

OS MATERIAIS DAS FERRAMENTAS USADAS NA USINAGEM DA MADEIRA
 (UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA)

WILLI JOHANN GOTTLÖB *

Deptº. Engenharia Mecânica-UNESP-Bauru-Cx.P.473-17033-Bauru-SP

ROSALVO TIAGO RUFFINO 030600

Deptº. Engenharia Mecânica - EESC - Cx.P.359-13.560-São Carlos-SP

SUMÁRIO

O metal duro pelas suas propriedades físicas deveria apresentar um bom desempenho na usinagem da madeira, no entanto seu cimento de cobalto é corroído pelos extractos da madeira. O uso do stellite pode apresentar uma vida mais longa. A adição de cromo ao cobalto melhora sua resistência ao ataque químico, mas carbonetos de tungstênio, com grãos mais finos, desgastam-se menos devido à redução do espaço interparticular. O revestimento das pastilhas com carboneto de titânio piora o desempenho, mas a boretação tem apresentado bons resultados.

Os mecanismos de desgaste das ferramentas usadas na usinagem da madeira são diferentes, tratando-se de madeira seca ou tratando-se de madeira verde ou úmida.

No corte da madeira seca, o mecanismo de desgaste é abrasivo, enquanto que no corte da madeira verde é abrasivo e corrosivo.

No corte de produtos vegetais, o pH tem grande influência no desempenho da ferramenta: pH abaixo de 4,0 a 4,3 da madeira representa o limite inferior, abaixo do qual a velocidade do ataque químico aumenta bastante (Farmer 1982). Valores de pH de algumas madeiras são apresentadas no apêndice.

TSAI & KLAMECKI (1980) tentaram separar o mecanismo abrasivo e eletroquímico do desgaste da ferramenta no corte da madeira.

Quando se processa madeira verde, tanto a fase sólida como a fase líquida interagem com a ferramenta.

No procedimento experimental, eles mediram o aumento do desgaste da superfície de folga com o tempo de trabalho numa ferramenta de aço rápido, usada no torneamento do Cedro Califórnia e do Pinho Ponderosa. Eles mostraram que existem valores diferentes para as constantes C e n da equação de Taylor $V.T^n = C$, para cada par de ferramenta peça-obra. C é a constante de abrasividade e n ligado à corrosividade da madeira.

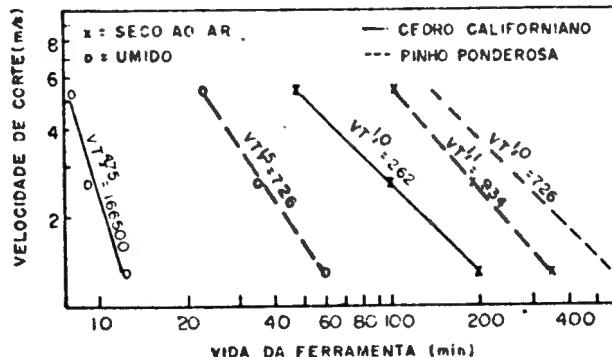


Figura 1. Vida da ferramenta versus velocidade de corte TSAI & KLAMECKI (1980).

Analizando-se esta figura, fica evidente que o Cedro Califórnia úmido desgasta mais rapidamente a ferramenta. A constante de abrasividade C, neste caso é 166500 e n é de 4,75, enquanto esta mesma madeira seca ao ar C é 262 e n = 1,0. No corte do Pinho Ponderosa, o desempenho da ferramenta é bem melhor, quando a madeira é úmida C é 726 e n é 1,5 e quando é seca o ar C é 934 e n é 1,1. Nesta figura, também se representa uma reta tracejada curta, com

constante C igual a 726 e expoente n 1,0 (teórica), que representa o corte do Pinho Ponderosa seco e sem corrosividade.

KIRBACH & CHOW (1978) observaram grandes velocidades de desgaste do carboneto de tungstênio no corte do Cedro Vermelho, que são atribuídas à corrosão química, devido a seus extractos, que são compostos altamente reativos, capazes de formar complexos organometálicos. Os extractos desta madeira atacam a matriz de cobalto do carboneto de tungstênio, deixando os grãos de carbonetos livres, que são posteriormente removidos por ação abrasiva da madeira.

Estes pesquisadores, preocupados com estes fenômenos químicos e eletroquímicos, efetuaram ensaios de reatividade do cobalto puro e com pastilhas de carboneto de tungstênio cimentado com cobalto, com extractos do Cedro Vermelho. Os resultados das reações químicas mostraram que os três extractos alfa, beta e gamma (thujaplicin) e beta thujaplicinol e o ácido plicatíco causam perda de peso no cobalto puro 99% e em pastilhas novas e usadas de carboneto de tungstênio e concluíram que o ácido plicatíco é o principal responsável pela corrosão dos metais.

KIRBACH e BONAC (1977) tentando contornar o problema da corrosão química da matriz de cobalto das ferramentas de carboneto de tungstênio, revestiram estas pastilhas com carboneto de titânio, mas não obtiveram sucesso.

A retração das arestas de corte dos dentes das serras revestidas aumentou, a rugosidade das superfícies geradas também aumentou e as forças de corte atuantes nos dentes da serra passaram a ser maiores.

A perda da fina afiação da aresta de corte parece ser a principal razão para a diferença inicial na força de corte. As velocidades de cegamento dos dentes revestidos e não revestidos são aproximadamente iguais.

Durante o processo de deposição, o material de revestimento destrói a fina afiação das arestas de corte porque o carboneto de titânio fica soldado ao longo das arestas, como depósitos arredondados.

O revestimento de carboneto de titânio não reduz o ataque químico do material base; provavelmente os extractos da madeira penetram por micro-fissuras do revestimento aplicado.

Estes mesmos autores, em 1982, estudaram o desempenho de dois stellites, 12 e 20 e duas ligas base de níquel, Deloro 50 e Deloro 60 no corte do Cedro Vermelho, e compararam suas velocidades de desgaste com serras de aço convencional. O menor desgaste foi observado com a liga de stellite 12, que é mais ductil e menos dura. A diferença de comportamento entre a li-

SYSNO 832025
 PROD 003398

ACERVO EESC

ga 12 e as demais resulta da fragmentação da cunha de corte no processo de afiação. Os dentes das demais 11 ligas sofreram fragmentação substancial da cunha de corte durante a afiação, apesar de 35 Km de corte, os dentes da serra de aço, em comparação aos dentes de material liga, apresentaram um desgaste 12 vezes maior.

A liga 1 tem dureza 47 a 51 Rc, menor que as de mais ligas, mas possui melhores propriedades de afiação, apresentando uma fragmentação menor, que é indicada pela diferença inicial de desgaste da superfície de folga e da cunha de corte.

Tabela 1. Composição Química e Dureza dos Materiais Ensaíados

Base	Composição Química Percentual								Dureza Rc
	Co	Cr	W	C	Ni	Fe	Si	B	
COBALTO									
Liga 1 (stellite 12)	59	29	9	1,8	-	-	-	-	47-51
Liga 2 (stellite 20)	45	33	18	2,5	-	-	-	-	55-59
NÍQUEL									
Liga 3 (Deloro 50)	-	10	-	0,4	77	4	4	1,5	49-52
Liga 4 (Deloro 60)	-	15	-	0,5	70	4,5	4,5	3,0	49-62
KIRBACH e BONAC(1982a)									

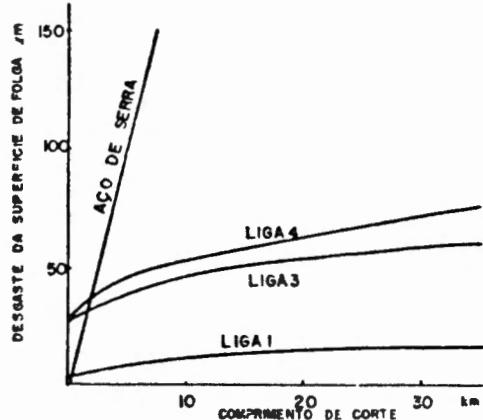


Figura 2. Cegamento de dentes de serras convencionais e plaqueados, no corte do Cedro Vermelho. O cegamento é medido pelo desgaste da superfície de folga. KIRBACH & BONAC(1982a)

Ainda em 1982, estes autores publicaram resultados de experimentos de desempenho comparativo entre o stellite 12 e dois materiais de carboneto, um com 94% de WC e 6% Co e outro com 82% de WC e 18% de Co.

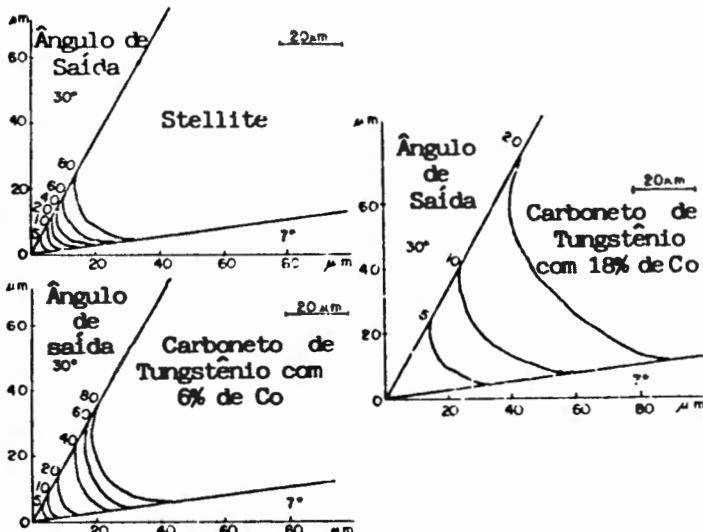


Figura 3. Velocidades de cegamento em dentes de serras durante um comprimento de corte de 80 Km. KIRBACH & BONAC(1982b)

O stellite mostrou vantagem desde o início até 80 Km de comprimento de corte, no corte do Cedro Vermelho, pH entre 2,9 a 4,0.

A diferença de desempenho entre o stellite e o carboneto de tungstênio pode ser atribuída a uma interação entre as componentes de desgaste mecânico e químico, que são mais pronunciadas no carboneto de tungstênio.

STEWART(1987) mostrou que, boretando-se uma pastilha de carboneto de tungstênio, reduz-se substancialmente o desgaste da ferramenta pelo retardamento das reações de oxidação ou corrosão a alta temperatura. As principais vantagens dos boretos são: dureza elevada, baixo coeficiente de atrito, excelente condutividade elétrica, provavelmente também boa condutividade térmica e resistência à corrosão em certos ambientes químicos.

Através da boretação, o cobalto mole, próximo à superfície do carboneto de tungstênio, é convertido num boreto.

BAYOUMI & BAILEY(1985) realizaram testes com aço rápido, stellites e carbonetos de tungstênio simulando o corte de madeira verde e madeira seca. Os carbonetos de tungstênio foram cimentados com diversas ligas, a saber: cobalto, cobalto e cromo e carbonetos de cromo-cobalto.

Tabela 2. Composição química, dureza Rockwell e tamanho dos grãos das ferramentas de carboneto de tungstênio usados nesta pesquisa.

Classe	Composição % em peso				Propriedades	
	WC	Co	Cr	Cr ₃ C ₂	Dureza Rockwell	Tamanho médio dos grãos (HRA)
GEX 6012	87,5	10,0	2,5		92,2	1,0
GEX 7125 - TC3	87,5	10,0	2,5		91,3	1,4
GEX 7125 - TC1	87,5	10,0	2,5		91,0	1,6
GE 883	94	6,0			92,1	1,25
GE 44A	94	6,0			91,2	1,7
RAM 1	89,5	10,0		0,5	91,5	1,5

BAYOUMI e BAILEY(1985) - General Electric Company, RAM, Fansteel VR/Wesson Company.

Tabela 3. Composição química e dureza Rockwell de alguns stellites e aços rápidos de materiais de ferramentas usados nesta pesquisa.

Material	Dureza Rockwell									(HRC)
	Co	Cr	W	Ta	Mn	Fe	Ni	Si	V B Mo	
stellite										
T	39	23	19	3	5	2	4			64,5
98M2	32	30	19	2	1	1	5	4	1	60,0
3 PM	45	31	13	2	1	3	3	1	1	54,0
aço rápido										
M 2	4	6	1			82		2	5	61

BAYOUMI e BAILEY(1985).

Os ensaios de simulação foram realizados numa máquina que friccionava um disco de fibra de madeira contra um corpo de prova do material em teste sob condições de atrito seco e atrito úmido, sob uma névoa de uma solução de ácido acético 0,2 M. Em ambas as condições, desenvolveu-se uma superfície de desgaste plana na aresta do corpo de prova, figura 4. A figura 5 mostra o resultado dos experimentos e, nessa figura, observa-se que todos os materiais apresentaram menor resistência ao desgaste nas condições de

atrito úmido, comparado com aqueles de atrito seco. As ferramentas de materiais de carboneto de tungstênio cimentadas com cobalto e cromo apresentam melhor desempenho porque este cimento é mais resistente à corrosão química.

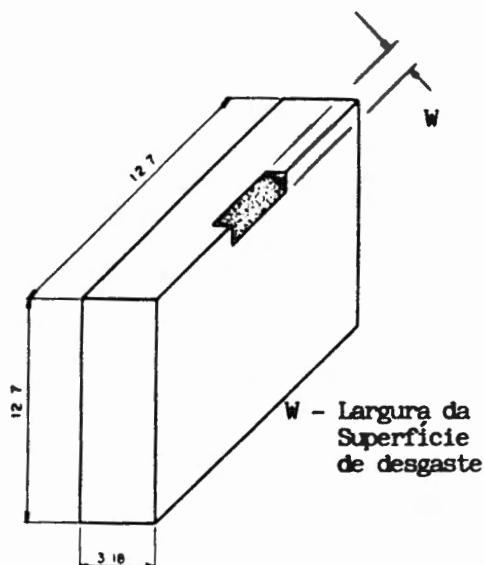


Figura 4. Geometria dos corpos de prova ensaiados. BAYOUMI & BAILEY (1985).

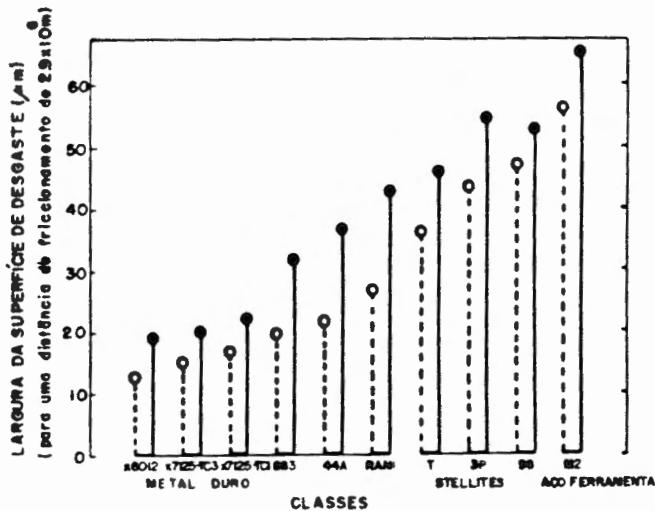


Figura 5. Comparação do comportamento de desgaste de ferramentas de carboneto cimentadas para condições de atrito seco (---) e atrito úmido (solução de ácido acético 0,2M) (●). BAYOUMI & BAILEY (1985).

BAYOUMI et alii (1988), compararam os efeitos do tamanho dos grãos de carboneto de tungstênio sobre o desgaste das ferramentas. Na figura 6, observa-se que o carboneto GEX 7125-TC1 com 1,60 μm de tamanho de grãos se desgasta mais do que o carboneto GEX 6012 com 1,0 μm de tamanho de grãos na presença de uma névoa de ácido acético. O aumento do tamanho dos grãos do carboneto conduz a um aumento da velocidade de desgaste.

Aumentando-se o tamanho dos grãos aumenta-se a quantidade de cimento presente na pastilha e, consequentemente, a pastilha fica mais vulnerável ao ataque químico, pelo extrato presente na madeira.

Nesta pesquisa, realizaram-se também ensaios de campo, procedendo-se oplainamento de taboas não sazonadas de Carvalho Vermelho com umidade variando entre 60% e 80%, em ambas as faces simultaneamente.

Os testes de campo consistiram em comparar o desempenho das pastilhas de carboneto cimentadas com 6% de cobalto GE 883, com pastilhas de 12,5% de cimento, sendo 10% de cobalto e 2,5% de cromo GEX 6012.

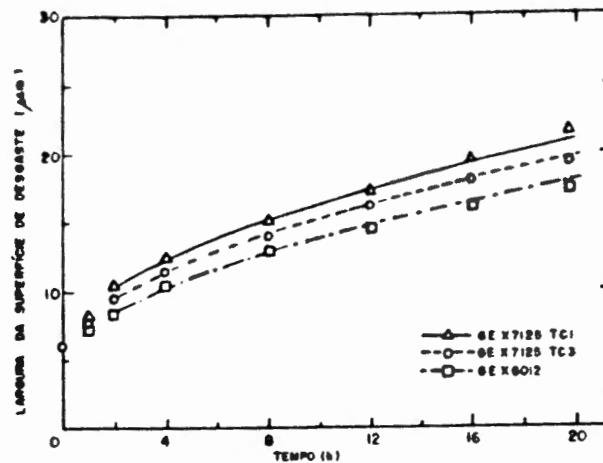


Figura 6. Comparação das previsões teóricas (—, ---, ——), com os resultados experimentais (△, ○, □) sob uma névoa de ácido acético. BAYOUMI et alii (1988)

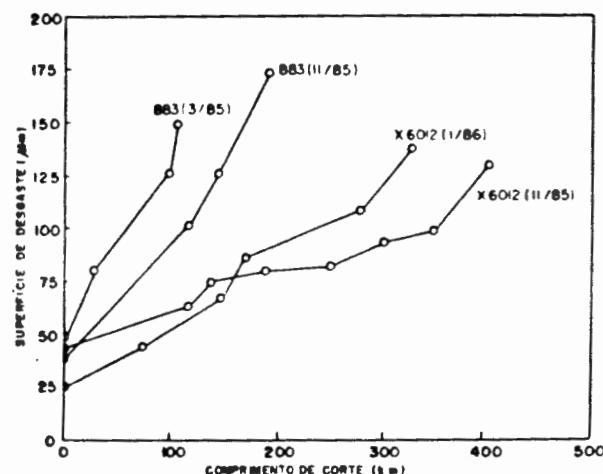


Figura 7. Resultado de desgaste dos ensaios de campo dos carbonetos GE 883 (6% Co) e GEX 6012 (10% Co e 2,5% Cr). BAYOUMI et alii (1988)

CONCLUSÕES

O metal duro (carboneto de tungstênio) é o material mais comum e mais indicado para a usinagem da madeira, mas a sua classe deve ser escolhida, baseando-se em certos critérios.

Tratando-se do corte ou usinagem da madeira seca ou sazonada, podem ser usadas pastilhas de metal duro com 94% de WC e 6% de Co, com granulação média a grande GE 883 e GE 44A (Tabela 2), pois o mecanismo de desgaste é abrasivo.

Tratando-se do corte ou usinagem de madeira verde, recomenda-se o uso de pastilhas de metal duro com matriz de cobalto ligado ao cromo GE 6012 (Tabela 2) ou com matriz aglomerante com níquel e cobalto GE 616 (82% de WC), 2% de Co e 16% de Ni), com granulação fina.

Não sendo possível o uso de ferramentas de metal duro, deve-se optar pelo stellite, que possui resistência ao desgaste, superior ao aço rápido, tanto na usinagem da madeira seca como da madeira verde ou úmida, e boas qualidades de afiação, podendo até apresentar um desempenho melhor do que certas classes de metal duro na usinagem da madeira verde.

Materiais ou revestimentos de ferramentas que conduzam melhor o calor, tal como a boretação do metal duro, melhoram o desempenho das mesmas, proporcionando-lhes vida mais longa.

Considerando que as madeiras possuem propriedades variáveis, dependendo do local em que se desenvolvem a arvore que lhe deu origem e considerando ainda que existe uma falta total de dados da vida das ferramentas e quase uma falta completa de entendimento sobre o mecanismo de desgaste envolvido, sobretudo para as varias combinações ferramenta-pega obra usadas na usinagem da madeira, estamos iniciando uma pesquisa experimental em que se pretende correlacionar as principais propriedades sob o ponto de vista de usinagem dos pares madeira-materiais ferramenta.

REFERÉNCIAS

- BAYOUMI, A.E. & BAILEY, J.A. Comparison of the wear resistance of selected steels and cemented carbide cutting tool material in machining wood. Wear, 105: 131-144, 1985.
- BAYOUMI, A.E.; STEWART, J.S. & BAILEY, J.A. The effects of cemented carbide binder composition on tool wear encountered in surfacing green lumber. Wood and Fiber Science, 20: 4: 457-476, 1988.
- FARMER, R.H. Corrosion of metals in association with wood: Part 2, corrosion of metals in contact with wood. Wood, 11: 443-446, 1962.
- KIRBACH, E. & BONAC, T. Cutting unseasoned western red cedar with titanium carbide-coated, carbide-tipped saws. In: PROCEEDING OF THE FIFTH WOOD MACHINING SEMINAR, Richmond, 1977, California, Forest Products Laboratory, University of California, 1977, 15-32.
- Alloy tipping for reduce Sawtooth dulling. Forest Products Journal, 32: nº 4: 36-40, 1982a.
- Dulling of sawteeth tipped with a stellite and two cobalt-cemented tungsten carbides. Forest Products Journal, 32: 9: 42-45, 1982b.
- KIRBACH, E.D. & CHOW, S. Chemical wear of tungsten carbide cutting tools by western redcedar. Forest Products Journal, 26: 3: 44-48, 1976.
- KRILOV, A. & GREF, R. Mechanism of sawblade corrosion by polyphenolic compounds. Wood Science and Technology, 20: 369-375, 1986.
- STEWART, H.A., Borided tungsten carbide reduces tool wear during machining of medium density fiberboard. Forest Products Journal, 37: nº 7/8: 35-38. 1987.
- TSAI, G.S.C. & KLAMECKI, B.F. Separation of abrasive and electrochemical tool wear mechanisms in wood cutting. Wood Science, 12: 236-242, 1980.

SUMMARY

- The Tool Materials Used in Wood Machining. A Bibliographical Research.

In wood machining the hard metal shbould produce an improved performance because of its physical properties, nevertheless its cobalt cemented is attacked by the extractives. The stellite can show a longer life. The Tungsten Carbide cement bounded with chromium improves the wear resistance to chemical attack, but the Tungsten Carbide tool material with fine grain reduces tool wear because the

participle space is smaller. Tips coated with Titanium Carbide have a worse performance. Boridizing, however, has shown a good outcome.

APÊNDICE

Tabela 04. Valores de pH de referência de algumas madeiras comuns.

MADEIRAS MOLES	pH
Cituta (<i>Tsuga - heterophylla</i>)	4,8 - 5,4
Abeto, Europeu (<i>Picea abies</i>)	4,8 - 5,0
Pinho Escoces (<i>Pinus sylvestres</i>)	4,3 - 4,6
Larch Europeu (<i>Larix decidua</i>)	4,0
Pinho Marítimo (<i>Pinus pinaster</i>)	3,8
Cedro Africano (<i>Juniperus procera</i>)	3,5
Douglas Fir (<i>Pseudotsuga taxifolia</i>)	3,1 - 4,4
Cedro Vermelho Americano (<i>Thuja plicata</i>)	2,9 - 4,0

MADEIRAS DURAS	pH
Umo (<i>Ulmus</i> , spp)	6,0 - 7,2
Balsa (<i>Ochroma lagopus</i>)	5,4 - 7,2
Faia (<i>Fagus sylvatica</i>)	4,5 - 5,9
Mahogany Africana (<i>Khaya spp</i>)	4,5 - 5,1
Teak (<i>Tectoma grandis</i>)	4,5
Castanheira (<i>Castanea sativa</i>)	3,6
Jarrah (<i>Eucalyptus marginata</i>)	3,0 - 3,7
Carvalho (<i>Quercus spp</i>)	
Europeu e Americano	3,3 - 3,9
Japonês	4,0 - 4,7

FARMER (1962).

Tabela 05. Acidez de madeiras comerciais duras.

ESPÉCIE DE MADEIRA	pH
Grey Ironbark (<i>Eucalyptus paniculata</i>)	4,88
Spotted Gum (<i>E. maculata</i>)	4,25 - 4,68
Flooded Gum (<i>E. grandis</i>)	3,84
Sydney Blue Gum (<i>E. saligna</i>)	3,65 - 3,80
Tallowwod (<i>E. microcorys</i>)	3,55 - 5,56
White Mahogany (<i>Eucalyptus acmenioides</i>)	3,24
Blackbutt (<i>Eucalyptus pilularis</i>)	3,12 - 3,24

KRILOV & GREF (1986).