



Aplicação do Nb em aços

carbono de alta resistência

A experiência da Usiminas

Leonardo de Oliveira Turani
Especialista de Produtos PI

Brasília, 05 de Setembro de 2019

“Liderança Brasileira na Cadeia Produtiva do Nióbio”

USIMINAS 

Agenda

- A Usiminas
- A Metalurgia do Nb no aço carbono
- Desafios e Tendências da indústria
- Aplicações de aços ao Nb - Cases da Usiminas
- Considerações finais



TRAJETÓRIA



Líder

Mercado de
aços planos
no Brasil



13,7 bi

Receita Líquida (R\$)
em 2018



13 mil

Empregados
diretos

CERTIFICAÇÕES

ISO 9001

1ª Siderúrgica brasileira
certificada em 1992

ISO 14001

1ª Siderúrgica brasileira e
2ª do mundo certificada em 1996

PRESENÇA EM TODA A CADEIA DE VALOR DO AÇO



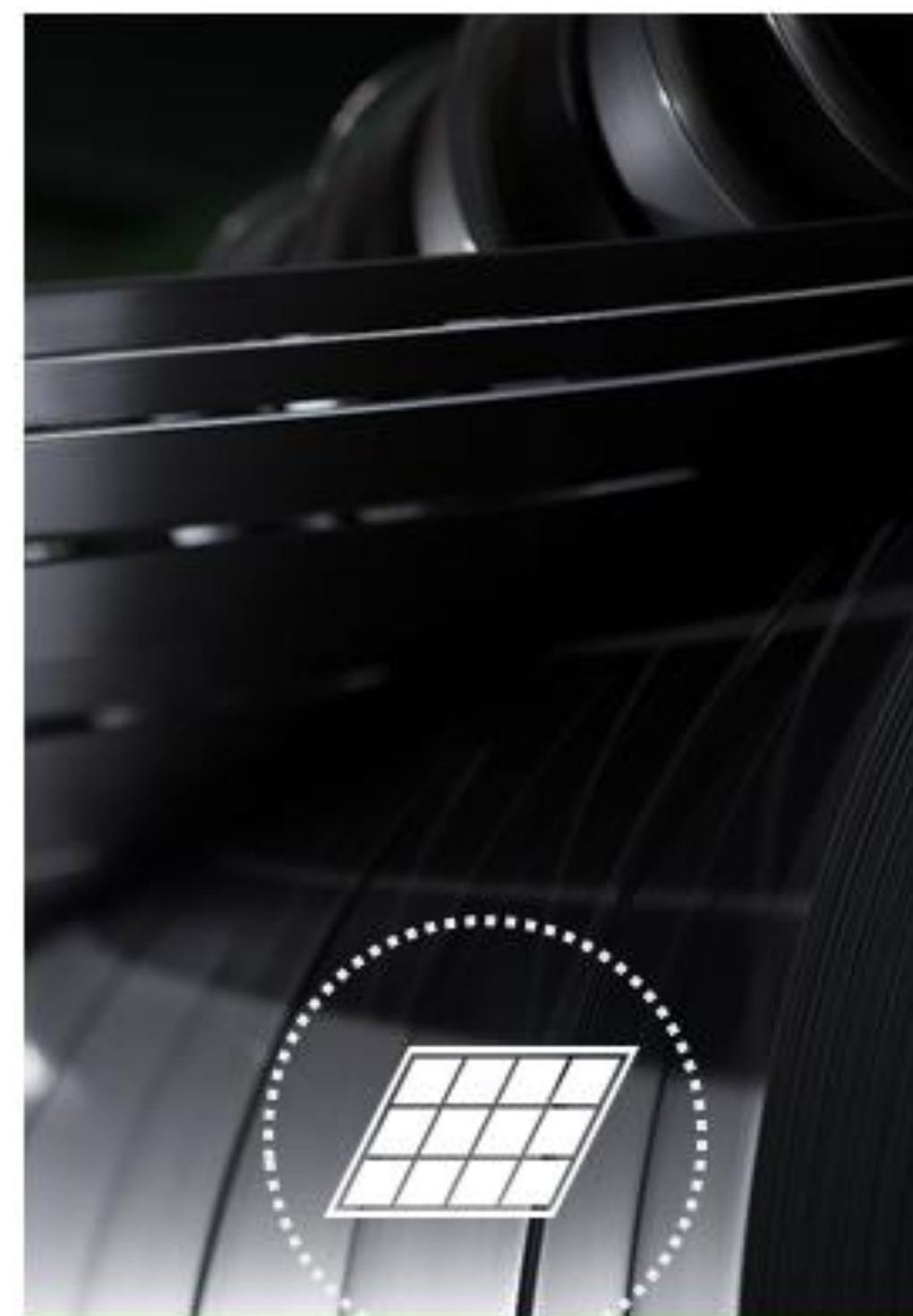
MINERAÇÃO

Mineração Usiminas



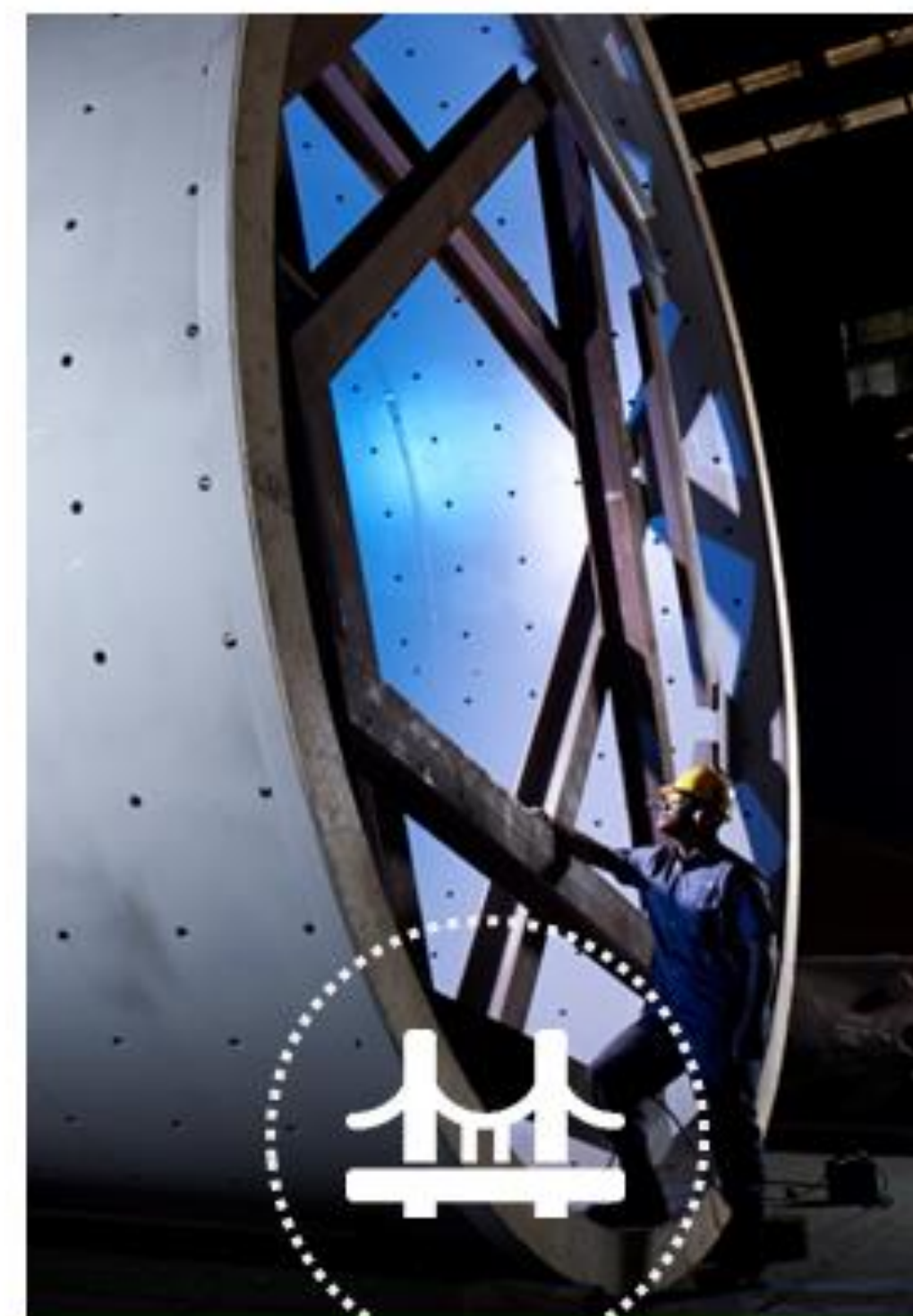
SIDERURGIA

Ipatinga, Cubatão, Unigal



TRANSFORMAÇÃO DO AÇO

Soluções Usiminas



BENS DE CAPITAL

Usiminas Mecânica

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

MINERAÇÃO

- Itatiaiuçu - MG

SIDERURGIA

- Ipatinga - MG
- Cubatão - SP

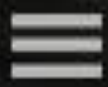
SOLUÇÕES

- Santa Luzia - MG
- Betim - MG
- São Paulo - SP
- Taubaté - SP
- Guarulhos - SP
- Porto Alegre - RS
- Suape - PE

Mecânica

- Ipatinga - MG





SEGMENTOS DE MERCADO



**AUTOMOBILÍSTICO
E AUTOPEÇAS**



**CONSTRUÇÃO
CIVIL**



**LINHA
BRANCA**



DISTRIBUIÇÃO



**EQUIPAMENTOS
INDUSTRIAIS**



NAVAL



**ÓLEO E
GÁS**

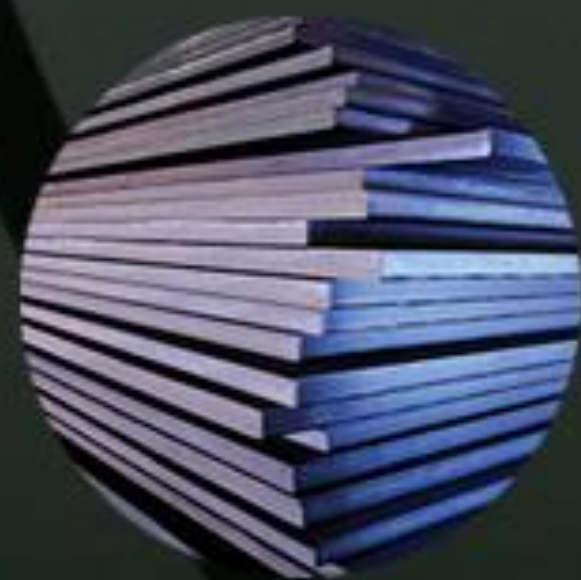


**MÁQUINAS
AGRÍCOLAS**

SIDERURGIA

CAPACIDADE INSTALADA
10 milhões
de toneladas de aço/ano

Oferecem aos **mercados interno e externo**
uma linha completa:



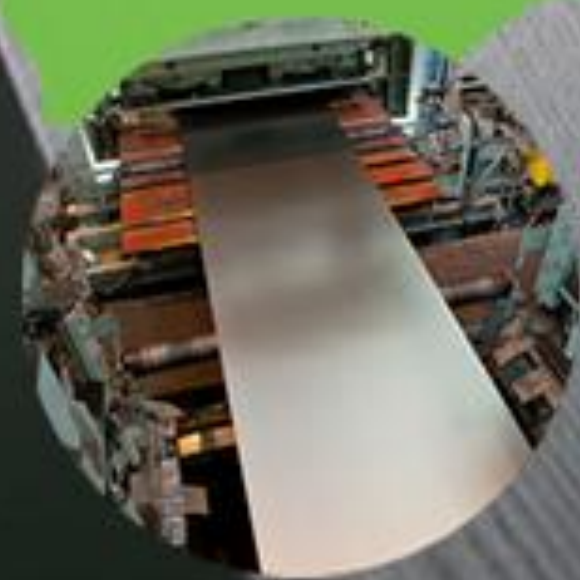
**CHAPAS
GROSSAS**



**LAMINADOS A
QUENTE**



**LAMINADOS
A FRIO**



ELETROGALVANIZADOS



**GALVANIZADOS POR
IMERSÃO A QUENTE**





**PESQUISA &
DESENVOLVIMENTO**

Investimento anual

0,2% a 0,3%

receita bruta

Maior Centro de Pesquisas em siderurgia na América Latina



Mais de **40 anos**
de atuação



17 laboratórios



Aprimora processos e
desenvolve produtos



Contribui para a liderança na
geração de patentes
no Brasil

A Usiminas é a usina siderúrgica com o maior

número de patentes na América Latina.

A Metalurgia do Nb no aço carbono

- **Porque usar o Nb?**

- Elemento químico que proporciona a obtenção de aços de maior resistência mecânica, ótima tenacidade, elevada relação elástica (LE/LR) e com melhor soldabilidade (menor C_{eq}).
- Custos competitivos em relação a outros elementos, exemplo V.

- **Como o Nb age na microestrutura do aço?**

- Melhor dissolução de precipitados na etapa de reaquecimento da placa a ser laminada;
- Permite laminação controlada em temperaturas mais altas, retardando a recristalização da γ , aumentando sua taxa de deformação e promovendo o refino do grão γ de forma homogênea na fase de desbaste;
- Precipitação no contorno de grão ferrítico, servindo de âncora e barreira para crescimento grão com elevação de temperaturas (solda).

O Nb provoca o aumento de resistência por precipitação e por refino de grão.

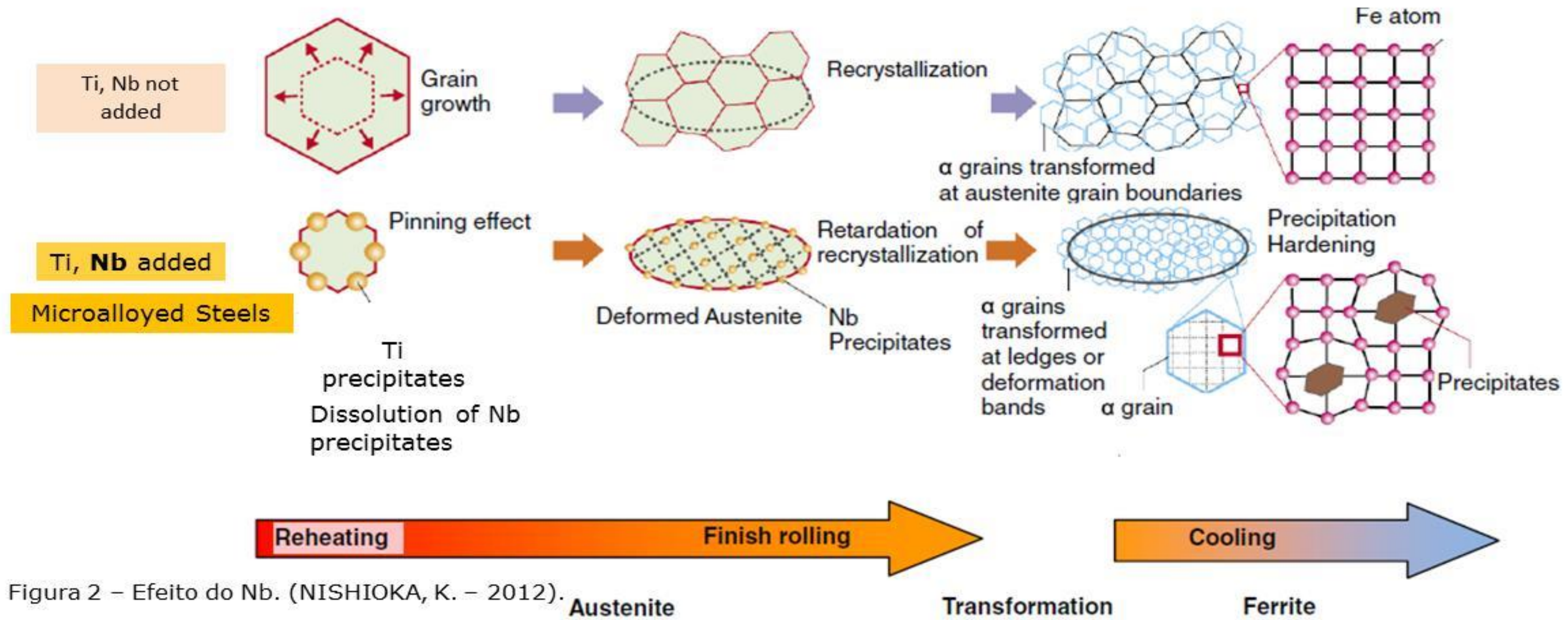


Figura 2 – Efeito do Nb. (NISHIOKA, K. – 2012).

Precipitação de Nb na γ :

- ✓ Retarda a recrystalização de γ → refino do grão ferrítico;
- ✓ Aumenta a resistência do aço por meio endurecimento por precipitação.

Para exercer todo o seu potencial, o Nb precisa estar dissolvido na matriz ao final do reaquecimento!

O Nb na produção de chapas TMCP

CARACTERÍSTICAS METALÚRGICAS

① Aços convencionais: Ferrita poligonal + Perlita



② Aços TMCP-Resfriamento acelerado: Ferrita refinada + Bainita



Refinamento do grão ferrítico

Qualidade dos aços TMCP controlados por:

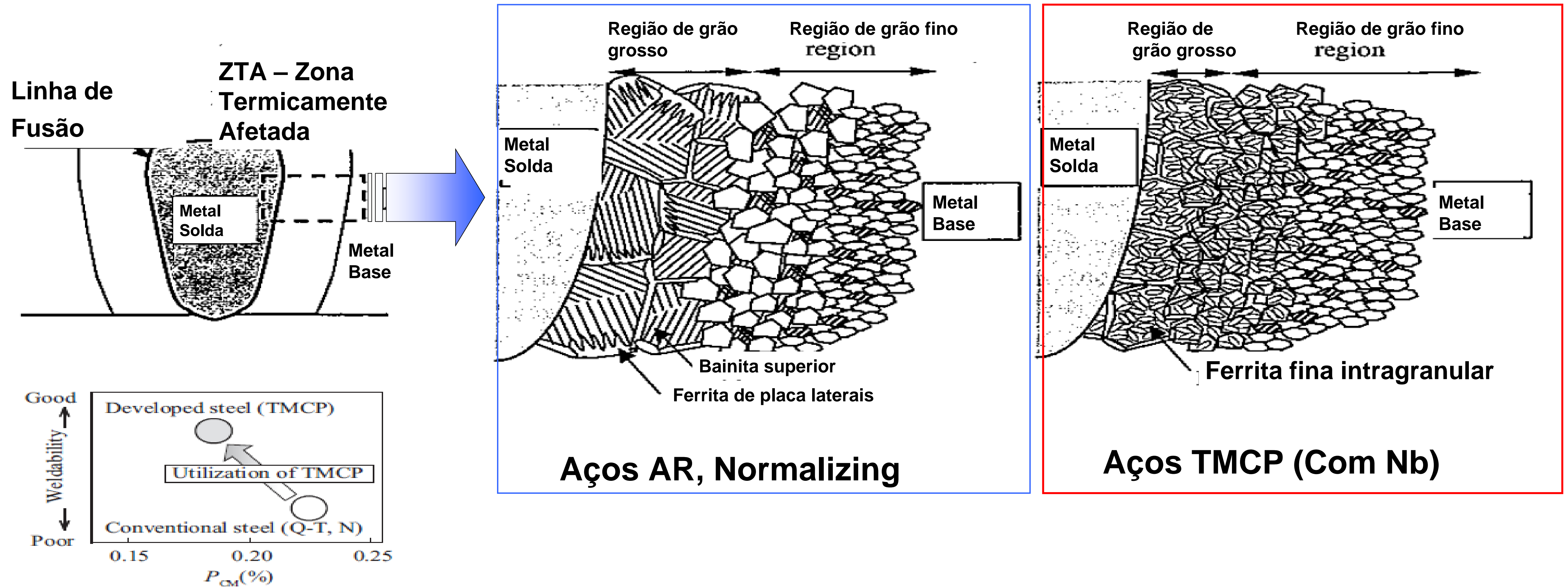
- Composição química (Nb, V, Ti, Cu, Ni, Cr, Mo)
- Controle de grão e fase por meio de:
 - Temperatura reaquecimento
 - Temperatura de laminação
 - Taxa de laminação
 - Temperatura e velocidade de resfriamento acelerado

Características dos aços TMCP:

- Baixo C_{eq} , Alta Resistência Mecânica, Excelente Tenacidade
- Microestrutura refinada, Soldabilidade superior e Alta tenacidade nas juntas soldadas

Benefícios na aplicação

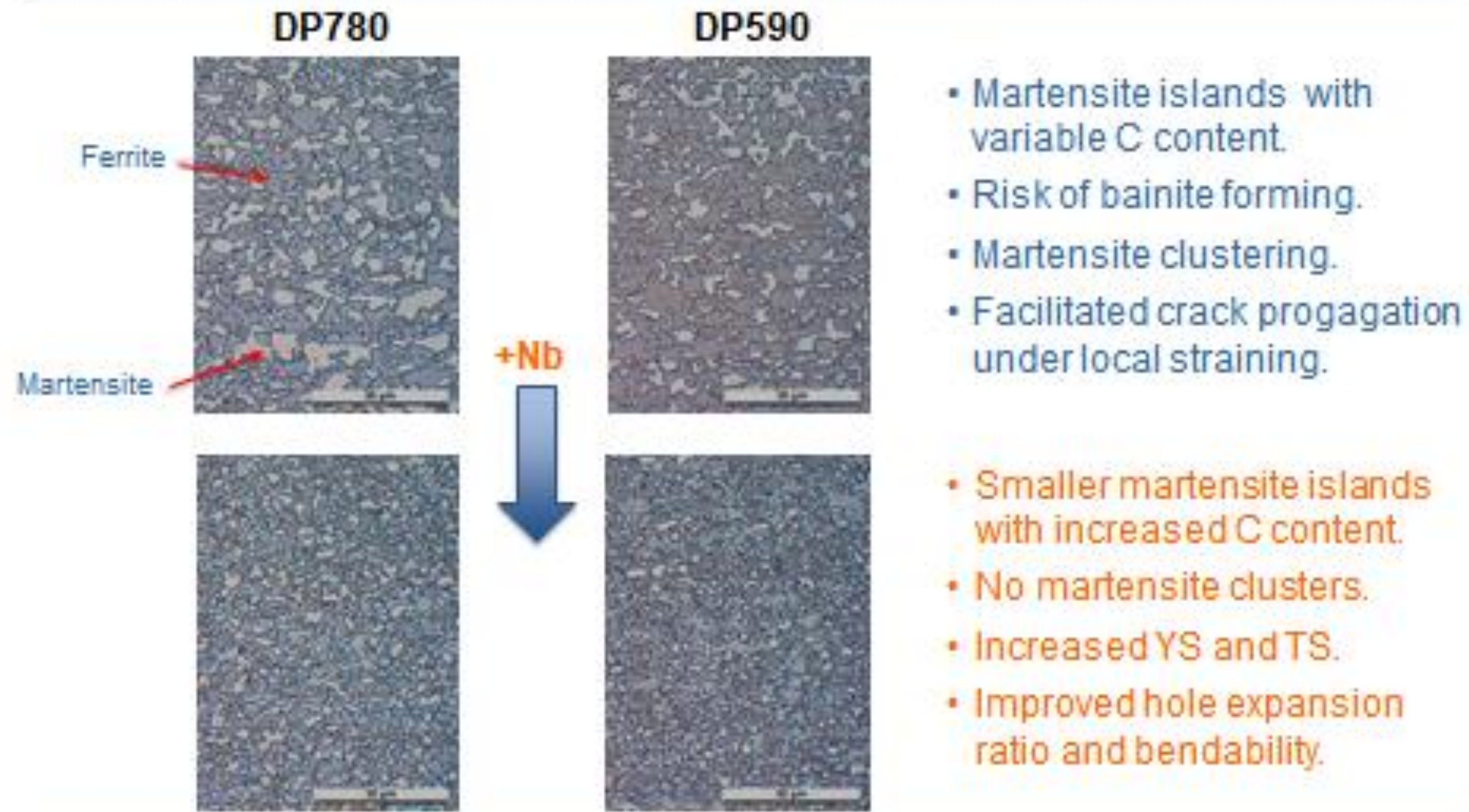
Produtividade na indústria: Redução de passes de solda, uso de alto aporte térmico



Benefícios na aplicação

Melhoria na conformação e expansão de furo em aços automotivos

Microstructural refinement of dual phase steel – Nb does the job!

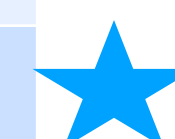


Consumo de Nb (%) na Usiminas

Usiminas

(% em peso)

Aço	Auto	Energia	Construção	Transportes	Máquinas	Bens de Consumo	Exportação	TOTAL
CG	-	7,2	3,7	0,8	3,2	-	0,1	15,0
LF	13,5	-	0,2	-	0,1	-	-	13,8
Revestidos	34,7	0,5	3,5	0,4	0,2	0,1	1,1	40,5
TQ	20,8	3,1	1,4	4,1	1,3	-	-	30,7
TOTAL	60,9	10,8	8,8	5,3	4,8	0,1	1,2	100,0



Setor	
Auto	Montadoras, autopeças e rodas
Energia	Óleo e gas, energia eólica e energia solar
Construção	Construção civil e silos
Transportes	Naval, Caminhões, encarroçadoras e implementos rodoviários
Máquinas	Máquina agrícolas
Bens de Consum	Linha branca e botijões
Exportação	Exportação não globalizado

Desafios e Tendências da Indústria



Aços ao Nb – Mercado de Aplicação

Automotivo



Naval e Offshore



Hidrelétrica



Pontes e Viadutos



Eólico



Linha Amarela



Sucroalcooleiro



Agrícola



Mineração



Rodoviário



Desafios e Tendências - Setor Automotivo

Consumo de combustível / Emissão de CO₂ Principais Fatores que Influenciam na Redução

- Eficiência do motor
- Peso do veículo
- Aerodinâmica
- Atrito dos pneus

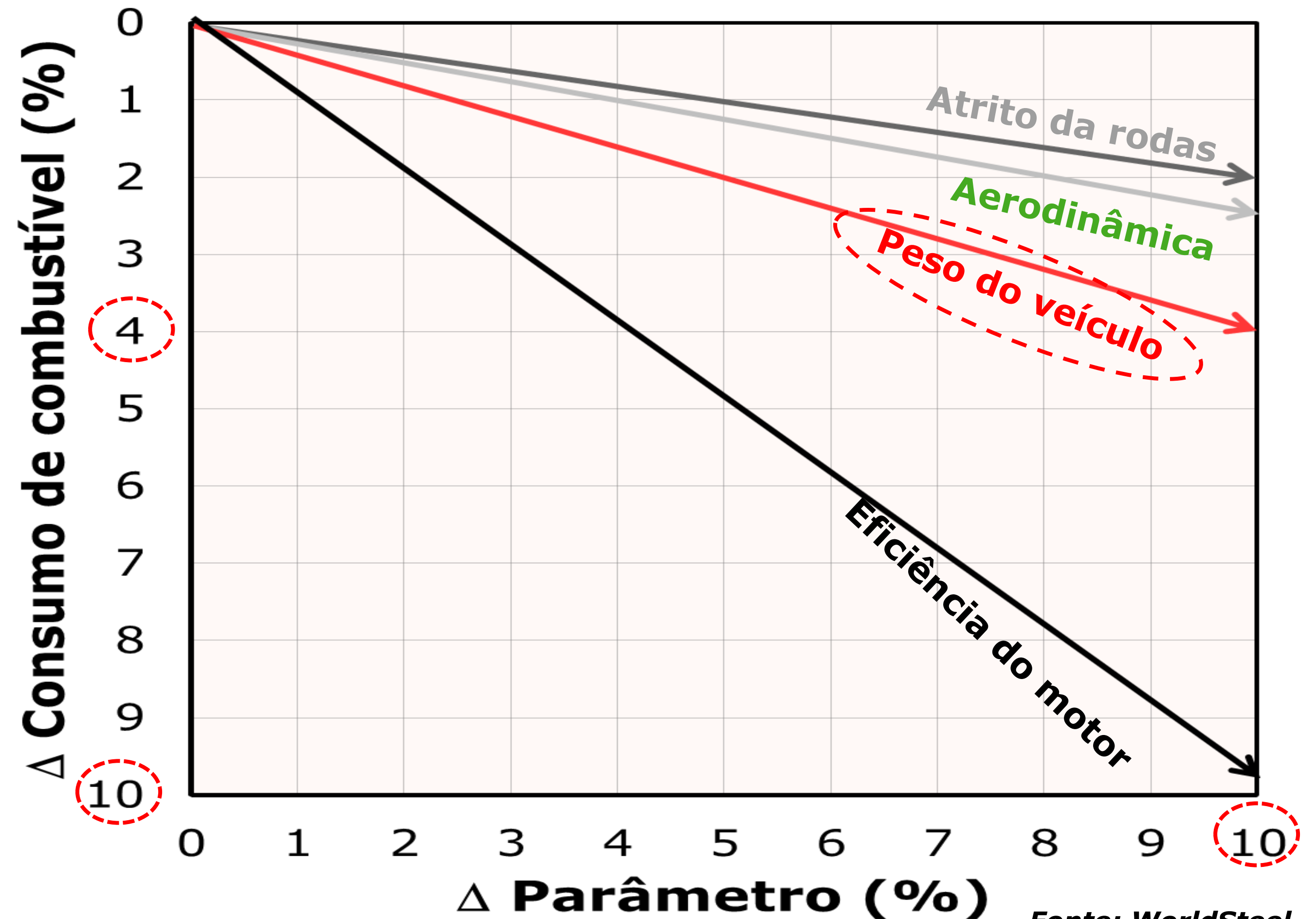


Desafios e Tendências - Setor Automotivo - Peso

Consumo de combustível / Emissão de CO₂ Principais Fatores que Influenciam na Redução

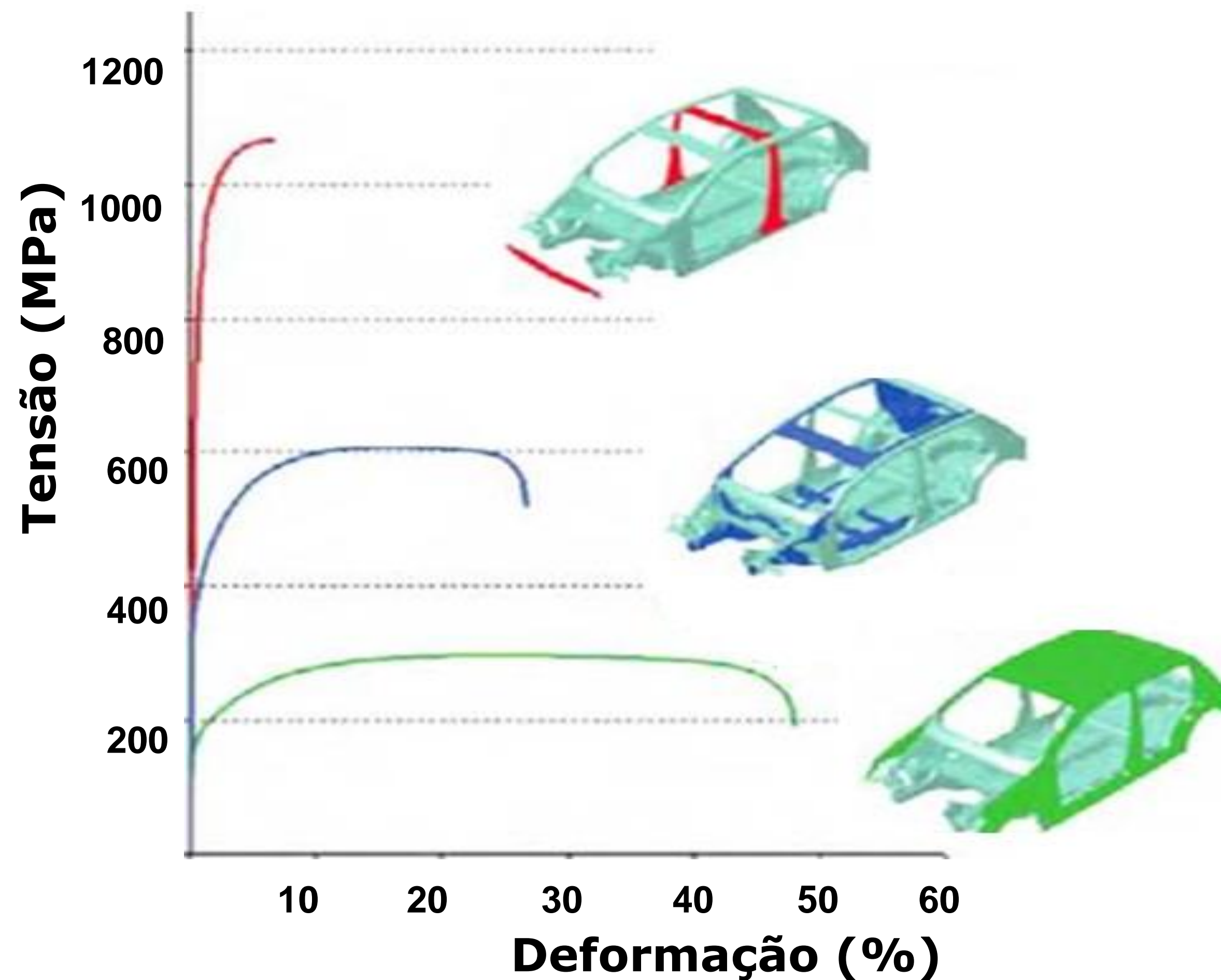
- Eficiência do motor
- Peso do veículo
- Aerodinâmica
- Atrito dos pneus

✓ Uso de aços de alta resistência de menor espessura, permite uma redução significativa de peso em carrocerias de automóveis.



Desafios e Tendências – Setor Automotivo

Segurança veicular



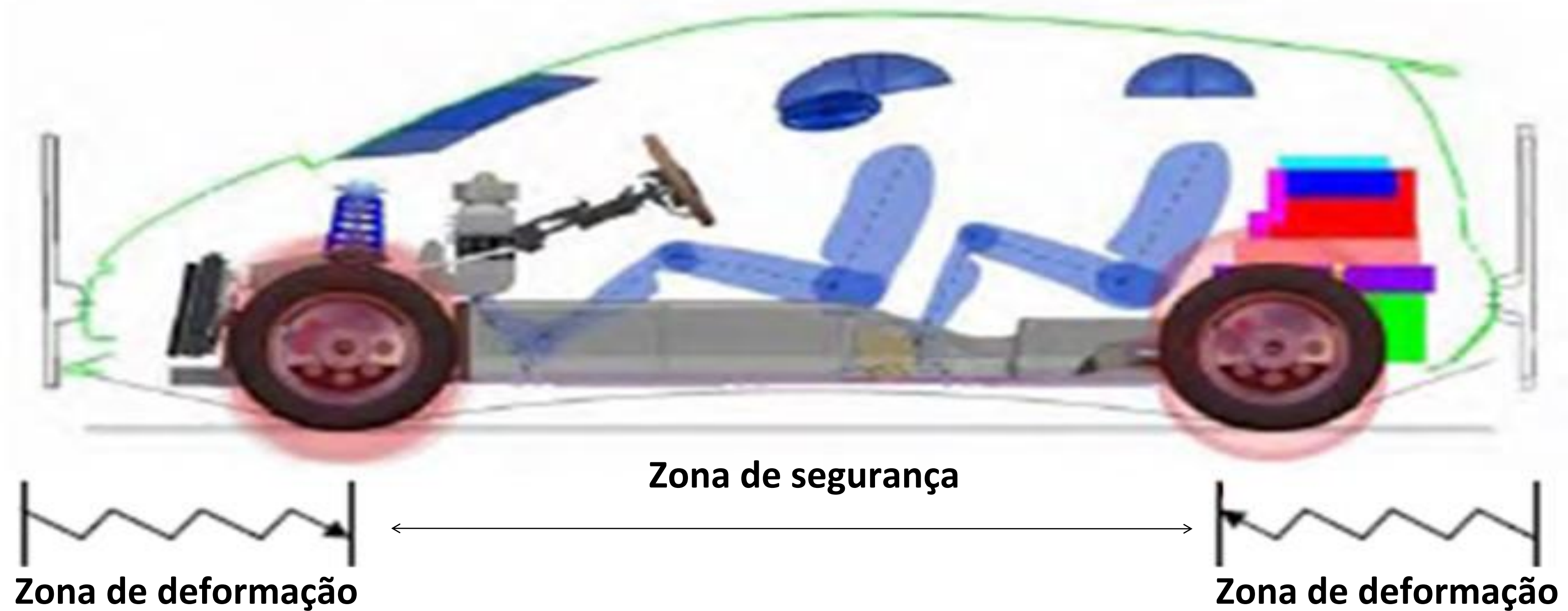
Aço para peças de segurança críticas nos automóveis. Necessárias para manter o espaço de sobrevivência dos passageiros em um evento de impacto.

Aços de alta resistência que possibilitam um balanço entre resistência mecânica, conformação e absorção de energia.

Aços com excelente capacidade de conformação.

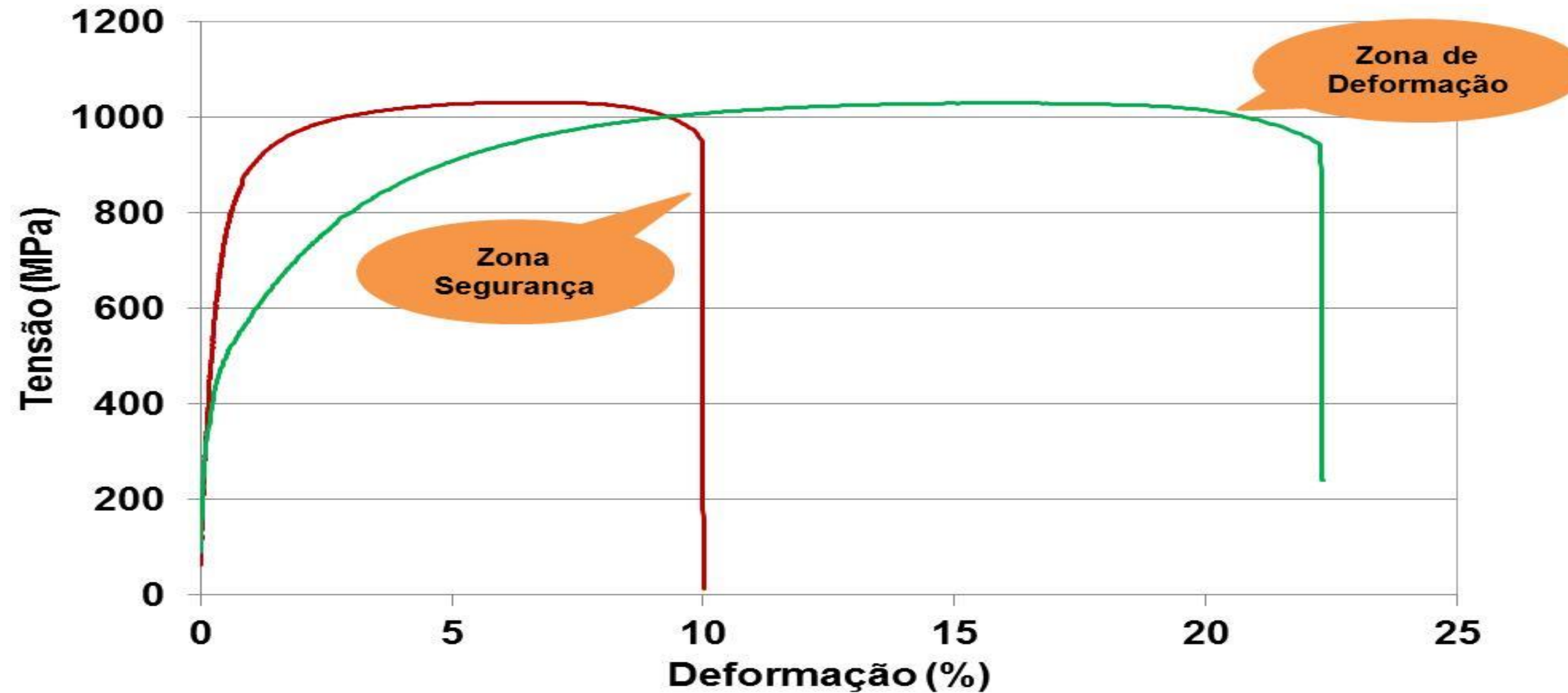
Desafios e Tendências - Setor Automotivo

Segurança veicular



Zonas	Característica Para Alto Desempenho
Zona de Deformação	Absorção de energia em evento de impacto
Zona de Segurança	Nenhuma deformação/intrusão durante impacto

UHSS – Absorção de energia x Rigidez



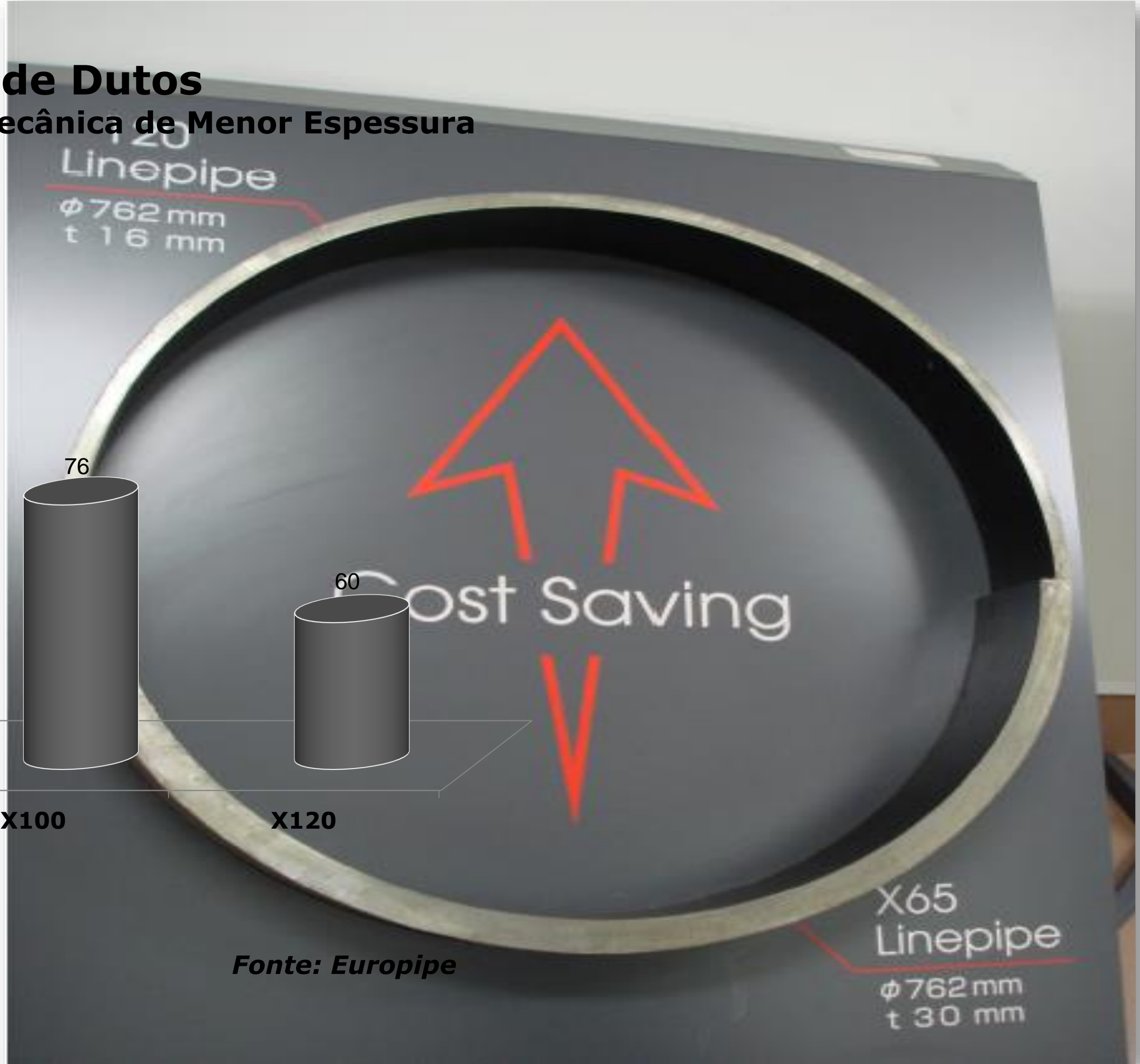
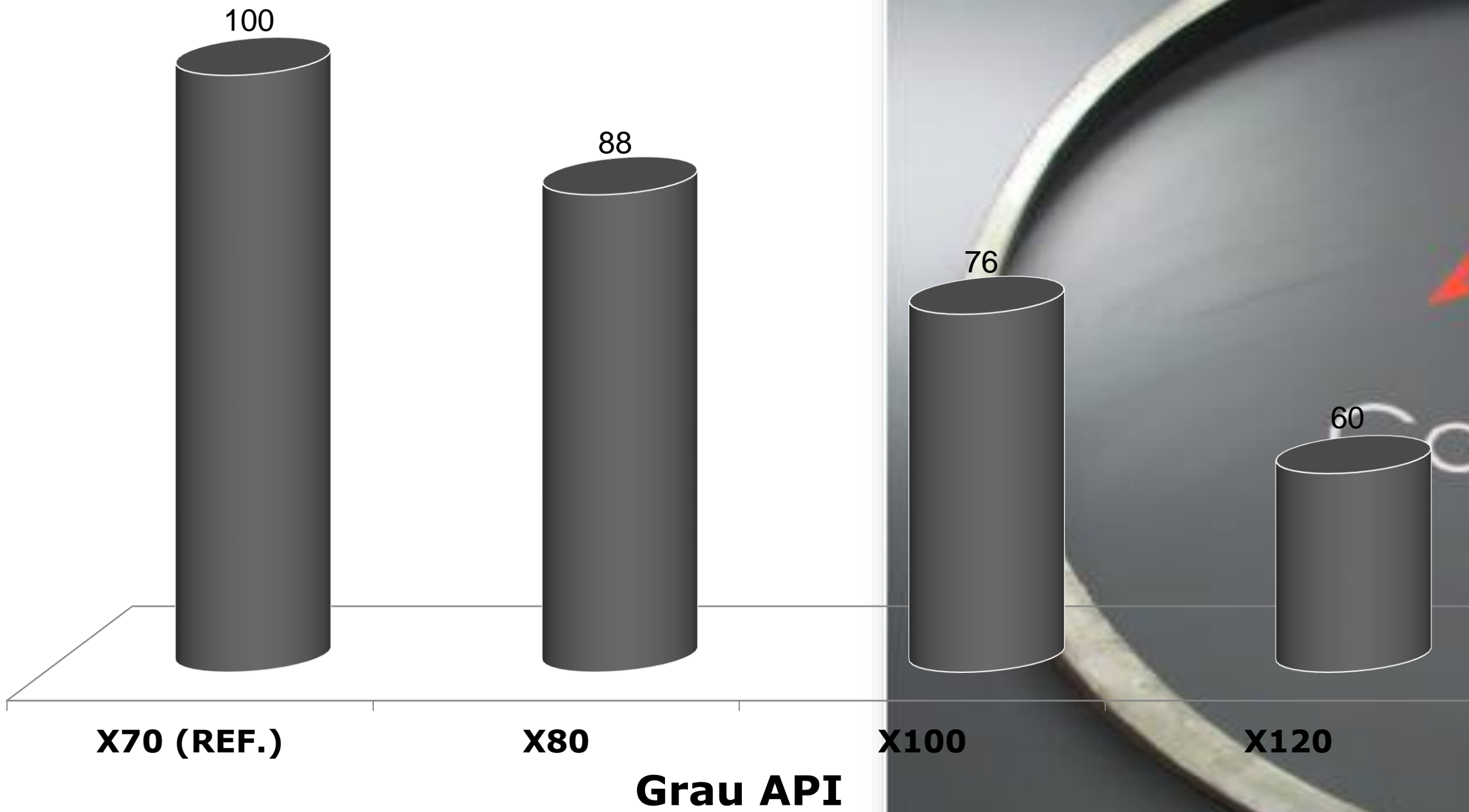
Zona de Deformação: Aço DP1000 de alta capacidade de deformação
Zona de Segurança: Aço Complex Phase 1000 ao Nb

Aço Complex Phase 1000 é um produto desenvolvido pela Usiminas que possui matriz contendo ferrita, bainita e martensita, contendo ainda adição de Nb que propicia o refinamento dos grão ferríticos com aumento da resistência dessa fase específica.

Desafios e Tendências - Setor de Óleo e Gás

Redução de Peso de Dutos

Uso de Aços de Mais Alta Resistência Mecânica de Menor Espessura



Fonte: Europipe

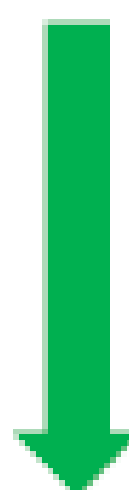
Desafios e Tendências – Setor Rodoviário



FOCO: REDUÇÃO DE PESO



MANUFATURA e MEIO AMBIENTE:

- 
- 40% de redução no consumo energético;
 - 40% de redução no consumo de água;
 - 40% de redução na emissão de CO₂ na atmosfera.

Para cada 1kg de aço convencional produzido, pode-se utilizar 0,6kg de HSS

PROCESSO PRODUTIVO:

Corte térmico: Incremento na velocidade de corte em função de menores espessuras de chapas, resultando em ganhos de produtividade;

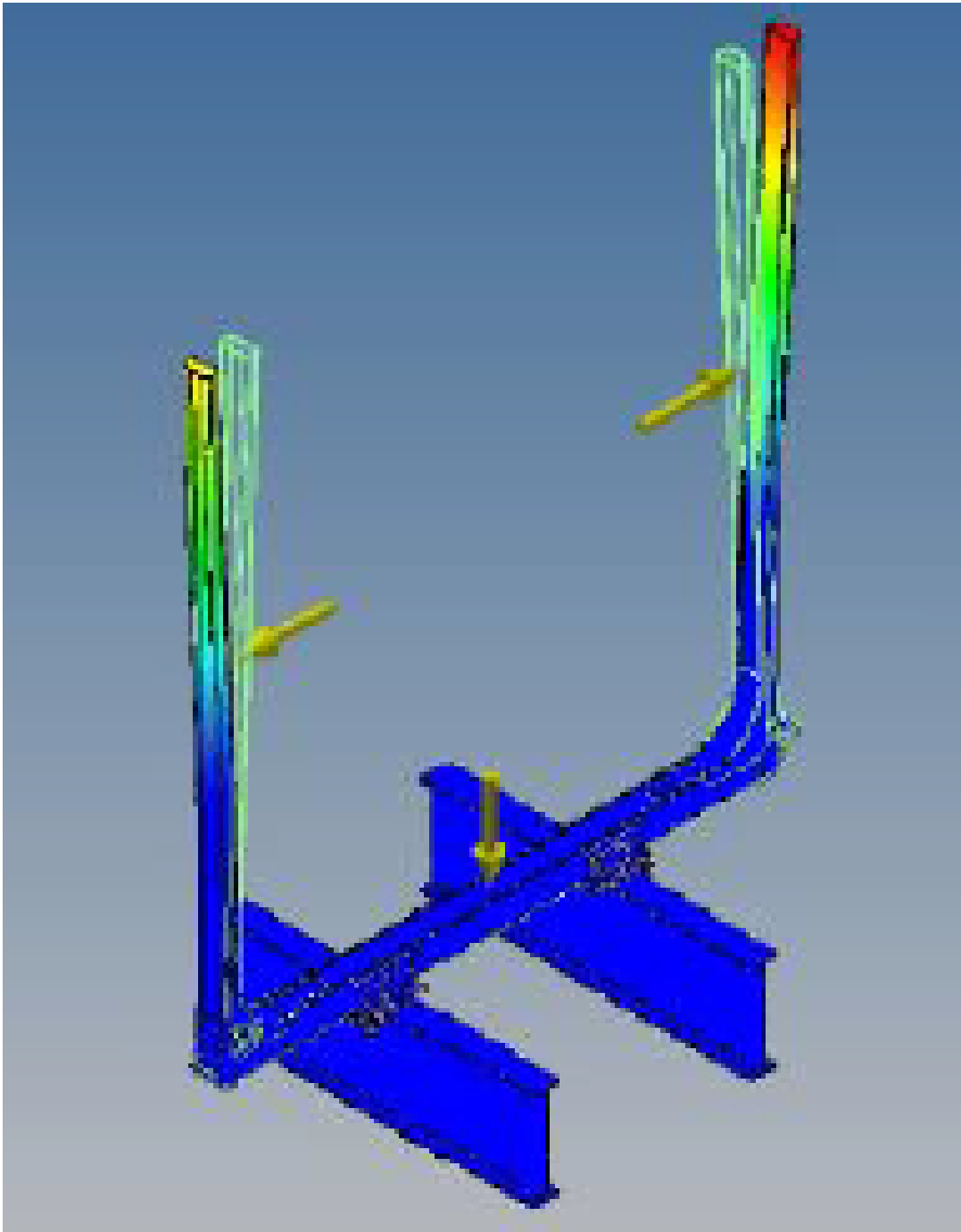
Solda: Redução de tempo de processo e consumo de arame em função da redução das espessuras de chapa utilizadas.



Desafios e Tendências – Setor Rodoviário

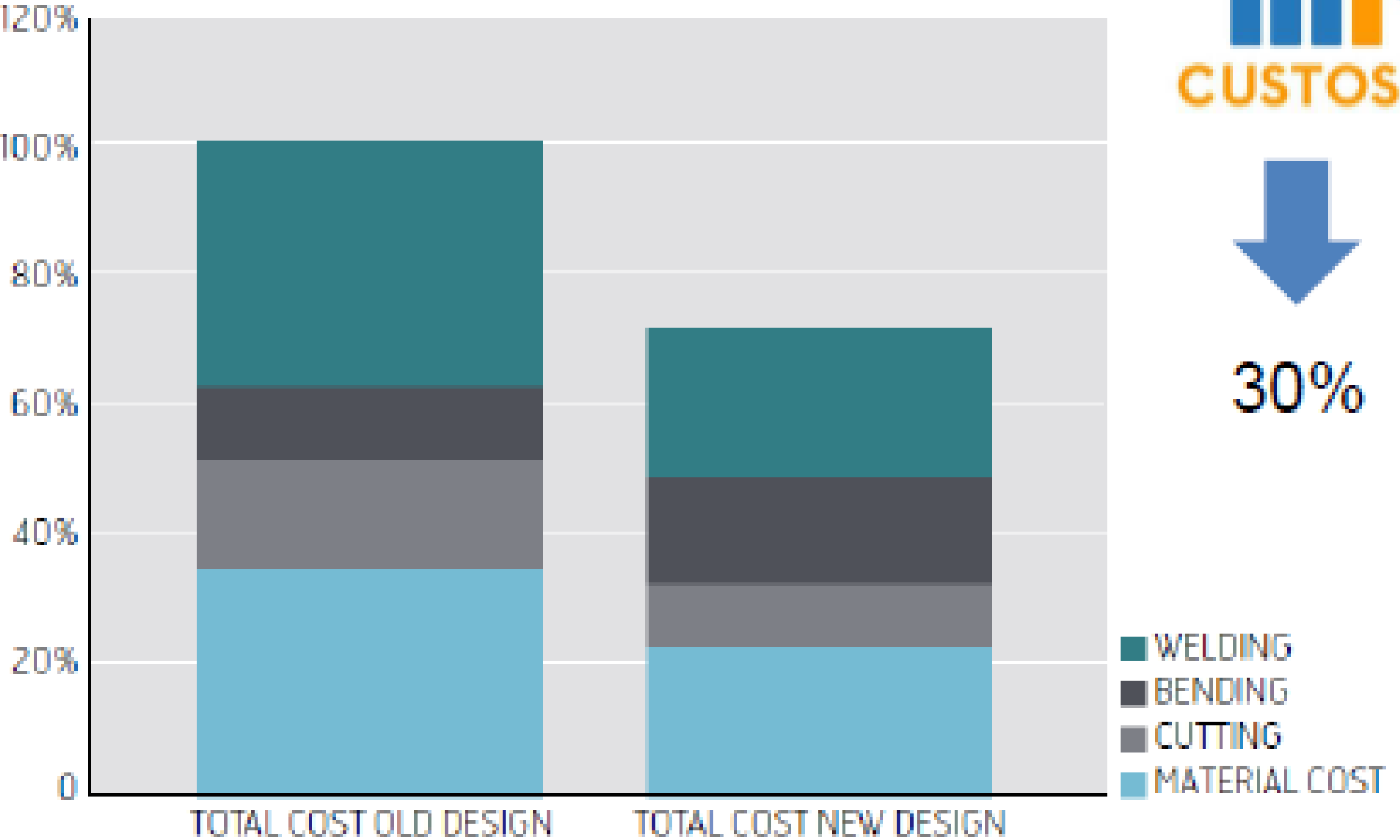
PROJETO:

Permite o desenvolvimento de designs mais arrojados e inovadores.



CUSTO:

Gráfico comparativo da redução do custo total de um implemento rodoviário manufacturado em aço convencional x aços de alta resistência.



Desafios e Tendências – Setor Rodoviário

MÉRITOS AO USUÁRIO-CLIENTE FINAL

+ CAPACIDADE DE CARGA

- USO DE COMBUSTÍVEL

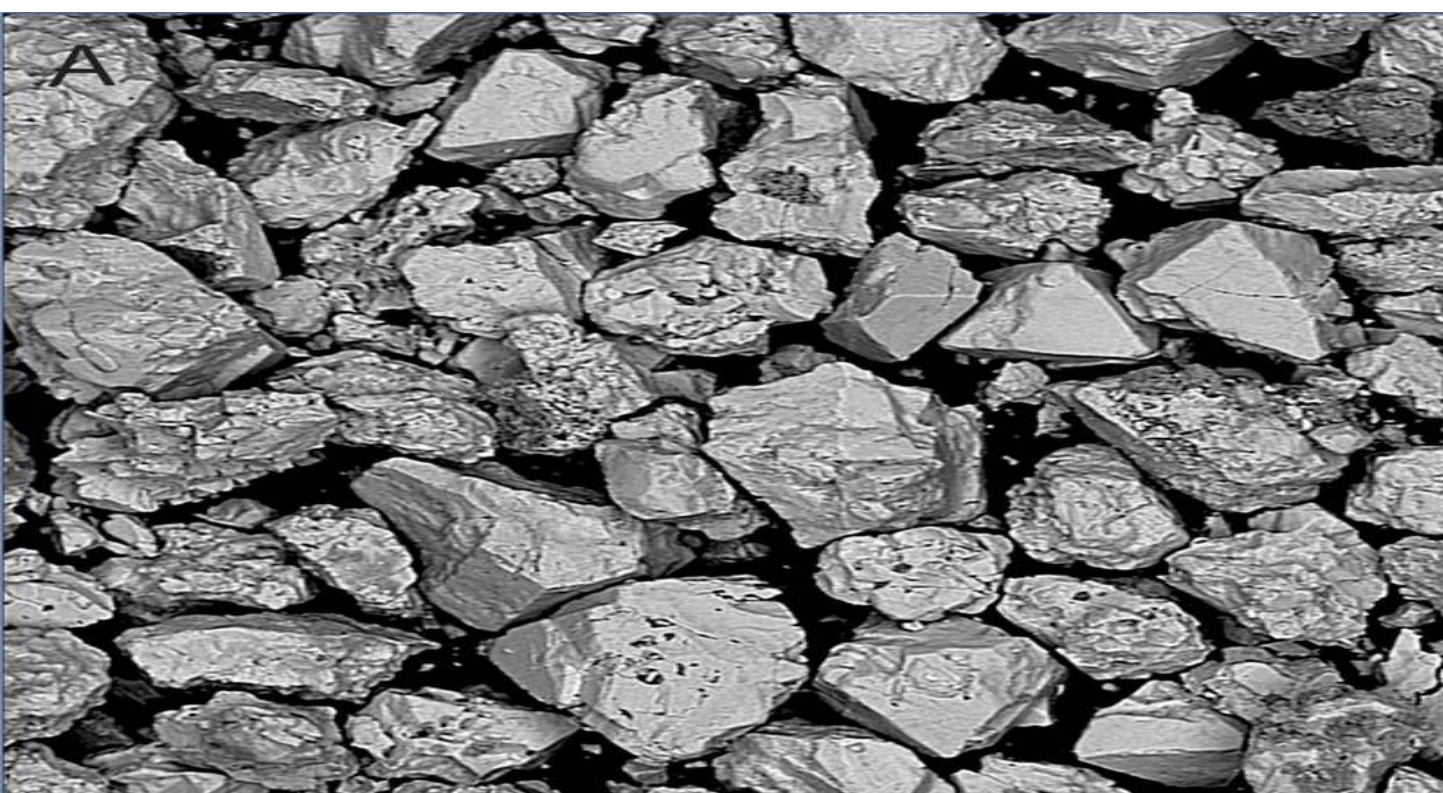
- DESGASTE DE COMPONENTES
(FREIOS/ROLAMENTOS/PNEUS)

- MAIOR ALCANCE DE ELEVAÇÃO E
AMPLITUDE DE TRABALHO

- MINIMIZAÇÃO DE PARADAS PARA
MANUTENÇÃO



Aços ao Nb - Cases da USIMINAS



AUTOMOTIVO

□ APLICAÇÃO

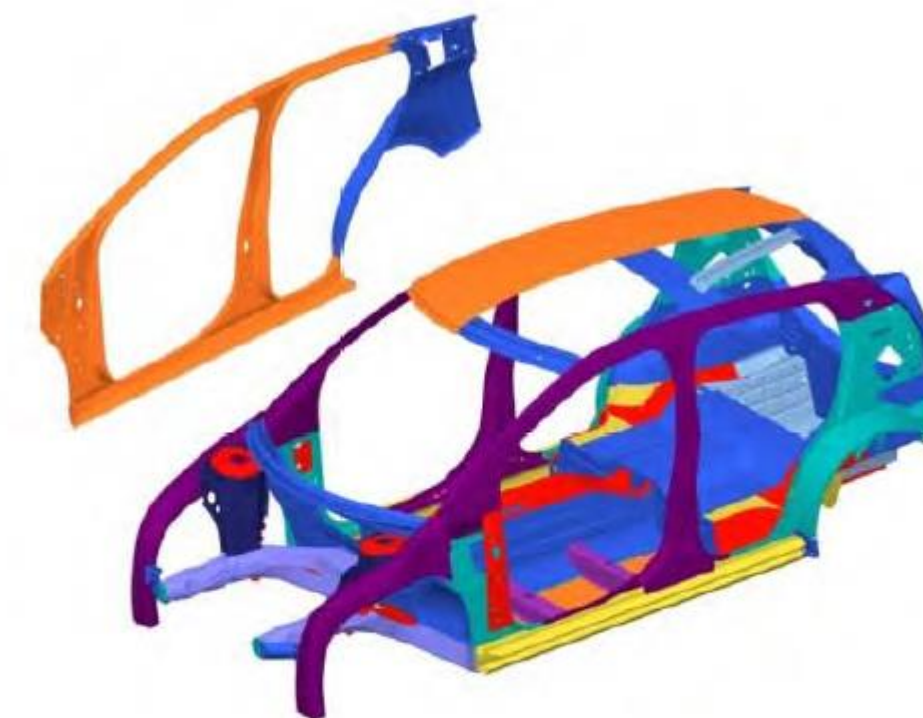
Laminados a frio e Galvanizados dos graus Complex Phase classe 800/900, HSLA 420/550; Dual Phase HE 600 a 1000.

□ CARACTERÍSTICAS

- ✓ Alta resistência mecânica
- ✓ Expansão de furo
- ✓ Boa soldabilidade
- ✓ Dutilidade

□ USO DO Nb

Nb: 0,050 a 0,150%



FSV BEV Steel Types
as % of Body Structure Mass

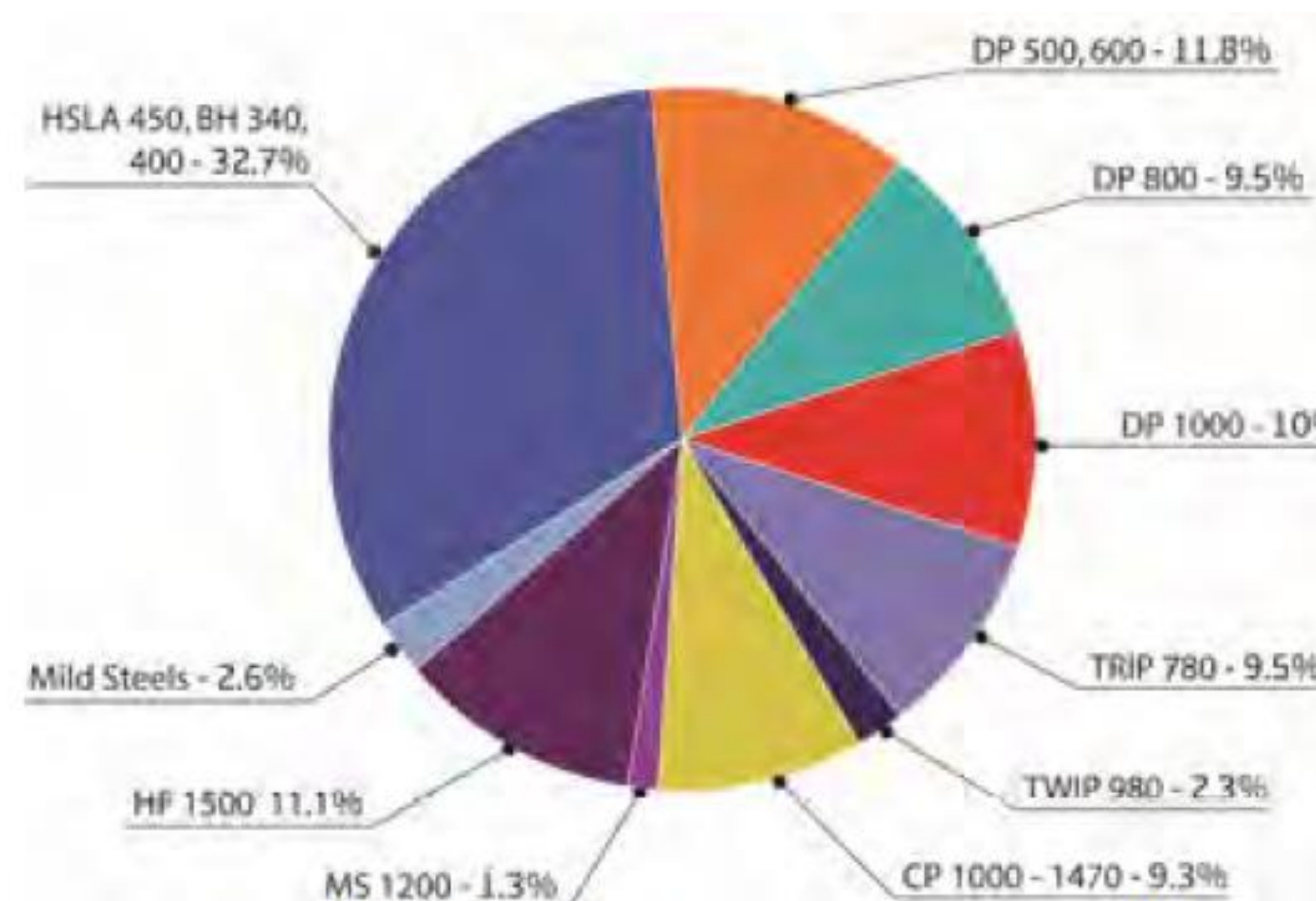


Figure 1.D-7: FutureSteelVehicle material usage.^{W-7}

RODOVIÁRIO

□ APLICAÇÃO

Chapas de alta resistência mecânica da classe LN500 a LN1000. Laminados a frio Complex Phase classe 800/900, HSLA 500/550; Dual Phase HE 600 a 1000.

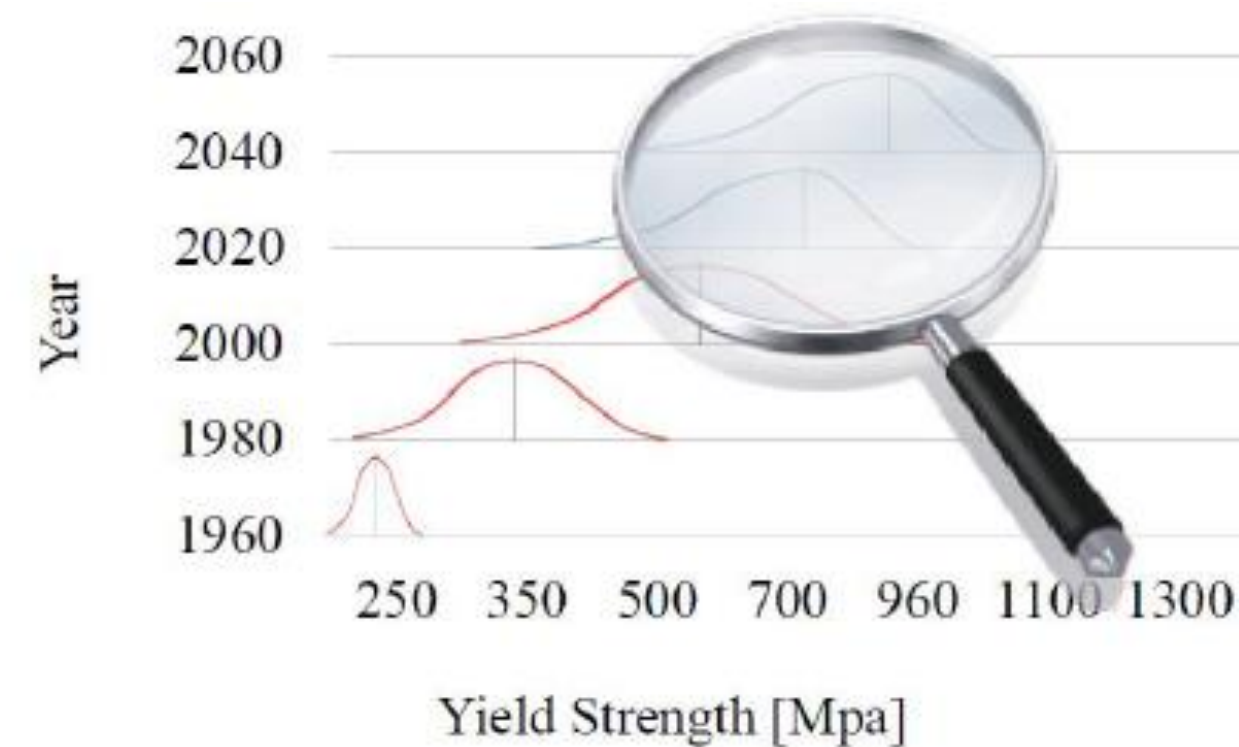
□ CARACTERÍSTICAS

Aços TMCR produzido em laminação a quente/a frio

- ✓ Alta resistência mecânica
- ✓ Elevada tenacidade a fratura
- ✓ Boa soldabilidade:
 - ✓ Baixo aporte de calor: possibilidade de eliminação do pré-aquecimento
 - ✓ Elevado aporte de calor: garantia de elevada tenacidade na ZAC.
- ✓ Resistência à fadiga

□ USO DO Nb

Nb: 0,025 a 0,080%



NAVAL E OFFSHORE

□ APLICAÇÃO

Chapas TMCP graus AH32~EH40. Produtos fornecidos, principalmente, para a construção de navios plataforma (FPSO), navios sonda, embarcações de apoio e jaquetas de plataforma fixa.

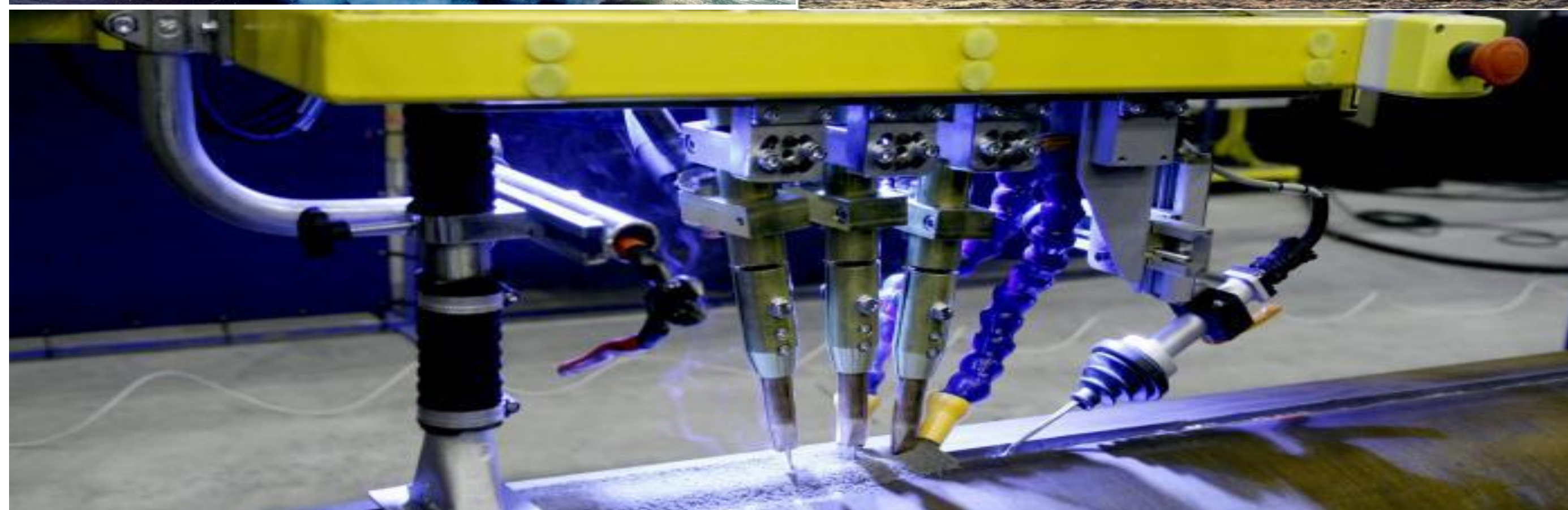
□ PRODUTOS CERTIFICADOS PELAS PRINCIPAIS CLASSIFICADORAS (ABS, BV, DNV, GL, KR, LR e NK):

Aços TMCP produzidos via Resfriamento Acelerado que combinam:

- ✓ Alta resistência mecânica
- ✓ Elevada tenacidade a fratura
- ✓ Boa soldabilidade:
 - ✓ Baixo aporte de calor: possibilidade de eliminação do pré-aquecimento
 - ✓ Elevado aporte de calor: garantia de elevada tenacidade na ZAC.
- ✓ Resistência mecânica na direção Z

□ USO DO Nb

Nb: 0,025 a 0,050%



ENERGIA EÓLICA E HÍDRICA

□ APLICAÇÃO

Aço S355M, S420M, S460M, WHS 500M

✓ Tramo metálico de torre eólica

Aços S420M, S460M e P355M

✓ Cubo do rotor do gerador (S420M)

✓ Conduto forçado e turbina (S460 e P355M)

□ CARACTERÍSTICAS

Aços produzidos via Resfriamento Acelerado que combinam:

- ✓ Alta resistência mecânica (redução de peso)
- ✓ Boa soldabilidade (soldagem com alto aporte)
- ✓ Elevada tenacidade a fratura
- ✓ Elevada espessura (hidroenergia)

□ USO DO Nb

Nb: 0,025 a 0,050%



MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

□ APLICAÇÃO

Aço WHS 500M, WHS700T, WHS 800T, WHS 1000T
Torres de perfuração, guindastes e máquinas
rodoviárias.

Aços Resistentes ao desgaste (400/450HBW)
✓ Caçambas e pás escavadeira

□ CARACTERÍSTICAS

Aços produzidos via Resfriamento Acelerado, com
Têmpera Direta:

- ✓ Alta resistência mecânica e dureza
- ✓ Boa soldabilidade (baixo carbono equivalente)
- ✓ Boa tenacidade à fratura
- ✓ Mais baixo custo de fabricação (comparativamente
à têmpera *offline*)

□ USO DO Nb

Nb: 0,035 a 0,050%



ÓLEO & GÁS

AÇO API X65/X70 SOUR SERVICE

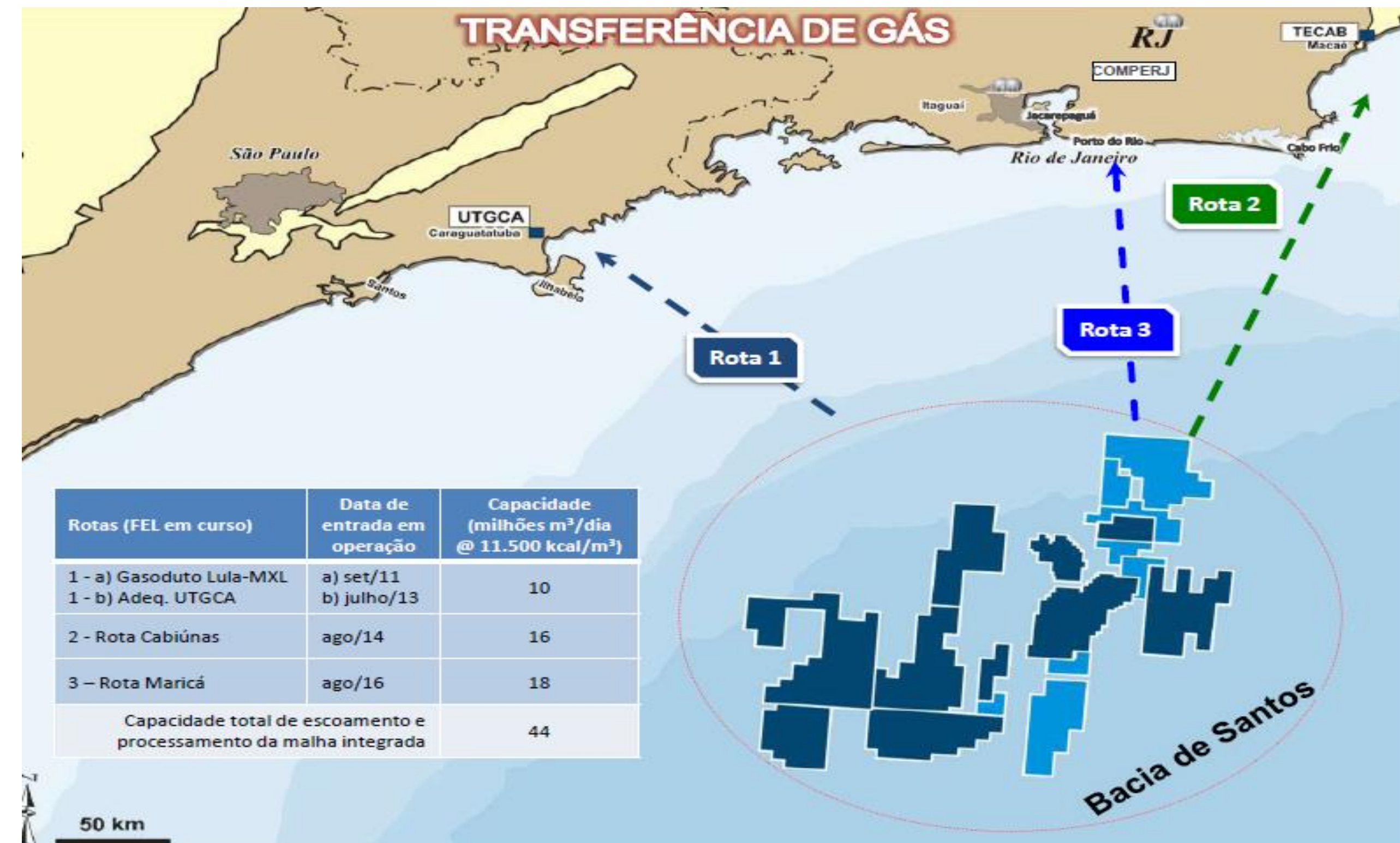
□ APLICAÇÃO

Tubos de grande diâmetro para aplicação em Ambiente Ácido, contendo H₂S. Atende às especificações dos projetos Rota 2 e Rota 3 – Gasodutos do Pré-sal

□ PRODUTO HOMOLOGADO PELA PETROBRAS

Aço de Alto Conteúdo Tecnológico, desenvolvido pela USIMINAS, em conjunto com PETROBRAS e TENARISCONFAB, produzido via Resfriamento Acelerado, que combina:

- ✓ Alta resistência mecânica
- ✓ Elevada tenacidade a fratura
- ✓ Boa soldabilidade
- ✓ Alta resistência a trincas induzidas pelo hidrogênio (HIC – *Hydrogen Induced Cracking*)
- ✓ Elevada espessura



□ USO DO Nb

Nb: 0,015 a 0,060%

PROTEÇÃO BALÍSTICA - BLINDAGEM

AÇO BALÍSTICO USIPROT 500

□ APLICAÇÃO

Produto desenvolvido para blindagem de veículos aplicação militar, de transporte de valores e proteção civil.

□ CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Aço temperado e revenido com propriedade balística que atende a norma MIL DTL-46100 E-Classe 1, homologado pelo Exército Brasileiro e BRTUV:

- ✓ Elevada Resistência ao Impacto Balístico
- ✓ Elevada Dureza – 500 HBW
- ✓ Boa Tenacidade à Fratura (-40°C)
- ✓ Boa Conformabilidade (dobramento)

□ USO DO Nb

Nb: 0,015 a 0,050%



Considerações Finais

- Seguindo a tendência dos mercados europeus, asiáticos e norte-americano, o mercado de aços de alta resistência no Brasil deverá representar cerca de 30% dos aços planos consumidos em até 5 anos, e 60% em até 10 anos;
- A indústria automotiva tem sido a principal consumidora de aços de alta resistência, que demanda um portfólio de produtos diversificado com uso de Nb na composição química;
- Há espaço para o incremento do Nb como solução de liga nos mercados de Óleo & Gás, bem como no Naval & Offshore, na medida que grandes projetos voltarem ao cenário nacional, com a utilização de chapas TMCP. Idem ao mercado eólico;
- Os custos do Nb para indústria siderúrgica são um dos fatores de tomada de decisão na escolha dos elementos proporcionadores de aumento da resistência mecânica;
- A siderurgia brasileira continuará sendo um grande consumidor do Nb, em função das tendências de consumo de aços de maior resistência mecânica e dos benefícios metalúrgicos associados aos outros elementos químicos.