontrados confirmaram aqueles obtidos nos ensaios mecânicos, já discutidos neste trabalho. As seqüências de micrografias, apresentadas nas Figuras 2 e 3, mostram alguns aspectos importantes, sobre o ponto de vista microestrutural, encontrados nas análises por microscopia ótica e eletrônica de varredura. Assim, estão bem caracterizadas a microestrutura bainítica e martensítica que são os fatores determinantes do comportamento mecânico do material em estudo.

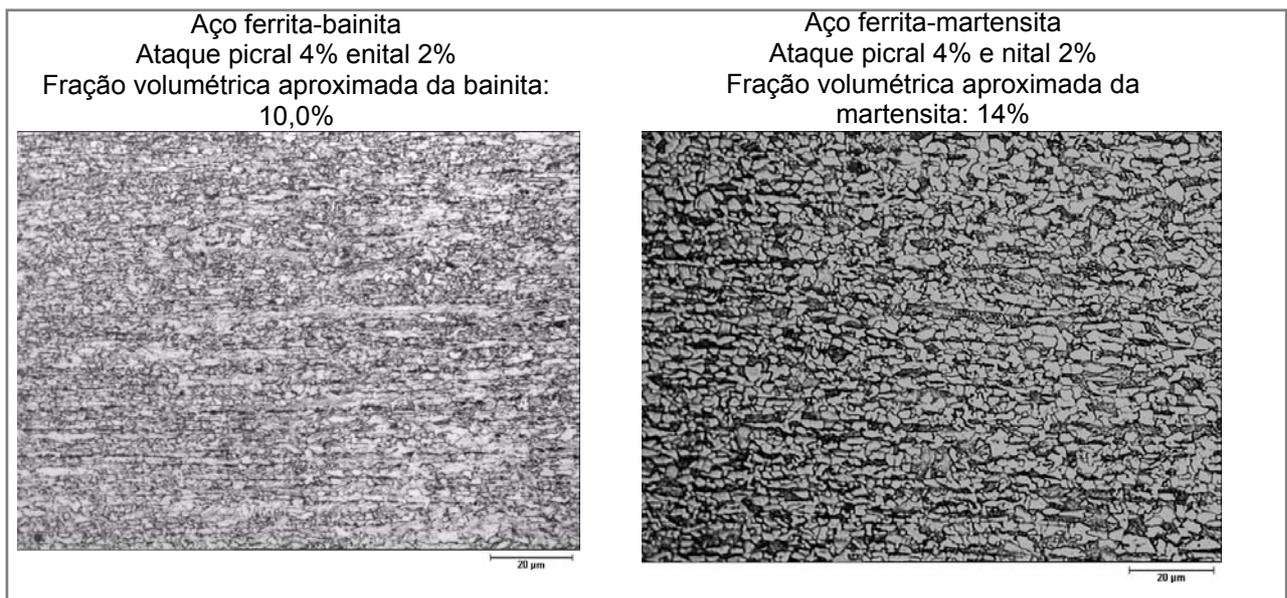
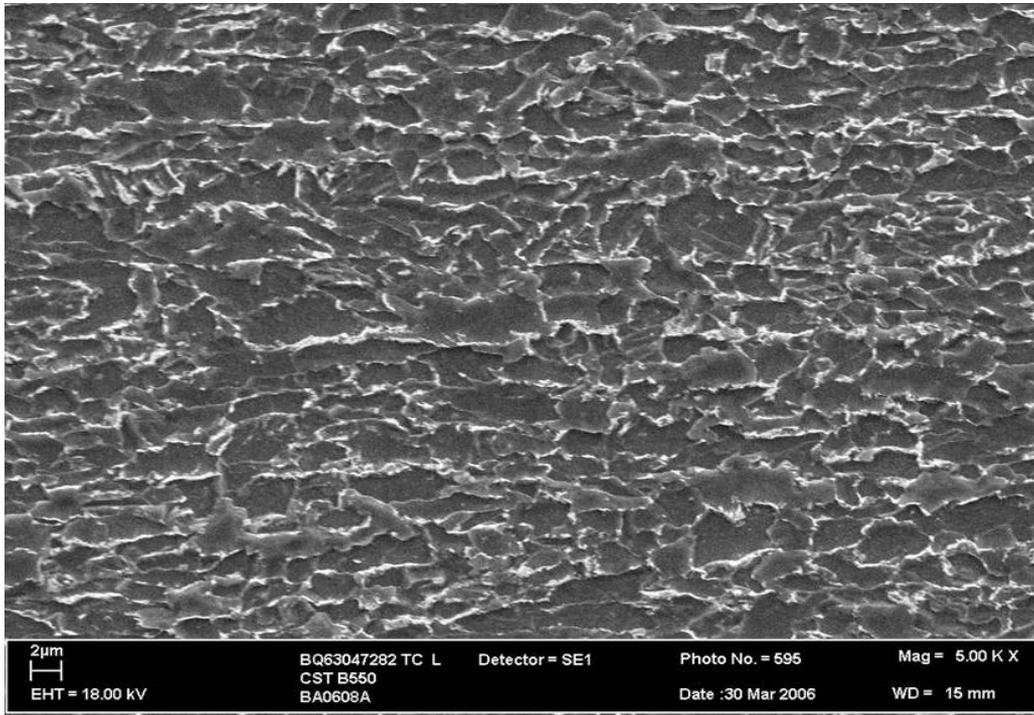


Figura 2 - Microscopia ótica dos aços analisados

Aço bainítico
Ataque picral 4% e nital 2%



Aço martensítico
Ataque picral 4% e nital 2%

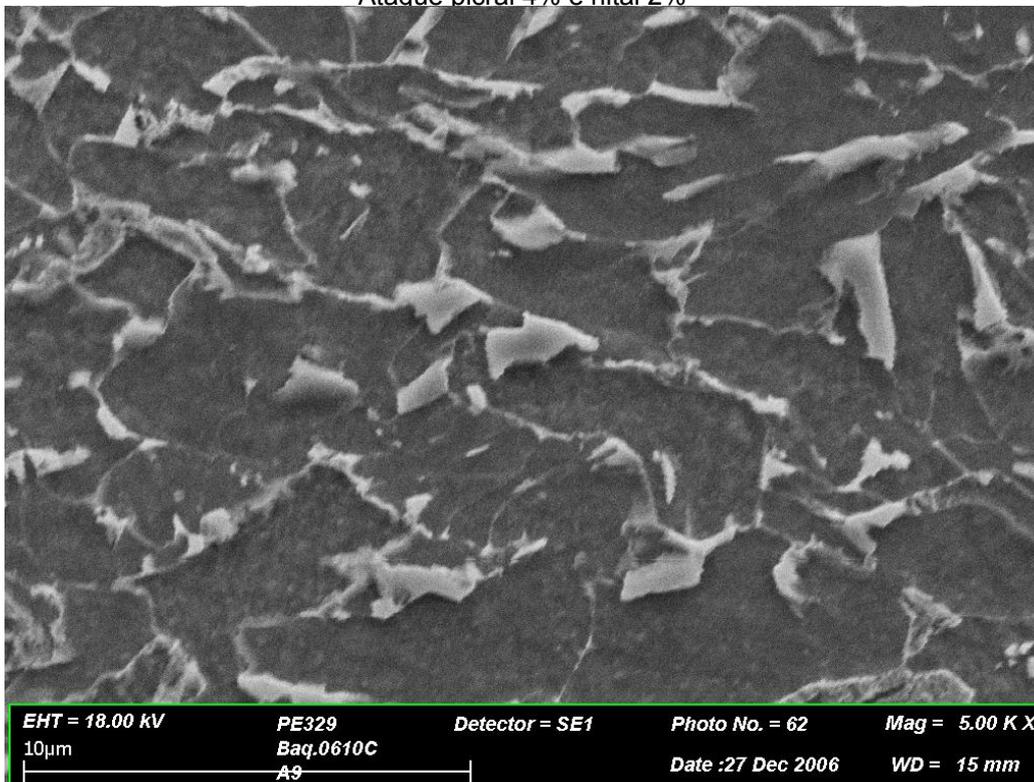


Figura 3 - Microscopia eletrônica de varredura dos aços analisados

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados experimentais obtidos, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

- Aço ferrita-bainita: o projeto de qualidade proposto atendeu preliminarmente ao objetivo, visto que todos os requisitos definidos tanto na CST como nos testes realizados no cliente final na produção da roda, foram atendidos com sucesso;
- Aço ferrita-martensita: a microestrutura obtida (matriz ferrítica com aproximadamente 15% de segunda fase, martensita) confirma o sucesso dos parâmetros de laminação estabelecidos. Os resultados preliminares mostraram atendimento aos requisitos estabelecidos tanto internamente na CST bem como no cliente final na produção de rodas;
- Além do atendimento da propriedade mecânica e microestrutura destes aços, foram obtidas planicidade e superfície conforme exigidos para os aços aplicados em rodas leves e com controle de microestrutura;
- Vale destacar que o desenvolvimento em escala industrial dos aços de microestrutura controlada foi realizado em aproximadamente 01 ano;
- Os aços com microestrutura controlada têm destaque na carteira de desenvolvimentos da CST Arcelor Brasil devido tanto ao alto valor agregado quanto a demanda de mercado.

REFERÊNCIAS

- 1 The Auto/Steel Partnership. Material Uniformity of High-Strength Sheet Steels – Vol.2, (November 1, 1998). www.a-sp.org/database.
- 2 ULSAB-AVC Program, 2001. Technical Transfer Dispatch #6, 05-01-2001,
- 3 Niobium – Science and Technology”, Proceedings of the International Symposium Niobium 2001, TMS, 2001.
- 4 DEARDO, A. J. et all. *Thermomechanical Processing of Microalloyed Steels: From The Hot Mill Through the Cold Mill. Jamshedpur, India, Asia International Conference – 2003.*
- 5 MARTINS, C. A. et all. Estudo do Efeito de Elementos Microligantes nas Propriedades Mecânicas de Aços para Roda Automotiva. São Paulo, Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais, 1994.
- 6 TAMURA, I., et all. *Thermomechanical Processing of High Strength Low Alloy Steels. London, Butterworths, 1988.*