

Ligas do Sistema Cobre-alumínio: Avaliação de Propriedades Microestruturais

Alloys of the Copper-aluminum System: Evaluation of Microstructural Features

Cezar Augusto Garbin*
Carlos Ariel Samudio Pérez**
José Luis Nicolás Marcos***
Airtón de Oliveira Pacheco****

Garbin CA, Pérez CAS, Marcos JLN, Pacheco A de O. Ligas do sistema cobre-alumínio: avaliação de propriedades microestruturais. PCL 2003; 5(27):379-87.

Foram efetuadas análises de composição química, metalografia e de dureza superficial Vickers em quatro ligas metálicas comerciais à base de cobre e alumínio para uso odontológico, no estado em que são fornecidas para uso (condição comercial). Os ensaios metalográficos e de dureza foram repetidos em corpos-de-prova obtidos após terem sido submetidas as ligas a procedimentos de fundição odontológica (condição de fusão). As fundições foram efetuadas em quatro laboratórios de prótese dentária, empregando-se o processo de cera perdida, seguindo as instruções do fabricante para utilização de centrifuga comum e chama gás-oxigênio.

Os ensaios metalográficos demonstraram que a microestrutura das ligas estudadas no estado comercial é formada, na sua maioria, por uma região clara (provável solução dos elementos de liga no cobre-matriz). O aspecto e a homogeneidade da matriz variam de uma liga para outra. A análise metalográfica das amostras na condição de fusão evidenciou alterações microestruturais acentuadas, sendo possível destacar a presença de defeitos de fusão e de finos precipitados.

Os testes de dureza superficial Vickers efetuados nas amostras na condição comercial e na condição de fusão indicaram uma variação na propriedade de dureza superficial das ligas estudadas, possivelmente relacionada com a mudança microestrutural das ligas.

PALAVRAS-CHAVE: Ligas metálicas; Metalografia; Dureza superficial.

* Mestre; Professor Titular da Faculdade de Odontologia da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS; Campus I, São José – CEP 99001-970, Passo Fundo, RS; e-mail: cezargarbin@via-rs.net

** Doutor; Professor Adjunto da Área de Física do Instituto de Ciências Exatas da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

*** Mestre; Professor Titular da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS

**** Cirurgião-dentista

INTRODUÇÃO

O sucesso de um procedimento reabilitador utilizando restaurações indiretas está relacionado com uma série de fatores, que devem ser criteriosamente analisados e executados durante todas as etapas clínicas e laboratoriais, visando à obtenção de um trabalho que restabeleça os requisitos mecânicos, biológicos, fisiológicos e estéticos. Por essa razão, representa uma técnica restauradora de extrema complexidade.

Um aspecto amplamente estudado nessa área diz respeito aos fatores que interferem nas propriedades físicas dos materiais restauradores empregados para tal propósito, em especial as ligas metálicas.

Nos últimos anos, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos com o propósito de se obter ligas metálicas alternativas às ligas nobres, buscando reduzir o custo que envolve o processo restaurador, sem, contudo, interferir na qualidade da restauração em termos de comportamento físico, químico e biológico. Essas pesquisas têm recaído principalmente sobre as ligas de níquel-cromo e de cobre-alumínio, que, além do baixo custo, permitem obter restaurações com propriedades compatíveis com o complexo meio bucal.

Em geral, as ligas à base de cobre para uso odontológico são complexas e apresentam um grande número de elementos adicionados em pequenas porcentagens com o intuito de melhorar as suas propriedades físicas e químicas. Nessas ligas, o cobre é escolhido como elemento matriz por apresentar propriedades similares às do ouro e da prata, ainda que esses não oxidem no ar e sejam denominados metais nobres, ao passo que o cobre oxida levemente e é denominado "seminobre". Dentre as principais propriedades apresentadas pelo cobre, podem-se mencionar a alta plasticidade e a boa condutividade térmica, assim como o baixo custo em relação aos metais nobres.

O alumínio, quando agregado às ligas odontológicas à base de cobre, confere-lhes passividade, dando ensejo à formação de uma camada oxidante passivadora que protege a superfície metálica (Santos *et al.*, 1987). Na maioria dos casos, o Ni e o Fe são agregados de forma conjunta para melhorar as propriedades mecânicas e a resistência à corrosão (Simonetti, 1977). Já o Zn exerce uma função de elemento desoxidante e, ao se combinar com o oxigênio, confere maior fluidez à liga; por consequência, melhora a fundibilidade e tende a reduzir o ponto de fusão. A influência dos elementos adicionados nas propriedades físicas e químicas de uma liga depende da concentração e dos tipos de estruturas nas quais eles se localizam dentro da mesma. Na maioria dos casos, a influência dos elementos adicionados é conhecida de forma empírica.

De acordo com Guastaldi (1987), uma liga metálica

ideal para aplicação em Odontologia deve apresentar como características fundamentais: não ser tóxica para operador e paciente, ter um comportamento estável no meio bucal, facilidade de utilização, propriedades físicas apropriadas a qualquer tipo de restauração e ser obtida a partir de metais que permitam a fabricação abundante e de baixo custo.

As ligas de cobre-alumínio têm sido utilizadas, sobretudo para a obtenção de núcleos metálicos fundidos. Essa utilização ocorre em situações clínicas em que extensas destruições coronárias impedem ou dificultam a obtenção de uma correta conformação anatômica dos preparos que confira à restauração condições adequadas de suporte, retenção e estabilidade.

Apesar do grande número de pesquisas desenvolvidas e do vasto número de trabalhos disponíveis na literatura sobre as propriedades dessas ligas, tais como dureza superficial, fusibilidade, temperatura de fusão, contração de fundição, resistência à corrosão e biocompatibilidade, o seu desempenho clínico muitas vezes evidencia, com o passar do tempo, problemas como oxidação superficial, degradação marginal e outros aspectos que prejudicam sua durabilidade.

Um fator importante no desempenho clínico de uma restauração metálica vinculado aos processos de fundição diz respeito aos métodos de fusão empregados, pois um aquecimento intenso e prolongado durante a fusão é prejudicial, uma vez que poderá produzir a evaporação de componentes secundários, ocasionando, assim, a formação de uma liga com propriedades diferentes (Craig, 1980; Bombonatti *et al.*, 1990).

O presente trabalho tem por objetivo analisar qualitativa e quantitativamente a composição química de algumas ligas comerciais de cobre e alumínio, suas características metalográficas e de dureza superficial na sua forma comercial e avaliar a possível influência do processo de fundição laboratorial na microestrutura e na dureza superficial.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução deste trabalho, foram selecionadas quatro ligas do sistema cobre-alumínio (Cu-Al) disponíveis comercialmente, as quais são empregadas rotineiramente pelos laboratórios de prótese dentária, que são: 1. Duracast MS (Dental Gaúcho - Marquart & Cia. Ltda., Barueri-SP); 2. Duracast Soft (Dental Gaúcho - Marquart & Cia. Ltda., Barueri-SP); 3. Goldent LA (AJE Comércio e Representações Ltda., São Paulo-SP); 4. Idealloy (Metalloy Indústria e Comércio de Artigos para Próteses Ltda., São Carlos-SP).

Posteriormente à definição das ligas a serem em-

pregadas no estudo, foi realizada a análise química qualitativa e quantitativa dessas no estado como são fornecidas para o uso (condição comercial). Foram, inicialmente, submetidas ao processo de digestão ácida para sua abertura (dissociação de seus componentes), seguido de análise das soluções em um espectrômetro analítico ICP-AES.

Para a realização de ensaios metalográficos e de testes de dureza superficial, foram confeccionados um corpo-de-prova de cada liga na condição comercial. Outros corpos-de-prova foram obtidos após as ligas terem sido submetidas aos procedimentos de fundição odontológica (condição de fusão).

Para a confecção dos corpos-de-prova na condição de fusão, inicialmente, foram selecionados quatro laboratórios de prótese dentária, codificados pelas letras A, B C e D, para a execução de fundições (uma com cada liga metálica). Para a confecção dos padrões, foi utilizada pastilha confeccionada com cera odontológica, com diâmetro de 7mm e espessura de 2,5mm; para inclusão, foram empregados pinos formadores de conduto de alimentação pré-fabricados (Sprue Duradent), sendo fixados ao padrão de cera conforme instruções do fabricante das ligas. Revestimento à base de cristobalita (Cristobalite – Kerr) foi empregado seguindo a proporção, tempo de espatulação e inclusão de acordo com o preconizado.

Após a inclusão dos padrões de cera, foram fornecidos a cada laboratório quatro anéis com padrões incluídos, quatro cadinhos refratários e duas pastilhas de cada marca comercial a ser estudada. Os procedimentos de expansão térmica do revestimento e de fusão das ligas (empregando gás/oxigênio como fonte de calor) foram executados da forma como os técnicos os executam rotineiramente. Posteriormente à realização das 16 fundições, os anéis e os cadinhos foram recolhidos e a limpeza dos corpos-de-prova foi feita conforme instruções dos fabricantes das ligas, sendo realizada a separação das pastilhas dos sprues com discos de corte apropriados.

Para a análise micrográfica, os corpos-de-prova (condição comercial e condição de fusão) foram embutidos em baquelite e a sua superfície foi lixada, polida com pasta de diamante em feltro e atacada quimicamente por imersão durante 20 segundos em ácido nítrico e ácido crômico. A microestrutura foi observada utilizando-se um microscópio metalográfico da Neophot 21 com ampliação de 200X.

Posteriormente aos ensaios metalográficos, a superfície dos corpos-de-prova foi lixada e polida e submetida a testes de dureza superficial Vickers utilizando um durômetro VEB – tipo HMO 10m com escala de força de 49N (5kp) seguindo a norma NBR

6672 da ABNT. Foram realizadas quatro tomadas de dureza para cada corpo-de-prova e a partir dos valores obtidos, calculadas as médias de dureza para cada uma das vinte amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de composição química das ligas escolhidas para este estudo, no seu estado comercial (Tabela 1), demonstraram que as ligas Duracast MS, Duracast MS Soft e Idealloy apresentam uma composição básica formada, em ordem decrescente de porcentagem em peso, por Cu, Al, Ni e Fe. Todas elas contêm Zn em concentrações que variam de 0,1 até, aproximadamente, 1,7%. Da tabela é possível afirmar que a liga Duracast MS contém Mn. A composição básica apresentada por essas ligas permite classificá-las como *bronze de alumínio*.

A liga Goldent LA, por outro lado, apresenta na sua composição, em ordem decrescente de porcentagem em peso, Cu, Zn, Al, Ni e Fe. A, relativamente, alta concentração de Zn presente nesta liga permite que seja denominada de *latão odontológico*.

O aspecto metalográfico das ligas estudadas no estado comercial e depois de submetidas à fusão é mostrado nas Figuras 1, 2, 3 e 4. A correta interpretação da microestrutura é fundamental, pois as propriedades das ligas metálicas dependem não só da sua composição química como também das propriedades e da distribuição das fases constituintes.

O diagrama de equilíbrio para o sistema cobre-alumínio pode ser utilizado como ponto de partida para a análise da microestrutura das ligas estudadas. Os diagramas de equilíbrio são construídos, experimentalmente, com aquecimento e resfriamento muito lentos. Os metais, no estado bruto de fusão, sofrem, em geral, resfriamento rápido e suas estruturas encontram-se num estado de não-equilíbrio. Embora ligas fundidas apresentem suas estruturas diferentes das produzidas por solidificação em condições de equilíbrio, os diagramas de equilíbrio são referências básicas para a discussão das estruturas brutas de fusão (Simonetti, 1977; Guastaldi, 1987).

Nas micrografias das ligas estudadas no estado comercial, é possível observar que as microestruturas das ligas são formadas, na sua maioria, por uma região clara (provável solução dos elementos de liga no cobre-matriz). O aspecto da matriz, com possível estrutura cúbica de face centrada – fase alfa - varia de uma liga para a outra. Na liga Duracast MS, por exemplo, a matriz apresenta uma granulação pequena desordenada, ao passo que nas ligas Duracast Soft e Goldent LA, tem a forma de pequenos cristais alongados.

A diferença no formato apresentada pela matriz nas ligas estudadas pode ser, em princípio, um resultado atribuído ao fato de as ligas terem passado por histórias térmicas diferentes. Na liga Idealloy, por exemplo, o aspecto da matriz é similar ao apresentado por bronzes de alumínio temperados e revenidos adequadamente (Coutinho, 1980), nos quais a matriz se apresenta num estado saturado por elementos de liga.

A homogeneidade da matriz também varia de uma liga para outra. Nas micrografias das ligas, é possível observar a formação de regiões escuras entre os grãos, as quais podem ser atribuídas à formação de fases secundárias. Em ordem crescente de quantidade visível dessas regiões escuras, é possível classificar as ligas da maneira seguinte: Idealloy, Duracast MS Soft, Goldent LA e Duracast MS.

Nas ligas com baixo conteúdo de zinco (Idealloy, Duracast MS Soft e Duracast MS), as fases secundárias precipitadas em maior quantidade são, provavelmente, as fases beta e/ou beta um e kappa, comuns em bronzes de alumínio.

As amostras das ligas obtidas após os processos de fusão, nos laboratórios de prótese dentária, apresentam microestruturas com alterações bastante acentuadas (Figuras 1, 2, 3 e 4). Nas amostras da liga Duracast MS, a microestrutura variou em forma e homogeneidade de uma amostra para outra. Na Figura 1A, é possível destacar a presença de defeitos de fusão (gases) e de finos precipitados de segundas fases sobre a matriz que apresenta granulação pequena. Nas outras amostras desta liga (Figuras 1B, 1C e 1D), a estrutura predominante é acircular dendrítica (grãos claros e alongados), típica em bronzes de alumínio quando submetidos a resfriamento rápido.

Em duas das amostras fundidas da liga Duracast Soft (Figuras 2A e 2B), a microestrutura apresentou granulação pequena (regiões claras) com inclusões definidas. Nas outras amostras (Figuras 2C e 2D), observa-se a presença de defeitos de fundição sobre uma estrutura acircular dendrítica, provável resultado de um resfriamento rápido.

As amostras fundidas da liga Goldent LA exibem características diferentes. Numa delas, a microestrutura é formada por grãos finos e alongados distribuídos com grande homogeneidade (Figura 3A), estrutura típica da liga no estado comercial. Nas amostras das Figuras 3B e 3D, a microestrutura demonstra uma tendência à nodulização, estado permanente a altas temperaturas, enquanto que, na amostra da Figura 3C, a estrutura é acircular dendrítica, formada por dendritas homogêneas. Em todas as amostras fundidas desta liga, é possível observar a presença de segundas fases, regiões escuras, distribuídas de forma aproximadamente homogênea

sobre a matriz.

Todas as amostras fundidas da liga Idealloy apresentam uma estrutura acircular dendrítica com tamanhos de grãos que variam de uma amostra para outra. Também se pode observar a formação de segundas fases (regiões escuras) entre as dendritas da matriz.

Os resultados dos ensaios de dureza Vickers (Gráfico 1) indicam que as ligas estudadas, no estado comercial, apresentam o seguinte comportamento em ordem decrescente de valor médio de dureza superficial: Idealloy (228), Goldent LA (188), Duracast Soft (130) e Duracast MS (124). Essa classificação, em ordem decrescente de dureza superficial, acompanha, embora com valores inferiores, a de Bombonatti *et al.* (1990) para as ligas no estado comercial: Idealloy (245), Goldent LA (240), Duracast MS (176).

O valor médio de dureza superficial determinado neste estudo para a liga Duracast MS no estado comercial acompanha os citados por Motta *et al.* (1985) e Motta (1991) e os divulgados pelo fabricante no manual técnico da liga (130). Segalla *et al.* (1998) indicam que os valores médios de dureza Vickers para as ligas Duracast MS e Goldent LA no estado comercial são, respectivamente, 143 e 142. Esses resultados contrastam com os obtidos neste estudo.

Um fato importante a ressaltar é que, no grupo de ligas com baixo conteúdo de zinco, a classificação, em ordem decrescente de dureza superficial para as ligas no estado comercial (Idealloy, Duracast Soft e Duracast MS), corresponde à classificação na qual aumenta a fração volumétrica de fases secundárias presentes nas ligas. Isso parece sugerir que a propriedade de dureza superficial das ligas estudadas no estado comercial, além de ser influenciada pelas suas composições, como sustentam vários pesquisadores (Duncan, 1982; Atta *et al.*, 1988; Silva Filho, 1988; Phillips, 1993), também depende da relação percentual existente entre a quantidade da fase matriz e das fases secundárias (Veronesi *et al.*, 1990; Veronesi *et al.*, 1992; Pérez, Garbin, 1999). Para Simonetti (1975), Bombonatti *et al.* (1990) e Franciscioni *et al.* (1993), a desigualdade de composição é que explica a diferença de dureza das ligas à base de cobre e alumínio, uma vez que o aumento do teor de alumínio resulta em dureza crescente.

Os resultados obtidos neste estudo sugerem que a porcentagem de alumínio nas ligas à base de cobre e alumínio não pode ser utilizada como parâmetro único indicativo da propriedade de dureza. Na análise da Tabela 1, as ligas Duracast MS e Idealloy apresentam concentrações de alumínio semelhantes; porém, ainda assim, a liga Idealloy apresenta maior dureza superficial. Do ponto de vista metalúrgico, as propriedades mecânicas das ligas metálicas, em geral,

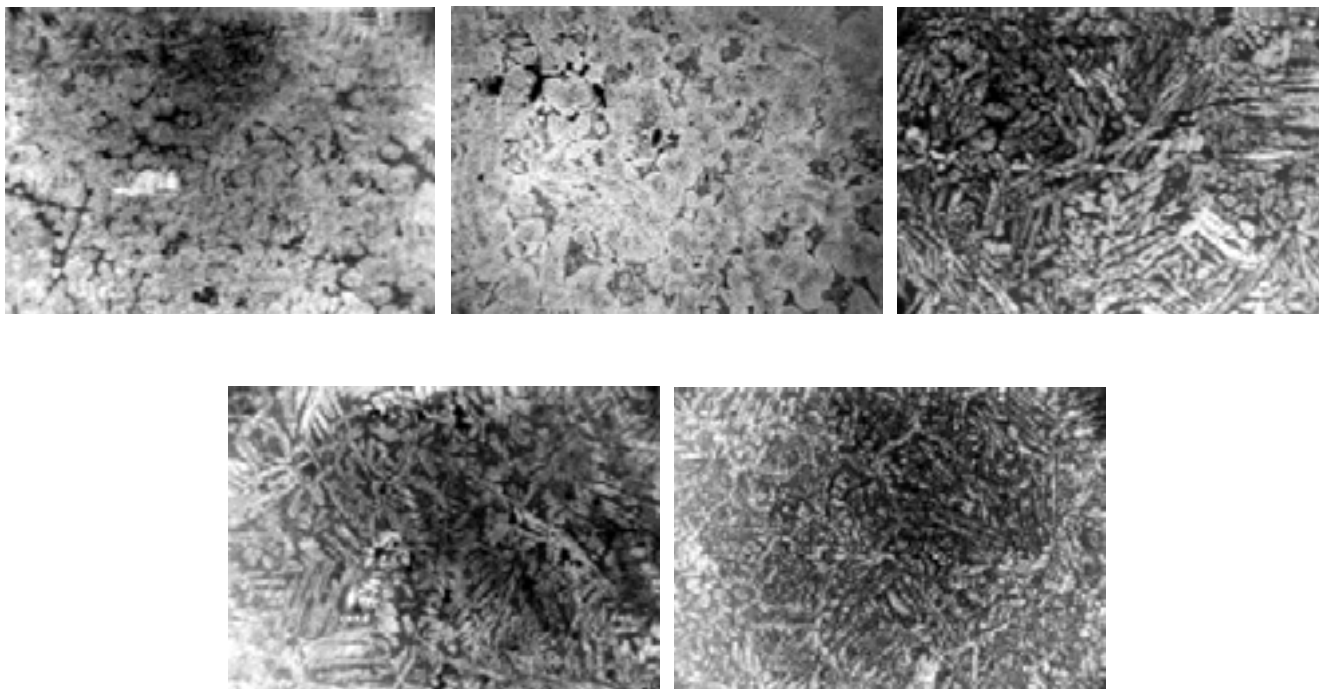


FIGURA 1: Ilustrações representando a microestrutura da liga Duracast MS na condição comercial e após processos de fusão nos laboratórios de prótese dentária (aumento de 200x).

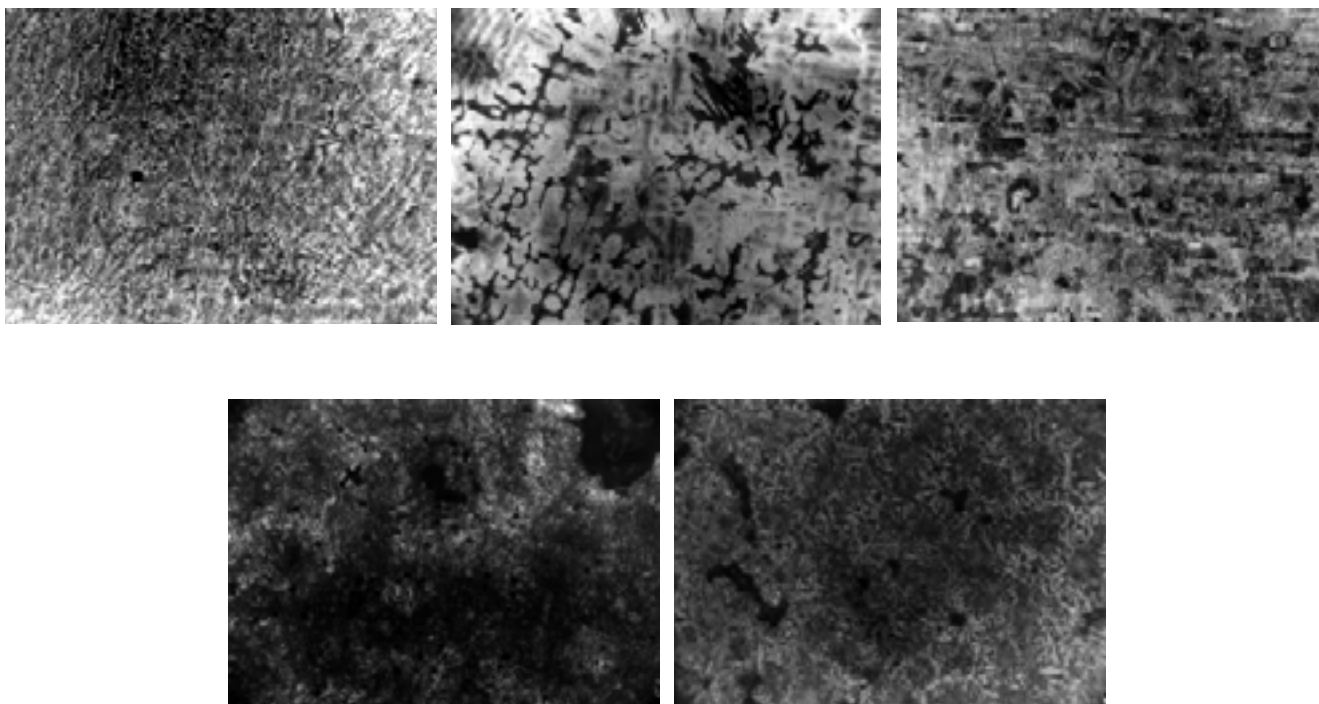


FIGURA 2: Ilustrações representando a microestrutura da liga Duracast Soft na condição comercial e após processos de fusão nos laboratórios de prótese dentária (aumento de 200x).

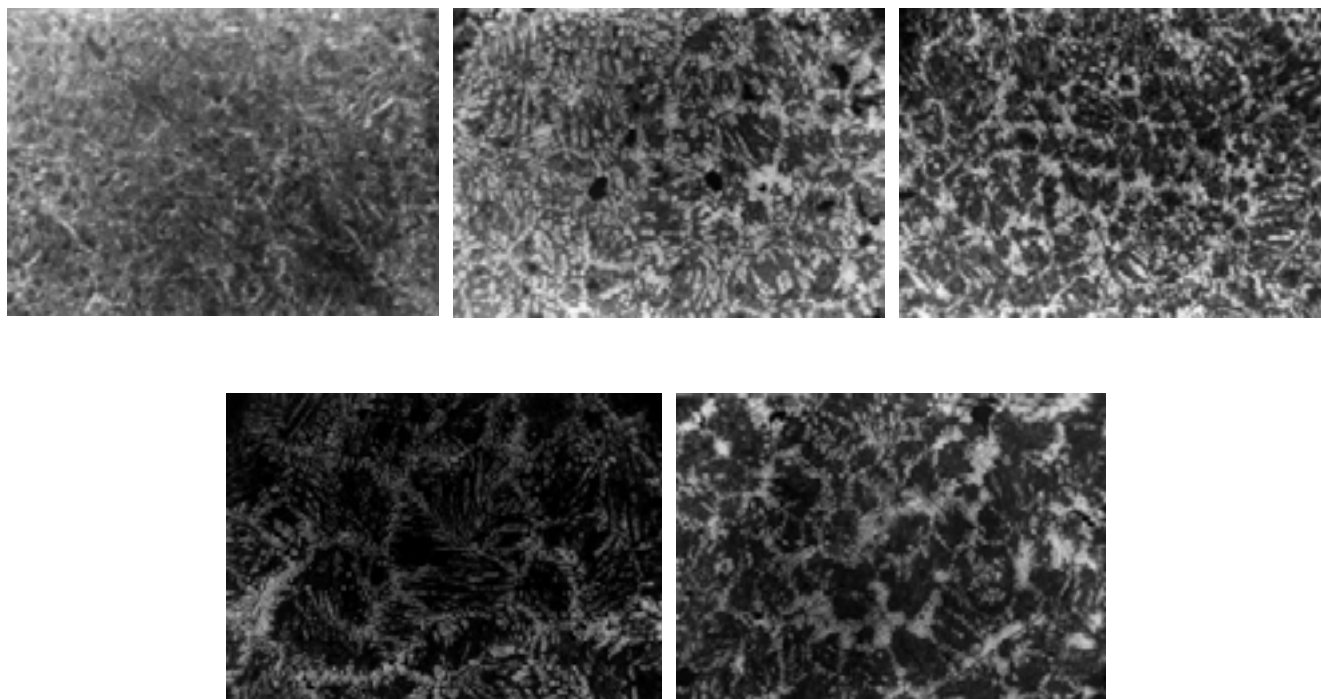


FIGURA 3: Ilustrações representando a microestrutura da liga Goldent LA na condição comercial e após processos de fusão nos laboratórios de prótese dentária (aumento de 200x).

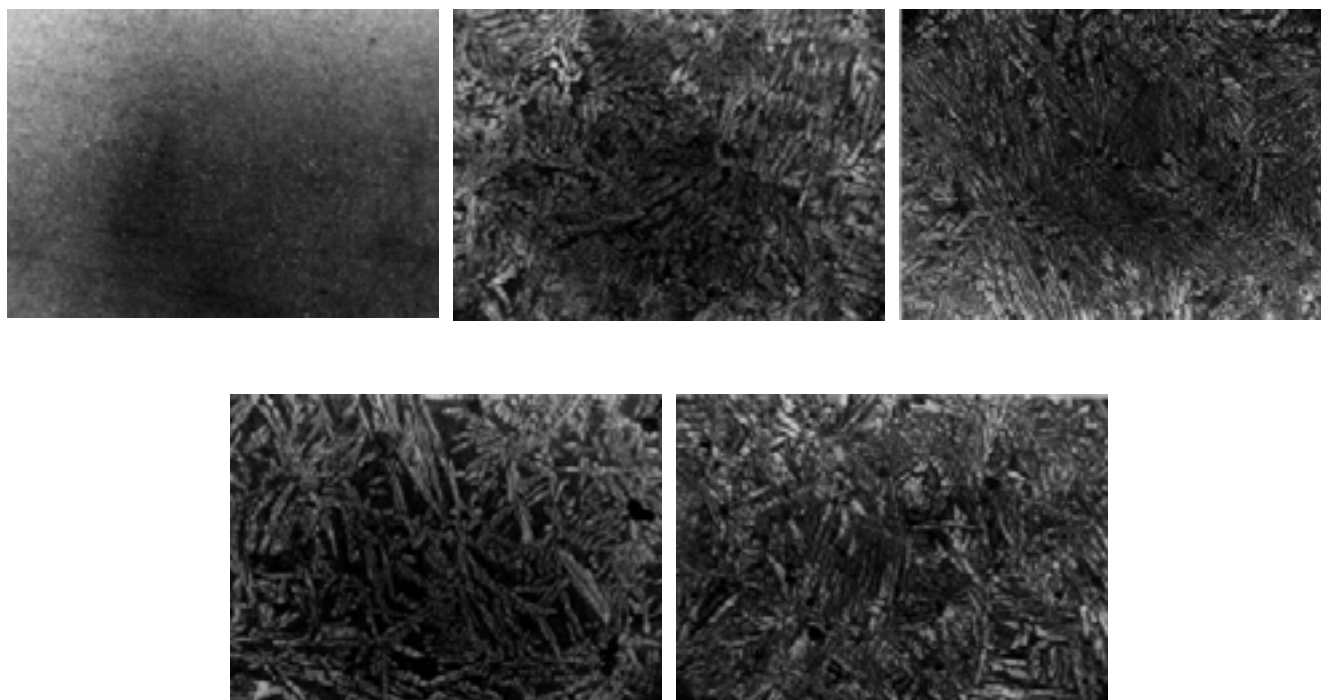


FIGURA 4: Ilustrações representando a microestrutura da liga Idealloy na condição comercial e após processos de fusão nos laboratórios de prótese dentária (aumento de 200x).

dependem não só das propriedades dos elementos componentes, mas das propriedades das estruturas que eles formam e da maneira como tais estruturas se encontram distribuídas.

Os ensaios de dureza superficial efetuados nas ligas depois de submetidas ao processo de fusão em laboratórios de prótese dentária comercial indicam comportamentos diferentes: a liga Duracast MS, após fundida, aumentou o seu valor médio de dureza até aproximadamente 160 (Gráfico 1). Esse valor permaneceu praticamente independente do laboratório onde foi fundida a amostra.

No gráfico Dureza Vickers (Gráfico 1) é possível

TABELA 1: Composição química das amostras em porcentagem em peso dos componentes.

	Cu	Al	Ni	Fe	Mn	Zn	Total
Duracast MS	75,70	10,23	4,03	3,02	1,20	0,12	94,30
Duracast Soft	76,40	8,37	4,50	2,67	-	1,67	93,61
Idealloy	77,40	10,00	4,67	3,21	-	0,35	95,63
Goldent LA	70,60	6,15	4,70	0,34	-	6,84	88,63

observar que os valores médios de dureza superficial para as ligas Idealloy e Goldent LA diminuíram após fusão independentemente do laboratório de prótese onde foi efetuada a fusão. Parece claro, também, que a liga Idealloy diminuiu, em maior proporção, o seu valor médio de dureza.

A liga Duracast Soft, por outro lado, apresentou um comportamento aparentemente anômalo em relação às outras ligas estudadas (Gráfico 1). Os valores

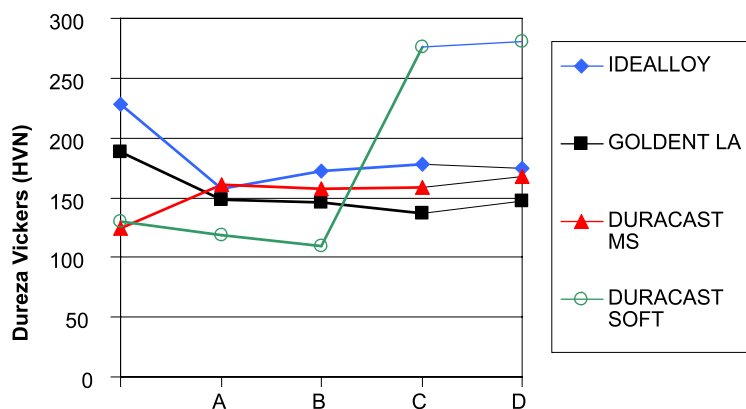


GRÁFICO 1: Valores médios de dureza Vickers das ligas estudadas em função do laboratório de prótese comercial onde foram submetidas à fusão odontológica. No eixo vertical, estão colocados os valores de dureza para as ligas no estado comercial. As linhas tracejadas são meramente

médios de dureza superficial diminuíram em relação ao da liga no estado comercial, quando fundida nos laboratórios A e B, ao passo que aumentaram quando submetida à fusão nos laboratórios C e D. Esses resultados parecem indicar que a propriedade de dureza superficial da liga Duracast Soft é mais suscetível ao procedimento de fusão.

Os resultados dos ensaios de dureza Vickers efetuados neste estudo acompanham os de Bombonatti *et al.* (1990) para a liga Goldent LA, quando indicam que a dureza média desta diminui após fusão. No entanto, contrastam quando sugerem que a dureza superficial da liga Idealloy permanece praticamente inalterada, enquanto que a da liga Duracast MS diminui quando fundida. Os valores médios de dureza superficial apresentados pelas ligas Duracast MS e Goldent LA, depois de fundidas, estão de acordo com os resultados encontrados por Segalla *et al.* (1998), que indicam que a dureza superficial dessas ligas é passível de tratamentos térmicos.

Os resultados deste estudo sugerem que a microestrutura e a propriedade de dureza superficial das ligas estudadas podem sofrer alterações significativas como consequência do processo de fundição odontológica (fusão). Essas alterações poderiam, em princípio, ser atribuídas ao próprio processo de fusão, que provocaria mudanças nos compostos (fases), na relação volumétrica percentual entre esses e na forma como se distribuem nas ligas. Várias afirmações de diversos pesquisadores ajudam a sustentar essa hipótese. Craig (1980) afirma que o aquecimento intenso e prolongado durante a fusão é prejudicial uma vez que isso poderá produzir a evaporação de componentes secundários, ocasionando, assim, a formação de uma liga com propriedades diferentes da original. Segundo Bombonatti *et al.* (1990), quando se emprega o processo de fusão por centrifuga comum com chama gás-oxigênio, como neste estudo, não é possível controlar a quantidade de calor aplicada à liga por causa do alto poder calorífico dessa chama. De acordo com essas afirmações, durante a fusão com o maçarico, pode ser facilmente atingido o superaquecimento da liga, o que pode levar à evaporação de elementos secundários, mudando, assim, a estequiometria original e podendo propiciar o desaparecimento ou surgimento de novas fases.

É importante ressaltar também que, durante a fusão com centrifuga comum com chama gás-oxigênio, a liga, em estado líquido, pode absorver grande quantidade de óxidos e, ao

se solidificar, esses óxidos influenciariam nos tipos de compostos finais, uma vez que também alteram a composição final da liga. De acordo com Motta (1991), durante a fusão da liga Duracast MS, é imprescindível o conhecimento do momento exato de soltar a centrífuga para evitar carbonização; também o aquecimento excessivo e prolongado altera o balanceamento metalúrgico, prejudicando o comportamento clínico.

CONCLUSÃO

1 – os resultados das análises químicas efetuadas nas ligas selecionadas para o estudo permitiram concluir que as ligas Duracast MS, Duracast Soft e Idealloy são classificadas como bronze de alumínio, ao passo que a liga Goldent LA pertence aos latões odontológicos;

2 – a metalografia das ligas estudadas na condição comercial demonstrou uma microestrutura formada, em sua maioria, por uma solução sólida de elementos de liga no cobre (matriz). O aspecto da matriz varia de uma liga para outra assim como os espaços entre os cristais;

3. a metalografia das ligas após os procedimentos de fundição odontológica é caracterizada pela presença de defeitos de fusão (gases) e de finos precipitados de segundas fases sobre a matriz de formato acircular dendrítico;

4. os resultados dos ensaios de dureza Vickers, efetuados antes e após fusão, indicaram que o procedimento de fusão influencia na propriedade de dureza superficial das ligas de forma diferenciada.

Garbin CA, Pérez CAS, Marcos JLN, Pacheco A de O. Alloys of the copper-aluminum system: evaluation of microstructural features. PCL, 2003; 5(27):379-87.

Chemical composition, metallography and Vicker's superficial hardness analyses were performed in four kinds of commercialized metal alloys based in copper and aluminum and used in Dentistry. The metallographic and hardness tests were repeated in specimen obtained after subjecting the alloys to casting (melting condition) in four dental prosthesis labs through the lost-wax process and following the manufacturer's instructions for using the centrifuge and the oxygen gas flame.

The metallographic tests showed that most of the microstructure of the commercialized alloys studied are formed by a light area (likely to be an alloy element solution in the copper-matrix). The appearance and homogeneity of the matrix varies from alloy to alloy. The metallographic analysis of the samples under the casting presented relevant evidence of microstructural changes, making it possible to observe defective casting or defective thin precipitate.

The Vicker's tests of superficial hardness performed in the samples under the commercial condition and the melting condition showed a variation in the feature of superficial hardness of the alloys studied, probably related to the microstructural change of the alloys.

KEYWORDS: Metallics alloys; Metallography; Superficial hardness.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos aos professores Agenor Dias de Meira Júnior (FEAR), Luiz Airton Consalter (FEAR), João Anaracy Santin (FO), Álvaro Della Bona (FO), ao técnico de laboratório da FEAR Charles L. Israel de Quadros, aos Laboratórios de Prótese Dentária Coral, Laboratório Mazarte, Laboratório de Prótese

Dentária Simões e Laboratório de Prótese Dentária Luiz. Este projeto de pesquisa foi financiado pela FAPERGS (Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul) processo nº 90/1274-0.

REFERÊNCIAS

Atta JY, Mondelli J, Lins do Valle A, Franco EB, Ishikiriyama A, Pereira JC. Estudo comparativo da fusibilidade de ligas dos sistemas cobre e prata. Rev Bras Odontol 1988, Rio de Janeiro; 65:2-10.

Bombonatti PE, Barros LE, Scaracelo RM, Pellizer AJ, Feltosa SA. Determinação de dureza de ligas de cobre, na forma como são recebidas e após a fundição, em função das técnicas de fusão. Rev Odontol Unesp 1990, São Paulo; 19:217-26.

- Coutinho T de A. Metalografia de não-ferrosos. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher; 1980. 128p.
- Craig RG. Restorative dental materials. 6 ed. St Louis: Mosby; 1980. 158p.
- Duncan JD. The casting accuracy of nickel-chromium alloys for fixed protheses. *J Prosthet Dent* 1982; 47:63-8.
- Francisconi PAS, Mondelli J, Ishikiriama A. Efeitos da fonte de calor e do tratamento térmico sobre a dureza superficial e a resistência à corrosão de ligas metálicas alternativas para uso odontológico. *Rev Odont USP* 1993; 7(3):211-7.
- Guastaldi AC. Desenvolvimento de ligas metálicas alternativas a base de cobre aplicadas à Odontologia [Tese – Doutorado em Engenharia]. São Paulo: Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo; 1987. 195f.
- Motta RG. Aplicações clínicas dos materiais dentários: ligas de cobre alumínio para uso odontológico. Rio de Janeiro: Publicações Científicas; 1991. 228p.
- Motta RG, Cupolillo GS, Cunha RA. Ligas de cobre: propriedades mecânicas, composição e microestrutura. *Rev Bras Odontol* 1985; 42(5):22-6.
- Pérez CAS, Garbin CA. Caracterização metalúrgica de ligas de Ni-Cr para metalocerâmica. *Rev Fac Odontol P Alegre* 1999; 40(1):57-9.
- Phillips RW. Materiais dentários de Skinner. 9 ed. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan; 1993. 334p.
- Santos MS, Reis MS, Dinelli W, Gabrielli F, Fontana UF, Porto C de A. Resistência à corrosão de ligas de cobre-alumínio (I). *Rev Gaúcha Odontol* 1987; 35(3):175-80.
- Segalla JCM, Mondelli J, Dinelli W, Guastaldi AC. Ligas alternativas de cobre: influência do tratamento térmico na propriedade de dureza. *Rev Odont Unesp* 1998; 27(1):151-63.
- Silva Filho FPM. Ligas do sistema cobre-alumínio. Estudo da contração de fusão e dureza Vickers. Efeito das técnicas de fusão e tratamento térmico. *Odontol Clin* 1988; 2(1):15-9.
- Simonetti EL. Dentística restauradora: ligas do sistema cobre-alumínio [Tese – Livre Docência em Odontologia]. São Paulo: Faculdade de Odontologia de São Paulo, Universidade de São Paulo; 1975. 123f.
- Simonetti EL. Dentística restauradora: ligas do sistema cobre-alumínio. II – Propriedades mecânicas. *Rev Fac Odont USP* 1977; 15(1):53-64.
- Veronesi GS, Consani S, Ruhnke LA. Fundição das ligas de cobre-alumínio. *Rev Gaúcha Odontol* 1990; 38(5):385-8.
- Veronesi GS, Consani S, Ruhnke LA. The influence of casting methods on surface microhardness and crystalline formation of aluminum-copper alloys. *J Prosthet Dent* 1992; 67(1):26-9.