

ESTUDO DA RESISTÊNCIA A FLEXÃO E TENACIDADE DOS AÇOS AISI M2 E VILLARES VF800AT COM DIFERENTES REVENIMENTOS¹

José Divo Bressan²
Karollyne Steffane Correia³
Rafael Gomes König⁴
Luis Carlos Vieira⁵

Resumo

Este trabalho investiga a resistência à ruptura em flexão e a energia de ruptura por impacto Charpy dos aços ferramenta AISI M2 e Villares VF800AT temperados e com quatro revenimentos seguidos, e portanto, vários valores de resistência a flexão, dureza e tenacidade foram estudados. Os ensaios de impacto foram realizados a temperatura ambiente em 12 corpos de prova padrão tipo NADCA/USA sem entalhe para cada tipo de aço ferramenta temperado e revenido. Todos tinham geometria de uma barra retangular de secção transversal 7 mm x 10 mm, ensaiados até a ruptura na máquina de ensaio de impacto tipo Charpy, utilizando-se a escala de 165 Joules. Os ensaios quase-estático de flexão a três pontos foram realizados a temperatura ambiente em 12 corpos de prova padrão de cada aço e com geometria de eixo de diâmetro 7 mm e comprimento total de 60 mm, ensaiados sob carregamento estático até a ruptura na máquina universal de ensaios, utilizando-se a escala de 30 ton e precisão de 30 kgf. Dos resultados experimentais obtidos deste ensaio de flexão a três pontos, os maiores valores de carga de ruptura e tensão de ruptura para os aços M2 e VF800AT foram na faixa de dureza 61 a 63 HRC: o aço Villares VF800AT apresentou tensão média de ruptura de 2.365 MPa e o aço M2 foi de 2.105 MPa. Os maiores valores de energia de ruptura por impacto, foram para os aços M2 e VF800AT na faixa de dureza 59 a 61 HRC que apresentaram energia média de ruptura de aproximadamente 70 J para ambos aços. Os mecanismos de fratura dos aços também foram investigados por meio do MEV e são mostrados em micrografias da superfície de fratura das amostras ensaiadas.

Palavras-chave: Ensaio de impacto; Resistência a flexão; Aço M2; Aço VF800AT.

STUDY OF BENDING STRENGTH AND TOUGHNESS OF AISI M2 AND VILLARES VF800AT TOOL STEELS WITH DIFFERENT TEMPERING TEMPERATURES

Abstract

This work investigates the bending strength to rupture and the fracture energy by Charpy impact testing of AISI M2 and Villares VF800AT tool steels quenched and tempered with four different conditions, and thus, various bending strength, hardness and toughness values were examined. Impact testing were carried out at room temperature for 12 specimens type NADCA/USA standard without notch for each tool steel. All specimens geometry were rectangular beams with transversal section of 7 mm x 10 mm tested in the Charpy impact testing machine, using the 165 Joule measuring scale. The static three point bending tests were performed at room temperature on 12 specimens for each tool steel and each one with diameter of 7 mm and total length of 60 mm, tested under static loading up to rupture in the universal test, using a 30 ton scale and accuracy of 30 kgf. From the experimental results obtained in the three point bending test, the largest values of rupture load and the rupture stress for the M2 and VF800AT steels were in the hardness range of 61 to 63 HRC: the Villares VF800AT steel presented a mean rupture stress of 2.365 MPa and the M2 steel were 2.105 MPa. The largest values of impact rupture energy were for both steels with 59 to 61 HRC which showed the mean rupture energy of approximately 70 J for both tool steels. Fracture mechanisms of these steel were also investigated by MEV and are seen in micrographs of the specimen fractured surface.

Key words: Impact testing; Bending strength; AISI M2; VF800AT steel.

¹ Contribuição técnica ao 7º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 15 e 16 de julho de 2009, São Paulo, SP.

² Professor do Departamento de Engenharia Mecânica - CCT - Udesc Joinville – Campus Universitário, 89.223-100 – Joinville/SC – Brasil. email: dem2jdb@joinville.udesc.br

³ Engenheira de Materiais - UFSC. email: karol_ksc@yahoo.com.br

⁴ Técnico em processos Industriais – Senai/Univille. email: luis.vieira@senaibr

⁵ Mestre em Engenharia de Materiais- UFSC. email: rafael.gomes@sociesc.org.br

1 INTRODUÇÃO

O aço rápido AISI M2 é o aço muito utilizado na fabricação de ferramental de corte a frio de metais como serras, brocas para furação de metais, matrizes e punções de conformação a frio de metais devido a sua elevada dureza, resistência mecânica e resistência ao desgaste: este aço é conhecido por sua elevada tensão limite de ruptura dentre os aços ferramenta. Este material é fornecido pelos distribuidores no estado encruado ou normalizado na forma de barras e com dureza Rockwell C entre 30 HRC e 35 HRC. Após tratamento de recozimento pleno a dureza diminui e cai entre 20 HRC e 25 HRC a partir do qual é confeccionado o ferramental por usinagem e eletroerosão e, em seguida, realizam-se os tratamentos térmicos posteriores de tempera e revenimentos, atingindo-se durezas entre 59 HRC a 65 HRC e tensão limite de ruptura de até 2.700 Mpa.⁽¹⁾

O aço Villares VF800AT, do mesmo tipo de aplicação do aço AISI D2, é um aço com maiores teores dos elementos de liga Cr e Nb, apresenta alta tenacidade e resistência ao desgaste após o tratamento térmico final. Tem sido uma solução recomendada quando a combinação entre elevada dureza, resistência ao desgaste e tenacidade são fundamentais. Este material é fornecido no estado encruado com dureza aproximada de 20 HRC e, após recozimento e menor dureza, apresenta usinabilidade semelhante ao aço D2 recozido. Após tratamento de tempera e revenimentos, o aço VF800AT poderá atingir dureza entre 58 a 63 HRC e tensão limite de ruptura de até 4.000 Mpa.^(1,2) A Tabela 1 apresenta a composição química dos aços ferramentas do presente trabalho e outros dois aços de mesma aplicação.

Tabela 1. Composição química de aços ferramenta para trabalho a frio^(1,2)

Material	%C	%Mn	%Cr	%Mo	%W	%V	%Si	%Nb
VM2	0,80	0,20	4,10	4,90	6,00	2,00	0,30	-
VD2	1,50	0,30	12,0	0,95	-	0,90	-	-
VD6	2,10	0,30	11,5	-	0,70	0,20	-	-
VF800AT	0,85	0,40	8,5	2,00	-	0,50	1,00	0,15

Em serviço, nas operações industriais de conformação de metal a frio como o corte e a conformação de metais, a maioria do ferramental é submetido a cargas extremamente altas e rápidas. O ferramental deve suportar estas cargas elevadas um grande número de vezes sem quebrar, sofrer desgaste excessivo ou deformar. Em geral, podem-se verificar cinco tipos básicos de mecanismos de falha no ferramental que são:⁽³⁾ *desgaste, lascamento, deformação plástica permanente, caldeamento ou aderência e trinca catastrófica*. Portanto, o desempenho de aços ferramenta para trabalho à frio está relacionado com as seguintes propriedades mecânicas: dureza, resistência ao desgaste, tensão limite de escoamento, tensão limite de fadiga, tenacidade à fratura e módulo de elasticidade. Ou seja, devido ao tipo de solicitação que ocorrem no ferramental nas operações de corte e conformação de metais, é necessário que o material do ferramental tenha propriedades diferenciadas como alta dureza, elevada rigidez, elevada resistência ao desgaste e a fadiga, e elevada tenacidade. O material da ferramenta pode conter micro-trincas ou micro-defeitos, superficiais ou no seu interior originários dos processos de fabricação do material, da ferramenta ou do tratamento térmico, conduzindo às rupturas. Essas micro-trincas podem ser consideradas estáveis se a

propriedade mecânica tenacidade à fratura for suficientemente elevada. Portanto, o material do ferramental não é exclusivamente selecionado por suas propriedades mecânicas elevadas, mas também por sua limpeza e homogeneidade da microestrutura.

1.1 O Tratamento Térmico em Aços Ferramenta

O tratamento térmico dos aços após a fabricação do ferramental é realizado com a finalidade de conferir propriedades mecânicas elevadas por meio da modificação da microestrutura do material e, conseqüentemente, influenciar no desempenho em serviço dos aços ferramenta. Porém, muitas das falhas prematuras de ferramentas é resultado de um tratamento térmico incorreto: *“Estima-se que cerca de 70% das falhas prematuras de ferramentas tem como causa as falhas de tratamento térmico”*.⁽²⁾

As propriedades mecânicas finais do aço ferramenta após o tratamento térmico, como a dureza, resistência ao desgaste, ductilidade e tenacidade são grandemente dependente do processamento térmico utilizado: ciclo de aquecimento, temperatura de austenitização, velocidade de resfriamento e ciclo de revenimentos.^(2,3) Ou seja, as propriedades mecânicas finais do material dependem da sua microestrutura que, por sua vez, depende das condições de temperatura, tempo e taxa de aquecimento e resfriamento do processo térmico. A microestrutura de um aço ferramenta, após o revenimento, pode estar constituída de duas ou mais das seguintes fases: ferrita, martensita, austenita retida, carbeto complexos e bainita. A curva de dureza final dos principais aços ferramenta em função da temperatura de revenimento apresenta um pico de dureza em torno de 550°C. Para ambos os aços M2 e VF800AT isto é devido a precipitação de carbeto complexos (Mo_2C , W_2C , VC), conhecido como endurecimento secundário que confere dureza ao aço sob altas temperaturas de até 550°C.

O presente trabalho apresenta um estudo comparativo da resistência à ruptura em flexão e da energia de fratura por impacto entre os aços ferramenta AISI M2 e VF800AT, ambos com tratamento térmico de tempera e três a quatro revenimentos. Para isto utilizaram-se os ensaios de impacto Charpy conforme a norma NADCA e de flexão estática a três pontos conforme a norma ASTM.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E MATERIAIS

2.1 Preparação dos Corpos de Prova de Ensaio de Flexão Estática

Os corpos de provas para os ensaios realizados foram obtidos de barras laminadas e fornecidas pela Villares Metal. Foram utilizados 24 corpos de prova padrão de aços ferramenta temperado e revenido: AISI M2 e Villares VF800AT, conforme Tabelas 2 a 5. Todos tinham geometria de um eixo de diâmetro 7 mm, ensaiados sob carregamento quase-estático até a ruptura na máquina universal de ensaio de flexão simples a três pontos para obtenção da carga de ruptura e tensão de ruptura, utilizando-se a escala de 30 ton e precisão de 30 kgf. Os corpos de prova tinham as seguintes dimensões nominais:

- ♥ comprimento total do eixo: 60 mm; e
- ♥ diâmetro do eixo: 7 mm.

2.2 Preparação dos Corpos de Prova de Ensaio de Impacto NADCA

Foram utilizados 24 corpos de prova padrão NADCA/USA,⁽⁴⁾ na forma de uma barra sem entalhe de aços ferramenta temperado e revenido: AISI M2 e Villares VF800AT, conforme Tabelas 2 a 5. Todos tinham geometria de barra retangular de secção transversal 7 mm x 10 mm, e ensaiados até a ruptura na máquina de ensaio de impacto Charpy por flexão simples da amostra para obtenção da energia de ruptura por impacto, utilizando-se a escala de 165 Joules. Os corpos de prova tinham as seguintes dimensões geométricas nominais vistas na Figura 1, conforme norma padrão:

- ♥ comprimento total: 55 mm;
- ♥ comprimento da parte útil: 40 mm;
- ♥ largura : 7 mm;
- ♥ altura : 10 mm; e
- ♥ entalhe: sem entalhe.

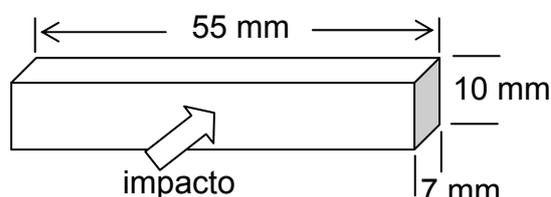


Figura 1. Dimensões para o corpo de prova para ensaio de impacto de Charpy conforme norma NADCA.

Tabela 2. Condições do tratamento térmico da tempera de todas as amostras do aço Villares VF800AT

Tratamento Térmico	Aço ferramenta VF800AT	
	Temperatura	Tempo (h)
1 ^o pré-aquec.	450 °C	01:00
2 ^o pré-aquec.	820 °C	00:20
Austenitização	1030 °C	00:25
Resfriamento	530 °C	00:05

Tabela 3. Condições do revenimento de cada barra de aço VF800AT e dureza obtida

Tratamento Térmico	Tempo	barras 1A, 1B, 1D, 1C	barras 2A, 2B, 2D, 2C	barras 3A, 3B, 3D, 3C
		Temperatura		
1 ^o Revenimento	02:00	530 °C	530 °C	530 °C
2 ^o Revenimento	03:00	550 °C	540 °C	530 °C
3 ^o Revenimento	02:00	540 °C	530 °C	530 °C
Resfriamento	Ar			
Dureza HRC		57-59	59-61	61-63

Tabela 4. Condições do tratamento térmico da tempera de todas as amostras do aço Villares VM2

Tratamento Térmico	Aço ferramenta VM2	
	Temperatura	Tempo (h)
1 ^o pré-aquec.	450 °C	01:00
2 ^o pré-aquec.	800 °C	00:15
3 ^o pré-aquec.	920 °C	00:10
Austenitização	1170 °C	02:50
Resfriamento	530 °C	00:05

Tabela 5. Condições do revenimento de cada barra de aço VM2 e dureza obtida

Tratamento Térmico	Tempo	barras	barras	barras
		1A, 1B, 1D, 1C	2A, 2B, 2D, 2C	3A, 3B, 3D, 3C
Temperatura				
1º Revenimento	02:00	530 °C	530 °C	530 °C
2º Revenimento	02:00	550 °C	550 °C	550 °C
3º Revenimento	03:00	620 °C	605 °C	580 °C
4º Revenimento	02:00	600 °C	580 °C	560 °C
Resfriamento	Ar			
Dureza HRC		57-59	59-61	61-63

2.3 Procedimentos do Ensaio de Flexão Estática

Os corpos de prova na forma de eixo de diâmetro 7 mm foram ensaiados sob carregamento quase-estático até a ruptura na máquina universal de ensaios mecânicos por meio de flexão simples a três pontos para obtenção da carga de ruptura e tensão de ruptura, utilizando-se a escala de 30 ton e precisão de 30 kgf. A velocidade de aplicação da carga foi de 1 mm/min.

Os ensaios foram realizados a temperatura ambiente de aproximadamente 25°C. Colocou-se o corpo de prova tipo eixo no apoio de amostra do equipamento de ensaio de flexão para o ensaio estático de flexão a três pontos. A distância entre apoios foi de 53,54 mm. A carga de ruptura de cada amostra foi registrada por meio de um computador e software conectado a célula de carga. A tensão de ruptura em flexão foi calculada com a seguinte equação,

$$\sigma_{rup} = \frac{4 P_{rup} L}{\pi d^3} \cdot 9,8 \text{ (MPa)} \quad (1)$$

onde P_{rup} é a carga de ruptura (Kgf), L é a distância entre apoios (53,54 mm) e d o diâmetro do eixo (7 mm). Os resultados da tensão de ruptura estão na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados da Carga de Ruptura e Tensão de Ruptura no Ensaio de Flexão a Três Pontos dos Aços AISI M2 e VF800AT Temperados e com 4 ou 3 Revenimentos respectivamente

CPD	Aço M2				Aço VF800AT			
	Diâmetro (mm)	Área (mm ²)	Carga de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	diâmetro (mm)	Área (mm ²)	Carga de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)
57-59 HRC								
1A	6,941	1050,55	984	1.965,8	6,974	1065,60	1025	2.018,8
1B	6,976	1066,52	884	1.739,6	7,010	1082,19	910	1.764,8
1C	6,976	1066,52	885	1.741,6	6,908	1035,64	1112	2.253,5
1D	6,990	1072,95	1004	1.963,9	6,994	1074,80	998	1.948,8
59-61HRC								
2A	6,995	1075,26	1084	2.115,8	6,938	1049,19	1020	2.040,4
2B	6,990	1072,95	874	1.709,6	6,927	1044,20	1101	2.212,9
2C	7,010	1082,19	972	1.885,1	7,002	1078,49	908	1.767,0
2D	7,041	1096,61	1188	2.273,7	7,011	1082,65	1040	2.016,1
61-63 HRC								
3A	7,003	1078,95	1144	2.225,3	7,017	1085,44	1225	2.368,6
3B	7,030	1091,48	904	1.738,3	6,951	1055,10	1236	2.458,6
3C	7,083	1116,35	1166	2.192,1	7,020	1086,83	1259	2.431,2
3D	7,056	1103,64	1191	2.264,9	6,988	1072,03	1124	2.200,5

2.4 Procedimentos do Ensaio de Impacto NADCA

Os ensaios foram realizados a temperatura ambiente de aproximadamente 25°C. Colocou-se os corpos de prova tipo NADCA no apoio de amostra do equipamento de pêndulo Charpy para o ensaio de impacto por flexão a três pontos. A distancia entre apoios foi de 40 mm. O impacto do martelo Charpy foi realizado com a amostra posicionada com sua altura 10 mm na vertical, conforme recomendações da NADCA.⁽⁴⁾ A energia de ruptura de cada amostra foi registrada através do ponteiro marcador do pêndulo com escala de 0 a 165 Joules. Os resultados da energia de ruptura de cada amostra estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Resultados da Energia de Ruptura por Impacto Charpy em corpo de prova tipo NADCA do aço VF800AT e aço VM2 Temperados e com 4 ou 3 Revenimentos respectivamente

CPD	Aço M2					Aço VF800AT				
	A (mm)	B (mm)	Área (mm ²)	Energia (J)	Energ/área (J/mm ²)	A (mm)	B (mm)	Área (mm ²)	Energia (J)	Energ/área (J/mm ²)
57-59 HRC										
1A	9,919	6,989	69,324	30	0,433	9,946	6,824	67,872	50	0,737
1B	9,929	6,984	69,344	25	0,361	9,938	6,814	67,718	59	0,871
1C	9,785	6,961	68,113	28	0,411	9,938	6,839	67,966	52	0,765
1D	9,925	6,99	69,376	22	0,317	9,929	6,826	67,775	84	1,239
59-61 HRC										
2A	9,783	6,960	68,090	72	1,057	9,945	6,927	68,889	69	1,002
2B	9,780	6,950	67,971	74	1,089	9,954	6,919	68,872	68	0,987
2C	9,793	6,967	68,228	75	1,099	9,969	6,919	68,976	56	0,812
2D	9,926	6,983	69,313	77	1,111	9,960	6,917	68,893	84	1,219
61-63 HRC										
3A	9,906	6,974	69,084	49	0,709	9,908	6,949	68,851	12	0,174
3B	9,908	6,954	68,900	14	0,203	9,907	6,938	68,735	9	0,131
3C	9,904	6,963	68,962	18	0,261	9,906	6,951	68,857	12	0,174
3D	9,914	6,961	69,011	142 *	2,058	9,897	6,945	68,735	11,5	0,167

* Obs.: valor descartado.

2.5 Procedimentos do Ensaio Metalográfico

Para a preparação dos corpos de prova, os mesmos foram embutidos a quente com baquelite. Após esta etapa foram lixados na seguinte sequência de lixas: 120 #, 220 #, 400 #, 600 # e 1.200 #. Seguido de polimento com suspensão de alumina 1 µm. O ataque químico foi realizado com Nital 10% por aproximadamente 5 segundos ou até obter uma superfície fosca. Para análise de imagens foi usado um microscópio Olympus.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2, comparam-se a tensão média de ruptura de flexão a três pontos dos aços AISI M2 e VF800AT temperado e revenido para as diferentes durezas HRC obtidas. Os valores experimentais de cada corpo de prova do ensaio de flexão a três pontos quase-estático desses aços são mostrados na Tabela 6. Observa-se que a tensão de ruptura aumenta linearmente com a dureza. Ambos os aços mostram tensão média de ruptura muito próximas, com exceção para a faixa de dureza de 61-63 HRC em que o aço VF800AT tem tensão média de ruptura superior e de 2.365 MPa. Entretanto, este valor é bem inferior a tensão de ruptura por flexão de 4000 MPa reportado por Mesquita et al.⁽²⁾ para este aço com dois revenimentos. Portanto,

esta resistência inferior é possivelmente devido aos quatro revenimentos utilizados no presente trabalho e a presença na microestrutura de carbeto primários e secundários agrupados e alinhados, conforme visto na Figura 6.

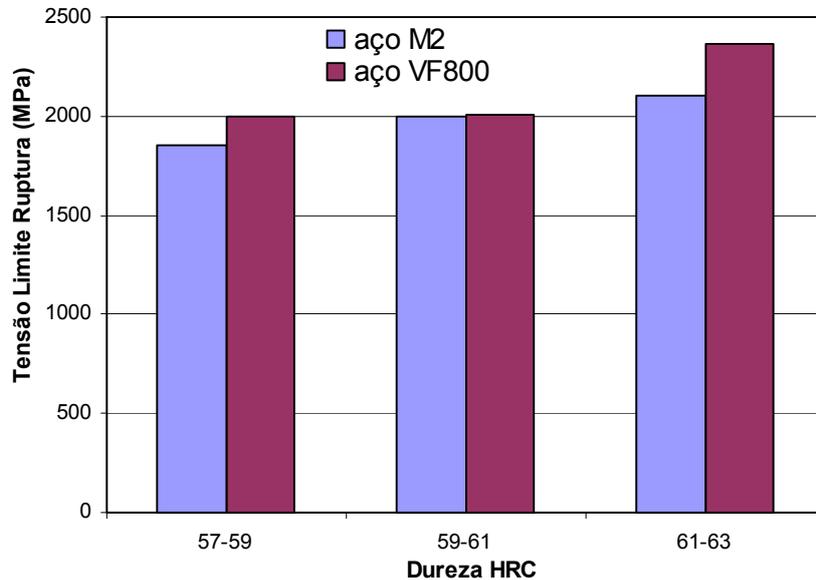


Figura 2. Tensão média de ruptura em função da dureza HRC dos aços M2 e VF800AT.

A comparação da energia média de ruptura do ensaio de impacto Charpy e norma NADCA para os aços AISI M2 e VF800AT temperado e revenido estão apresentados na Figura 3. Observa-se uma queda aguda na energia de ruptura por impacto ou tenacidade do material para a maior faixa de dureza de 61-63 HRC, comprovando ser material muito frágil. A maior energia de ruptura encontra-se na faixa de dureza de 59-61 HRC : ambos os aços com energia de ruptura de aproximadamente 70 J.

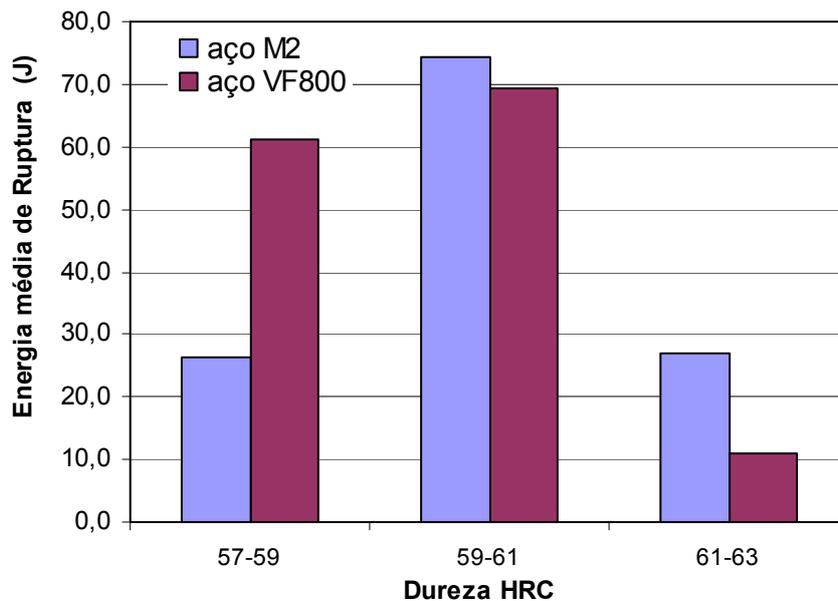


Figura 3. Energia média de ruptura em função da dureza HRC dos aços M2 e VF800AT no ensaio de impacto tipo NADCA.

A Figura 4 mostra que a energia de ruptura por área transversal em função da dureza segue a mesma tendência da energia de ruptura da Figura 3. Comparando-se a tensão de ruptura e energia de ruptura para cada faixa de dureza no mesmo gráfico na Figura 5, observa-se que a tensão de ruptura sempre aumenta com a dureza para ambos os aços, mas a energia de ruptura na faixa de 61 a 63 HRC cai fortemente mais de 70% : de 70 J para próximo de 20 J. No caso do VF800, isto foi devido ao tratamento térmico de revenimento não adequado e formação de carbeto primários alongados e agrupados como visto na micrografia da Figura 6. Nesta Figura 6, é possível visualizar as microestruturas de cada faixa de dureza dos aços VF800 e M2.

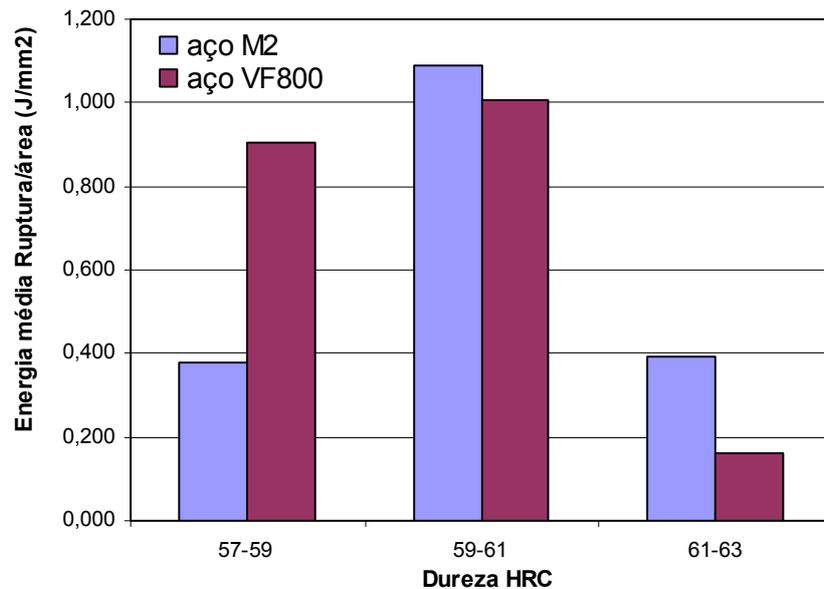


Figura 4. Energia média de ruptura por área transversal em função da dureza HRC dos aços M2 e VF800AT no ensaio de impacto tipo NADCA.

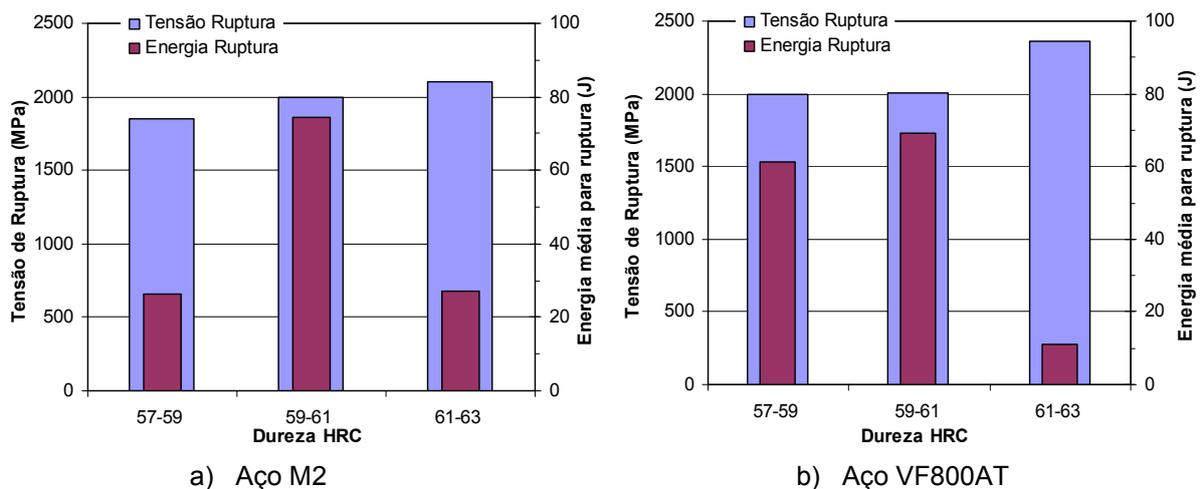


Figura 5. Comparativos da Tensão e Energia médias de ruptura em função da dureza HRC para os aços M2 e VF800AT temperados e com revenimentos.

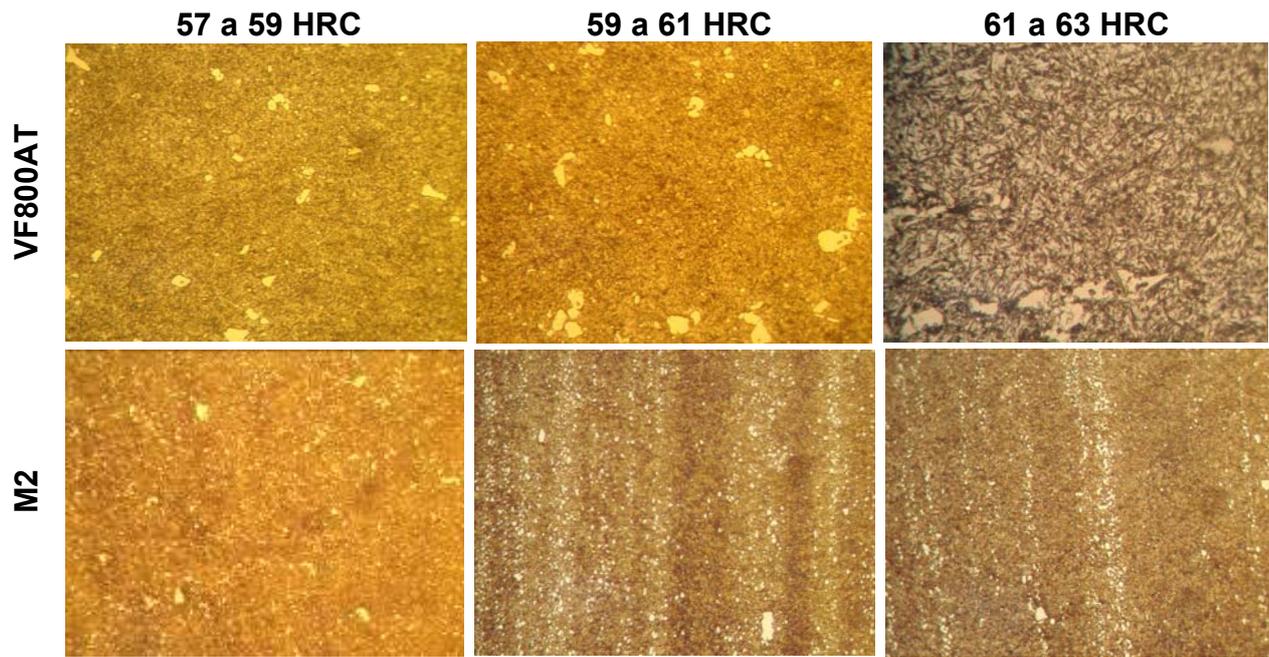
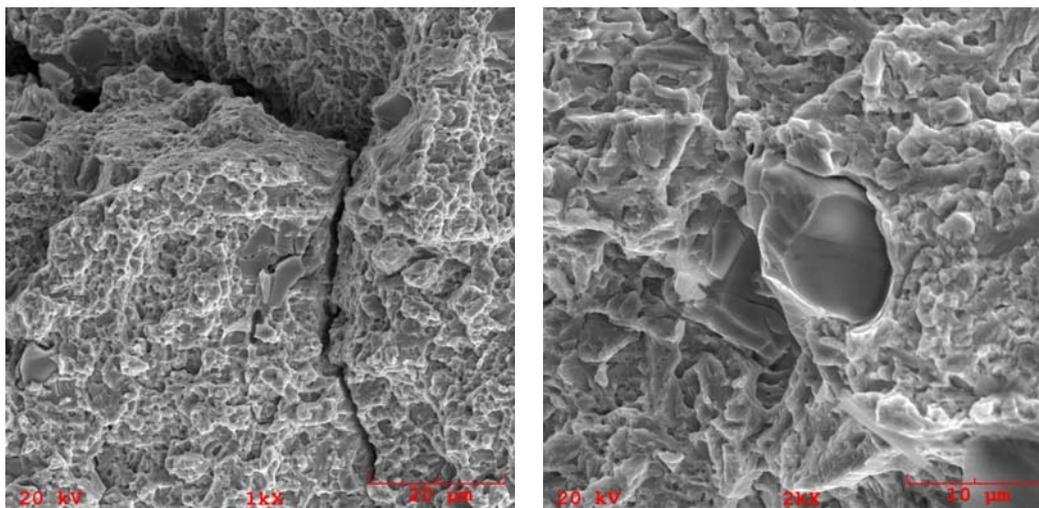


Figura 6. Micrografias dos aços VF800 e AISI M2. Aumento 400x. Para o VF800 pode-se perceber que para as duas primeiras imagens obteve-se uma matriz constituída de martensita revenida e uma média concentração de carbonetos primários grandes dispersos. Já para a terceira imagem, dureza de 61 a 63 HRC, é possível perceber que a peça não foi revenida, onde a matriz é constituída de martensita grosseira e carbonetos primários alongados e agrupados. Nas imagens obtidas para o M2, é possível perceber uma maior concentração de carbonetos secundários pequenos e alguns carbonetos primários maiores, todos distribuídos homoganeamente nas amostras de dureza 57-59 HRC e 59-61 HRC. Porém, na dureza 61-63 HRC, notam-se o agrupamento de carbonetos pequenos em faixas, facilitando a fratura.

a) VF800 61 a 63 HRC. Aumento 1000x e 2000x.



b) M2 61 a 63 HRC. Aumento 1000x.

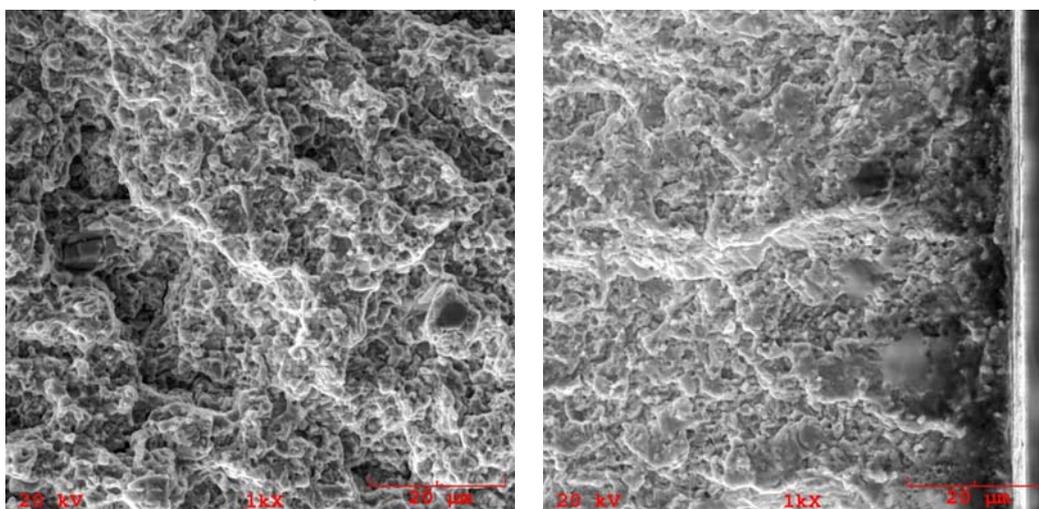


Figura 7. Superfícies de fratura dos aços VF800AT e M2 obtidas no MEV das amostras do ensaio Charpy. Para o VF800, na imagem da esquerda observam-se o aspecto da fratura frágil e presença de uma microtrinca; na imagem da direita e clivagem de um carbeto primário. Para o M2, mostra-se a fratura frágil, distribuição de carbeto finos e microtrincas menores.

Os mecanismos de fratura frágil dos aços VF800AT e M2 na faixa de dureza de 61 HRC a 63 HRC foram investigados com o auxílio do MEV e são apresentados na Figura 7 por meio de micrografias da superfície de fratura das amostras do ensaio Charpy. No caso do aço VF800AT, notam-se a presença de uma microtrinca transversal e reta, que corta os grãos e carbeto na imagem a esquerda. Na imagem a direita, observa-se também a clivagem de alguns carbeto maiores. A propagação de uma trinca reta na microestrutura indica baixa energia de fratura como visto no gráfico de energia de ruptura da Figura 5. Isto pode ter sido originado do alinhamento dos carbeto devido a laminação da barra inicial. No caso do M2, observam-se também microtrincas menores e fratura frágil devido a separação dos carbeto secundários da matriz metálica. Observam-se também fratura por clivagem de carbeto primários maiores.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais dos ensaios de flexão estática e de impacto Charpy dos aços ferramenta Villares VF800AT e AISI M2, ambos temperados e com 3 e 4 revenimentos respectivamente, e nas observações da microestrutura no microscópio ótico e superfície de fratura no MEV, as seguintes conclusões podem ser ditas:

- a) a tensão média de ruptura sempre aumentou com a dureza para ambos os aços.
- b) a maior tensão média de ruptura em flexão estática para o aço VF800AT foi de 2.365 MPa e do aço M2 de 2.105 MPa, ambos aços com dureza de 61 a 63 HRC.
- c) a maior energia de fratura ou tenacidade foi para a dureza de 59 a 61 HRC: ambos os aços tiveram energia média de fratura por impacto Charpy de 70 J ou 1,0 J/mm². Nesta faixa de dureza ambos os aços apresentaram a tensão média de ruptura iguais e de 2000 MPa.
- d) a menor energia de fratura ocorreu para a dureza de 61 a 63 HRC, com queda de mais de 70% da energia de ruptura em relação a dureza de 59 a 61 HRC: o aço VF800AT apresentou energia média de ruptura de 11 J e o aço M2 foi de 27 J.
- e) a provável causa do baixo valor de energia de ruptura ou baixa tenacidade na dureza de 61 a 63 HRC de ambos aços foi a presença na microestrutura de carbeto primários e secundários agrupados e alinhados, facilitando o processo de fratura por propagação de microtrinca nesta região mais frágil.
- f) o agrupamento de carbeto primários ou secundários ocorreu possivelmente devido ao processo de laminação da barra ou matéria prima inicial.
- g) os mecanismos de fratura das amostras do ensaio de impacto Charpy para ambos aços foi a fratura frágil por clivagem dos grãos e carbeto e fratura intergranular.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o suporte financeiro recebido do CNPq na forma de bolsas de pesquisa e a Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

REFERÊNCIAS

- 1 Mesquita, R. A. e Barbosa, C. A. , Aços de alta tenacidade para matrizes de trabalho a frio. In: 1º. Encontro de Integrantes da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes, outubro/2003, São Paulo, pg. 1-10.
- 2 Mesquita, R. A. ; Leiva, D. R. e Barbosa, C. A. Estudos de tratamento térmico nos aços ferramenta VH13ISO e VF800AT. In: 3º Encontro da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes, agosto/2005, São Paulo, pg. 1-9.
- 3 Bressan, J. D.; Lopez, K.; Leite, A. L. e Mesquita, R. A., Estudo da resistência ao desgaste do aço Villares VF800AT com diferentes revenimentos. In: 6º Encontro da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes, agosto/2005, São Paulo, pg. 1-13.
- 4 North American Die Casting Association. **NADCA no 207/90**: Premium quality H13 steel acceptance criteria for pressure die casting. River Grove, 1990.