1.1.1. Ligas metálicas para fundição Odontológica

1.1.1.1. Generalidades

Os metais para restaurações dentárias foram extensivamente empregados até pouco tempo atrás. Contudo, ainda na atualidade, encontram vasta indicação na reabilitação oral. Principalmente onde há necessidade da presença de materiais com alta resistência mecânica, como é o caso nas próteses parciais fixas, principalmente as mais extensas, e próteses parciais removíveis, onde as tensões mecânicas envolvidas podem ser muito elevadas, pois as infra-estruturas são peças muito grandes e complexas. Também na Ortodontia os fios metálicos necessitam apresentar altos limites de elasticidade, para que os artifícios como alças e molas possam desempenhar satisfatoriamente a mecânica ortodôntica. Ainda nos implantes dentários, cada vez mais difundidos, o titânio, com seus bons resultados, principalmente de biocompatibilidade é o metal mais utilizado.

O método de fundição Odontológica, pela cera perdida, foi introduzido na profissão por Taggart, em 1907. A liga empregada naqueles inícios foram moedas de ouro e ligas de joalheria. Continham alto teor de ouro e em torno de 10% de cobre e/ou prata.

A partir dessa época, sucessivamente foram desenvolvidas ligas próprias para o emprego na Odontologia e, em 1932, o grupo de materiais dentários do NBS (National Bureau of Standards –USA) estabeleceu uma classificação das ligas de ouro em 4 tipos, quanto à dureza o que era decorrente da composição. Na época advogava-se que as ligas teriam que apresentar no mínimo 65 a 75% de ouro para que não se manifestasse a corrosão das mesmas. Provavelmente o paládio era pouco empregado, quando atualmente se sabe que ele contribui eficazmente na resistência ao manchamento e à corrosão.

As ligas de cobalto-cromo para próteses parciais removíveis surgiram na década de 30 como ligas alternativas às de ouro empregadas na época para este fim. Desde então elas se difundiram tanto que hoje são consideradas substitutas.

As restaurações metalocerâmicas surgiram na década de 50. Consistem em fundir porcelana sobre uma infra-estrutura de metal. Geralmente constituída de um casquete, que se adapta sobre o dente preparado, sendo a coroa dental completada com porcelana. O processo conduz a restaurações altamente estéticas, pelo fato da cerâmica imitar a cor e propriedades óticas dos dentes naturais. A desvantagem da fragilidade da porcelana é atenuada por estar unida ao substrato metálico. O processo requereu novas ligas. Por um lado com maior temperatura de fusão, já que a porcelana sofre a cocção a temperaturas relativamente altas (que as ligas tradicionais ou clássicas não suportam), por outro lado, não menos importante, elas precisam apresentar uma composição tal que a altas temperaturas formem uma camada de óxidos, através da qual se dá a união bastante resistente entre metal e cerâmica. As ligas de ouro tradicionais não apresentavam essas características. Assim novas ligas para metalocerâmica tinham que ser elaboradas.

Durante a década de 70, o ouro, mundialmente, subiu muito de preço, fato que impulsionou o estudo de ligas com baixo conteúdo de ouro. Parte do componente ouro foi substituída por paládio, que parece ter permitido uma redução da porcentagem atômica de metais nobres, sem que ocorresse deslustre ou manchamento no meio bucal. Também foram introduzidas ligas de níquel-cromo e cobalto-cromo e, ultimamente, titânio para trabalhos de metalocerâmica.

As ligas odontológicas para fundição precisam apresentar algumas propriedades desejáveis para o bom desempenho clínico: 1) apresentar ótima biocompatibilidade; 2) resistência à corrosão e manchamento ou deslustre; 3) não apresentar elementos alérgenos para alguns pacientes; 4) resistência mecânica suficiente para o desempenho da função; 5) apresentar não apenas custo baixo do metal/peso, mas também, ser de fácil manuseio no laboratório; 6) deve reproduzir com fidelidade os pormenores nas peças fundidas. O termo em inglês ***castability*** exprime muito bem todo o processo de fundição como a facilidade de fundir a liga, a sua facilidade de fluir e capacidade de reproduzir os detalhes dos moldes. Traduzir o termo por fusibilidade é criticável, pois isto indicaria apenas o ato de deixar a liga líquida. Fundibilidade daria uma idéia mais

completa, contudo o termo não existe no vernáculo.

A American Dental Association (ADA), em 1984 apresentou uma classificação das ligas odontológicas para fundição em função dos conteúdos de metais nobres (ouro, platina e paládio principalmente, o ródio, rutênio, irídio e ósmio poderiam participar, contudo estão pouco presentes), conforme Tabela 1.2.2.1. As ligas predominantemente de metais básicos podem conter menos de 25% de metais nobres. Isto foi estabelecido pelo fato de algumas ligas de metais básicos poderem conter pequenas quantidades de metais nobres.

TABELA 1.2.2.1 Classificação das ligas (American Dental Association – 1984)

Classificação	Condições
Altamente nobre (AN)	Conteúdo de metal nobre ≥ 60% (ouro, platina, paládio) e ouro ≥ 40%
Nobre (N)	Conteúdo de metal nobre ≥ 25%* (ouro, platina, paládio)
Predominância de metais básicos (PMB)	Conteúdo de metal nobre < 25% (ouro, platina paládio)

*Não há limite superior. É para acomodar conteúdo alto de metais nobres com menos de 40% de ouro.

Pode ainda ser estabelecida uma outra classificação das ligas, conjugando nobreza com indicação clínica (Tabela 1.2.2.2). Verifica-se que todos os metais quanto à nobreza podem ser empregados clinicamente para restaurações inteiriças de metal, metaloplásticas, metalocerâmicas e próteses parciais removíveis. Lembre-se que para blocos inteiriços de metal ou para metaloplástica qualquer liga poderia ser empregada, contudo isto não ocorre clinicamente. Peças totalmente metálicas, na atualidade, praticamente não são mais realizadas por razões estéticas. Para as reabilitações metalocerâmicas as ligas necessitam apresentar propriedades específicas, conforme já mencionado (alta temperatura de fusão e permitir união com a cerâmica).

TABELA 1.2.2.2 Classificação das ligas para fundição odontológica em função da nobreza e indicação clínica.

Tipo de metal	Fundições totalmente metálicas ou para metaloplásticas	Fundições para metalocerâmicas	Infra-estrutura de próteses parciais removíveis
Altamente nobres (AN)	Au, Ag, Cu, Zn, Pt, Pd	Au, Pt, Pd, Ag, (Sn, In, Fe)	Au, Ag, Cu, Pt, Pd, Zn
Nobres (N)	Au, Pd, Ag, Cu, Zn	Au, Pd, Ag, Cu (Sn, In, Fe)	Ag, Pd, Au, Cu
Predominantemente básicas (PMB)	Ti (cp), Ag-Sn-Cu-Zn, Cu–Al, a base de Ni-Cr e Co-Cr	Ti (cp) Ti-Al-V Ni-Cr-Mo-Be Ni-Cr-Mo Co-Cr-Mo Co-Cr-W	Ti (cp) Ti-Al-V Ni-Cr-Mo-Be Ni-Cr-Mo Co-Cr-Mo Co-Cr-W

As ligas para infra-estruturas de próteses parciais removíveis requerem alta resistência mecânica. Não porque a sua capacidade mastigatória seja alta, pelo contrário, mas devido às suas grandes extensões, uma liga com baixo limite de escoamento poderia se deformar, plasticamente, com grande facilidade. Na atualidade são empregadas na maioria dos casos ligas a base de Co-Cr e Ni-Cr-Co. Apresentar as composições se torna difícil, devido ao grande número de ligas existentes, principalmente no mercado internacional. A ADA (1984) apresentou um número bem grande de diversas formulações não completas: 1) altamente nobres para metalocerâmica – mais de 2 centenas; 2) nobres para metalocerâmicas – quase uma centena; 3) predominantemente metais básicos – quase meia centena.

Entretanto será possível apresentar composições médias típicas dos diversos tipos de ligas e as correspondentes indicações, em função das propriedades que

apresentam.

As ligas para fundições totalmente metálicas ou metaloplásticas são principalmente as altamente nobres (Tabela 1.2.2.2), que correspondem às ligas de ouro tradicionais. Outro tipo de liga para as mesmas finalidades são as nobres, que correspondem àquelas de baixo conteúdo de ouro, ou prata-paládio.

As ligas predominantemente de metais básicos não são extensivamente empregadas para restaurações inteiriças de metal ou metaloplásticas. As exceções poderiam ser as ligas a base de Ag-Sn-Cu-Zn e Cu-Al para blocos totalmente metálicos. O titânio comercialmente puro (cp), suas ligas ou ligas a base de Ni-Cr e Co-Cr são pouco empregadas para blocos inteiriços de metal ou metaloplásticas. E, se houver interesse, podem ser utilizadas as ligas para metalocerâmica, que serão estudadas no item 1.2.2.6.

1.1.1.2. Ligas de ouro tradicionais ou clássicas

As ligas de ouro tradicionais já estavam bem estudadas até o início da década de 30. Elas foram classificadas em 4 tipos em função da dureza, que por sua vez é função da composição. (Tabela 1.2.2.3.). Verifica-se pela composição que elas se enquadrariam entre as ligas altamente nobres (Tabela 1.2.2.1 e 1.2.2.2).

Essas ligas atualmente ainda podem encontrar indicação e o grande interesse é o estudo comparativo de ligas alternativas ou sucedâneas.

TABELA 1.2.2.3 Composição e propriedades de ligas de ouro tradicionais *

Composição e propriedades		**Tipos de liga de ouro tradicionais**			
		I (Macia)	**II (Média)**	**III (Dura)**	**IV (Extra dura)**
Composição (%)	**Au**	87	78	75	68
	Ag	11	13	12	15
	Cu	3	7	10	14
	Pd	0	2	3	4
	Pt	0	0	2	3
	Zn	1	1	1	2
Dureza Vickers (kgf/mm²)**		A 80	A 101	A 138	A 144
		-	-	E 230	E 260
Limite de proporcionalidade (MPa)**		A 80	A 140	A 180	A 270
		-	-	E 300	E 450
Alongamento (%)**		A 25	A 22	A 20	A 16
		-	-	E 10	E 4
Contração de fundição (%)		1.56	1.44	1.42	1.40
Temperatura de fusão (^{0}C)		930	900	900	870

* Os valores constantes da tabela são médias aproximadas
** A (amaciada); E (endurecida)

A presença do ouro em alto teor, juntamente com o paládio e a platina, devido à sua alta nobreza, são os responsáveis pela excelente resistência à corrosão e manchamento dessas ligas no meio bucal.

O cobre abaixa a temperatura de fusão, porém sua principal fusão é a de tornar algumas ligas (tipos III e IV) passíveis de aumentar as propriedades mecânicas de resistência, mediante tratamento térmico endurecedor, conforme será visto adiante. Também o paládio e a platina aumentam a dureza e, dependendo das proporções, juntamente com o cobre, fazem endurecer a liga, mediante tratamento térmico endurecedor. A prata até certo conteúdo substitui o ouro (a um custo bem menor) e, segundo alguns autores, auxilia no aumento da dureza pela formação de precipitados com o cobre. O zinco evita que o cobre forme óxidos indesejáveis durante a fusão da liga, pois ele se oxida de preferência formando óxidos sobrenadantes.

Tratamento térmico - O diagrama de constituição binária de Au-Cu mostra que acima de 450ºC todas as composições são soluções sólidas substitucionais.

Entretanto, com ouro entre cerca de 38 e 88% em peso, ocorrem no estado sólido transformações na estrutura cristalina abaixo de 450ºC, até próximo da temperatura ambiente, dependendo da composição. Com ouro entre cerca de 65 a 88% forma-se supergrade AuCu responsável pelo endurecimento da liga, mediante o tratamento térmico endurecedor.

Antes de realizar o tratamento térmico endurecedor, deve ser feito o amaciador ou homogeneizador. Consiste em manter a liga à temperatura de 700ºC por 10 a 15 minutos e, em seqüência, resfriar em água. Este processo deixa a liga homogeneizada e em decorrência amaciada, e a estrutura cristalina é cúbica de face centrada. O tratamento térmico endurecedor é realizado colocando a liga no forno a 450ºC e abaixar a temperatura até 250ºC em cerca de 30 minutos, ou seguir as instruções dos fabricantes. Durante esse resfriamento lento, é cruzada a temperatura crítica de ordenação dos átomos de ouro e cobre, formando-se a fase AuCu, essa fase é de estrutura tetragonal, que vai desempenhar o papel de trava dificultando o deslizamento dos planos de átomos, o que é responsável pelo aumento da dureza e resistência mecânica da liga. Por outro

lado, o alongamento é diminuído. Para que se realize o endurecimento é necessária a presença de certa quantidade de cobre. Fato que explica porque as ligas do tipo III e IV endurecem mediante tratamento térmico endurecedor, já que apresentam maior conteúdo de cobre, quando comparadas com as do tipo I e II.

Ligas microgranuladas – As ligas de ouro tradicionais, e outras, podem ter a resistência mecânica aumentada, sem sacrificar o alongamento, quando nucleadas, apresentando grãos cristalinos bem menores ou estrutura micro granulada. A nucleação pode ser feita pela introdução de pequena quantidade de um metal com temperatura de fusão bem alta, como, por exemplo, o irídio na proporção de 0,005%.

Temperatura de fusão e contração de fundição - As ligas áuricas tradicionais apresentam temperatura de fusão relativamente baixa, de cerca de 900ºC. Podem ser fundidas com o emprego de fonte de calor comum como gás de butijão doméstico e ar comprimido. A contração de fundição é de ordem de 1,5%. Essas duas propriedades (contração e temperatura de fusão) permitem com que a fundição possa ser realizada com inclusão em revestimento aglutinado com o gesso, que nessas condições apresenta compatibilidade de expansão e resistência térmica.

Indicação – As ligas tradicionais servem para incrustações e coroas fundidas inteiriças, o que é pouco utilizado atualmente. Ainda podem ser empregadas em trabalhos metaloplásticos. As ligas do tipo I servem para blocos pequenos, onde a incidência dos esforços de mastigação seja mínima. A do tipo II já se destina a blocos maiores, devido à sua maior resistência. Estes dois tipos praticamente não são mais empregados, pois têm sido substituídos por materiais estéticos como as resinas compostas. A liga do tipo III é indicada para blocos grandes, coroas e próteses fixas. A liga tipo IV é indicada para infra-estrutura de prótese parcial removível. Atualmente no Brasil é substituída largamente pelas ligas a base de cobalto-cromo. Ainda a liga do tipo IV pode ser empregada para próteses fixas extensas.

Permilagem e quilates – O conteúdo de uma liga de ouro, também pode ser representado por permilagem (partes em mil). Assim, uma liga com 80% de ouro teria permilagem 800. Outra forma de indicar o teor de ouro é quilate. O ouro puro corresponde a 24 quilates.

Com 75% de ouro seria de 18 quilates. Contudo esta nomenclatura é mais adotada para as soldas onde se indica para que liga pode ser utilizada. Ou seja, se a solda for 18 quilates é indicada para liga de 18 quilates, não que a solda tenha 18 quilates.

1.1.1.3. Ligas com baixo conteúdo de ouro e a base de paládio (ligas de metais nobres)

O aumento do custo do ouro após a década de 70 levou os pesquisadores a elaborar ligas alternativas, em relação às tradicionais, com menor conteúdo desse elemento. Para compensar a diminuição de ouro era adicionado o paládio. Algumas são isentas de ouro, contendo, em compensação, maior conteúdo de paládio.

A Tabela 1.2.2.4 apresenta a composição de algumas dessas ligas. Verifica-se que as de ouro, também apresentam quantidades razoáveis de paládio. Este apresenta peso atômico bem menor que o ouro. Assim, para massas iguais dos dois elementos, o paládio contem 1.85 vezes mais átomos que o ouro. Isto contribui em muito na resistência à corrosão, uma vez que estão presentes mais átomos de metais nobres. Também, parece que o paládio inibe a fácil corrosão que a prata apresenta no meio bucal.

TABELA 1.2.2.4 - Composição de ligas nobres com baixo conteúdo de ouro ou a base de paládio.

Liga	Composição (%)				
	Au	Ag	Cu	Pd	Outros (In,Zn,Sn)
Tipo III (Baixo Au)	46	39	8	6	-
Tipo III (Baixo Au)*	40	44	5	8	-
Tipo III (Ag-Pd)	-	70	-	25	-
Tipo IV (Ag-Pd)	15	45	14	25	-

* liga experimental (Departamento de Materiais Dentários da FOUSP).

Diferentemente das ligas de ouro tradicionais, nestas ligas (baixo conteúdo de Au) o endurecimento para tratamento térmico se dá as custas do paládio e cobre. Um grande número de ligas com cobre-paládio, dentro de certos intervalos de composição, apresentam transformações no estado sólido, que são as responsáveis pelo endurecimento.

A Tabela 1.2.2.5 apresenta algumas propriedades das ligas com baixo conteúdo de ouro e a base de paládio. As temperaturas de fusão final das ligas com menos paládio ainda se encontram abaixo de 1000ºC, o que permite que sejam fundidas com maçarico ar/gás comum, com relativa facilidade. Aquelas mais ricas em paládio fundem acima de 1000ºC, o que já pode dificultar a fusão sem a substituição do ar comprimido por oxigênio. Essas ligas não podem ser empregadas para metalocerâmica.

TABELA 1.2.2.5 – Propriedades das ligas nobres com baixo conteúdo de ouro ou a base de paládio.

Propriedade		**Tipo III (Baixo Au)**	**Tipo III (Baixo Au)***	**Tipo III (Ag-Pd)**	**Tipo IV (Ag-Pd)**
Temp. fusão final (ºC)		916	980	1099	1021
Densidade (g/cm³)		12,8	12,5	10,6	11,3
Limite de escoamento (MPa)	**A****	240	249	262	434
	E**	586	451	323	586
Dureza Vickers (kgf/mm²)	**A****	138	137	143	180
	E**	231	223	154	270
Alongamento (%)	**A****	30	11	10	10
	E**	13	3	8	6

*Liga experimental (Departamento de Materiais Dentários da FOUSP).
** A (amaciada); E (endurecida).

A contração de fundição não foi encontrada para todas as ligas. Entretanto, a do Tipo III experimental apresenta 1,41%, o que mostra que poderia ser utilizada com revestimento comum aglutinado com gesso.

As ligas de ouro tradicionais apresentam uma densidade de 15 a 16 g/cm³.

Verifica-se que as de baixo conteúdo de ouro apresentam todas elas valores menores principalmente aquelas com maior conteúdo de paládio. Essas menores densidades necessitam menor quantidade de liga em peso, o que, também resulta em menor custo.

Todas as ligas da Tabela 1.2.2.5 são passíveis de endurecer, mediante tratamento térmico endurecedor, que normalmente é feito semelhantemente ao das ligas de ouro tradicionais. Verifica-se que com isto as propriedades de resistência mecânica aumentam (limite de escoamento, de proporcionalidade e a dureza), enquanto que o alongamento diminui.

As propriedades dessas ligas mostram que elas podem ser empregadas como alternativas, ou mesmo substitutivas, no lugar das ligas áuricas tradicionais tipos III e IV, para próteses fixas. Servem para blocos inteiriços de metal ou para metaloplásticas. A do tipo IV, também, pode ser utilizada para infra-estrutura de próteses parciais removíveis. O que, no entanto, não deve ocorrer com muita freqüência, pelo menos no Brasil, por duas razões: custo relativamente alto, por conter quantidades razoáveis de metais nobres e, também porque as ligas de cobalto-cromo, conforme será visto adiante, são alternativas bastante satisfatórias.

1.1.1.4. Ligas a base de prata-estanho e cobre-alumínio

São ligas do tipo predominantemente de metais básicos. Poderiam ser incluídos, sob este aspecto, o Ti (cp) e suas ligas, e as ligas de Ni-Cr e Co-Cr, mas que serão vistas juntamente com as ligas para metalocerâmica e prótese parcial removível.

Ligas a base de prata-estanho

Essas ligas há várias décadas vêm sendo empregadas no Brasil. A sua composição é principalmente prata e estanho (80% de Ag e 20% Sn). A adição de pequenas quantias de cobre e zinco melhora bem as propriedades.

Em principio são ligas pobres em propriedades mecânicas e de resistência à corrosão. A resistência à tração pode chegar até 300 MPa. A dureza Vickers é de cerca

de 90. O alongamento está em torno de 5%. A temperatura de fusão encontra-se entre 700 e 800ºC. É comum estas ligas sofrerem escurecimento. Contudo a película de manchamento formada é aderente.

Atualmente o emprego dessas ligas está mais limitado, embora ainda seja utilizada pelo país afora, devido ao seu custo baixo e processo laboratorial relativamente simples. Pode ser empregada na obtenção de núcleos e restaurações unitárias não muito extensas. Tem sido empregada, também, para próteses fixas pequenas.

São empregados para blocos fundidos inteiriços de metal, pois a técnica metaloplástica pode ficar prejudicada pelo escurecimento na interface metal-resina.

Ligas a base de cobre-alumínio

Há poucas décadas estas ligas, para fins odontológicos, surgiram no Brasil, como ligas alternativas às tradicionais de ouro tipo III.

A composição é de cerca de 85% de cobre, 9,5% de alumínio, podendo ainda conter até 4% de níquel e 4% de ferro, e menor quantia de manganês.

As ligas apresentam boas resistências mecânicas, entretanto a resistência à corrosão e ao manchamento é muito baixa. Clinicamente, nas regiões de auto-limpeza (contato com o bolo alimentar, com a língua) a liga continua mantendo a coloração metálica dourada. Entretanto, em regiões onde não há auto-limpeza, ela permanece enegrecida. Como em regiões de auto limpeza elas não escurecem, é sinal evidente de que os produtos de corrosão que vão se formando caem para o meio circundante. Não há conhecimento sobre os efeitos biológicos desses produtos de corrosão.

1.1.1.5. Ligas altamente nobres e nobres para metalocerâmica

Antes do surgimento das restaurações metalocerâmicas, confeccionavam-se com freqüência coroas ocas de porcelana inteiriças para dentes anteriores. Entretanto, com esta conduta, ocorriam com muita freqüência fraturas das coroas, pelo fato das porcelanas serem materiais muito frágeis, apresentando baixa resistência à tração, ao cisalhamento e ao impacto.

Os problemas que acompanhavam esses inconvenientes levaram a introduzir na Odontologia a técnica de metalocerâmica. Esta consiste, resumidamente, em cobrir o metal com cerâmica. Assim, para cobertura total de porcelana, são fundidos casquetes que se ajustam ao dente preparado.

Sobre o casquete é aplicada a porcelana até obter o formato da coroa do dente natural. Esta fusão ou cocção da porcelana, sobre o metal, forma uma resistência de união (metal/porcelana) relativamente grande. Em ensaio de tração pode chegar a 30 MPa. Esta união do conjunto metal cerâmica aumenta em muito a resistência da porcelana, pois qualquer trinca que possa surgir na porcelana terá muita dificuldade em se propagar até o colapso, devido à união existente com o substrato metálico.

As ligas para metalocerâmica também podem pertencer a qualquer um dos três grupos, quanto à nobreza: altamente nobres, nobres e predominantemente nobres.

Todas essas ligas precisam apresentar propriedades, além das gerais, algumas específicas para metalocerâmica: apresentar alta resistência de união entre a infra-estrutura metálica e a porcelana, apresentar coeficiente de expansão térmica compatível com os das porcelanas. O metal deve apresentar um coeficiente um pouco maior que o da porcelana, pois isto favorece a resistência da coroa de porcelana, por ficar a parte externa submetida a tensões de compressão, que é alta neste material, portanto para que haja tração, tensão que porcelana resiste pouco, tem que primeiro anular a tensão de compressão. A temperatura de fusão do metal deve ser bem maior que o da porcelana, a fim de que resista à cocção da cerâmica, que ocorre a altas temperaturas.

Conforme já visto, existem muitos fabricantes e formulações de ligas com metais nobres para metalocerâmica. Como não é possível apresentar todas, no caso serão mostrados alguns representantes com valores aproximados dessas ligas.

A Tabela 1.2.2.6 apresenta a composição aproximada e a Tabela 1.2.2.7 contém algumas propriedades dessas ligas. Algumas ligas para metalocerâmica podem conter um pouco de cobre e gálio.

TABELA 1.2.2.6 – Composição aproximada de ligas altamente nobres para metalocerâmica.

Nobreza	Composição (% em peso)					Cor
	Au	Pt	Pd	Ag	(Sn, In, Fe, Zn)	
Altamente nobre	87	9	2	-	-	Amarela
	84	7	6	1	-	Amarela
	77	10	9	-	-	Branca
	50	-	35	10	-	Branca
Nobre	6	-	74	7	-	Branca
	-	-	58	30	-	Branca

TABELA 1.2.2.7 – Valores médios aproximados de propriedades de ligas metalocerâmicas altamente nobres e nobres

Propriedade		Altamente nobre				Nobre	
		Amarela		Branca		Branca	
Temp. fusão inicial (ºC)		1065	1170	1150	1235	1270	1175
Coeficiente de expansão térmica (25-600ºC)/ºC ($x10^{-6}$)		14,6	14,7	14,0	13,8	14,0	15,2
Peso específico		18,5	17,5	18,0	14,5	11,0	11,4
Dureza Vickers (kgf/mm^2)	A*	155	170	200	200	235	160
	E*	185	185	240	235	-	300
Limite de escoamento (MPa)	A*	400	413	470	425	474	340
	E*	490	504	580	545	-	650
Alongamento (%)	A*	8	10	7	23	30	29
	E*	6	-	3	18	-	8

* A (amaciada); E (endurecida)

A função dos componentes é, em linhas gerais, semelhante àquelas nas ligas com metais nobres já vistas. O ouro é responsável pela resistência à corrosão. A platina e o

paládio, além de participarem da resistência à corrosão também são responsáveis por aumento da resistência mecânica e, principalmente, pela elevação da temperatura de fusão da liga, para suportar, conforme já visto, a cocção da porcelana. A adição de cobre no início era totalmente condenada, por causar manchamento à porcelana. No início a inclusão de prata, também, era contra-indicada, pois produzia manchas esverdeadas na cerâmica. No entanto, com ligas elaboradas posteriormente com grande quantidade de paládio, parece que o inconveniente foi contornado. Já que existem atualmente ligas com grandes quantidades de paládio e prata, que apresentam comportamento clínico bem satisfatório.

As primeiras ligas empregadas para a metalocerâmica foram aquelas com alto teor de ouro de cor amarela. Como apresentavam apenas metais nobres, não formavam óxidos para promover a união com a porcelana. A adição de pequenas quantidades de estanho e índio, com o aquecimento formava pequena camada de óxidos desses metais que são os responsáveis pela resistência de união. A adição de pequena quantidade de ferro pode auxiliar nesta característica, contudo sua principal função, junto com a platina, é conduzir a um endurecimento, com resfriamento lento no forno, em torno de 500ºC.

Nas ligas que não contêm platina, os elementos responsáveis pelo endurecimento são principalmente, o estanho e o índio.

A Tabela 1.2.2.7 contém várias propriedades dessas ligas com metais nobres, condizentes com as necessidades do sistema de metalocerâmica. A comparação das temperaturas de fusão com a das ligas de ouro tradicionais (Tabela 1.2.2.3) logo mostra que são bem superiores, condição necessária para suportar as temperaturas de cocção das porcelanas. Essas maiores temperaturas de fusão não permitem mais o emprego de fonte de calor comum (ar comprimido/gás). Requerem oxigênio/gás, que atinge maiores temperaturas. Também o revestimento comum, com aglutinante de gesso é contra indicado. Requer revestimento aglutinado por fosfato ou silicato de etila.

As porcelanas, para a cocção, são aquecidas a temperaturas em torno de 900ºC. Nestas condições, as ligas encontram-se relativamente próximas das temperaturas de fusão, ou seja, bem acima das temperaturas equicoesivas, onde podem sofrer facilmente

deformações. Para avaliar essas deformações existe um teste padronizado em que o espécime é submetido a altas temperaturas e observado a sua deformação (em inglês o termo é ***saq***), que é um indicativo de suportar melhor ou pior altas temperaturas sem sofrer deformações. Conforme será visto no próximo item, as ligas de metais básicos para metalocerâmica apresentam, no ensaio, deformações bem menores.

Os valores dos coeficientes de expansão térmica linear estão todos muito próximos, o que indica que todas as ligas (Tabela 1.2.2.7) devem ter compatibilidade com porcelanas que apresentam valores um pouco menores.

A dureza Vickers e o limite de escoamento das ligas de ouro amarelas são relativamente baixos, pelo que não seriam indicadas para próteses fixas muito extensas.

Os alongamentos das ligas diminuem após o endurecimento das mesmas. Esse endurecimento ocorre com resfriamento lento no forno, que contém o casquete com a porcelana. Verifica-se que, com esse endurecimento, paralelamente aumenta o limite de escoamento, o que é vantajoso.

O módulo de elasticidade dessas ligas gira em torno de 100GPa, o que é relativamente baixo, quando comparado com ligas de Ni-Cr e Co-Cr. Adiante será visto que para próteses fixas muito extensas é preferível um módulo de elasticidade maior.

1.1.1.6. Ligas de metais predominantemente básicos para metalocerâmicas

A pressão econômica devido ao aumento do ouro, já em décadas passadas, levou ao emprego de ligas de níquel-cromo para a etalocerâmica. Inicialmente houve problemas com a resistência de união entre metal e porcelana. Problemas esses que na atualidade estão resolvidos e o seu emprego aumentou muito através dos anos. Nos Estados Unidos, em 1981 apenas 29% dos laboratórios de prótese empregavam ligas de Ni-Cr e Co-Cr, número que atualmente chega a 70% ou mais. No Brasil certamente o número é bem maior ainda.

A tabela 1.2.2.8 contém algumas composições de ligas de metais básicos para metalocerâmica. O titânio não é considerado metal básico por alguns autores. Entretanto

foi incluído aqui pelo fato de não ser um metal nobre e estar sendo empregado, embora ainda em pequena escala.

TABELA 1.2.2.8 – Composição aproximada de ligas para metalocerâmica de metais predominantemente básicos.

Liga	Composição (%)
Ni-Cr	Ni:69-81; Cr:12-20; Fe:0,0-0,4; Al:0-4; Mo:0-4; Si:0,2-2,0; Be:0-2; Mn:0-3
Co-Cr	Co:52-56; Cr:24-27; W: 10-14;Ga: 0-8
Ti (cp)	Ti: (Comercialmente puro – graus 1 a 4) O:0,18-0,40; N:0,03-0,05; H:0,015-0,020; Fe:0,2-0,5; C: 0,1
Ligas de Ti	Ti-6; Al-4; V

Função dos principais componentes. Nas ligas que contêm cromo ele é o elemento fundamental para que apresentem resistência à corrosão no meio bucal. O cromo apresenta a propriedade de se cobrir com uma camada de óxido, assim que o metal entre em contato com o oxigênio ambiental. Essa camada de óxido de cromo é firmemente aderida ao metal e impede que haja continuação de oxidação, além do que ela faz com que continue o brilho metálico. Assim, a camada funciona como película isolante e o metal é chamado de passivo.

Apesar de que o potencial de oxidação do cromo é negativo (desloca hidrogênio da água no teste padrão) sem a película, mas se torna positivo com ela e, quanto à resistência à corrosão no meio bucal, aproxima-se dos metais nobres. Para que a passivação se manifeste a contento numa liga, o cromo deve estar presente com no mínimo 12%. O máximo nessas ligas é limitado a 30% ou menos por razões da estrutura metalúrgica de formação de fases, que tornariam a liga frágil, já que a miscibilidade do cromo no níquel ou cobalto está nessa vizinhança.

A camada passivadora apresenta excelente resistência nos ácidos orgânicos, embora seja sensível em meio com ácido clorídrico ou compostos que libertam cloro.

Nas ligas a base de níquel, ele é o principal componente e tem grande influência

nas propriedades. Pertence ao sistema cúbico de face centrada, o que contribui para o grande alongamento das ligas correspondentes. O molibidênio aumenta a resistência mecânica, em que, também, contribui um pouco o manganês. O silício funciona como desoxidante durante a fusão da liga. O alumínio tem influência na fusão da liga. O elemento berílio, quando presente, embora com pequena porcentagem influi muito na melhoria da fundibilidade (*castability*).

As ligas a base de níquel vêm sendo empregadas na metalocerâmica desde há algumas décadas. Entretanto ainda persiste uma dúvida quanto à biocompatibilidade desse elemento. É sabido que o níquel, que também é extensivamente utilizado na indústria de bijouteria, é alérgeno, o que depende, também, da sensibilidade pessoal. No laboratório de prótese devem ser tomados os cuidados com uma perfeita exaustão durante a fusão e a usinagem da liga, para que os técnicos não se contaminem. Também o dentista precisa tomar cuidado ao realizar pequenos ajustes por usinagem. No meio bucal alguns pacientes podem sofrer alergia pela presença de próteses de ligas a base de níquel, embora existam pouquíssimos casos clinicamente observados. O problema ainda não está completamente elucidado. Nas ligas encontram-se outros elementos metálicos e com isto o escape do níquel é diminuído e a prótese seria menos agressiva, quanto ao níquel. Contudo, os escandinavos não permitem a utilização dessas ligas, por motivo de segurança.

Um outro elemento prejudicial à saúde é o berílio. Ele em si não torna a liga prejudicial à saúde dos pacientes, mas aos operadores no laboratório de prótese, que precisam tomar os devidos cuidados de segurança para não sofrerem os efeitos deletérios, que se devem à inalação dos vapores produzidos na fusão e do pó que contém o elemento.

As ligas de cobalto-cromo são conhecidas na Odontologia há muitas décadas. Indicadas principalmente para infra-estruturas de próteses parciais removíveis, onde vieram substituir bastante satisfatoriamente a liga de ouro tradicional tipo IV. No início por razões principalmente econômicas. O custo do material da prótese influencia muito mais nas próteses removíveis do que nas próteses fixas. Nos últimos tempos, provavelmente

para contornar eventuais dúvidas com o níquel e o berílio, elas estão sendo adaptadas para o emprego em prótese metalocerâmica. Precisam apresentar coeficiente de expansão térmica compatível com o da porcelana e formar óxidos adequadamente para que seja obtida a união. O cobalto, embora seja também um pouco alérgeno, encontra-se em posição bem mais favorável que o níquel. Nessas ligas o cobalto, que é o principal componente, pertence ao sistema cúbico de corpo centrado, pelo que o alongamento da liga se torna menor. O tungstênio (wolfrâmio) aumenta a resistência mecânica. Algumas ligas podem contar gálio, que abaixa a temperatura de fusão.

Nos últimos anos está sendo introduzido o titânio comercialmente puro (Ti cp) para prótese metalocerâmica. Apresenta-se sob 4 graus que são dependentes das impurezas (O, N, H, Fe e C) em teores mínimos (Tabela 1.2.2.8). O conteúdo de teores desses elementos vai aumentando do grau 1 até o grau 4 e paralelamente vão aumentando as propriedades mecânicas. Também algumas de suas ligas estão sendo empregadas para próteses metalocerâmica. O titânio embora seja altamente reativo, semelhantemente ao cromo forma película de óxido de titânio, com espessura de 1 a 10 nm, que o torna passivo. O metal com sua camada de óxido é altamente biocompatível.

O titânio para servir de infra-estrutura na técnica metalocerâmica requer porcelanas específicas para serem aplicadas. A temperatura de fusão das porcelanas tradicionais está em torno de 900ºC. Mas o titânio ao ser resfriado aos 883ºC sofre uma transformação alotrópica (da temperatura ambiente até 883ºC apresenta a estrutura hexagonal compacta, chamada fase α e acima dessa temperatura a estrutura é cúbica de corpo centrado, chamada β), que tem como conseqüência uma alteração dimensional, o que prejudicaria a união metal/porcelana. Além disso o titânio apresenta um coeficiente de expansão térmica bem menor que as ligas a base de níquel e cobalto. Razão porque a porcelana, para ser aplicada sobre titânio, também requer um coeficiente de expansão térmica adaptado ao do metal. A fundição do titânio é difícil e requer técnica complexa, pois se oxida violentamente a altas temperaturas e no estado líquido se combina com muitos dos materiais empregados como revestimento e cadinho de fusão. Esta característica requer equipamentos e materiais muito onerosos. A fundição é feita com o

ambiente controlado, inicialmente é feito vácuo e a seguir é injetado o gás argônio, o que permite obter peças fundidas satisfatórias.

Tendo em vista a abundância e excelente biocompatibilidade do titânio, espera-se que as técnicas de obtenção de blocos fundidos se tornem menos complicadas e onerosas, e que, também, sejam elaboradas porcelanas com alta compatibilidade, o que poderia tornar o titânio o material de eleição.

A Tabela 1.2.2.9 apresenta algumas propriedade das ligas de metais básicos para metalocerâmica. As temperaturas de fusão são bem altas, pelo que requerem fonte de calor que atinjam altos valores.

Excluindo o coeficiente de expansão térmica do titânio, todos os demais tipos apresentam valores próximos, mostrando que nenhuma requer porcelana especial, sob este aspecto. Entretanto, conforme já visto o titânio requer uma de formulação própria.

Tabela 1.2.2.9 – Algumas propriedades de ligas predominantemente de metais básicos para metalocerâmica.

Propriedade	**Liga**				
	Ni-Cr	**Ni-Cr-Be**	**Co-Cr**	**Co-Cr-Ga**	**Ti(cp)**
Temperatura fusão inicial (ºC)	1300	1200	1400	1200	1668
Coeficiente de expansão térmica ($ºC^{-1}$ x10^{-6})	14,4	15,0	14,0	15,2	9,4
Peso específico (g/cm³)	8,1	7,4	8,4	8,1	4,5
Dureza Vickers (kgf/mm²)	320	250	370	390	180
Limite de escoamento (MPa)	310	320	400	480	330
Alongamento (%)	22	12	3	4	15
Módulo de elasticidade (GPa)	192	192	210	180	100

Os pesos específicos das ligas com cromo são aproximadamente a metade daquelas de metais nobres. Fato que também constitui economia, pois para a restauração será necessário menor peso. O titânio, nesse aspecto leva mais vantagem ainda, tendo em vista a sua baixa densidade além do baixo custo.

A resistência mecânica é mais que satisfatória, freqüentemente é mesmo maior que a das ligas de metais nobres. As ligas a base de Ni-Cr e Co-Cr apresentam um módulo de elasticidade com valores praticamente o dobro daquelas de metais nobres. Este aspecto faz com que essas ligas sejam mais adequadas para próteses fixas com grande espaço entre os dentes pilares. Pois, com isto, a deflexão elástica, durante a mastigação, dos elementos suspensos da prótese, será menor e, em decorrência as tensões nas interfaces metal/porcelana, serão também menores, o que é benéfico no sentido de evitar o desprendimento da porcelana.

Essas ligas apresentam também uma deformação a altas temperaturas (***sag***) bem menor, havendo menor perigo de se deformarem durante a cocção da porcelana.

1.1.1.7. Ligas com metais predominantemente básicos para infra-estruturas de próteses parciais removíveis

Conforme já visto, as ligas a base de cobalto-cromo há muito tempo vêm sendo empregadas para infra-estruturas de próteses parciais removíveis. Ultimamente, também estão sendo introduzidos o titânio (cp) e suas ligas. Para essas ligas não existe a preocupação com o coeficiente de expansão térmica linear e nem a resistência de união com a porcelana.

A Tabela 1.2.2.10 apresenta a composição média de ligas de metais básicos para próteses parciais removíveis. A função dos componentes é, em linhas gerais, a mesma que nas ligas não nobres para metalocerâmica. A presença do carbono é crítica nessas ligas, pois, em maiores quantidades pode tornar a liga muito dura e frágil, diminuindo-se ainda mais o alongamento.

TABELA 1.2.2.10 – Composição aproximada de ligas para próteses parciais removíveis de metais predominantemente básicos

Liga	Composição (%)
Co-Cr	Co:65-67; Cr:24-27; Mo:4-8; Si:0,1-0,8; Fe:0,1-2,0; Mn:0,0-0,4; C:0,2-0,4
Co-Cr-Ni	Co:36-67; Cr:23-27; Ni:2-36; Mo:0-6; Mn:0,3-0,6; Si:0,2-0,6; Fe:0,5-1,0; C:0,2-0,4
Ti(cp)	Ti: (Comercialmente puro – graus 1 a 4) O:0,18-0,40; N:0,03-0,05; H:0,015-0,020; Fe:0,2-0,5; C:0,1
Ligas de Ti	Ti-6 Al-4V; Ti- 15 V; Ti-13Nb-13Zr

Alguns valores médios das propriedades dessas ligas encontram-se na Tabela 1.2.2.11. As ligas a base de Co-Cr apresentam alta temperatura de fusão e requerem fonte de calor que atinjam altas temperaturas, geralmente oxigênio com gás comum ou mesmo acetileno ou indução eletromagnética, ou arco voltaico. Requerem também, revestimento especial e geralmente é empregado aquele aglutinado por sílica.

O titânio (cp) e suas ligas requerem fonte de calor bem sofisticada, operando-se em fornos especiais. Como fontes de calor podem ser citadas duas: 1) arco-voltaico, onde o metal é fundido dentro do próprio bloco, (como se fosse água dentro de um copo de gelo) apoiado sobre uma base de cobre; quando bastante metal estiver líquido é vertido no local próprio e injetado no revestimento sob pressão de gás argônio; 2) indução eletromagnética, onde o metal é fundido dentro de um cadinho de cerâmica especial, usado uma única vez, e o metal líquido é injetado por força centrífuga. O revestimento, para o titânio, também precisa ser especial.

Tabela 1.2.2.11 – Algumas propriedades de ligas predominantemente de metia básicos para próteses parciais removíveis.

Propriedade	Liga			
	Co-Cr	Co-Cr-Ni	Ti(cp)	Ti-6Al-4V
Temperatura fusão inicial (ºC)	1400	1300	1668	1760
Dureza Vickers (kgf/mm^2)	430	280	180	300
Limite de escoamento (MPa)	600	470	330	700
Alongamento (%)	2	8	15	5
Módulo de elasticidade (GPa)	220	200	100	115
Peso específico (g/cm^3)	8,4	8,0	4,5	-

A resistência mecânica das ligas a base de Co-Cr são muito satisfatórias. Já a do titânio (cp) nem tanto, mas suas ligas atingem valores bem altos.

O alongamento das ligas a base de Co-Cr é, em geral baixo, o que é um inconveniente, pois dificulta o ajuste de grampos, que implica em deformação permanente.

O módulo de elasticidade das ligas de Co-Cr é cerca de o dobro daquelas de ouro. Devido a isto, os grampos com mesmos graus de retenção podem apresentar espessuras menores para atingir retentividade semelhante. Não pode ser a metade, porque a força de retenção é linear com o módulo de elasticidade, mas é função da quarta potência do diâmetro (por exemplo, de um grampo cilíndrico). Assim o grampo de ouro precisaria apresentar diâmetro maior em 19%, ou de Co-Cr poderia ter menor diâmetro em 16%. Isso permite a obtenção de peças menos volumosas e também muito mais leves, já que têm densidade 50% menor que as ligas de Au tipo IV, melhorando o desconforto do paciente.

As ligas de cobalto-cromo há muitas décadas, conforme já observado, vêm substituindo as ligas de ouro tradicionais tipo IV, para próteses parciais removíveis. Não apenas no Brasil, mas, também, nos Estados Unidos e Europa. Embora o trabalho laboratorial seja mais crítico e um pouco mais oneroso, mesmo assim, o custo é

suplantado em muito. Essas ligas deram tão certo que podem ser chamadas de substitutivas, das ligas de ouro tradicionais tipo IV, e não apenas alternativas. A sua compatibilidade biológica é muito boa, contanto que são usadas extensivamente na ortopedia.

O titânio e suas ligas ainda estão em fase inicial para serem empregadas em infra-estruturas de próteses parciais removíveis, devido à dificuldade de fundição. Mas espera-se que no futuro os problemas possam ser contornados e a profissão estará diante de um ótimo material para escolha.