

# UM SÓ AÇO – DIVERSAS APLICAÇÕES<sup>1</sup>

Michael Hellmann<sup>2</sup>  
André Sereno<sup>3</sup>

## Resumo

Propriedades mecânicas e tecnológicas de um determinado componente podem ser descritas através das operações de conformação e das tensões envolvidas. Além dessas características devem ser avaliadas questões tribológicas, capacidade de junção (ex.: boa soldabilidade), bom comportamento ao desgaste entre outros. O presente trabalho inicia a análise a partir de uma única qualidade de aço – no caso o aço NBR6662 1075 - e como esta qualidade pode produzir diferentes características quando a moderna tecnologia é aplicada. Uma vasta gama de possibilidades, desde aço para conformação severa até aços de altíssima resistência, tenacidade e resiliência.

**Palavras-chave:** Aço C75S; Aço mola; Propriedades mecânicas

## ONE STEEL GRADE – VARIOUS APPLICATIONS

## Abstract

Mechanical and technological properties of a particular component are described through the forming operations and the tensions involved. In addition to these features should be evaluated tribological issues, ability to join (e.g., good weldability), good wear behavior among others. This paper starts from the analysis of a single grade of steel - the steel in the case NBR6662 1075 - and how this quality can produce different characteristics when modern technology is applied. A wide range of possibilities, from steel to severe forming operations until high strength steels, toughness and resilience.

**Keywords:** C75S steel; spring steel; Mechanical properties

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 49º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 22 a 25 de outubro de 2012, Vila Velha, ES, Brasil.

<sup>2</sup> Doutor em Metalurgia – CD Wälzholz – [mhellmann@cdw.de](mailto:mhellmann@cdw.de)

<sup>3</sup> Mestre em Metalurgia – Brasmetal Waelzholz – [asereno@brasmetal.com.br](mailto:asereno@brasmetal.com.br)

## 1 INTRODUÇÃO



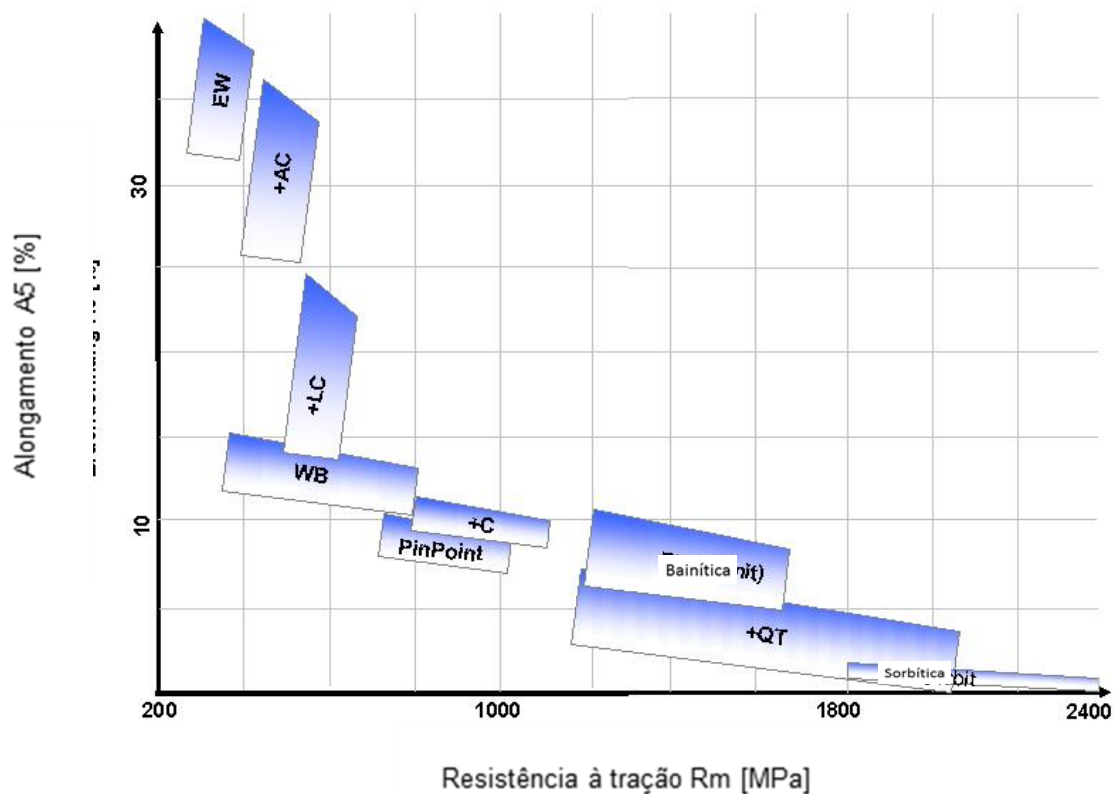
Ao se projetar um componente é desenvolvido um perfil de requisitos tecnológicos fundamentados na aplicação, e são considerados diversos tipos de materiais potenciais. As propriedades mecânicas e tecnológicas necessárias são determinadas pelas operações de conformação, bem como os requisitos de tensões na aplicação do componente. Além disso, existem também requisitos relativos à tribologia, a técnica de junção (por exemplo a soldabilidade), a resistência ao desgaste, bem como a homogeneidade dos demais parâmetros tecnológicos.

O presente trabalho analisa a partir de uma única qualidade de aço – no caso o aço NBR6662 1075<sup>(1)</sup> - como esta produz diferentes características quando a modernas técnicas metalúrgicas são aplicadas. Uma vasta gama de possibilidades, desde aço para conformação severa até aços de altíssima resistência, tenacidade e resiliência. O original deste trabalho foi escrito em alemão e correlacionou o aço C75S conforme norma europeia (EN). Para alguns dos graus aqui citados não há uma norma nacional brasileira equivalente. Para estes casos foi mantida a especificação de grau original.

## **2 O AÇO MOLA NÃO LIGADO**

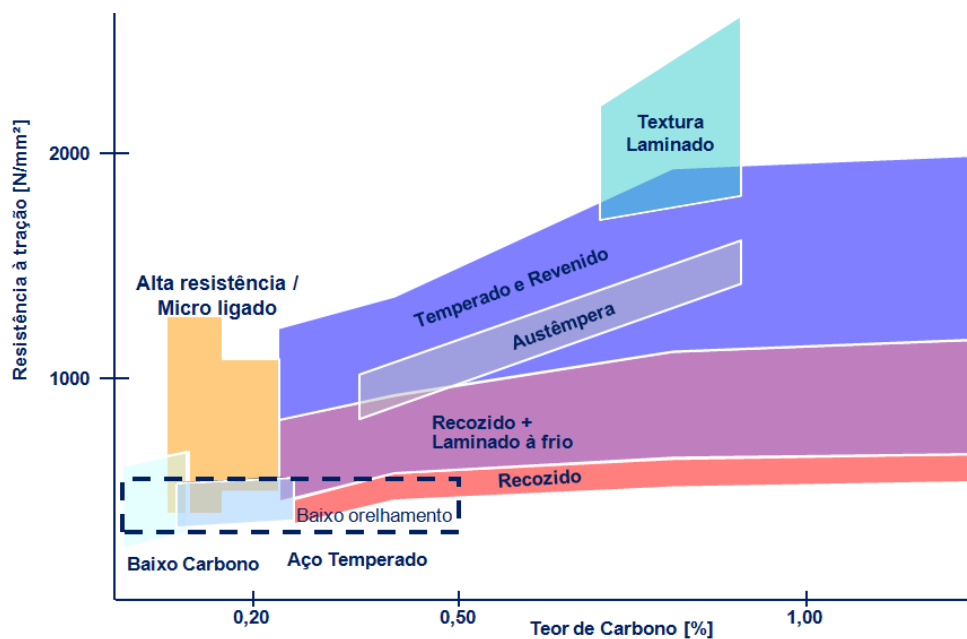
Materiais de aço inovadores são usados em muitas aplicações e desenvolvimentos, por exemplo, na indústria automotiva, devido às suas vantagens técnicas e econômicas. De tiras de aço relaminado, eles são usados em componentes automotivos novos ou avançados, como em tecnologia de propulsão ou controle de motor, em assentos ou sistemas de segurança. Os fornecedores de tiras de aço relaminadas desenvolvem em estreita cooperação com a indústria automobilística, materiais customizados. Além dos aços conformáveis dúcteis recozidos, que têm suas propriedades tecnológicas finais derivadas de um tratamento térmico correspondente, existem para a mesma composição química aços já encruados ou tiras de aço tratado termicamente com uma conformabilidade notável. Isto produz para o usuário uma ampla gama de aplicações na área de aços de alta e altíssima resistência.

Distinções dos tipos de aço, são apresentadas normalmente na forma de um diagrama chamado “gráfico de conformabilidade”. Neste trabalho, uma figura similar é apresentada, no entanto apenas para um tipo de aço (Figura 1). A dependência de ductilidade e alongamento em relação à resistência à tração mostram dependências típicas para as tiras de aço.



**Figura 1:** Diagrama de relação de alongamento e resistência à tração de diversos graus do aço 1075.

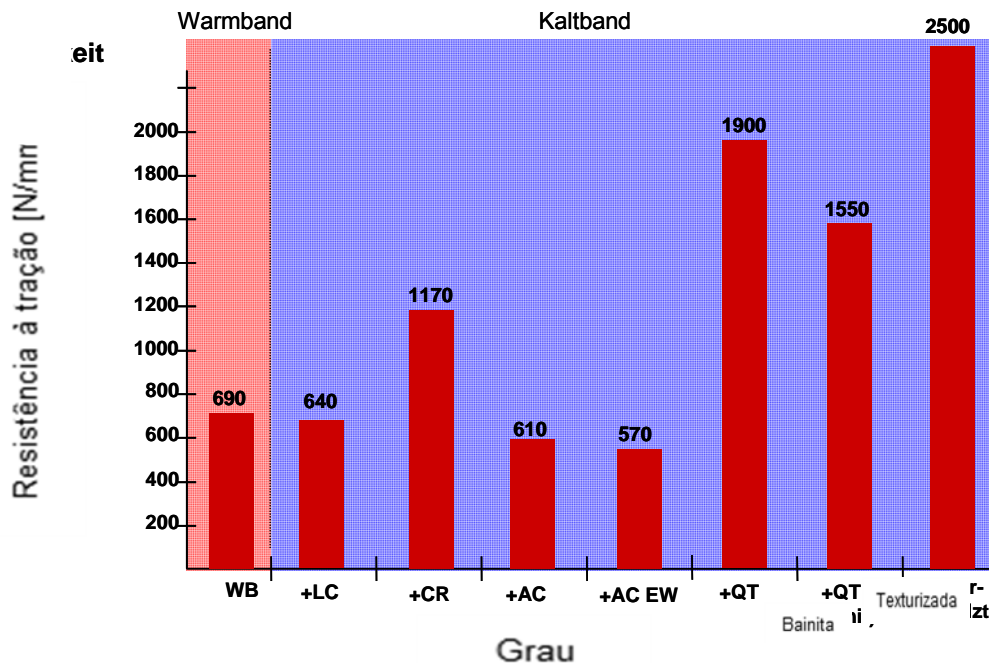
Ao se determinar o teor de carbono como o principal elemento de liga, pode se então esquematizar os graus de aços conforme Figura 2.



**Figura 2:** Faixa de materiais em função do teor de carbono e limite de resistência a tração.

Na área em destaque da Figura 2 podem ser visto, com teor de carbono entre 0,60% e 0,90%, diversos possíveis graus, que se diferenciam basicamente nos campos de

aplicação e usos finais. Outra representação de propriedades mecânicas de um único grau de aço é mostrado na Figura 3. Nota-se para cada grau do aço 1075 as diferentes faixas de limite de resistência à tração e com isso os possíveis diferentes campos de aplicação. Os graus destes aços serão discutidos individualmente a seguir.

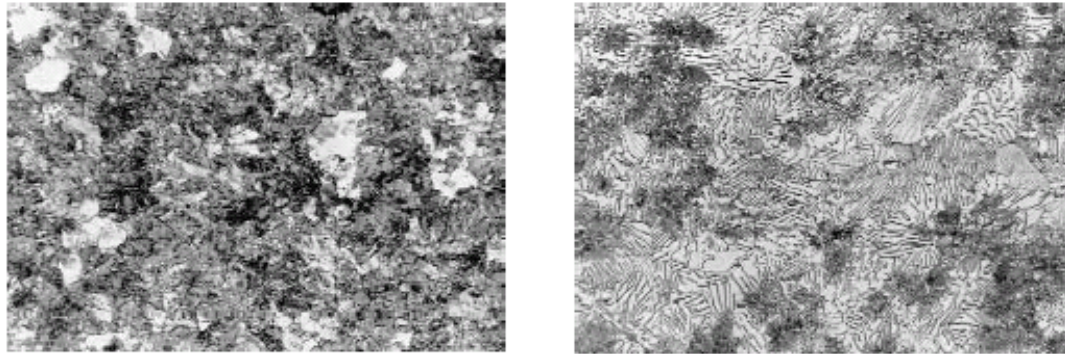


**Figura 3:** Níveis de limites de resistência à tração para o aço 1075 em seus diversos graus.

## 2.1 Laminado à Quente

No primeiro estágio de processamento após o lingotamento contínuo da placa é produzido o aço laminado a quente, que pode servir para um posterior processo de relaminação ou ser processado diretamente.

O presente trabalho cita principalmente aços de acordo com as normas DIN EN 10083<sup>(2)</sup> e DIN EN 10084.<sup>(3)</sup> Para a relaminação de aços para molas, uma estrutura predominantemente sorbítica mostra-se favorável. Por exemplo, a qualidade de aço relaminado 1075, dependendo do tipo do laminador, pode ser reduzida em até 60% na espessura. Aços, fornecidos com uma estrutura predominantemente sorbítica oferecem vantagens no processo de têmpera e revenimento: tempos e temperaturas de austenitização mais baixos, propriedades mais uniformes. Para a produção de aço coalescido e relaminado (CO RL), com baixo limite de escoamento e limite de resistência à tração, pode ser indicado o uso de laminado à quente com microestrutura parcialmente sorbítica. Para o processamento de tiras à quente diretamente, pode-se usar a condição de tratado termicamente, principalmente ao se tratar de corte fino. Portanto, para o processamento de laminados à quente com alto teor de carbono para corte fino, faz-se necessário um recozimento para o coalescimento da cementita. Para o processo de relaminação é mais adequado utilizar-se de uma microestrutura sorbítica fina e uma microestrutura perlítica grossa.



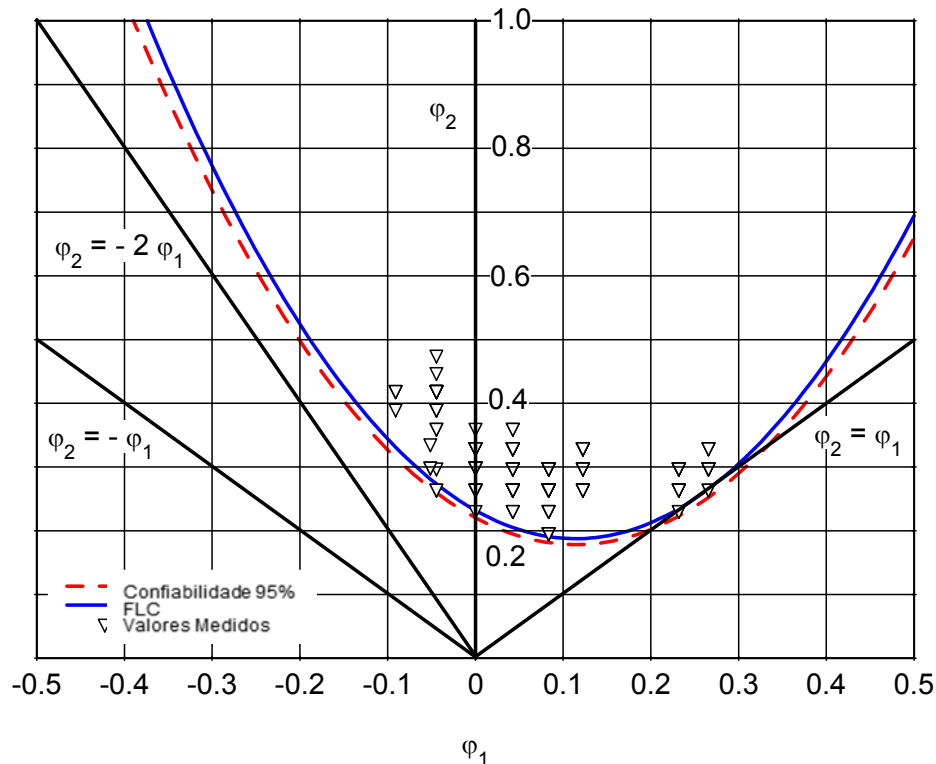
**Figura 4:** à esquerda microestrutura sorbítica fina e à direita microestrutura perlita grossa com temperatura de bobinamento 700°C.

## 2.2 Coalescido e Relaminado

Na versão "coalescido e relaminado", o material é fornecido como recozido para coalescimento com temperatura entre 600°C e 700°C e levemente encruado. Com uma redução definida, porém pequena, em torno de 1%, define-se a rugosidade de superfície, a planicidade das tiras e a relação limite de escoamento sobre limite de resistência a tração, também conhecida como razão elástica.

A boa conformabilidade pode por exemplo, ser visualizada através da curva limite de conformação, CLC. Esta possibilita demonstrar ou confirmar os limites de conformação de um material em tiras ou chapas e serve portanto para o julgamento de quão esta é aplicável para o processo de conformação. A CLC encontra aplicação na definição do processo de conformação, na concepção da ferramenta de estampagem ou no aperfeiçoamento de processos e geometrias de peças. A distância entre a deformação medida em uma peça conhecida e a CLC é uma medida de segurança ou certeza no processo de conformação de componentes. Com ajuda das deformações no componente final e a comparação com a CLC segue um julgamento seguro do processo de conformação. Outra área de aplicação da CLC esta na simulação numérica de processos de conformação. A Figura 5 ilustra uma CLC para o aço 1075 na espessura de 2 mm.



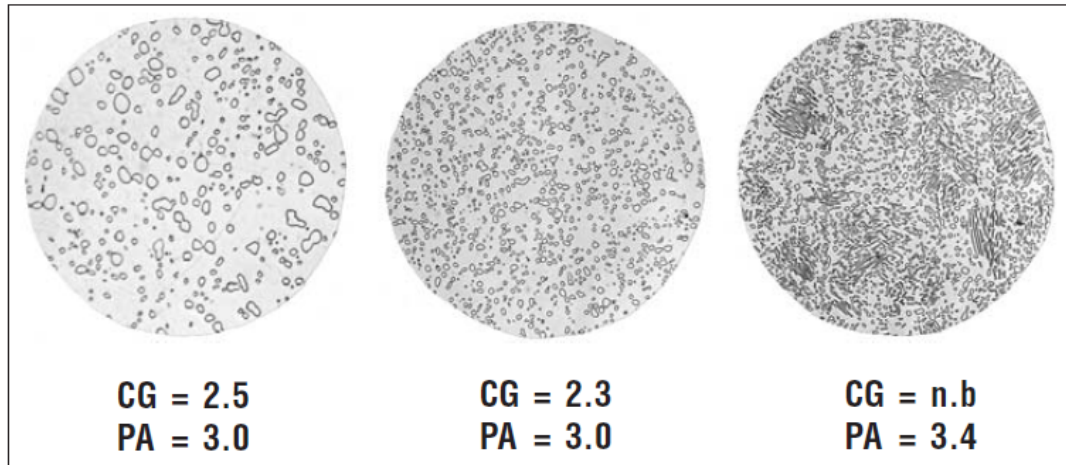


**Figura 5:** curva limite de conformação para o grau C75 + LC na espessura de 2,00mm. A CLC, a relação funcional entre o  $\phi_1$  tensão secundária e a tensão principal  $\phi_2$ .

### 2.3 Relaminado dos Graus + AC (+ AC, EW, Pinpoint)

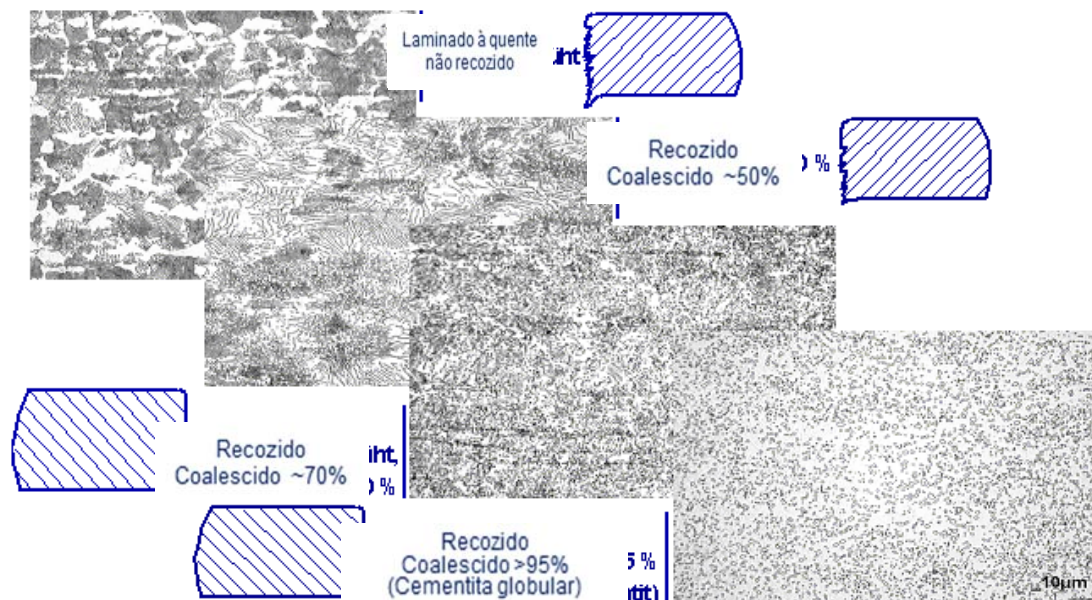
Aços com um teor de carbono acima de 0,6% para apresentar uma conformabilidade ideal, requerem microestrutura na qual carbonetos presentes no aço tem uma distribuição uniforme e cerca de 100% de coalescimento. Desta forma são fornecidos aços de alto teor de carbono que serão utilizados em processos de corte fino. A porcentagem ou nível de coalescimento dos carbonetos é um fator muito importante na qualidade do corte fino, quanto maior o coalescimento menor é o limite de resistência e a dureza do material. Este efeito é especialmente notável para níveis de coalescimento de 90% ou maior. É também decisiva uma redução do limite de escoamento. Assim resultam destes tipo de material uma razão elástica menor que 60%, que é requisito imprescindível em processos de conformação de peças com geometria complexa.

A Figura 6 mostra exemplos de níveis de coalescimento conforme norma SEP 1520.<sup>(4)</sup>



**Figura 6:** Exemplos de níveis de coalescimento e tamanho de carboneto; PA = quantidade de perlita, CG = tamanho de carboneto.

A conformação por laminação antes do recozimento leva à aceleração do coalescimento. Sabe-se que o coalescimento ou esferoidização é precedido por uma divisão das lamelas. A cinética destes processos difere de grão para grão e para diferentes espessuras das lamelas de perlita. Aparentemente a recristalização da fase ferrítica e o coalescimento da cementita ocorrem concomitantemente. O coalescimento ocorre sob a lei da difusão de forma que o tempo e a temperatura do recozimento são de importância primária. O efeito do coalescimento no nível de resistência são mostrados na Figura 7 e na Tabela 1.



**Figura 7:** Evolução da boa capacidade de corte fino com o aumento nível de coalescimento.<sup>(5)</sup>

Zero por cento de coalescimento corresponde ao material laminado a quente sem tratamento térmico, no entanto 50% a 80% de coalescimento pode ser alcançado através do recozimento das chapas. Nota-se que apenas próximo de 90% de coalescimento é que a resistência do material é reduzida significativamente. A partir

de 95% de coalescimento pode se produzir no corte fino uma superfície de corte brilhante e isenta de trincas.

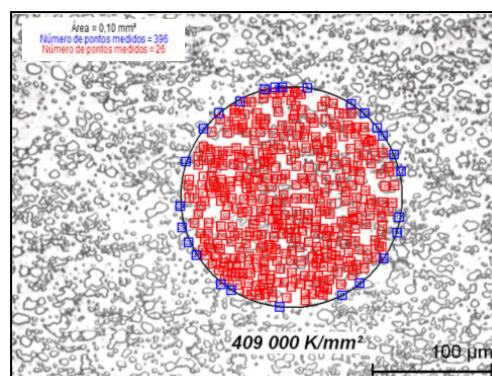
**Tabela 1:** nível de coalescimento e resistência à tração dos aços

Qualidade do aço	Limite de resistência em N/mm <sup>2</sup> em função do nível de coalescimento			
	0%	50%	80%	100%
<b>C60S</b>	850	600	560	510
<b>1075</b>	980	640	600	550
<b>100Cr6</b>	1100	690	650	580

Graus de aço com recozimento especial de amolecimento final serão classificados como +AC. Para geometrias de conformação particularmente complexas é necessária uma redução adicional do limite de escoamento. A redução do limite de escoamento considerando a mesma composição química e nível de coalescimento só é possível através da influência no tamanho de grão ferrítico.

A combinação de um determinado grau de redução na relaminação e do ciclo de tratamento térmico de coalescimento pode ser utilizada para produzir aços com melhor desempenho na conformação. A queda no limite de escoamento ocorre junto com aumento no tamanho de grão ferrítico. Por exemplo, no aço C67 o tamanho de grão típico de aproximadamente 8 alterado para 6, que corresponde um aumento de aproximadamente 4 vezes, reduz o limite de escoamento em até 100N/mm<sup>2</sup>. Este grau de aço é chamado EW, do alemão *extra-weich*, que significa extra dúctil.

Igualmente com um nível de coalescimento de aproximadamente 100% porém com a intensão de obter-se a maior quantidade de carbonetos, e extremamente finos é produzida a microestrutura chamada Pinpoint. A microestrutura Pinpoint garante carbonetos finos e distribuídos homogeneamente. Na Figura 8, nota-se aproximadamente 400.000 carbonetos por milímetro quadrado, na qualidade 125Cr1 e conseqüentemente uma alta resistência ao desgaste.



**Figura 8:** quantidade de carbonetos de uma microestrutura "Pinpoint"

## 2.4 Relaminado Encruado – GRAU +CR

Num nível de resistência sensivelmente mais alto em comparação com os graus do item 2.3 estão os conhecidos “encruados”. Do ponto de vista de valores tecnológicos e mecânicos esse grau oferece valores intermediários entre os descritos nos itens anteriores e itens nas condições de já tratados termicamente para endurecimento. Devido à alta redução na relaminação a razão elástica é sensivelmente elevada, o que pode conferir ao material maior resistência a fadiga, pois a região elástica do



material é aumentada. A Figura 9 a seguir mostra a curva tensão-deformação para um aço C67S. A curva mostra a tensão verdadeira em função da deformação verdadeira. De acordo com a definição a curva tensão-deformação descreve uma tensão uniaxial plástica. Ela é atualmente um dado fundamental para processos de simulação por elementos finitos. Normalmente as taxas de deformação são de  $10\text{s}^{-1}$ . Máquinas hidráulicas de ensaios modernas permitem ensaios em taxas de deformação em até  $300\text{s}^{-1}$ , necessárias para a simulação numérica de impacto em peças específicas. Também conhecido com *crash test*.

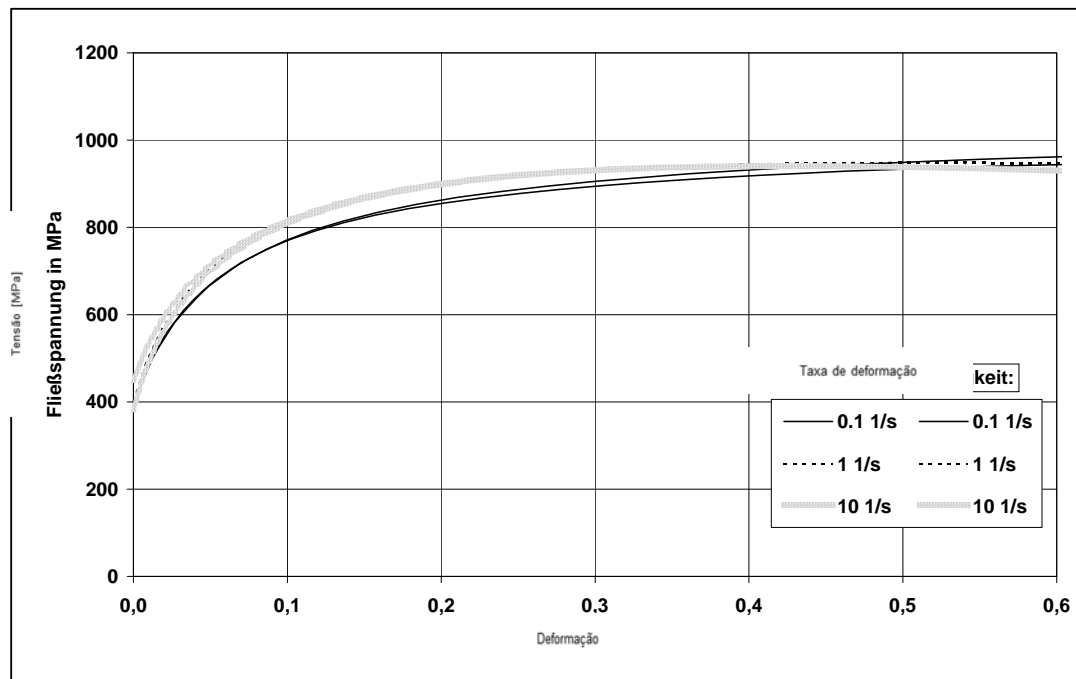
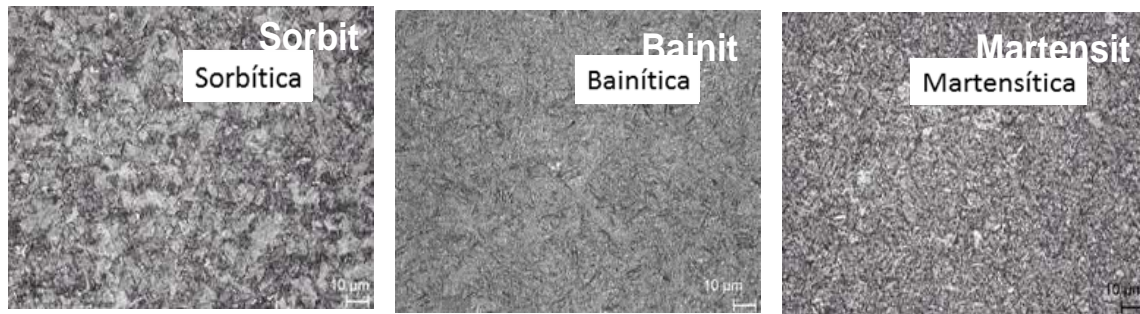


Figura 9: Curva tensão-deformação para o aço C67S.

## 2.5 Relaminados Tratados Para Endurecimento

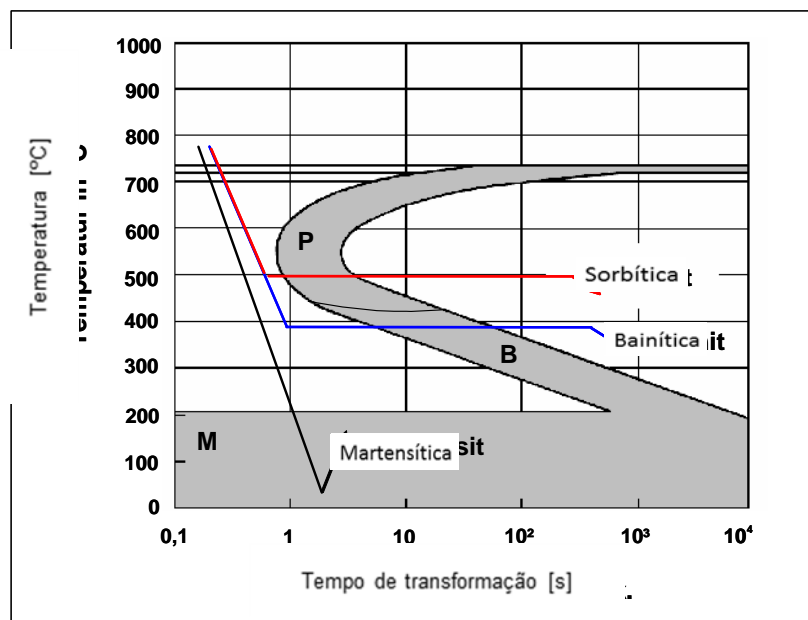
Aços deste grau são tratados termicamente objetivando o endurecimento, e surge para o usuário final uma larga possibilidade de aplicação, no que se trata de aços de alta ou altíssima resistência. Característica principal dos aços tratados para o endurecimento é a sua múltipla possibilidade de aplicações. Para isso contribuem os diversos tipos de microestruturas possíveis. A este grupo pertencem os aços relaminados martensíticos, bainíticos ou sorbíticos (Figura 10). A resistência após o tratamento térmico será determinada principalmente pelo conteúdo de carbono, manganês, cromo, molibdênio, vanádio, silício e outros elementos adicionados propositalmente. O tratamento térmico das tiras relaminadas segue em processos contínuos com espessuras variando de 0,2 mm até 4,0 mm. Para melhorar as propriedades do material na aplicação ou no processo de conformação, faz sentido alterar a condição do material através do tratamento térmico de forma que a dureza, a resistência à tração a tenacidade ou a resistência ao desgaste sejam otimizados. Assim pode se obter um ponto ótimo entre os requisitos de solicitação mecânica e a geometria do componente final. Isso significa, que a segurança do componente contra uma possível falha será aumentada. Em alguns casos a espessura do material e conseqüentemente do componente pode ser reduzida, sem comprometimento da funcionalidade e segurança do componente e reduzindo os custos.



**Figura 10:** Estrutura de tratamento térmico sorbítica, bainítica e martensítica

Todos os tratamentos térmicos têm em comum é que eles satisfazem o esquema de austenitização (aquecimento e manutenção na temperatura), refrigeração, manutenção na temperatura de transformação e resfriamento até à temperatura ambiente. Abaixo de 727 °C os aços carbono formam perlita, e caso a refrigeração seja rápida o suficiente pode se formar bainita com carbonetos precipitados.

Taxas de resfriamento muito altas evitam a mistura de fases através da difusão e somados a um subresfriamento da austenita ocorre uma transformação isenta de difusão em martensita. O material passa neste caso por uma alteração de volume no resfriamento e ao mesmo tempo uma dilatação devida a formação da nova microestrutura. Como resultado tem se uma tensão resultante muito maior. Quando ocorre um resfriamento escalonado, no qual a alteração de volume através do resfriamento e a formação de martensita são divididas temporalmente no processo, a tensão resultante é mais amena. Através de diagramas tempo-temperatura-transformação (TTT) é possível determinar a temperatura na qual a transformação se inicia. A Figura 11 mostra um exemplo do comportamento de transformação em estruturas específicas a saber: sorbita, bainita e martensita para um aço 1075.



**Figura 11:** Diagrama TTT para a transformação de um aço 1075.

Diferentemente da fabricação de aços com microestruturas bainíticas ou martensíticas, a microestrutura sorbítica de finas lamelas requer uma alta redução por relaminação. A tecnologia do arame patenteado e trefilado foi adaptada à aços planos relaminados com microestrutura sorbítica. Aços carbono modificados com

teor de carbono entre 0,65% e 0,95% com grau de pureza alto são tratados isotermicamente. Partindo de limites de resistência de aproximadamente 1.300N/mm<sup>2</sup> esse aço podem alcançar, após o processo de relaminação em laminadores do tipo “Sendzimir” e em função da redução a frio, limites de resistência de até 2.500N/mm<sup>2</sup>. Desta forma os aços relaminados texturizados podem substituir aços inoxidáveis austeníticos Cr-Ni encruados e tem em muitos casos alcançado sucesso devido as seguintes vantagens:

- Economia de material, através de redução de espessura, devido ao módulo de elasticidade mais alto
- Maior tenacidade e a conseqüente maior resistência a fadiga do produto final.

A Tabela 2 mostra algumas propriedades mecânicas possíveis para o aço 1075.

**Tabela 2:** faixa de propriedades para os graus individuais possíveis utilizando-se do aço 1075

Grau	Razão elástica [%]	Limite de resistência a tração [MPa]	Alongamento A5 [%]
Laminado à quente recozido	65 – 75	550 – 800	12 – 15
Coalescido e relaminado CO RL	65 – 75	500 – 600	14 – 20
Relaminado +AC	58 – 67	450 – 550	34 – 37
Relaminado EW	50 – 60	400 – 500	35 – 40
Relaminado Pinpoint	80 – 90	700 – 1000	8 – 10
Relaminado encruado +C	80 – 90	800 – 1100	9 – 11
Relaminado martensítico +QT	> 97	1400 – 2100	2 – 7
Relaminado bainítico +QT	80 – 85	1100 – 1500	5 – 9
Relaminado texturizado	> 98	1900 – 2400	1 - 2

### 3 CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou a variedade das opções de diferentes graus possíveis utilizando-se de apenas um tipo de aço. A partir das solicitações da aplicação final fica claro, qual a faixa de propriedades necessária e com isso qual a combinação entre conformabilidade e resistência é possível. Com uma técnica de processos e equipamentos adequada, assim como o conhecimento sobre a tecnologia de materiais podem ser produzidos materiais ótimos para aplicações que exijam desde alta complexidade geométrica até molas de altíssima solicitação.

### REFERÊNCIAS

- 1 NBR6662:2008 - Tiras relaminadas de aços-carbono e aços ligados - Especificação
- 2 EN10083 - Vergütungsstähle - Teil 1: Allgemeine technische Lieferbedingungen; Deutsche Fassung EN 10083-1:2006
- 3 EN10084 - Einsatzstähle - Technische Lieferbedingungen; Deutsche Fassung EN 10084:2008
- 4 SEP1520:1998 - Mikroskopische Prüfung der Carbidausbildung in Stählen mit Bildreihen
- 5 Umformen und Feinschneiden – Handbuch für Verfahren, Werkstoff und Teilegestaltung