



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro Biomédico

Faculdade de Odontologia

Carlos Antonio Freire Sampaio

Avaliação comparativa de propriedades geradas pelos processos de soldagem TIG e brasagem em uma liga odontológica à base de Ni-Cr

Rio de Janeiro

2009

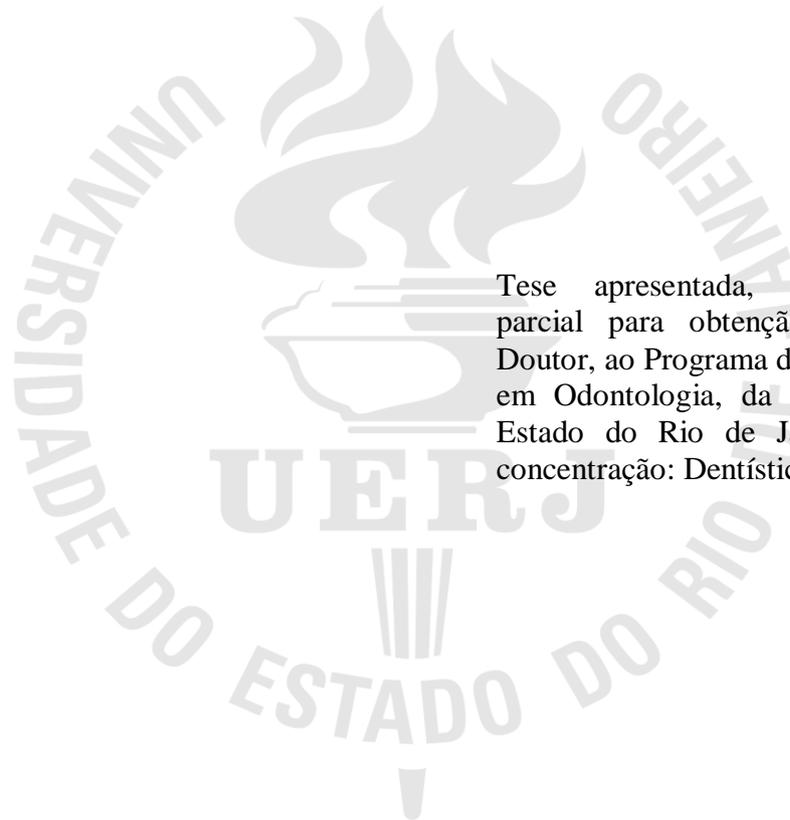
Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Carlos Antonio Freire Sampaio

**Avaliação comparativa de propriedades geradas pelos processos de soldagem
TIG e brasagem em uma liga odontológica à base de Ni-Cr**



Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Dentística.

Orientadores: Prof. Dr. Mauro Sayão de Miranda

Prof.^a Dr.^a Marília Garcia Diniz

Rio de Janeiro

2009

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/CBB

S192 Sampaio, Carlos Antonio Freire.
Avaliação comparativa de propriedades geradas pelos processos de soldagem TIG e brasagem em uma liga odontológica à base de Ni-Cr / Carlos Antonio Freire Sampaio. – 2009.
69 f.

Orientadores: Mauro Sayão de Miranda, Marília Garcia Diniz.
Tese (doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Odontologia.

1. Metalurgia odontológica. 2. Soldagem (Odontologia). 3. Ligas de níquel-cromo. I. Miranda, Mauro Sayão de. II. Diniz, Marília Garcia. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Odontologia. IV. Título.

CDU
616.314

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese.

Assinatura

Data

Carlos Antonio Freire Sampaio

**Avaliação comparativa de propriedades geradas pelos processos de soldagem
TIG e brasagem em uma liga odontológica à base de Ni-Cr**

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Dentística.

Aprovada em 27 de março de 2009.

Orientadores:

Prof. Dr. Mauro Sayão de Miranda
Faculdade de Odontologia da UERJ

Prof^ª. Dr^ª. Marília Garcia Diniz
Faculdade de Engenharia da UERJ

Banca Examinadora:

Prof^ª. Dr^ª. Katia Regina Hostilio Cervantes Dias
Faculdade de Odontologia da UERJ

Prof. Dr. Hélio Rodrigues Sampaio Filho
Faculdade de Odontologia da UERJ

Prof. Dr. Marco Antonio Santos Pinheiro
Faculdade de Engenharia da UERJ

Prof. Dr. Márcio Antônio Paraizo Borges
Faculdade de Odontologia da PUC-RJ

Prof^ª. Dr^ª. Zilda Maria Castro de Carvalho
Faculdade de Odontologia da UFRJ

Rio de Janeiro

2009

DEDICATÓRIA

A DEUS por se mostrar sempre presente em minha vida.

A minha amada Mãe Noemi Paz Freire que, por seu exemplo de força e espiritualidade, me inspira a cada dia. Obrigado por tudo.

A minha amada Esposa Sandra de Souza Salicios Sampaio, a quem considero um presente de DEUS que sempre esteve, está e estará ao meu lado em todos os momentos. Dedico a você não só este trabalho, mas toda minha vida. Meu anjo, EU TE AMO!!!

Aos meus amados filhos Pedro Henrique e Larissa. Meus filhos vocês deram um sentido tão grande a minha existência que não encontro palavras capazes de expressar o que sinto. Vocês são MINHA VIDA!!!

Ao meu pai Vatheli Mafia Sampaio (in memoriam) por ter me incentivado a escolher a Odontologia como profissão e, através do seu exemplo, ter me mostrado a importância de se trilhar o caminho correto.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Mauro Sayão de Miranda pelo respeito, sabedoria, amizade, companheirismo, paciência e dedicação, atributos que o caracterizam não somente como orientador, mas sim como verdadeiro MESTRE. Minha eterna gratidão.

A minha orientadora Profa. Dra. Marília Garcia Diniz por sua dedicação, empenho e grande paciência em me orientar na execução deste trabalho. Muito obrigado por tudo!

À querida professora Dr^a Kátia Regina Hostílio Cervantes Dias. Você será sempre um exemplo para mim, como profissional e como ser humano. Muito obrigado por tudo!

Ao Prof. Dr. Helio Rodrigues Sampaio Filho pela dedicação e ensinamentos dispensados sempre com boa-vontade. Obrigado!

Ao Coordenador-Geral de Pós-Graduação e Pesquisa Prof. Dr. Ricardo Guimarães Fisher pelo suporte, dedicação e atenção durante o curso.

À UERJ por sempre ter feito parte da minha vida.

À Direção da FOUERJ pelo constante incentivo à realização da minha pós-graduação.

À CAPES e à FAPERJ, instituições que sempre apóiam e estimulam o nosso programa de Pós-graduação.

Aos meus colegas de turma Ana Paula, César, Glauco, João e Lucilei. A convivência com vocês foi um grande aprendizado.

Ao Fábio pelo apoio fundamental na realização deste trabalho. O meu muito obrigado!

Aos funcionários do mestrado Antônio, José Carlos e Denise pelo apoio, suporte e boa vontade quando os problemas burocráticos e técnicos surgiam.

Incumbe a cada um de vós ocupar-se com algum trabalho, seja um ofício, um comércio ou algo semelhante. Benevolmente temos elevado vossa ocupação em tal trabalho ao grau de adoração a DEUS, o Ser Verdadeiro. Ponderai em vossos corações as graças e bênçãos de DEUS e rendei-Lhe agradecimentos, ao anoitecer e ao alvorecer.

Bahá'u'lláh

RESUMO

SAMPAIO, Carlos Antonio Freire. **Avaliação comparativa de propriedades geradas pelos processos de soldagem TIG e brasagem em uma liga odontológica à base de Ni-Cr.** 2009. 69f. Tese (Doutorado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

O objetivo deste trabalho foi comparar, por meio de teste de microdureza e técnicas de caracterização metalúrgica, que inclui a metalografia, microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia por dispersão de energia (energy dispersive spectroscopy – EDS), propriedades mecânicas e metalúrgicas de juntas soldadas pelos métodos TIG e brasagem em uma liga odontológica à base de Ni-Cr (FIT-CAST SB). As regiões estudadas em cada amostra foram o metal de base (MB), a zona termicamente afetada (ZTA) e a zona de fusão (ZF). Foram confeccionados 40 corpos-de-prova cilíndricos, em forma de bastão, com 2,5mm de diâmetro e 18,0mm de comprimento, obtidos a partir de fundição odontológica por centrifugação (técnica da cera perdida). Foram separados vinte cilindros para cada técnica, que após a soldagem formaram grupos de dez amostras para cada procedimento. A microestrutura do MB apresentou-se como uma matriz de uma solução sólida à base de Ni-Cr contendo um típico arranjo dendrítico de estrutura eutética. A liga apresentou precipitados metálicos na região interdendrítica da estrutura eutética. A análise química semi-quantitativa obtida através da técnica de EDS apresentou resultados compatíveis com a composição química quantitativa fornecida pelo fabricante da liga. Na brasagem, o MB e a ZF apresentaram microestruturas distintas. A ZF apresentou uma morfologia dendrítica grosseira com a presença de precipitados e porosidades. A análise química semiquantitativa por EDS da ZF mostrou-se bastante semelhante aos resultados obtidos para o MB. Nos corpos de prova unidos pelo processo de brasagem, a média de microdureza Vickers para o MB, a ZTA e a ZF foram respectivamente 83,501, 87,782 e 127,520. A análise estatística t-Student revelou diferenças significativas entre as regiões MB e ZF. No processo TIG, a microestrutura da ZF apresentou aspecto semelhante a do MB, porém, com o arranjo dendrítico mais refinado. A análise química semiquantitativa por EDS da ZF apresentou resultados semelhantes aos obtidos para o MB. Os corpos de prova apresentaram média de microdureza Vickers para o MB, a ZTA e a ZF respectivamente de: 74,607, 71,649 e 75,409. A análise estatística t-Student não revelou diferenças significativas entre as regiões analisadas. De acordo com a metodologia aplicada neste estudo e a partir da análise estatística dos dados obtidos, pode-se concluir que: o processo de união por brasagem gerou diferenças microestruturais e de microdureza Vickers entre a ZF e o MB; nas juntas soldadas pelo método TIG, os ensaios de microdureza Vickers revelaram uniformidade no comportamento mecânico entre a ZF, a ZTA e o MB; o processo de soldagem TIG gerou uma microestrutura bem semelhante entre a ZF e o MB e acarretou naquela apenas um arranjo dendrítico de estrutura eutética mais refinado; a análise química por EDS revelou que não houve variação de composição química significativa entre o MB e a ZF das juntas soldadas por ambos os métodos.

Palavras-chave: Ligas níquel-cromo. Soldagem odontológica. Brasagem. TIG.

ABSTRACT

The purpose of this study was to compare, by means of microhardness testing and metallurgical characterization techniques as metallography, optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersion spectroscopy (EDS), mechanical and metallurgical properties of welded joints by TIG and brazing methods in a dental alloy based on Ni-Cr (FIT-CAST SB). The studied regions in each sample were the base metal (MB), the heat affected zone (ZTA) and the fusion zone (ZF). Forty cylindrical bodies-of-proof, stick-shaped, with 2.5mm diameter and 18.0mm in length were made from dental casting by centrifugation (lost wax technique). Twenty cylinders were used for each technique, which formed, after the welding, groups of ten samples for each procedure. The microstructure of the MB is presented as a matrix of a solid solution based on Ni-Cr with a typical dendritic arrangement of eutectic structure. The alloy presented metallic precipitates in the interdendritic region of the eutectic structure. The semiquantitative chemical analysis obtained by EDS technique showed results consistent with the quantitative chemical composition provided by the alloy manufacturer. In the brazing method, the MB and ZF showed different microstructures. The ZF showed a rough dendritic morphology with the presence of precipitates and porosities. The semiquantitative chemical analysis by EDS of the ZF had very similar results to those obtained for the MB. In the bodies-of-proof joined by the brazing process, the average Vickers microhardness for the MB, ZTA and ZF were respectively 83.501, 87.782 and 127.520. The t-Student statistical analysis revealed significant differences between the MB and ZF regions. In the TIG process, the microstructure of ZF presented similar aspect to the MB, but with a more refined dendritic arrangement. The semiquantitative chemical analysis by EDS of ZF presented similar results to those obtained for the MB. The bodies-of-proof had an average Vickers microhardness of the MB, ZTA and ZF respectively: 74.607, 71.649 and 75.409. The t-Student statistical analysis revealed no significant differences between the studied regions. According to the methodology applied in this study and from the statistical analysis of the obtained data, we can conclude that the process of union by brazing created microstructural and Vickers microhardness differences between the ZF and MB; in welded joints by the TIG method, the Vickers microhardness tests showed uniformity in the mechanical behavior among the ZF, ZTA and MB; the TIG welding process generated a very similar microstructure between the ZF and MB and made on that just a dendritic arrangement of more refined eutectic structure; the EDS chemical analysis revealed that there was no significant change in the chemical composition between the MB and ZF of welded joints by both methods.

Keywords: Nickel-chromium alloys. Dental welding. Dental soldering. Brazing. TIG

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Posicionamento dos corpos de prova na matriz.....	31
Figura 2 –	Determinação do espaço entre os corpos de prova para brasagem.....	31
Figura 3 –	Corpo de prova antes e após a fixação e espaçador utilizado.....	32
Figura 4 –	Máquina de solda TIG Castotig 2000 CA-CC, com gás argônio: visão posterior.....	34
Figura 5 –	Máquina de solda TIG Castotig 2000 CA-CC, com gás argônio: balão de gás hélio.....	34
Figura 6 –	Máquina de solda TIG Castotig 2000 CA-CC, com gás argônio: maçarico.....	34
Figura 7 –	Máquina de solda TIG Castotig 2000 CA-CC, com gás argônio: visualização do arco elétrico.....	34
Figura 8 –	Dispositivo posicionador dos corpos de prova da máquina de solda TIG.....	35
Figura 9 –	Aspecto micrográfico do metal de base (MEV, módulo BSE, 1000x).....	37
Figura 10 –	Aspecto micrográfico do metal de base (MEV, módulo BSE, 500x).....	38
Figura 11 –	Aspecto micrográfico do metal de base (MEV, módulo BSE, 200x).....	38
Figura 12 –	Aspecto micrográfico do metal de base (Microscópio óptico, 800x): amostra 1.....	39
Figura 13 –	Aspecto micrográfico do metal de base (Microscópio óptico, 800x): amostra 2.....	39
Figura 14 –	Aspecto micrográfico do metal de base (Microscópio óptico, 800x): amostra 3.....	39
Figura 15 –	Regiões onde foram realizadas as análises químicas (EDS), que estão identificadas pelos pontos 1 (região mais clara, precipitado interdendrítico), 2 (região mais escura pertencente ao eutético de arranjo dendrítico) e 3 (matriz à base de níquel-cromo.....	40
Figura 16 –	Espectros de energias características para os elementos identificados nas regiões 1, 2 e 3 da Figura 15, respectivamente.....	41
Figura 17 –	Região onde foi realizada a análise química (EDS).....	42

Figura 18 – Espectro de energias para os elementos identificados na região 1 da Figura 17.....	42
Figura 19 – Diagrama de predominância binário da liga Ni-Cr (www.infomet.com.br, consulta realizada em 3 de agosto de 2008).....	43
Figura 20 – Aspecto micrográfico da zona termicamente afetada (ZTA) da junta soldada por brasagem. Ataque: HF, aumento 800x: amostra 1.....	44
Figura 21 – Aspecto micrográfico da zona termicamente afetada (ZTA) da junta soldada por brasagem. Ataque: HF, aumento 800x: amostra 2.....	44
Figura 22 – Aspecto micrográfico da zona de fusão de juntas soldadas por brasagem. Ataque: HF, aumento 800x: amostra 1.....	45
Figura 23 – Aspecto micrográfico da zona de fusão de juntas soldadas por brasagem. Ataque: HF, aumento 800x: amostra 2.....	45
Figura 24 – Aspecto micrográfico da junta soldada por brasagem na região de fusão, MEV, módulo BSE. Spectrum 1: Região onde foi realizado o EDS.....	46
Figura 25 – Análise química semiquantitativa de EDS. Os picos de energia característicos dos elementos Ni, Cr, Mo e Al (pequena quantidade) foram identificados na região analisada conforme mostrado na Figura 24.....	47
Figura 26 – Aspecto micrográfico da junta soldada por brasagem na região de fusão MEV, módulo BSE. Spectrum 1 e 2: Regiões onde foram realizados os testes de EDS.....	47
Figura 27 – Análise química semiquantitativa de EDS. Os picos de energia característicos dos elementos Ni, Cr e Al (pequena quantidade) foram identificados na região analisada, mostrada na Figura 26 como “spectrum 1”.....	48
Figura 28 – Análise química semiquantitativa de EDS. Os picos de energia característicos dos elementos Ni, Cr, Mo e Al (pequena quantidade) foram identificados na região analisada, mostrada na Figura 26 como “spectrum 2”.....	48
Gráfico 1 – Dureza Vickers das juntas soldadas por brasagem.....	50
Figura 29 – Aspecto micrográfico da região próxima à solda (interface entre a zona de fusão e o metal de base). Ataque: ataque HF, aumento 800x: amostra 1.....	52
Figura 30 – Aspecto micrográfico da região próxima à solda (interface entre a zona de fusão e o metal de base). Ataque: ataque HF, aumento 800x: amostra 2.....	52
Figura 31 – Aspecto micrográfico da região de fusão de juntas soldadas pelo processo TIG. Ataque: HF, aumento 800x: amostra 1.....	53

Figura 32 – Aspecto micrográfico da região de fusão de juntas soldadas pelo processo TIG. Ataque: HF, aumento 800x: amostra 2.....	53
Figura 33 – Aspecto micrográfico da região de fusão da junta soldada pelo processo TIG. MEV, módulo BSE, 1000x.....	54
Figura 34 – Aspecto micrográfico da junta soldada pelo processo TIG na região de fusão, MEV, módulo BSE. Spectrum 1e 2: Regiões onde foram realizados os testes de EDS.....	55
Figura 35 – Análise química semiquantitativa de EDS. Os picos de energia característicos dos elementos Ni, Cr, Mo e Al (pequena quantidade) foram identificados na região analisada conforme mostrado na Figura 34 como “spectrum 1”.....	56
Figura 36 – Análise química semiquantitativa de EDS. Os picos de energia característicos dos elementos Ni, Cr, Mo e Al (pequena quantidade) foram identificados na região analisada conforme mostrado na Figura 34 como “spectrum 2”.....	56
Gráfico 2 – Dureza Vickers das juntas soldadas pelo método TIG.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química da liga FIT-CAST SB (www.talladium.com.br , consulta realizada em 07 de agosto de 2008).....	30
Tabela 2 – Composição química do metal de adição utilizado (www.talladium.com.br , consulta realizada em 07 de agosto de 2008).....	33
Tabela 3 – Composição química do fluxo utilizado na solda (www.talladium.com.br , consulta realizada em 07 de agosto de 2008).....	33

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	14
1	REVISÃO DA LITERATURA.....	17
2	PROPOSIÇÃO.....	27
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1	Materiais.....	28
3.2	Métodos.....	29
3.2.1	<u>Confecção dos corpos de prova.....</u>	29
3.2.2	<u>Soldagem dos corpos de prova.....</u>	30
3.2.2.1	Soldagem Brasagem: convencional a maçarico.....	30
3.2.2.2	Soldagem TIG.....	33
3.2.3	<u>Teste de microdureza e análise da microestrutura.....</u>	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1	O metal de base.....	37
4.2	Junta soldada por brasagem.....	43
4.3	Junta soldada pelo processo TIG.....	51
5	CONCLUSÃO.....	59
	REFERÊNCIAS.....	60
	APÊNDICE A – Valores de microdureza – brasagem.....	64
	APÊNDICE B - Valores de microdureza – TIG.....	66
	APÊNDICE C – Soldagem TIG.....	68

INTRODUÇÃO

Taggart (1907) descreve o método da cera perdida para fundição de peças protéticas em odontologia e, desde então, este processo vem sendo motivo de diversas investigações com o propósito de aperfeiçoar a técnica, melhorando os materiais e desenvolvendo novas tecnologias, na busca de melhor qualidade final das peças protéticas odontológicas.

A soldagem em estruturas odontológicas é um procedimento que visa melhorar a adaptação da prótese aos dentes pilares do paciente. Geralmente, o processo de união de metais utilizados em odontologia é a brasagem, porém também são utilizados outros processos, como o a laser, o infravermelho, o TIG e muitos outros.

A brasagem é um processo de união que produz a coalescência dos metais pelo aquecimento a uma temperatura adequada e pelo uso do metal de adição que possui um ponto de fusão abaixo da temperatura “solidus” do metal de base (MARQUES; MODENESI; BRACARENCE, 2005). Ou seja, no processo de brasagem a interação mecânica é sólido x líquido, onde o metal de base nunca é levado à fusão e o metal de adição é fundido durante o processo. Se o ponto de fusão do metal de adição for superior a 450°C, o processo é dito “brasagem ou brasagem forte ou soldagem a altas temperaturas”. Caso contrário, se o ponto de fusão do metal de adição for inferior a 450°C, o processo é dito “solda branca ou brasagem fraca ou soldagem convencional”. (ANNUSAVICE, 2005).

No processo de brasagem, a ligação entre o metal de base e metal de adição se dá por difusão (difusão no estado sólido), com a formação de ligas intermetálicas na interface entre estes materiais. O metal de adição preenche a junta por ação capilar, por tanto, é necessário que haja uma boa molhabilidade das faces e para isso é preciso que as superfícies estejam completamente isentas de óxidos, graxas ou qualquer tipo de impureza. Mesmo garantindo a limpeza das superfícies a serem unidas, é necessário a utilização de um protetor de superfície, chamado fluxo, durante o aquecimento. Os fluxos atuam sobre as superfícies a serem unidas, dissolvendo as camadas de óxido eventualmente formadas após a decapagem mecânica (realizada para fins de limpeza das superfícies), permitindo que o metal de adição possa fluir livremente sobre as superfícies a serem unidas e aderir ao metal de base. Os fluxos precisam permanecer em contato com a área a ser brasada para impedir a formação de óxidos e facilitar a formação do cordão de solda. A viscosidade e a tensão superficial do fluxo são propriedades importantes, pois afetam a molhabilidade do metal de base e influenciam o deslocamento do metal de adição para a interface de união.

Um controle rigoroso da distância de separação das superfícies a serem unidas deve ser feito, para que não haja problemas de preenchimento do metal de adição. Se o espaçamento entre as superfícies for muito pequeno, o preenchimento da junta poderá ser muito lento e apenas parcial. Caso o espaçamento seja exagerado, o preenchimento também será demorado, podendo levar à formação de bolhas de gás ou a inclusões de fluxos ou óxidos. Tudo isto pode acarretar falhas da união quando do uso da prótese, devido aos processos de fadiga e corrosão comuns ao meio bucal, provocando o insucesso do tratamento.

Além da distância de separação, é necessário também um controle da temperatura e do tempo de soldagem. A temperatura usada na solda deve ser a mínima necessária para fundir o metal de adição e completar o processo. Temperaturas elevadas, acima da especificada, aumentam a possibilidade de difusão entre o metal de base e o metal de adição, prejudicando a qualidade da mesma. No caso da utilização de temperaturas abaixo da especificada, não haverá a molhabilidade suficiente capaz de unir as peças metálicas.

Os processos de brasagem são classificados de acordo com o método de aquecimento utilizado. Na brasagem por chama, o aquecimento é feito através de um maçarico, que utiliza ar comprimido ou oxigênio e o gás combustível pode ser o hidrogênio, o acetileno, gás liquefeito de petróleo (GLP), gás natural, etc.

O metal de adição poderá ser colocado previamente na junta ou alimentado manualmente e a proteção é feita por fluxo.

A brasagem em forno é muito utilizada em produção seriada em grande escala. O metal de adição é colocado previamente na junta e a proteção poderá ser feita por fluxo, por atmosfera controlada ou vácuo.

O processo de soldagem tungsten inert gas (TIG) consiste na união de peças metálicas pelo aquecimento e fusão destas através de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de tungstênio, não consumível, e as peças a fundir. A proteção da poça de fusão e do arco contra a contaminação da atmosfera é feita por uma nuvem de gás inerte ou uma mistura de gases inertes. (MARQUES; MODENESI; BRACARENCE, 2005).

Neste processo, a soldagem pode ou não ser feita com adição de metal de adição, e quando utilizada, deve ser feita diretamente na poça de fusão .

Os gases de proteção possuem a finalidade de fornecer uma atmosfera ionizável para o arco e proteger o eletrodo, poça de fusão e a vareta de alimentação contra a contaminação atmosférica. Os gases mais utilizados no processo TIG são o argônio e o hélio. O argônio é um gás quimicamente inerte, inodoro, não tóxico e monoatômico e permite a mistura com o hidrogênio (somente em aços inoxidáveis e ligas de níquel) em porcentagens de até 35%,

aumentando ligeiramente a voltagem do arco e as velocidades de soldagem e penetração. O argônio proporciona melhor estabilidade do arco do que o hélio e possui menor custo. O gás hélio é bem mais leve que o argônio, conseqüentemente requer maiores vazões para garantir a mesma proteção. O gás hélio permite maior penetração de soldagem, sendo aplicado para materiais mais espessos.

A seleção do gás de proteção é feita principalmente em função do tipo de metal que se quer soldar, da posição de soldagem e da espessura das peças a serem unidas.

A brasagem é um processo que é utilizado desde o início do uso da fundição odontológica pela técnica da cera perdida. Sem dúvidas, é um método que confere resultados de qualidade para confecção de próteses odontológicas. Vários trabalhos científicos demonstraram este fato. Porém, esta técnica é susceptível a uma série de problemas, como alterações dimensionais, oxidação e contaminação da solda e do metal de base, falta de união, entre outros. Com isto outras técnicas começaram a ser introduzidas na odontologia, como o laser , o infravermelho, o arco de plasma e, entre elas, a soldagem TIG. Esta é uma técnica bastante promissora, pelas suas características, e que sem dúvidas trará benefícios para a Odontologia.

1 REVISÃO DA LITERATURA

Engel (1945) observou em seus trabalhos que uma das causas mais freqüentes de fracassos no processo de soldagem são as alterações dimensionais, pois blocos de liga de ouro antes adaptados mostravam-se alterados após o processo de soldagem. Verificou dois problemas típicos durante a soldagem: a contração da solda e as distorções, que alteravam a posição relativa das coroas de um elemento em relação a outro.

Steinman (1954), referindo-se às distorções encontradas em próteses parciais fixas, durante o processo de soldagem, atribuiu a aceitação clínica destas próteses graças a uma adaptação biológica às expensas do ligamento periodontal. Verificou que, quanto mais preciso o contato entre as partes a serem soldadas, menor seria a distorção produzida, recomendando para isto o emprego de degraus nas faces proximais, de forma que o pântico se apoiaria no retentor para posteriormente serem soldados. Concluiu que se deve utilizar a menor quantidade possível de solda e que as peças soldadas devem sofrer resfriamento lento na bancada até a temperatura ambiente.

Nishimura, Yamagushi e Wakumoto (1963) avaliaram comparativamente a precisão de próteses parciais fixas unidas por soldagem àquelas fundidas em monobloco. Foram confeccionadas próteses de quatro elementos sobre um modelo de aço inoxidável e as peças soldadas foram divididas em três grupos: A- três superfícies proximais foram soldadas simultaneamente; B- duas superfícies foram soldadas, C: cada pântico foi inicialmente soldado ao retentor e posteriormente o espaço proximal central foi soldado separadamente. No grupo D: controle, a prótese fixa foi confeccionada em um só bloco. As adaptações destas próteses fixas foram comparadas e entre os grupos soldados, o grupo C apresentou resultados mais precisos. Entretanto, o grupo D, sem solda, apresentou resultados ainda melhores quando comparados aos grupos soldados.

Fusayama, Wakumoto e Hosoda (1964) realizaram um estudo comparativo das alterações dimensionais ocorridas em próteses parciais fixas fundidas em liga nobre, unidas através do processo de soldagem e aquelas obtidas por fundição em monobloco. Concluíram que as peças fundidas em monobloco apresentaram maiores desajustes quando comparadas às soldadas.

Stackhouse (1967) realizou um estudo criterioso sobre soldagem em próteses fixas fundidas em liga de ouro, no qual simulou diferentes técnicas de união das peças e avaliou a influência de alguns fatores sobre essas uniões, tais como: 1- utilização de um espaço de

0,13mm para o cordão de solda entre as coroas ou ausência de espaço entre elas; 2- direção da chama do maçarico em relação a superfície oclusal da peça (vertical ou oblíqua); 3- variação do desenho e simetria do bloco de revestimento. Utilizou troqueis de aço inoxidável, representando dentes preparados, colocados em um suporte simulando três coroas esplintadas. Neste estudo foi empregado um comparador óptico para regular a distância entre as coroas e realizar as medidas das alterações ocorridas após a soldagem. Após as avaliações os autores concluíram que: 1- todas as peças soldadas apresentaram alteração dimensional em relação a seu comprimento; 2- as alterações das posições das coroas, causadas pela expansão de presa do revestimento foram pequenas e não correlacionadas àquelas causadas pela soldagem; 3- os desenhos mais simétricos dos blocos de revestimento foram os que apresentaram os melhores resultados; 4- a direção da chama do maçarico quando dirigida mais obliquamente durante a soldagem, apresentou resultados mais precisos; 5- uma distância de 0,13mm entre as coroas a serem soldadas mostrou melhores resultados do que aquelas em contato.

Araujo (1969) analisou a adaptação de próteses fixas em ligas de ouro obtidas por soldagem e em monobloco. As próteses foram confeccionadas sobre um modelo mestre, com três retentores não alinhados e espaço entre os elementos a serem soldados de 0,1mm. Concluiu que as peças confeccionadas em um único bloco apresentaram, em porcentagem, alterações lineares maiores do que as peças soldadas.

S. D. Tylman e S. G. Tylman (1970) enfatizaram, em relação ao procedimento de soldagem, a importância de um espaço pequeno (0,127mm) entre os elementos que serão unidos. Observaram que as superfícies a serem unidas devem estar limpas e livres de óxidos durante a soldagem. Porém o excesso de fluxo pode acarretar incorporação de impurezas e bolhas no interior do cordão, resultar em corrosão da solda e, conseqüentemente, diminuir a sua resistência à tração.

Saito (1972) estudou uniões soldadas de ligas de ouro através da microsondagem eletrônica e metalografia concluindo que a solidificação da solda é influenciada pela microestrutura das peças que estão sendo unidas, e que a solda pode adquirir uma microestrutura semelhante a das peças, portanto, diferente da original. Considera ainda que no cordão de solda possa ocorrer trincas longitudinais, porosidade por contração de solidificação, porosidade causada por corpo estranho ou por ausência de solda.

Stade, Reisbick e Preston (1975) avaliaram três diferentes espaços (0,31mm, 0,51mm e 0,76mm) e dois procedimentos de soldagem: maçarico (pré-cerâmica) e forno (pós-cerâmica). Os autores observaram que os maiores espaços produziram uniões mais fortes nos dois métodos de soldagem. A técnica de soldagem em forno de porcelana a vácuo

proporcionou uniões mais resistentes que as obtidas por maçarico. O maior valor ocorreu com o espaço maior (0,76mm) no procedimento de soldagem pós-cerâmica. Porém, os autores observaram que espaços amplos (0,76mm) não seriam recomendados, devido a possibilidade de distorção acarretada pela contração excessiva da solda. Entretanto, na realidade clínica, muitas uniões soldadas excedem 0,31mm, o máximo recomendado e, conforme demonstrado, essas uniões não apresentaram diminuição de resistência.

Rasmussen, Goodkind e Gerberich (1979) avaliaram a resistência à tração de corpos unidos por solda, variando os espaços (0,13mm; 0,5mm e 1,0mm). As ligas utilizadas foram ouro tipo III, unidas com a solda de ouro recomendada na técnica pré-cerâmica e uma liga de ouro-paládio, usando técnica de solda pré e pós-cerâmica. Os autores concluíram que com a liga de ouro tipo III, ocorreu um aumento significativo na resistência às forças de tração com distâncias maiores. Com a liga cerâmica (Au-Pd), analisando os grupos de solda pré e pós-cerâmica, não foram encontradas diferenças estatisticamente significantes nos testes de resistência às forças de tração, entre os três espaços utilizados. Porém quando os resultados dos 2 grupos foram comparados, as uniões pós-soldadas foram estatisticamente mais resistentes que as pré-soldadas.

Willis e Nicholls (1980) estudaram as alterações dimensionais influenciada pelo espaço entre os retentores de próteses soldadas com ligas de ouro tipo III. Utilizaram para isto as distâncias 0,0mm; 0,15mm; 0,30mm e 0,45mm. Os testes foram realizados usando quarenta coroas de ouro tipo III, unidas por vinte pontos de solda, divididas em quatro grupos de cinco corpos-de-prova cada. As medidas foram realizadas durante as seguintes etapas: antes da inclusão, após a inclusão e após a soldagem. Os autores concluíram que a distorção linear na fase de inclusão foi devido à expansão de presa do revestimento, que a distorção linear na fase de soldagem foi devido à contração da solda, que as distorções rotacionais foram mínimas e que idealmente se deveria utilizar o espaço mínimo de 0,15mm.

Janus, Taylor e Rolland (1983) avaliaram o resultado de soldas sob chama de maçarico, onde posteriormente as peças foram submetidas à análise metalográfica. Os autores verificaram que o tratamento endurecedor pode provocar mudanças na micro-estrutura das ligas e que o processo de soldagem pode provocar porosidade, sendo consideradas aceitáveis todas as soldagens realizadas.

Hawbolt, Macentee e Zahel (1983) estudaram a resistência tensional das uniões soldadas de ligas não-preciosas, usando altas e baixas temperaturas. Concluíram que a oxidação da peça soldada é inevitável e, quanto mais alta a temperatura, ocorrem além da oxidação formação de porosidades, que pode levar ao enfraquecimento da junta. A liga de

níquel-cromo foi a que apresentou melhores resultados, tanto em altas quanto em baixas temperaturas.

Schiffleger et al. (1985) compararam próteses parciais fixas de três, quatro e cinco elementos, fundidas em monobloco em liga de ouro para metalocerâmica, obtidas de um molde de alumínio. Após a obtenção das peças, estas foram levadas ao microscópio comparador para registro das discrepâncias de desajuste cervical e distâncias dos ângulos axio-gengivais entre matriz e fundições. As fundições foram então seccionadas, sendo realizadas novas medidas. Os autores chegaram às seguintes conclusões: 1- houve uma melhora no assentamento das fundições em aproximadamente 50% após o seccionamento; 2- a distorção foi tridimensional, sendo sua maior discrepância na superfície mesio-gengival do retentor anterior e disto-lingual do retentor posterior; 3- quanto menor o número de pilares de uma prótese menor a distorção; 4- o diâmetro vestibulo-lingual das fundições no ângulo gengivo-axial foi significativamente maior que os preparos do modelo mestre na maioria dos casos; 5- o diâmetro mesio-distal das fundições no ângulo gengivo-axial foi menor que nos preparos do modelo mestre, sendo somente significativa nas próteses de três elementos;

Mendonça (1988) estudou a resistência à tração, ao dobramento e alterações dimensionais de uniões soldadas pré e pós-cerâmica, utilizando ligas de Ni-Cr (Unitek e Durabond), com distâncias entre as áreas a serem soldadas de 0,20mm, 0,35mm e 0,50mm. Concluiu que na avaliação final das alterações dimensionais, após a soldagem, a liga Unitek teve vantagem sobre a Durabond e a soldagem pré-cerâmica com a liga Unitek apresentou menores alterações. No teste de resistência à tração, a soldagem pré-cerâmica mostrou maior resistência e a liga Durabond melhores resultados do que a Unitek. Nos testes de resistência ao dobramento, a soldagem pré-cerâmica também apresentou melhores resultados e a liga Durabond obteve resultados numericamente superiores aos da liga Unitek.

Sobieralsky, Schelb e Prihoda (1990) compararam a resistência à tração de uniões soldadas de metais básicos pré-cerâmica com maçarico gás-oxigênio com as uniões pré-cerâmicas em forno de porcelana a vácuo. A média da resistência à tração das uniões soldadas foi 460 MPa para o forno e 520,2 MPa para o maçarico. Os autores observaram que uniões pré-cerâmicas fortes, consistentes e livres de bolhas, foram produzidas entre Ni-Cr e a solda a ouro pelo maçarico e pelo forno, entretanto as soldagens pré-cerâmicas com maçarico tendem a resultar uniões mais fortes.

Roggensack, Walter e Boning (1993) investigaram as propriedades de dois métodos alternativos de soldas com ligas de Ti em odontologia: soldagem a laser e soldagem de plasma. Na soldagem de plasma o arco é protegido pelo gás argônio e conduz um plasma de

titânio. Foi necessário uma fenda de 0,5mm entre as partes e a soldagem foi realizada manualmente. A dureza foi registrada para checar a influência do processo de soldagem na estrutura do metal, pois as alterações da microestrutura resultam em alterações na dureza. As propriedades mecânicas das uniões soldadas foram analisadas pelo ensaio de fadiga. A área afetada pelo aquecimento foi maior na solda com plasma do que a área da solda laser. Com relação ao ensaio de fadiga, não houve diferença significativa entre os dois métodos. Os autores observaram que a solda a laser era a técnica mais indicada para o uso odontológico devido a sua baixa alteração térmica nas peças soldadas.

Waskewicz, Ostrowski e Parks (1994) testaram a passividade de infra-estruturas metálicas de próteses sobre-implantes através de análise fotoelástica. Para analisar os padrões de estresse gerados ao redor dos implantes em infra-estruturas adaptadas e não adaptadas, foram fotografadas as franjas de tensões geradas quando do aperto dos parafusos. Após a fundição, foi constatada ausência de adaptação entre os intermediários e os cilindros de ouro, sendo a infra-estrutura sem adaptação analisada fotoelasticamente pelo aperto dos parafusos. A análise demonstrou concentração de estresses ao redor dos implantes. Após este registro inicial, as infra-estruturas foram seccionadas, soldadas e novamente aparafusadas sobre os implantes. Nestas, não foram observadas presença de franjas de tensão. Devido à dificuldade de se avaliar clinicamente a passividade de infra-estruturas metálicas em próteses sobre-implantes, os autores sugeriram que as peças sejam seccionadas e soldadas para que se possa assegurar um grau aceitável de passividade destas sobre os implantes. Este estudo indicou que nenhum estresse foi produzido ao redor dos implantes após a peça ter sido seccionada e soldada.

Lima Verde e Stein (1994) avaliaram os conectores soldados com duas ligas básicas de metal cerâmica (Ni-Cr e Co-Cr) e compararam 4 técnicas diferentes de soldagem: Infravermelho pré-cerâmica; gás-oxigênio pré-cerâmica; forno pós-cerâmica sob vácuo e forno pós-cerâmica sem vácuo. O grupo-controle foi estabelecido com corpos fundidos sem solda de cada liga. Concluíram que não houve diferença estatisticamente significativa entre a soldagem infravermelha e maçarico gás-oxigênio nas duas ligas. Entretanto, as uniões pós-cerâmicas sob vácuo foram significativamente superiores às conexões pós-cerâmicas sem vácuo. Os 3 primeiros grupos de soldagem comportaram-se de forma equivalente, porém foram substancialmente superiores à quarta técnica para ambas as ligas. O grupo-controle foi apreciavelmente mais forte que os grupos soldados para ambas as amostras. Os corpos de prova de Ni-Cr soldados ou não foram mais fortes do que os de Co-Cr.

Wang e Welsch (1995) compararam o Ti c.p. e a liga Ti-6Al-4V, abrangendo 3 métodos de soldagem: aquecimento por irradiação de raios infravermelhos, soldagem com gás inerte (TIG) e soldagem à laser, utilizando ensaios mecânicos (dureza Vicker's, resistência uniaxial à fratura e porcentagem de alongamento) e análise da microestrutura. Os autores relataram que o uso do Ti c.p. em Odontologia, particularmente para implantes, próteses parciais fixas e removíveis, aumentou drasticamente devido à propriedades que incluíam: baixa densidade, biocompatibilidade, resistência à corrosão, alta proporção resistência/peso e condutividade térmica relativamente baixa. Relataram também problemas com manuseio do Ti e suas ligas, como o alto ponto de fusão (1670°C) e reatividade química. Assim, devido a grande afinidade com o oxigênio em altas temperaturas, métodos convencionais de soldagem, que usam a chama de O₂ são indesejáveis para unir o Ti e suas ligas. Os protocolos de soldagem neste estudo utilizaram câmaras protetoras com gás inerte com objetivo de proteger o Ti de possíveis oxidações. A luz laser fornece uma energia eletromagnética coerente, monocromática e colimada, capaz de concentrar energia em um ponto localizado. Segundo os autores, as vantagens da soldagem a laser são: precisão e boa definição, sem necessidade de contato direto com a prótese, pequena zona de calor. A soldagem à laser é um método efetivo, contudo dependente da intensidade da irradiação. Os corpos de prova utilizados tinham 3 mm de diâmetro e 40 mm de comprimento. Os espécimes controles apresentavam a mesma espessura, porém com 80 mm de comprimento. A microdureza foi conduzida com uma carga de 500 g por 15 segundos numa distância de 0,5mm, 1mm, 3mm, 5mm, 7mm e 10mm do sítio de fratura. Os resultados indicaram que a liga Ti-6Al-4V foi a mais resistente em todos os métodos. Todos os espécimes soldados foram significativamente mais frágeis do que o grupo-controle. A solda TIG apresentou resultados superiores do que a solda laser e a irradiação infravermelha. Todos os espécimes soldados a laser exibiram uniões incompletas, dadas pela pouca profundidade de penetração do laser. Em função disto, os autores observaram que o acabamento das uniões a laser deve ser evitado.

Neo et al. (1996) estudaram as propriedades mecânicas elásticas das uniões soldadas com Ti, sendo o Ti sem solda usado como controle. As uniões soldadas foram realizadas com a técnica de solda a laser estereográfica ou com arco voltaico de gás inerte (TIG). O efeito do tratamento térmico após a aplicação da porcelana foi simulado e investigado. Os autores concluíram que as soldas a laser tratadas termicamente tiveram resistência à tração significativamente mais baixa. O tratamento térmico não teve efeito no módulo de elasticidade ou alongamento, mas em geral diminuiu a resistência dos corpos de Ti. Os corpos soldados com arco voltaico tiveram resistência e módulo de elasticidade mais alta do que nos

outros 2 grupos. O alongamento no grupo-controle foi maior do que o grupo TIG, o qual por sua vez foi mais alto do que os grupo laser.

Wiskott et al. (1997) usaram a tecnologia de soldagem a laser, infravermelho e os métodos tradicionais de soldagem em forno e maçarico, das seguintes formas: 1- soldagem pré-cerâmica com tocha propano-oxigênio; 2- soldagem pós-cerâmica em forno de porcelana; 3- soldagem pré-cerâmica com infravermelho; 4- soldagem a laser. O objetivo deste trabalho foi comparar as propriedades mecânicas, difusão elementar e tipos de fraturas ocorridas. As soldagens pré-cerâmicas foram fluxadas e aquecidas em forno à 600°C por 40 min. Nas soldagens laser e infravermelho os corpos-de-prova apenas foram limpos e alinhados. Os testes realizados foram de resistência à tração e resistência à fadiga, os autores concluíram que as propriedades mecânicas das soldagens realizadas pela técnica infravermelha e laser não foram superiores aos métodos de tocha ou forno.

Taylor et al. (1998) compararam as propriedades mecânicas da liga TI-6Al-4V submetida à soldagem TIG sob atmosfera de argônio. Para isso utilizaram 40 corpos-de-prova, seccionados ao meio divididos em 4 grupos, soldados com as seguintes distâncias: 0,25mm, 0,50mm, 0,75mm e 1mm, sem nenhum tratamento térmico posterior. As amostras foram submetidas ao teste de tração e após a fratura, ao exame em microscópio biocular. A força de resistência à tração foi de 974,7MPa para os grupos soldados de 0,5mm e 1010,5MPa para os grupos isentos de soldagem. A porcentagem de alongamento foi de 5,03% para os grupos soldados com 0,75mm e 6,77% para o grupo sem soldagem. A análise de microscopia eletrônica de varredura da região fraturada da solda mostrou pequenas porosidades. Quando submetidos à presença de O₂ foi de 0,26% para o metal de base e 0,5% para região da solda. Com os resultados obtidos os autores puderam concluir que os efeitos das distâncias consideradas não foram significantes, sendo que a solda apresentou resistência ligeiramente menor e ductibilidade significativamente menor. As soldagens de liga de titânio com arco elétrico e atmosfera de argônio são eficientes e podem ser usadas nos laboratórios de próteses, produzindo resultados desejáveis. Assim, a fundição e soldagem de titânio deverão ser controladas para minimizar os efeitos do oxigênio.

Gabrielli (1999) avaliou a resistência à tração de peças soldadas e em monobloco de 2 tipos de ligas, sendo uma de Ni-Cr e outra experimental contendo titânio (Ni-Cr-Co-Ti). As soldas foram realizadas pelo processo de soldagem TIG. Os corpos-de-prova foram construídos em forma de bastão metálico. Os corpos soldados mostraram menor resistência à tração para ambas as ligas, apresentando diferenças estatisticamente significantes para os corpos isentos de soldagem.

Souza et al. (2000) investigaram a microestrutura e a dureza de uma liga de Ni-Cr, soldadas com brasagem e com laser. Verificaram que na brasagem o metal de base e o cordão de solda apresentaram microestruturas distintas e que na soldagem à laser identificaram-se 3 regiões: o cordão de solda, a zona afetada pelo calor (ZAC) e o metal de base. O metal de base da liga Ni-Cr apresentou microestrutura dendrítica grosseira, com uma estrutura eutética interdendrítica. A região da solda por brasagem apresentou morfologia dendrítica grosseira com a presença de precipitados e porosidades, e a soldagem à laser, uma estrutura dendrítica refinada. Estas microestruturas foram condizentes com as energias de soldagem fornecidas em cada processo. Os resultados dos ensaios de tração da solda à laser foram superiores aos obtidos para solda por brasagem.

Ueno (2000) avaliou as alterações dimensionais de uma liga a base de Ni-Cr, provocada pelo processo de soldagem TIG e pela técnica convencional por maçarico. Dez juntas foram soldadas de acordo com o método correspondente para cada processo e a mensuração das distorções causadas pelas técnicas de soldagem foi feita pela diferença entre o assentamento das peças antes e após a obtenção das juntas soldadas. Entre as 2 técnicas de soldagem avaliadas, a solda TIG promoveu melhor assentamento da peça soldada quando comparada aos resultados obtidos com a soldagem convencional por maçarico.

Anusavice (2005) recomendou que a solda deveria ter um ponto de fusão menor que o das partes a serem soldadas, para que estas não sofressem distorções e também para que a solda fluísse livremente sobre as superfícies quando fundidas. Este ponto de fusão deveria ser pelo menos 100°C abaixo da temperatura de fusão da liga a ser soldada. Enfatizaram ainda a necessidade de as próteses fixas em liga de ouro apresentarem o mesmo padrão de adaptação obtido com os retentores antes e após a soldagem, considerando a importância do uso dos fundentes, pois a sua não utilização pode provocar a presença de porosidades após a solidificação da solda e influir na resistência da união soldada. Sugeriram também que a solda deveria ser resistente à corrosão causada pelos fluídos bucais e relacionaram as alterações da distância entre as partes a serem soldadas a três fatores:

Expansão térmica do revestimento, expansão térmica do metal e contração da solda na solidificação. Para prevenir distorções durante a soldagem, os autores aconselharam que se tivesse um espaço de 0,1mm entre as áreas a serem unidas, pois uma distância excessiva aumentaria essas distorções. Recomendaram também, para minimizar os problemas acima apontados, a utilização de revestimento à base de quartzo, por apresentar menor expansão térmica e o aquecimento do bloco de revestimento feito no forno até uma temperatura de

438°C, embora aceitassem que pudesse ser aquecido antes da soldagem, com o maçarico ou bico de Bunsen.

Silveira et al. (2005) avaliaram a conduta de 27 laboratórios de prótese dentária na confecção de estruturas sobre implantes. Verificaram que 78% dos trabalhos realizados por esses laboratórios são fundidos em Ni-Cr, provavelmente devido ao seu baixo custo. Os autores ainda observaram que 74% dos referidos laboratórios fundem suas infraestruturas em monobloco, quando a maioria dos autores sugerem que as mesmas sejam soldadas.

Rocha, Pinheiro e Villa Verde (2006) avaliaram através do teste de resistência à flexão, a eficácia de 2 processos de soldagem (laser e TIG) em 3 ligas metálicas: Ti c.p., Co-Cr e Ni-Cr. Sessenta corpos-de-prova cilíndricos com 3mm de diâmetro e 25mm de comprimento foram divididos em 4 grupos (n = 15), totalizando 20 corpos-de-prova para cada material. São eles: grupo 1 – 5 espécimes de cada material foram seccionados e soldados a laser; grupo 2 - 5 espécimes de cada material foram seccionados e soldados a laser com material de preenchimento (fio de titânio com 0,4mm de diâmetro; grupo 3 - 5 espécimes de cada material foram seccionados e soldados com TIG; grupo 4 – sem solda (controle). Os espécimes foram submetidos ao teste de resistência à flexão e os resultados mostraram que houve diferença estatisticamente significante entre os metais soldados e as ligas integras, sendo que a solda TIG aumentou a resistência à flexão dos cilindros das 3 ligas em comparação aos cilindros não soldados (monobloco). Os maiores valores foram para as peças de Co-Cr soldados pelo método TIG.

Watanabe e Topham (2006) avaliaram o efeito da proteção do gás argônio na resistência de placas de Ti c.p. e Ti-6Al e 7Nb comparando-as com ligas de Au e de Co-Cr. As placas foram preparadas, polidas e soldadas usando laser Nd:YAG. Cinco corpos-de-prova foram preparados para cada metal e soldados bilateralmente usando 3 ou 5 pontos de solda com e sem proteção de argônio. Verificaram que a proteção de argônio afetou consideravelmente na carga para falha e no alongamento dos corpos-de-prova soldados a laser. As cargas necessárias para falha dos espécimes soldados a laser e protegidos com argônio em Ti c.p. e em Ti-6Al-7Nb eram maiores quando comparadas aos espécimes soldados sem a proteção de argônio, sendo todos os espécimes soldados com 3 e 5 pontos. Os corpos-de-prova em Au, com ou sem proteção de argônio, não tiveram diferenças significativas. Em ambos os grupos os valores de resistência foram aproximadamente metade daqueles necessários para o grupo controle, sem solda. No entanto, os autores mostraram que a proteção de argônio, quando utilizada na soldagem a laser em liga de Co-Cr, mostra-se

prejudicial a efetividade da união. Concluíram que o uso de proteção de argônio é eficaz para soldagem a laser em Ti c.p. e para o Ti-6Al-7Nb, mas não para o Au e para a liga de Co-Cr.

Mansano (2007) avaliou a resistência à tração de peças fundidas em monobloco com 3 diferentes métodos de soldagem: solda convencional (maçarico), solda laser e solda TIG. Oitenta padrões de plásticos pré-fabricados (20 para cada grupo) foram fundidos em liga de Ni-Cr, sendo o grupo controle (monobloco) unido previamente à fundição. Os resultados médios em MPa foram: monobloco - 784,08; solda laser - 588,42; solda convencional - 366,80; solda TIG - 319,78. O grupo controle apresentou valores de resistência estatisticamente superior a todos os grupos do teste. Entre as peças soldadas, a solda laser apresentou valores de resistência maiores do que os dos grupos convencional e TIG. Estes não diferiram estatisticamente entre si. O autor concluiu que, apesar de ter havido diferenças estatísticas entre os grupos, os três métodos de soldagem podem ser indicados pelos resultados altamente satisfatórios.

2 PROPOSIÇÃO

O objetivo deste trabalho é comparar, por meio de teste de microdureza e técnicas de caracterização metalúrgica que inclui a metalografia, microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia por dispersão de energia (energy dispersive spectroscopy – EDS), propriedades mecânicas e metalúrgicas de juntas soldadas pelos métodos TIG (tungsten inert gás) e brasagem em uma liga odontológica à base de Ni-Cr.

As regiões a serem estudadas são: o metal de base, a zona termicamente afetada e a zona de fusão.

Para tanto foram testadas as seguintes hipóteses para cada método em separado:

- H_0 - Não existe diferença na microdureza entre as regiões estudadas;
- H_0 - Não existe diferença na microestrutura entre as regiões estudadas;
- H_0 - Não existe diferença de composição química entre as regiões estudadas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

- Régua milimetrada;
- Sprue de cera 2,5mm (Kota);
- Base e anel de silicone – Polidental Ind. Com.Ltda;
- Redutor de tensão superficial Waxit – Degussa S.A.
- Revestimento Micro-fine 1700 – Talladium do Brasil;
- Manipulador a vácuo - EDG equipamentos Ltda;
- Forno para anéis (Bravac);
- Maçarico (EDG);
- Liga Fit – Cast SB - Talladium do Brasil;
- Cadinho de óxido de alumínio;
- Centrífuga mecânica (Kerr);
- Bi-jato (Bio-Art);
- Micro – motor (DENTEC);
- Ponta diamantada (KG Sorensen);
- Banheira de ultra-som (Thornton);
- Matriz posicionadora dos corpos-de-prova;
- Espaçador laminado (Utustools);
- Cera pegajosa em bastão (Cerafix);
- Cera 7 (Newwax);
- Gotejador (Duflex);
- Revestimento Easy – Stack - Talladium do Brasil;
- Solda FIT Hi - fusing pré – solder - Talladium do Brasil;
- Fluxo FIT Hi - fusing pré – solder - Talladium do Brasil;
- Equipamento de solda TIG - Castotig 2000 CA-CC;
- Resina para inclusão dos corpos-de-prova (Arotec);
- Lixadeira automática (Arotec);
- Lixas d'água 3M(80, 220, 400, 500, 600);
- Pasta de diamante nas granulometrias de 1 μ m, 1/2 μ m e 1/4 μ m (Arotec);

- Microscópio óptico Zeiss, modelo Neophot 2;
- Microscópio eletrônico, modelo Zeiss DSM 960;
- Dispositivo para microdureza, acoplado ao microscópio óptico Carl Zeiss-Jena;
- Planilha Excel 2007 - Microsoft;

3.2 Métodos

3.2.1 Confecção dos corpos de prova

Foram confeccionados 40 corpos-de-prova cilíndricos, em forma de bastão, obtidos a partir de fundição odontológica por centrifugação (técnica da cera perdida), baseando-se na metodologia utilizada por Gabrielli (1999).

As matrizes utilizadas foram bastões de cera pré-fabricados com 2,5mm de diâmetro e 18,0mm de comprimento. Estas foram fixadas a bases formadoras de cadinho, de modo que cinco delas eram incluídas simultaneamente. Um agente de tensão superficial foi pulverizado sobre os padrões e um anel de silicone, que se adaptava a base, completava o sistema.

O revestimento Micro-fine 1700, manipulado a vácuo, de acordo com as orientações do fabricante (16ml de líquido + 6ml de água destilada para 90g de pó), era vazado sob vibração até o preenchimento do anel.

Decorridos vinte minutos da manipulação, o cilindro de revestimento era removido do anel de silicone e inserido no forno de anéis previamente aquecido em 750°C. A temperatura do forno foi elevada lentamente a 950°C.

Após cinco minutos nesta temperatura, o anel foi posicionado em uma centrífuga mecânica devidamente ajustada. Um cadinho de óxido de alumínio com quantidade suficiente de liga de Ni-Cr (FIT-CAST SB – Tabela 1, a seguir), previamente aquecido, também foi posicionado.

Tabela 1 - Composição química da liga FIT-CAST SB (www.talladium.com.br, consulta realizada em 07 de agosto de 2008).

Liga FIT-CAST SB	Porcentagem em peso (%)	Intervalo de fusão
Níquel	61	1301°C - 1364°C
Cromo	25	
Molibdênio	10,5	
Silício	1,5	
Titânio	< 1	

A fundição foi realizada com um maçarico de gás (GLP) – oxigênio com 4-5 PSI e 25-30 PSI de pressão respectivamente. Após a fundição o cilindro de revestimento era retirado da centrífuga e deixado em bancada para resfriamento natural até a temperatura ambiente para posterior desinclusão dos corpos de prova.

Após a retirada do revestimento, os cilindros foram seccionados da base e jateados com partículas de óxido de alumínio de 50 μm , numa pressão de 80 lbs/pol², para uma completa limpeza das amostras. As superfícies a serem soldadas foram levemente usinadas com broca diamantada e micromotor com o objetivo de regularizar e limpar as mesmas.

Foram separados vinte cilindros para cada técnica, que após a soldagem formaram grupos de dez amostras para cada procedimento.

3.2.2 Soldagem dos corpos de prova

3.2.2.1 Soldagem Brasagem: convencional a maçarico

Os corpos de prova foram posicionados e alinhados dois-a-dois em uma matriz de resina. Um cilindro era fixado com cera 7 na matriz e, posteriormente, o outro cilindro foi posicionado, com o auxílio de uma lâmina espaçadora de 0,3mm entre eles. A lâmina era retirada e um espaço correspondente à soldagem (0,3mm) era estabelecido (Figuras 1 e 2, a seguir).

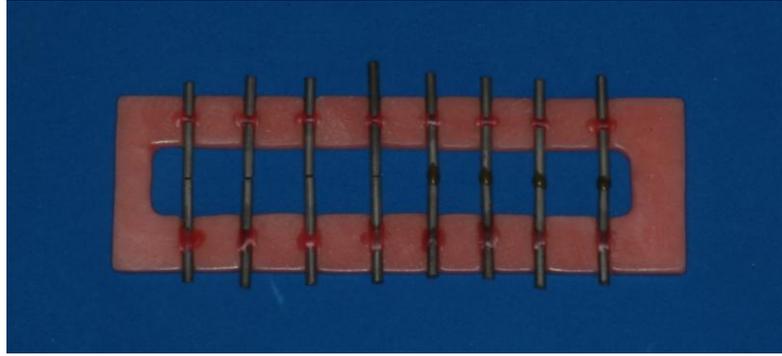


Figura 1 - Posicionamento dos corpos de prova na matriz.

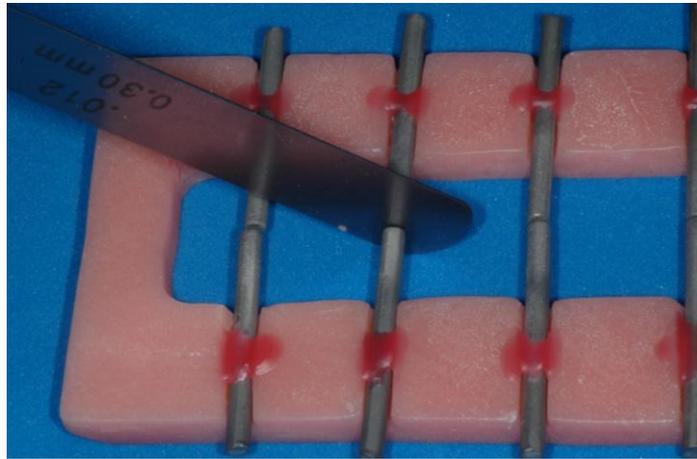


Figura 2 - Determinação do espaço entre os corpos de prova para brasagem.

O espaço foi cuidadosamente preenchido e envolvido com cera pegajosa com auxílio de um gotejador (Figura 3, a seguir). O conjunto era retirado da matriz de resina e sob a cera pegajosa colocou-se um pedaço de cera utilidade, na mesma direção da área a ser soldada. O objetivo era formar uma canaleta sob a região da solda quando incluído em revestimento, para melhor circulação da chama do maçarico e para facilitar a visualização.



Figura 3 - Corpo de prova antes e após a fixação e espaçador utilizado.

O corpo de prova assim preparado foi incluído em revestimento próprio para soldagem *Easy-Stack*, manipulado a vácuo de acordo com as especificações do fabricante (na proporção de 15ml de água destilada para 50g de pó). Após vinte minutos de espera para a presa total do revestimento, toda a cera foi removida com água fervente. As superfícies a serem unidas foram cuidadosamente secas e recobertas com uma fina camada de fluxo FIT. Em seguida, o bloco de revestimento foi colocado no forno a uma temperatura de 540°C permanecendo nesta temperatura por vinte minutos.

Para a soldagem foi utilizado maçarico gás (GLP) – oxigênio, com ajuste da chama de 8 Psi de O₂ e 5 Psi de gás. O bloco de revestimento foi retirado do forno e a porção mais quente da chama (reduzida) foi direcionada de forma oblíqua e com movimentos circulares, de modo a promover um aquecimento uniforme do conjunto peça-revestimento. Quando a peça atingiu a coloração vermelho-alaranjada, a vareta de solda FIT previamente recoberta com o respectivo fluxo (Tabelas 2 e 3, a seguir) foi posicionada na região a ser soldada, em sentido oposto ao do maçarico. A solda fundiu através do calor da peça. Após a fusão, a chama era mantida por 2 a 3 segundos para eliminação de todo o fluxo residual.

Os blocos de revestimento eram deixados sobre a bancada até seu total resfriamento, para depois serem desincluídos.

Tabela 2 - Composição química do metal de adição utilizado (www.talladium.com.br, consulta realizada em 07 de agosto de 2008).

Elemento	Porcentagem em peso(%)	Ponto de fusão
Silício	4-5	1.080°C
Cromo	13-15	
Boro	2,5-3	
Titânio	0,5-0,7	
Ferro	1,5-2,5	
Níquel	restante	

Tabela 3 - Composição química do fluxo utilizado na solda (www.talladium.com.br, consulta realizada em 07 de agosto de 2008)).

Composto	Porcentagem em peso (%)	Ponto de fusão
Potássio Tetra Borato	40-50	500°C
Acido Bórico	40-60	
Farinha de Potássio Borato	5-14	

3.2.2.2 Soldagem TIG

No processo de soldagem TIG foi utilizada a máquina Castotig 2000 CA-CC com gás argônio (Figuras 4, 5, 6 e 7, a seguir). A máquina foi regulada para uma corrente de solda de 15 Ampères e vazão de argônio de 10 litros por minuto.



Figura 4 -Máquina de solda TIG Castotig 2000 CA-CC, com gás argônio: visão posterior.



Figura 5 -Máquina de solda TIG Castotig 2000 CA-CC, com gás argônio: balão de gás hélio.



Figura 6 -Máquina de solda TIG Castotig 2000 CA-CC, com gás argônio: maçarico.



Figura 7 -Máquina de solda TIG Castotig 2000 CA-CC, com gás argônio: visualização do arco elétrico.

Os dez corpos de prova a serem soldados foram posicionados e alinhados dois a dois, sem espaço, em um dispositivo próprio da máquina de solda (Figura 8, a seguir), que se constituía de uma placa de aço inoxidável com canaletas. Devido às características do processo não foi necessária à inclusão dos mesmos em revestimento. Não foi utilizado metal de adição, pois a soldagem ocorreu com a fusão de uma pequena quantidade do próprio metal de base.

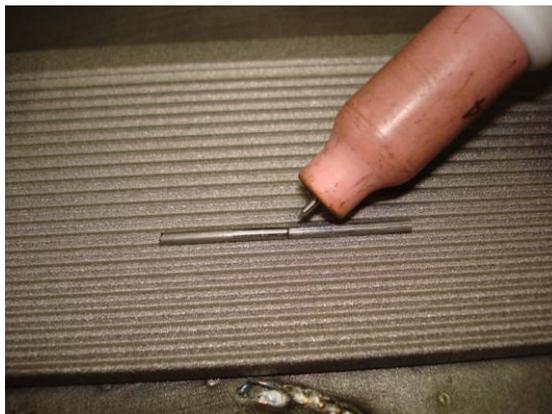


Figura 8 - Dispositivo posicionador dos corpos de prova da máquina de solda TIG.

A ponta do eletrodo de tungstênio permaneceu a uma distância mínima dos corpos de prova, sem que houvesse o toque deste, pois poderia ocorrer uma contaminação indesejável do eletrodo ou das amostras. O arco formado aqueceu o metal na pequena área correspondente a região a ser soldada, por aproximadamente 2 a 3 segundos, acarretando a fundição do metal de base e preenchimento do espaço sem promover um superaquecimento da liga.

A região da solda deveria estar isenta de fendas e sem solução de continuidade entre os cilindros. Por isso, soldou-se um lado, girou-se o corpo-de-prova e soldou-se o outro lado, de forma a garantir uma perfeita união em toda circunferência da amostra.

Os corpos de prova foram resfriados em temperatura ambiente.

Para maiores detalhes do método de soldagem sob atmosfera de argônio com eletrodo de tungstênio (TIG). (Apêndice C).

3.2.3 Teste de microdureza e análise da microestrutura

Todos os 20 corpos de prova soldados (10 juntas para cada técnica), foram embutidos em resina acrílica de cura a frio (AROTEC) própria para obtenção de amostras metalográficas.

Em seguida foram lixadas em lixadeira automática seguindo a sequência de granulometria das lixas d'água 80, 220, 400, 500 e 600. Ao final da etapa de lixamento, seguiram-se polimentos com pasta de diamante nas granulometrias 1 μm , 1/2 μm e 1/4 μm .

As amostras foram então atacadas com solução à base de ácido nítrico (10ml), fluorídrico (6ml) e acético glacial (40ml). O ataque foi realizado por doze segundos.

A obtenção das microestruturas foi feita em um microscópio óptico com captura digital de imagem através de uma câmera digital e software apropriado.

As superfícies expostas do cordão de solda de dois corpos de prova (um de cada processo) foram avaliadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV operando a 20kV e 80 μ A), onde também se determinou a composição química semi-quantitativa do material através da técnica de espectroscopia por dispersão de energia (EDS).

Foi realizado ensaio de microdureza Vickers nas amostras de ambas as técnicas de soldagem para avaliação mecânica. A carga utilizada no ensaio foi de 0,1 kgf com um tempo de aplicação de 15 segundos, através de um dispositivo acoplado a um microscópio óptico.

Foram realizadas 9 medidas de microdureza em cada amostra, sendo 3 medidas na região de metal de base (MB), 3 na zona de fusão (ZF) e 3 na zona termicamente afetada (ZTA). Um total de 72 medidas de microdureza foram obtidas para o método TIG e 81 para o método de brasagem. Foi utilizado o software Excel versão 2007 (Microsoft) para realização dos cálculos da análise estatística utilizando a teoria de pequenas amostras de Student.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 O metal de base

As Figuras de 9 a 14, a seguir, apresentam os aspectos micrográficos obtidos para o metal de base da liga utilizada, submetida aos processos de soldagem por brasagem e TIG. As imagens das Figuras de 9 a 11 foram obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e as imagens das Figuras de 12 a 14 obtidas por microscopia óptica. As diferentes técnicas utilizadas apresentaram imagens microestruturais compatíveis e coerentes, o que validou a técnica de microscopia óptica realizada através de ataque químico à base de ácido fluorídrico.

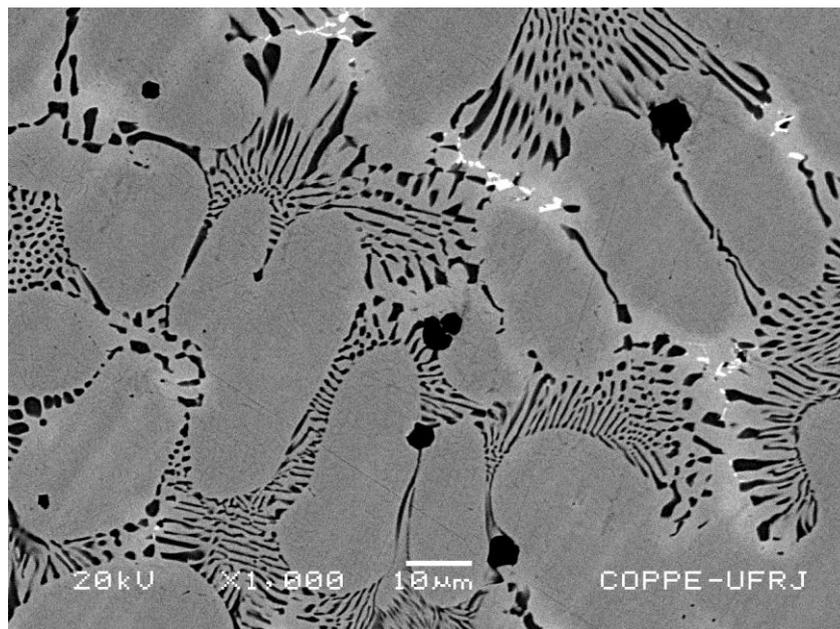


Figura 9 – Aspecto micrográfico do metal de base (MEV, módulo BSE, 1000x).

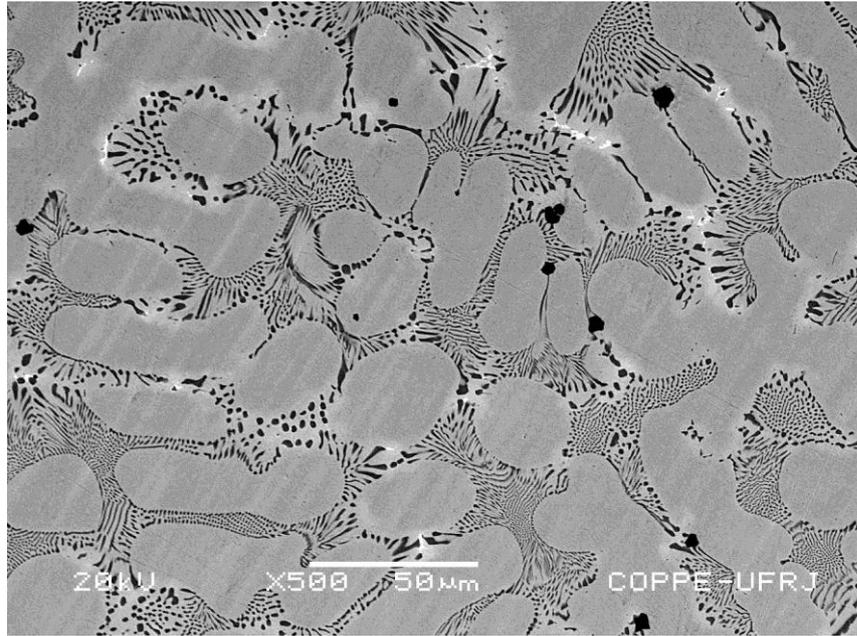


Figura 10 – Aspecto micrográfico do metal de base (MEV, módulo BSE, 500x).

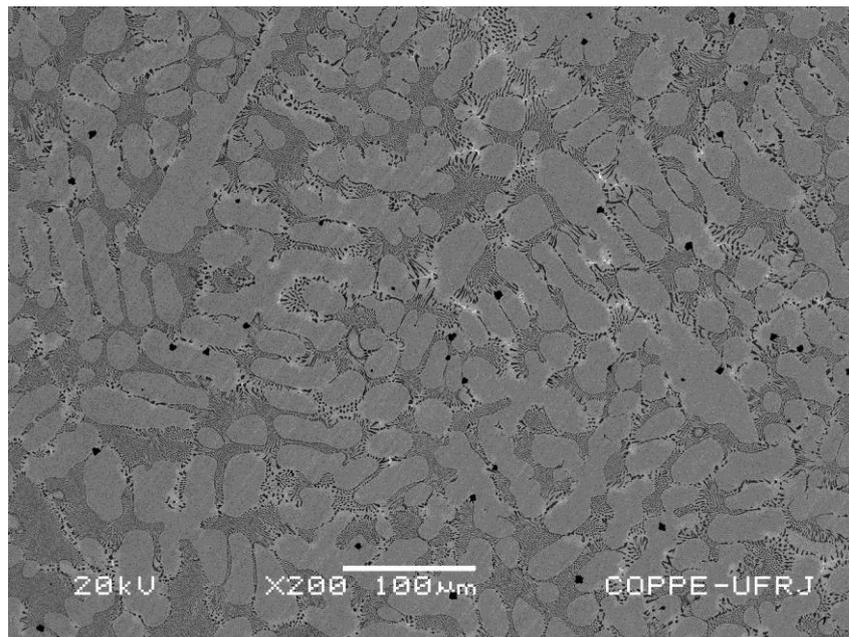


Figura 11 – Aspecto micrográfico do metal de base (MEV, módulo BSE, 200x).

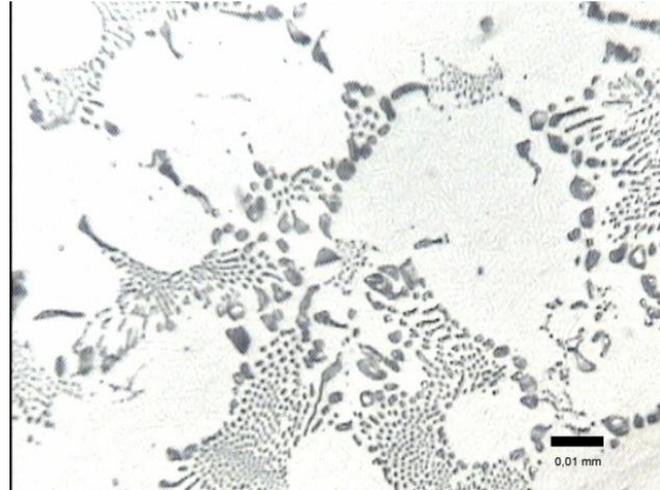


Figura 12 – Aspecto micrográfico do metal de base (Microscópio óptico, 800x): amostra 1.

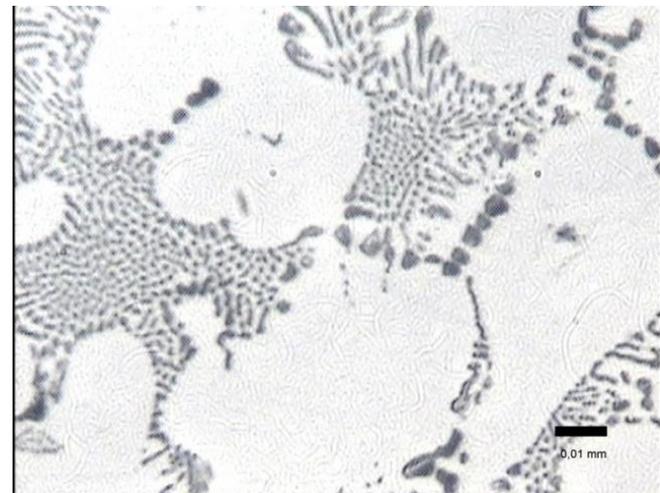


Figura 13 – Aspecto micrográfico do metal de base (Microscópio óptico, 800x): amostra 2.

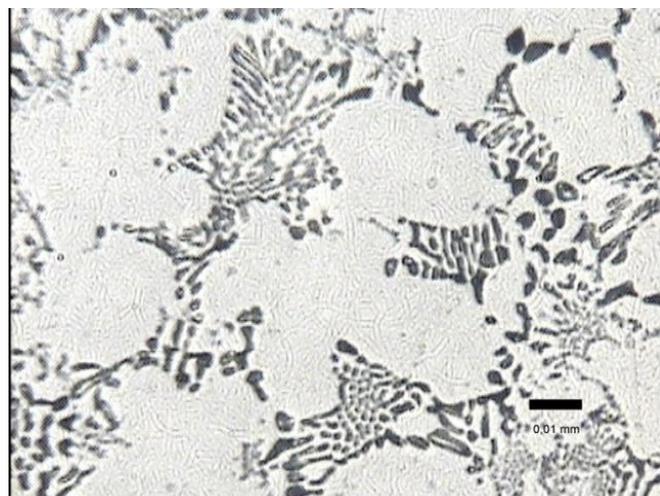


Figura 14 – Aspecto micrográfico do metal de base (Microscópio óptico, 800x) : amostra 3.

A microestrutura apresenta-se como uma matriz de uma solução sólida à base de níquel e cromo contendo nela um típico arranjo dendrítico de estrutura eutética. A liga contém ainda precipitados metálicos na região interdendrítica da estrutura eutética, conforme os resultados obtidos pela técnica de EDS e que são apresentados a seguir. Os mesmos resultados para aspectos microestruturais foram obtidos por Bauer et al. (2006) e Lin et al. (2008).

A análise química semiquantitativa de EDS foi realizada conforme exemplificado para as regiões 1, 2 e 3 na Figura 15 e os resultados obtidos são apresentados pelos respectivos espectros característicos apresentados na Figura 16:

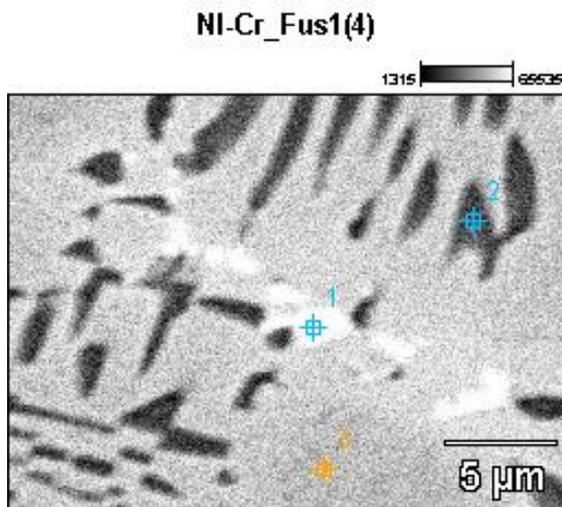


Image Name: NI-Cr_Fus1(4)

Accelerating Voltage: 20.0 kV

Magnification: 5000

Figura 15 – Regiões onde foram realizadas as análises químicas (EDS), que estão identificadas pelos pontos 1 (região mais clara, precipitado interdendrítico), 2 (região mais escura pertencente ao eutético de arranjo dendrítico) e 3 (matriz à base de níquel-cromo).

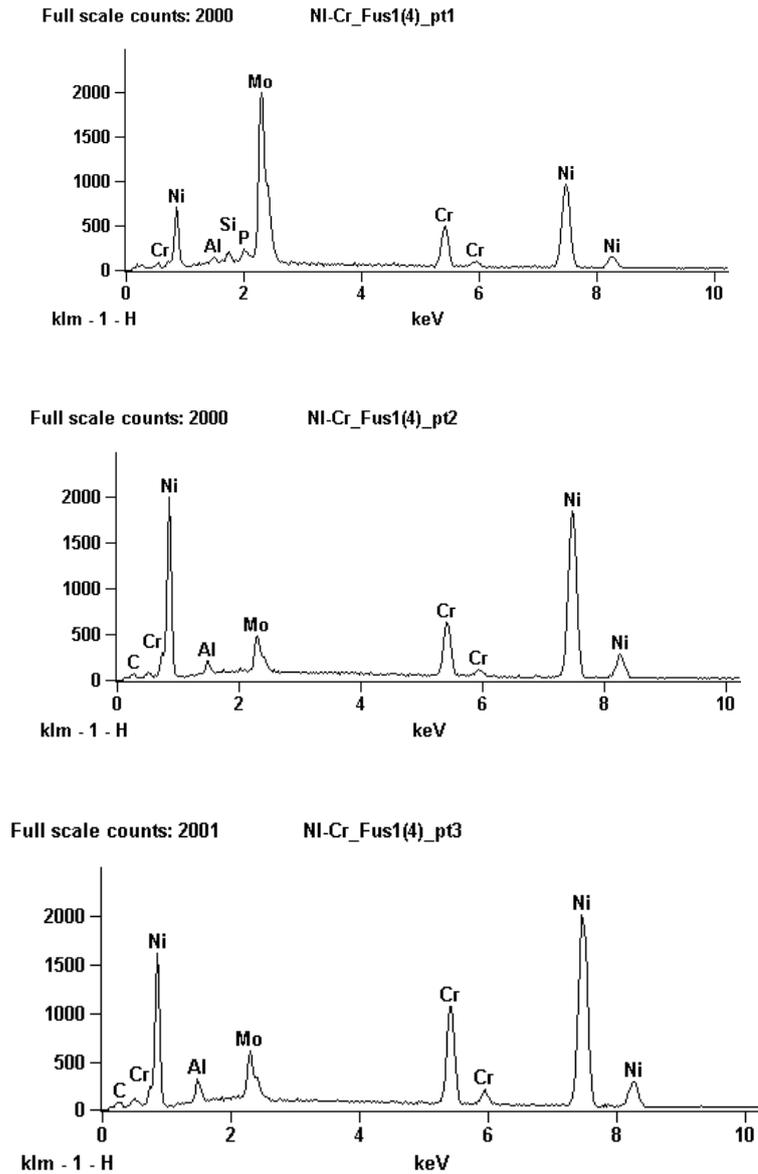


Figura 16 – Espectros de energias características para os elementos identificados nas regiões 1, 2 e 3 da Figura 15, respectivamente.

O EDS na posição 1 da Figura 15 (folha 40) revelou a presença significativa de molibdênio como um precipitado interdendrítico, conforme mostrado pelo pico característico de energia deste elemento. Já na posição 2, as presenças significativas de níquel e cromo confirmam que a fase eutética dendrítica, que se apresenta como um rendilhado que entremeia a matriz cinzenta (posição 3), também é formada por níquel e cromo.

A Figura 17 apresenta a imagem da região na qual foi feita a análise química (EDS) que mostra, através do seu espectro característico, que se trata de um precipitado de titânio (Figura 18).

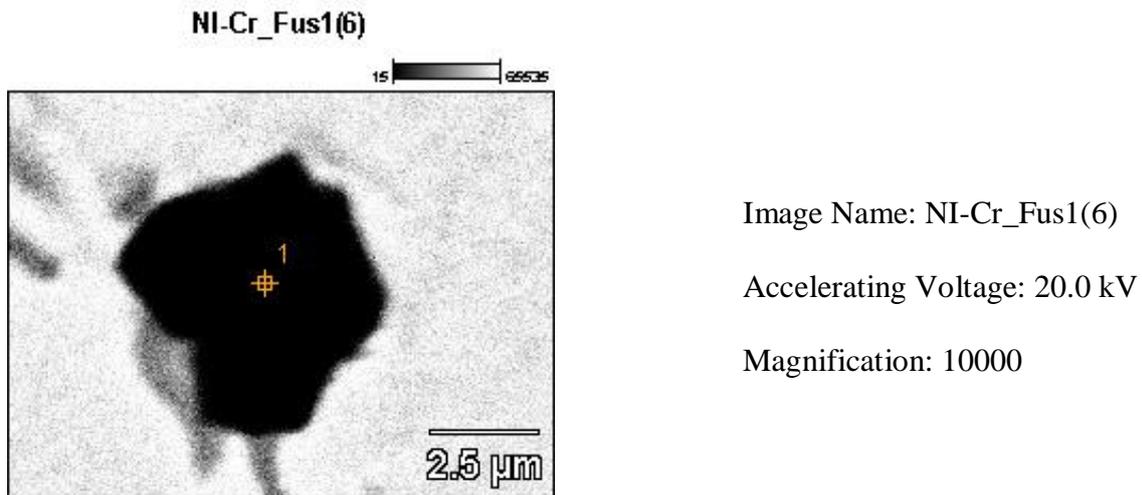


Figura 17 – Região onde foi realizada a análise química (EDS).

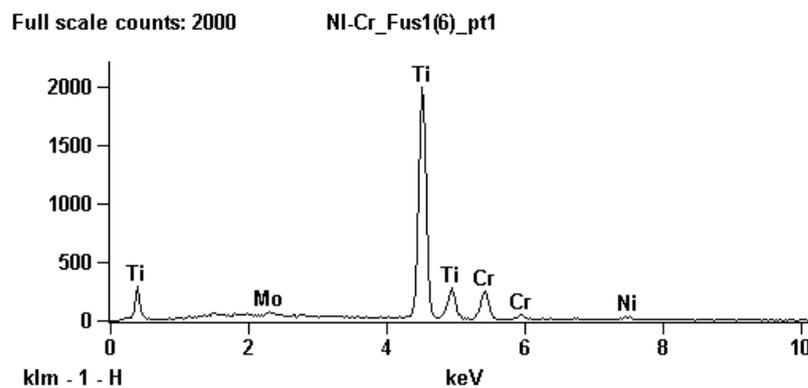


Figura 18 – Espectro de energias para os elementos identificados na região 1 da Figura 17.

A análise química semiquantitativa obtida através da técnica de EDS apresentou resultados compatíveis com a composição química quantitativa fornecida pelo fabricante da liga (61% Ni, 25% Cr, 10,5% Mo, 1,5% Si e Ti < 1%), muito embora a presença do silício não tenha sido detectada de modo significativo. A análise revelou também a presença de alumínio. Este elemento não consta nas informações fornecidas pelo fabricante para composição química da liga utilizada e pode ter sido incorporado pelo processo de fundição e posterior soldagem.

Uma análise do diagrama de predominância (ou de equilíbrio) binário da liga Ni-Cr (Figura 19) mostra que para uma liga contendo em torno de 61% de níquel, espera-se que o material possua uma matriz de níquel-cromo (rica em níquel) com a presença da fase eutética, o que está de acordo com as microestruturas obtidas, muito embora a liga em análise não seja binária.

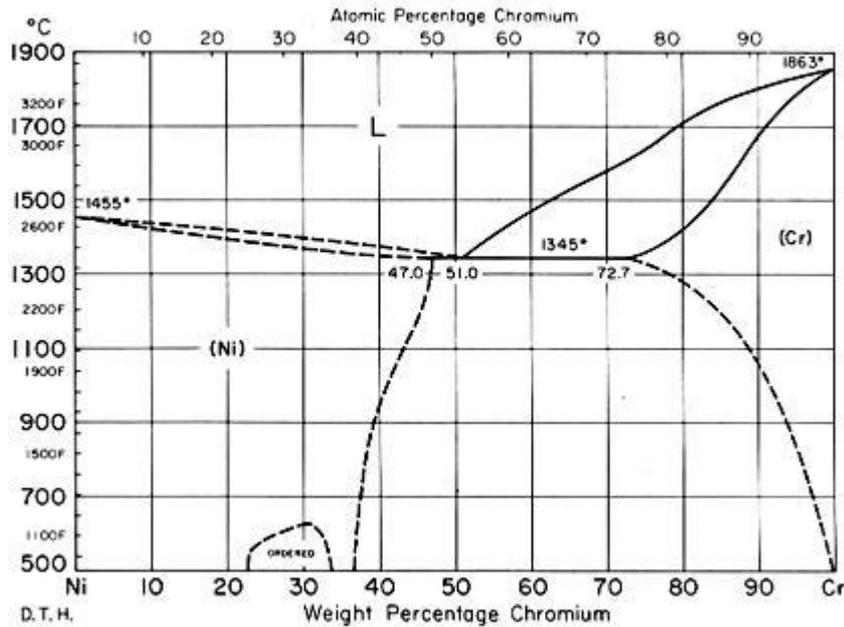


Figura 19 – Diagrama de predominância binário da liga Ni-Cr (www.infomet.com.br, consulta realizada em 3 de agosto de 2008).

4.2 Junta soldada por brasagem

As Figuras 20 e 21, a seguir, mostram a região de interface entre o metal de base e a zona de fusão de uma junta soldada pelo método de brasagem. O método de soldagem por brasagem caracteriza-se por não levar à fusão o metal de base, mas somente o metal de adição, que irá preencher a região de solda por capilaridade, pois possui menor temperatura de fusão. Podem ser observadas duas regiões bem distintas, o que caracteriza uma heterogeneidade entre as microestruturas do metal de base e da zona fundida (metal de adição). Tal heterogeneidade encontrada na junta soldada poderá tornar esta região mais frágil e suscetível à falha mediante as tensões oriundas do processo de mastigação.

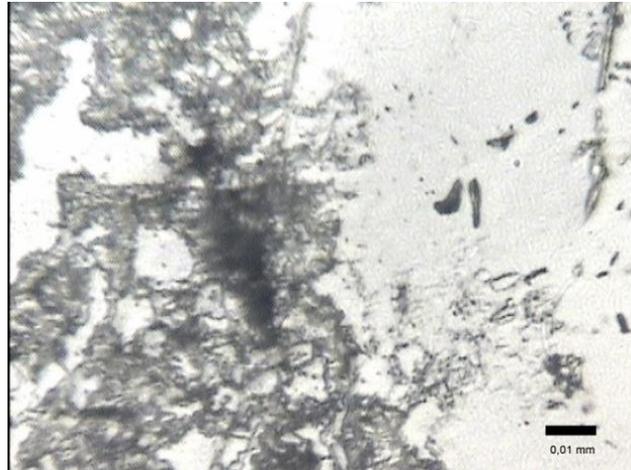


Figura 20 – Aspecto micrográfico da zona termicamente afetada (ZTA) da junta soldada por brasagem. Ataque: HF, aumento 800x: amostra 1.

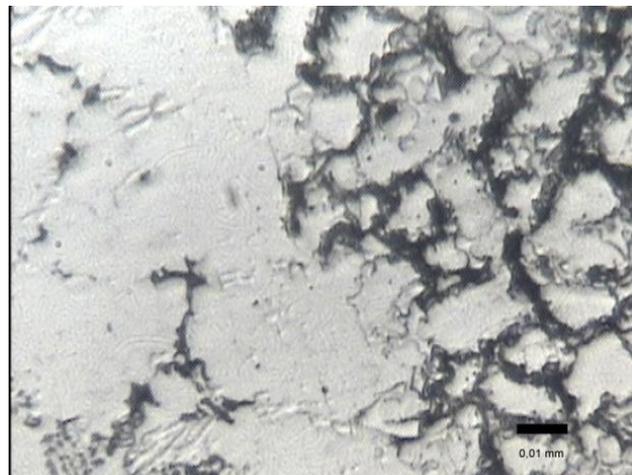


Figura 21 – Aspecto micrográfico da zona termicamente afetada (ZTA) da junta soldada por brasagem. Ataque: HF, aumento 800x: amostra 2.

As Figuras 22 e 23 apresentam os aspectos micrográficos obtidos da região do cordão de solda (zona de fusão).

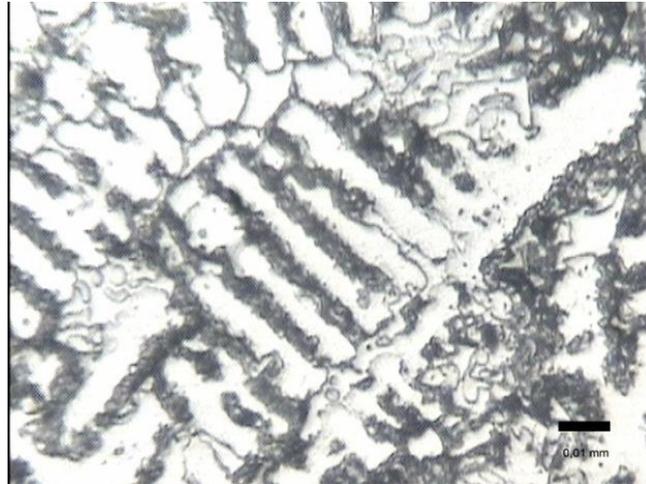


Figura 22 – Aspecto micrográfico da zona de fusão de juntas soldadas por brasagem. Ataque: HF, aumento 800x: amostra 1.

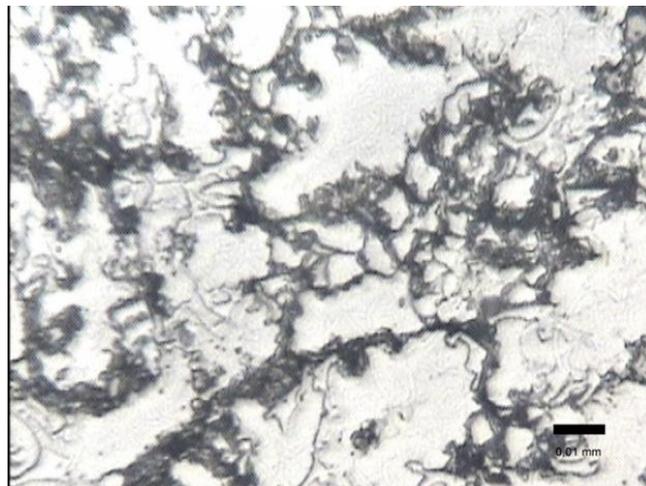


Figura 23 – Aspecto micrográfico da zona de fusão de juntas soldadas por brasagem. Ataque: HF, aumento 800x: amostra 2.

A morfologia dendrítica grosseira de uma segunda fase entremeando uma matriz à base de níquel–cromo foi observada para todas as amostras analisadas no método de brasagem. As grandes diferenças morfológicas entre o metal de base e as juntas soldadas podem favorecer as diferenças de distribuição de tensões internas, o que pode provocar o início de trincas e a sua propagação durante os carregamentos ao longo da utilização do dispositivo odontológico. (SAITO, 1972).

A análise química semiquantitativa por EDS foi realizada nas regiões do cordão de solda especificadas pelas Figuras 24, abaixo, e 26 (folha 47) e os resultados obtidos são apresentados pelos respectivos espectros característicos nas Figuras 25 (folha 47), 27 e 28 (folha 48). Muito embora a junta soldada pelo método brasagem tenha apresentado regiões distintas nas microestruturas, a análise química mostrou-se bastante semelhante aos resultados obtidos para o metal de base.

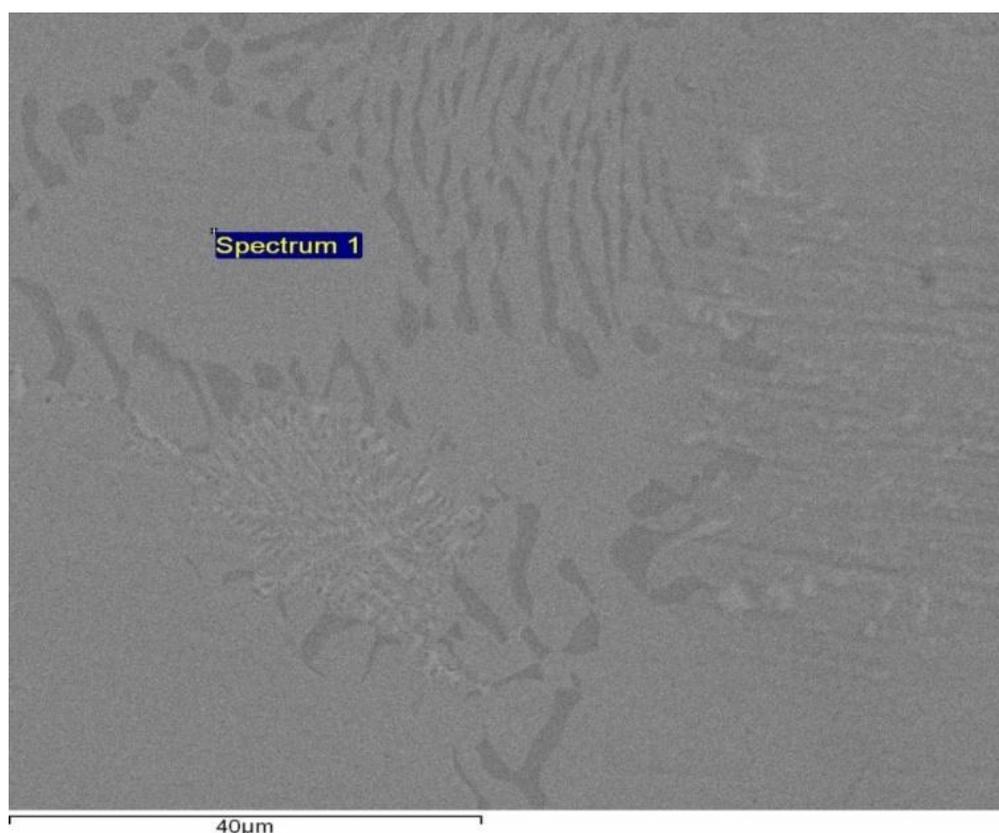


Figura 24 – Aspecto micrográfico da junta soldada por brasagem na região de fusão, MEV, módulo BSE. Spectrum 1: Região onde foi realizado o EDS.

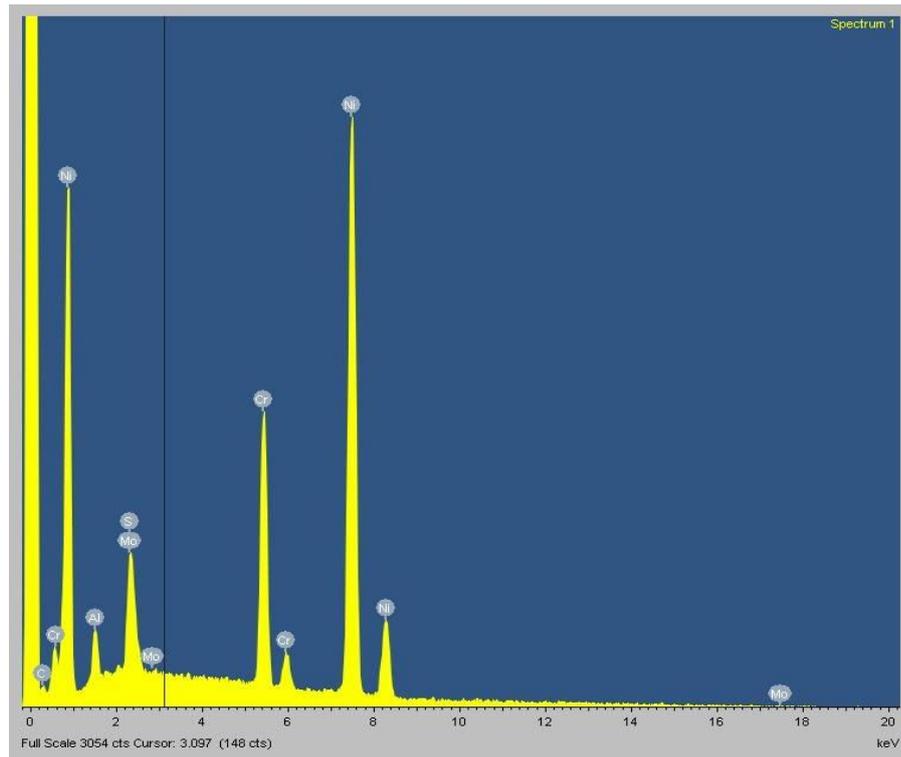


Figura 25 – Análise química semiquantitativa de EDS. Os picos de energia característicos dos elementos Ni, Cr, Mo e Al (pequena quantidade) foram identificados na região analisada conforme mostrado na Figura 24.

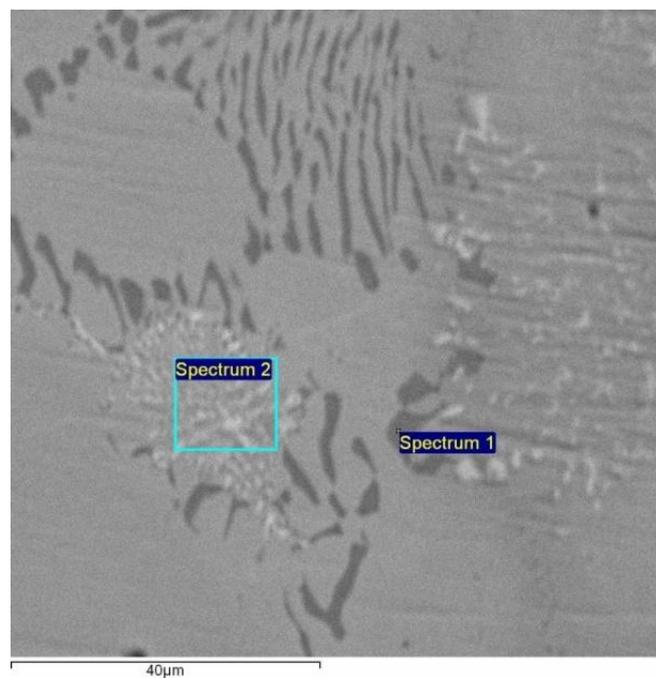


Figura 26 – Aspecto micrográfico da junta soldada por brasagem na região de fusão MEV, módulo BSE. Spectrum 1 e 2: Regiões onde foram realizados os testes de EDS.

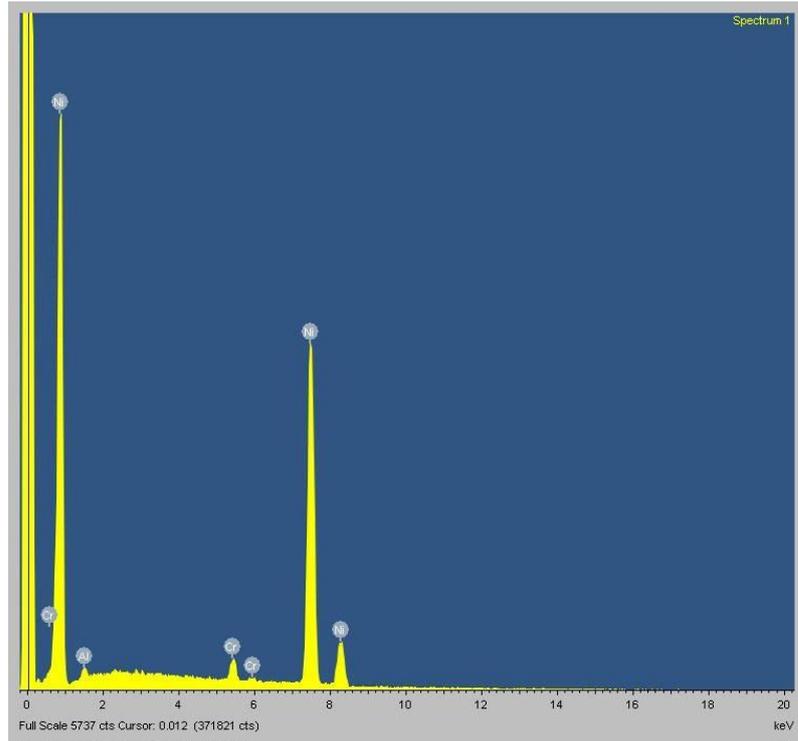


Figura 27 – Análise química semiquantitativa de EDS. Os picos de energia característicos dos elementos Ni, Cr e Al (pequena quantidade) foram identificados na região analisada, mostrada na Figura 26 como “spectrum 1”.

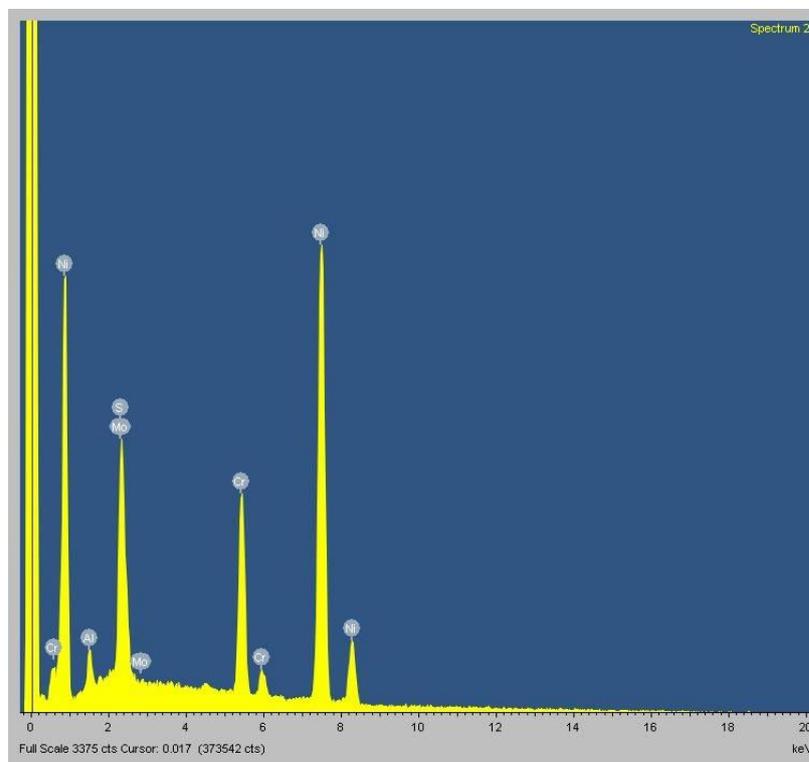


Figura 28 – Análise química semiquantitativa de EDS. Os picos de energia característicos dos elementos Ni, Cr, Mo e Al (pequena quantidade) foram identificados na região analisada, mostrada na Figura 26 como “spectrum 2”.

Os mesmos resultados para aspectos microestruturais foram obtidos por Souza et al. (2000), que investigaram uma liga de Ni-Cr soldadas com brasagem e à laser. Verificou-se que na brasagem o metal de base e o cordão de solda apresentaram microestruturas distintas. A região da solda por brasagem apresentou uma morfologia dendrítica grosseira com a presença de precipitados e porosidades.

Para comparar os resultados de microdureza nas três regiões dos corpos de prova foram preparados 27 dados amostrais. Por serem quantidades pequenas ($n < 30$) adotou-se a verificação por Teste de Hipótese para pequenas amostras por Distribuição t de Student (teoria das pequenas amostras – Callegari-Jacques (2006)). A Hipótese Nula para os dois tipos de soldagem era de que: H_0 - O metal de base teria o mesmo comportamento mecânico (microdureza) da zona termicamente afetada (de transição) e da zona de fusão. A análise estatística demonstrou que:

- $n = 27$, média = 83,501 e $s = 12,175$;
- nível de significância $\alpha = 0,01$;
- os valores críticos indicam que, para aceitação da H_0 : $\mu \geq - 2,479$;
- t (zona termicamente afetada) = -1,827 e;
- t (zona de fusão) = -18,787, tem-se que:

A Hipótese Nula pode ser rejeitada e pode-se afirmar que não há uniformidade no comportamento da microdureza entre a zona de fusão da solda e o metal de base.

O Gráfico 1, a seguir, apresenta os resultados obtidos para os testes de microdureza Vickers realizados nas juntas soldadas por brasagem.

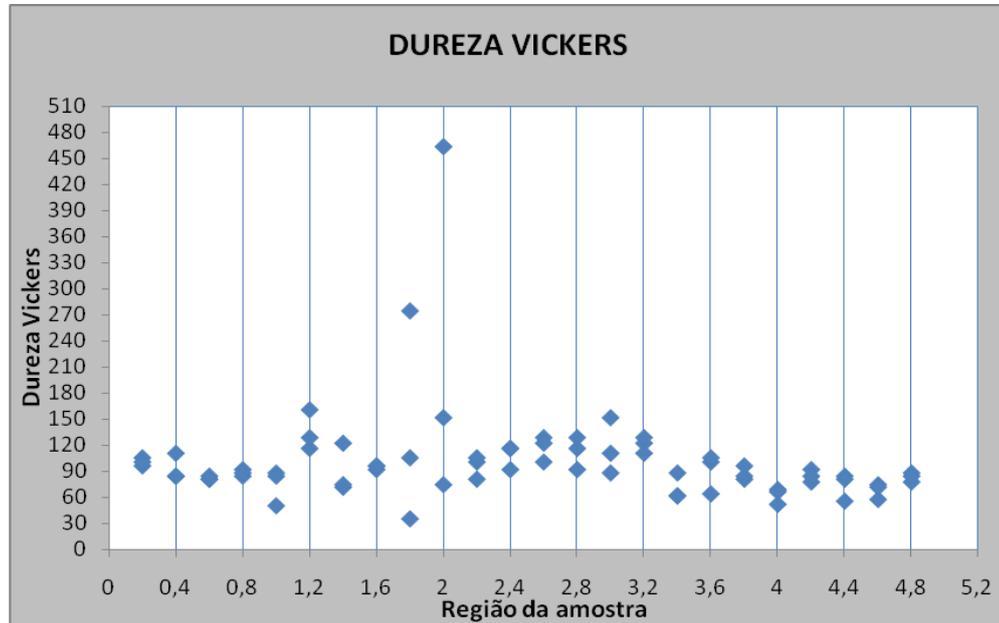


Gráfico 1 - Dureza Vickers das juntas soldadas por brasagem.

O eixo na posição horizontal representa a região da amostra onde foi realizado o ensaio de microdureza: de 0,0 a 0,8 e de 4,2 a 5,0 => metal de base; de 1,8 a 3,2 => zona de fusão (cordão de solda); de 1,0 a 1,6 e de 3,4 a 4,0 => Zona Termicamente Afetada (ZTA).

Alguns autores relatam que ensaios de microdureza Vickers realizados com carga inferior a 300 gf, podem prejudicar a medida das diagonais devido a uma recuperação elástica do material Paula (2007) e Elias e Lopes (2007). As medidas neste trabalho foram realizadas com carga de 100gf o que pode justificar os valores de microdureza um pouco abaixo dos valores encontrados por Bezzon et al. (1995), Souza et al. (2000), Bauer et al. (2006) e Lin et al. (2008).

O ensaio de microdureza Vickers revelou que, nos corpos de prova unidos pelo processo de brasagem, a dureza no metal de base é menor que na região fundida (cordão de solda). Souza et al. (2000) constataram um comportamento da dureza semelhante na região da junta soldada pelo mesmo processo e observaram que a maior dureza na solda foi devida à oxidação que ocorreu durante o processo de soldagem e a presença de precipitados, que podem ter causado um endurecimento por nessa região.

Essa variação da dureza do material pode proporcionar uma má distribuição das tensões, que poderá provocar o surgimento de trincas durante o carregamento ao longo da utilização do dispositivo odontológico. Este fato pode justificar os resultados de baixa resistência à fadiga apresentados por diversos estudos, entre eles os de S. D. Tylman e S. G. Tylman (1970), Mendonça (1988), Sobieralsky, Schelb e Prihoda (1990), Lima Verde e Stein (1994), Wiskkot et al. (1997), Mansano (2007).

O espaço utilizado para brasagem é um fator importante a ser considerado, pois permite que o metal de adição, quando fundido, escoe por capilaridade promovendo assim uma perfeita união ao metal de base. Vários estudos correlacionam este fator a alterações dimensionais e propriedades mecânicas de estruturas protéticas em diversas ligas. Neste estudo foi utilizado um espaço de 0,30mm (STACKHOUSE, 1967; TYLMAN, S. D.; TYLMAN, S. G., 1970; STADE; REISBICK; PRESTON, 1975; RASMUSSEN; GOODKIND; GERBERICH, 1979; WILLIS; NICHOLLS, 1980; MENDONÇA, 1988; TAYLOR et al., 1998; MANSANO, 2007).

4.3 Junta soldada pelo processo TIG

As imagens das Figuras 29 e 30, a seguir, apresentam os aspectos micrográficos da região da zona termicamente afetada (ZTA) das juntas soldadas pelo processo TIG. A região termicamente afetada pelo calor ou ZTA é aquela gerada no entorno entre o metal de base e a região que foi a fusão durante do processo de solda.

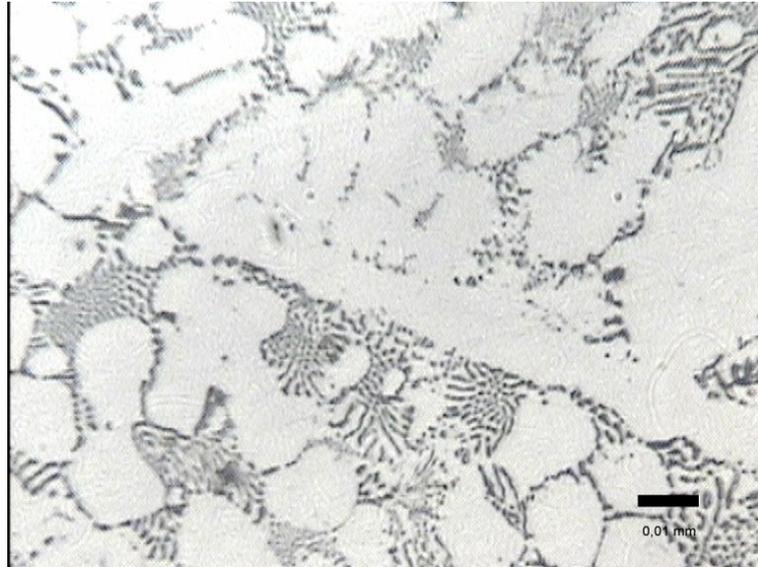


Figura 29 – Aspecto micrográfico da região próxima à solda (interface entre a zona de fusão e o metal de base). Ataque: ataque HF, aumento 800x: amostra 1.

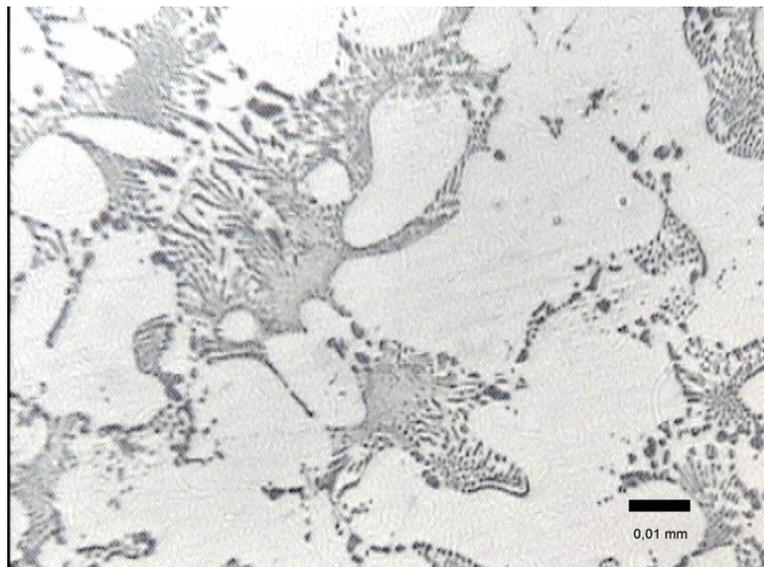


Figura 30 – Aspecto micrográfico da região próxima à solda (interface entre a zona de fusão e o metal de base). Ataque: ataque HF, aumento 800x: amostra 2.

As Figuras 31 e 32 mostram exemplos das microestruturas obtidas da zona fundida, isto é, da região do cordão de solda de uniões soldadas pelo processo TIG.

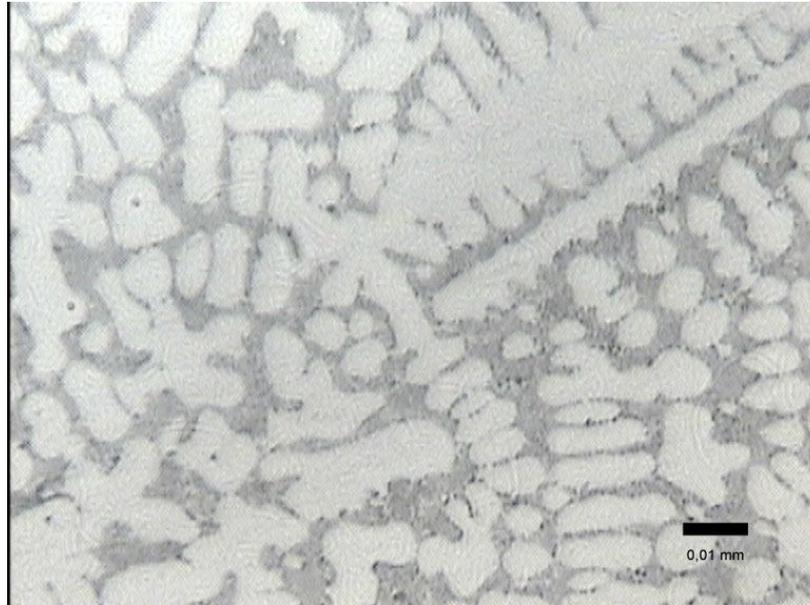


Figura 31 – Aspecto micrográfico da região de fusão de juntas soldadas pelo processo TIG. Ataque: HF, aumento 800x: amostra 1.

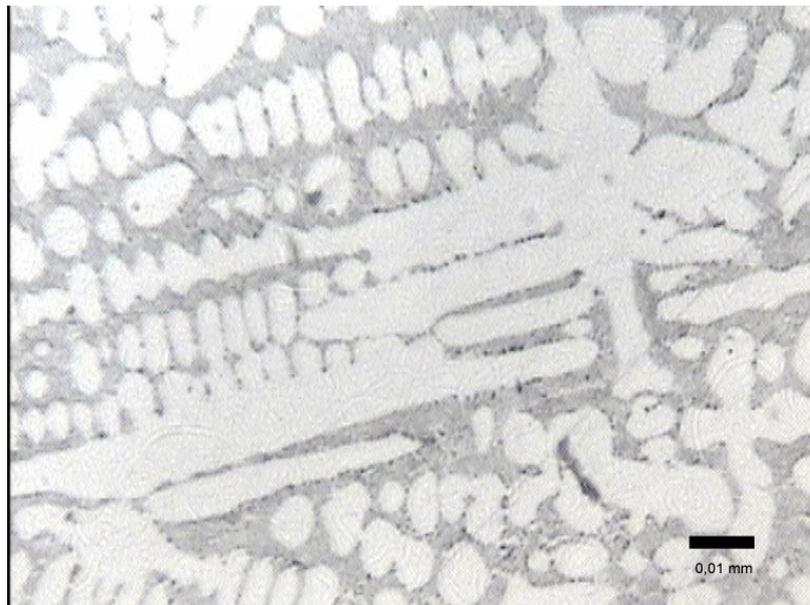


Figura 32 – Aspecto micrográfico da região de fusão de juntas soldadas pelo processo TIG. Ataque: HF, aumento 800x: amostra 2.

A imagem da Figura 33 mostra exemplo das microestruturas obtidas da mesma região, sendo que as duas anteriores foram obtidas por microscopia óptica e esta por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

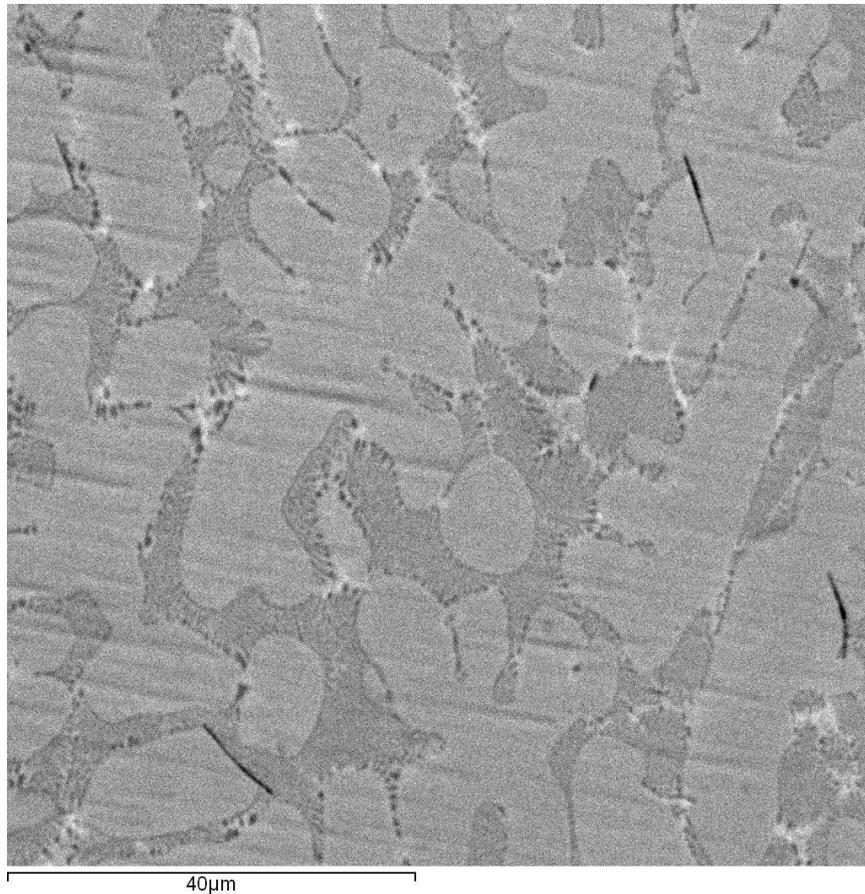


Figura 33 – Aspecto micrográfico da região de fusão da junta soldada pelo processo TIG. MEV, módulo BSE, 1000x.

A microestrutura da região onde ocorreu fusão apresenta-se como uma matriz de solução sólida à base de níquel-cromo contendo um arranjo dendrítico de estrutura eutética, com precipitados metálicos na região interdendrítica, semelhante ao identificado para a microestrutura do metal de base, porém, com o arranjo dendrítico mais refinado, isto é, em menor tamanho. Portanto, não foi observado na junta soldada pelo processo TIG, regiões com microestruturas distintas entre o metal de base e a região soldada, tal como foi observado na junta soldada pelo método da brasagem. A zona fundida da junta soldada pelo processo TIG manteve o formato (geometria) microestrutural do metal de base, mas com um arranjo dendrítico de estrutura eutética menor. Desta forma, percebe-se que a junta soldada TIG apresentou uma homogeneidade microestrutural, o que pressupõe uma melhor distribuição de

tensões internas, redução da concentração de tensões em locais preferenciais e, conseqüentemente, a não formação e a propagação de trincas / microtrincas no material.

A análise química semiquantitativa por EDS foi realizada em regiões de zona de fusão e estão especificadas na Figura 34, abaixo. Os resultados obtidos são apresentados pelos respectivos espectros característicos (Figuras 35 e 36, na folha seguinte). Esta análise apresentou resultados bastante semelhantes aos resultados obtidos para o metal de base.

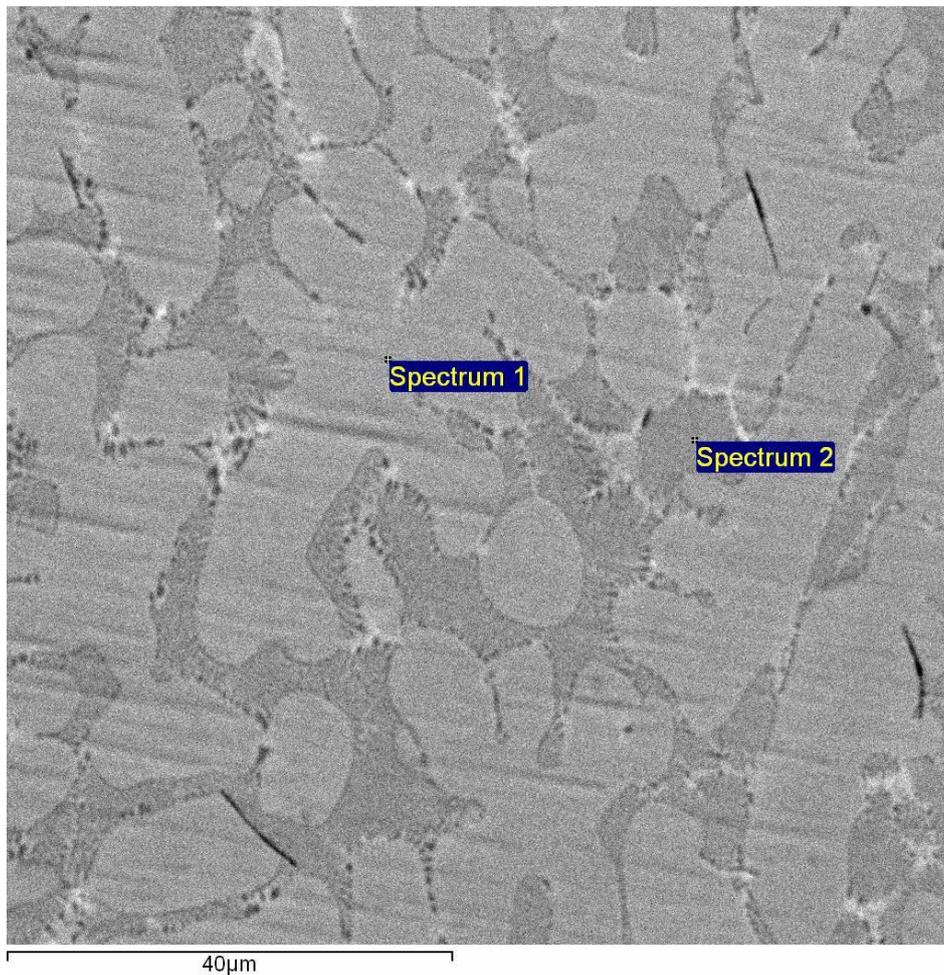


Figura 34 – Aspecto micrográfico da junta soldada pelo processo TIG na região de fusão, MEV, módulo BSE. Spectrum 1 e 2: Regiões onde foram realizados os testes de EDS.

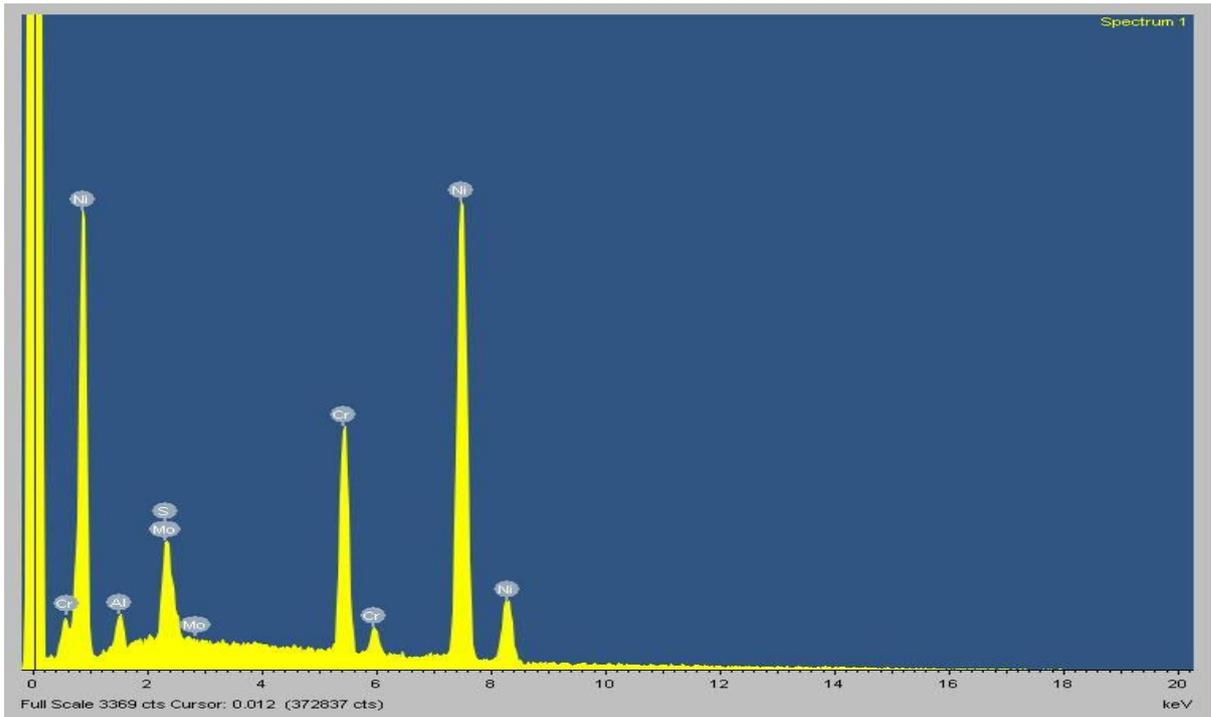


Figura 35 – Análise química semiquantitativa de EDS. Os picos de energia característicos dos elementos Ni, Cr, Mo e Al (pequena quantidade) foram identificados na região analisada conforme mostrado na Figura 34 como “spectrum 1”.

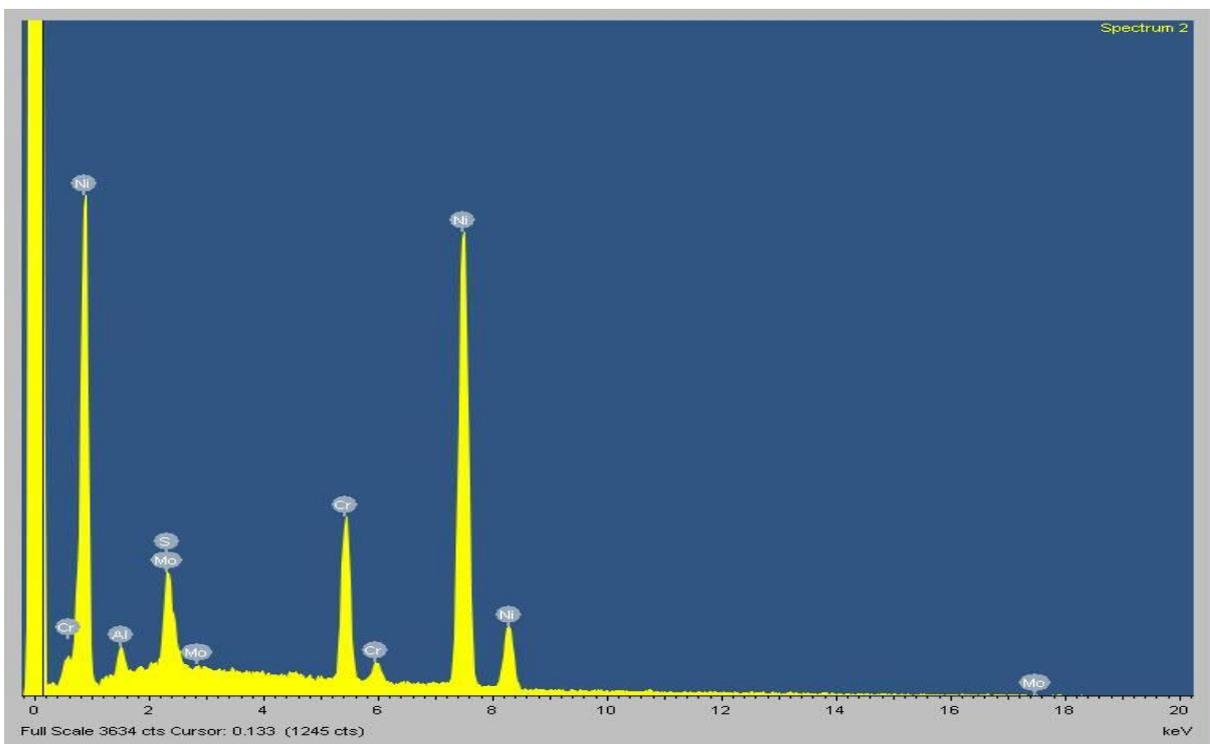


Figura 36 – Análise química semiquantitativa de EDS. Os picos de energia característicos dos elementos Ni, Cr, Mo e Al (pequena quantidade) foram identificados na região analisada conforme mostrado na Figura 34 como “spectrum 2”.

Para comparar os resultados de microdureza nas três regiões dos corpos de prova foram preparados 24 dados amostrais. Por serem quantidades pequenas ($n < 30$) adotou-se a verificação por Teste de Hipótese para pequenas amostras por Distribuição t de Student, conforme a teoria das pequenas amostras (CALLEGARI-JACQUES, 2006). A Hipótese Nula para a soldagem TIG era de que: H_0 - O metal de base teria o mesmo comportamento mecânico (microdureza) da zona termicamente afetada (de transição) e da zona de fusão. A análise estatística demonstrou que:

- $n = 24$, média = 74,607 e $s = 9,673$
- nível de significância $\alpha = 0,01$;
- os valores críticos para aceitação da H_0 : $-1,714 < \mu \leq 1,714$;
- t (zona termicamente afetada) = 1,498 e;
- t (zona de fusão) = -0,406, tem-se que:

A Hipótese Nula **não** pode ser rejeitada, isto é, não se pode afirmar que não há uniformidade no comportamento da microdureza entre a zona de fusão da solda, a zona termicamente afetada e o metal de base.

O Gráfico 2 apresenta os resultados obtidos para os testes de microdureza Vickers realizados nas juntas soldadas pelo método TIG.

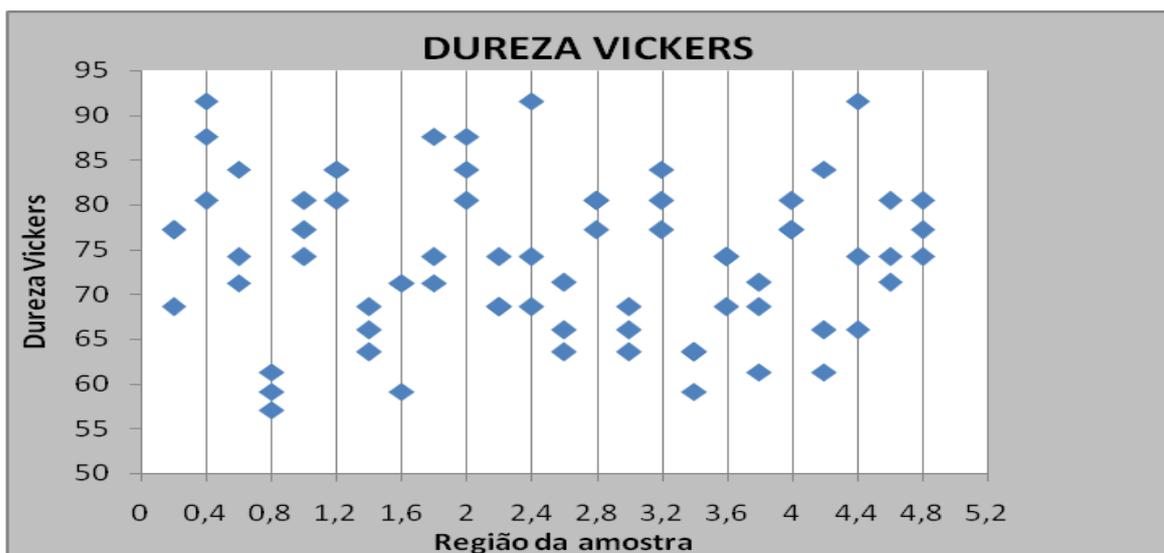


Gráfico 2 - Dureza Vickers das juntas soldadas pelo método TIG.

O eixo na posição horizontal representa a região da amostra onde foi realizado o ensaio de microdureza: de 0,0 a 0,8 e de 4,2 a 5,0 => metal de base; de 1,8 a 3,2 => zona de fusão (cordão de solda); de 1,0 a 1,6 e de 3,4 a 4,0 => Zona Termicamente Afetada (ZTA).

Conforme comentado anteriormente, os testes de microdureza Vickers foram realizados com carga de 100gf (inferior a 300 gf), o que pode ter permitido alguma recuperação elástica do material, prejudicando a medida das diagonais.

Os resultados de microdureza Vickers revelaram que, nos corpos de prova unidos pelo processo TIG, a dureza se comportou de forma razoavelmente constante entre a região do metal de base à zona de fusão (cordão de solda). Não foi observada uma variação significativa da dureza entre o metal de base e a região de fusão, o que corresponde a uma homogeneidade desta propriedade mecânica ao longo do corpo de prova. Esta homogeneidade favorece a uma boa distribuição de tensões ao longo do material, evitando a concentração de tensões e o surgimento de trincas (ASKELAND; PHULÉ, 2008).

5 CONCLUSÃO

De acordo com a metodologia aplicada neste estudo e a partir da análise estatística dos dados obtidos, pode-se concluir que:

a) em relação a microdureza,

- nas juntas unidas pelo processo de brasagem, a hipótese nula pode ser rejeitada e pode-se afirmar que não houve uniformidade no comportamento da microdureza entre a zona de fusão da solda e o metal de base;
- nas juntas soldadas pelo método TIG, a hipótese nula não pode ser rejeitada, isto é, não se pode afirmar que não houve uniformidade no comportamento da microdureza entre a zona de fusão da solda, a zona termicamente afetada e o metal de base.

b) em relação à microestrutura,

- o processo de união por brasagem gerou grandes diferenças microestruturais entre a zona de fusão e o metal de base, portanto a hipótese nula pode ser rejeitada;
- o processo de união TIG gerou uma microestrutura bem semelhante entre a zona de fusão e a do metal de base e acarretou naquela apenas um arranjo dendrítico de estrutura eutética mais refinado, portanto a hipótese nula não pode ser rejeitada.

c) em relação à composição química,

- a hipótese nula não pode ser rejeitada, pois a análise química por EDS revelou que não houve variação de composição química significativa entre o metal de base e a zona de fusão das juntas soldadas pelos processos TIG e brasagem.

REFERÊNCIAS

ANUSAVICE, K. J. **Phillips, materiais dentários**. 11. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

ARAÚJO, P. A. **Contribuição ao estudo das próteses parciais fixas obtidas por soldagem de elementos ou por fundição em um só bloco**. 1969.112 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, Bauru, 1969.

ASKELAND, D.R.; PHULÉ, P.P. **The science and engineering of materials**. 5th ed. Florence, KY: Cengage Learning, 2008.

BAUER, J.R.O. et al. Microhardness of Ni-Cr alloys under different casting conditions. **Brazilian Oral Research**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 40-46, Jan./Mar. 2006.

BEZZON, O.L. et al. Desenvolvimento de uma liga experimental de níquel-cromo para restaurações metalo-cerâmicas: ensaios de dureza e resistência mecânica. **Revista de Odontologia da Universidade de São Paulo**, Bauru, v. 9, n. 2, p. 145-149, abr./jun. 1995.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. São Paulo: Artmed, 2006. 255p.

ELIAS, C. N.; LOPES, H. P. **Materiais dentários: ensaios mecânicos**. São Paulo: Ed. Santos, 2007. 266p.

ENGEL, F. The three-quarter crown. **Dental Items of Interest**, Philadelphia, v. 67, n. 10, p. 1091-1101, Oct. 1945.

FUSAYAMA, T.; WAKUMOTO, S.; HOSODA, H. Accuracy of fixed partial dentures made by various soldering techniques and one piece casting. **Journal of Prosthetic Dentistry**, Saint Louis, v. 14, n. 2, p. 334-342, Mar. 1964.

GABRIELLI, A. C. R. **Emprego da soldagem TIG (Tungsten inert gas) em ligas contendo níquel, cromo, cobalto e titânio para uso odontológico**. 1999. 108 f. Dissertação (Mestrado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 1999.

HAWBOLT, E. B.; MACENTEE, M. I.; ZAHHEL, J.I. The tensile strength and appearance of solder joints in three base metal alloys made with high- and low-temperature solders. **Journal of Prosthetic Dentistry**, Saint Louis, v. 50, n. 3, p. 362-367, Sep. 1983.

JANUS, C.E.; TAYLOR, D.F.; HOLLAND, G.A. A microstructural study of solder connectors of low-gold casting alloys. **Journal of Prosthetic Dentistry**, Saint Louis, v. 50, n. 5, p. 657-663, Nov. 1983.

LIMA VERDE, M.A.; STEIN, R.S. Evaluation of soldered connectors of two base metal ceramic alloys. **Journal of Prosthetic Dentistry**, Saint Louis, v. 71, n. 4, p. 339-344, Apr. 1994.

LIN, H.-Y. et al. Metallurgical, surface, and corrosion analysis of Ni–Cr dental casting alloys before and after porcelain firing. **Dental Materials**, Kidlington, v. 24, n. 3, p. 378-385, Mar. 2008.

MANSANO, R.A.S. **Efeito de diferentes tipos de soldagem na resistência à tração de estruturas de Ni-Cr**. 2007. 79 f. Dissertação (Mestrado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, Bauru, 2007.

MENDONÇA, M. L. F. **Resistência à tração e ao dobramento e alterações dimensionais de uniões soldadas de ligas de metal básico (pré e pós-cerâmica)**. 1988. 98f. Tese (Doutorado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, Bauru, 1988.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A.Q. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2005.

NEO, T.K. et al. Mechanical properties of titanium connectors. **International Journal of Prosthodontics**, Lombard, US, v. 9, n. 4, p. 379-393, July/Ago. 1996.

NISHIMURA, F.; YAMAGUCHI, S.; WAKUMOTO, S. Accuracy of bridges made by various soldering techniques and one piece casting. **Bulletin of Tokyo Medical and Dental University**, Tokyo, v. 10, n. 104, p. 106-108, 1963.

PAULA, W.C.F. **Análise de superfícies de peças retificadas com o uso de redes neurais artificiais**. 2007. 151f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Materiais) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

RASMUSSEN, E.J.; GOODKIND, R.J.; GERBERICH, W.W. An investigation of tensile strength of dental solder joints. **Journal of Prosthetic Dentistry**, Saint Louis, v. 41, n. 4, p. 418-423, Apr. 1979.

ROCHA, R.; PINHEIRO, A. L. B.; VILLA VERDE, A. B. Flexural strength of pure Ti, Ni-Cr and Co-Cr alloys submitted to Nd:YAG laser or TIG welding. **Brazilian Dental Journal**, Ribeirão Preto, v. 17, n. 1, p. 20-23, 2006.

ROGGENSACK, M.; WALTER, M.H.; BONING, K.W. Studies on laser- and plasma-welded titanium. **Dental Materials**, Kidlington, v. 9, n. 2, p. 104-107, Mar. 1993.

SAITO, T. **Expansão e distorção durante a soldagem de “próteses fixas”, em função de materiais para modelo de soldagem, do espaço entre as partes a soldar e das fases em que se realizaram as medidas.** 1972. 124f. Tese (Doutorado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1972.

SCHIFFLEGER, B.E. et al. Comparison of accuracy of multiunit one-piece castings. **Journal of Prosthetic Dentistry**, Saint Louis, v. 54, n. 6, p. 770-776, Dec. 1985.

SILVEIRA, D. B. et al. Avaliação da conduta de técnicos em prótese dentária na confecção de próteses sobre implantes. **Brazilian Oral Research**, São Paulo, v. 19, p. 237, Sep. 2005. Supplement. Disponível em: <http://www.sbpqo.org.br/resumos/2005/Suplementos_2005.pdf>. Acesso em: 14 out. 2008.

SOBIERALSKI, J.A.; SCHELB, E.; PRIHODA, T.J. Torch versus oven preceramic soldering of a nickel–chromium alloy. **Quintessence International**, Berlin, v. 21, n. 9, p. 753-757, Sep. 1990.

SOUZA, P.C.R.D. et al. Soldagem na odontologia: estudo de uniões soldadas empregando-se laser e brasagem. **Revista da Associação Paulista Cirurgiões Dentistas**, São Paulo, v. 54, n. 6, p. 470-475, nov./dez. 2000.

STADE, E.H.; REISBICK, M.H.; PRESTON, J.D. Preceramic and postceramic solder joints. **Journal of Prosthetic Dentistry**, Saint Louis, v. 34, n. 5, p. 527-532, Nov. 1975.

STACKHOUSE, J. A. Assembly of dental units by soldering. **Journal of Prosthetic Dentistry**, Saint Louis, v. 18, n. 2, p. 131-139, Aug. 1967.

STEINMAN, R.R. Warpage produced by soldering with dental solders and gold alloys. **Journal of Prosthetic Dentistry**, Saint Louis, v. 4, n. 3, p. 384-394, May 1954.

TAGGART, W.H. A new and accurated method of making gold inlays. **Dental Cosmos**, Philadelphia, v. 49, n. 11, p. 1117-1121, Nov. 1907.

TAYLOR, J.C. et al. Effects of joints configuration for the arc welding of cast Ti-6Al-4V alloy rods in argon. **Journal of Prosthetic Dentistry**, Saint Louis, v. 79, n. 3, p. 291-297, Mar. 1998.

TYLMAN, S.D.; TYLMAN, S.G. **Theory and practice of crown and bridge prosthodontics**. 7th ed. Saint Louis: C.V. Mosby Co., 1970.

UENO, A. H. **Análise comparativa da alteração dimensional entre dois métodos de soldagem: arco elétrico com proteção de argônio (TIG) e maçarico, para uma liga para prótese metalocerâmica a base de Ni-Cr**. 2000. 66f. Tese (Doutorado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

WANG, R.R.; WELSCH, G.E. Joining titanium materials with tungsten inert gas welding, laser welding, and infrared brazing. **Journal of Prosthetic Dentistry**, Saint Louis, v. 74, n. 5, p. 521-530, Nov. 1995.

WASKEWICZ, G.A.; OSTROWSKI, J.S.; PARKS, V.J. Photoelastic analysis of stress distribution transmitted from a fixed prosthesis attached to osseointegrated implants. **International Journal of Oral & Maxillofacial Implants**, Lombard, US, v. 9, n. 4, p. 405-411, July/Aug. 1994.

WATANABE, I.; TOPHAM, D.S. Laser welding of cast titanium and dental alloys using argon shielding. **Journal of Prosthodontics: implant, esthetic and reconstructive dentistry**, Philadelphia, v. 15, n. 2, p. 102-107, Mar. 2006.

WILLIS, L.M.; NICHOLLS, J.I. Distortion in dental soldering as affected by gap distance. **Journal of Prosthetic Dentistry**, Saint Louis, v. 43, n. 3, p. 272-278, Mar.1980.

WISKKOT, H.W.A. et al. Mechanical and elemental characterization of solder joints and welds using a gold-palladium alloy. **Journal of Prosthetic Dentistry**, Saint Louis, v. 77, n. 6, p. 607-616, June 1997.

APÊNDICE A – Valores de microdureza – Brasagem

Área	Dureza média
MB	83,501
ZTA	87,782
ZF	127,520

CP	Área	d (mm)	Dureza (HV)	Dureza média (HV)
AMOSTRA 1	MB	0,042	105,125	100,401
	MB	0,044	95,785	
	MB	0,043	100,292	
	ZTA	0,046	87,637	73,807
	ZTA	0,061	49,836	
	ZTA	0,047	83,947	
	ZF	0,073	34,798	138,081
	ZF	0,042	105,125	
ZF	0,026	274,320		
AMOSTRA 2	MB	0,041	110,315	92,737
	MB	0,047	83,947	
	MB	0,047	83,947	
	ZTA	0,04	115,900	134,912
	ZTA	0,034	160,415	
	ZTA	0,038	128,421	
	ZF	0,035	151,380	229,719
	ZF	0,02	463,600	
ZF	0,05	74,176		
AMOSTRA 3	MB	0,048	80,486	81,640
	MB	0,047	83,947	
	MB	0,048	80,486	
	ZTA	0,051	71,296	89,130
	ZTA	0,039	121,920	
	ZTA	0,05	74,176	
	ZF	0,048	80,486	95,301
	ZF	0,043	100,292	
ZF	0,042	105,125		
AMOSTRA 4	MB	0,045	91,575	87,720
	MB	0,047	83,947	
	MB	0,046	87,637	
	ZTA	0,044	95,785	94,382
	ZTA	0,045	91,575	
	ZTA	0,044	95,785	
	ZF	0,04	115,900	107,792
	ZF	0,04	115,900	
ZF	0,045	91,575		

(Continua)

AMOSTRA 5	MB	0,049	77,234	84,252
	MB	0,045	91,575	
	MB	0,047	83,947	
	ZTA	0,055	61,302	70,081
	ZTA	0,046	87,637	
	ZTA	0,055	61,302	
	ZF	0,038	128,421	116,878
	ZF	0,043	100,292	
	ZF	0,039	121,920	
AMOSTRA 6	MB	0,047	83,947	73,186
	MB	0,048	80,486	
	MB	0,058	55,125	
	ZTA	0,054	63,594	89,670
	ZTA	0,043	100,292	
	ZTA	0,042	105,125	
	ZF	0,04	115,900	111,965
	ZF	0,038	128,421	
	ZF	0,045	91,575	
AMOSTRA 7	MB	0,05	74,176	67,516
	MB	0,057	57,076	
	MB	0,051	71,296	
	ZTA	0,048	80,486	86,740
	ZTA	0,047	83,947	
	ZTA	0,044	95,785	
	ZF	0,041	110,315	116,444
	ZF	0,035	151,380	
	ZF	0,046	87,637	
AMOSTRA 8	MB	0,049	77,234	82,940
	MB	0,046	87,637	
	MB	0,047	83,947	
	ZTA	0,052	68,580	62,036
	ZTA	0,053	66,016	
	ZTA	0,06	51,511	
	ZF	0,039	121,920	120,219
	ZF	0,038	128,421	
	ZF	0,041	110,315	
AMOSTRA 9	MB	0,045	91,575	81,119
	MB	0,048	80,486	
	MB	0,051	71,296	
	ZTA	0,044	95,785	89,282
	ZTA	0,048	80,486	
	ZTA	0,045	91,575	
	ZF	0,038	128,421	111,279
	ZF	0,042	105,125	
	ZF	0,043	100,292	

(Conclusão)

APÊNDICE B – Valores de microdureza - TIG

Área	Dureza média
MB	74,607
ZTA	71,649
ZF	75,409

CP	Área	d (mm)	Dureza (HV)	Dureza média (HV)
AMOSTRA 1	MB	0,052	68,580	74,350
	MB	0,049	77,234	
	MB	0,049	77,234	
	ZTA	0,05	74,176	77,299
	ZTA	0,048	80,486	
	ZTA	0,049	77,234	
	ZF	0,051	71,296	77,703
	ZF	0,046	87,637	
	ZF	0,05	74,176	
AMOSTRA 2	MB	0,046	87,637	86,566
	MB	0,045	91,575	
	MB	0,048	80,486	
	ZTA	0,048	80,486	82,794
	ZTA	0,047	83,947	
	ZTA	0,047	83,947	
	ZF	0,048	80,486	84,024
	ZF	0,047	83,947	
	ZF	0,046	87,637	
AMOSTRA 3	MB	0,047	83,947	76,473
	MB	0,05	74,176	
	MB	0,051	71,296	
	ZTA	0,054	63,594	66,063
	ZTA	0,052	68,580	
	ZTA	0,053	66,016	
	ZF	0,052	68,580	70,445
	ZF	0,05	74,176	
	ZF	0,052	68,580	
AMOSTRA 4	MB	0,057	57,076	59,170
	MB	0,056	59,133	
	MB	0,055	61,302	
	ZTA	0,051	71,296	67,241
	ZTA	0,051	71,296	
	ZTA	0,056	59,133	
	ZF	0,052	68,580	78,110
	ZF	0,045	91,575	
	ZF	0,05	74,176	

(Continua)

AMOSTRA 5	MB	0,053	66,016	70,422
	MB	0,055	61,302	
	MB	0,047	83,947	
	ZTA	0,054	63,594	62,107
	ZTA	0,056	59,133	
	ZTA	0,054	63,594	
	ZF	0,054	63,594	66,969
	ZF	0,051	71,296	
	ZF	0,053	66,016	
AMOSTRA 6	MB	0,053	66,016	77,256
	MB	0,05	74,176	
	MB	0,045	91,575	
	ZTA	0,05	74,176	72,311
	ZTA	0,05	74,176	
	ZTA	0,052	68,580	
	ZF	0,049	77,234	79,402
	ZF	0,048	80,486	
	ZF	0,048	80,486	
AMOSTRA 7	MB	0,05	74,176	75,319
	MB	0,051	71,296	
	MB	0,048	80,486	
	ZTA	0,051	71,296	67,059
	ZTA	0,055	61,302	
	ZTA	0,052	68,580	
	ZF	0,053	66,016	66,063
	ZF	0,054	63,594	
	ZF	0,052	68,580	
AMOSTRA 8	MB	0,049	77,234	77,299
	MB	0,048	80,486	
	MB	0,05	74,176	
	ZTA	0,048	80,486	78,318
	ZTA	0,049	77,234	
	ZTA	0,049	77,234	
	ZF	0,047	83,947	80,556
	ZF	0,048	80,486	
	ZF	0,049	77,234	

(Conclusão)

APÊNDICE C - Soldagem TIG

Características do processo tig:

- Alta estabilidade do arco elétrico, produz soldas com boa aparência e acabamento, que exigem pouca ou nenhuma limpeza após a operação;
- Possibilidade de usar o próprio metal de base como metal de adição;
- Possibilidade de soldagem de peças sem metal de adição;
- Excelente controle da energia transferida para a peça, devido ao controle independente da fonte de calor, tornando o processo adequado para a soldagem de peças de pequena espessura;
- Baixa produtividade;
- É aplicável em uma vasta gama de materiais (aços-carbono, aços liga, aços inoxidáveis, metais refratários, ligas de Al, Be, Cu, Ni, Ti, Zr, etc...).

A Figura 37 mostra um esquema de soldagem TIG e a Figura 38 mostra o equipamento básico necessário para realizar uma solda TIG.

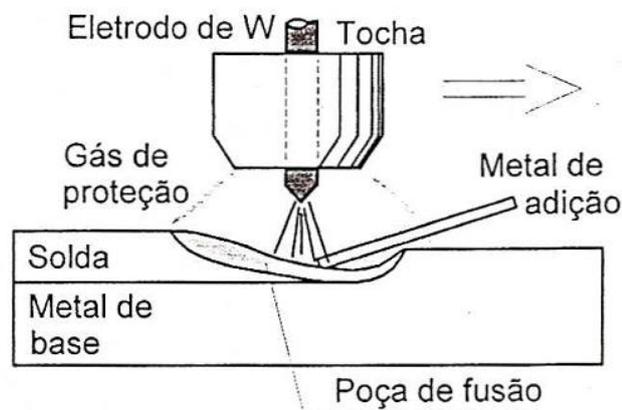


Figura 37 – Esquema de soldagem TIG (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE 2005).

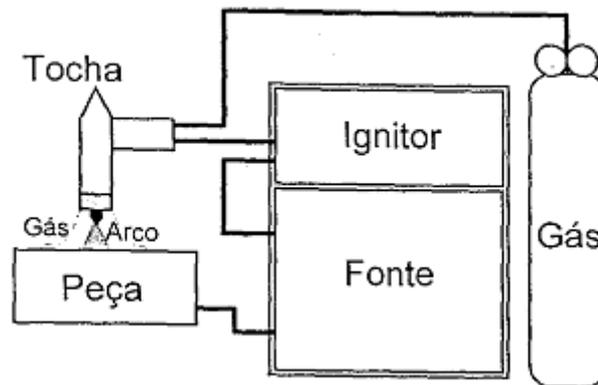


Figura 38 – Equipamento básico para a soldagem TIG (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE 2005).

A Tabela 4 mostra algumas aplicações típicas do gás de proteção e do tipo de corrente.

Tabela 4 – Gases de proteção e tipos de corrente usuais na soldagem de diferentes ligas – Marques, Modenesi e Bracarense (2005).

Material	Espessura (mm)	Gás de proteção e tipo de corrente*	
		Soldagem manual	Soldagem mecanizada
Alumínio e suas ligas	< 3,2	Ar, CA	Ar, CA ou He, CC-
	> 3,2	Ar, CA	Ar-He, CA ou He, CC-
Aço Carbono	< 3,2	Ar, CC-	Ar, CC-
	> 3,2	Ar, CC-	Ar-He, CC- ou He, CC-
Aço Inoxidável	< 3,2	Ar, CC-	Ar-He, CC- ou Ar-H ₂ , CC-
	> 3,2	Ar-He, CC-	He CC-
Níquel e suas ligas	< 3,2	Ar, CC-	Ar-He, CC- ou He, CC-
	> 3,2	Ar-He, CC-	He CC-
Cobre e suas ligas	< 3,2	Ar-He, CC-	Ar-He, CC-
	> 3,2	He, CC-	He CC-
Titânio e suas ligas	< 3,2	Ar, CC	Ar, CC- ou Ar-He, CC
	> 3,2	Ar-He, CC-	He CC-

* Misturas Ar-He com até 75% He e Ar-H₂ com até 15% H₂. CA - corrente alternada, CC- corrente contínua, eletrodo negativo

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)