

LIGAS ALTERNATIVAS DE COBRE: INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO NA PROPRIEDADE DE DUREZA

José Cláudio Martins SEGALLA*
José MONDELLI**
Wellington DINELLI***
Antonio Carlos GUASTALDI****

- RESUMO: Em razão do aparecimento no comércio odontológico de uma grande quantidade de ligas metálicas não-nobres como alternativa à utilização de ligas à base de ouro, este trabalho tem como objetivo avaliar a propriedade física de dureza superficial pelo método Vickers em função de diferentes tratamentos térmicos, em cinco ligas metálicas à base de cobre, duas comerciais (Duracast M. S. e Goldent L. A.) e três experimentais, denominadas CuBe₁, CuBe₂, e CuBeCo₅. A dureza das ligas pesquisadas foi determinada em três tratamentos distintos, ou seja: sem tratamento térmico (bruto de fundição), TT₁ (aquecimento das amostras a 850°C, por 1, 2 e 3 horas, seguindo de resfriamento lento), e no tratamento TT₂ (reaquecimento das amostras a 325°C, por 1, 2 ou 3 horas, seguido de resfriamento rápido ou resfriamento lento). De posse dos resultados obtidos e com base na análise estatística realizada, foi

* Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese – Faculdade de Odontologia – UNESP – 14801-903 – Araraquara – SP.

** Departamento de Odontologia Restauradora – Faculdade de Odontologia – UNESP – 17045-000 – Bauru – SP.

*** Departamento de Odontologia Restauradora – Faculdade de Odontologia – UNESP – 14801-903 – Araraquara – SP.

**** Departamento de Físico-Química – Instituto de Química – UNESP – 14800-900 – Araraquara – SP.

possível concluir que: os tratamentos térmicos provocaram influência nas ligas pesquisadas; o resfriamento rápido provocou maior dureza nas ligas do que o resfriamento lento; o tratamento TT₂, de maneira geral, aumentou a dureza Vickers média obtida durante o TT₁, e quanto maior o período de aquecimento (1, 2 e 3 horas) maior foi a dureza Vickers média obtida, na maior parte dos experimentos.

- PALAVRAS-CHAVE: Ligas dentárias; dureza; tratamento térmico.

Introdução

A busca de ligas metálicas alternativas às ligas de ouro tem alcançado um desenvolvimento muito intenso dentro da Odontologia, na utilização em trabalhos protéticos. Esta procura vem em decorrência do alto custo que as ligas nobres alcançaram, provocando com isso o aparecimento de uma grande quantidade de ligas não-nobres, que hoje em dia representam uma porcentagem muito grande nos trabalhos odontológicos de rotina.

Diante do notório desenvolvimento destas ligas, alterações tecnológicas de prótese dentária e aplicações práticas destas a outros setores da Ciência, especialmente no campo da Metalurgia,¹⁵ levaram os pesquisadores^{4,5,9,10,13,14,17,19,20,21} a obter melhores propriedades físicas, químicas, mecânicas e biológicas para sua atualização, especialmente quando utilizadas no tratamento protético dentário.

Um dos itens mais discutidos que contribuem para o avanço destas ligas refere-se aos tratamentos térmicos que podem ser impostos a elas. Vários trabalhos enfatizam estes tratamentos térmicos para ligas de ouro,^{7,2} mas pouco se sabe destes tratamentos quando aplicadas as ligas não-áureas. O procedimento tratamento térmico consiste em aquecer o metal a uma certa temperatura e resfriá-lo em determinadas condições³ com intuito de modificar suas características.¹⁶ Recozimento, têmpera e revenido são alguns destes tratamentos utilizados para melhoria das ligas.^{3,20}

Uma vez que a sua utilização está sendo bem aceita, resolveu-se estudar algumas destas ligas experimentais à base de cobre comparando-as às encontradas no mercado, no tocante a tratamentos térmicos variados, buscando-se melhorar ainda mais suas qualidades.

Material e método

Na realização deste trabalho, cinco ligas metálicas foram utilizadas, sendo duas comerciais e as outras três experimentais (Tabela 1).

Tabela 1 – Ligas utilizadas

Liga	Composição básica	Fabricante
Liga 1 (M ₁)	Cu-Zn-Al	Departamento de Dentística, FOB-USP
Liga 2 (M ₂)	Cu-Zn-Al	Departamento de Dentística, FOB-USP
Liga 5 (M ₃)	Cu-Zn-Al	Departamento de Dentística, FOB-USP
Duracast (M ₄)	Cu-Al	Dental Gaúcho Marquat e Cia. Ltda., Brasil
Goldent (M ₅)	Cu-Zn	AJE Comércio e Representação Ltda., Brasil

Obtenção dos corpos-de-prova

Para a obtenção dos corpos-de-prova em forma de discos, foi confeccionada no Departamento de Prótese da Faculdade de Odontologia de Bauru – USP uma placa metálica quadrada com quatro perfurações cilíndricas, tendo cada uma 11 mm de diâmetro por 5,0 mm de altura, que serviu de matriz para que fossem elaborados os padrões em cera azul para incrustações (Sybron – Kerr Ind. e Com. Ltda.).

Para a inclusão, foram montados em cada base formadora de cadinho três padrões de cera, cada um ligado a um *sprue* plástico pré-fabricado (Labordental Ltda. Com. e Ind.) e, também ligado a cada padrão, um filete de cera nº 3 (D. C. L. – Dentária Campineira Ltda.) para formação de canais de ventilação. Cada anel metálico era adaptado à base formadora de cadinho e revestido internamente com uma tira de amianto umedecida em água. Foi utilizado revestimento à base de gesso (Cristobalite – Kerr Ind. e Com. Ltda.) e posteriormente as fundições foram executadas pelo sistema maçarico gás-ar. Ao final desta, foram obtidos 35 corpos-de-prova para cada liga, perfazendo um total de 175 corpos-de-prova para as cinco ligas pesquisadas. Todos os corpos-de-prova foram submetidos a polimento metalográfico, empregando-se, em seqüência, lixas d'água Norton 280, 320, 400 e 600 e, finalmente, disco de feltro para polimento final, primeiro com pedra-pomes e a seguir com branco de espanha, conseguindo-se assim uma superfície com brilho especular.

Procedimentos para o tratamento térmico

Bruto de fundição (T_0): Cinco corpos-de-prova de cada liga não receberam nenhum tipo de tratamento térmico. O conjunto anel/revestimento/liga metálica foi removido da centrífuga e colocado sobre a bancada, até atingir a temperatura ambiente.

Tratamento térmico nº 1 (TT_1): Os corpos-de-prova fundidos eram aquecidos em um forno elétrico (E. D. G. Equip. e Contr. Ltda.) até a temperatura de 850°C. Atingida esta temperatura os grupos eram assim mantidos por 1, 2 ou 3 horas, sendo a seguir resfriados rápida ou lentamente. Para cada liga, obtivemos a seguinte distribuição:

- a) 5 amostras aquecidas por 1 hora (850°C) e resfriadas rapidamente em água à temperatura ambiente.
- b) 5 amostras aquecidas por 1 hora (850°C) e resfriadas lentamente dentro do forno desligado.
- c) 5 amostras aquecidas por 2 horas (850°C) e resfriadas rapidamente em água à temperatura ambiente.
- d) 5 amostras aquecidas por 2 horas (850°C) e resfriadas lentamente dentro do forno desligado.
- e) 5 amostras aquecidas por 3 horas (850°C) e resfriadas rapidamente em água à temperatura ambiente.
- f) 5 amostras aquecidas por 3 horas (850°C) e resfriadas lentamente dentro do forno desligado.

Tratamento térmico nº 2 (TT_2): Neste Tratamento, os procedimentos foram os mesmos utilizados no tratamento anterior, e os mesmos corpos-de-prova já testados no tratamento nº 1 (TT_1) foram também utilizados neste segundo tratamento térmico, variando-se somente a temperatura do forno, que foi de 325°C. Desta maneira, obtivemos a seguinte distribuição para cada liga já testada anteriormente:

- g) 5 amostras aquecidas por 1 hora (325°C) e resfriadas rapidamente em água à temperatura ambiente.
- h) 5 amostras aquecidas por 1 hora (325°C) e resfriadas lentamente dentro do forno desligado.
- i) 5 amostras aquecidas por 2 horas (325°C) e resfriadas rapidamente em água à temperatura ambiente.
- j) 5 amostras aquecidas por 2 horas (325°C) e resfriadas lentamente dentro do forno desligado.
- k) 5 amostras aquecidas por 3 horas (325°C) e resfriadas rapidamente em água à temperatura ambiente.

1) 5 amostras aquecidas por 3 horas (325°C) e resfriadas lentamente dentro do forno desligado.

Chamamos a atenção para o fato de que os corpos-de-prova do “grupo a”, utilizados no tratamento térmico nº 1 (TT₁), são os mesmos corpos-de-prova utilizados no “grupo g” no tratamento térmico nº 2 (TT₂); os do “grupo b” são os mesmos corpos-de-prova utilizados no “grupo h”, e assim sucessivamente.

Teste de dureza superficial pelo método Vickers

Após o tratamento TT₁, os corpos-de-prova foram submetidos ao teste de dureza em um aparelho “Wolpert” tipo M-Testor, com carga de 200 gramas e tempo de aplicação desta carga de 30 segundos. Em cada corpo-de-prova foram feitas séries de cinco medidas, em regiões diferentes. Os testes de dureza Vickers para as ligas pesquisadas após o tratamento térmico TT₂ foram realizados de maneira idêntica ao tratamento TT₁.

As medições realizadas nos corpos-de-prova após os tratamentos TT₁ e TT₂, mais as medidas obtidas nos corpos-de-prova no estado bruto de fundição (T₀) totalizaram mais de 1.600 resultados para análise da propriedade de dureza das ligas metálicas pesquisadas.

Resultado e discussão

No Quadro 1 encontram-se os valores originais obtidos nas mensurações da variável de análise (dureza Vickers).

Quadro 1 – Dureza Vickers segundo material e tratamento térmico (valores absolutos)

Trat. térmico/ material	TT ₁						TT ₂						
	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t ₁₁	t ₁₂
M ₁	141,0	137,6	127,6	144,6	143,8	152,4	145,6	170,6	175,6	193,0	156,4	190,6	141,0
CuBe ₁	141,8	137,8	130,6	144,8	139,0	149,6	144,8	183,6	172,8	189,6	155,2	816,8	139,6
	148,2	138,0	133,4	158,0	134,8	176,4	139,2	184,6	175,4	189,2	156,0	218,4	138,2
	139,4	137,0	131,0	149,4	137,6	155,2	140,6	178,4	177,6	191,2	150,8	194,6	146,4
	139,6	139,2	124,6	148,4	137,2	162,6	141,4	177,2	180,4	189,6	161,0	186,8	134,0

Continuação

Trat. térmico/ material	TT ₁					TT ₂							
	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t ₁₁	t ₁₂
M ₂ CuBe ₂	162,6	162,2	140,8	160,0	155,8	175,8	160,6	256,4	163,2	211,6	150,0	211,8	163,4
	174,0	155,6	137,4	162,6	155,0	171,0	167,2	251,2	156,0	221,2	145,0	222,4	162,2
	176,2	158,6	139,0	167,0	155,2	186,6	161,6	253,0	157,6	223,2	145,6	215,4	165,4
	163,6	160,6	137,6	171,4	154,6	181,8	159,0	236,6	157,4	220,8	149,4	217,2	163,4
	157,0	159,0	139,6	170,6	153,4	187,8	165,6	235,2	167,4	215,4	145,0	230,4	169,0
M ₃ CuBeCo ₅	141,6	137,6	160,0	152,0	149,0	151,2	148,2	146,0	157,8	160,4	144,0	211,2	159,6
	144,6	141,8	168,2	144,2	143,6	152,2	151,8	137,3	158,8	161,0	144,4	209,6	175,4
	143,0	140,0	157,2	140,2	144,6	149,4	151,4	149,6	170,0	162,6	152,0	207,0	170,2
	144,8	137,4	157,8	150,6	145,0	161,2	147,4	143,0	161,4	170,8	150,2	196,8	171,4
	143,2	140,4	164,2	149,2	146,2	157,4	154,0	142,8	157,2	161,0	154,4	200,2	159,4
M ₄ Duracast	146,0	172,4	185,8	189,2	184,0	181,4	190,2	170,8	148,6	175,8	175,0	161,6	166,4
	143,4	178,8	192,4	194,2	183,2	168,4	185,0	176,0	137,2	182,2	169,2	155,6	172,6
	144,4	180,0	192,4	184,4	187,4	173,0	186,2	172,4	154,6	182,8	167,4	158,6	172,8
	148,8	169,8	178,2	187,2	183,0	167,4	186,6	171,0	150,0	179,4	167,8	156,6	184,4
	134,0	173,6	178,4	189,8	188,0	169,0	189,6	165,8	143,8	184,8	185,4	154,8	172,2
M ₅ Goldent	135,4	146,2	145,4	164,6	154,2	160,0	164,2	142,2	145,6	157,2	156,2	157,8	133,4
	145,5	153,6	142,6	157,6	153,2	168,0	161,4	140,8	134,4	162,4	149,5	159,8	142,0
	149,4	151,2	150,6	161,8	163,0	167,2	161,2	145,0	146,8	163,6	158,6	154,8	141,8
	142,2	146,8	149,8	155,6	154,0	167,4	160,4	146,0	143,6	156,0	161,8	160,6	144,4
	140,2	160,4	153,2	155,2	153,6	159,0	158,4	147,2	148,4	170,6	150,0	146,8	144,6

Os valores correspondentes a T₀ (estado bruto de fundição) forneceram a dureza Vickers média que cada liga apresentou “naturalmente” e que podem ser observados no Quadro 2.

Quadro 2 – Valores médios do bruto de fundição (dureza Vickers)

Material	Desvio-padrão
M ₁ (CuBe ₁)	142,00
M ₂ (CuBe ₂)	166,68
M ₃ (CuBeCo ₅)	143,44
M ₄ (Duracast)	143,32
M ₅ (Goldent)	142,52

A partir daí, procedemos às subtrações, de cada valor originalmente obtido para os grupos tratados termicamente, do valor médio encontrado para o correspondente “bruto de fundição”, obtendo assim valores de dureza relativa ao bruto de fundição, os quais encontram-se expressos no Quadro 3. O sinal negativo que acompanha alguns destes valores de dureza relativa indica que ocorreu diminuição no seu índice de dureza.

Quadro 3 – Dureza Vickers relativa

Trat, término/ material	TT ₁						TT ₂					
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t ₁₁	t ₁₂
M ₁ CuBe ₁	-4,4	-14,4	2,6	1,8	10,4	3,6	28,6	33,6	51,0	14,4	48,6	-1,0
	-4,2	-11,4	2,8	-3,0	7,6	2,8	41,6	30,8	47,6	13,2	74,8	-2,4
	-4,0	-8,6	16,0	-7,2	34,4	-2,8	42,6	33,4	47,2	14,0	76,4	-3,8
	-5,0	-11,0	7,4	-4,4	13,2	-1,4	36,4	35,6	49,2	8,8	52,6	4,4
	-2,8	-17,4	6,4	-4,8	20,6	-0,6	35,2	38,4	47,6	19,0	44,8	-8,0
M ₂ CuBe ₂	-4,48	-25,88	-6,68	-10,88	9,12	-6,08	89,72	-3,48	44,92	-16,68	45,12	-3,28
	-11,08	-29,28	-4,08	-11,68	4,32	0,52	84,52	-10,68	54,52	-21,68	55,72	-4,48
	-8,08	-27,68	0,32	-11,48	19,92	-5,08	86,32	-9,08	56,52	-21,08	48,72	-1,28
	-6,08	-29,08	4,72	-12,08	15,12	-7,68	69,92	-9,28	54,12	-17,28	50,52	-3,28
	-7,68	-27,08	3,92	-13,28	21,12	-1,08	68,52	0,72	48,72	-21,68	63,72	2,32
M ₃ CuBeCO ₅	-5,84	16,56	8,56	5,56	7,76	4,76	2,56	14,36	16,96	0,56	67,76	16,16
	-1,64	24,76	8,76	0,16	8,76	8,36	-6,14	15,36	17,56	0,96	66,16	31,96
	-3,44	13,76	-3,24	1,16	5,96	7,96	6,16	25,56	19,16	8,56	63,56	26,76
	-6,04	14,36	7,16	1,56	17,76	3,96	-0,44	17,96	27,36	6,76	53,36	27,96
	-3,04	20,76	5,76	2,76	13,96	10,56	-0,64	13,76	17,56	10,96	56,76	15,96
M ₄ Duracast	29,08	42,48	45,88	40,68	38,08	46,88	27,48	5,28	32,48	31,68	18,28	23,08
	35,48	49,08	50,88	39,88	25,08	41,68	32,68	-6,12	38,88	25,88	12,28	29,28
	36,68	49,08	41,08	44,08	29,68	42,88	29,08	11,28	39,48	24,08	15,28	29,48
	26,48	34,88	43,88	39,68	24,08	43,28	27,68	6,68	36,08	24,48	13,28	41,08
	30,28	35,08	46,48	44,68	25,68	46,28	22,48	0,48	41,48	42,08	11,48	28,88
M ₅ Goldent	3,68	2,88	22,08	11,68	17,48	21,68	-0,32	3,08	14,68	13,68	15,28	-9,12
	11,08	0,08	15,08	10,68	25,48	18,88	-1,72	-8,12	19,88	7,08	17,28	-0,52
	8,68	8,08	19,28	20,48	24,68	18,68	2,48	4,28	21,08	16,08	12,28	-0,72
	4,28	7,28	13,08	11,48	24,88	17,88	3,48	1,08	13,48	19,28	18,08	1,88
	17,88	10,68	12,68	11,08	16,48	15,88	4,68	5,88	28,08	7,48	4,28	2,08

Os dados do Quadro 3 foram submetidos à análise de variância, cujos resultados encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise de variância

Fonte de variação	GL	SQ	QM	ROM	F (crit.)
Material	4	18.200,70	4.550,17	169,34	2,37
Tratamento térmico	11	39.601,76	3.601,76	134,04	1,79
Material x Trat. térmico	44	79.994,47	1.818,05	67,66*	1,37
Resíduo	240	6.450,27	26,87		
Total	299	144.264,86			

* Valor significante.

Por intermédio da Tabela 2, podemos observar na 2ª linha que a RQM relativa ao fator material apresentou um valor significativo (169,34). Assim, claro que há diferenças entre os materiais quanto às suas durezas Vickers médias. Isto pode ser explicado, provavelmente, pelo fato de que as ligas pesquisadas apresentam composições diferentes umas das outras (Tabela 1), o que vem ao encontro do posicionamento de Mondelli et al.,^{10,11} Phillips,¹⁵ Silva Filho et al.¹⁷ e Vieira,²⁰ de que a propriedade mecânica de uma liga depende, entre outros fatores, da sua composição. Em adição, aplicando o Teste de Duncan para o fator material, verificamos que, independentemente da aplicação de tratamentos térmicos, as ligas pesquisadas apresentaram o seguinte comportamento, em ordem decrescente, para os valores de suas durezas Vickers médias: Duracast (M_4); liga 1 (M_1); liga 5 (M_3); e liga 2 (M_2) e Goldent (M_5), que apresentaram valores iguais. Podemos observar ainda que provavelmente o teor percentual de cobre (Cu) existente em cada liga estudada não teve a mesma influência sobre a dureza Vickers das ligas 1, 2 e 5, pois, embora sendo comum a todas, gerou ligas de durezas Vickers médias diferentes entre si. Além disso, ligas 2 e Goldent, que apresentaram teores de cobre nitidamente diferentes, mostraram valores comuns para esta propriedade, embora a liga Duracast (M_4) pareça ter sido influenciada, uma vez que apresentou a maior média de dureza Vickers.

Quanto a dureza Vickers das ligas pesquisadas no seu estado bruto de fundição (T_0), nossos resultados estão muito próximos aos encontrados por Motta et al.¹² e Simonetti¹⁸ para a liga Duracast (M_4), e a liga Goldent apresentou resultado semelhante ao obtido por Mondelli et al.¹⁰ Conforme demonstrado no Quadro 2 para o estado bruto de fundição, as ligas Experimental nº 1 (142,00 VHN), Experimental nº 5 (143,44 VHN), Duracast (143,32 VHN) e Goldent (142,52 VHN) apresentaram resultados de dureza Vickers comparáveis às ligas de ouro tipo III,¹ indicando que elas podem ser utilizadas na confecção de incrustações, coroas isoladas e próteses fixas com espaços protéticos curtos, que constituem as indicações das ligas de ouro tipo III (dura). A liga Experimental nº 2 (166,68 VHN) no estado bruto de fundição apresentou resultado de dureza comparável às ligas de ouro tipo IV,¹ podendo ser utilizada na confecção de incrustações sujeitas a tensões muito elevadas, estrutura de próteses parciais removíveis e próteses fixas com espaço protético longo, que constituem as indicações das ligas de ouro tipo IV (extradura). Apesar de sua elevada dureza, a liga 2 (M_2), segundo Mondelli et al.,¹¹ apresenta porcentagem de alongamento satisfatória (12%), permitindo com isto brunidura de borda de encontro às margens do preparo, além de uma adaptação de fundição bastante precisa, de acordo com estudos realizados por Milan.⁸

O fator tratamento térmico apresentou um valor significativo (134,04 – 2ª linha da Tabela 2), o que nos leva a concluir que pelo menos um dos níveis de condicionamento térmico (T_1 a T_{12}) gerou amostras cujo valor médio de dureza relativa foi diferente dos demais. Assim, aplicando o teste de Duncan podemos notar que, na maioria dos casos, os níveis de condicionamento térmico que apresentaram os maiores valores foram realizados com resfriamento rápido. Com exceção dos níveis T_1 (aquecimento a 850°C por 1 hora e resfriamento rápido) e T_2 (aquecimento a 850°C por 1 hora e resfriamento lento), que apresentaram valores iguais entre si, os demais níveis de condicionamento apresentaram o seguinte comportamento: $T_3 > T_4$; $T_5 > T_6$; $T_7 > T_8$; $T_9 > T_{10}$ e $T_{11} > T_{12}$, ou seja, o resfriamento rápido (mergulhar as amostras imediatamente em água à temperatura ambiente), que corresponde aos níveis com numeração ímpar, provocou maior aumento na dureza das ligas do que o resfriamento lento (resfriamento das amostras dentro do forno desligado), que corresponde aos níveis de condicionamento com numeração par.

Como para a maioria dos níveis de condicionamento térmico (de T_3 a T_{12}) o resfriamento rápido sempre propiciou maior dureza do que o resfriamento lento, podemos dizer que as ligas à base de cobre provavelmente seguem um caminho oposto ao das ligas à base de ouro, no que diz respeito ao tipo de resfriamento, pois, de acordo com Phillips,¹⁵ Vieira,²⁰ e ADA,¹ e pela própria definição dada para tratamentos térmicos em ligas áureas, o resfriamento rápido está relacionado com tratamento térmico amaciador, ao passo que o resfriamento lento relaciona-se diretamente com tratamento térmico endurecedor em ligas à base de ouro. Entretanto, com base num artigo da revista *Dental Technology*,⁶ que afirma ser o comportamento das ligas de ouro antagônico ao comportamento do aço no que se refere a efeito de resfriamento, somos levados a supor que as ligas à base de cobre seguem provavelmente o mesmo comportamento do aço no que diz respeito ao efeito de resfriamento na propriedade de dureza.

Ainda em relação ao fator tratamento térmico, observamos que os períodos de aquecimento (1, 2 e 3 horas) exerceram uma clara influência sobre a dureza dos materiais gerados pelos diferentes níveis de condicionamentos (T_1 a T_{12}), pois a um maior período de aquecimento sempre correspondeu a formação de material de dureza maior, com exceção dos níveis T_{10} e T_{12} (reaquecimento a 325°C por 2 horas e resfriamento lento, respectivamente). Este fato vem ao encontro do posicionamento de Zotov et. al.,²¹

que recomendam tempo mais prolongado e temperatura mais elevada, proporcionando, segundo eles, mudanças de estruturas substanciais que poderão levar a um aumento das resistências mecânicas e índices de corrosão.

A interação material *versus* tratamento também apresentou um valor significativo (3ª linha – Tabela 2). Diante do elevado número de possíveis interações e em virtude do comportamento completamente heterogêneo que as ligas à base de cobre aqui pesquisadas apresentaram, ou seja, ora diminuindo, ora não se alterando e por vezes aumentado o seu valor de dureza Vickers médio em relação ao correspondente bruto de fundição ante os diferentes níveis de condicionamento aplicados (T_1 a T_{12}), torna-se praticamente impossível a tarefa de destacar um tipo de tratamento térmico que apresente influência uniforme em todos os ensaios e para todas as ligas. De uma maneira geral, as ligas à base de cobre aqui pesquisadas, tanto as comerciais (Duracast e Goldent) quanto as experimentais, se mostraram passíveis de tratamentos térmicos amaciador e endurecedor, se bem que não reagindo de uma maneira uniforme. Mas somos novamente levados a concordar com o conceito^{10,15,17,20} de que a composição heterogênea das ligas, as diferentes durezas dos elementos de liga e também as diferentes quantidades de fase formadas em virtude de variações na composição certamente justificam esse fato.

Considerando também que o índice de dureza (Vickers) se alterou para mais ou para menos na dependência das variações aqui estudadas e na composição da liga, é de prever alterações microestruturais em outras propriedades mecânicas e até no índice de corrosão destas ligas à base de cobre, que merecem, portanto, estudos mais aprofundados a esse respeito.

Conclusão

Diante dos resultados obtidos com as ligas metálicas pesquisadas, com diferentes tratamentos térmicos, parece-nos possível concluir que:

- todas as ligas pesquisadas sofreram a influência dos tratamentos térmicos aplicados. Apresentaram índices de dureza Vickers médios diferentes, ficando assim escalonadas em ordem decrescente: Duracast (M4); liga 1 (M1); liga 5 (M3); e liga 2 (M2) e Goldent (M5);

- no estado bruto de fundição (T_0), a liga 1, liga 5, Duracast e Goldent apresentaram durezas Vickers médias compatíveis com as ligas de ouro tipo III, ao passo que a liga 2 apresentou média de dureza Vickers comparável às ligas de ouro tipo IV;
- o resfriamento rápido provocou na maioria dos casos uma maior dureza do que o resfriamento lento;
- o tratamento térmico TT_2 (reaquecimento a 325°C por um período de tempo e resfriamento rápido ou lento) aumentou a dureza Vickers média na maior parte dos casos ($T_{11} > T_5$, $T_9 > T_3$, $T_7 > T_1$ e $T_8 > T_2$), partindo da dureza Vickers média obtida durante o TT_1 (aquecimento a 850°C , durante um período de tempo e resfriamento rápido ou lento);
- os períodos de aquecimento (1, 2 e 3 horas) exerceram uma nítida influência sobre a dureza Vickers média dos materiais gerados pelos diferentes níveis de condicionamento (T_1 a T_{12}), pois quanto maior o tempo de aquecimento, maior foi a dureza obtida, com exceção apenas dos níveis T_{10} e T_{12} .

SEGALLA, J. C. M. et al. Alternative copper alloys: effect of heat treatment on hardness properties. *Rev. Odontol. UNESP (São Paulo)*, v.27, n.1, p.151-163,1998.

- **ABSTRACT:** *The present study was designed to evaluate the superficial hardness (Vickers) as a function of different heat treatments, in five copper alloys, two commercially available (Duracast MS and Goldent LA) and three experimental materials identified as CuBe_1 , CuBe_2 and CuBeCo_5 . The Vickers hardness of the studied materials was determined after three distinct treatments, as follows: without heat treatment (as casted); after treatment TT_1 (heating of samples up to 850°C , for 1, 2 or 3 hours, followed by fast cooling by immersion in water at room temperature or slow cooling in the oven turned off) or treatment TT_2 (reheating up to 325°C for 1, 2 or 3 hours and cooling in water at room temperature or slow cooling in the oven turned off). The results after statistical analysis allowed the following conclusions: the heat treatments definitely affected the studied alloys; fast cooling increased the hardness of the alloys more than slow cooling; treatment TT_2 , as a rule, promoted higher average Vickers hardness as compared to the obtained during TT_1 , and increasing the heating time (1, 2 and 3 hours) resulted in higher values for average Vickers hardness for the majority of samples.*
- **KEYWORDS:** *Dental alloys; hardness; heat treatment.*

Referências bibliográficas

- 1 AMERICAN DENTAL ASSOCIATION (ADA). Specification n.5 for dental casting gold alloy. In: _____. *Guide to Dental Materials and Devices*. 7.ed. Chicago: ADA, 1975. p.184-7.
- 2 CHEVITARESE, O., ANDRADE, E. G. Dureza de ligas de ouro do tipo IV. *Rev. Bras. Odontol.*, v.21, n.119, p.160-2, 1962.
- 3 COLPAERT, H. *Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns*. 3.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1969. p. 199-293.
- 4 FUSAYAMA, T. et al. A new copper alloy for dental use. *J. Prosthet.Dent.*, v.15, p.118-28, 1965.
- 5 GUASTALDI, A. C. *Desenvolvimento de ligas metálicas alternativas à base de cobre aplicadas à Odontologia*. São Paulo, 1987. 95p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- 6 HEAT treatment of metals. *Dent. Technol.*, v.23, p.57-8, 1970.
- 7 KAIREIS, A. K., THOMPSON, J. C. The effect of heat treatment variables on the microstructure and hardness of a cast dental gold alloy. *J. Dent. Res.*, v.38, p.888-900, 1959.
- 8 MILAN, A. *Estudo comparativo da adaptação de restaurações tipo MOD, com proteção de cúspides, obtidas com ligas de níquel-crômio, de cobre e de ouro tipo IV*. Bauru, 1987. 73p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Odontologia, Universidade de São Paulo.
- 9 MONDELLI, J. Estudos sobre algumas propriedades de ligas metálicas, utilizadas na obtenção de incrustações dentais, como possíveis sucedâneas das ligas de ouro. *Rev. Fac. Odontol. São Paulo*, v.7, p.41-73, 1969.
- 10 MONDELLI, J. et al. *Desenvolvimento e estudo das propriedades de ligas alternativas para restaurações fundidas*. Bauru, 1987. (Relatório final. Proc. FINEP nº 4.3.84.0381.00)
- 11 _____. *Estudo da resistência à corrosão e análise metalográfica de ligas metálicas alternativas à base de cobre fundidas pelos sistemas maçarico gás-ar e elétrico*. Bauru, 1989. (Relatório final. Proc. CNPq. 3.03.802/86-3).
- 12 MOTTA, R. G. et al. Ligas de cobre: propriedades mecânicas, composição e micro-estrutura. *Rev. Bras. Odontol.*, v.42, n.5, p.22-6, 1985.
- 13 NAGAI, K. Behavior of metals in oral cavity. *J. Nihon Univ. Sch. Dent.*, v.1, p.203-10, 1959.
- 14 PAFFENBARGER, G. C. et al. Base metal alloys for oral restorations. *J. Am. Dent. Assoc.*, v.30, p.852-62, 1943.
- 15 PHILLIPS, R. W. *Materiais dentários de Skinner*. 8.ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1984. p.178-207, 268-78, 401-10.
- 16 REMY, A. et al. *Materiais*. São Paulo: Hemus, s. d.

- 17 SILVA FILHO, F. P. M. et al. Ligas do sistema cobre-alumínio. Estudo da contração de fundição e dureza Vickers. Efeito das técnicas de fusão e tratamento térmico. *Odontol. Clin.*, v.2. n.1, p.15-9, 1988.
- 18 SIMONETTI, E. L. Ligas metálicas não áuricas: sistematização, propriedades mecânicas e técnica de fundição. *Rev. Fac. Odontol. São Paulo*, v.8, p.399-401, 1970.
- 19 _____. Dentística restauradora: ligas do sistema cobre-alumínio. II: propriedades mecânicas. *Rev. Fac. Odontol. São Paulo*, v.15, p.53-64, 1977.
- 20 VIEIRA, D. F. *Metais e ligas metálicas: noções básicas para dentistas*. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1967. p.75-7, 97-8, 100-7, 116-9.
- 21 ZOTOV, O. G. et al. Effect of manganese and nickel on the mechanical properties and structure of a Cu-Al-Zn alloy in the martensitic state. *Probl. Prochn.*, v.2, p.202-6, 1983.