



Labconf

Laboratório de Conformação Mecânica - UFPR



Aços para Estampagem

Prof. Paulo Marcondes, PhD.
DEMEC / UFPR

Classificação dos aços

Aços baixo carbono convencionais para estampagem (plain-carbon steels) NBR 5915

QC – qualidade comercial

EM – estampabilidade média

EP – estampabilidade profunda

EEP – estampabilidade extra-profunda

EEP - PC – estamp. extra-profunda de peças críticas

EEP - IF – estamp. extra-profunda com aço IF

PRODUTOS COMERCIALIZADOS PARA INDÚSTRIAS AUTOMOBILÍSTICA E DE AUTOPEÇAS



↓ Aços para operações de estampagem (NBR-5906) - Valores Típicos:

QUALIDADE	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% PESO)						PROPRIEDADES MECÂNICAS				
	C	Mn	Si	P	S	Al	LE (MPa)	LR (MPa)	LE/LR (%)	AL (%)	DOB.
EM	0,04	0,23	0,01	0,014	0,012	0,045	280	370	76	38	0E
EP							260	360	72	40	0E
EEP							250	350	71	40	0E

Aços para Estampagem

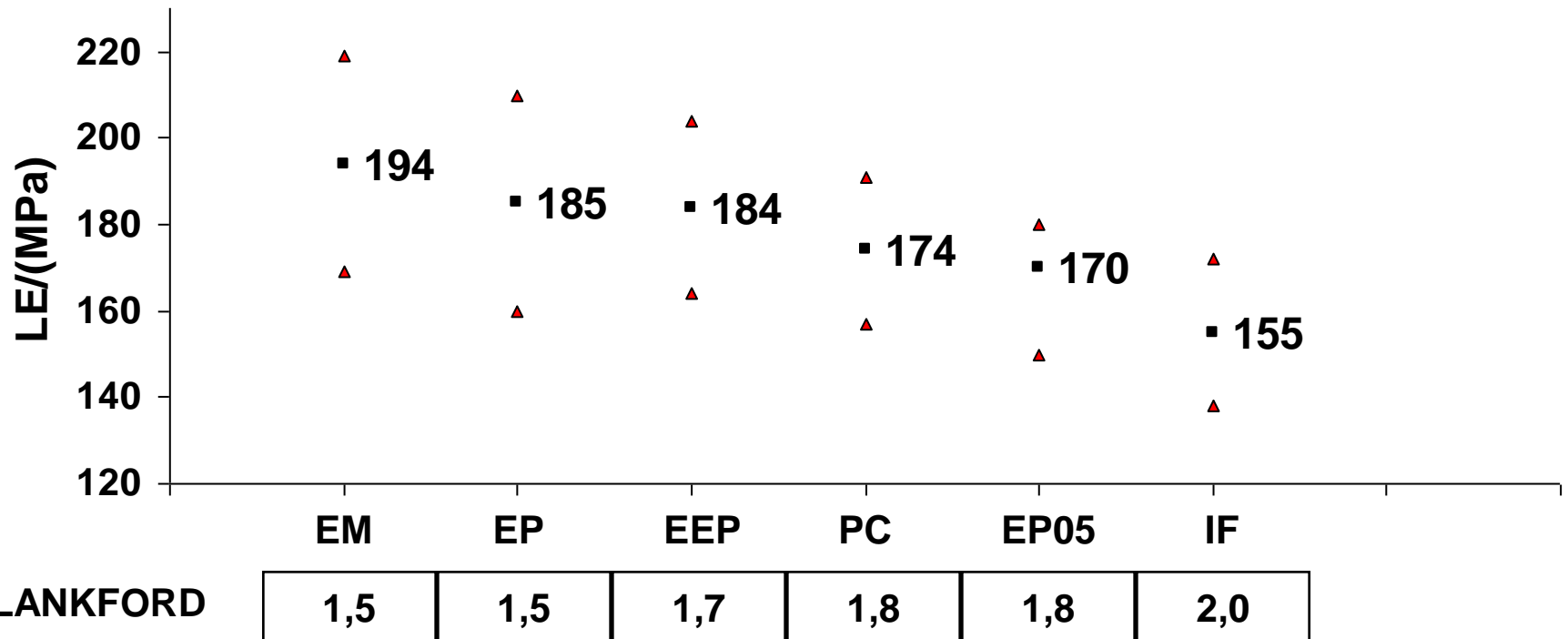
GRAU ESTAMPAGEM	NTU	NBR	DIN	EN
MÉDIA	USI-EM	NBR5915EM	ST-12	FeP01
PROFUNDA	USI-EP	NBR5915EP	ST-13	FeP03
EXTRA PROF.	USI-EEP	NBR5915EEP	-	FeP03
PEÇA CRÍTICA	USI-EEP-PC	-	ST-14	FeP04
PEÇA EXTRA CRÍTICA	-	-	-	FeP05
ULTRA CRÍTICA	USI-IF	-	ST-15	FeP06

Aços para Estampagem

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% EM PESO) - TÍPICO

GRAU	C	Mn	P	S	Al	Ti
EM	0,05	0,23	0,018	0,015	0,043	-
EP	0,05	0,23	0,017	0,015	0,043	-
EEP	0,04	0,23	0,016	0,015	0,044	-
PC	0,04	0,21	0,014	0,014	0,042	-
FEP05	0,005	0,20	0,010	0,008	0,045	-
IF	0,003	0,15-	0,013	0,007	0,030	0,065

Propriedades Mecânicas

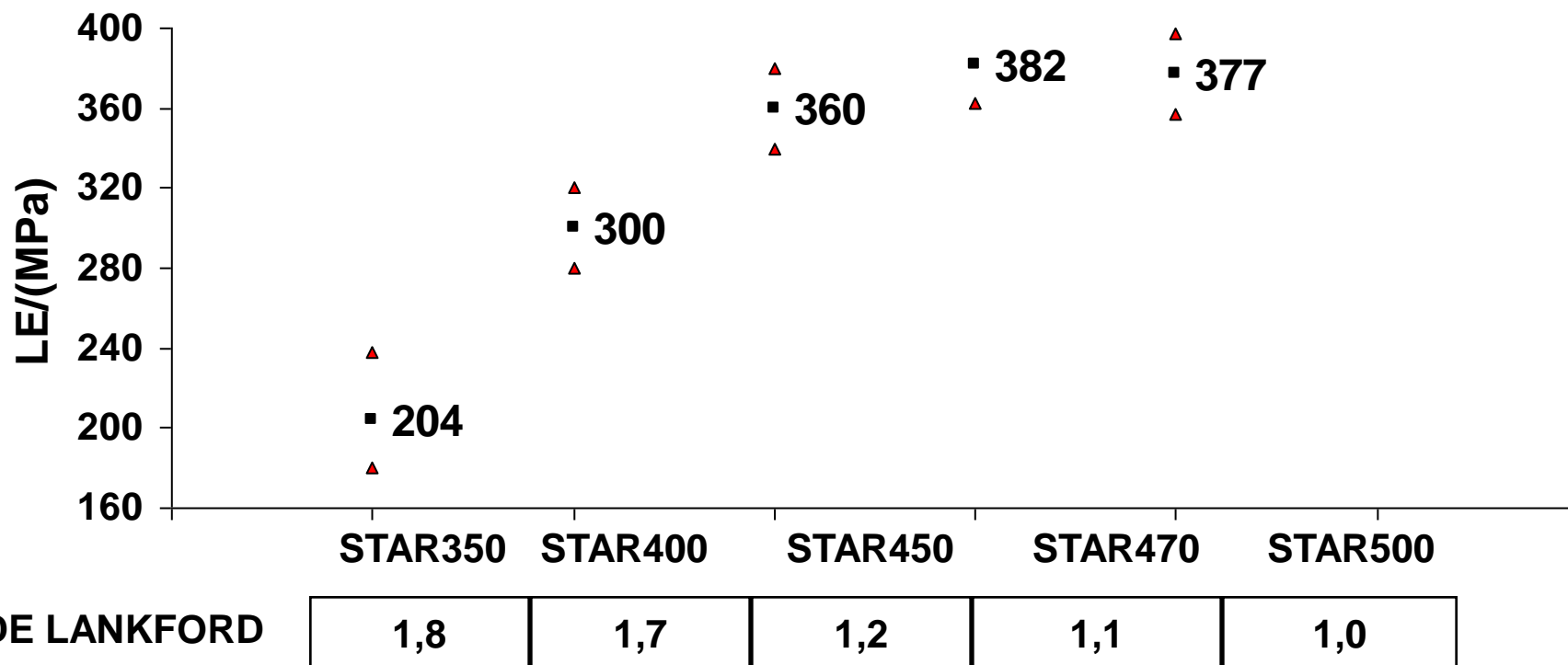


Aços Alta Resistência

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% EM PESO) - TÍPICO

GRAU USI-STAR	C	Mn	P	S	Al	Nb	Si
350	0,01	0,20	0,050	0,014	0,042	-	-
400	0,05	0,60	0,090	0,015	0,045	-	-
450/470	0,06	1,00	0,020	0,015	0,050	0,025	0,040
500	0,15	1,40	0,020	0,010	0,037	0,029	0,038

Propriedades Mecânicas



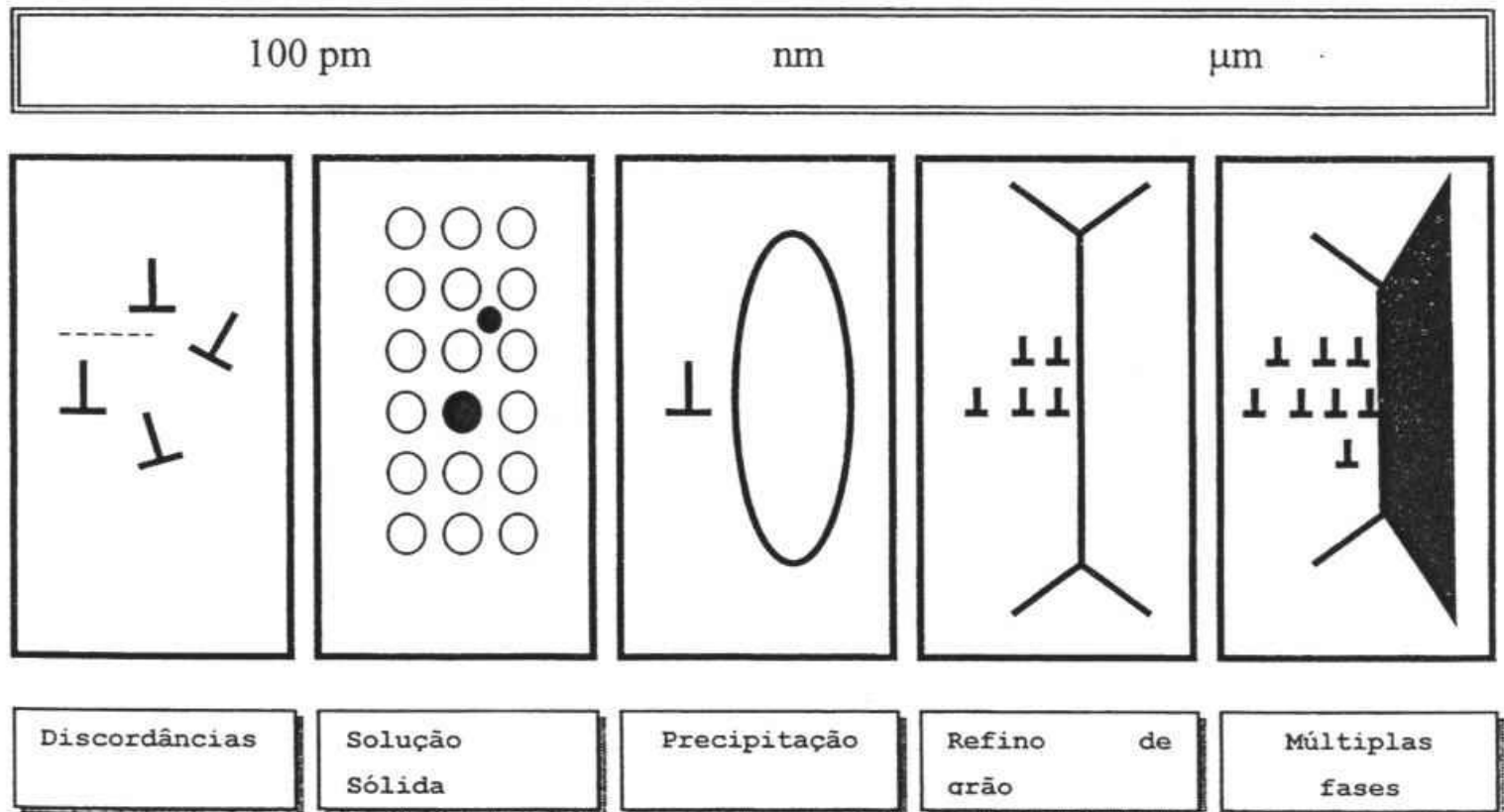
Mecanismos de resistência nos aços convencionais

Para os aços convencionais de estampagem, a microestrutura é composta basicamente por ferrita e perlita e presença de precipitações (carbonetos, nitretos, ...)

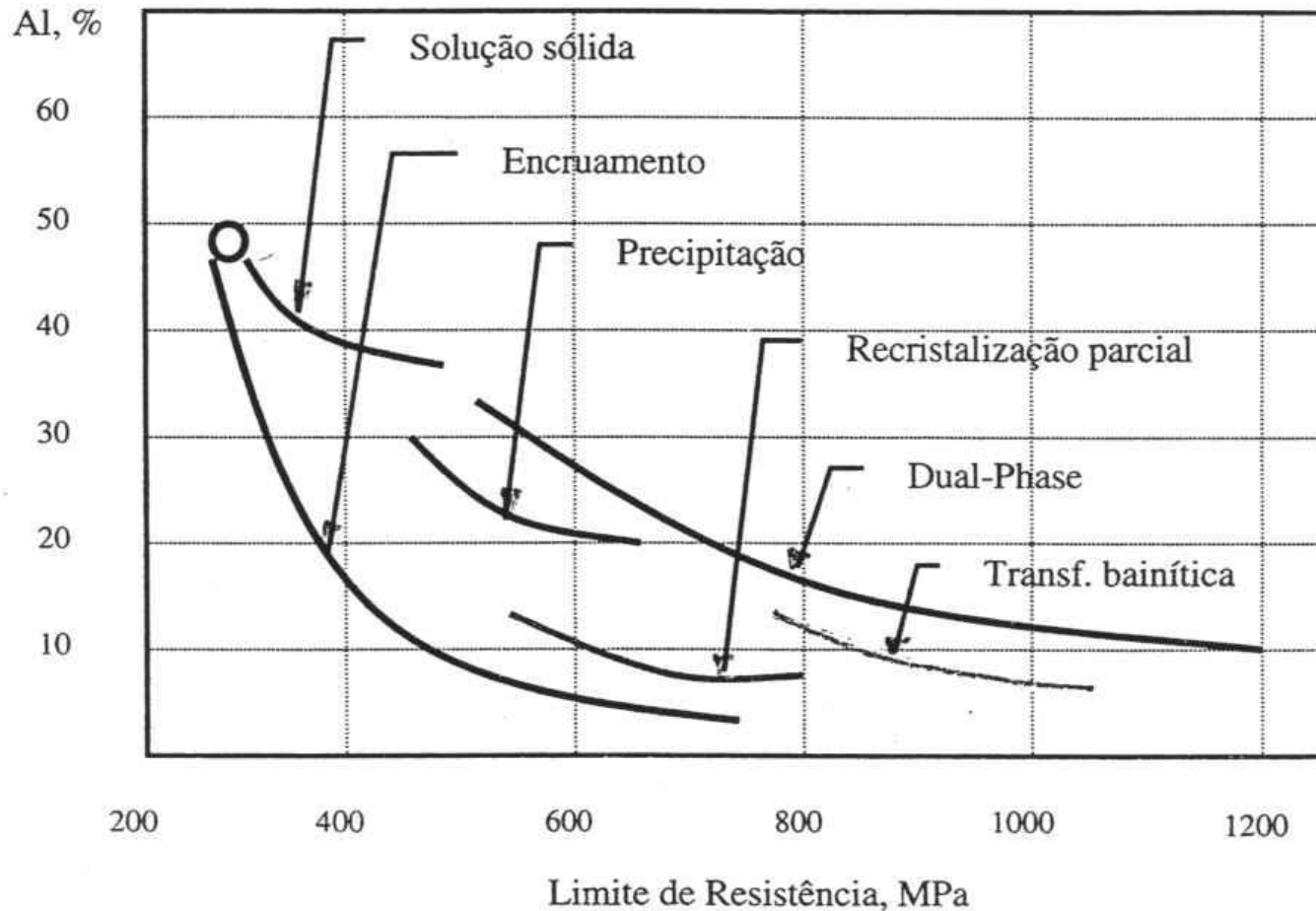
Mecanismos para aumentar a resistência mecânica:

- **Solução sólida;**
- **Encruamento (discordâncias);**
- **Precipitação;**
- **Transformação de fases e**
- **Tamanho de grão.**

Mecanismos de resistência nos aços convencionais



Representação esquemática dos diversos mecanismos de endurecimento dos materiais (escala relativa).



Alteração Deformação na ruptura (%) e limite de resistência (MPa) de chapas de aço laminadas a frio em função do mecanismo de endurecimento.

As partes de uma carroceria que necessitam aumento na segurança e alta performance são o alvo dos aços especiais de alta resistência. Atualmente as aplicações estão centradas nos aços:

⌘ HSS (High Strength Steel)

- ☒ HSLA (High strength low alloy) - microligado**
- ☒ BH (Bake-Hardening)**
- ☒ IF (Interticious Free)**

⌘ AHSS (Advanced High Strength Steel)

- ☒ DP (Dual Phase),**
- ☒ TRIP (Transformation Induced Plasticity),**
- ☒ CP (Complex Phase),**
- ☒ MS (Martensitic Phase).**

Aços para estampagem - Perspectivas futuras

Curvas de Resfriamento e Evolução das Microestruturas na Produção de AHSS

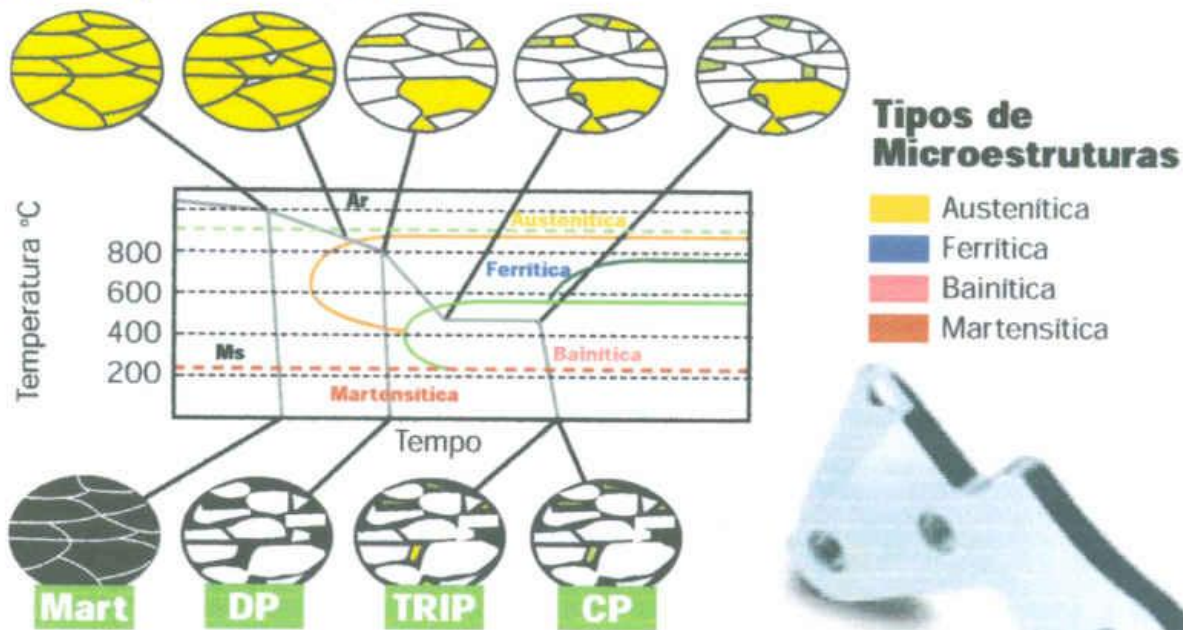
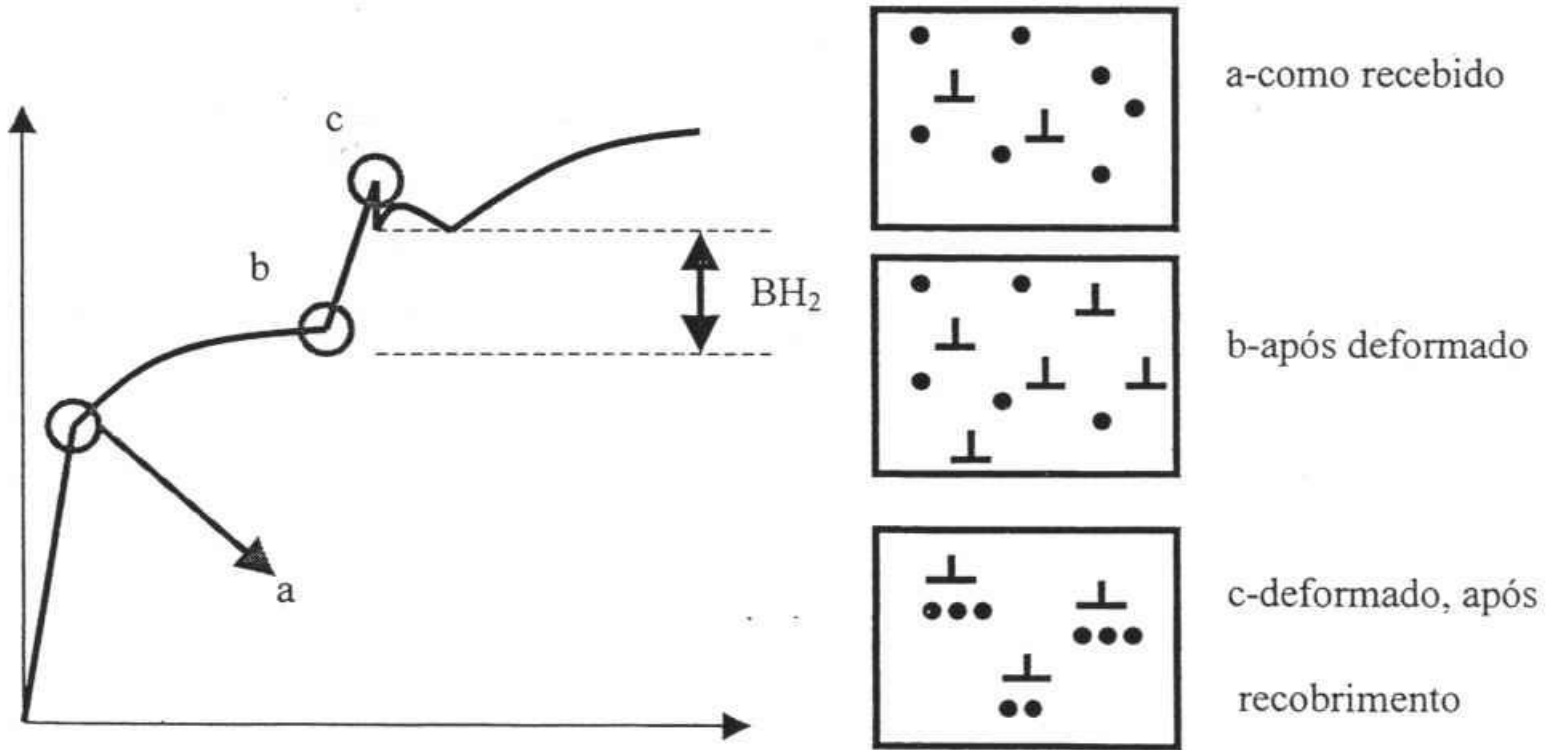


Figura C:

IF – livre de intersticiais

endurecidos por solução sólida (C e N)
20 ppm de carbono (0,002% C)

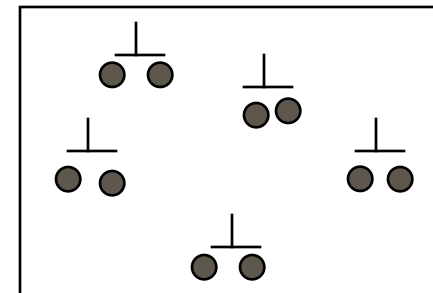
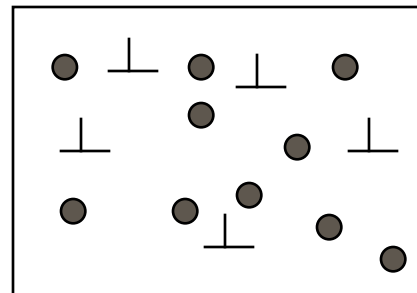
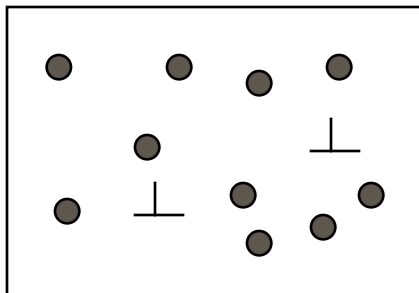
Efeito *bake-hardening*



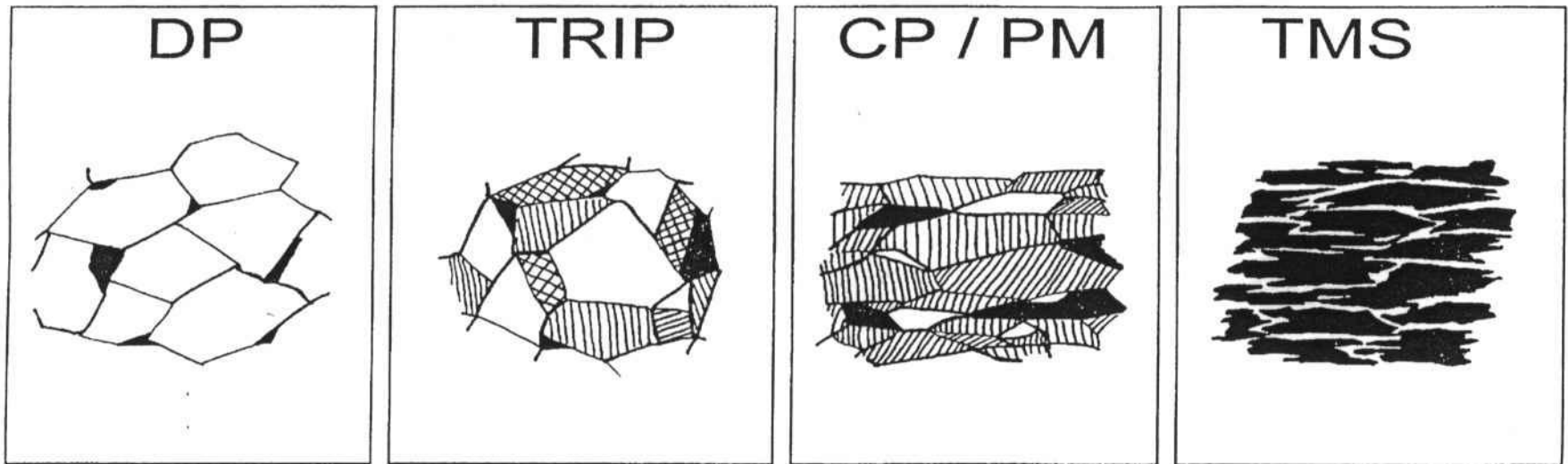
Esquema mostrando o efeito *bake-hardening*

Efeito bake- hardening

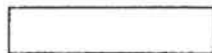
Durante o processo de secagem da pintura (170 oC), realizada após a conformação, os átomos intersticiais de carbono se difundem para as discordâncias, imobilizando-as e aumentando a tensão de escoamento (~ 40 MPa).



Novos aços para estampagem



Ferrit



Austenit



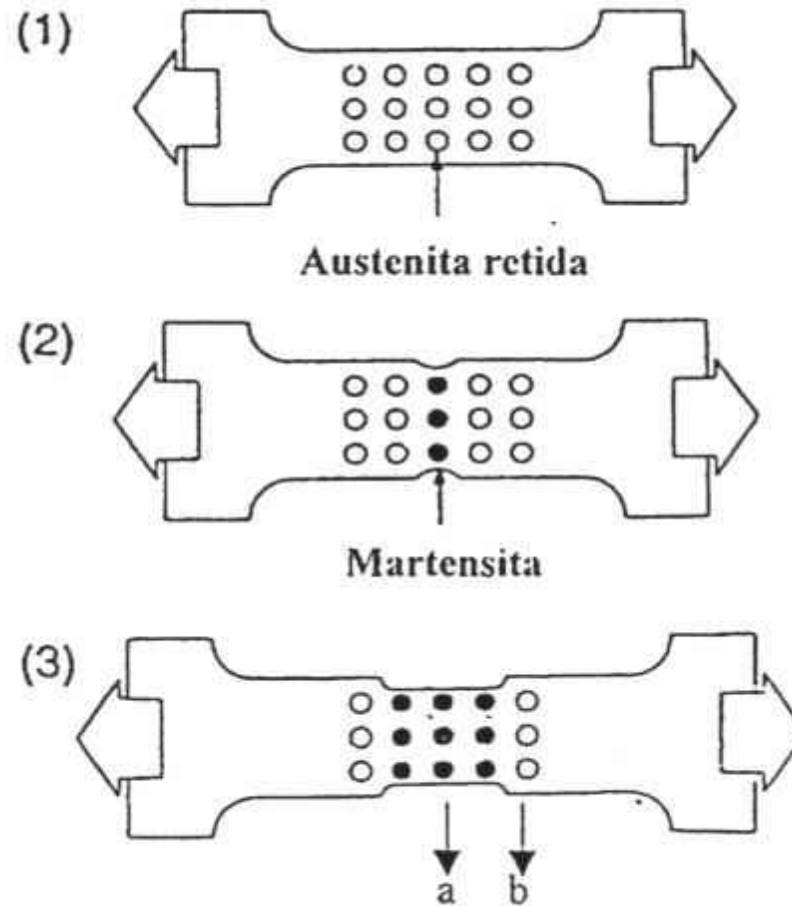
Bainit



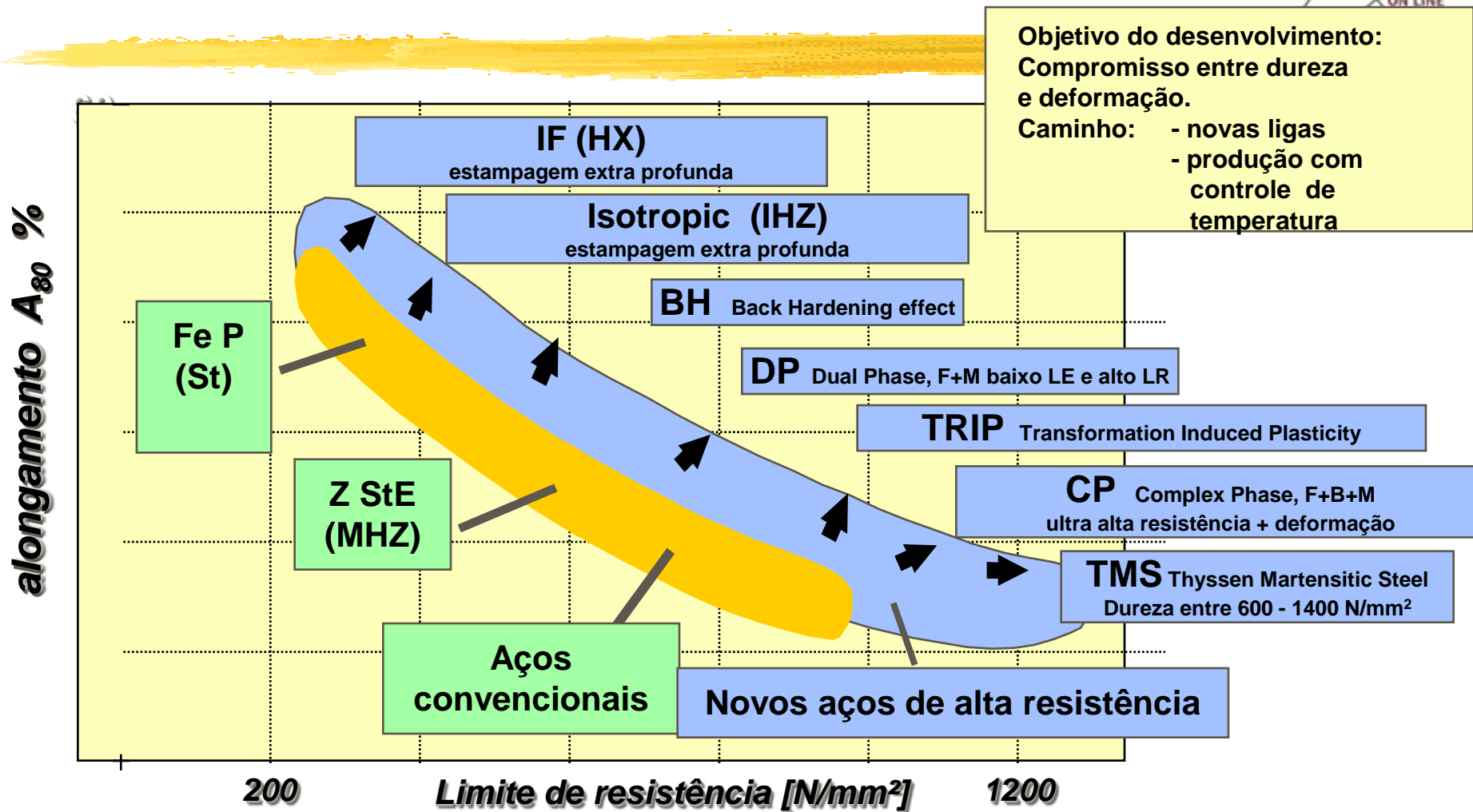
Martensit



Mecanismo de deformação dos aços TRIP



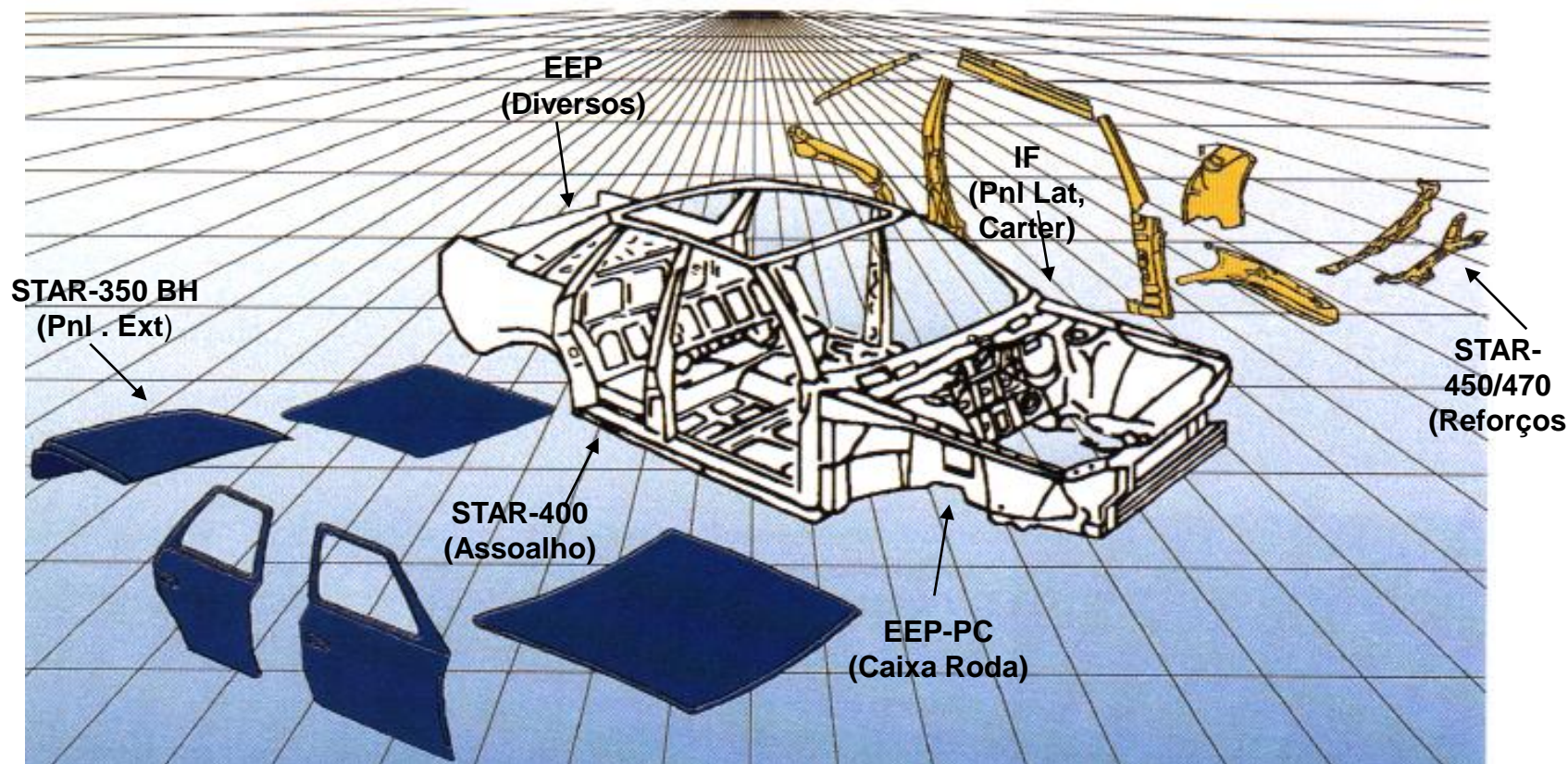
Novos Materiais para Construção de Carrocerias



St – tira a frio

ZStE – laminado a frio de fina granulação

Exemplos típicos de aplicação de aços



AÇOS BAKE HARDENED



ABORDAGEM METALÚRGICA

Aço refosforado com carbono em solução

EFEITO

durante o processo de secagem da pintura depois do processo de conformação, os átomos intersticiais de carbono se difundem para as discordâncias immobilizando-as, aumenta-se a tensão de escoamento

APLICAÇÕES

painéis expostos conformados levemente tais como, teto, capôs, portas e caixa de rodas

AÇOS MICROLIGADOS ISOTRÓPICOS



ABORDAGEM METALÚRGICA

**controle de precipitados para formar a textura de
recristalização desejada**

EFEITO

**minimiza a tendência ao orelhamento e variação de
espessura após a deformação**

APLICAÇÕES

partes expostas a luminosidade como capôs e portas

LIVRES DE INTERSTICIAIS DE ALTA RESISTÊNCIA IFHSS



ABORDAGEM METALÚRGICA

Aumento de resistência pela adição de P, Si ou Mn ao aço IF

EFEITO

Aço de alta resistência com alto valor de Lankford, i.e. boa conformabilidade; baixa taxa de escoamento/resistência; boa absorção de energia de impacto

EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

Partes internas: reforços e estruturas laterais.

Partes não expostas: assoalho, parte interna de capôs e portas.

Partes expostas: para-lamas e capôs.

AÇOS REFOSFORADOS



ABORDAGEM METALÚRGICA

Aumento de resistência em solução sólida pela adição de P

EFEITO

**Alta resistência com boa conformabilidade e
resistência ao amassamento**

APLICAÇÕES

Partes internas: estruturas, reforços

Partes expostas: capôs e teto

AÇOS DUPLA FASE DUAL PHASE STEEL



ABORDAGEM METALÚRGICA

fina dispersão de martensita e/ou fases de bainita numa matriz ferrítica mole

EFEITO

**excelente combinação de resistência e conformabilidade
alta taxa de endurecimento por deformação
excelente absorção de energia / efeito do alongamento**

APLICAÇÕES

Estruturas e reforços

**barra de impacto da porta, vigas do pára-choques
dianteiro e traseiro.**

AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA



ABORDAGEM METALÚRGICA

Aumento de resistência por carbono e magnésio em solução e Nb e/ou Ti precipitados

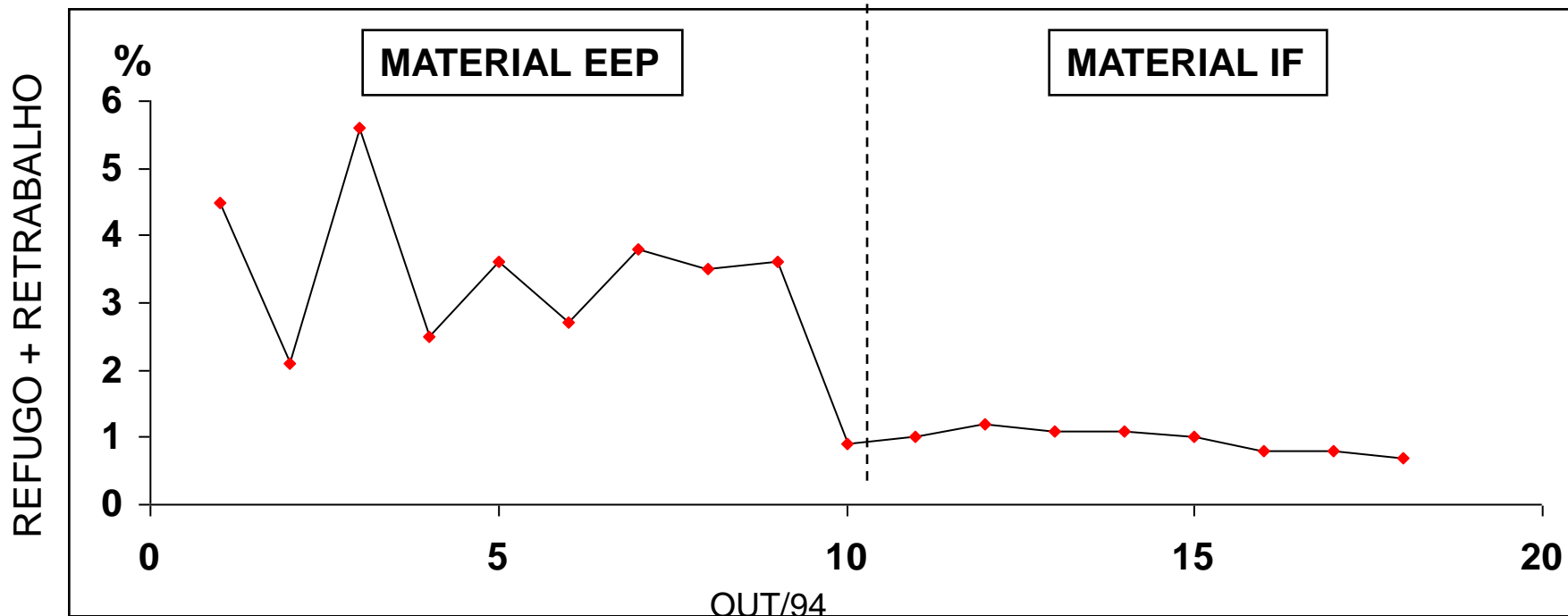
EFEITO

**Alto limite de resistência
conformabilidade limitada
boa soldabilidade**

EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

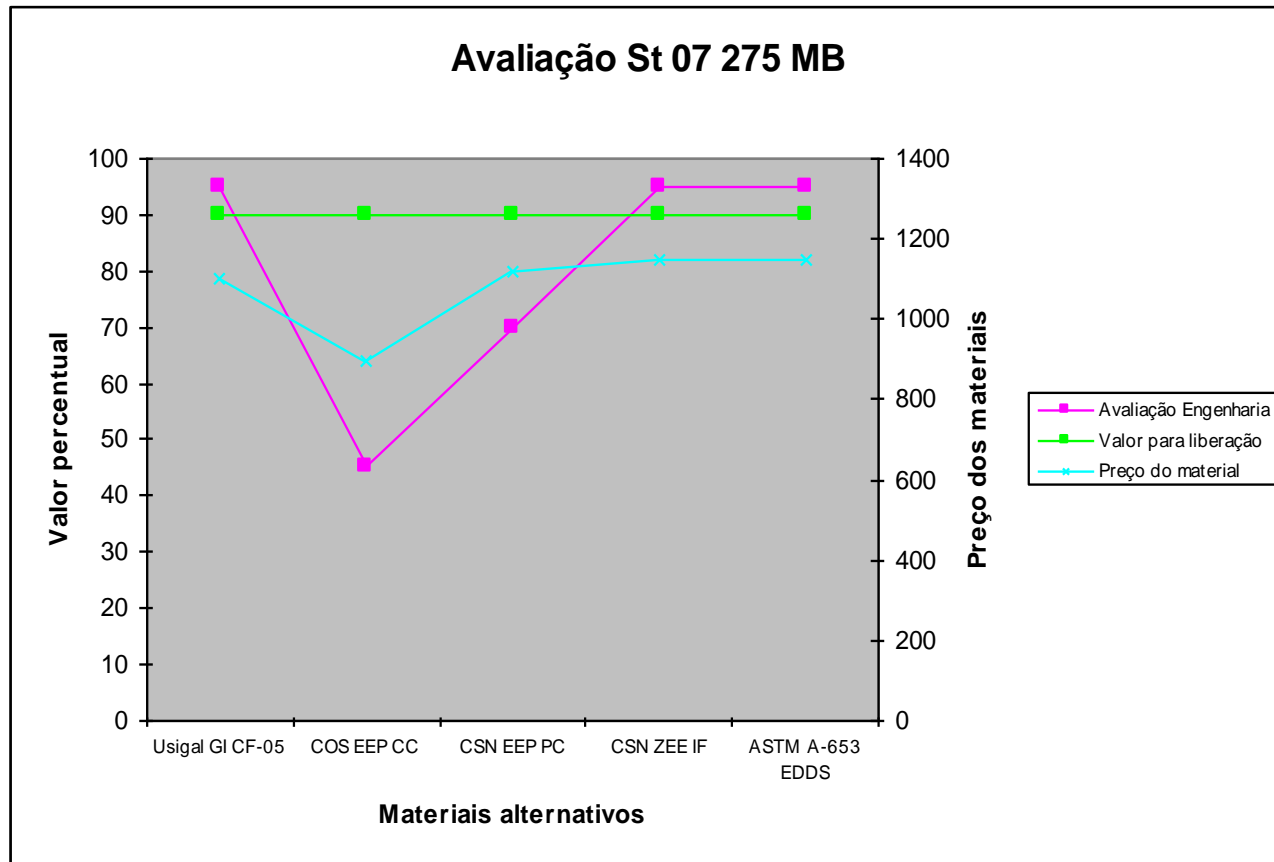
**partes levemente conformadas
partes internas: estruturas, reforços**

Resultados Aplicação Interstitial Free



◆ PAINEL LATERAL EXTERNO

Estudo de Caso - Projeto Nacionalização de Aços



Equivalências de Normas



Norma européia	EUA (ASTM)	JAPÃO (JFS/JIS)
Produtos planos laminados a quente		JFS A1001-98
Aços para estampagem e conformação a frio		
EN 10111-95	ASTM A1011-01	JIS G3131-96
DD11	CS Tipo B	SPHD
DD12		
DD13	DS Tipo B	SPHE
DD14		

Aços com alto limite de elasticidade para conformação a frio

EN 10149/2-95	ASTM A1011-01	JIS G3134-90
S315MC	HSLAS Graduação 45 Classe 2	SPFH 490
S355MC	HSLAS-F Graduação 50 Classe 2	SPFH 540
S420MC	HSLAS-F Graduação 60 Classe 2	SPFH 590
S460MC	HSLAS Graduação 65 Classe 2	
S500MC	HSLAS-F Graduação 70 Classe 2	
S550MC	HSLAS-F Graduação 80 Classe 2	
S600MC		
S650MC		
S700MC	A514	

Aços doces não revestidos para estampagem

Aços estampáveis

EN 10130-98	ASTM A1008-01	JIS G3141-96
DC01	CS	SPCC
DC03	DS	SPCD
DC04	DDS	SPCE
DC05		
DC06	EDDS	

Equivalências de Normas



Aços laminados a frio revestidos de zinco por via eletrolítica (ZE)

		JFS A 3021-98
EN 10152-94	ASTM A879-00	JIS G3313-90
DC01+ZE	CS	SPCC
DC03+ZE	DS	SPCD
DC04+ZE	DDS	SPCE
DC05+ZE		
DC06+ZE	EDDS	

Aços doces galvanizados a quente em contínuo para conformação a frio

		JFS A 3011-98
EN 10142-00 - EN 10292-99	ASTM A653-01	JIS G3302-87
DX51D+Z	CS	SGCC
DX52D+Z	FS	SGCD1
DX53D+Z	DDS	SGCD2
DX54D+Z		SGCD3
DX56D+Z	EDDS	
DX51D+ZF	CS	SGCC
DX52D+ZF	FS	SGCD1
DX53D+ZF	DDS	SGCD2
DX54D+ZF		SGCD3
DX56D+ZF	EDDS	

Equivalências de Normas



Aços revestidos a quente em contínuo de liga zinco-alumínio (ZA)

EN 10214-95 - EN 10292-99	ASTM A875-01	JIS G3317
DX51D+ZA	CS	SZACC
DX52D+ZA	FS	SZACD1
DX53D+ZA	DDS	SZACD2
DX54D+ZA	EDDS	SZACD3

Aços revestidos a quente em contínuo de liga alumínio-silício (AS)

EN 10154-96	ASTM A463-01	JIS G3314-77
DX51D+AS	CS	SA 1 C
DX52D+AS	FS	SA 1 C
DX53D+AS	DDS	SA 1 D
DX54D+AS		SA 1 E
DX55D+AS		
DX56D+AS	EDDS	

REVESTIMENTOS DE AÇOS LAMINADOS A FRIO PARA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA



REVESTIMENTOS ALCANÇADOS	
ELETROGALVANIZADOS	GALVANIZADOS A QUENTE
ZINCO	ZINCO
	ZINCO-LIGA DE FERRO
TRATAMENTO SUPERFICIAL	
FOSFATIZADO	TRATAMENTO QUÍMICO

Vantagens da Galvanização



ZINCAGEM

*Resistência
à
Corrosão*

*Facilidade de ligação
metalúrgica do Zn ao
aço base.*

*Camada de Proteção
Revestimento de Zinco*

*Proteção por barreira
(filme aderente de carbonato)*

*Proteção catódica
 $Zn \rightarrow$ Ânodo do par
Aço/Zinco*

Zincagem Eletrolítica x Zincagem por Imersão à Quente



Eletrolítica

1 - Princípio:

*Aplicação do revestimento metálico
Corrente elétrica contínua*

2 - Natureza do Revestimento

Camada de Zinco puro sobre o substrato

3- Maior Custo

4- Revestimento

Maior controle e possibilidade de produção de revestimentos mais finos

5- Pode se revestir apenas 1 face

Imersão à quente

1 - Princípio:

*Imersão do Substrato
Banho metálico fundido*

2 - Natureza do Revestimento

Camada de liga + Camada de zinco puro.

3- Menor Custo

5- Revestimento

Difícil controle da espessura e uniformidade do revestimento superiores a 50g/m²

5- Não se consegue revestir apenas 1 face

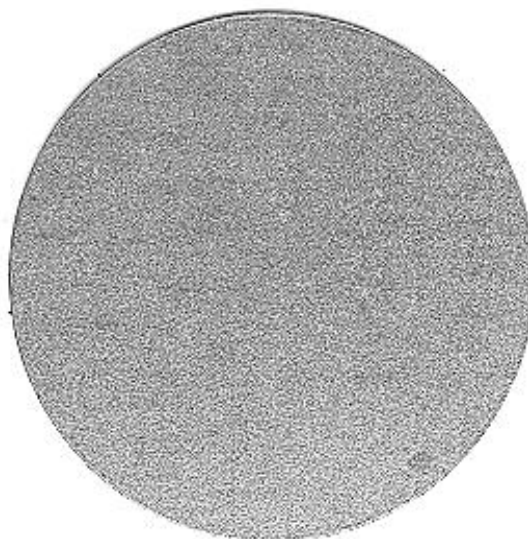
CARACTERÍSTICAS DAS CHAPAS ZINCADAS

- *Aspecto Superficial:*

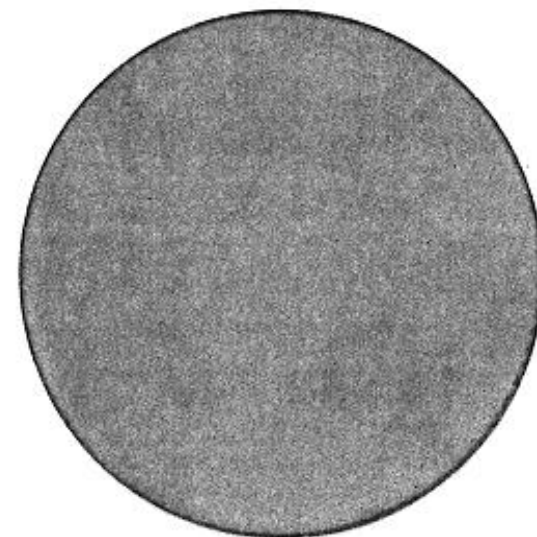
**CHAPA ZINCADA
CRISTAIS NORMAIS**



**CHAPA ZINCADA
CRISTAIS MINIMIZADOS**



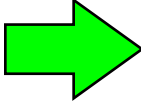
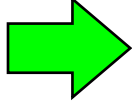
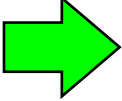
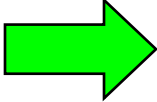
GALVANEW-CSN



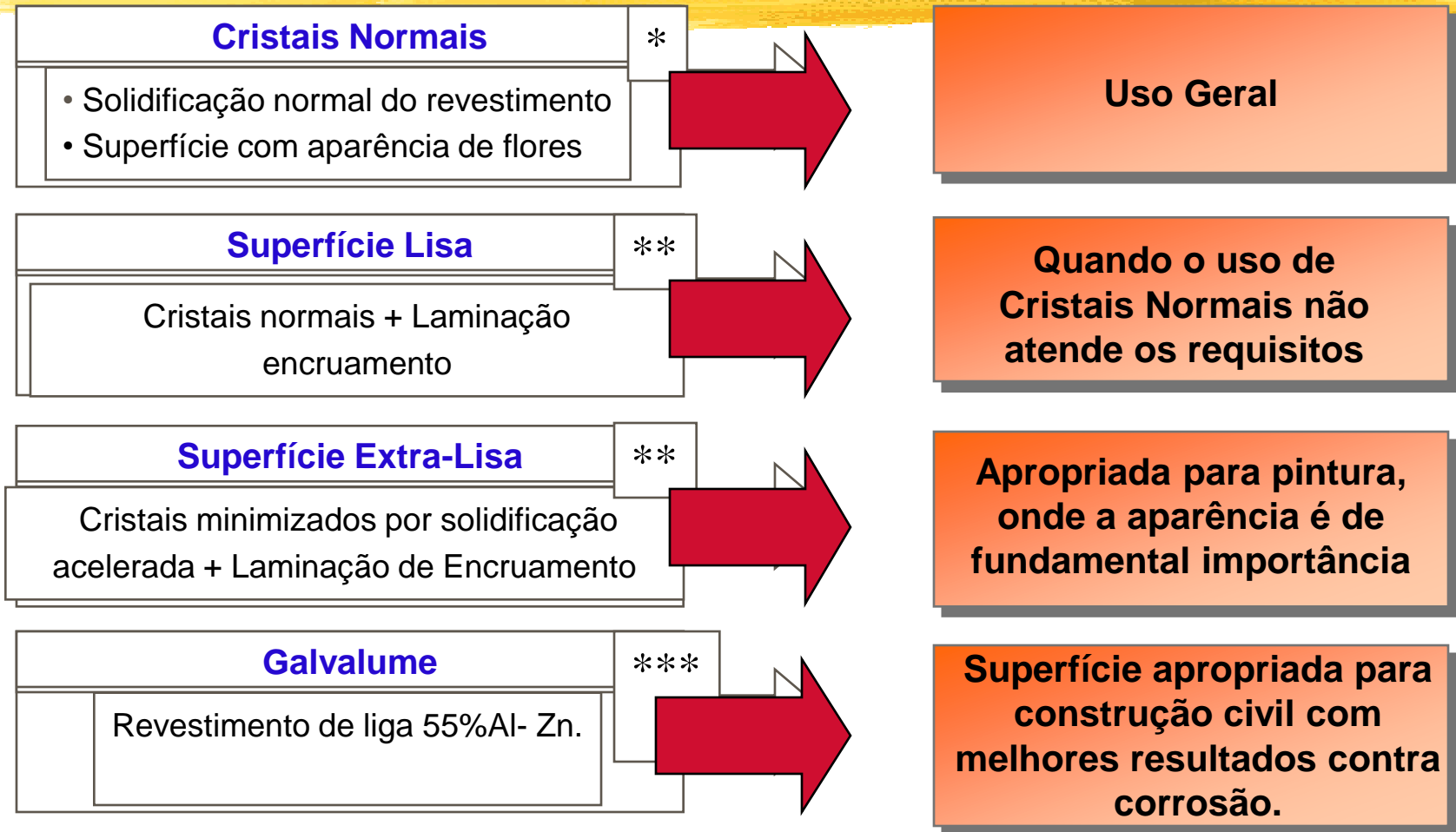
Características das Chapas Zincadas



• PROTEÇÃO SUPERFICIAL

- 1 - **TRATAMENTO QUÍMICO**  Formação de um filme de passivação (filme de cromato) na superfície das CZ's. Mais usados para cristais normais.
- 2 - **OLEAMENTO**  Formação de um filme de óleo (óleo protetivo). Mais usado para cristais minimizados.
- 3 - **TRATAMENTO QUÍMICO + OLEAMENTO**  Quando o material requer maior proteção (região de elevada umidade relativa do ar).
- 4 - **RESINADO**  Aplicação de revestimento de resina acrílica que contribui para a resistência a corrosão e auxilia nos processos de conformação. É aplicado princip. ao Galvalume.



Acabamentos de Superfície e suas Aplicações



Proteção de Superfície: {
* Com oleamento e/ou Trat. Químico
** Com oleamento
*** Com oleamento ou resina

Características e Aplicações



	Grau	Característica	Aplicação
Comercial	ZC	Conformabilidade Básica	Uso Plano Dobramento Conformação
	ZE	Estampabilidade Boa  Excelente	Estampagem Simples Dobramento Estampagem Profunda
ZEE	Estampagem Extra Profunda		
ZEE-PC	Estampagem de Peça Crítica		
ZEE-IF			
Estrutural	ZAR 230		Resistência Mecânica  - +
	ZAR 250	Corrugação	
	ZAR 280		
	ZAR 345		
	ZAR 400		
	ZAR 550		