



# EQUACIONAMENTO DA NORMA SAE J1397: “ESTIMATIVA DE PROPRIEDADES E USINABILIDADE DE BARRAS DE AÇO”<sup>1</sup>

Túlio Braz Comitre<sup>2</sup>  
 Rodrigo Donadio Bueno<sup>3</sup>  
 Rafael Fernandes Bley<sup>4</sup>  
 Eduardo Sorrilha Spagnuolo<sup>5</sup>  
 Willy Ank de Moraes<sup>6</sup>

## Resumo

A norma SAE J1397 é intencionada a prover um guia das características mecânicas de resistência de barras de aços abrangidas pelas normas SAE J403 e J404. As características estimadas na SAE J1397 não poderem ser utilizadas como requisitos para especificações, porém estas estimativas são úteis para auxiliar na aplicação dos aços. Neste trabalho, os alunos de graduação em Engenharia Industrial Mecânica da Unisanta empregaram conhecimentos adquiridos nas disciplinas pertencentes à linha de concentração em Engenharia de Materiais do curso para criar uma planilha que converte a composição química de aços-carbono normalizados nas propriedades oferecidas pela SAE J1397.

**Palavras-chave:** Aços; Resistência mecânica; Seleção de materiais; Construção mecânica.

## EQUATIONING OF SAE J1397 STANDARD: “ESTIMATED MECHANICAL PROPERTIES AND MACHINABILITY OF STEEL BARS”

### Abstract

The SAE J1397 standard intends to offer a guide to mechanic characteristics of steels bars as described by SAE J403 and J404 standards. These estimated characteristics are not to be used as specific requirements, but these can be used to aim steel's applications. In this work, Industrial Mechanic Engineering students of UNISANTA had been used knowledge, acquired from Materials Engineering subjects, to create a calculus sheet that converts chemical composition into estimated mechanical properties of normalized carbon steels as done by SAE J1397.

**Key-words:** Steels; Strength; Materials selection; Mechanical construction.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Perito de Engenharia, Gerência de Serviços e Oficinas. Usiminas-Cubatão. Aluno de graduação em Engenharia Mecânica – Unisanta. E-mail: tuliocomitre@hotmail.com

<sup>3</sup> Estágio da Usiminas-Cubatão. Aluno de graduação em Engenharia Mecânica – Unisanta. E-mail: rodrigo.bueno@usiminas.com

<sup>4</sup> Técnico em Manutenção da EMAC. Aluno de graduação em Engenharia Mecânica – Unisanta. E-mail: eduardo.spagnuolo7@gmail.com

<sup>5</sup> Doutorando, MSc., Eng. Metalurgista, Téc. em Metalurgia. Engenheiro de Produto Sênior da Usiminas-Cubatão, Prof. Faculdade de Engenharia da Unisanta e Diretor da divisão técnica “Aplicações de Materiais” da ABM. E-mail: willyank@unisanta.br ou willy.morais@usiminas.com.

## 1 INTRODUÇÃO

A previsão das propriedades mecânicas dos aços é uma possibilidade muito atraente, tanto para produtores quanto para os usuários deste material.<sup>(1,2)</sup> Neste sentido diversos modelos de previsão das propriedades mecânicas dos aços têm sido apresentados ao longo do tempo:<sup>(3-6)</sup> alguns mais gerais e outros mais específicos. Em sua revisão, Pickering<sup>(7)</sup> resume estes tipos de modelos conforme a equação:

$$\sigma_{LE} = \sigma_i + \sigma_s + \sigma_p + \sigma_d + \sigma_{ss} + \sigma_t + k_y d^{-1/2} \quad (1)$$

Onde os valores de cada  $\sigma$  consideram um determinado fator no limite de escoamento ( $\sigma_{LE}$ ): **i** tensão de oposição à movimentação de discordâncias; **s** endurecimento por solução sólida; **p** endurecimento por precipitação; **d** endurecimento pela geração de discordâncias; **ss** é a inteiração entre as discordâncias, **t** é a textura cristalográfica, **d** o tamanho de grão e **k<sub>y</sub>** uma constante associada ao efeito do tamanho de grão. Cada efeito pode ser considerado de uma forma diferente e por um modelo em particular.

Adicionalmente, cada família de aços apresentará um determinado tipo de microestrutura, podendo ser, por exemplo: ferrítica, austenítica, ferrita-perlita, bainítica, martensítica, ferrita-martensita, etc. A forma e a precisão do modelo dependem da correta interpretação do tipo e da morfologia da microestrutura presente e das demais variáveis do aço a ser modelado. Portanto, na criação e aplicação de um modelo deve-se estabelecer o tipo de material a ser analisado através de suas características microestruturais e dos parâmetros disponíveis, informações estas que serão utilizadas na alimentação do modelo.<sup>(7)</sup>

Alguns exemplos de modelos aplicáveis para os aços estão ilustrados pelas equações a seguir. As equações (2) e (3) são apresentadas por Grozier e Bucher apud Bodnar, Fletcher e Manohar<sup>(6)</sup> e as equações (4) e (5) conforme Irvine e Pickering apud Pickering<sup>(7)</sup> e Bofors apud Thelnig,<sup>(5)</sup> respectivamente:

$$\sigma_{LE} = 91,7 + 40,7(\%Mn) + 70,4(\%Si) + 1,5(\%Perlita) + 522(1/\sqrt{d}) \quad (2)$$

$$\sigma_{LR} = 223,2 + 56,7(\%Mn) + 102(\%Si) + 4,3(\%Perlita) + 373(1/\sqrt{d}) \quad (3)$$

$$\sigma_{LE} = 91,7 + 32,4(\%Mn) + 84,1(\%Si) + 84,1(\%Cu) + 13,7(\%Mo) - 31(\%Cr) + 4,345(\%N_{free}) + 1,5(\%Perlita) + 521,776(1/\sqrt{d}) \quad (4)$$

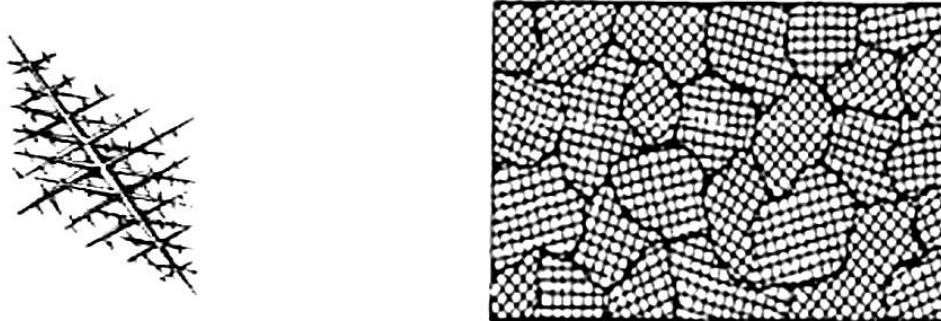
$$\sigma_{LR} = 265 + 549(C_p) \quad / \quad C_p = f(\%C, \%Mn, \%P, \%Si, \%Cr, \%Ni) \quad (5)$$

Onde  $d$  é o tamanho de grão em microns ( $\mu m$ ) e %Perlita é a fração volumétrica percentual da 2<sup>a</sup> fase.  $\sigma_{LE}$  e  $\sigma_{LR}$  são o limite de Escoamento e Resistência, respectivamente, os demais valores representam a composição química dos aços.

Como mostrado nas Equações anteriores, as propriedades dos metais, inclusive dos aços, dependem não só de sua estrutura cristalina, mas também de sua composição química, do tamanho dos grãos e de sua uniformidade. Os tratamentos térmicos bem como os trabalhos mecânicos modificam em maior ou menor intensidade alguns destes aspectos (arranjo, dimensões, formato dos grãos) e, conseqüentemente, podem levar a alterações nas propriedades de um determinado tipo de aço, conferindo-lhe características específicas: dúctil, frágil ou tenaz.

O aço como os demais metais, se solidifica pela formação de cristais, que vão crescendo a diferentes direções. A Figura 1 ilustra uma estrutura de grãos típica dos

metais. O tamanho e a geometria dos cristais, como descrito nas equações anteriores, de (1) à (4), influenciam diretamente as propriedades dos materiais metálicos. A quantificação do tamanho de grão e de outras variáveis metalográficas são vitais para a compreensão e controle das propriedades dos metais.<sup>(2,6,7)</sup>



**Figura 1.** Exemplo da formação de uma dendrita (esquerda) por fusão e de uma estrutura de grãos com diversas orientações dos planos cristalinos (direita).

A possibilidade de se obter um desempenho melhorado do aço, associada às diferentes combinações de propriedades físicas e mecânicas está intimamente ligada à capacidade de se manipular as suas características estruturais.<sup>(8)</sup> Esta manipulação ocorre através do processamento do material e seu beneficiamento, de modo a obter as combinações de composição química e estruturais mais favoráveis para uma determinada aplicação.



**Figura 2.** Ilustração da relação genérica entre estrutura-propriedades-processamento-desempenho.<sup>(8)</sup>

Nem sempre será possível relacionar todas as características mecânicas em um só aço, pois uma adição em excesso de certo elemento químico poderá afetar diretamente não só em uma propriedade, mas sim outras características ligadas ao desempenho e ao custo. A Tabela 1 ilustra, comparativamente, o custo na adição de alguns elementos de liga<sup>(9)</sup> com base na efetividade de sua ação dentro dos aços, considerando-se como referência o custo da adição de 0,01%C no aço. Resumidamente, o custo na adição dos elementos de liga são ligados em consideração com seus respectivos efeitos no aço. A relação entre o custo e o benefício faz como que os principais elementos de liga empregados no aço, são os descritos a seguir:

- *Carbono (C)* – é o elemento essencial que compõe a liga do aço. Conforme o seu teor aumenta consideravelmente, o limite de resistência e a dureza do aço se elevam enquanto a tenacidade e a soldabilidade diminuem.
- *Manganês (Mn)* – O Manganês aumenta a temperabilidade, a soldabilidade e o limite de resistência à tração, com diminuição insignificante da tenacidade. Em grandes quantidades e em presença de Carbono, aumenta muito a resistência à abrasão. O Manganês provoca um aumento de aproximadamente 100 MPa no limite de resistência à tração para cada adição de 1%
- *Silício (Si)* – O Silício aumenta o limite de resistência à tração e o limite de escoamento dos aços, com pequena diminuição da tenacidade, Diminui também a condutividade térmica e a usinabilidade. Especialmente nos aços fundidos, o Silício aumenta a densidade. Haverá um aumento de 150 MPa no limite de resistência à tração para cada 1% de Silício adicionado.

**Tabela 1.** Custo relativo na adição mínima eficaz de determinados elementos de liga a um aço (base 0,01%C = custo unitário)<sup>(9)</sup>

Elemento	Custo relativo	Elemento	Custo relativo
C	1	Mo	842
Al	19	Nb	39
B	6	Ni	1125
Ca	52	P	4
Cr	58	Si	19
Cu	95	Ti	30
Mn	8	V	254

Neste trabalho foi considerado o efeito das variáveis na relação entre a composição química e as propriedades mecânicas, conforme referenciadas em normas que descrevem as características mecânicas de alguns aços. Empregou-se conhecimentos básicos da relação estrutura-propriedade dos aços, relação esta representada na Figura 2 e traduzidas na literatura, por exemplo, pelas equações (2), (3), (4) e (5). Foram empregadas as normas SAE J1397,<sup>(10)</sup> SAE J403<sup>(11)</sup> e DIN 50150<sup>(12)</sup> de forma a ser criada uma forma de cálculo que associa as composições químicas de aços-carbono comuns nas suas principais propriedades mecânicas.

Este cálculo foi implementado na forma de uma planilha que cobre aços ao redor da faixa coberta pela norma SAE J1397.<sup>(10)</sup> Esta planilha estima o Limite de Escoamento (LE), Limite de Resistência (LR) e a dureza (HV, HB, HRb), conhecendo-se os teores de Carbono, Manganês e Silício destes aços na condição normalizado ou aproximadamente como laminado a quente.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Empregaram-se como referência para as análises e cálculos efetuados as informações contidas em três normas técnicas internacionais, aplicáveis para aços, e descritas a seguir:



- SAE J1397 - *Estimated mechanical properties and machinability of steel bar*<sup>(10)</sup> - Norma que apresenta um guia das características mecânicas de alguns graus de aço em barras. Exemplo do conteúdo na Tabela 2.
- SAE J403 - *Chemical compositions of SAE carbon steel*<sup>(11)</sup> - Norma com as composições químicas dos aços é a norma mais conhecida do mundo. Exemplo do conteúdo na Tabela 3.
- DIN 50150 - *Conversion of hardness values*<sup>(12)</sup> - Utilizada para converter valores de dureza em escalas diferentes, também relaciona Limite de Resistência com dureza. Substituiu a DIN 50150. Exemplo do conteúdo na Tabela 4.

**Tabela 2.** Uma das tabelas de composições químicas contida na SAE J1397: “Propriedades mecânicas e graus de usinabilidade estimadas de barras de aço carbono não resulfurado com manganês máximo de 1%” (título traduzido do original pelos autores)<sup>(10)</sup>

SAE and/or AISI No.	Type of Processing	Tensile Strength MPa	Tensile Strength psi	Estimated Minimum Values	Estimated Minimum Values	Estimated Minimum Values	Reduction in Area %	Brinell Hardness
				Yield Strength MPa	Yield Strength psi	Elongation in 2 in, %		
1006	Hot Rolled	300	43 000	170	24 000	30	55	86
	Cold Drawn	330	48 000	280	41 000	20	45	95
1008	Hot Rolled	303	44 000	170	24 500	30	55	86
	Cold Drawn	340	49 000	290	41 500	20	45	95
1010	Hot Rolled	320	47 000	180	26 000	28	50	95
	Cold Drawn	370	53 000	300	44 000	20	40	105
1012	Hot Rolled	330	48 000	180	26 500	28	50	95
	Cold Drawn	370	54 000	310	45 000	19	40	105
1015	Hot Rolled	340	50 000	190	27 500	28	50	101
	Cold Drawn	390	56 000	320	47 000	18	40	111
1016	Hot Rolled	380	55 000	210	30 000	25	50	111
	Cold Drawn	420	61 000	350	51 000	18	40	121

**Tabela 3.** Uma das tabelas de composições químicas contida na SAE J403: “Faixas e limites de composições químicas para aço carbono não resulfurado aplicáveis para corridas ou produtos semiacabados para forjamento e para barras laminadas a quente e a frio, fio máquina, chapas, tiras, tubos soldados e sem costura” (título traduzido do original pelos autores)<sup>(11)</sup>

UNS No.	SAE No.	Chemical Composition Limits, % <sup>(1)(2)</sup>	Chemical Composition Limits, % <sup>(1)</sup>	Chemical Composition Limits, % <sup>(1)</sup>	Chemical Composition Limits, % <sup>(1)</sup>
		C	Mn	P, Max	S, Max
G10020 <sup>(4)</sup>	1002 <sup>(4)</sup>	0.02–0.04	0.35 Max	0.030	0.050
G10030 <sup>(4)</sup>	1003 <sup>(4)</sup>	0.02–0.06	0.35 Max	0.030	0.050
G10040 <sup>(4)</sup>	1004 <sup>(4)</sup>	0.02–0.08	0.35 Max	0.030	0.050
G10050 <sup>(b)</sup>	1005 <sup>(b)</sup>	0.06 Max	0.35 Max	0.030	0.050
G10060 <sup>(b)</sup>	1006 <sup>(b)</sup>	0.08 Max	0.25–0.40	0.030	0.050
G10070 <sup>(4)</sup>	1007 <sup>(4)</sup>	0.02–0.10	0.50 Max	0.030	0.050
G10080 <sup>(b)</sup>	1008 <sup>(b)</sup>	0.10 Max	0.30–0.50	0.030	0.050
G10090 <sup>(5)</sup>	1009 <sup>(5)</sup>	0.15 Max	0.60 Max	0.030	0.050
G10100	1010	0.08–0.13	0.30–0.60	0.030	0.050
G10120	1012	0.10–0.15	0.30–0.60	0.030	0.050
G10130	1013	0.11–0.16	0.30–0.60	0.030	0.050
G10150	1015	0.13–0.18	0.30–0.60	0.030	0.050
G10160	1016	0.13–0.18	0.60–0.90	0.030	0.050
G10170	1017	0.15–0.20	0.30–0.60	0.030	0.050

**Tabela 4.** Uma das tabelas de composições químicas contida na DIN 50150<sup>(12)</sup>

Zugfestig- keit MPa	Vickers- härte HV10	Brinell-härte HB <sup>a</sup>	Rockwellhärte							
			HRB	HRF	HRC	HRA	HRD	HR15N	HR30N	HR45N
255	80	76,0								
270	85	80,7	41,0							
285	90	85,5	48,0	82,6						
305	95	90,2	52,0							
320	100	95,0	56,2	87,0						
335	105	99,8								
350	110	105	62,3	90,5						
370	115	109								
385	120	114	66,7	93,6						
400	125	119								
415	130	124	71,2	96,4						
430	135	128								
450	140	133	75,0	99,0						
465	145	138								
480	150	143	78,7	(101,4)						
495	155	147								
510	160	152	81,7	(103,6)						
530	165	156								
545	170	162	85,0	(105,5)						
560	175	166								
575	180	171	87,1	(107,2)						
595	185	176								
610	190	181	89,5	(108,7)						
625	195	185								
640	200	190	91,5	(110,1)						

As atividades para a elaboração da análise, criação do procedimento de cálculo e da planilha seguiram a seqüência ilustrada no fluxograma da Figura 3. Conforme mostrado neste fluxograma, o trabalho foi dividido nas seguintes etapas:

- O conhecimento e análise das normas SAEJ403,<sup>(11)</sup> SAEJ1397<sup>(10)</sup> e DIN 50150.<sup>(12)</sup>
- O estudo da literatura, análise da aplicabilidade das fórmulas e obtenção dos valores necessários para a montagem da planilha de cálculo final:
  - Primeiramente foram calculadas as temperaturas Ac1 e Ac3 através das equações (6) e (7), obtidas da literatura,<sup>(6)</sup> com o intuito de obter a porcentagem de perlita no aço. Nestas equações utiliza-se a composição química média dos aços estudados, desconsiderando-se os elementos não tipicamente adicionáveis (isto é: V, Mo, W, Cr e As  $\approx$  0%).

$$Ac_3(^{\circ}C) = 910 - 203(\sqrt{\%C}) - 15.2(\%Ni) + 44.7(\%Si) + 104(\%V) + 31.5(\%Mo) + 13.1(\%W) \quad (6)$$

$$Ac_1(^{\circ}C) = 723 - 10.7(\%Mn) - 16.9(\%Ni) + 29.1(\%Si) + 16.9(\%Cr) + 290(\%As) + 6.4(\%W) \quad (7)$$

- Em seguida calcula-se o tamanho de grão aplicando as equações (2) e (3), utilizando a composição química (oriunda da norma SAE J403) e as propriedades mecânicas (conforme descritas pela SAE J1397) como variáveis conhecidas.
- Relaciona-se o tamanho de grão com o carbono equivalente de forma a obter um tamanho de grão modelado. Através deste obtém-se o limite de escoamento ( $\sigma_{LE}$ ) e resistência ( $\sigma_{LR}$ ).
- A partir do limite de resistência é calculada a dureza do aço, com base em correlações obtidas dos dados da norma DIN 50150<sup>(12)</sup>. Assim é possível estimar a dureza nas escalas absolutas (HB e HV) e relativas (Rockwell).
- O desenvolvimento e união das informações obtidas (equacionamento e resultados finais);
  - Após efetuar os cálculos é feito o equacionamento final, uma planilha no qual inserimos a composição química do aço, que automaticamente estima as propriedades mecânicas e durezas do mesmo.

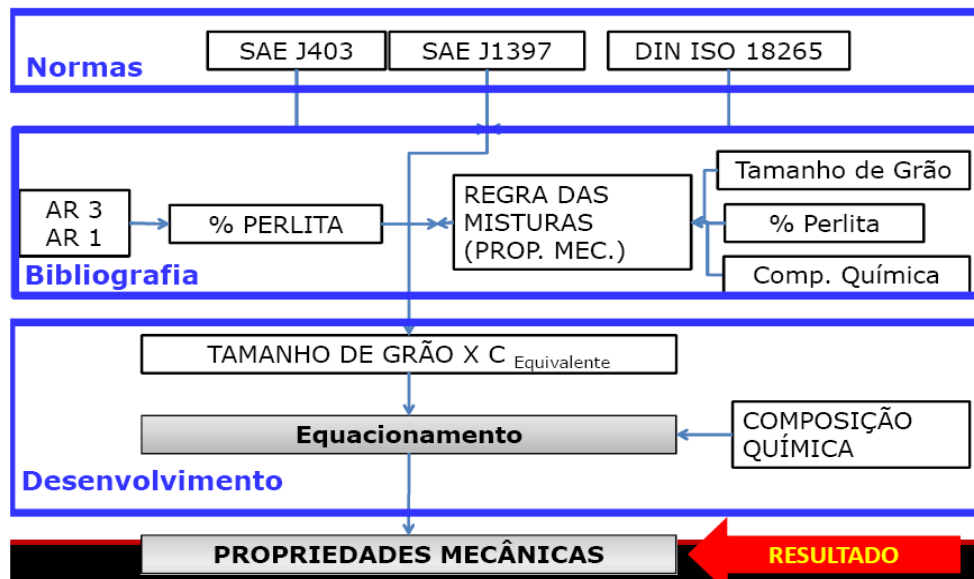


Figura 3. Fluxograma com a seqüência das atividades executadas neste trabalho.

### 3 RESULTADOS

Utilizaram-se os valores das composições químicas disponíveis na Norma SAE J403 para estimar as quantidades relativas de perlita. Para isso emprega-se a regra da alavanca aplicada na respectiva região do diagrama ferro-carbono,<sup>(8)</sup> que é corrigido pelas temperaturas obtidas pelas equações (6) e (7).<sup>(6)</sup>

Para aplicar as equações de determinação do limite de escoamento e de resistência é necessário conhecer qual seria o tamanho de grão ( $d$ , em mm). Apesar de seu valor não ser disponível na norma SAE J1397,<sup>(10)</sup> o mesmo pode ser determinado reversivamente através da composição química e pela porcentagem de perlita obtida, utilizando-se as equações (2) e (3). Uma ilustração dos resultados deste cálculo para três tipos de aço está apresentado na Tabela 5. Neste caso deu-se preferência para o uso da equação (3), que abrange os valores do limite de resistência. A justificativa é que esta propriedade ( $\sigma_{LR}$ ) é informada nos seus valores médios, pela norma SAE J1397, o que é mais representativo do que os valores mínimos informados para o limite de escoamento, por esta mesma norma.

**Tabela 5.** Exemplo de determinação do tamanho de grão ( $d$ , em mm) empregando a composição química (média), %perlita e o  $\sigma_{LR}$  contido na norma SAE J1397.

Aço	%C	%Si	%Mn	Ceq	C Perlita	%Perlita	LR Norma (MPa)	$d$ (mm)*	LR equação (MPa)
1020	0,205	0,20	0,45	0,30	0,764	0,240	380	0,0116	379,6
1045	0,465	0,20	0,75	0,61	0,859	0,516	570	0,0018	570,0
1080	0,815	0,30	0,75	0,97	0,859	0,923	770	0,0006	770,0

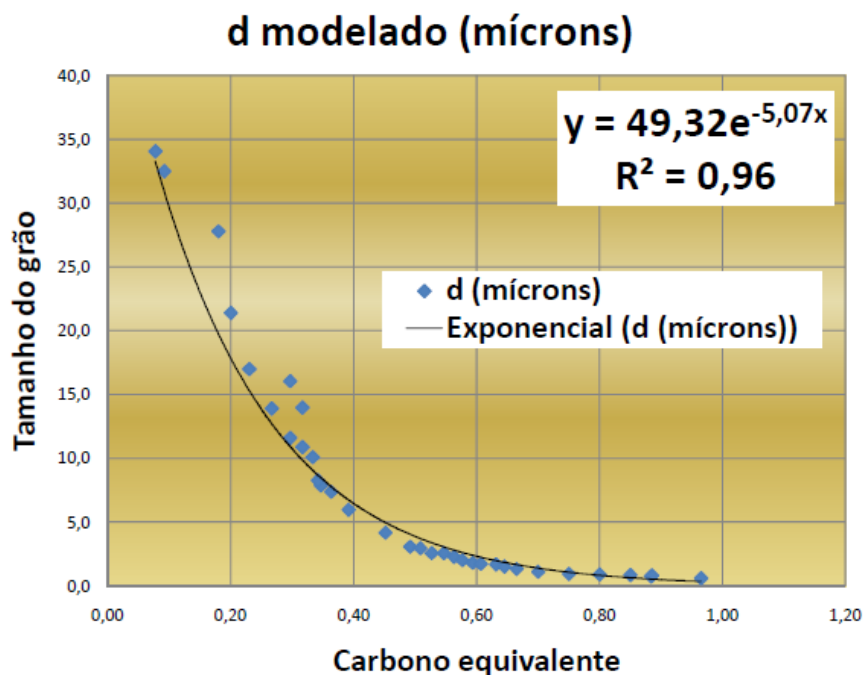
\* - Tamanho de grão teórico para ajuste que considera os demais efeitos microestruturais não previstos na equação utilizada.

Para introduzir o tamanho de grão nas equações (2) – para o  $\sigma_{LE}$  e (3) - para o  $\sigma_{LR}$  adotou-se modelar o tamanho de grão com o carbono equivalente, conforme o *International Institute of Welding* (IIW):<sup>(6)</sup>

$$\%C_{eq} = \%C + \%Mn/6 + (\%Mo + \%Cr + \%V)/5 + (\%Ni + \%Cu)/15 \quad (8)$$

A razão para adotar esta relação foi a experiência deste tipo de correlação em trabalhos anteriores<sup>(1)</sup> e também porque esta foi a melhor forma encontrada, após testes, de obter uma relação com boa previsibilidade conforme mostrado pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido após o ajuste feito nos dados por uma equação exponencial. O gráfico da Figura 4 apresenta o modelamento obtido e empregado no cálculo final das propriedades mecânicas. Neste caso, também foram desconsiderados elementos não tipicamente adicionáveis (isto é: Mo, Cr, V, Ni e Cu  $\approx 0\%$ ).

Com o tamanho de grão modelado conforme apresentado na Figura 4, com o conteúdo de perlita determinado pela regra da alavanca aplicada à composição química analisada, que também corrige as temperaturas empregadas neste cálculo, finalmente é possível acessar as propriedades mecânicas do material utilizando-se as equações (2) e (3). A Tabela 6 mostra os aspectos do cálculo, como implementado em uma planilha eletrônica. Nesta planilha, podem ser digitados os valores de carbono, silício e manganês do aço e são calculados as propriedades de resistência do aço considerado.



**Figura 4.** Relação empírica entre tamanho de grão ferrítico efetivo e o carbono equivalente dos aços abrangidos pelas normas SAE J403<sup>(11)</sup> e J1397.<sup>(10)</sup>

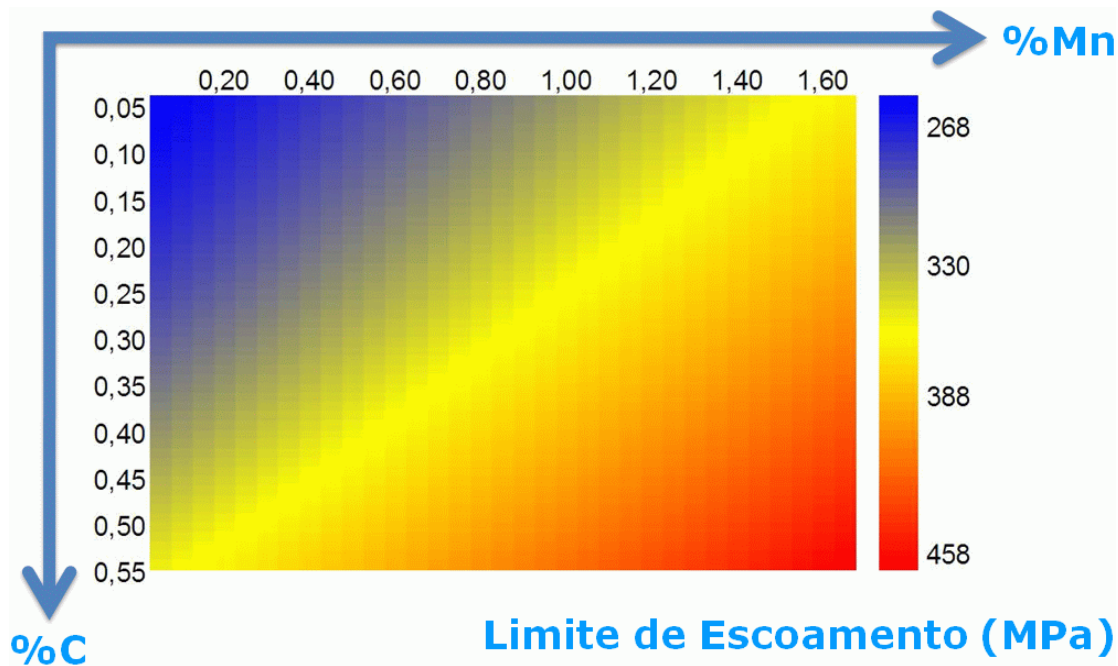


Forneça as porcentagens				AR1 (°C)	AR3 (°C)	%Ceq	C Perlita	%Perlita	d modelado (microns)	LR (MPa)	LE (MPa)	HB	HV
%C	%Si	%Mn											
Min	0,04	0,00	0,20										
DESEJADO	0,08	0,00	0,00	723,0	852,6	0,08	0,638	0,091	33,2	288	95	85	89
Máx	0,82	0,30	0,85										

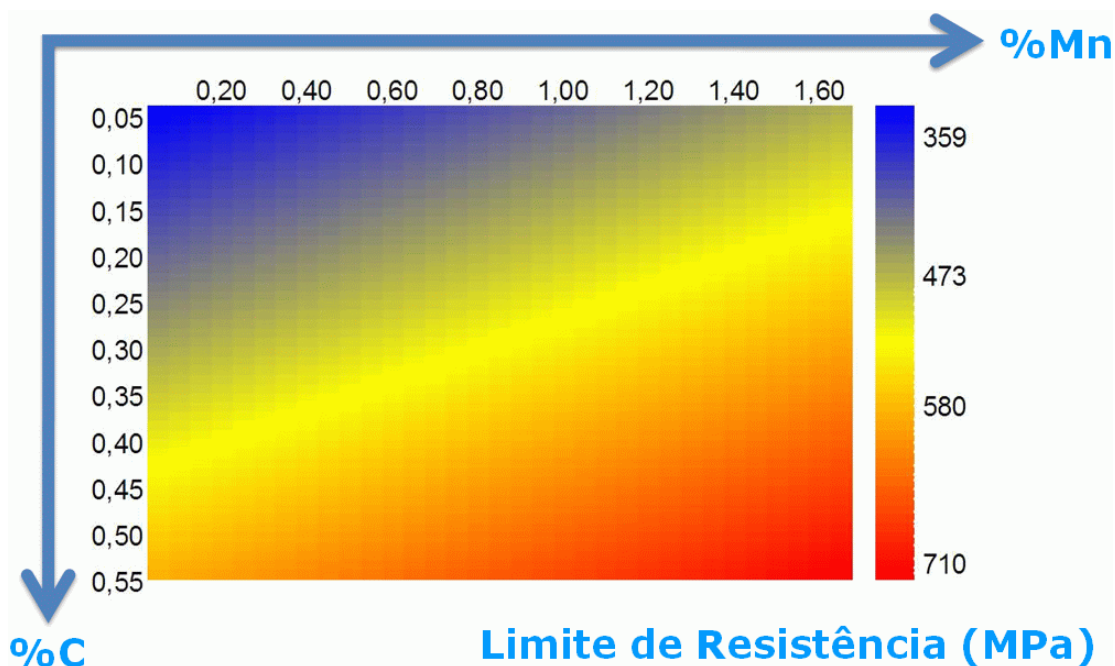
Digita-se a composição  
 Obtêm-se as propriedades do material

**Figura 5.** Exemplo de estimativa das propriedades mecânicas de um aço a partir da sua composição química. A tabela abaixo ilustra exatamente a forma na qual o cálculo foi implementado na forma de uma planilha eletrônica.

Uma das formas de se empregar este cálculo é através da criação de ábacos para consulta prática. Nestes ábacos pode-se facilmente consultar os valores esperados das propriedades mecânicas dos aços. As Figuras 6 e 7 ilustram resultados obtidos para o limite de escoamento e resistência, respectivamente. Nestes casos, considerou-se um teor de silício nulo (%Si=0).



**Figura 6.** Exemplo de ábaco para determinação dos valores do limite de escoamento em aços abrangidos pelas normas SAE J403<sup>(11)</sup> e J1397.<sup>(10)</sup>



**Figura 7.** Exemplo de ábaco para determinação dos valores do limite de resistência em aços abrangidos pelas normas SAE J403<sup>(11)</sup> e J1397.<sup>(10)</sup>

#### 4 CONCLUSÕES

Com base nas análises feitas e nas regressões obtidas, é possível concluir que:

- Composição química e o tipo de estrutura, representada pelo tamanho de grão e fração volumétrica de perlita, podem ser utilizados para analisar o seu desempenho mecânico.
- É possível, a partir de uma análise rápida, implementar uma planilha compatível com a norma SAE J1397 para aços carbono-manganes.
- O procedimento pode ser difundido como forma de substituir a tabela da norma SAE J1397.
- Atividades desenvolvidas em sala de aula podem auxiliar o trabalho prático.

Importante salientar que os dados se restringem a barras de aço (formas não planas), já que a norma abrange este tipo de geometria.

#### Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar agradecimentos à Unisanta e à Usiminas-Cubatão pelo apoio oferecido durante a realização deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

1. MORAIS, W.A.; BORGES, H.C.; PEREZ, F.A. Modelamento e quantificação da relação propriedades X microestrutura nos aços estruturais laminados a quente da Cosipa. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 62., 2007, Vitória. *Anais...* São Paulo: ABM, 2007. p. 3285-3296, 1 CD-ROM.
2. BORGES, H.C.; Predição de propriedades mecânicas em aços laminados a quente utilizando redes neurais adaptativas. 2008. 91 f Monografia (MBA em Siderurgia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.



- 3 Irvine, K. J., and Pickering, F. B., Low-Carbon Steels With Ferrite-Pearlite Structures, Journal of the Iron and Steel Institute, Vol. 201, Nov., 1963, pp 944-960. In: BAIN, E. and PAXTON, H.W.; Alloying elements in steel. American Society for Metals: Metals Park, 3th printing, 1966.
- 4 F. B. PICKERING. Towards Improved Toughness and Ductility. Climax Molybdenum Co. Symp., Kyoto, p.9, 1973. In: PICKERING, F.B.; Chapter 3 - Low-carbon mild steels. Physical metallurgy and the design of steels. Applied Science Publishers: London, reprinted 1983.
- 5 THELNIG, K.E. Chapter 5 - Heat treatment - General. Steel and Its Heat Treatment - Second Edition; Butterworths: London, pp. 207-318,1984. In: TOTTEN, G.E.; FUNATANI, K.; XIE, L., Handbook of Metallurgical Process Design, Marcel Dekker, Inc. New York, 2004.
- 6 BODNAR, R. L.; FLETCHER, F. B.; MANOHAR, M.; The Physical Metallurgy of Normalized Plate Steels. MS&T Conference Proceedings, New Orleans, pp. 89-109, 2004.
- 7 PICKERING, F.B.; Chapter 2 - Structure-property relationships in steels, pp.50-94. In: CAHN, R.W.; HAASEN, P.; KRAMER, E.J. Materials Science and Technology-Vol.7 Constitution and Properties of Steels, Wiley-VCH, Weinheim Germany, 2005.
- 8 MORAIS, W.A.; MAGNABOSCO, A.S; NETTO, E.B.M.; *Metalurgia física e mecânica aplicada*. 2<sup>a</sup> Edição. São Paulo: ABM, 2009.
- 9 MORAIS, W.A.; *Desenvolvimento de Produtos (Metalúrgicos)*. Curso ABM. 7<sup>o</sup> ENEMET. Guarapari, Junho 2007.
- 10 SAE. J 1397. Estimated mechanical properties and machinability of steel bars. Edição 1992.
- 11 SAE. J 403. Chemical compositions of SAE carbon steel. Edição 2009.
- 12 DIN. 50150. Testing metallic materials - Conversion of hardness values. Edição 2000.