



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA

GUILHERME ELIAS PESSANHA HENRIQUES
CIRURGIÃO DENTISTA

RESISTÊNCIA FLEXURAL DE LIGAS
DO SISTEMA Co-Cr
ANTES E APÓS A REFUSÃO
SUBMETIDAS OU NÃO À SOLDAGEM

TESE APRESENTADA À FACULDADE
DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA DA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
PARA OBTENÇÃO DE TÍTULO
DE MESTRE EM CIÊNCIAS
ÁREA - MATERIAIS DENTÁRIOS

PIRACICABA - S.P.
1993

H395r

19487/BC

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA**

GUILHERME ELIAS PESSANHA HENRIQUES *N 205*
CIRURGIÃO DENTISTA

**RESISTÊNCIA FLEXURAL DE LIGAS
DO SISTEMA Co-Cr
ANTES E APÓS A REFUSÃO
SUBMETIDAS OU NÃO À SOLDAGEM**

Orientador: PROF. Dr. SIMONIDES/CONSANI

*ESTE EXEMPLAR
foi devidamente corrigido
conforme resolução CCPG/036/83
Nunes
12/05/93*

**TESE APRESENTADA À FACULDADE
DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA DA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
PARA OBTENÇÃO DE TÍTULO
DE MESTRE EM CIÊNCIAS
ÁREA - MATERIAIS DENTÁRIOS**

PIRACICABA - S.P.

1993

Dedico este trabalho

À Maria Rita, minha esposa, colega e
companheira, que não apenas com sua
presença, ainda me apoiou e incentivou
com sábias e carinhosas palavras.

Aos meus pais, Yara e Antônio, minha eterna
gratidão pela orientação, confiança e oportunidade
de realizar meus estudos e realizar-me com eles.

À memória de minha avó Maria (Inah),
agradecendo-a pela constante e paciente ajuda,
desde minhas primeiras lições.

Aos meus sogros, Laís e Paulo Affonso,
pela dedicada, incentivadora e
incomparável cooperação.

Meus especiais agradecimentos

Ao Prof. Simonides Consani, Titular da Área
de Materiais Dentários, um verdadeiro orientador,
que se não bastasse a capacidade, disponibilidade e interesse,
ainda fez com que a amizade e incentivo tornassem-se tão
importantes quanto o ensino da Ciência dos Materiais Dentários.

Ao Prof. Mário Fernando de Góes, Coordenador do
Curso de Pós-Graduação em Materiais Dentários,
pela atenção dispensada e preciosas sugestões apresentadas.

À Prof. Dra. Marinéia de Lara Haddad, do Departamento
de Entomologia da Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz", pela colaboração na análise estatística.

Aos Srs. Rubens de Paula Gonzalez e Roberto Gonzalez,
Técnicos do Laboratório de Prótese Dental "Nice", pelo
despreendido e habilidoso auxílio na confecção das amostras.

Meus sinceros agradecimentos também

Ao Prof. Dr. Itamar Ferreira, do Departamento
de Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia
Mecânica, UNICAMP, pela colaboração e sugestões
apresentadas nos testes laboratoriais.

Ao aluno de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UNICAMP,
Wysar José Yamakami, pelas imprescindíveis orientações
na interpretação das fotomicrografias.

À Sra. Rita Helena Buso Jacon, técnica do D.E.M.A. da
Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, pela tomada das
fotografias em microscopia eletrônica de varredura.

À Sra. Sueli Duarte de Oliveira Soliani, Bibliotecária chefe,
da FOP-UNICAMP, pela orientação e correção
das referências bibliográficas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAPES - pela concessão de bolsa de estudo no período de março
de 1991 a junho de 1992.

Às empresas Labor Dental Ltda, Marquart & Marquart Ltda e
Degussa S.A. pela concessão inteiramente gratuita
das ligas metálicas experimentadas.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Materiais Dentários
Prof.Dr Luiz Antônio Ruhnke e Prof.Dr. Wolney Luiz Stolf,
pela confiança e ensinamentos que tanto
colaboraram para minha formação pessoal e acadêmica.

Ao Prof. Dr. Frederico Andrade e Silva, chefe do
Departamento de Prótese e Periodontia, mestre e companheiro,
sempre amparando-me nas conquistas universitárias.

Ao Prof. Dr. Saide Sarcks Domitti, da Área de
Prótese Total, experiente e perspicaz em suas orientações.

Ao Prof. Dr. Fernando Antônio A. Pacheco, da Área de Prótese
Total, pelo estímulo que tanto auxiliou meu ingresso na
carreira universitária.

Ao Sr. Adário Cangiani, técnico da Área de Materiais
Dentários da FOP-UNICAMP, pela verdadeira amizade e
indispensável ajuda na elaboração das matrizes.

Ao Sr. Pedro Justino, técnico do C.R.A. da FOP-UNICAMP,
fiel amigo e talentoso colaborador na confecção do
material fotográfico.

À Sra. Selma A. B. de Souza, técnica da Área de Materiais
Dentários da FOP-UNICAMP, pelo companheirismo
incentivador e pelas lições de informática.

Ao Dr. Francisco Carlos Groppo, colega e grande amigo,
capacitado, prestativo e indispensável colaborador.

Aos companheiros Profs. Marcelo Ferraz Mesquita e Mauro Antônio
de Arruda Nóbilo, das Áreas de Prótese Total e Fixa,
pela amizade e parceria na sala de trabalho e em valiosas idéias.

Ao amigo Prof. Lourenço Correr Sobrinho, da Área de
Materiais Dentários, pelo empenho na elaboração dos esquemas.

Ao amigo Prof. Antônio Carlos Pereira, da área de Odontologia
Social, pelo incentivo e colaboração.

Às colegas de mestrado, Renata C. M. Rodrigues e
Ana Paula Boscariolli, pela simpática,
agradável e importante convivência.

Ao amigo e aluno de Pós-Graduação em Materiais Dentários,
Mário Alexandre Coelho Sinhorette, pela constante colaboração.

E a todos que indiretamente contribuíram para
realização deste trabalho.

ÍNDICE:

	páginas
1 - INTRODUÇÃO.....	02
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	07
3 - PROPOSIÇÃO.....	41
4 - MATERIAIS E MÉTODO	
4.1 - MATERIAIS	
4.1.1 - Ligas metálicas à base de Co-Cr.....	43
4.1.2 - Liga metálica para soldagem.....	43
4.1.3 - Revestimento para fundição.....	44
4.1.4 - Cera para fundição.....	44
4.2 - MÉTODO	
4.2.1 - Confeccção das amostras.....	45
4.2.2 - Agrupamento das amostras.....	50
4.2.3 - Procedimento de fundição.....	52
4.2.4 - Procedimento de soldagem.....	52
4.2.5 - Ensaio de resistência flexural.....	55
4.2.6 - Análise estatística.....	58
4.2.7 - Análise por microscopia	
eletrônica varredura.....	58
5 - RESULTADOS.....	60
6 - DISCUSSÃO.....	72
7 - CONCLUSÕES.....	81
8 - RESUMO.....	83
9 - SUMMARY.....	86
10 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
11 - APÊNDICE.....	97

1-INTRODUÇÃO:

1 - INTRODUÇÃO:

Nos primórdios da Odontologia, as substituições de elementos dentais destruídos ou perdidos exigiam, invariavelmente, a utilização do ouro puro ou de suas ligas metálicas.

Mais recentemente, o aumento excessivo no preço do ouro e o desenvolvimento das pesquisas dos materiais dentários, propiciaram o aparecimento de ligas metálicas compostas por metais não nobres, obtidas com base nas propriedades físico-químicas das ligas áureas e nas técnicas de aplicação empregadas em laboratórios até então conhecidas.

Nos casos de reabilitação oral, onde o espaço desdentado é considerado extenso ou quando o paciente não pode se submeter aos aparelhos protéticos fixos, seja por falta de hábitos de higiene oral rigorosos ou por falta de condições econômicas, estão indicados, na maioria dos casos, os aparelhos parciais removíveis, confeccionados com infra-estrutura metálica que inicialmente baseava-se no ouro.

Assim, na tentativa de substituir as ligas de ouro na confecção de infra-estruturas de próteses parciais removíveis, ERDLE e PRANGE¹⁶, em 1929, desenvolveram técnicas de fundição odontológica para uma liga industrial (Estelita) à base de Co-Cr, nomeando-a Vitallium.

Mais tarde, em 1943, PAFFENBARGER, CAUL e DICKSON³³ compararam as ligas de Co-Cr existentes no mercado com as ligas de ouro, indicando o potencial de resistência à corrosão, dureza, resistência mecânica e resistência à abrasão como semelhantes ou até mesmo superiores às das ligas de ouro até então utilizadas, sendo, portanto, passíveis de substituí-las.

Apresentando a liga à base de Co-Cr Vitallium como possível substituta da liga de ouro na confecção de infra-estruturas de aparelhos parciais removíveis, SMITH³⁶, em 1948, aconselhou o emprego do maçarico de oxiacetileno, devido à temperatura da zona de fusão girar em torno de 1.370 °C, e de revestimento especial aglutinado por silicato de etila, como forma de compensar a grande contração de fundição inerente a estas ligas.

Em 1956, EARNSHAW¹⁴ analisou metalograficamente as ligas de Co-Cr, encontrando uma estrutura dendrítica formada por matriz composta de solução sólida de Co-Cr, envolvida por ilhas de carbonetos. Devido a altas temperaturas de fusão, confirmou a necessidade da utilização de fontes de calor elétricas (arco de carbono ou argônio) ou maçarico de oxiacetileno, assim como de revestimento aglutinado por fosfato de amônia e magnésio ou silicato de etila, como meio de compensar a grande contração de fundição e como forma de evitar a ocorrência de porosidades devido a reação destas ligas, em altas temperaturas, com o gesso, quando usado como aglutinante de revestimentos.

Ainda com relação à estrutura cristalina, a presença de carbonetos após a solidificação, segundo STRANDMAN³⁷, seria responsável pelo aumento na maioria das propriedades mecânicas das ligas de Co-Cr.

Outro fato importante a ser considerado é o procedimento, bastante difundido entre os técnicos, da reutilização das sobras de ligas de ouro fundidas, como forma de aproveitamento de material, já que não ocorrem grandes variações nas propriedades mecânicas da liga obtida. Assim, desde que as técnicas para desenvolvimento e utilização de novas ligas metálicas surgiram a partir do conhecimento adquirido com as ligas de ouro, os profissionais também extrapolaram tal procedimento

para as ligas à base de metais alternativos, dentre elas, as de Co-Cr.

Assim sendo, segundo BOMBONATTI, GARLIPP e BARROS⁷, depois da refusão, as ligas de Co-Cr podem sofrer aumento no grau de deformação permanente, talvez devido a uma alteração na composição. Para HARCOURT²³, ocorre diminuição na resistência e fluidez com o aumento do número de refusões, o que seria compensado com adição de 50 % de liga nova à liga previamente fundida. De acordo com HESBY e cols.²⁶, as ligas de Co-Cr podem ser fundidas pelo menos quatro vezes, sem que ocorram alterações significativas em suas propriedades.

Apesar de possuir propriedades físicas desejáveis, as infra-estruturas dos aparelhos parciais removíveis podem falhar em muitos casos devido a ocorrência de fraturas. Autores como HARCOURT²⁰, NOORT e LAMB³² e BEN-UR e cols.⁶, descreveram que as fraturas são decorrentes de defeitos estruturais (porosidades impostas por técnicas de fundição ou por inclusão de gases provenientes do maçarico), de ajustes mecânicos a frio ou por falta de cuidado do usuário na colocação e remoção dos aparelhos.

Segundo EARNSHAW¹⁵, muitas das falhas por fraturas ocorridas em infra-estruturas de aparelhos protéticos removíveis são devido a fenômenos de fadiga metálica, ocorrendo maior predisposição quando a armazenagem da estrutura é feita em meio corrosivo.

Portanto, quando ocorrem fraturas ou mesmo quando existe a necessidade da adição de novos conectores ou retenções em infra-estruturas de aparelhos protéticos removíveis, estas situações podem ser contornadas com os procedimentos de soldagem. Por outro lado, nem sempre as soldagens são bem aceitas pelos autores, como TOWNSEND, VERMILYEA e GRISWOLD⁴¹, que afirmam ser mais de um terço as amostras que falham após serem soldadas. Em

contrapartida, GUSTAVSEN, BERGE e HEGDHAL¹⁸, afirmam que não existem diferenças na resistência a fraturas entre estruturas submetidas ou não à soldagem.

Portanto, existem controvérsias nos meios odontológicos no que diz respeito à refusão ou não de sobras de ligas fundidas e quanto à soldagem ou não de estruturas à base de Co-Cr fraturadas. Por estas razões, decidimos verificar a resistência flexural de ligas, novas ou refundidas, à base de Co-Cr, submetidas ou não à soldagem.

2-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

Em 1943, PAFFENBARGER, CAUL e DICKSON³⁹ realizaram um trabalho de compilação referente às diversas ligas utilizadas para restaurações odontológicas. Com relação às ligas de Co-Cr, concluíram que a proporção ideal para obtenção de valores satisfatórios de resistência, dureza, resistência à abrasão e perda de brilho é de 70 % de cobalto e 30 % de cromo, sendo que o aumento na proporção de cromo para além de 30 %, ocasiona formação de composto intermetálico, que torna a liga excessivamente friável. Elementos como o molibidênio, tungstênio e carbono também estão presentes, sendo o último responsável pela melhora das propriedades mecânicas da liga. Confirmaram a necessidade de materiais e técnicas especiais para a fundição, como revestimento aglutinado por sílica ou fosfato e fontes de calor para temperaturas elevadas. Quando comparadas com as ligas de ouro, as ligas de Co-Cr apresentam valores menores para resistência à tração, resistência máxima à deformação permanente e alongamento e valores maiores no que diz respeito à dureza e módulo de elasticidade. Com relação a tratamentos térmicos, as ligas estudadas mostram comportamentos diferentes ao das ligas de ouro, não sendo, portanto, passíveis de serem modificadas mecanicamente por estes artifícios.

Em 1948, SMITH³⁶ efetuou um trabalho em que apresenta a liga Vitallium, afirmando que está é composta de 65% de cobalto, 30% de cromo e 5% de molibidênio. O autor atesta que o zona de fusão desta liga está em torno de 1.370 °C e aconselha: o emprego da chama redutora do maçarico de oxiacetileno para sua fusão; uso

de fluxo especial para impedir a oxidação; e, revestimento especial à base de silicato de etila para o procedimento de fundição.

Em 1956, EARNSHAW¹⁴ efetuou uma coletânea de dados com relação às ligas de Co-Cr. Neste trabalho, o autor confirmou que as ligas formam uma solução sólida de aproximadamente 70 % de cobalto e 30 % de cromo, podendo haver limitada substituição do cobalto por níquel, ocorrendo diminuição na temperatura de fusão. Estas ligas contêm 5 % de carboneto de tungstênio e molibidênio, sendo que o conteúdo de carbono presente, exerce efeito crítico sobre a dureza e resistência. Metalograficamente, as ligas de Co-Cr consistem de uma estrutura dendrítica formada pela matriz composta da solução sólida de Co e Cr, envolvida por pequenas ilhas de carbonetos. À medida em que o conteúdo de carbono aumenta, a estrutura interdendrítica de carbonetos torna-se contínua e demasiadamente friável; à medida em que o tamanho destas ilhas de carbonetos aumenta, sem ocorrer continuidade entre elas, maior é a resistência; e, à medida em que o espaçamento entre elas aumenta, maior é a ductilidade. Com o aumento no tamanho granular, ocorre diminuição na resistência e aumento na ductilidade. Quando comparadas com as ligas de ouro, as ligas de Co-Cr possuem menor resistência à tração e à fadiga e maior módulo de elasticidade, sendo mais susceptíveis à deformação permanente. Possuem aproximadamente a metade do peso específico e maior dureza e resistência à abrasão. Estas ligas apresentam alta temperatura de fusão e grande contração de fundição. Necessitam de revestimento aglutinado por fosfato ou sílica, devido a liberação de compostos sulfúricos quando se utiliza gesso como aglutinante, levando à ocorrência de porosidades. Para a fusão da liga, deve-se

utilizar chama redutora de maçarico de oxiacetileno, ocorrendo, desta forma, pequeno aumento no conteúdo de carbono que conduz ao aumento na resistência mecânica. Porém, com superaquecimento na fusão da liga, ocorre aumento granular e diminuição nas propriedades físicas. Para fusão, podem ser utilizados também o arco de carbono ou argônio, forno com resistência de carboneto de silício ou indução de alta frequência. Devido a técnica de fundição exigir equipamento específico e controle de diversas condições, a utilização das ligas de Co-Cr limita-se a técnicos especializados.

Em 1960, HARCOURT²² avaliou os efeitos sobre a estrutura de ligas de Co-Cr fundidas, utilizando diferentes composições da mistura de oxiacetileno e utilizando diversas distâncias entre a extremidade do maçarico e a liga, no momento de sua fusão. Para isto, utilizou dois tipos de amostras, sendo todas elas confeccionadas com a liga Croform 4: uma medindo 1,90 cm por 1,27 cm por 0,07 cm e a outra, medindo 1,90 cm por 0,19 cm por 0,38 cm. Cada fundição consistia de dois padrões (um espesso e outro delgado), unidos a um conduto de alimentação medindo 0,50 cm de diâmetro por 1,27 cm de comprimento, com um cone de 5,08 cm de diâmetro por 1,27 cm de profundidade. Os padrões foram incluídos em anel metálico forrado com amianto, utilizando revestimento à base de silicato de etila. Três tipos de chama foram utilizadas no estudo: chama neutra, contendo uma mistura de $172,3 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ de oxigênio e $344,7 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ de acetileno; chama carburizante contendo $137,9 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ de oxigênio e $344,7 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ de acetileno e chama oxidante contendo $206,8 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ de oxigênio e $344,7 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ de acetileno. Cada tipo de mistura de chama foi avaliada de acordo com a distância mantida entre a extremidade do

maçarico e o cadinho (10, 8 e 5 cm). Foram utilizadas cadinhos especiais onde eram acoplados pares termo-elétricos que permitiam a verificação da temperatura da liga em cada fundição. Em todas as fundições foi utilizada máquina de fundição com centrífuga vertical. Foram realizadas avaliações quanto à ocorrência de porosidades através de raios X, além de fotomicrografias após polimento metalográfico das secções obtidas em todas as amostras. O autor concluiu que: a inclusão de gases pode ser evitada posicionando adequadamente a chama do maçarico, que deve estar preferivelmente fixado a uma haste de metal; os efeitos das chamas carborizante e neutra sobre a estrutura das fundições foram influenciadas pela distância da chama até o cadinho; e, as porosidades foram prevenidas evitando inclusão de partículas de revestimento.

Em 1961, ASGAR e PEYTON² determinaram as propriedades físicas de ligas de Co-Cr assim como a influência de variáveis de fundição, relacionando os resultados com a microestrutura. Os autores confeccionaram hastes com formato em halteres, medindo 3,49 cm de comprimento por 0,22 cm $\pm$ 0,025 cm de diâmetro, contento 12 a 24 saliências nas extremidades, com a liga Stellite 21. Para o processo de fundição, foi utilizado revestimento aglutinado por fosfato e máquina de fusão eletrolítica com pirômetro óptico acoplado. Após o término da fundição, o molde de revestimento era deixado resfriar à temperatura ambiente para que ocorresse a desinclusão e jateamento das amostras. Para obter valores de alongamento, foram feitas marcas sobre as amostras, distantes 2,54 cm entre si. As amostras foram ensaiadas em máquina de teste universal, equipada com extensômetro para verificação da deformação, regulada com velocidade de 0,05 cm por minuto. Após a

fratura, as amostras foram analisadas metalograficamente. Os autores avaliaram as seguintes condições: 1) metal fundido a 1.426,7 °C com temperatura do molde a 871,11 °C e deixado resfriar à temperatura ambiente em ar; 2) metal fundido a 1.426,7 °C com temperatura do molde a 704,44 °C e deixado resfriar à temperatura ambiente em ar; 3) metal fundido a 1.537,8 °C, molde a 871,11 °C e resfriamento em temperatura ambiente; 4) condição igual ao item 1, com tratamento térmico em forno a 871,11 °C por 1 hora e resfriamento rápido. Os autores avaliaram também as variações no comprimento das amostras, constituindo assim os seguintes grupos, todos eles com temperatura da liga a 1.426,7 °C e temperatura do molde a 871,11 °C: 5) amostras com 3,17 cm; 6) com 0,95 cm; 7) com 0,63 cm; e 8) com 0,31 cm. Na última condição avaliada (grupo 9), os autores modificaram o grupo 3, alterando a temperatura da liga para 1.648,9 °C, mantendo a do molde em 871,11 °C. Os autores concluíram que não ocorreram grandes variações na resistência à tração das amostras quando variaram a temperatura da liga, a temperatura do molde e o comprimento das amostras; a presença de microporosidades nas fundições não alterou significativamente a resistência à tração, somente o alongamento; a utilização de temperaturas maiores na fusão da liga conduziram a um aumento no alongamento; ocorreu um comprometimento superficial nas amostras fundidas em temperaturas elevadas devido a reação ocorrida com o revestimento; e, que o tratamento térmico não melhorou as propriedades físicas da liga, ocorrendo uma alteração na aparência superficial das amostras.

Também em 1961, novamente ASGAR e PEYTON³ avaliaram os efeitos da microestrutura sobre as propriedades físicas de ligas de Co-Cr. Para tal, confeccionaram 120 amostras com a liga de Co-Cr

Stellite 21, de dimensões de acordo com as recomendações da A.D.A., utilizando revestimento aglutinado por fosfato. As condições avaliadas por eles foram: 1) metal fundido a 1.426,7 °C com temperatura do molde a 871,11 °C e resfriamento à temperatura ambiente; 2) metal fundido a 1.426,7 °C, molde a 704,44 °C e resfriamento à temperatura ambiente; 3) metal fundido a 1.537,8 °C, molde a 871,11 °C e resfriamento à temperatura ambiente; 4) igual a condição 1, com tratamento térmico das amostras em forno a 871,11 °C por 1 hora e resfriamento rápido em água. Após a verificação das propriedades físicas, as amostras foram analisadas metalograficamente e avaliadas as possíveis causas das fraturas. Os autores concluíram que: a microestrutura e as microporosidades tiveram um efeito pronunciado sobre as propriedades físicas da liga avaliada; amostras contendo carbonos esféricos e descontínuos apresentaram os maiores valores de alongamento, enquanto que amostras contendo carbonos contínuos ou áreas eutéticas mostraram redução nesta propriedade; e, maiores temperaturas de fusão resultaram na ocorrência de carbonos esféricos e descontínuos, aumentando o alongamento das amostras.

Em 1961, HARCOURT²⁰ analisou metalograficamente fraturas em fundições de Co-Cr, procurando indicar as causas das falhas ocorridas. Para isto, o autor coletou amostras fraturadas para avaliação, cortando secções que incluíam as áreas de fratura das infra-estruturas. As amostras foram analisadas em microscopia óptica, sendo posteriormente polidas metalograficamente, avaliadas quanto a ocorrência de inclusões, contração e porosidade e fotografadas. Foram posteriormente atacadas eletroliticamente e avaliadas no que diz respeito à fase de carbono, tamanho de grãos e estrutura dendrítica. O autor concluiu que: 1) os defeitos na

estrutura de fundições conduziram a fraturas em muitos casos; 2) o tamanho granular variou consideravelmente entre uma área de estrutura fina e outra de estrutura espessa; 3) muitas fraturas ocorreram no apoio oclusal, com a área de fratura na junção do apoio com os braços do grampo; e, 4) os apoios oclusais são mais resistentes a fraturas, quando são confeccionados com secção esférica de diâmetro ideal.

Ainda em 1961, EARNSHAW¹⁵ avaliou uma liga de Co-Cr quanto a sua resistência à fadiga. Para tal confeccionou amostras de formato retangular com a liga Croform 4, medindo 3 mm de largura por 1 mm de espessura por 13 mm de comprimento. Os padrões de cera foram incluídos em revestimento aglutinado por sílica e as fundições foram efetuadas com a liga à temperatura de 1.450 °C e o molde a 1.150 °C. Neste estudo foi utilizado um aparelho que mantinha as amostras presas por uma das extremidades, enquanto que a outra era movimentada ciclicamente. As amostras eram mantidas imersas em água a 37 ± 1 °C para que o comportamento da liga durante o teste fosse equivalente ao comportamento clínico da mesma. A deflexão das amostras era avaliada através de um extensômetro acoplado à extremidade móvel que era submetida a 1.000 ciclos por minuto. O autor concluiu que foram obtidos valores elevados de resistência no início dos movimentos cíclicos, devido a liberação de esforços induzidos pelo jateamento de areia ou devido ao escoamento plástico das camadas externas das amostras. Também ocorreu um endurecimento da liga perto de $2,75 \times 10^8$ N/m², sendo este o verdadeiro valor de resistência à fadiga, que não pode ser excedido.

Em 1962, HARCOURT²⁹ determinou até quando as refusões de

ligas de Co-Cr podem ser utilizadas antes que provoquem alterações nas propriedades físicas destas ligas. Para tal, obteve padrões em forma de halteres para teste de resistência à tração, medindo 3,49 cm ($0,22 \pm 0,02$) de comprimento, a partir da injeção de cera em matriz metálica. Cada três padrões eram unidos a um cone de metal de 5,08 cm de diâmetro que provia um conduto de alimentação de 0,635 cm, sendo posteriormente incluídos em revestimento. Após a inclusão, os blocos de revestimento eram aquecidos em forno até que a temperatura de 1.000 °C fosse atingida (verificada com a inclusão de um par termo-elétrico, conjuntamente aos padrões em cera). Neste experimento foi utilizada a liga de Co-Cr Croform 4, liquefeita através de maçarico de oxiacetileno, mantido a aproximadamente 10 cm de distância da liga e utilizando a porção redutora da chama. A temperatura da liga fundida era verificada por intermédio de um par termo-elétrico acoplado ao cadinho. Após a fundição, o anel era levado novamente ao forno, ocorrendo, desta forma, um resfriamento lento, possibilitando, em sequência, o corte do conduto de alimentação e o jateamento das amostras. O botão e conduto de alimentação remanescentes da fundição eram cortados em secções menores para possibilitar refusões até a 13ª geração. Foram feitas marcas de referências para a realização de leituras de alongamento após a fratura das amostras, que foram examinadas metalograficamente e fotomicrografadas. O autor concluiu que após grande número de fundições ocorreu dificuldade de fundição das ligas, diminuindo a resistência e fluidez. Tais ocorrências podem ser evitadas pela adição de no mínimo 50 % de liga nova à liga previamente fundida.

Ainda HARCOURT¹⁹, em 1964, avaliou a variação na velocidade de resfriamento após solidificação e o efeito de

tratamentos térmicos nas propriedades físicas de ligas de Co-Cr. Desta forma confeccionou amostras com forma de halteres, indicados para avaliação de resistência à tração, medindo 3,49 cm de comprimento. Cada três amostras eram incluídas em revestimento, aquecido até a temperatura de 1.000 °C. A fusão da liga (Stellite Heat) era obtida com maçarico de oxiacetileno, mantido a aproximadamente 10 cm da mesma. Além da avaliação da resistência à tração e da análise da microestrutura, foi também avaliado o tamanho granular (utilizando a técnica de comparação de secções das amostras com escala de compósito A.S.T.M., de tamanho granular de 2,54 a 0,31 cm) e tamanho das células (utilizando a técnica de comparação da superfície atacada das amostras com a lente demarcada do microscópio). Os tratamentos impostos às amostras foram: *GRUPO I resfriamento*: a) resfriamento rápido do molde em água; b) resfriamento lento sobre bancada por 15 minutos; c) resfriamento lento sobre bancada por 60 minutos e d) resfriamento lento em forno por 24 horas. *GRUPO II aquecimento*: a) liberação de esforços por aquecimento em forno até 850 °C, manutenção por 30 minutos e resfriamento lento no forno; b) envelhecimento com manutenção em forno por 5 horas a 850 °C; c) tratamento de solução por manutenção a 1.260 °C por 15 minutos seguido por resfriamento em ar; e, d) envelhecimento após tratamento de solução por 5 horas a 850 °C. O autor concluiu que o resfriamento rápido do molde contendo as fundições reduziu a resistência à tração e aumentou a porcentagem de alongamento. O resfriamento lento aumentou a resistência à tração e diminuiu a porcentagem de alongamento. Tratamentos térmicos por aquecimento provocaram aumento acentuado da resistência à tração e diminuição da porcentagem de alongamento. A variação da microestrutura teve relação com o tratamento térmico imposto. Nenhum dos tratamentos causou

variações nas dimensões das fundições e o procedimento de polimento aumentou a dureza e resistência à abrasão de fundições submetidas à tratamento térmico por aquecimento.

Em 1965, CARTER e KIDD⁹ avaliaram as influências de variáveis de fundição sobre a microestrutura e propriedades mecânicas em liga de Co-Cr. Para isto, confeccionaram amostras com formato de halteres com a liga Springhard, medindo 12,5 mm de comprimento por 3,2 mm de espessura, obtendo de 2 a 4 amostras por molde de revestimento e ensaiando-as em máquina de teste universal quanto à resistência à tração. Com relação à microestrutura, os autores obtiveram fragmentos de amostras utilizadas no teste de resistência à tração, realizaram o polimento e ataque da superfície com ácido crômico a 2 % e observaram as amostras em microscópio micrométrico. Os autores verificaram que a diminuição da temperatura de fusão do metal de 1.650 °C para 1.450 °C, ocasionou um aumento na resistência à tração das amostras, além de aumento na contração de fundição, diminuição do tamanho granular e obtenção de uma superfície mais lisa. Verificaram que a diminuição na temperatura do molde de 970 °C até a temperatura ambiente, produziu um aumento na resistência a tração, aumento na contração de fundição, diminuição do conteúdo de carbono e tamanho granular e superfície mais lisa. Com a diminuição na secção transversa das amostras, ocorria diminuição no conteúdo de carbono e tamanho granular, aumento da resistência à tração e obtenção de superfície mais lisa.

Em 1965, HARCOURT e COTTERILL²¹ avaliaram a utilização da fusão por indução elétrica em ligas nova e refundida à base de Co-Cr, comparando os resultados obtidos em relação à fusão por

maçarico de oxiacetileno. Para que tal avaliação pudesse ser feita, os autores confeccionaram amostras em forma de halteres (para teste de resistência à tração), medindo 3,49 cm de diâmetro. O bloco de revestimento com os padrões era aquecido em forno até a temperatura de 1.000 °C. A fusão da liga (Croform 4) foi obtida em aparelho Willians de indução de alta frequência e a zona de fusão foi determinada por dois operadores; um utilizava filtros de vidro escuro, observando a luz difusa oriunda das margens da liga e o outro avaliava por intermédio de um pirômetro, calibrado para 1.450 °C. Análise metalográfica, incluindo tamanho de grãos e células e avaliação de inclusões também foram conduzidas. A liga foi refundida 12 vezes e analisada quanto a composição após a 3^a, 6^a e 12^a fundição. Para avaliar a interferência da atmosfera, dois grupos de teste foram efetuados: um utilizando atmosfera de gás argônio e outro, gás acetileno, introduzidos no cadinho enquanto a liga estava sendo fundida. Os autores concluíram que: a indução de alta frequência produziu maior número de variação no tamanho granular, demonstrando que tamanhos menores diminuíram as propriedades mecânicas, talvez devido à presença de complexos de carbono; a resistência à tração e a resistência máxima à deformação permanente não diferiram significativamente quando da utilização de indução elétrica ou maçarico de oxiacetileno, desde que não se realize excessivas refusões; e, a fusão com indução elétrica em atmosfera inerte ou redutora melhoraram as propriedades físicas nas primeiras fusões.

Em 1965, BATES⁵ realizou um estudo relativo a fraturas de próteses parciais removíveis, através da determinação do limite de fadiga por flexão. Para o teste foram confeccionadas amostras em formato de halteres, semelhante às amostras de teste da

Universidade de Illinois (ASTM - D671 - 42T), mas com metade das dimensões originais. As amostras foram incluídas em revestimento e fundidas à temperatura de 1.050 °C, utilizando máquina de indução elétrica e liga de Co-Cr (Croform). Os anéis de fundição foram deixados resfriar à temperatura ambiente. Após a fundição, as amostras foram examinadas quanto ao peso específico, comparando as amostras terminadas com os lingotes quentes; quanto ao número e superfície de inclusões, analisando 2 lingotes e 12 amostras em microscópio Vickers; quanto a metalografia, analisando o tamanho de grãos e distribuição de carbono; e, quanto a rugosidade de superfície, utilizando rugosímetro Tallysurf. Para a avaliação da resistência à fadiga, as amostras eram submetidas a até 5×10^6 ciclos com carga de até $206,85 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, posicionando-se as amostras em condições de 100% de umidade relativa e 37 °C ou à temperatura ambiente. O autor concluiu que a resistência foi menor quando as amostras foram estocadas em meio corrosivo (37 °C e 100% umidade relativa) e que os valores obtidos estão acima do limite proporcional das ligas de Co-Cr, sugerindo que as estruturas com elas confeccionadas apenas fracassariam se houvesse ocorrência de inclusões ou porosidade.

Em 1968, BOMBONATTI, GARLIPP e BARROS⁷ avaliaram a influência de refusões sobre a resistência a flexões sucessivas de ligas de Co-Cr (Vitallium, Dentallium e Stern). Foram confeccionadas amostras de forma cilíndrica medindo 1,5 mm de diâmetro por 4,5 cm de comprimento, utilizando ligas novas ou que sofreram 1, 2 ou 3 refusões. Para a avaliação da resistência a flexões sucessivas, foi utilizada uma máquina AMSLER, modelo MUA 246. No ensaio, as amostras eram presas por suas extremidades e submetidas a uma carga de tração constante de 1 kg, sendo a seguir

forçadas a um movimento vibratório, ficando uma das extremidades livre. As oscilações foram realizadas em ângulos de 7° para ambos os lados, sendo assim dobradas sobre um mordente fixo de 0,5 mm de raio de curvatura. A avaliação dos resultados foi realizada computando o número de flexões sucessivas até a ruptura das amostras. Os autores concluíram que todas as ligas analisadas sofreram alterações em sua resistência a flexões sucessivas quando submetidas a uma ou mais fusões, ocorrendo diferenças entre as ligas envolvidas. Na primeira refusão, todas as ligas tiveram um aumento pronunciado na resistência a flexões sucessivas, podendo este aumento intensificar o grau de deformação permanente, e, que com as refusões, parece existir uma alteração na composição das ligas originais, não sendo recomendável a utilização exclusiva de ligas que já tenham sido fundidas previamente.

Em 1973, CUNNINGHAM¹³ teceu comparação entre as ligas de ouro tipo IV e as ligas de Co-Cr para confecção de infra-estruturas de próteses parciais removíveis, a partir de revisões de trabalhos anteriores referentes à estas ligas. O autor concluiu que as ligas de Co-Cr apresentam vantagens no que diz respeito a certas propriedades físicas como: resistência à tração, módulo de elasticidade, dureza e peso específico. As ligas de ouro são vantajosas no que diz respeito à resistência máxima à deformação permanente, limite proporcional, ductilidade e alongamento. Além disto, as ligas de Co-Cr apresentam valores maiores de contração de fundição e custo inferior, e as ligas de ouro são mais facilmente passíveis de serem reparadas por soldagem. O autor conclui que na escolha da liga deve-se levar em consideração: disponibilidade de espaço para os conectores; quantidade de áreas retentivas; complexidade da infra-estrutura;

utilização ou não de conectores intracoronários; disponibilidade de técnicos especializados; e, custo do trabalho.

Em 1974, LAUTENSCHLAGER e cols.²⁷ estudaram alguns dos fatores que determinam a resistência de uniões soldadas, como o tamanho da área de solda, velocidade de deformação e perfeição da interface metal-liga de solda, tentando sugerir meios para melhorar as características de resistência. Para tal, utilizaram hastes de aproximadamente 25 mm de comprimento obtidas pela técnica de fundição por eliminação de cera, com uma das seguintes ligas metálicas: latão, liga de solda com 60% Pb e 40% Sn, 4 ligas de ouro para fundição e 2 ligas de ouro para soldagem de diferentes graus de pureza. As amostras foram ensaiadas quanto a resistência à tração em uma máquina de teste universal Instron. Após a determinação das propriedades dos materiais separadamente, os autores conduziram os testes de resistência das uniões resultantes de combinações das ligas. Foram confeccionadas soldas em hastes de latão com 3 mm de diâmetro por 25 mm de comprimento, após acabamento e polimento das extremidades, utilizando liga de solda composta de 60% Pb e 40 % Sn, por intermédio de ferro elétrico e fundente não ácido. Para o procedimento de soldagem, as amostras eram posicionadas em um bloco em forma de "V" confeccionado em revestimento e para o teste de tração, eram posicionadas em máquina de teste universal Instron. Outros testes foram conduzidos em amostras confeccionadas com uma das 4 ligas de ouro utilizadas no trabalho, variando as ligas de solda, que se apresentavam com dois níveis de pureza. Os autores concluíram que uniões soldadas somente têm elevação na resistência se houver uma grande diferença na composição entre os materiais envolvidos.

Em 1975, REISBICK e CAPUTO³⁵ determinaram a influência de várias velocidades de carga sobre as propriedades mecânicas de ligas de Co-Cr. Para isso, confeccionaram amostras com formato de halteres medindo $2,25 \pm 0,25$ mm de diâmetro e 35 mm de comprimento, cujos padrões foram incluídos individualmente e fundidos com uma das seguintes ligas de Co-Cr comumente utilizadas em trabalhos de próteses parciais removíveis: Vitallium, Haynes Stellite, Nibilium e Crutanium (liga experimental). As amostras foram submetidas à tração em uma máquina de teste universal Instron, equipada com extensômetro, variando as velocidades de aplicação de carga entre os seguintes níveis: 0,05 mm/min (correspondente a 30 ± 5 kg/min), 0,625 mm/min e 6,25 mm/min. Pelo menos 6 amostras de cada liga foram ensaiadas nos valores extremos (0,05 e 6,25) e ao menos 4, ensaiadas no valor médio (0,625). As propriedades mecânicas avaliadas foram: alongamento, resistência máxima à deformação permanente, resistência à tração e módulo de elasticidade. Os autores concluíram que não houve diferenças significativas nas propriedades mecânicas das ligas, quando a velocidade de aplicação da carga variou.

Em 1976, STRANDMAN e GLANTZ⁴⁰ avaliaram a influência de variações na composição da chama de oxiacetileno sobre os procedimentos de fundição de ligas de Co-Cr. No estudo foram utilizadas chamas com composição variando entre 39 a 59 % de acetileno. Em todas as misturas, foi utilizada a velocidade de escoamento de gás no maçarico de 1,77 a 1,78 Nm³/h. A estrutura característica das chamas foi determinada por meio de filmes negativos coloridos tomados em laboratório. Foi utilizada a liga de Co-Cr Wizil, cuja composição foi avaliada por absorção atômica. A capacidade de aquecimento das chamas utilizadas foi verificada

por pares termo-elétricos posicionados no cadinho pré-aquecidos em forno a 1.000 °C, distantes 40 mm da ponta do maçarico e utilizando 4 pepitas de liga. Em um dos experimentos, a capacidade de aquecimento das misturas utilizadas foi verificada variando a distância do maçarico ao cadinho de 55 a 70 mm; em outro, a velocidade de fusão da liga foi verificada por meio de um cronômetro. Os ensaios realizados foram: 1) velocidade de fusão com pré-aquecimento do cadinho até 1.000 °C e utilização de chamas de 48 a 56 % de acetileno, usando 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 ou 10 pepitas de liga; 2) velocidade de fusão com cadinhos com e sem pré-aquecimento utilizando chamas de 48 a 50 % de acetileno com e sem uso de fundente; e, 3) velocidade de fusão com cadinhos pré-aquecidos utilizando chamas com 48, 52 e 54 % de acetileno, variando a distância do maçarico ao cadinho. Os autores concluíram que a velocidade de aquecimento da liga é governada pela temperatura da secção da chama, pela tendência à oxidação das secções da chama, e, pela temperatura inicial do cadinho. Quando foi utilizada a chama redutora, a velocidade de aquecimento dependeu da temperatura da chama, e com chama oxidante, ocorreu diminuição na velocidade de fusão devido a formação de uma camada de óxidos; com pré-aquecimento do cadinho, a chama teve pouca importância e sem pré-aquecimento do cadinho, a escolha da chama foi importante para que ocorresse rápida fusão; ocorreu rápido aquecimento da liga com utilização de chama oxidante e cadinho pré-aquecido, com pouca influência sobre as propriedades da liga; o aumento na quantidade de liga não produziu efeito sobre a velocidade de aquecimento da liga; a utilização de fundente teve pouca influência sobre a velocidade de aquecimento da liga; e, finalmente, o aumento das distâncias do maçarico à base do cadinho resultaram num aumento no tempo de fusão.

Em 1976, STRANDMAN³⁹ estudou a influência de diferentes chamas de oxiacetileno sobre o conteúdo de carbono em ligas de Co-Cr. Para isto, confeccionou amostras medindo 8 mm de diâmetro por 30 mm de comprimento, segundo as recomendações do fabricante para o proporcionamento e maneira de vazamento do revestimento. Os moldes permaneceram em forno a 1.000 °C por aproximadamente 210 minutos, previamente à fundição. Após as fundições, o molde era deixado resfriar, o revestimento era fraturado e as amostras eram acabadas com escova de aço e jateadas. O autor avaliou as seguintes condições: a) o conteúdo de carbono da liga, da maneira como ela é encontrada no comércio, para tecer comparações com as variáveis utilizadas; b) verificou se o conteúdo de carbono no cadinho interfere no conteúdo de carbono da liga, aquecendo o cadinho por 120 segundos com chama oxidante, cobrindo-o com uma camada espessa de fuligem e procedendo a fundição da liga; c) avaliou se a mistura de gás da chama interfere no conteúdo de carbono da liga, quando esta é injetada no molde logo após a fusão, utilizando chamas com conteúdos crescentes de acetileno e decrescentes de oxigênio; d) avaliou a influência da mistura de gás da chama sobre o conteúdo de carbono, aquecendo a liga por 30 ou 60 segundos após a fusão; e) avaliou novamente a condição d, aquecendo a liga por 90 e 120 segundos para chamas contendo 39, 48 e 52 % de acetileno e por 90, 120 e 150 segundos para chama contendo 59 % de acetileno; f) avaliou se refusões interferem no conteúdo de carbono fundindo a mesma liga de duas a cinco vezes utilizando chamas contendo 48 e 52 % de acetileno; g) avaliou se diferentes volumes de liga interferem no conteúdo de carbono, fundindo 5, 15, 25, 35, 45 e 50 gramas de liga; e, h) avaliou se diferentes posições da chama alteram o conteúdo de carbono, aumentando a distância do maçarico para o cadinho progressivamente

de 40 para 55 e 70 mm. Em todas as circunstâncias, o conteúdo de carbono foi medido pelo método volumétrico de gás e a análise da microestrutura foi realizada para todas as condições avaliadas. O autor concluiu que o conteúdo de carbono no cadinho não alterou o da liga; quando porções oxidantes da chama são utilizadas, o conteúdo de carbono da liga não foi alterado durante o processo de fundição; quando excesso de acetileno presente na chama entrou em contacto com a liga, ocorreu aumento no conteúdo de carbono da mesma; o conteúdo de carbono ficou estável quando liga refundida foi misturada com liga nova; quando há excesso de acetileno na chama, a variação de carbono na liga foi determinada pela secção da chama utilizada.

Também em 1976, novamente STRANDMAN³⁷ avaliou a influência de diferentes conteúdos de carbono sobre as propriedades mecânicas de ligas de Co-Cr. As amostras utilizadas apresentavam formato de halteres, medindo 50 mm de comprimento total, 8 mm de diâmetro nas extremidades e 8 mm de comprimento por 4 mm de diâmetro em sua porção central. Para avaliar a influência da variação do conteúdo de carbono, foram utilizadas chamas com 48 a 56 % de acetileno. Após a fundição, os condutos de alimentação eram cortados, e medidas de níveis de carbono e dureza eram realizados nas secções. As amostras foram ensaiadas em máquina de tração e a deformação e o alongamento de cada uma foram avaliados, assim como a superfície de fratura foi examinada metalograficamente. O autor concluiu que: 1) quando o conteúdo de carbono aumentou, também aumentaram a dureza, a resistência máxima à deformação permanente e a resistência à tração e diminuiu o alongamento da liga; 2) o aumento nas propriedades mecânicas pode ser considerado benéfico; 3) a diminuição no alongamento limitou a

utilização da liga em Odontologia; e, 4) o método de fundição utilizado não aumentou o conteúdo de carbono na liga.

Ainda em 1976, STRANDMAN³⁸ avaliou a influência de tratamentos térmicos sobre ligas de Co-Cr. As amostras foram tratadas termicamente através de um dos três tipos de tratamentos: por envelhecimento a altas temperaturas, tratamento de solução (até dissolução do precipitado na matriz) e isotérmico (após tratamento de solução sem resfriamento lento intermediário à uma temperatura onde ocorre precipitação de fase supersaturada). Para o tratamento térmico por envelhecimento, utilizou aquecimento das amostras após fundição e resfriamento lento até 1.000, 1.050 e 1.200 °C por 0,25, 0,50, 1,0, 2,0, 4,0 e 8,0 horas; até 900 °C por 0,50, 1,0, 2,0, 4,0 e 8,0 horas e até 600, 700, 800 e 1.100 °C por 1,0, 2,0, 4,0 e 8,0 horas. Para o tratamento isotérmico, realizou o tratamento de solução a 1.200 °C por 8,0 horas, aquecendo assim as amostras por 1,0, 2,0, 4,0 e 8,0 horas a 800, 900 e 1.000 °C. Devido ao processo de oxidação ocorrido a 1.200 °C, o tratamento isotérmico foi também conduzido em atmosfera não oxidante de hidrogênio. Após os tratamentos realizados, as amostras foram avaliadas quanto à dureza superficial e quanto a metalografia. Para a avaliação das propriedades mecânicas após os tratamentos térmicos, os ensaios foram realizados após tratamento por envelhecimento a 800 °C por 8,0 horas, tratamento de solução a 1.200 °C por 8,0 horas ou tratamento de solução a 1.200 °C por 8,0 horas seguido por tratamento isotérmico a 800 °C por 8,0 horas. O autor concluiu que quando a liga foi aquecida a temperaturas superiores a 700 °C, ocorreram mudanças na estrutura dos carbonetos, conduzindo a alterações nas propriedades físicas; as mudanças ocorridas nas propriedades mecânicas foram desprezíveis

para a Odontologia; e, estabilidade das propriedades mecânicas a temperaturas inferiores a 600 °C, permite que as ligas de ouro sejam utilizadas para soldagem de infra-estruturas de próteses removíveis, sendo passíveis de tratamento térmico, sem danos à fundição de Co-Cr.

Em 1978, LEWIS²⁸ realizou um trabalho explicativo sobre os fundamentos da cristalização dendrítica. Amostras para o teste de resistência à tração confeccionadas em Ni-Cr (liga Ticonium Premium 100) e Co-Cr (liga Vitallium) foram examinadas metalograficamente após serem atacadas com solução aquosa de ácido nítrico, ácido acético glacial ou ácido crômico. O autor afirmou que durante o resfriamento das ligas, ocorre a formação de núcleos de cristalização a partir de ligações atômicas, processo conhecido por nucleação. O espaço compreendido entre os núcleos ou grãos cristalinos recebe o nome de fronteiras gralunares. Como as ligas envolvidas no estudo são complexas por apresentarem variações composicionais e diferentes pontos de fusão para cada um dos metais envolvidos, o fenômeno que realmente ocorre é denominado cristalização dendrítica, devido à formação de uma estrutura semelhante a galhos de árvores dentro do espaço conhecido como núcleo ou grão cristalino. As ligas de Ni-Cr e Co-Cr apresentaram estrutura dendrítica após solidificação, podendo mostrar variações nas dimensões dendríticas - responsáveis pelas propriedades físicas da liga - quando ocorrem alterações nas técnicas de fundição.

Em 1979, MORRIS e cols.³⁰ determinaram o efeito do tratamento térmico sobre as propriedades e microestrutura das ligas Vitallium (Co-Cr), Dentillium (Fe-Cr), Durallium (Co-Cr-Ni)

e Ticonium 100 (Cr-Ni). Para isto fundiram 50 hastes com dimensões fornecidas pela especificação nº 14 da A.D.A., seguindo recomendações dos fabricantes. Utilizaram para todas as ligas uma máquina de fusão por indução elétrica. Após a fundição, os blocos de revestimento foram deixados resfriar à temperatura ambiente, desincluídos, jateados e as amostras foram separadas dos condutos de alimentação cortando-as com disco em alta rotação. As amostras foram posteriormente submetidas ao tratamento térmico, utilizando-se para isto, azulejos de cerâmica que as protegiam dos efeitos intensos e diretos do aquecimento. Cinquenta amostras de cada liga foram divididas aleatoriamente em 5 grupos, um deles como controle (sem tratamento térmico) e os outros submetidos às temperaturas de 1.300, 1.600, 1.900 e 2.200 °C por 15 minutos e imediato resfriamento em água. Todas as amostras foram avaliadas em máquina de teste universal Instron, utilizando conjuntamente um extensômetro com capacidade para 454 gramas. Também foram calculadas a resistência máxima à deformação permanente, máxima resistência à tração, módulo de elasticidade e porcentagem de alongamento. Para cada liga e condições testadas, áreas de 3 hastes fraturadas foram analisadas metalograficamente e realizados testes de dureza Knoop. Outras 3 áreas foram incluídas, polidas e atacadas eletroliticamente para que fotomicrografias fossem tomadas. Com os resultados obtidos, os autores concluíram que: 1) os mais altos valores são obtidos sem tratamento térmico; 2) tratamento térmico em ligas de prótese parcial removível resultam em redução na resistência e valores variados de alongamento, devendo-se se evitar aquecimento prolongado durante a soldagem e aquecimento ao rubro durante acabamento e polimento; e, 3) a liga Durallium é a mais afetada pelas condições do tratamento térmico.

Em 1980, HESBY e cols.²⁶ avaliaram a dureza, resistência à tração e porcentagem de alongamento de uma liga alternativa durante quatro gerações de fundições. Para tal, utilizaram a liga de Co-Cr Ticonium, fundindo-a de acordo com a especificação nº 14 da A.D.A. Os padrões em cera foram confeccionados em molde com auxílio de um injetor de cera fundida. Dada a conclusão dos padrões, eles eram pintados com revestimento aglutinado por gesso, quando após transcorridos 9 minutos da presa, eram incluídos em anel. Após 1 hora, o anel era levado ao forno frio até que a temperatura de 732 °C fosse alcançada, para a eliminação da cera e expansão do revestimento, decorrendo 3 horas para a totalização do processo. Em cada fundição eram utilizados 5,45 gramas de liga, que era fundida através de cadinho de resistência elétrica e injetada no molde por centrifugação. Após o resfriamento do bloco de revestimento, as amostras eram desincluídas e limpas com óxido de alumínio. O teste de tração foi realizado em máquina de teste universal Instron, com auxílio de um microscópio comparador para avaliação da porcentagem de alongamento, sendo também determinada a dureza por penetrômetro. O conduto de alimentação e a haste para o teste de tração eram refundidos, totalizando ao fim do trabalho, quatro ciclos de fundições e quatro gerações de amostras. Os resultados permitiram aos autores concluir que não houve diferenças nas propriedades físicas da liga ao longo de quatro gerações de fundições e que o metal pode ser refundido, pelo menos, por quatro vezes.

Em 1981, Mac ENTEE, HAWBOLT e ZAHEL²⁹ examinaram as resistências à tração e ao cisalhamento de uniões feitas em amostras de uma liga de Co-Cr por soldagem com liga de alta fusão. Para o teste de resistência a tração, os autores confeccionaram 96

cilindros com liga Vitallium (Cr-Co-Mo), medindo 40 mm de comprimento por 3 mm de diâmetro, fundidas e soldadas pelas extremidades, para que quatro hastes fossem obtidas, contendo cada uma 12 soldas. Para o teste de cisalhamento, foram confeccionadas amostras retangulares medindo 40 mm de comprimento, 3,8 por 1,5 mm no centro e 1,5 por 2,0 mm nas extremidades. As uniões foram obtidas por ajuda de um dispositivo que mantinha as amostras distantes 0,25 mm. Os testes de tração e cisalhamento foram conduzidos em máquina de teste universal Instron e as soldas foram realizadas com maçarico de oxiacetileno com extremidade fina. As amostras foram inspecionadas quanto ao excesso de solda, que se existisse, era removido para prover uniformidade às amostras. Para avaliarem os efeitos do meio sobre a resistência, as amostras foram submetidas a uma das seguintes situações: 50 ou 150 horas em ar e 50 ou 150 horas em saliva artificial, que era mantida circulante através das amostras estaticamente posicionadas. Após os períodos de tempo descritos, as amostras eram removidas do meio e seccionadas em sua porção média a fim de se criar 12 junções separadas, que eram analisadas com estereomicroscópio em vários aumentos. Com este estudo, os autores concluíram que o meio corrosivo não afeta a resistência das uniões; a resistência obtida nestas uniões confeccionadas em liga de Co-Cr foram mais resistentes que as obtidas com liga de ouro tipo III; e, que ocorreu difusão atômica evidente nos pontos onde a resistência foi mais elevada.

Em 1983, HAWBOLT e Mac ENTEE²⁴ verificaram os efeitos de cargas de fadiga sobre uniões soldadas realizadas em liga de Ni-Cr. Para tal, utilizaram 60 hastes de 2 mm de diâmetro, fundidas com a liga Biobond, de acordo com as recomendações do

fabricante. Pares destas hastes foram alinhadas uniaxialmente através de um dispositivo, que as mantinha 0,3 mm distantes entre si. Para o procedimento de soldagem, utilizaram maçarico de oxiacetilelo e liga de solda com metais preciosos de baixa fusão. Após o resfriamento lento do conjunto, as extremidades das hastes foram posicionadas em um suporte por intermédio de liga de solda a base de prata e submetidas ao teste de fadiga, sob carga de tração cíclica de 60 ciclos por minuto. As amostras foram então divididas em três grupos: *GRUPO I* - utilizando 45% do limite máximo de resistência à deformação permanente; *GRUPO II* - 65% e *GRUPO III* - 80% deste limite. As superfícies fraturadas foram examinadas com microscópio eletrônico de varredura para determinação dos detalhes do processo de fratura. Os autores concluíram que os defeitos estruturais dentro das uniões soldadas assumiram a mais alta significância na resistência à fadiga, sob cargas cíclicas, do que sob cargas estáticas.

Em 1983, novamente HAWBOLT, Mac ENTEE e ZAHEL.²⁵ avaliaram a resistência à tração e aparência microscópica de amostras de três ligas de metais básicos soldadas com ligas de alta e baixa fusões. As ligas utilizadas foram: Ultratek (Ni-Cr-Be); Biobond (Ni-Cr) e Neobond II (Co-Cr). Oito cilindros medindo 20 mm de comprimento por 2 mm de diâmetro de cada liga, foram confeccionados. Os cilindros foram soldados pelas extremidades de modo a ser obtida uma amostra de cada uma das ligas, contendo, no mínimo seis soldagens. Duas amostras foram confeccionadas utilizando liga de solda de alta fusão Willians e outras duas, utilizando liga de baixa fusão Willians. Durante o processo de soldagem, foi utilizado um dispositivo que mantinha as extremidades dos cilindros distantes 0,4 mm entre si, fazendo uso

de fundente e maçarico de oxiacetileno. Após a soldagem, as amostras foram deixadas resfriar em temperatura ambiente e o excesso de solda foi lentamente desgastado, até que o diâmetro de 2 mm do bastão cilíndrico fosse restabelecido. Para a avaliação dos efeitos da corrosão, uma amostra de cada combinação liga/liga de solda foi imersa em saliva artificial por 150 horas. Outras amostras foram armazenadas em meio ambiente, também, durante 150 horas. Para esta avaliação, os cilindros foram seccionados no centro de cada haste fundida para que se obtivesse seis combinações liga/liga de solda. Em seguida, as amostras foram tracionadas em máquina de teste universal Instron e as superfícies fraturadas, examinadas em estereomicroscópio. Os autores concluíram que: 1) o meio corrosivo não afeta a resistência das ligas de solda, ambas apresentando resistência semelhante, tanto em saliva quanto em ar; 2) ligas de alta temperatura apresentam maior inclusão de óxidos e ligas de baixa temperatura, maior porosidade por aprisionamento de gases, e 3) as ligas de Ni-Cr são acabadas com maior facilidade e produzem uniões de melhor qualidade.

Também em 1983, NAYLOR e DAUGHTRY³¹ determinaram as possibilidades e limitações de se refundir uma liga de Ni-Cr. No estudo, utilizaram duas sequências de fundição. Na sequência A, os autores fundiram primeiramente um "coping" para metalocerâmica, utilizando liga nova. O botão obtido desta fundição, chamado de botão de 1ª geração, foi refundido para obtenção de uma coroa total metálica. O botão de 2ª geração foi também refundido para que uma coroa 3/4 fosse obtida. O botão resultante desta fundição, 3ª geração, foi então, finalmente refundido, para obtenção de um pino com núcleo. Na sequência B, os autores utilizaram uma mistura

50/50, em peso, de liga nova e botão de 1ª geração, para obtenção de uma estrutura para metalocerâmica. O botão remanescente, chamado de geração 1,5, foi refundido e serviu como fonte de liga fundida para uma coroa totalmente metálica. O botão resultante (geração 2,5), foi também refundido para produção de uma coroa 3/4. Finalmente, o botão da geração 3,5 foi refundido para obtenção de um pino com núcleo. Para que todas as fundições fossem padronizadas, apenas um autor uniu os padrões aos condutos, incluiu em revestimento fosfatado, utilizando amianto ou cera como dispositivo para não retringir a expansão de presa. A fundição foi feita com liga Rexillium III (Ni-Cr), após aquecimento do bloco em forno a 1.600° F por 1 hora. Os autores concluíram que para as restaurações metalocerâmicas, deve-se utilizar fundições de gerações 1 ou 1,5, já que são de difícil acabamento. Concluíram também que restarações metálicas associadas com resina terão a união resina-metal prejudicada, porque ocorrem perdas de elementos das ligas utilizadas nas fundições para tal fim. A melhor escolha seria uma combinação de A e B, iniciando o processo com metal novo.

Ainda em 1983, TOWNSEND, VERMILYEA e GRISWOLD⁴¹ determinaram a resistência a tração de várias combinações de soldagem antes da aplicação de porcelana. Utilizaram no estudo as ligas Unibond, Ceramalloy II, Biobond, Rexillium III e Biocast. Foram feitas fundições com formato de meia barra, utilizando revestimento fosfatado e fusão do metal por indução elétrica. A eliminação de cera dos padrões e as fundições foram realizadas de acordo com as recomendações dos fabricantes. As fundições foram deixadas resfriar a temperatura ambiente e desincluídas. As amostras a serem soldadas foram acabadas para que as extremidades

permanecessem perpendiculares ao longo eixo das amostras e jateadas com óxido de alumínio de 50 μm . As meia barras foram então alinhadas em um dispositivo e unidas com cera em bastão. Uma distância de 0,330 mm foi obtida entre as extremidades, através do uso de um espaçador. As amostras foram incluídas em revestimento para soldagem e a cera eliminada com água fervente. As ligas de solda utilizadas foram: Unibond (liga de alta fusão) e pasta fundente Ceramallooy (alta fusão), liga de solda de alta fusão Jeneric, Rx NNP pré-soldagem e Biobond NC pré-soldagem. As amostras incluídas foram pré aquecidas em forno, cobertas com fundente e soldadas com maçarico de gás-oxigênio. Cinco barras de cada liga foram soldadas com cada uma das ligas de solda. As amostras foram usinadas a um diâmetro uniforme e examinadas quanto a ocorrência de falhas, anteriormente ao teste de tração em máquina de teste universal Instron. As barras foram, finalmente, examinadas em microscópio binocular de baixa potência. Os autores concluíram que, sob condições controladas de distância, inclusão e soldagem, mais de 1/3 das amostras falharam. Concluíram também que há necessidade de melhorar a aplicação de calor, de controlar a oxidação e de se desenvolver novos métodos e materiais. O procedimento utilizado ainda não é seguro.

Também em 1983, BRUDVIK e NICHOLLS⁹ avaliaram a resistência de uniões soldadas à base de ligas de Co-Cr, utilizando combinações de técnicas e ligas para soldagem. Para a obtenção das amostras em forma de hastes, foram utilizadas as ligas Ticonium 100 e Vitallium, incluídas e fundidas de acordo com as recomendações dos fabricantes. Dividiram as amostras em 2 grupos de 40: baixa fusão (Ticonium 100) e alta fusão (Vitallium). Logo após a fundição, as amostras foram jateadas, os condutos de

alimentação cortados com discos e efetuada a remoção de eventuais imperfeições. As hastes foram então incluídas em revestimento para soldagem, deixando uma abertura central, por onde eram seccionadas com disco, a fim de se obter uma distância de 0,4 mm entre as secções. As amostras dos dois grupos foram divididas em grupos de 10, cada um utilizando: liga de solda Triple Thick 0,800 com soldagem elétrica e maçarico; liga de solda Jelenko e maçarico de oxiacetileno e liga Sure Bond e soldagem elétrica. Após a soldagem, as amostras foram deixadas resfriar, desincluídas e acabadas para serem ensaiadas em máquina de teste universal Instron. De posse dos resultados, os autores concluíram que a maior resistência obtida, deu-se quando da utilização da liga para solda Triple Thick 0,800, combinada com soldagem elétrica como fonte de calor e que todas as outras combinações avaliadas mostraram grandes reduções na resistência de união.

Ainda em 1983, ERIKSSON, SJÖGREN e BERGMAN¹⁷ avaliaram a influência do tratamento térmico endurecedor, dado pela soldagem de fios pré-fabricados, na microestrutura e na dureza de três ligas de Co-Cr. Para que o trabalho fosse conduzido, foram obtidas sete infra-estruturas de próteses parciais removíveis inferiores utilizando-se das recomendações dos fabricantes, com cada uma das seguintes ligas: Vitallium, Micronium Exclusiv e Wironit (extra dura), sendo as duas primeiras fundidas com maçarico de oxiacetileno e a última com indução elétrica. Cada infra-estrutura foi seccionada em duas partes similares. Um fio de ouro de 1,15 mm de diâmetro por 15 mm de comprimento foi posteriormente fixado por soldagem em uma das secções. Após a união do fio, a infra-estrutura foi resfriada o mais rápido possível em água até a temperatura ambiente. O lado da estrutura soldado, foi então

submetido ao tratamento térmico endurecedor por meio de banho salino com 50% de nitrato de sódio e 50% de nitrato de potássio em cadinho de porcelana dentro de um forno elétrico. As amostras eram mantidas por 2 minutos a 450 °C e então eram resfriadas lentamente no forno até atingir 250 °C, seguido por resfriamento rápido. Este procedimento foi conduzido em 7 hemi-estruturas de cada liga. As amostras soldadas e as hemi-estruturas controle foram subsequêntemente analisadas microscopicamente, incluindo-as em resina, lixando, polindo com pasta de diamante, atacando com solução de ácido crômico a 2% e solução de permanganato alcalino e fotomicrografando-as. Finalmente foi conduzido o teste de dureza Vickers, fazendo-se 5 penetrações em cada amostra, de acordo com a especificação nº 14 da A.D.A.. Os resultados direcionaram os autores a concluir que a quantidade de calor, a soldagem e o tratamento térmico endurecedor dos grampos não influenciaram a microestrutura e a dureza de ligas de Co-Cr.

Em 1984, NOORT e LAMB³² determinaram as causas de fraturas de próteses parciais removíveis, reveladas por observação da microestrutura da superfície fraturada em microscopia eletrônica de varredura. Para tal, os autores avaliaram doze estruturas de próteses parciais removíveis em uso, com fraturas dos componentes da estrutura metálica, cortando as extremidades de metal fraturado e imergindo-as em detergente por 24 horas. Em seguida, as extremidades eram limpas ultrassonicamente, lavadas e secas em acetona para remoção de detritos. As amostras obtidas eram subsequêntemente examinadas sob microscópio eletrônico de varredura (SEM). Além disto, outras amostras foram polidas metalurgicamente e examinadas em microscopia óptica, antes e após ataque da superfície com 5 ml de peróxido de hidrogênio (30%) em

100 ml de ácido hidrocloreídrico concentrado, por poucos segundos, para revelar as microestruturas. De acordo com as observações, os autores concluíram que microporosidade interdendrítica, devido à contração de fundição, é a principal causa de ocorrência de fraturas em próteses parciais removíveis, durante o uso.

Em 1986, BEN-UR e cols.⁶ descreveram as causas clínicas e laboratoriais de fraturas de infra-estruturas de próteses parciais removíveis à base de Co-Cr. Os autores afirmaram que as próteses removíveis podem fraturar por uma das seguintes causas: 1) propriedades mecânicas da liga de Co-Cr; 2) deficiência na execução da fase laboratorial; 3) desenho inadequado da infra-estrutura; 4) procedimentos inadequados executados pelo cirurgião-dentista; 5) falta de cuidado ou abuso do paciente; e, 6) fadiga do metal. Dentre as causas de fraturas provenientes das propriedades mecânicas da liga, os autores citaram o aumento da friabilidade causada pelo manganês e silício, utilizados como desoxidante e pelo aumento no conteúdo de carbono causado pela fonte de calor utilizada; diminuição da ductilidade devido ao aumento do conteúdo de carbono; diminuição no limite de fadiga causada por porosidades, ângulos agudos presentes na infra-estrutura, torções e tratamento térmico resultante de acabamento e polimento. Dentre as causas relacionadas com a deficiência de execução laboratorial, porosidades causada por inclusão de gás proveniente de maçarico ou por contração de fundição em áreas espessas da infra-estrutura devido à insuficiência de metal, tendem a reduzir drasticamente as propriedades mecânicas, induzindo a fraturas. Outras causas como dimensões inadequadas dos grampos (relação largura/espessura de 2 mm ou mais, com comprimento de no mínimo 15 mm), ajustes

realizados mecanicamente à frio pelo profissional e falta de cuidado por parte do paciente em colocar e remover a prótese, também são causas importantes de fraturas.

Também em 1986, BARAKAT e ASGAR⁴ determinaram as propriedades mecânicas de algumas ligas à base de cobalto, assim como suas resistências relativas à soldagem pré e pós aplicação de porcelana, utilizando maçarico e soldagem à vácuo. Utilizaram neste estudo 24 amostras de cada uma das seguintes ligas: DD 131, Novorex, Genesis, Dent-O-Bond e Neobond II. Os padrões em cera foram incluídos em revestimento fosfatado e colocados no forno a 700 °C por 3 horas. A injeção da liga fundida foi efetuada utilizando centrífuga e indução elétrica. Após as fundições, as amostras foram desincluídas e jateadas com areia. Doze amostras foram tratadas por aquecimento entre 650 a 980 °C por 5 vezes, simulando a queima da porcelana, e outras foram tratadas na condição de logo após a fundição. Quatro amostras foram submetidas ao tratamento, outras quatro não, e o restante, 16 amostras, foram utilizadas nos testes de resistência pós-soldagem. Todas as amostras foram adaptadas à máquina de teste universal Instron para determinações de resistência máxima à deformação permanente, módulo de elasticidade e alongamento, além de serem submetidas ao teste de dureza Knoop. As amostras utilizadas para soldagem foram incluídas em revestimento, seccionadas no centro com disco de carboneto de silício, que produzia uma distância de 0,3 mm entre as extremidades e soldadas por maçarico ou técnica à vácuo, em forno com temperatura entre 1.315 e 980 °C. Para medida do coeficiente de expansão térmica, foram utilizadas hastes de 30 mm de comprimento, variando-se a temperatura entre a do ambiente e 700 °C. Com a obtenção de todos os resultados, os autores puderam

concluir que o tratamento térmico não afeta nenhuma propriedade física, com exceção do alongamento, que mostrou pouca variação. As uniões mais resistentes são obtidas pela soldagem com maçarico e quando são realizadas antes da aplicação de porcelana (pré-soldagem).

Em 1989, ANGELINI e cols.¹, determinaram a resistência à tração de ligas de Co-Cr soldadas. Para isto, confeccionaram corpos de prova cilíndricos de extremidades cônicas medindo 3 mm de diâmetro por 42 mm de comprimento, com três ligas comerciais à base de Co-Cr. Para o processo de soldagem, as amostras foram seccionadas em dois segmentos, com um disco fino. Em seguida, foram posicionadas num dispositivo que mantinha uma distância de 0,3 mm entre os dois segmentos unidos com cera. Após 24 horas de inclusão em revestimento para soldagem aglutinado com gesso, os conjuntos foram soldados com maçarico de gás propano-ar, com cinco ligas para solda e onze combinações liga / liga para solda. Após a soldagem, os corpos de prova eram usinados até um diâmetro uniforme e posicionados na máquina de teste universal Instron, para aplicação de força de tração. As superfícies fraturadas foram examinadas com microscópio eletrônico de varredura (SEM). Os autores concluíram que quanto maior a temperatura de fusão da liga de solda, maior a resistência de união, para duas das três ligas de Co-Cr ensaiadas. Verificaram também que a maioria das falhas de união é coesiva, isto é, ocorrem na solda. O uso excessivo de fundente para se obter melhor escoamento da liga de solda é considerável fonte de defeitos na união soldada.

Também em 1989, GUSTAVSEN, BERGE e HEGDAHL¹⁸, determinaram a resistência flexural da liga de Co-Cr Vitallium,

antes e após ser submetida a soldagem, utilizando-se dois tipos de ligas de solda. Para isto, fundiram 34 corpos de prova cilíndricos com aproximadamente 25 mm de comprimento por 2 mm de diâmetro, em laboratório de prótese dental, de acordo com técnicas recomendadas pelo fabricante da máquina de fundição de alta frequência Electromatic III Universal. Os corpos de prova foram divididos aleatoriamente em três grupos: controle, ou sem solda; soldado com liga Vitallium; e soldado com liga Bego. Para o procedimento de soldagem, as amostras foram incluídas em revestimento, seccionadas a 12 mm da extremidade e soldadas. Após a soldagem, as amostras foram desgastados até atingirem aproximadamente 1,7 mm de diâmetro por 8 mm de comprimento, iniciando o desgaste a 11 mm de cada extremidade, incluindo a parte soldada. Para o teste de resistência, as amostras foram montadas com uma das extremidades presa a um dispositivo acoplado à máquina de teste universal Instron, mantendo-se a porção soldada distante 1 mm do dispositivo. A força axial de compressão era aplicada na extremidade livre da amostra, a 10 mm do dispositivo fixador. Os autores concluíram que não existem diferenças estatisticamente significantes entre os grupos com e sem solda e entre os dois grupos soldados.

3-PROPOSIÇÃO:

3 - PROPOSIÇÃO:

Como evidenciado pela revisão bibliográfica, muitas são as controvérsias existentes quanto ao procedimento de soldagem realizado em estruturas do sistema Co-Cr fraturadas e quanto à utilização de sobras destas ligas. Tendo em vista a importância e a relativa frequência com que nos deparamos com estas situações, propusemo-nos a:

Avaliar a resistência flexural de três ligas do sistema Co-Cr disponíveis comercialmente, submetidas ou não ao procedimento de soldagem, nas condições de utilização exclusiva de liga nova ou na mistura de liga nova com liga refundida.

4-MATERIAIS E MÉTODO:

4 - MATERIAIS E MÉTODO:

4.1. MATERIAIS:

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

4.1.1.Ligas metálicas à base de Co-Cr, de acordo com o Quadro 4.1.

QUADRO 4.1 - TIPOS DE LIGAS, DISTRIBUIDORES E COMPOSIÇÃO QUÍMICA:

LIGAS METÁLICAS	DISTRIBUIDORES	COMPOSIÇÃO QUÍMICA * (%)
DENTORIUM	LABOR DENTAL Ltda	Co:63-64 / Cr:27-28 / Mo:5-5,5 outros: 2,5-5 / Ni: < 1
DURACRON	MARQUART & MARQUART Ltda	Co, Cr e Mo > 85 / Co > 60 Mg, Si e Fe / C:0,3-0,4
STEELDENT	LABOR DENTAL Ltda	Co:63,14 / Cr:29,38 / Mo:4,48 C, Si e Fe: < 1

*informação dos distribuidores

4.1.2.Liga metálica à base de Co-Cr para soldagem, segundo Quadro 4.2.

QUADRO 4.2 - LIGA PARA SOLDAGEM, DISTRIBUIDOR E COMPOSIÇÃO QUÍMICA:

LIGA METÁLICA	DISTRIBUIDOR	COMPOSIÇÃO QUÍMICA *
DENTORIUM	LABOR DENTAL Ltda	segredo industrial

*informação do distribuidor

4.1.3.Revestimento para fundição aglutinado por fosfato, conforme Quadro 4.3.

QUADRO 4.3 - REVESTIMENTO, FABRICANTE E COMPOSIÇÃO QUÍMICA :

REVESTIMENTO	FABRICANTE	COMPOSIÇÃO QUÍMICA *
PRECISE	DENTISPLY Ind. e Com. Ltda	segredo industrial

*informação do fabricante

4.1.4.Cera para fundição tipo II, classe C, mostrada no Quadro 4.4.

QUADRO 4.4 - CERA PARA FUNDIÇÃO, FABRICANTE E COMPOSIÇÃO QUÍMICA:

CERA	FABRICANTE	COMPOSIÇÃO QUÍMICA*
SYBRON KERR	KERR Manufacturing Company	parafina, ceresina carnaúba, goma damaz e corantes

*informação do fabricante

4.2. MÉTODO:

4.2.1.CONFECCÃO DAS AMOSTRAS:

4.2.1.1.PADRÕES EM CERA:

Foram confeccionados padrões de cera com formato de halteres, com comprimento total de 25 milímetros. A porção central, rebaixada, media 2 milímetros de diâmetro por 8 milímetros de comprimento. Uma das extremidades apresentava 3 milímetros de diâmetro por 5 milímetros de comprimento, enquanto a outra, 3 milímetros de diâmetro por 12 milímetros de comprimento (Fig.4.1 e Fig. 4.2 - #1). A obtenção dos padrões era conseguida vertendo cera azul para fundição (Sybron Kerr - Kerr Manufacturing Company - U.S.A.), liqüefeita sob chama, em aberturas confeccionadas em matriz de latão previamente aquecida, sendo isoladas com vaselina sólida (Sidepal - Sidepal Indústria e Comércio Ltda). A matriz apresentava-se seccionada longitudinalmente, de maneira a permitir a separação em duas hemi-secções, facilitando a remoção dos padrões após solidificação da cera. Dois pinos metálicos serviam de guias de posicionamento, permitindo o retorno das hemi-secções à posição original. (Fig. 4.3 e Fig. 4.4).

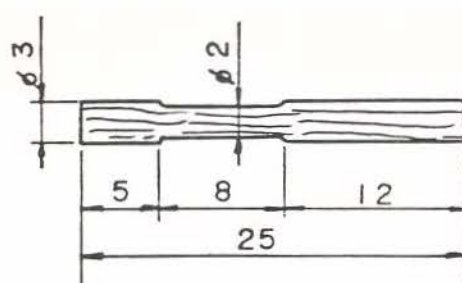


FIGURA 4.1 DIMENSÕES DA AMOSTRA PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA FLEXURAL

- medida em mm;
- escala 2:1.



FIGURA 4.2 AMOSTRAS PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA FLEXURAL

#1 - em cera;
#2 - após desinclusão e limpeza;
#3 - após seccionamento para soldagem;
#4 - após soldagem;
#5 - após acabamento.

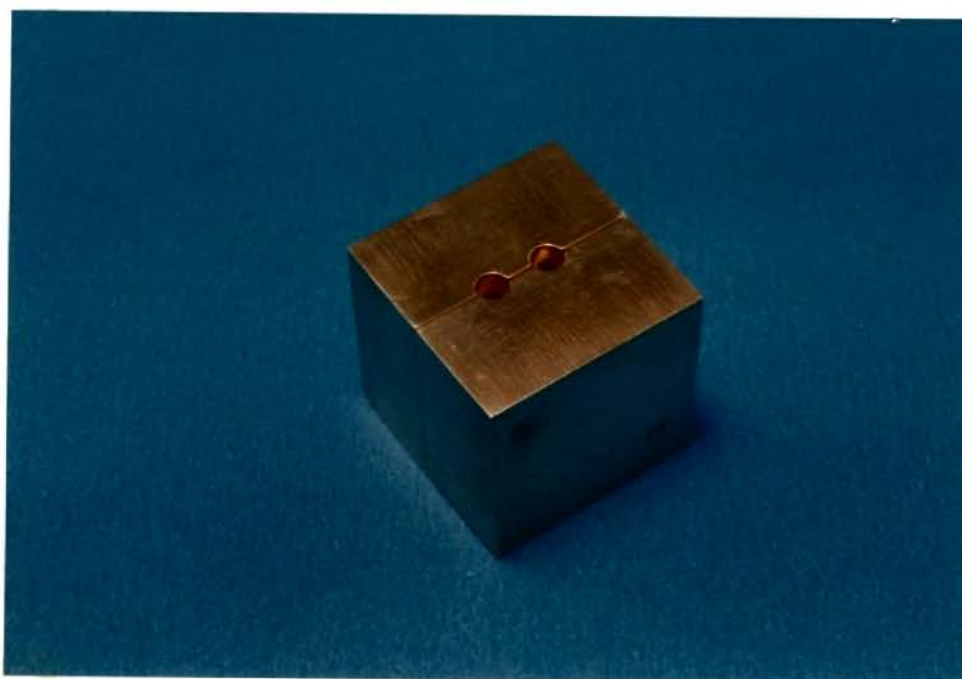


FIGURA 4.3 MATRIZ PARA CONFECCÃO DOS PADRÕES



FIGURA 4.4 HEMI-SECCÕES DA MATRIZ PARA CONFECCÃO DOS PADRÕES
setas - guias de posicionamento

4.2.1.2. INCLUSÃO DOS PADRÕES EM REVESTIMENTO:

Aos padrões em cera eram adaptados cilindros de cera (Cerafix - Cerafix Indústria e Comércio de Artigos Odontológicos Ltda), formadores dos condutos de alimentação, medindo 2 milímetros de diâmetro por 7 milímetros de comprimento. Em seguida, eram posicionados num bloco tronco-cônico de cera utilidade (Uraby - Uraby Produtos Odontológicos Ltda), com 18 milímetros de diâmetro na base maior, 15 milímetros de diâmetro na base menor e 15 milímetros de altura. Este bloco tronco-cônico de cera formava um conjunto de inclusão onde eram posicionados 10 padrões de cera. (Fig. 4.5). Posteriormente o conjunto era posicionado num anel de P.V.C. medindo 52 milímetros de diâmetro interno por 60 milímetros de altura e seccionado longitudinalmente para evitar a restrição da expansão de presa do revestimento. Após o isolamento da porção interna do anel de PVC com vaselina sólida, o revestimento (Precise - Dentisply Indústria e Comércio Ltda) era proporcionado de acordo com as instruções do fabricante e espatulado à vácuo por 30 segundos em inclusor elétrico (Polidental - Polidental Indústria e Comércio Ltda). Em seguida, era vazado sob vibração e deixado tomar presa em temperatura ambiente. Trascorrida 1 hora após o início da espatulação, o bloco de revestimento era removido do anel de P.V.C. e armazenado em temperatura ambiente por 24 horas.

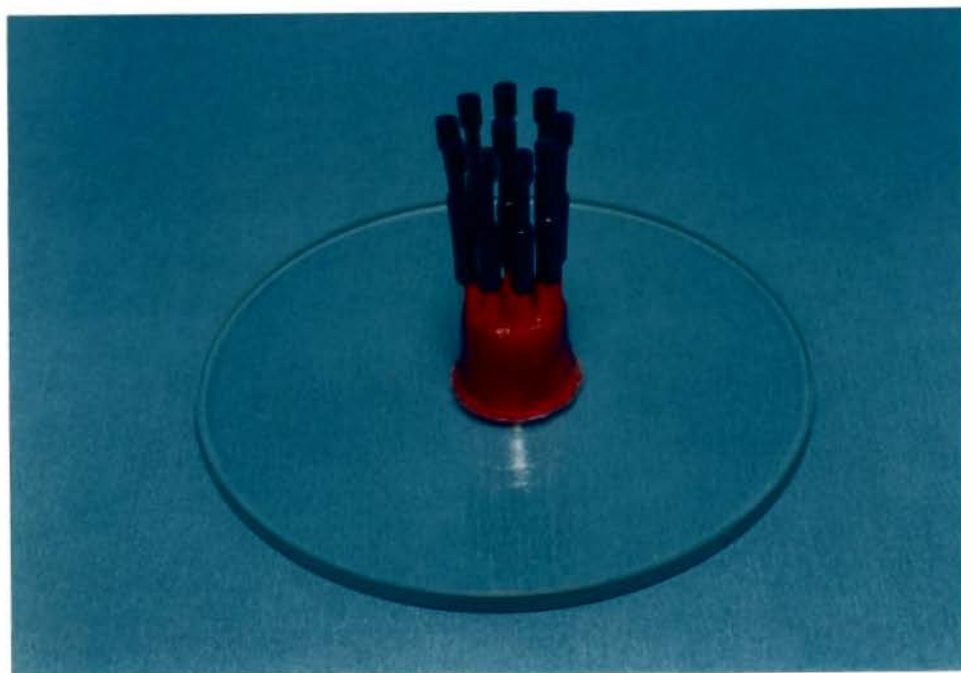


FIGURA 4.5 CONJUNTO EM CERA PARA INCLUSÃO

4.2.1.3.FUNDIÇÃO DAS AMOSTRAS:

Após 24 horas do início da espatulação, o cilindro de revestimento contendo os padrões, assim como o cadinho para fundição eram levados a um forno elétrico para fundição (Bravac - Bravac Indústria Eletromecânica), inicialmente à temperatura ambiente, para eliminação da cera, mantendo a base formadora de cadinho para baixo. A temperatura era, então, elevada para 200 °C e passados 15 minutos, a posição do cilindro de revestimento era invertida, ficando a base formadora de cadinho voltada para cima. Nestas condições, a temperatura do forno era novamente elevada até atingir 900 °C, totalizando 60 minutos de aquecimento. Para fusão da liga foi utilizado um aparelho de arco voltaico de carbono (Esab - Esab Indústria e Comércio S.A.), equipado com pinça (City

- City Máquinas) fixadora de carvão (Lorraine - Lorraine - France). Após a liquefação de aproximadamente 18 gramas de liga, o que consumia aproximadamente 1 minuto, tanto o cadinho, como o cilindro de revestimento eram posicionado em centrífuga (V.H. - V.H. Equipamentos), armada com 2 voltas, momento em que era acionada. Quando a movimentação do braço da centrífuga cessava, o cilindro era retirado, colocado sobre bancada e deixado resfriar por aproximadamente 12 horas.

4.2.1.4.DESINCLUSÃO E LIMPEZA DAS AMOSTRAS:

Após o resfriamento do bloco, o revestimento era fraturado e removido das amostras. Em seguida, as amostras eram seccionadas do botão metálico remanescente da base formadora do cadinho com disco de carboneto de silício de 0,3 milímetro de espessura (Herodent - Herodent Inc. - U.S.A.), movimentado por um motor de bancada de alta rotação (Nevoni - Nevoni Equipamentos Odonto Médico Hospitalares), com velocidade de 16.000 r.p.m.(s). Após o seccionamento, as amostras impregnadas com vestígios de revestimento eram limpas, inicialmente pela raspagem com instrumento cortante manual e posteriormente com banho ultrassônico em solução de água/detergente doméstico, na proporção de 20/1 (em volume), por 10 minutos (Fig. 4.2 - #2).

4.2.2.AGRUPAMENTO DAS AMOSTRAS:

As amostras referentes a cada uma das três ligas utilizadas foram separadas em grupos, nas seguintes condições:

LIGA DENTORIUM:

- LIGA NOVA ▶ COM SOLDA (GRUPO DT 100 c/s)
100 % ▶ SEM SOLDA (GRUPO DT 100 s/s)
- LIGA NOVA / LIGA REFUNDIDA ▶ COM SOLDA (GRUPO DT 50 c/s)
50% 50% ▶ SEM SOLDA (GRUPO DT 50 s/s)

LIGA DURACROM:

- LIGA NOVA ▶ COM SOLDA (GRUPO DC 100 c/s)
100 % ▶ SEM SOLDA (GRUPO DC 100 s/s)
- LIGA NOVA / LIGA REFUNDIDA ▶ COM SOLDA (GRUPO DC 50 c/s)
50% 50% ▶ SEM SOLDA (GRUPO DC 50 s/s)

LIGA STEELDENT:

- LIGA NOVA

100 %	┌┐	COM SOLDA	(GRUPO SD 100 c/s)
		SEM SOLDA	(GRUPO SD 100 s/s)
- LIGA NOVA / LIGA REFUNDIDA

50%	50%	┌┐	COM SOLDA	(GRUPO SD 50 c/s)
			SEM SOLDA	(GRUPO SD 50 s/s)

4.2.3.PROCEDIMENTO DE FUNDIÇÃO - (AMOSTRAS 50):

As amostras dos grupos "50" (50% liga nova e 50% liga refundida), eram obtidas após o seccionamento do botão remanescente das fundições dos grupos 100 (100% liga nova), por meio de disco de carboneto de silício em alta rotação. Em seguida os botões eram pesados para que quantidades iguais de liga nova correspondente à liga originária do botão, fossem adicionadas. Para a obtenção das amostras, seguiram-se os procedimentos anteriormente descritos (itens 4.2.1.3 e 4.2.1.4).

4.2.4.PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM - (AMOSTRAS c/s):

Para a obtenção das uniões soldadas, as amostras dos grupos "c/s" foram primeiramente posicionadas em um dispositivo sustentador metálico que apresentava duas paredes laterais unidas por uma base (Fig. 4.6, Fig. 4.7 e Fig. 4.8). Cada uma das paredes apresentava um orifício de 3,8 milímetros de diâmetro, alinhado frontalmente ao orifício da parede oposta, aos quais eram encaixadas as extremidades das amostras, mantidas presas por parafusos fixadores. Após o posicionamento, as amostras eram seccionadas transversalmente com disco de carboneto de silício de 0,3 milímetro de diâmetro, em sua porção central, a aproximadamente 1 milímetro de distância da extremidade maior, local onde havia as fraturas das amostras não soldadas. O alinhamento das extremidades das amostras após o seccionamento com a superfície externa da parede do dispositivo sustentador, possibilitava uma abertura de 0,4 milímetro entre as secções, local onde era realizada a soldagem (Fig. 4.2 - #3).

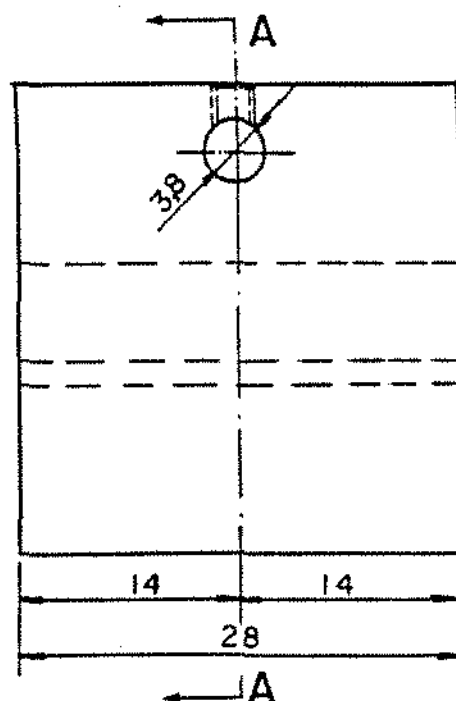


FIGURA 4.6 DISPOSITIVO SUSTENTADOR PARA SOLDAGEM
 -medida em mm;
 -escala 2:1.

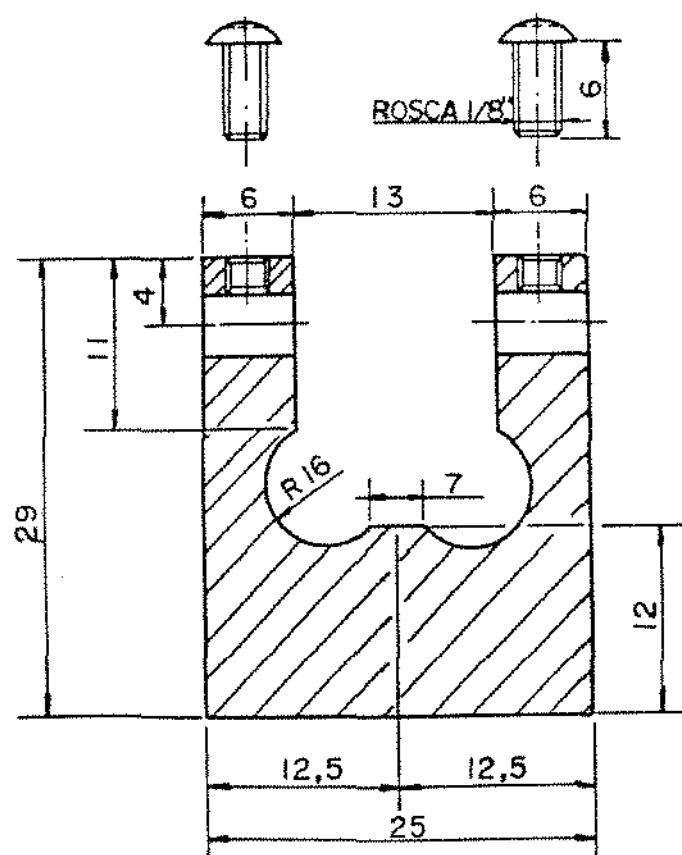


FIGURA 4.7 DISPOSITIVO SUSTENTADOR PARA SOLDAGEM
 -medida em mm;
 -escala 2:1;
 -corte A-A.



FIGURA 4.8 DISPOSITIVO SUSTENTADOR PARA SOLDAGEM

seta - seccionamento da amostra para soldagem

Na soldagem propriamente dita, foi utilizada a chama redutora (cone redutor) do maçarico de oxiacetileno, equipado com bico de diâmetro número 1 (Dräger - Dräger do Brasil Ltda.), regulado com pressão de saída de 5 Kgf/cm^2 para o oxigênio e de 1 Kgf/cm^2 para o acetileno, mantido a 40 milímetros da área de soldagem, que inicialmente percorria todo o conjunto, com o intuito de ocasionar um pré-aquecimento. Em seguida, o fundente era colocado na região, assim como a barra de liga de solda. Após a fusão e o escoamento da liga pelo espaço entre as secções a serem soldadas, o conjunto era imerso em água à temperatura ambiente tão logo desaparecesse o rubro, permanecendo nesta condição até o completo resfriamento dos locais aquecidos. Após o resfriamento, as amostras eram removidas do dispositivo através do afrouxamento dos parafusos de fixação (Fig. 4.2 - #4). A seguir, era feito o desgaste dos excessos grosseiros da liga de solda com disco de carboneto de silício em alta rotação, até que o diâmetro

da porção média e rebaixada das amostras em forma de halteres, fosse restabelecido (Fig. 4.2 - #5).

4.2.5. ENSAIO DE RESISTÊNCIA FLEXURAL:

Para a avaliação da resistência flexural foram utilizadas cinco amostras de cada grupo que eram adaptadas a um dispositivo fixador metálico composto por uma base horizontal e um apoio vertical (Fig. 4.9, Fig. 4.10, Fig. 4.11 - #1 e Fig. 4.12 - #1). A porção inferior da base horizontal possuía um cilindro metálico central de 20 milímetros de diâmetro que fornecia adaptação, por encaixe, à uma máquina de teste universal (Losenhausenwerk - Düsseldorfer Maschinenbau A.G. - Germany). O apoio vertical continha um orifício horizontal de 3,8 milímetros de diâmetro por 11 milímetros de profundidade, distante 25 milímetros da base. A extremidade maior das amostras era encaixada no orifício e fixada por meio de parafuso, posicionado na porção superior do apoio, possibilitando que a extremidade menor ficasse no centro de aplicação da força de compressão exercida pela máquina de teste universal. Com as amostras encaixadas no dispositivo e este acoplado à máquina, a aplicação de carga axial de compressão perpendicularmente às amostras era efetuada por intermédio de um dispositivo metálico adaptado ao mordente superior da máquina, com ponta ativa cilíndrica com 20 mm de diâmetro, posicionada horizontal e perpendicularmente às amostras (Fig. 4.11 - #2 e Fig. 4.12 - #2). A máquina de teste era regulada com velocidade de aplicação de carga de 200 Kgf/min.. As amostras eram submetidas à carga até a ruptura e os registros de deformação eram anotados em gráficos.

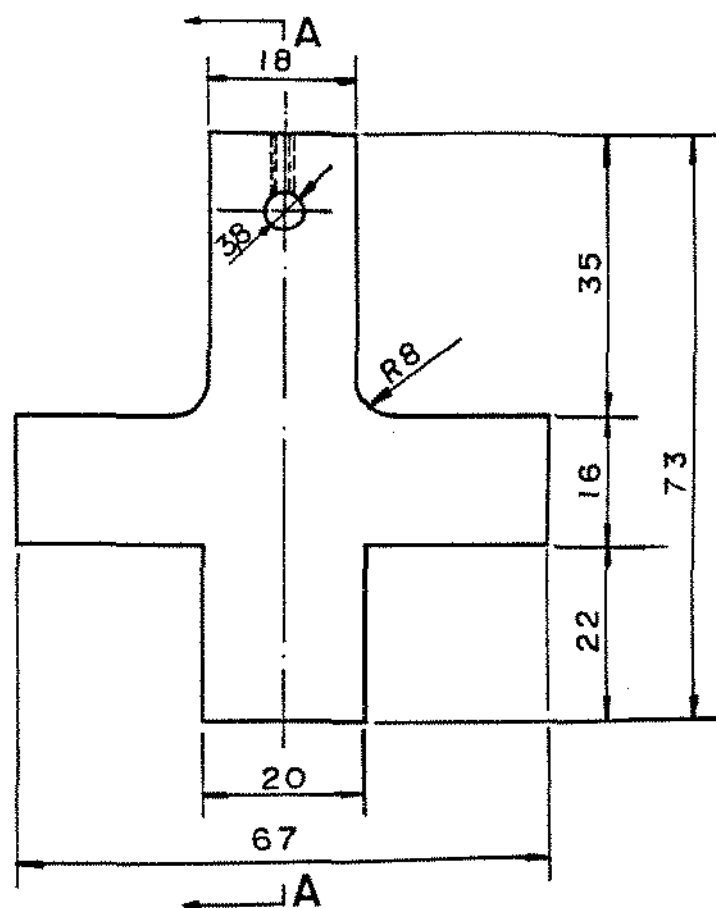


FIGURA 4.9 DISPOSITIVO FIXADOR DAS AMOSTRAS
-medida em mm;
-escala 1:1.

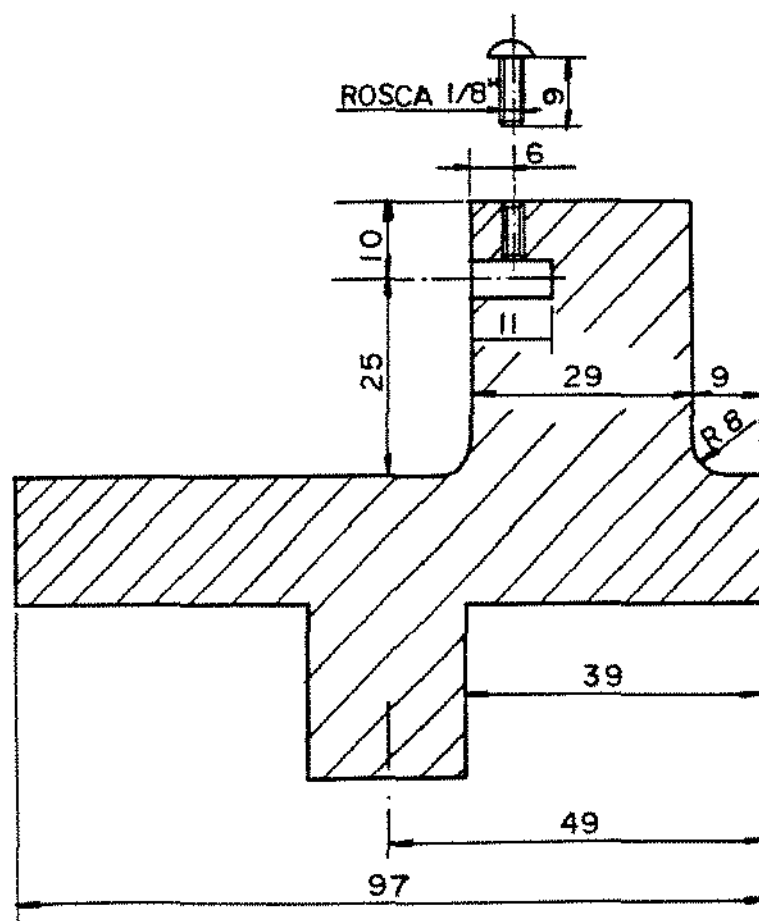


FIGURA 4.10 DISPOSITIVO FIXADOR DAS AMOSTRAS
-medida em mm;
-escala 1:1;
-corte A-A.

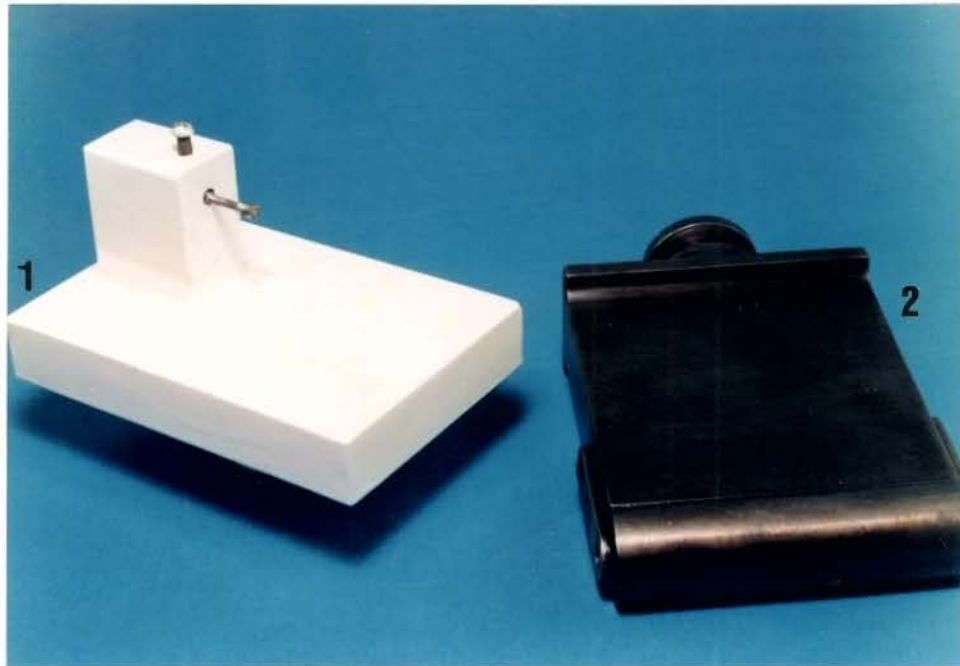


FIGURA 4.11 DISPOSITIVOS PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA FLEXURAL
 #1-dispositivo fixador das amostras;
 #2-dispositivo para aplicação de carga.



FIGURA 4.12 POSICIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA FLEXURAL

#1-dispositivo fixador das amostras;
 #2-dispositivo para aplicação de carga;
 seta - posicionamento das amostras.

4.2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA:

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com esquema fatorial. Para comparação entre médias das três ligas ensaiadas, na proporção de 100 e 50 % de liga nova, submetidas ou não à soldagem, foi utilizado o teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

4.2.7. ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA:

A superfície de fratura das amostras, após serem submetidas ao ensaio de resistência flexural, foram analisadas em microscópio eletrônico de varredura (Cambridge - modelo Stereoscan S4-10), e fotografadas (filme Fuji Neopan - ASA 100), com aumento de 4,3 vezes do negativo.

5-RESULTADOS:

5 - RESULTADOS:

Os Quadros 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam os resultados referentes à resistência flexural (Kg/cm^2)* das três ligas avaliadas, novas ou adicionadas de liga refundida, submetidas ou não à soldagem.

QUADRO 5.1 - RESISTÊNCIA FLEXURAL DA LIGA DENTORIUM

RESISTÊNCIA FLEXURAL				
LIGA DENTORIUM	SEM SOLDAGEM (S/S)		COM SOLDAGEM (C/S)	
	amostra	Kg/Cm2	amostra	Kg/Cm2
LIGA NOVA (DT 100)	I	541,12	I	127,32
	I I	525,21	I I	127,32
	III	557,04	III	127,32
	I V	477,46	I V	111,41
	V	477,46	V	222,82
	amostra	Kg/Cm2	amostra	Kg/Cm2
LIGA NOVA/ REFUNDIDA (DT 50)	I	541,12	I	254,65
	I I	572,96	I I	206,90
	III	588,87	III	206,90
	I V	461,55	I V	254,65
	V	525,21	V	222,82

*CÁLCULO DOS VALORES DE RESISTÊNCIA FLEXURAL:
VIDE CAPÍTULO 11 - APÊNDICE

QUADRO 5.2 - RESISTÊNCIA FLEXURAL DA LIGA DURACROM

RESISTÊNCIA FLEXURAL				
LIGA DURACROM	SEM SOLDAGEM (S/S)		COM SOLDAGEM (C/S)	
	amostra	Kg/Cm2	amostra	Kg/Cm2
LIGA NOVA (DC 100)	I	445,63	I	238,73
	I I	588,87	I I	222,82
	III	668,45	III	95,49
	I V	445,63	I V	190,98
	V	525,21	V	270,56
	amostra	Kg/Cm2	amostra	Kg/Cm2
LIGA NOVA/ REFUNDIDA (DC 50)	I	397,88	I	159,15
	I I	381,97	I I	111,41
	III	366,05	III	111,41
	I V	509,29	I V	95,49
	V	477,46	V	127,32

QUADRO 5.3 - RESISTÊNCIA FLEXURAL DA LIGA STEELDENT

RESISTÊNCIA FLEXURAL				
LIGA STEELDENT	SEM SOLDAGEM (S/S)		COM SOLDAGEM (C/S)	
	amostra	Kg/Cm2	amostra	Kg/Cm2
LIGA NOVA (SD 100)	I	509,29	I	222,82
	I I	477,46	I I	254,65
	III	477,46	III	222,82
	I V	541,12	I V	175,07
	V	557,04	V	190,98
	amostra	Kg/Cm2	amostra	Kg/Cm2
LIGA NOVA/ REFUNDIDA (SD 50)	I	413,80	I	159,15
	I I	477,46	I I	175,07
	III	604,79	III	127,32
	I V	557,04	I V	127,32
	V	477,46	V	206,90

Os dados referentes aos valores numéricos de resistência flexural para as três ligas ensaiadas, na proporção de 100 e 50 % de liga nova, submetidas ou não ao procedimento de soldagem, foram submetidos à análise estatística mediante a utilização do teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade. (Quadro de Análise de Variância: vide Capítulo 11 - Apêndice).

A Tabela 5.1 e o Gráfico 5.1 mostram as médias de resistência flexural para as três ligas avaliadas, na proporção de 100 e 50 % de liga nova, independentemente da realização do procedimento de soldagem.

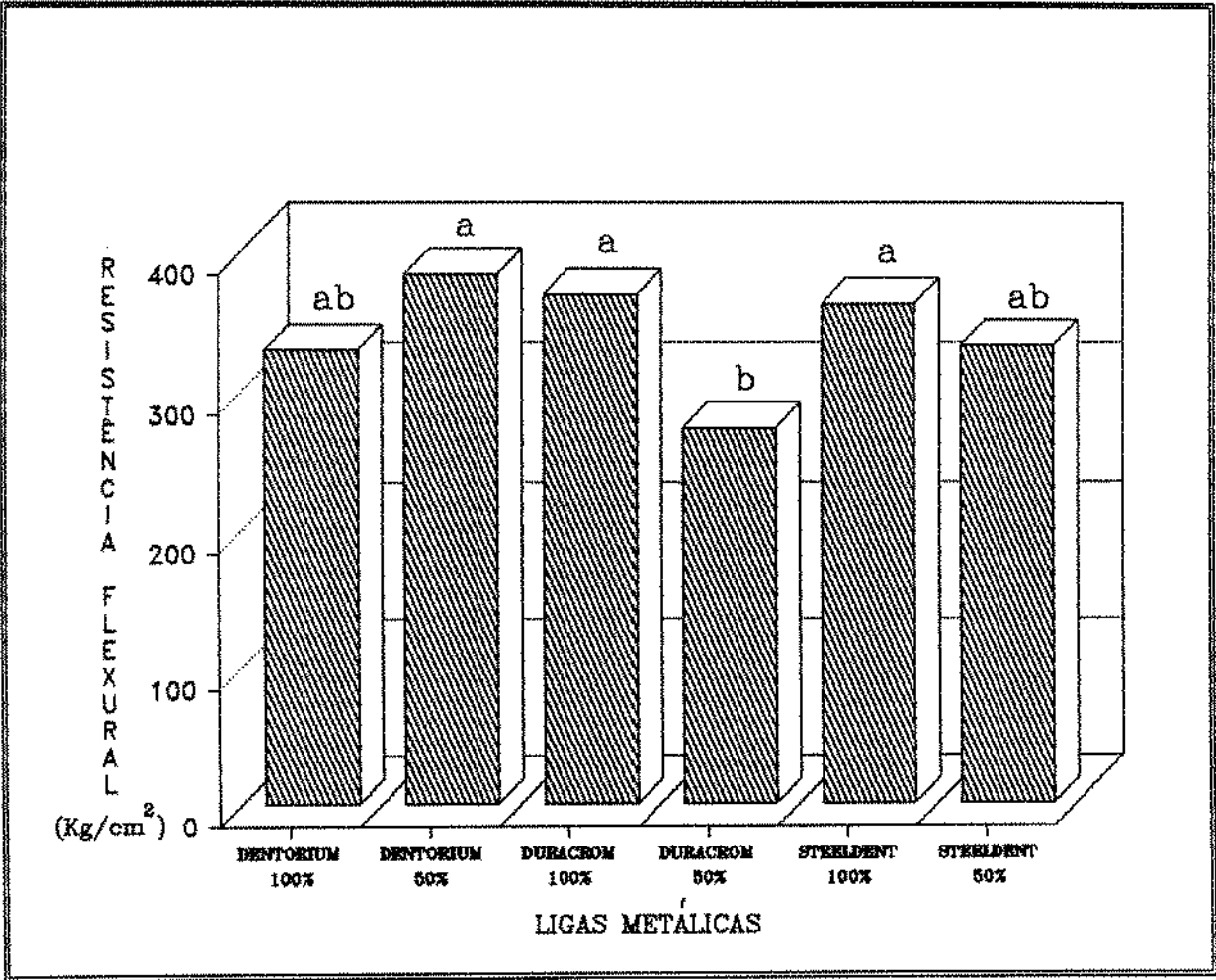
TABELA 5.1 - MÉDIAS DE RESISTÊNCIA FLEXURAL* DAS LIGAS METÁLICAS REFERENTES À PROPORÇÃO DE LIGA NOVA ADICIONADA

LIGAS METÁLICAS	MÉDIAS OBSERVADAS
DENTORIUM 100 %	329,45 a b
DENTORIUM 50 %	383,56 a
DURACROM 100 %	369,24 a
DURACROM 50 %	273,74 b
STEELDENT 100 %	362,87 a
STEELDENT 50 %	332,63 a b

MÉDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI
AO NÍVEL DE 5 % DE PROBABILIDADE
DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA = 70,40719

* VALORES EM Kg/cm²

GRÁFICO 5.1 - MÉDIAS DE RESISTÊNCIA FLEXURAL DAS LIGAS METÁLICAS REFERENTES À PROPORÇÃO DE LIGA NOVA ADICIONADA



MÉDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI
AO NÍVEL DE 5 % DE PROBABILIDADE
DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA = 70,40713

Com relação à proporção de liga nova utilizada, as ligas Duracrom e Steeldent, ambas na condição de 100% novas, e a liga Dentorium, quando adicionada de liga refundida, obtiveram os melhores resultados numéricos relativos à resistência flexural.

A liga Duracrom na condição de adicionada, mostrou os menores valores médios de resistência flexural, sendo inferiores e estatisticamente diferentes aos obtidos para a mesma liga na condição de nova. Estes valores também foram inferiores e estatisticamente diferentes quando comparados aos obtidos para as ligas Steeldent, na condição de 100% e Dentorium, na condição de adicionada.

A liga Dentorium na condição de adicionada, apresentou valores de resistência flexural maiores que os obtidos na condição de 100% de liga nova, porém sem diferenças estatisticamente significativas.

A liga Steeldent não mostrou médias de resistência flexural estatisticamente diferentes entre as duas proporções de liga nova avaliadas.

A Tabela 5.2 e o Gráfico 5.2 apresentam as médias de resistência flexural em relação ao procedimento de soldagem, independentemente da liga utilizada e da proporção de liga nova adicionada.

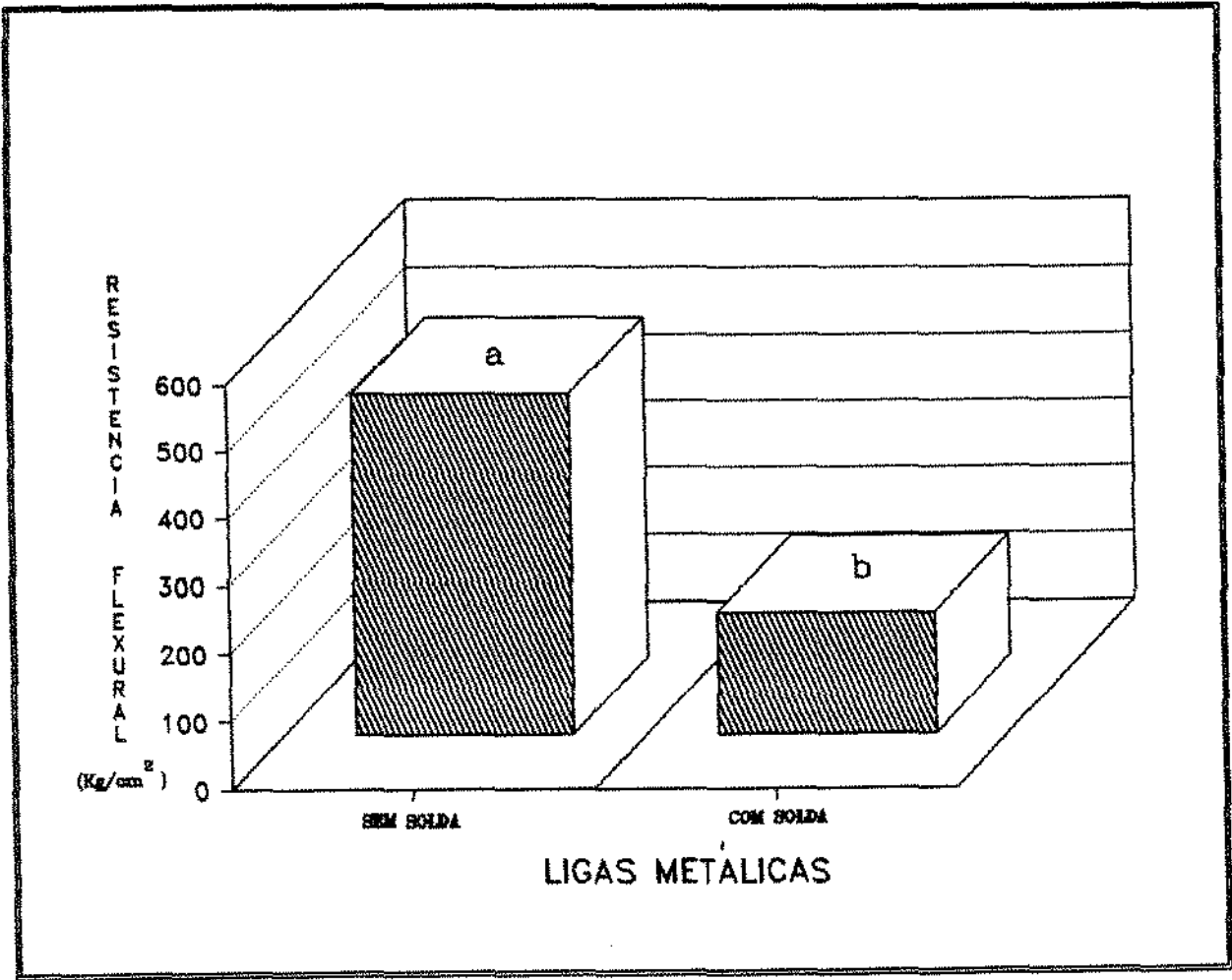
TABELA 5.2 - MÉDIAS DE RESISTÊNCIA FLEXURAL*
EM RELAÇÃO AO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM

LIGAS METÁLICAS	SEM SOLDAGEM	COM SOLDAGEM
AMOSTRAS	505,58 a	178,25 b

MÉDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI
AO NÍVEL DE 5 % DE PROBABILIDADE
DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA = 27,55117

* VALORES EM Kg/cm²

GRÁFICO 5.2 - MÉDIAS DE RESISTÊNCIA FLEXURAL
EM RELAÇÃO AO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM

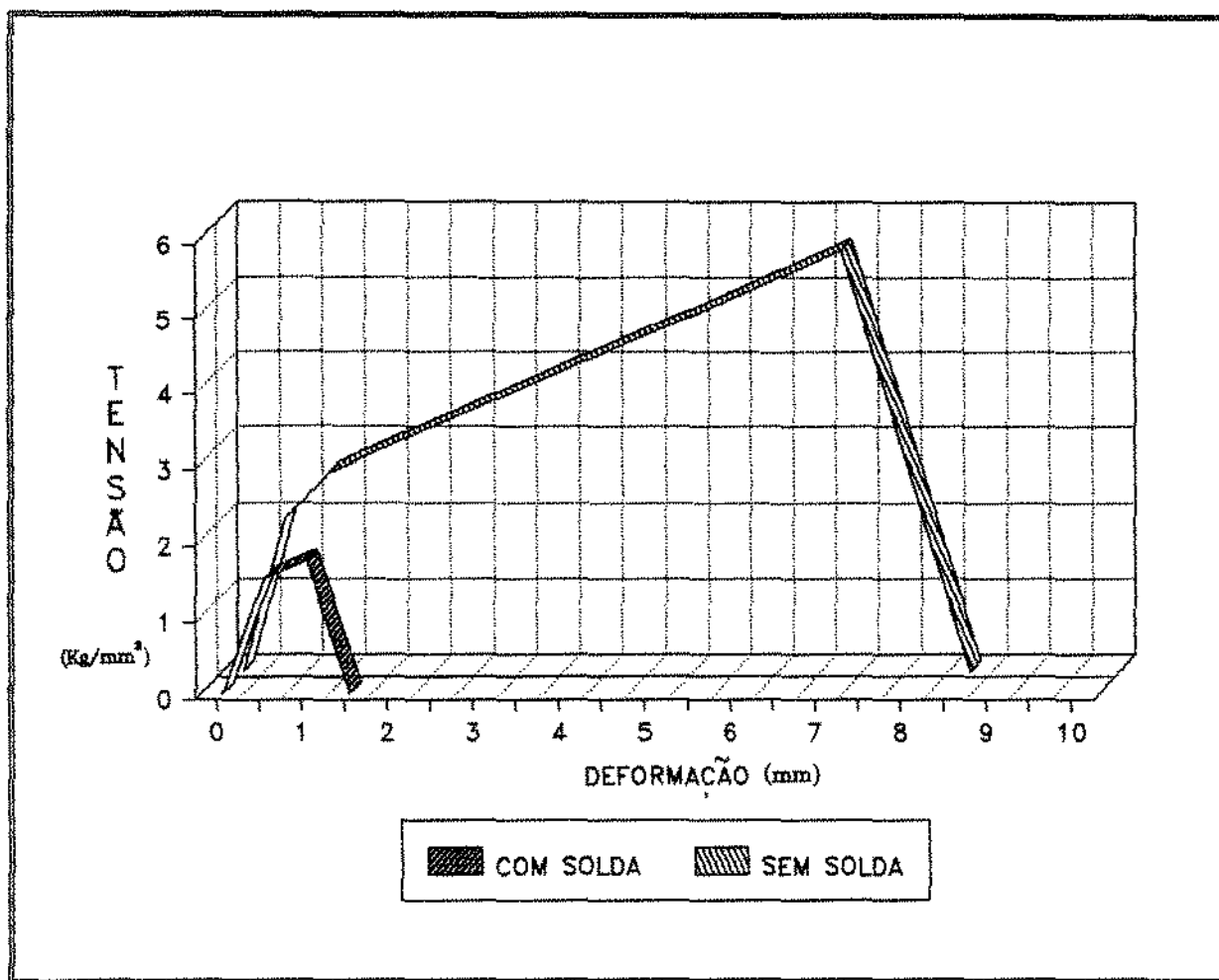


MÉDIAS SEGUIDAS POR LETRAS DISTINTAS DIFEREM ENTRE SI
AO NÍVEL DE 5 % DE PROBABILIDADE
DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA = 27,55117

Na comparação entre amostras soldadas e não soldadas, foi verificada a superioridade numérica da primeira, com diferença estatisticamente significativa às amostras não soldadas.

O Gráfico 5.3, refere-se a uma estimativa das curvas de tensão-deformação, obtidas a partir dos dados de resistência flexural para as amostras submetidas ou não à soldagem, independentemente da liga utilizada e da proporção de liga nova adicionada.

GRÁFICO 5.3 - ESTIMATIVA DAS CURVAS DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO
REFERENTES AO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM



As Figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7 mostram o aspecto da superfície de fratura das amostras ensaiadas, observadas sob microscopia eletrônica de varredura (ampliação fotográfica de 4,3 X do negativo).



FIGURA 5.1 - LIGA STEELDENT 100% - SEM SOLDA (80 x)

ASPECTO DENDRÍTICO ORGANIZADO COM
FRATURA EM CAMADAS

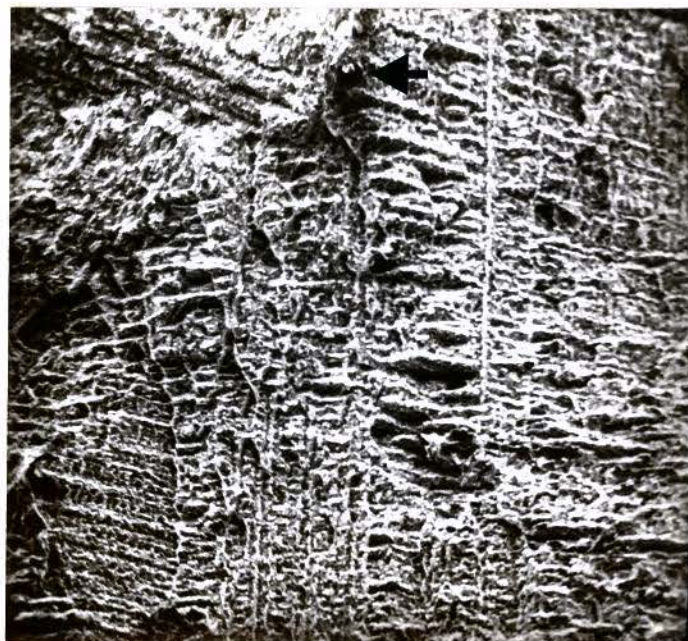


FIGURA 5.2 - LIGA DURACROM 50% - SEM SOLDA (140 x)

SETA - INCLUSÃO NÃO METÁLICA

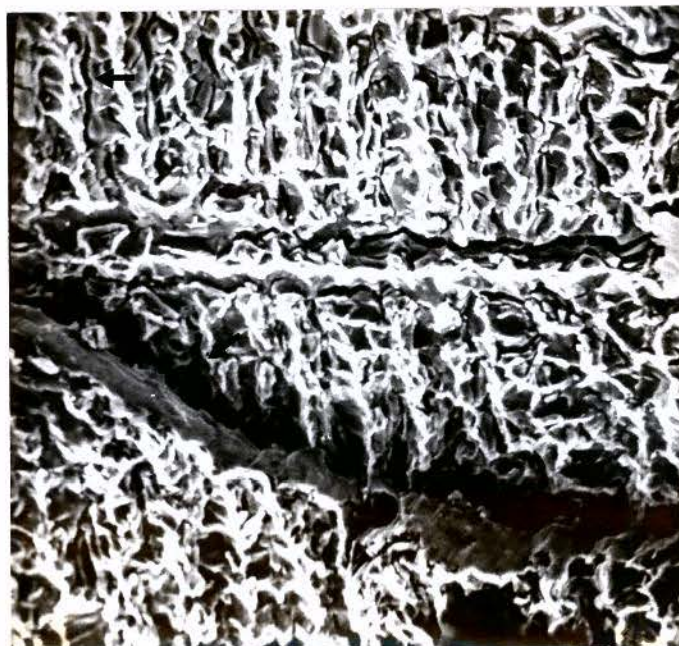


FIGURA 5.3 - LIGA STEELDENT 50% - SEM SOLDA (750 x)

SETAS - TRINCAS NO ESPAÇO
INTERDENDRÍTICO OU INTERGRANULAR

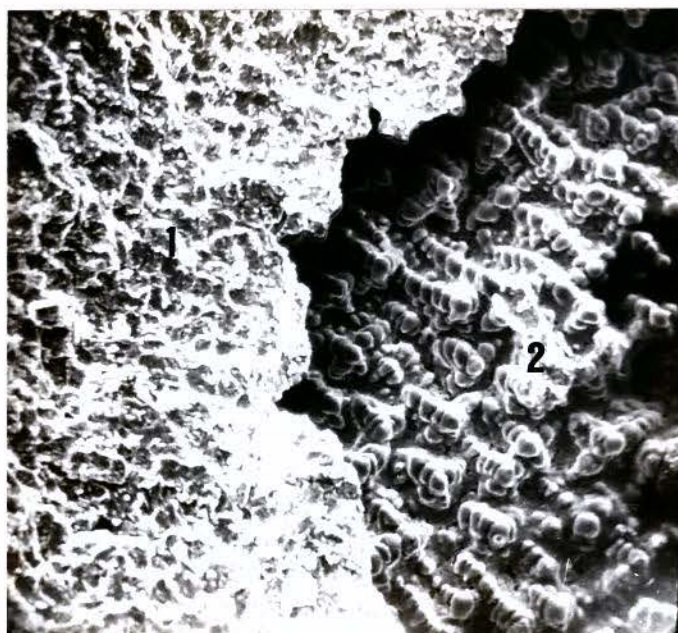


FIGURA 5.4 - LIGA DENTORIUM 50% - COM SOLDA (450 x)

**1-SUPERFÍCIE DA LIGA DE SOLDA - ASPECTO DESORGANIZADO E LISO;
2-POROSIDADE COM CRESCIMENTO IRRESTRITO DO
ESQUELETO DENDRÍTICO.**



FIGURA 5.5 - LIGA DENTORIUM 100% - COM SOLDA (170 x)

SETA - INCLUSÃO NÃO METÁLICA



FIGURA 5.6 - LIGA DENTORIUM 100% - COM SOLDA (830 x)
SETAS - INCLUSÕES NÃO METÁLICAS



FIGURA 5.7 - LIGA STEELDENT 100% - COM SOLDA (85 x)
1-SUPERFÍCIE DO METAL - ASPECTO DENTRÍTICO E RUGOSO;
2-SUPERFÍCIE DA LIGA DE SOLDA - ASPECTO DESORGANIZADO E RUGOSO;
SETAS - INCLUSÕES NÃO METÁLICAS.

6-DISSCUSSÃO:

6 - DISCUSSÃO:

Levando-se em consideração a proposição deste trabalho e de posse dos resultados obtidos, constatamos que as três ligas de Co-Cr avaliadas comportaram-se diferentemente em termos de resistência flexural. A liga Dentorium obteve os maiores valores numéricos médios de resistência flexural, seguida pela liga Steeldent e, finalmente, pela liga Duracrom (Tabela 5.1 e Gráfico 5.1).

As três ligas avaliadas, quanto utilizadas somente na condição de nova, não mostraram diferenças estatisticamente significativas, apresentando valores de resistência flexural semelhantes (Tabela 5.1 e Gráfico 5.1).

As amostras confeccionadas com misturas de liga nova e liga refundida mostraram diminuição nos valores numéricos médios de resistência flexural para as ligas Duracrom e Steeldent, enquanto que a liga Dentorium registrou valores mais elevados nesta condição (Tabela 5.1 e Gráfico 5.1).

Verificando o desempenho da liga Duracrom isoladamente, notamos redução nos valores de resistência flexural quando proporcionada com liga refundida, com diferença estatisticamente significativa, se comparada com as demais ligas analisadas, tanto nesta condição, como na condição de utilização exclusiva de liga nova.

Este resultado, talvez seja em decorrência de modificações de composição causadas pela refusão, como alterações nas porcentagens de cobalto e carbono, responsáveis pela resistência mecânica da liga.

Outro fenômeno que poderia explicar o fraco desempenho

da liga Duracrom quando adicionada de liga refundida, seria, talvez, a susceptibilidade à queda de resistência, apresentada frente a inclusão de impurezas, como vestígios de revestimento, o que pôde ser observado na fotomicrografia eletrônica de varredura da superfície de fratura (Figura 5.2).

Com o aumento no número de refusões ou com a diminuição na proporção de liga nova adicionada à liga previamente fundida, os valores de resistência podem ser ainda mais prejudicados. Neste caso, provavelmente, comprometendo a resistência das infra-estruturas de aparelhos protéticos removíveis confeccionados com sobras desta liga. Assim, na tentativa de se evitar a inclusão de impurezas e, com isto, obter resultados aceitáveis com a fundição dos remanescentes da liga Duracrom, as limpezas por jateamento e ultrassônico das partes a serem refundidas tornam-se medidas indispensáveis na rotina dos laboratórios.

Por outro lado, a refusão da liga Dentorium conduziu ao aumento nos valores numéricos médios de resistência flexural, embora, estes valores não diferissem estatisticamente daqueles obtidos com liga nova (Tabela 5.1 e Gráfico 5.1).

Segundo BOMBONATTI, GARLIPP e BARROS⁷, após a primeira refusão, as ligas de Co-Cr, não sendo adicionadas de liga nova, sofrem aumento nos valores de resistência a flexões sucessivas, com possível aumento correspondente na ductilidade, podendo desta forma, serem passíveis de deformação permanente.

Avaliando o desempenho da liga Dentorium na condição de refundida quanto à resistência flexural, poderíamos presumir que o aumento no número de refusões, sem a adição de liga nova, ou adicionando-a em quantidades menores que 50%, produziriam aparelhos protéticos parciais removíveis com grande possibilidade de apresentarem deformação permanente quando em uso, necessitando,

desta forma, da realização de constantes ajustes mecânicos à frio, o que aumentaria o risco de fraturas pelo fenômeno conhecido por fadiga.

Ainda, segundo BATES⁵, para as ligas de Co-Cr, o limite de fadiga está acima do limite proporcional. Assim, as infra-estruturas de próteses parciais removíveis apenas sofreriam fracasso em decorrência de fadiga, em serviço, somente na presença de porosidades, que reduziriam os valores de resistência. Portanto, constantes ajustes mecânicos à frio de intensidades variáveis em infra-estruturas facilmente deformáveis, devido ao aumento da ductilidade, sendo estas, passíveis de apresentarem porosidades localizadas, fenômenos que poderiam ocorrer com a liga Dentorium na condição de refundida, aumentariam o risco a fraturas pela superação do limite de fadiga.

De acordo com os resultados obtidos, a liga Steeldent quando proporcionada com liga refundida, registrou pequena diminuição nos valores numéricos de resistência flexural, não sendo diferentes estatisticamente daqueles obtidos com 100% de liga nova (Tabela 5.1 e Gráfico 5.1). Estes achados estão em concordância com os dados obtidos por HARCOURT²⁹, quando afirma que botões e condutos de alimentação remanescentes de primeiras fundições (1ª geração de fundição), podem ser refundidos, desde que ocorra a adição de pelo menos 50% de liga nova, sem que, com isto, alterações nos valores numéricos de resistência mecânica da infra-estrutura obtida sejam detectados. Nas condições deste estudo, verificamos que as sobras das ligas Dentorium e, principalmente da liga Steeldent, podem ser refundidas sem a ocorrência de grandes alterações nos valores de resistência flexural.

A análise das fotomicrografias eletrônicas de varredura

da superfície de fratura das três ligas ensaiadas, nas duas proporções de liga nova, revela o aspecto dendrítico organizado e o tipo de fratura ocorrido. Neste caso, a fratura em camadas pode ser indicativo da friabilidade das ligas de Co-Cr, devido ao alto módulo de elasticidade e baixo alongamento (Figura 5.1). São verificadas trincas no espaço interdendrítico e intergranular, possíveis responsáveis pelo início do fenômeno de fratura, como consequência da menor resistência destas áreas devido à ocorrência de microporosidades (Figura 5.3). Segundo LEWIS²⁸ e NOORT e LAMB³², as regiões intergranulares e interdendríticas são as últimas a se solidificarem e apresentam microporosidades devido à contração de fundição, em decorrência da resistência friccional oferecida pelo esqueleto dendrítico, impedindo a entrada de metal líquido.

Relacionado, ainda, à análise fotomicrográfica da superfície de fratura, podemos verificar a presença de porosidade devido à técnica de fundição utilizada, mostrando o crescimento irrestrito do esqueleto dendrítico e a fratura da amostra através da porosidade (Figura 5.4). Segundo BEN-UR e cols.⁶ e HARCOURT²⁰, as porosidades são as principais causas de fraturas em infra-estruturas de próteses parciais removíveis.

Relacionado ao procedimento de soldagem, ASGAR e PEYTON², ERIKSSON, SJÖGREN e BERGMAN¹⁷, STRANDMAN³⁸ e BARAKAT e ASGAR⁴ relatam que o tratamento térmico pelo aquecimento imposto às ligas de Co-Cr durante o processo é desprezível e não traz modificações consideráveis nas propriedades físicas. Ainda, segundo ANGELINI e cols.² e Mac ENTEE, HAWBOLT e ZAHLE²⁹, as amostras em Co-Cr soldadas com ligas de alta temperatura, como as de composição química semelhante, trazem valores de resistência mais elevados, quando comparadas com amostras soldadas mediante a

utilização de ligas de baixas temperaturas, como as de ouro. Portanto, seria racional afirmar que as infra-estruturas em Co-Cr de próteses parciais removíveis poderiam ser soldadas, também com ligas para solda em Co-Cr, sem que ocorressem alterações nas áreas vizinhas, que comprometeriam a resistência da peça soldada.

Analisando os resultados referentes ao procedimento de soldagem executado neste estudo e comumente realizados por técnicos, verificamos que todas as ligas avaliadas após terem sido submetidas a ele, mediante a utilização de liga de Co-Cr para este fim, independentemente da proporção de liga nova utilizada, apresentaram decréscimo de aproximadamente um quarto nos valores numéricos de resistência flexural (Tabela 5.2 e Gráfico 5.2). Estes resultados estão concordantes com o relato de TOWNSEND, VERMILYEA e GRISWOLD⁴¹, onde afirmam que falhas ocorrem em mais de um terço das amostras soldadas, e com BRUDVIK e NICHOLLS⁸, que relatam grandes reduções de resistência em amostras soldadas com várias combinações de fontes de calor e ligas de solda.

A avaliação do gráfico de tensão-deformação levantado a partir dos dados obtidos com as amostras soldadas, levá-nos a supor, baseados em informações fornecidas por CRAIG^{10,11,12} e PHILLIPS³⁴, que além da redução da resistência flexural, também podem ter havido outras alterações, como redução na ductilidade, resiliência, limite proporcional, tenacidade e resistência máxima à tração, quando comparados aos dados obtidos com amostras livres de solda (Gráfico 5.3).

Neste trabalho, poderíamos suspeitar que os baixos valores apresentados após a soldagem foram causados por alterações nas propriedades mecânicas da estrutura vizinha à solda devido ao aquecimento, conduzindo à alteração na resistência e ductilidade, assim como constatarem MORRIS e cols.³⁰ e HARCOURT¹⁹, quando

submeteram amostras em Co-Cr ao tratamento térmico pelo aquecimento em altas temperaturas.

Os baixos valores de resistência flexural nas amostras soldadas também podem ser causados por pequena e imperceptível alteração dimensional da área de secção transversa no local soldado, alteração esta que poderia ter ocorrido após o acabamento das amostras. Conforme afirmam LAUTENCHLAGER e cols.²⁷, as áreas soldadas com menor secção transversa apresentam maior concentração de porosidades, podendo se transformar em focos de propagação de fendas.

A análise das fotomicrografias por microscopia eletrônica de varredura das amostras soldadas, revelam o aspecto desorganizado e não dendrítico da superfície da liga de solda, e a riqueza da área em inclusões não metálicas, provavelmente partículas de fundente, que poderiam ser causas de redução de resistência, concordando com ANGELINI e cols.¹, que afirmam que tal ocorrência compromete drasticamente a resistência de união (Figura 5.5, Figura 5.6 e Figura 5.7).

Pela metodologia empregada neste trabalho, tornou-se difícil distinguir o caminho percorrido pela fratura nas amostras soldadas. Poderíamos supor que muitas das falhas podem ter sido adesivas, ocorrendo na interface metal-solda. Segundo HAWBOLT, MACENTEE e ZAHEL²⁵, a fratura ocorrida na interface metal-solda, apresenta aspecto liso, devido à proximidade com a área previamente seccionada, sob exame microscópico de varredura (Figura 5.4). A distinção da liga metálica, em microscopia eletrônica de varredura, fá-se pela observância da organização dendrítica típica, e, da liga de solda, pela desorganização estrutural (Figura 5.4 e Figura 5.7). Além das fraturas adesivas, podem ter havido fraturas coesivas, tanto no metal soldado, quanto

no corpo da liga de solda, que no entender de HAWBOLT e MacENTEE e ZAHEL²⁵, a primeira é distinguida devido ao aspecto rugoso, indicativo de fratura coesiva, organizado e dentrítico, típico das ligas de Co-Cr, e, a segunda, também pelo aspecto rugoso, mas agora irregular e desorganizado, indicativo das ligas de solda (Figura 5.7).

Por outro lado, os dados obtidos nesta investigação são discordantes dos resultados obtidos em investigação realizada por GUSTAVSEN, BERGE e HEGDAHL¹⁸, onde afirmam que as amostras com e sem solda, não diferem estatisticamente em termos de resistência flexural, e dos apresentados por Mac ENTÉE, HAWBOLT e ZAHEL²⁹, que verificaram que as estruturas em Co-Cr soldadas possuem resistência adequada para uso clínico.

Mediante os resultados encontrados em nossa investigação relativos às amostras submetidas à soldagem, poderíamos supor, mesmo com o comprometimento da resistência, que as próteses parciais removíveis soldadas poderiam suportar os esforços mastigatórios, que segundo HAWBOLT e Mac ENTÉE²⁴, raramente excedem 2 Kg de carga. Esta suposição poderia ter validade em situações emergenciais, como medida provisória de curta duração, após uma criteriosa avaliação, desde que o local soldado não atinja áreas consideradas críticas, como o apoio oclusal e a junção deste com os braços do grampo, onde segundo HARCOURT²⁰, ocorrem as maiores incidências de fraturas. Além disto, avaliações de resistência à fadiga e de resistência à oxidação da peça soldada tornam-se necessárias para que o procedimento, mesmo que provisoriamente, apresente ampla aceitação clínica.

Relativamente ao método empregado, poderíamos opinar que o procedimento de soldagem realizado por meio de maçarico de oxiacetileno deveria ser criterioso na tentativa de amenisar seus

efeitos negativos, devendo ser conduzido com rigor no que diz respeito à limpeza das áreas a serem unidas, controle de temperatura, tipo de chama e distância do maçarico ao local a ser soldado, verificação da qualidade e quantidade de fundente utilizado e aferição, tanto do espaço compreendido entre as peças a serem unidas, quanto da área de secção transversa após a conclusão do trabalho.

Pelo discutido, concordamos com TOWNSEND, VERMILYEA e GRISWOLD⁴¹, que afirmam que o procedimento de soldagem ainda não pode ser considerado seguro, exigindo mais estudos para o desenvolvimento de materiais e técnicas, para que, desta forma, possa ser aceitável clinicamente, vindo minimizar os gastos de confecção de novas próteses.

7-CONCLUSÕES:

7 - CONCLUSÕES:

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, concluímos que:

1 - as ligas Dentorium e Steeldent não mostraram diferenças estatisticamente significativas nos valores de resistência flexural, tanto para a condição de utilização exclusiva de liga nova, como quando misturada com liga nova e liga refundida;

2 - a liga Duracrom registrou redução nos valores de resistência flexural na condição de misturada com liga nova e liga refundida, com diferença estatisticamente significativa tanto para a condição de utilização exclusiva de liga nova como em relação às demais ligas avaliadas, em ambas as condições; e,

3 - para as três ligas ensaiadas, o procedimento de soldagem provocou redução nos valores de resistência flexural para aproximadamente 1/4 daqueles obtidos em amostras livres de solda.

8-RESUMO:

8 - RESUMO:

O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência flexural das ligas do sistema Co-Cr Dentorium, Duracrom e Steeldent, disponíveis comercialmente, submetendo-as ou não à soldagem, utilizando amostras confeccionadas com liga nova exclusivamente ou mistura de proporções iguais de ligas nova e previamente fundida.

Foram confeccionadas vinte amostras com formato em halteres, para cada uma das ligas avaliadas, divididas em quatro grupos, seguindo o critério a seguir: liga nova sem solda; liga nova/refundida sem solda; liga nova com solda; e, liga nova/refundida com solda.

As amostras foram fundidas mediante a utilização de fonte elétrica de arco voltaico de carbono e para o procedimento de soldagem, foi utilizada liga para solda de alta temperatura à base de Co-Cr, fundida sob chama redutora de maçarico de oxiacetileno, estando as partes a serem unidas, distantes 0,4 mm entre si.

Para a avaliação da resistência flexural, as amostras foram submetidas à carga perpendicular de compressão fornecida por máquina de teste universal, com velocidade de 200 Kgf/min.. Posteriormente, a superfície de fratura das amostras, foi analisada sob microscopia eletrônica de varredura.

Com base nos resultados obtidos, verificamos que: a) as ligas Dentorium e Steeldent, tanto na condição de nova, quanto na condição de misturadas, não mostraram diferenças estatisticamente significativas em termos de resistência flexural; b) a liga Duracrom registrou redução nos valores de resistência flexural

quando misturada com ligas nova e refundida; c) para as três ligas avaliadas, tanto na condição de nova como na condição de misturadas, houve redução nos valores de resistência flexural para aproximadamente 1/4 daqueles obtidos com as amostras livres de solda.

9-SUMMARY:

9 - SUMMARY:

The purpose of this investigation was to determine the flexural strength of Dentorium, Duracrom and Steeldent, commercially available Co-Cr based alloys, subdued or not to soldering procedure, using only new alloy or a mixture of new and previously casted alloy.

Twenty dumb-shaped specimens were manufactured for each one of the alloys, divided into four groups as the following rule: new alloy without soldering procedure; new alloy/casted alloy combination without soldering procedure; new alloy with soldering procedure; and, new alloy/casted alloy combination with soldering procedure.

The specimens were cast with carbon voltaic arc as the electric heat source and for the soldering procedure, it was used high-temperature Co-Cr solder alloy, melted with the reducing flame of a oxyacetylene torch as the heat source, while the gap distance was maintained at 0.4 mm.

To evaluate the flexural strength, the specimens were submitted to perpendicular compression stress provided by the universal testing machine, with a cross-head speed of 200 Kgf/min. After that, the fracture surfaces were observed under scanning electron microscopy.

Related to the results, it was verified that: a) Dentorium and Steeldent alloys, neither as one-half new nor as a half-new/once-used combination, showed no statistically significant differences; b) Duracrom alloy showed reduced flexural strength values when conducted in the as mixed condition; c) either as new or as mixed, the soldered three alloys displayed

reduction of about 1/4 in the flexural strength values, when compared with those obtained with the non soldered ones.

10-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

10 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:*

1. ANGELINI, E. et al. Corrosion resistance of solder joints for removable partial dentures. Dent. Mater., Washington, v.4, n.5, p.255-260, Jan. 1989.
2. ASGAR, K., PEYTON, F.A. Effect of castings conditions on some mechanical properties of cobalt base alloys. J. dent. Res., Chicago, v.40, n.4, p.73-86, Feb. 1961.
3. _____, _____. Effect of microstructure on the physical properties of cobalt-base alloys. J. dent. Res., Chicago, v.40, n.1, p.63-72, Jan./Feb. 1961.
4. BARAKAT, M.M., ASGAR, K. Mechanical properties and soldering of some cobalt base metal alloys. Dent. Mater., Washington, v.2, n.6, p.272-274, Dec. 1986.
5. BATES, J.F. Studies related to the fracture of partial dentures. The flexural fatigue of cobalt-chromium alloy. Br. dent. J., London, v.15, n.118, p.533-537, June, 1965.

* De acordo com a NBR 6023 de agosto de 1989 da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Abreviaturas de Periódicos: "World List of Scientific Periodicals".

6. BEN-UR, Z. et al. The fracture of cobalt-chromium alloy removable partial dentures. Quintess. int., Berlin, v.17, n.12, p.797-801, Dec. 1986.
7. BOMBONATTI, P.E., GARLIPP, O.A., BARROS, L.E. Influência da refusão sobre a resistência a flexões sucessivas de ligas de cromo-cobalto. Revta bras. Odont., Rio de Janeiro, v.25, n.153, p.303-307, set./out. 1968.
8. BRUDVIK, J.S., NICHOLLS, J.I. Soldering of removable partial dentures. J. prosth. Dent., St. Louis, v.49, n.6, p.762-765, June, 1983.
9. CARTER, T.J., KIDD, J.N. The precision casting of cobalt-chromium alloy. Part 2 - The influence of casting variables on microstructure and mechanical properties. Br. dent. J., London, v.18, n.118, p.431-436, May, 1965.
10. CRAIG, R.G. et al., ed. Cast and wrought base metal alloys. In: _____ . Restorative dental materials. 8. ed. St. Louis: C.V. Mosby, 1989. Cap. 15, p.431-456.
11. _____ . et al., ed. Mechanical properties. In: _____ . Restorative dental materials. 8. ed. St. Louis: C.V. Mosby, 1989. Cap. 4, p.65-112.

12. CRAIG, R.G., ed. Nature of metals and alloys. In: _____ .
Restorative dental materials. 8. ed. St. Louis: C.V.
Mosby, 1989. Cap. 5, p.113-138.
13. CUNNINGHAM, D.M. Comparison of base metal alloys and type IV
gold alloys for removable partial denture frameworks. Dent.
Clin. N. Am., Philadelphia, v.17, n.4, p.719-723, Oct.
1973.
14. EARNSHAW, R. Cobalt-chromium alloys in dentistry. Br. dent.
J., London, v.101, n.7, p.67-75, Aug. 1956.
15. _____. Fatigue tests on a dental cobalt-chromium alloy.
Br. dent. J., London, v.16, n.110, p.341-346, May, 1961.
16. ERDLE, R.W., PRANGE, C.H. U.S. patent 1956278. 1934. Apud
AMERICAN DENTAL ASSOCIATION. Guide to dental materials:
including A.D.A. specification n. 14 for dental Co-Cr
castings alloys. Chicago: 1962/63. p.78-88.
17. ERIKSSON, T., SJÖGREN, G., BERGMAN, M. Influence of supply of
heat to cobalt-chromium frameworks during soldering and sub-
sequent hardening heat treatment of wrought clasps. Swed.
dent. J., Stockholm, v.7, n.1, p.33-37, Jan./Feb. 1983.

18. GUSTAVSEN, F., BERGE, M., HEGDAHL, T. Flexural strength of a high-temperature soldered cobalt-chromium alloy. J. prosth. Dent., St. Louis, v.61, n.5, p-568-571, May, 1989.
19. HARCOUT, H.J. The effects of variation in cooling rates and heat treatment on cobalt-chromium alloys. Br. dent. J., London, v.2, n.106, p.475-483, June, 1964.
20. _____. Fractures of cobalt chromium castings. Br. dent. J., London, v.17, n.110, p.43-50, Jan. 1961.
21. _____, COTTERILL, W.F. Induction melting of cobalt - chromium alloys. A comparison with flame melting. Br. dent. J., London, v.20, n.118, p.323-329, Apr. 1965.
22. _____. An investigation into oxy-acetylene melting of chrome-cobalt alloys and its effect on surface texture and homogeneity in castings. Br. dent. J., London, v.16, n.108, p.139-146, Feb. 1960.
23. _____. The remelting of cobalt-chromium alloys. Br. dent. J., London, v.6, n.112, p.199-204, Mar. 1962.

24. HAWBOLT, E.B., MacENTEE, M.I. Effects of fatigue on a soldered base metal alloy. J. dent. Res., Chicago, v.62, n.12, p.1226-1228, Dec. 1983.
25. _____, _____, ZAHEL, J.I. The tensile strength and appearance of solder joints in three base metal alloys made with high- and low-temperature solders. J. prosth. Dent., St. Louis, v.50, n.3, p.362-367, Sept. 1983.
26. HESBY, D.A. et al. Physical properties of a repeatedly used nonprecious metal alloy. J. prosth. Dent., St. Louis, v.44, n.3, p.291-293, Sept. 1980.
27. LAUTENSCHLAGER, E.P. et al. Strength mechanisms of dental solder joints. J. dent. Res., Chicago, v.53, n.6, p.1361-1367, Nov./Dec. 1974.
28. LEWIS, A.J. Dendritic crystallization. Aust. dent. J., St. Leonards, v.23, n.4, p.356-358, Aug. 1978.
29. MacENTEE, M.I., HAWBOLT, E.B., ZAHEL, J.I. The tensile and shear strength of a base metal weld joint used in dentistry. J. dent. Res., Chicago, v.60, n.2, p.154-158, Feb. 1981.

30. MORRIS, H.F. et al. The influence of heat treatments on several types of base-metal removable partial denture alloys. J. prosth. Dent., St. Louis, v.41, n.4, p.388-395, Apr. 1979.
31. NAYLOR, W.P., DAUGHTRY, R.D. Recastability of a base metal alloy. Quintess. dent. Technol., Chicago, v.7, n.10, p.627-629, Nov./Dec. 1983.
32. NOORT, R.V., LAMB, D.J. A scanning electron microscope study of Co-Cr partial dentures fractured in service. J. Dent., Surrey, v.12, n.2, p.122-126, June, 1984.
33. PAFFENBARGER, G.C., CAUL, H.J., DICKSON, G. Base metal alloys for oral restorations. J. Am. dent. Ass., Chicago, v.30, n.11, p.852-862, June, 1943.
34. PHILLIPS, R. W. Ligas de metais básicos para fundições odontológicas In: _____. Materiais dentários de Skinner. 8. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1984. Cap. 34, p.401-411.
35. REISBICK, M.H., CAPUTO, A.A. Influence of loading rates on mechanical properties of cobalt-chromium alloys. Br. dent. J., London, v.138, n.15, p.295-298, Apr. 1975.

36. SMITH, E.A. Vitallium as a substitute for dental gold castings alloys. Br. dent. J., London, v.85, n.7, p.180-181, Oct. 1948.
37. STRANDMAN, E. The influence of carbon content on the mechanical properties in a cast dental Co-Cr alloy. Odont. Revy., Malmö, v.27, n.4, p.273-286, Oct./Dec. 1976.
38. _____. The influence of different heat treatments on a dental Co-Cr alloy. Odont. Revy., Malmö, v.27, n.4, p.287-302, Oct./Dec. 1976.
39. _____. The influence of different types of acetylene-oxygen flames on the carbon content of a dental Co-Cr alloy. Odont. Revy., Malmö, v.27, n.3, p.223-238, July/Sept. 1976.
40. _____, GLANTZ, P.O. On the characteristics of acetylene-oxygen flames used in dental castings. Odont. Revy., Malmö, v.27, n.3, p.197-222, July/Sept. 1976.
41. TOWNSEND, L.W.A., VERMILYEA, S.G., GRISWOLD, W.H. Soldering nonnoble alloys. J. prosth. Dent., St. Louis, v.50, n.1, p.51-53, July, 1983.

11 - APÊNDICE:

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA:

CAUSAS DE VARIACÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
PRODUTO	5	78090,9845579	15618,1969110	5,5630	0,00062
TRATAMENTO	1	1607141,1036515	1607141,1036515	572,4437	0,00001
PROB. TRA	5	10103,2333986	2020,6466797	0,7197	0,61394
RESÍDUO	48	134760,4560178	2807,5095004		
TOTAL	59	1830095,7776227			

Coeficiente de variação: 15,497 %

CÁLCULO DOS VALORES DE RESISTÊNCIA FLEXURAL:

$$R = \frac{F}{A}, \text{ onde:}$$

R = resistência flexural;

F = força de compressão exercida pela máquina;

A = área da amostra, sendo:

$$A = \pi \cdot R^2$$

$$A = \pi \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2$$

$$A = 3,1416 \cdot \left(\frac{2}{2} \right)^2$$

$$A = 3,1416 \text{ mm}^2$$

$$A = 0,031416 \text{ cm}^2$$