
CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E MECÂNICA DE UM AÇO-FERRAMENTA AISI 01

Renato Panelli*

Edmo Soares Jr.**

Jan Vatavuk***

Marina Fuser Pillis****

Resumo

Os aços-ferramenta são amplamente utilizados pela indústria metal-mecânica na forma de punções, machos, matrizes, ferramentas de corte e outros componentes estruturais.

Porém, mesmo em aplicações de grande responsabilidade, como as mencionadas acima, há pouca informação disponível a respeito da interação entre microestrutura e propriedades mecânicas. Esta informação, quando existe, limita-se a dureza, tenacidade, resistência ao desgaste e resistência à flexão. Assim, faltam dados extremamente importantes para o projeto de componentes tais como: o limite de escoamento, o limite de resistência, o limite de fadiga etc.

Assim, este trabalho pretende preencher, ao menos parcialmente, esta lacuna pela apresentação de uma extensa caracterização de um dos aços-ferramenta de fabricação e emprego mais comum pela indústria brasileira: o AISI O1.

* Mahle Metal Leve Consultor – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento
E-mail: renatopanelli@ig.com.br

** Mahle Metal Leve Consultor – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento – Engenheiro de Materiais, Universidade Presbiteriana Mackenzie.
E-mail: edmo_soares@terra.com.br

*** Universidade Presbiteriana Mackenzie. Escola de Engenharia – Departamento de Engenharia de Materiais
E-mail: janvatavuk@uol.com.br

**** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN
E-mail: mfpilllis@ipen.br

Abstract

The tool steels are applied by metal-mechanic manufacturing in punches, die, core, cutting tool, tooling and etc,

However, at high responsibility application, according with indicated above, there is few accessible information about the interaction between microstructure and mechanics properties. When exist this kind of information, is just about hardness, tenacity, wear resistance and bending resistance. As well, there is few information for these projects like a yield limit, strength limit, fatigue limit and etc.

Therefore, this paper intend to fill, partially at least, this gap by presentation of the extensive characterization of the one tool steel with common manufacturing and application by brazilian industries: AISI O1.

1 INTRODUÇÃO

Os aços-ferramenta têm uma participação importante no mercado mundial dos aços. São amplamente utilizados pela indústria metal-mecânica na forma de punções, machos, matrizes, ferramentas de corte e outros componentes estruturais, com ou sem ação de desgaste. Durante o contacto entre a ferramenta e o material de trabalho, a ferramenta e, especificamente, sua superfície, é submetida a altas tensões, o que pode resultar em micro-trincas e fratura subsequente. Inclusões e carbonetos, bem como defeitos superficiais, são conhecidos sítios para nucleação de trincas.

Mesmo com aplicações de grande responsabilidade, há pouca informação disponível a respeito da interação entre a microestrutura e as propriedades mecânicas. Estas informações, quando existem, limitam-se a dureza, tenacidade, resistência ao desgaste e resistência à flexão. Assim, faltam dados extremamente importantes para o projeto de componentes, tais como: limite de escoamento, limite de resistência à tração, limite de fadiga, etc..

2 PROCEDIMENTOS

A caracterização do aço AISI O1 foi composta pelos seguintes procedimentos em barras circulares de 12,7mm de diâmetro:

1. A metalografia na condição de recozido (como recebido do fabricante);
2. A metalografia do aço na condição bruta de têmpera;
3. A metalografia do aço após revenido;
4. Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração normalizado: limite de escoamento e limite de resistência;
5. Propriedade mecânica obtida no ensaio Charpy: tenacidade;
6. Caracterização das superfícies de fratura dos corpos de provas dos ensaios de tração, identificando o modo de falha típico.

3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A Tabela 1 apresenta a composição química do aço em estudo.

TABELA 1

Composição química do aço AISI O1.

Elemento	Teor [% em peso]
Carbono – C	0,95
Manganês – Mn	1,25
Silício – Si	0,25
Cromo – Cr	0,5
Molibdênio – Mo	–
Vanádio – V	0,12
Tungstênio – W	0,5
Cobalto – Co	–
Níquel – Ni	–
Ferro – Fe	Balanço

A inspeção da tabela acima indica que a composição química do material está conforme especificação AISI O1.

4 DUREZA NO ESTADO DE RECOZIDO

A Tabela 2 apresenta a avaliação de dureza do aço em estudo no estado recozido.

TABELA 2

Dureza do aço AISI O1 (estado recozido)

HB (próximo ao núcleo)	HRC (próximo ao núcleo)	HRC (próximo à superfície)
212	14	14
209	15	16
211	18	14
209	15	16
210	15	16
Média = 210	Média = 15	Média = 15

4.1 Micrografias após tratamento de recozimento

As figuras 1, 2 e 3 correspondem a microestrutura da liga após tratamento de recozimento.

Aço	Ataque	Tratamento Térmico	Microestrutura
AISI 01	Nital 3%	Recozimento	Matriz ferrítica (fase escura) e precipitação de carbonetos finos e carbonetos primários (fase clara)

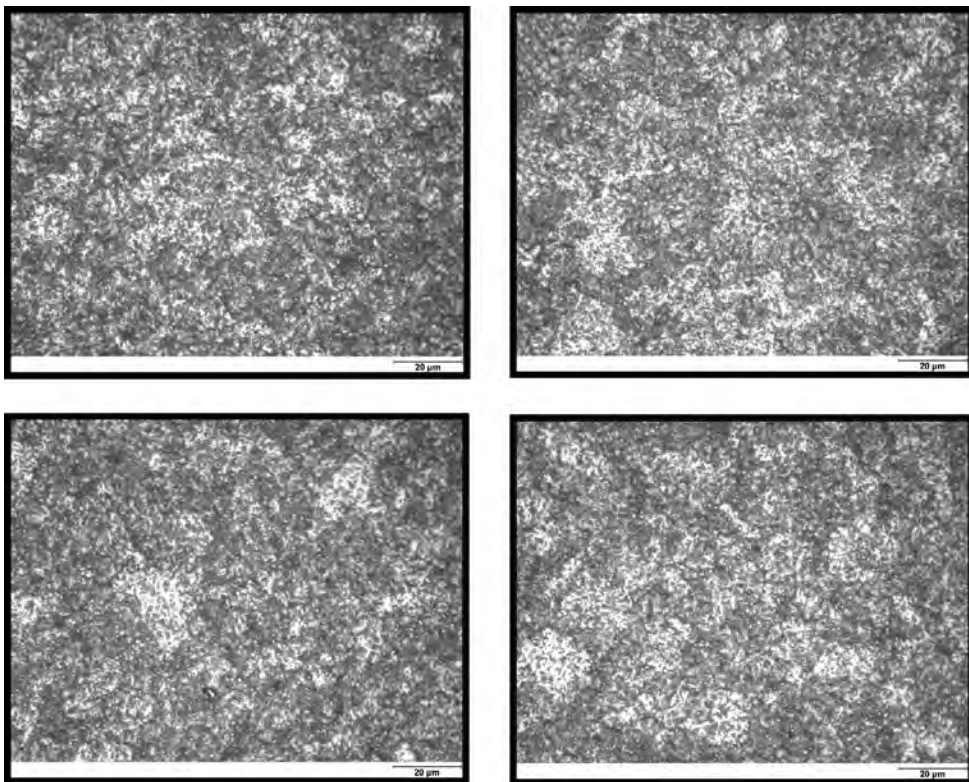


Figura 1 Da esquerda para a direita e de cima para baixo apresenta: corte longitudinal próximo à superfície; corte longitudinal próximo ao núcleo; corte transversal próximo à superfície; corte transversal próximo ao núcleo.

Aço	Ataque	Tratamento Térmico	Microestrutura
AISI 01	Nital 3%	Recozimento	Matriz ferrítica com carbonetos finos dispersos

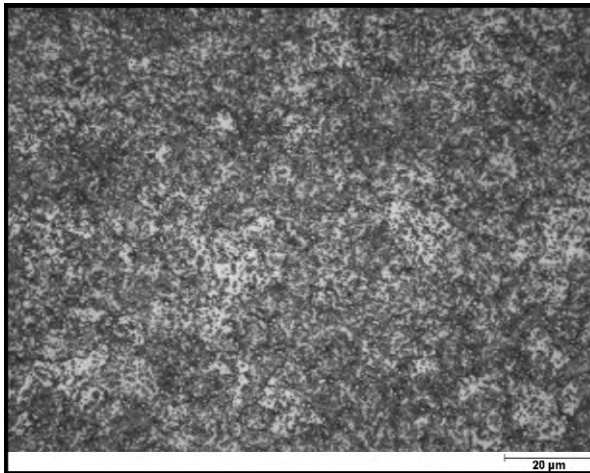


Figura 2 Corte longitudinal mostrando região a meia distância da superfície e do núcleo

Aço	Ataque	Tratamento Térmico	Microestrutura
AISI 01	Nital 3%	Recozimento	Matriz ferrítica com carbonetos finos dispersos

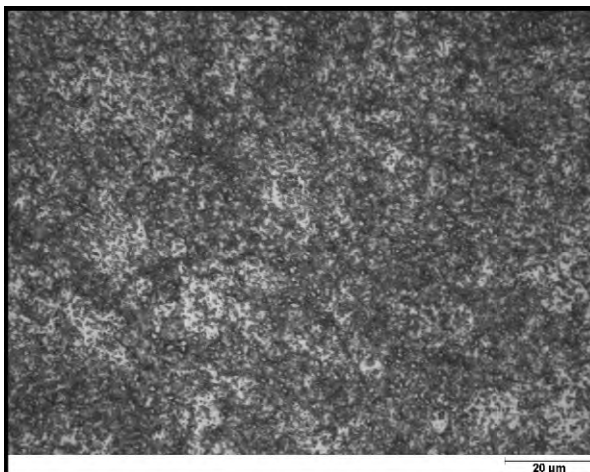


Figura 3 Corte transversal mostrando região a meia distância da superfície e do núcleo

A análise das figuras anteriores indica microestruturas finas, constituídas por carbonetos secundários oriundos de reações em estado sólido, em uma matriz ferrítica. Não há carbonetos primários visíveis nestas micrografias.

Não existem diferenças relevantes entre as regiões próximas à superfície e ao núcleo do aço em estudo, bem como nas secções longitudinal e transversal.

5 TÊMPERA E REVENIMENTO

TABELA 3

Ciclo de tratamento térmico aplicado ao AISI 01

Ciclo Térmico	Temperatura (°C)	Tempo (s)
	Têmpera	
Pré-aquecimento	400	7200
Austenitização	800	900
Patamar (em banho de sal)	160	10800
	Revenimento	
Revenimento #1	160	7200
Revenimento #2	300	10800

5.1 Dureza após têmpera e revenimento

TABELA 4

Dureza após o tratamento de têmpera e revenimento

Dureza HRC
58
57
58
57
58
Média = 57

5.2 Micrografias após têmpera

Aço	Ataque	Tratamento Térmico	Microestrutura
AISI 01	Marble	Têmpera	Matriz martensítica não revenida com pequena quantidade de finos carbonetos

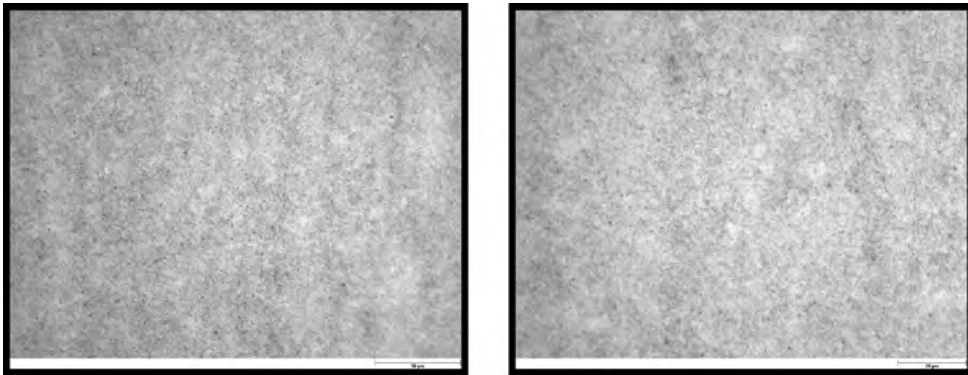


Figura 4 Corte longitudinal (esq.) corte transversal (dir.)

5.3 Micrografias após têmpera e revenimento

Aço	Ataque	Tratamento Térmico	Microestrutura
AISI 01	Nital 3%	Têmpera e revenimento	Matriz martensítica revenida com carbonetos finos



Figura 5 Corte transversal

Aço	Ataque	Tratamento Térmico	Microestrutura
AISI 01	Nital 3%	Têmpera e revenimento	Matriz martensítica revenida com carbonetos finos e pequena quantidade de carbonetos primários

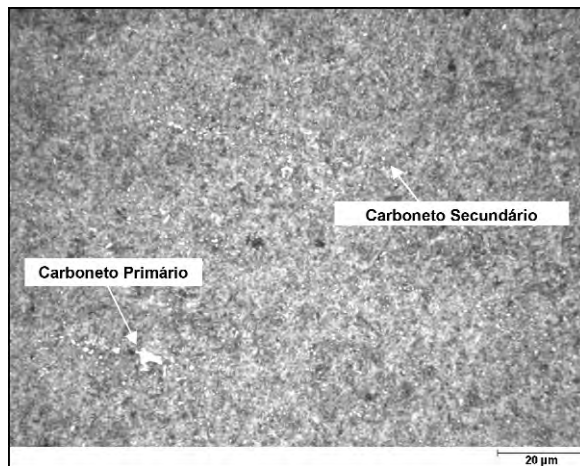


Figura 6 Corte transversal

Aço	Ataque	Tratamento Térmico	Microestrutura
AISI 01	Nital 5%	Têmpera	Matriz martensítica com carbonetos finos e pequena quantidade de carbonetos primários

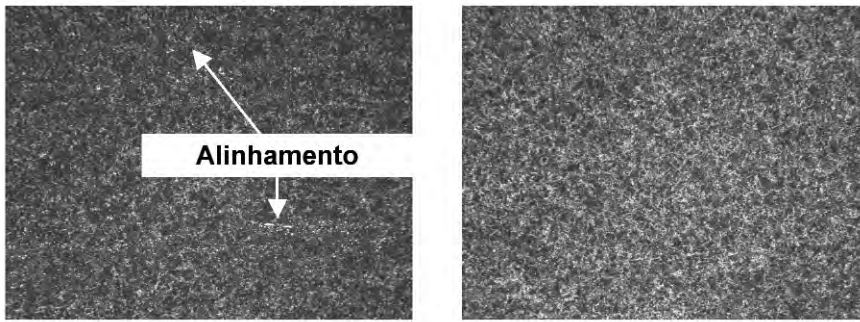


Figura 7 Microestruturas após têmpera (ataque forte de Nital 5%): corte longitudinal (esq.) e corte transversal (dir.). A secção longitudinal revela zonas com indícios de alinhamento de carbonetos na direção de conformação do aço.

6 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Corpos de prova para ensaios de tração e Charpy (sem entalhe) foram usinados conforme as recomendações das normas NBR 6152 e 6157, respectivamente, e tratados termicamente, visando a obtenção de durezas semelhantes, conforme os ciclos sugeridos pelos fabricantes e apresentados na Tabela 3.

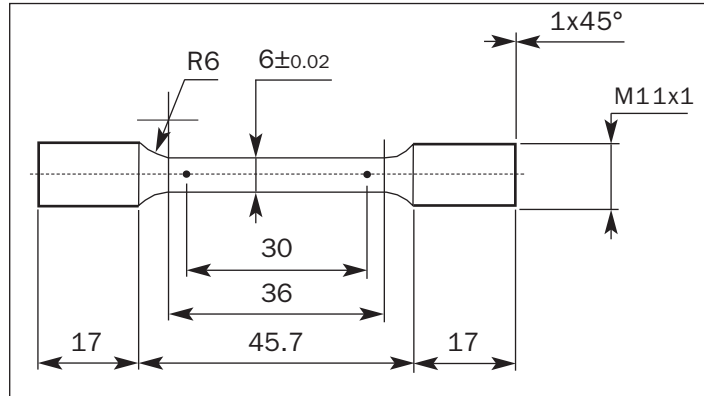


Figura 8 Dimensional do corpo de prova – ensaio de tração

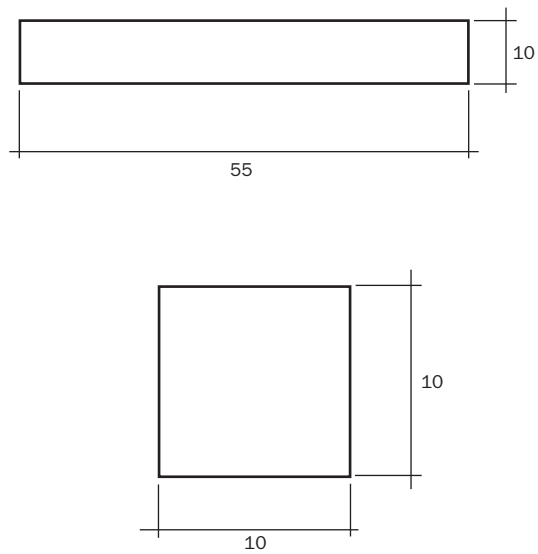


Figura 9 Dimensional do corpo de prova sem entalhe – ensaio Charpy

TABELA 5

Propriedades mecânicas do aço AISI O1
após tratamento térmico de temperatura e revenido

Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Tenacidade (Kpm)
2125	2276	5,7
2172	2316	9,1
2243*	2218*	6,5
2196	2516	10,0
2228	2426	8,7
2145	2310	6,8
2253	2321	6,5
2230	2383	5,4
-	2383	-
Média = 2199	Média = 2350	Média = 7,3

A Tabela 5, acima, indica valores constantes para as propriedades relacionadas à resistência. No entanto, visualiza-se grande variação no tocante a resistência ao impacto.

7 FRACTOGRAFIAS

Nas figuras a seguir são apresentadas as fractografias dos corpos de prova de tração.

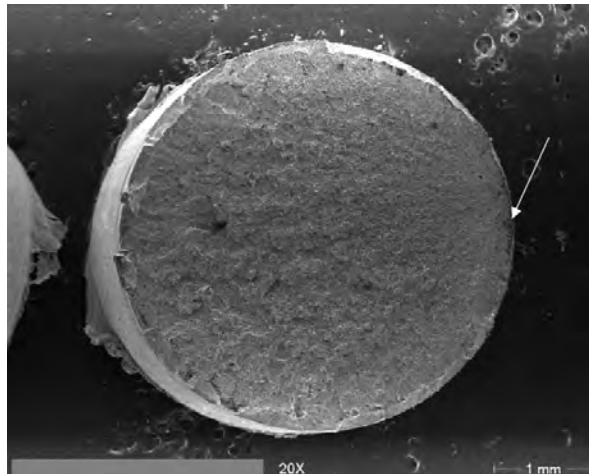


Figura 10 Fractografia mostrando a superfície de fratura do corpo de prova de tração indicado com asterisco na Tabela 5. Seta branca indicando região de início de fratura

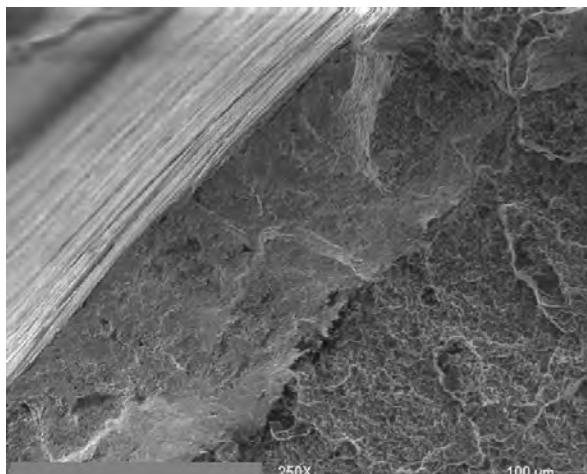


Figura 11 Detalhe da Figura 10 mostrando a região próxima à borda. É possível observar uma região de *shear lip* da ordem de 200µm muito bem definida

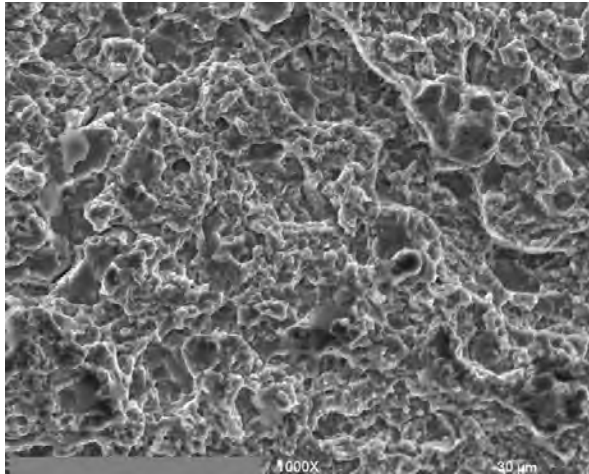


Figura 12 Detalhe da figura 10 mostrando a região de início da trinca. É possível observar mecanismo de fratura de quase clivagem apesar de se tratar de início de falha

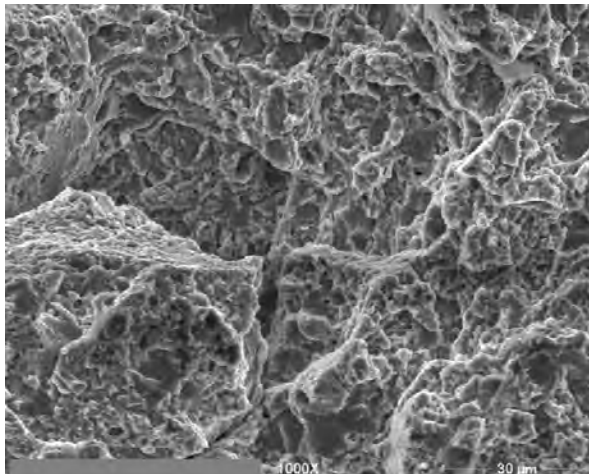


Figura 13 Detalhe da figura 10 mostrando a região de final da trinca. É possível observar mecanismo de fratura de quase clivagem, o que é típico para matriz ferrosa na condição de temperado e revenido em fratura correspondente à trinca já nucleada

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aço-ferramenta AISI 01 foi caracterizado metalograficamente nas condições microestruturais de recozido e de têmpera + revenido e testado mecanicamente nos testes de tração e impacto. A dureza e a composição química do aço se encontram conforme a especificação e os resultados do teste de tração, como limite de escoamento e resistência, apresentaram resultados constantes e coerentes aos usualmente encontrados neste aço. O teste charpy – impacto – mostrou certa variação nos resultados, fato que pode ser relacionado à dispersão heterogênea de carbonetos primários grosseiros na microestrutura do aço. Todos os testes mecânicos foram realizados na condição temperado e revenido do aço em estudo.

Quando submetido a esforços estáticos (tração) o aço apresentou mecanismo de fratura de quase clivagem, o que é típico para matriz ferrosa na condição de temperado e revenido em fratura correspondente à trinca já nucleada.

REFERÊNCIAS

1. Roberts, G.; Krauss, G.; Kennedy, R. Tool Steels, 5th ed, London, ASM, 1998.
2. Mahle, Relatórios Internos e Catálogos – Aços Ferramenta MMS – 2002-2003.
3. Costa e Silva, A. L.; Mei, P.R. Aços e Ligas Especiais, 2^a.Ed, 1988.
4. Krauss, G. Steels: Heat Treatment and Processing Principles.
5. Reed-Hill, R.E. Physical Metallurgy Principles, 2nd ed., London, 1973.
6. Hong, S.-H.; Bae, J.-S.; Kim, Y.-J. Effects of inclusions and tempering temperature on the life of a powder compacting punch. *Engineering Failure Analysis*, 10 (2003), 237-243.

