

Tatiana Diniz Andrade Weinreich

**ESTUDO DA SOLDAGEM A LASER EM PRÓTESES
ODONTOLÓGICAS**

Faculdade de Odontologia
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte
2011

Tatiana Diniz Andrade Weinreich

**ESTUDO DA SOLDAGEM A LASER EM PRÓTESES
ODONTOLÓGICAS**

Monografia apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Prótese Dentária.

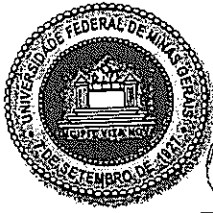
Orientador: Professor Wellington Márcio dos Santos Rocha.

Faculdade de Odontologia- UFMG
Belo Horizonte

2011

W424s Weinreich, Tatiana Diniz Andrade
2011 Soldagem a laser em prótese odontológica / Tatiana Diniz Andrade
MP Weinreich. 2011.
48 f.: il.
Orientador: Wellington Márcio dos Santos Rocha
Monografia (Especialização)- Universidade Federal de Minas Gerais,
Faculdade de Odontologia.
1. Soldagem em odontologia – Utilização. 2. Lasers – Utilização. I.
Rocha, Wellington Márcio dos Santos. II. Universidade Federal de Minas
Gerais. Faculdade de Odontologia. III. Título.

BLACK D21

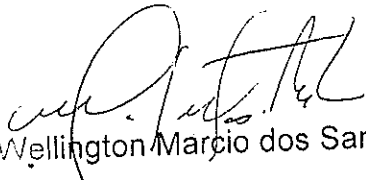


UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Odontologia
Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Odontologia
Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha
Belo Horizonte - MG - 31.270-901
Tel: (31) 3499 2470 Fax: (31) 3499 2472
Email: posgrad@odonto.ufmg.br




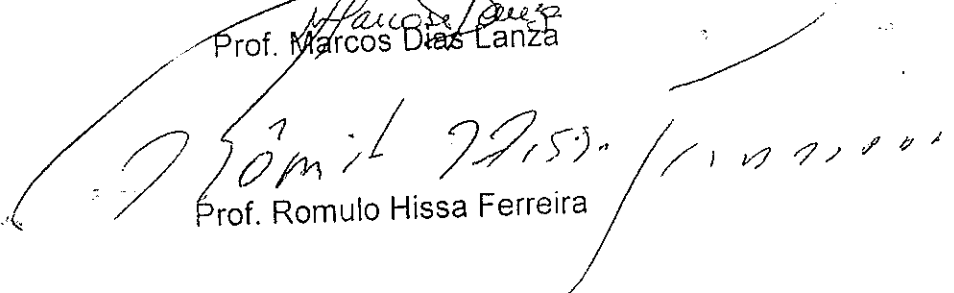
Ata da Comissão Examinadora para julgamento de Monografia da aluna **TATIANA DINIZ ANDRADE**, do Curso de Especialização em Prótese Dentária, realizado no período de 08/03/2010 a 28/01/2012.

Aos 19 (dezenove) dias do mês de dezembro de 2011, às 08:00 horas, na sala de Pós-Graduação (3403) da Faculdade de Odontologia, reuniu-se a Comissão Examinadora, composta pelos professores Wellington Marcio dos Santos Rocha (orientador), Marcos Dias Lanza e Romulo Hissa Ferreira. Em sessão pública foram iniciados os trabalhos relativos à Apresentação da Monografia intitulada "**Estudo da Soldagem a Laser em Prótese Dentária e Implantossuportada**". Terminadas as arguições, passou-se à apuração final. A nota obtida pela aluna foi 80 (oitenta) pontos, e a Comissão Examinadora decidiu pela sua aprovação. Para constar, eu, Wellington Marcio dos Santos Rocha, Presidente da Comissão, lavrei a presente ata que assino, juntamente com os outros membros da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 19 de dezembro de 2011.


Prof. Wellington Marcio dos Santos Rocha

Orientador


Prof. Marcos Dias Lanza


Prof. Romulo Hissa Ferreira

AGRADECIMENTOS

A DEUS, minha fonte para a vida, meu porto seguro. Obrigada por mais essa conquista, pois sem o Senhor nada seria possível!

A querida Nossa Senhora Aparecida, minha madrinha e intercessora.

Ao meu marido Daniel, Meu Tudo, meu companheiro de toda a vida. Obrigada pelos exemplos de amor, compreensão, paciência e respeito. Graças a você esse sonho se tornou realidade! Te amo eternamente!

A minha querida família. Meus pais Ildeu e Claudete, sinônimos de amor, entrega e fé. Meu irmão, Ildeu Jr, pelo exemplo e ensinamentos. A Tê, minha preciosa irmã. Meus cunhados Aninha e Caio e meus amados sobrinhos, Pedro, Paulo e Lucas, presentes de DEUS.

A família Weinreich, família de coração.

Ao Rafinha, meu afilhado, minha jóia preciosa.

As minhas amadas avós, Tereza, Lora e Fanny, fofuras da minha vida!

Aos colegas do Curso de Especialização, pelos momentos de partilha e de descontração. Em especial a Debinha e a Fabi, queridas amigas.

Ao meu orientador, Wellington, pelo apoio e confiança.

Aos professores do curso de especialização, pelos ensinamentos. Em especial ao Rômulo, pela paciência, competência e generosidade.

Ao mestre, Prof. Lanza, referência ímpar na odontologia.

Ao Laboratório Clélio, especialmente na figura do Clélio, pela disponibilidade e ensinamentos técnicos.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão de literatura sobre a soldagem a laser em próteses odontológicas. A soldagem a laser passou a ser utilizada na odontologia para a confecção de próteses fixas a partir da década de 70. No Brasil, a soldagem por laser foi introduzida em 1997 e tem sido empregada em substituição aos demais processos de soldagem, principalmente ao de brasagem, na confecção de próteses odontológicas. Cada liga apresenta características diferentes, que irão influenciar no resultado do processo de soldagem como também os parâmetros físicos da máquina a laser. O presente trabalho irá descrever as vantagens e desvantagens da soldagem a laser, suas indicações e limitações.

Palavras Chaves: Soldagem a Laser, Prótese.

LASER WELDING DENTAL PROSTHESIS

ABSTRACT

The objective of this work is to present a literature review of laser welding on dental prosthesis. The laser welding is becoming increasingly used in dentistry for making fixed prosthesis since the 70's. In Brazil, the laser welding was introduced in 1997 and has been used to replace other welding processes, especially at the soldering in the manufacture of dental prostheses. Each alloy has different attributes that will influence the outcome of the welding process as well as the physical parameters of the laser machine. This work will describe the advantages and disadvantages of laser welding, its indications and limitations.

Keywords: Laser Welding, Prosthesis

LISTA DE FIGURAS

FIGURA I - Junta soldada, mostrando o cordão de solda (CS), a zona de ligação (ZL) e a zona afetada pelo calor (ZAC). Fonte: SOUZA, <i>et al.</i> , 2000	12
FIGURA II - Soldagem por Fusão. Fonte: Fundamentos de Soldagem UFMG	15
FIGURA III - a) Soldagem a Laser. Fonte: CAVALCANTE, Luisa <i>et al.</i> , 2009	16
FIGURA III - b) Aspecto das barras soldadas aos pilares de titânio. Fonte: CAVALCANTE, <i>et al.</i> , 2009	17
FIGURA IV - Máquina de Soldagem a Laser DL 3000 (Dentaurum – Germany) Fonte: DEAC, <i>et al.</i> , 2003.....	19
FIGURA V - Funcionamento interno do feixe do laser na máquina de solda. Fonte: MODENESI, <i>et al. Introdução aos Processos de Soldagem</i> , Belo Horizonte, dez. 2005.	19
FIGURA VI - Imagem microscópica da microestrutura do cordão de solda após a soldagem a laser do Ti. Fonte: BEZERRA, <i>et al.</i> , 1999.	38
FIGURA VII – a): Micrografia do metal base da liga de Au após a soldagem a laser. Fonte: SANTOS <i>et al.</i> , 2002.	38
FIGURA VII – b): Micrografia da estrutura dendrítica da região da solda após a soldagem a laser. Aumento : 1000X. SANTOS <i>et al.</i> , 2002	39
FIGURA VIII - a): Valores médios de dureza do Ti. Fonte: BEZERRA, <i>et al.</i> , 1999.....	39

FIGURA VIII – b): Valores médios de dureza do Au. Fonte: SANTOS *et al.*,
2002.....39

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Amperes
Au-Pd	Liga ouro-paládio
CoCr	Cobalto-Cromo
CoCrMo	Cobalto-Cromo-Molibdênio
CO ₂	Dióxido de Carbono
CS	Cordão de Solda
J	Joules
KW	Kilowatt
Laser	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
MB	Metal Base
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
mm	Milímetro
ms	Milissegundo
Nd	Neodímio
NiCr	Níquel-Cromo
NiCrMo	Níquel-Cromo-Molibdênio
O ₂	Oxigênio
Ti	Titânio
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
Ti6Al4V	Liga de titânio ASTM grau 5 contendo 6% de alumínio e 4% de vanádio
YAG	<i>Yttrium Aluminum Garnet</i>
ZAC	Zona Afetada pelo Calor
ZL	Zona de Ligação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Soldagem por Brasagem	14
1.2 Soldagem a Laser	16
1.3 Máquina a Laser	18
2. OBJETIVO	20
3. METODOLOGIA	21
4. REVISÃO DE LITERATURA	22
5. DISCUSSÃO	36
6. CONCLUSÃO	43
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1. INTRODUÇÃO

A realização de soldagens faz parte da história na prótese odontológica. É um processo muito utilizado e pode ser definido como a união de materiais para obter a junção localizada de metais e não-metais, produzido por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem utilização de metal de adição (SANTOS *et al.*, 2002). Esse material de adição será usado como preenchimento no processo de soldagem (da mesma natureza das partes), capaz de preencher as folgas entre as superfícies a unir.

Na região de união entre o metal e a solda aparece um cordão que é constituído da parte fundida do metal da peça (metal-base) ou da soma deste com o metal adicionado para preencher a junta. A região adjacente a solda, que tem sua estrutura ou suas propriedades alteradas pelo calor, proveniente do processo de soldagem é denominada zona afetada pelo calor (ZAC). A distorção da peça, o tamanho e microestrutura da solda dependem da energia de soldagem (calor), a qual varia conforme o processo utilizado. (SOUZA *et al.*, 2000).

A Figura abaixo apresenta, esquematicamente, as principais regiões que aparecem num processo de soldagem.



FIGURA I: Junta soldada, mostrando o cordão de solda (CS), a zona de ligação (ZL) e a zona afetada pelo calor (ZAC).

A escolha deste processo na soldagem de próteses deve preencher alguns requisitos como gerar uma quantidade de energia suficiente para unir dois metais, semelhante ou não, sem causar distorção da peça, permitir o controle metalúrgico de soldagem, para que a região da solda alcance as propriedades desejadas; propiciar a qualidade da junta, ser viável economicamente e equipamento de fácil manuseio (FREITAS *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2002).

O emprego da soldagem entre os elementos pilares, durante a fase de confecção da estrutura metálica ou até mesmo após a aplicação de cerâmica, tem sido um artifício utilizado por uma grande parte dos dentistas na solução de problemas de adaptação. A técnica de soldagem apresenta a vantagem de se trabalhar com segmentos da prótese, os quais permitem, além da melhor adaptação, a distribuição uniforme de forças, de forma passiva e correta, minimizando traumas aos dentes suportes. (BEZERRA *et al.*, 1999; SOUZA, *et al.*, 2000).

Muitos são os métodos de soldagens empregados para fins odontológicos. Podem-se dividir os processos de acordo com a fonte de energia que se utiliza para gerar o calor necessário para a união:

- Solda a ponto
- Brasagem com maçarico (soldagem convencional)
- Infravermelha
- A forno
- Soldagem a laser
- Soldagem por arco elétrico: por plasma, arco submerso, MIG (*Metal Inert Gas O₂*), TIG (*Tungsten Inert Gas*)

A reposição de perdas dentárias com próteses sobre implantes tem crescido marcadamente desde o advento dos implantes osseointegrados na década de 1960. Dentre os materiais utilizados, destaca-se o aço inoxidável, as ligas de níquel-crômio, de ouro-paládio, de prata-paládio, de tântalo e o titânio e seus derivados. Esses materiais devem apresentar biocompatibilidade, resistência à corrosão e propriedades mecânicas e físicas. O processo de soldagem é um fator crítico, quando se trabalha com infra-estruturas de titânio, visto que as técnicas convencionais, entre as quais se destacam a brasagem por maçarico, até então utilizada, estava associada a problemas, como a oxidação das faces a serem unidas, porosidades nas juntas e superaquecimento das peças que, muitas vezes, chegam a temperaturas próximas à da fundição da liga utilizada na peça. Diante destas limitações, houve grande necessidade de desenvolver

novas técnicas e equipamentos de soldagens mais apuradas. Dentre todas estas técnicas, a que utiliza o laser como fonte de energia aparenta ser a bastante promissora (BEZERRA, *et al.*, 1999; CAVALCANTE, *et al.*, 2009).

A soldagem a laser passou a ser utilizada na odontologia para a confecção de próteses fixas a partir da década de 70 com os trabalhos de SMITH e GORDON (1972). No Brasil, a soldagem por laser foi introduzida em 1997 e tem sido empregada em substituição aos demais processos de soldagem, principalmente ao de brasagem na confecção de próteses odontológicas. Este método apresenta vantagens em relação ao método convencional a maçarico, que serão descritas a seguir.

1.1 Soldagem por Brasagem

É um processo de soldagem que utiliza o maçarico como fonte de calor. A união é executada por uma liga metálica com ponto de fusão mais baixo que as partes a serem soldadas (metal base) e a uma temperatura maior que 450°C. Esse material de acréscimo é fundido com o calor fornecido pela chama, e entra em contato com as áreas a serem soldadas, provocando a união entre elas.

Para que haja eficiência na soldagem é necessário que o metal de adição tenha uma fluidez satisfatória e que a folga existente na junta seja entre 0,025 e 0,25mm. O metal de adição deve ser compatível com o metal base para permitir a formação de uma interface aderente, resistente aos esforços mecânicos e a corrosão. Deve-se utilizar um fluxo ou uma atmosfera de gás inerte durante o aquecimento, para proteção da solda, prevenindo a oxidação excessiva. Os fluxos são agentes químicos que removem os resíduos óxidos deixados pelo processo de limpeza.

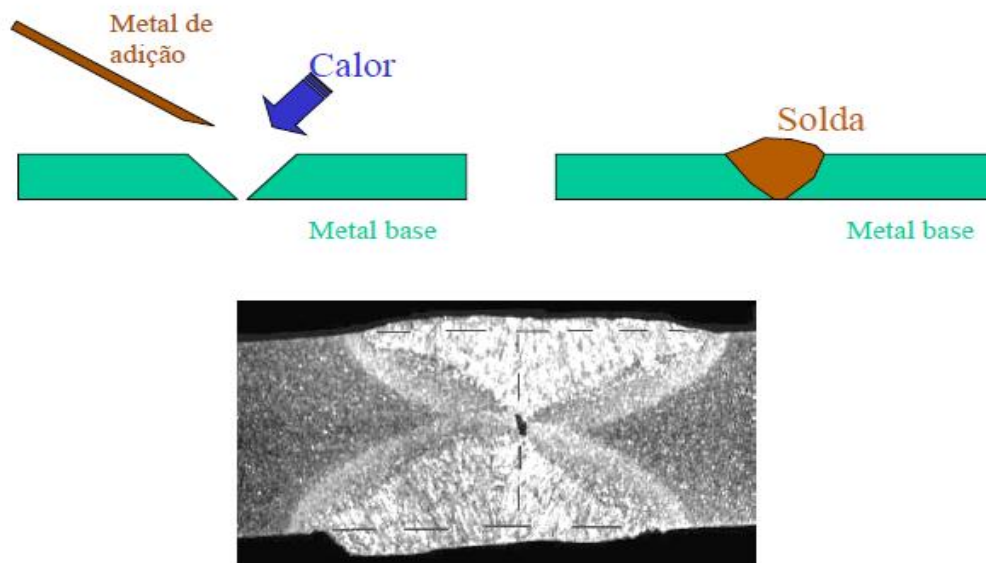


FIGURA II – Soldagem por Fusão

A soldagem por Brasagem apresenta vantagens e desvantagens descritas abaixo:

a) Vantagens

- Baixo custo
- Permite a união de metais e não metais
- Solda uma faixa de larga espessura
- Soldagem com precisão
- As juntas requerem pouco ou nenhum acabamento
- Equipamento portátil e não necessita de energia elétrica

b) Desvantagens

- Não é aplicável ao Titânio
- Possibilidade de interação ente o metal líquido e material a ser unido
- Formação de intermetálicos ou fases frágeis
- Ataque erosivo pelo metal de adição
- Necessita de soldador hábil
- Requer remoção de sobras de fluxo após a soldagem

- Conduz a um superaquecimento
- Riscos de acidente

1.2 Soldagem a Laser

Em 1960, foi construído o primeiro dispositivo operacional gerador de Laser. A partir de 1970, a solda a laser foi introduzida na Odontologia por GORDON & SMITH. Os tipos de Laser mais utilizados para soldagem são gerados por uma mistura gasosa contendo CO₂ e por YAG (*Yttrium Aluminum Garnet*) no estado sólido (SOUZA *et al.*, 2000). A energia é fornecida na forma de uma onda eletromagnética. Um dispositivo produz um feixe de luz coerente, monocromático e concentrado de alta energia (de 1kw a 25kw) de encontro à superfície de uma das partes a serem soldadas (SOUZA *et al.*, 2000). Essa energia funde a superfície que recebe o impacto, remove uma pequena porção de metal e o transfere para a outra superfície. Se a energia for adequada, será suficiente para fundir a porção removida sobre a superfície que a recebe (BURATTO, Luiz Fernando, 2011). Como a energia se faz de modo muito restrito a região aplicada, no processo a laser, não há necessidade de usar revestimento para a soldagem. Além de permitir, soldar estruturas ou partes com acabamento estético, sem danificá-las. Neste tipo de soldagem, o fluxo de gás inerte, normalmente o argônio, é usado para proteção do eletrodo e a zona de solda, prevenindo a oxidação.



Figura III - a) Soldagem a Laser .



Figura III - b) Aspecto das barras soldadas aos pilares de titânio.

Como todo processo de soldagem, o laser apresenta vantagens e desvantagens citadas abaixo:

a) Vantagens

- O calor fornecido é próximo do mínimo para fundir o metal reduzindo a zona afetada pelo calor (ZAC) e minimizando distorções da peça
- Permite a transmissão do feixe a longas distâncias
- Permite a soldagem em lugares de difícil acesso
- Possibilita a soldagem direta no modelo de trabalho sem inclusão em revestimento
- Pode ser aplicada em estruturas recobertas com resina e porcelana
- Rapidez e precisão
- Não necessita de uma nova liga de solda (menor número diferentes de ligas na boca do paciente), promovendo uma união homogênea sem promover o aquecimento de uma grande quantidade de metal base
- Pode ser empregado na soldagem de uma larga variedade de metais bem como materiais diferentes. Como aços inoxidáveis, níquel, cobre, bronze, alumínio, metais nobres, titânio, resinas e porcelanas.

b) Desvantagens

- Necessita de atmosfera inerte de argônio
- Limitação de espessura para soldagem em aproximadamente 24 mm
- Apresenta problemas para soldagem de materiais com alta reflexão ao feixe e alta condutibilidade térmica
- Fragilização e formação de porosidades no cordão de solda devido à rápida solidificação
- Necessita de proteção do operador contra os efeitos do feixe de laser
- Alto custo do equipamento

1.3 Máquina a laser

Funcionamento: Porção de material que tem a capacidade de ser estimulada pela emissão de luz, no qual provoca no meio uma mudança dos níveis de energia dos elétrons. Esses são instáveis e quando terminada a incidência de luz os elétrons voltam ao nível original gerando uma emissão de um fóton.

O meio de passagem desta luz pode sofrer um acréscimo de energia de um sistema externo, que será emitida em uma frequência determinada de tal modo a produzir um efeito em cadeia coordenado e essa energia fica confinada dentro do meio de amplificação até ser liberada.

Essa energia que sai do meio de amplificação é uma emissão de laser. E a emissão de onda eletromagnética cujo comprimento de onda pode variar conforme o meio de amplificação. (BURATTO, L.F., 2011).

Pode-se regular a potência bombeada, o diâmetro do feixe e o tempo que o feixe vai incidir.

Variações:

- Corrente (Potência): 100-320 amperes
- Tempo: 0,2-15 milissegundos
- Diâmetro: 0,3-2,0 milímetros (BURATTO, L.F., 2011)



Figura IV- Máquina de Soldagem a Laser.

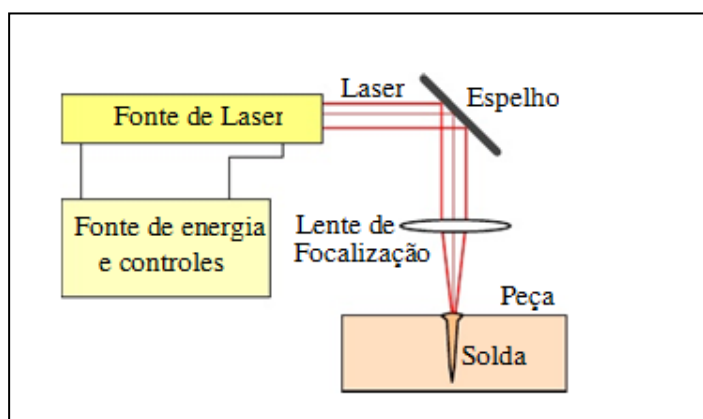


Figura V - Funcionamento interno do feixe do laser na máquina de solda.

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo é revisar a literatura acerca da soldagem a LASER nas últimas quatro décadas, analisando seu papel na união de diferentes estruturas utilizadas em trabalhos protéticos odontológicos.

3. METODOLOGIA

A partir das palavras chaves *laser welding* e *prostheses*, esta revisão de literatura selecionou artigos completos, publicados em inglês e português, na literatura computadorizada (GOOGLE SCHOLAR, PUBMED, MEDLINE, SCIELO e BVS) de 1970 a 2011. Outros artigos foram identificados nas referências da lista de artigos. Todos foram rigorosamente avaliados para se determinar a validade e eficácia das informações disponíveis.

4. REVISAO DE LITERATURA

Com o advento dos materiais a base de titânio, houve grande necessidade de se introduzir no mercado novas técnicas mais apuradas de soldagem voltadas para Odontologia. Entre estas se destaca a solda a laser, com qualidade superior à obtida por brasagem a maçarico em ligas como Cromo-Cobalto (Co-Cr), Níquel-Cromo (Ni-Cr) e, especificamente, Titânio (Ti) e suas ligas e menor distorção da peça a ser soldada.

A utilização da energia Laser, para união de ligas metálicas foi descrita por GORDON & SMITH (1970). Os autores destacaram os princípios básicos e vantagens da soldagem a laser para prótese fixa e adaptação de prótese parcial removível. Os trabalhos iniciais começaram em 1967, através de um laser Maser Optics 8-869, com cristal de Neodímio, em 104 unidades fixas e 3 próteses parciais removíveis com encaixes de precisão. Foi utilizada uma quantidade de energia entre 11 a 16 Joules, com tempo de duração de 4ms, inicialmente, e 8ms no decorrer do procedimento. Constataram que existe influência entre a quantidade de energia e a área do ponto de soldagem e que a lisura ou presença de poros profundos na região soldada estavam relacionadas à quantidade de energia aplicada. Destacaram ainda que a distância das superfícies dos metais a serem soldados não deve ser superior a 0,001 polegadas para que haja uma penetração adequada do feixe durante a soldagem a laser. Os autores concluíram que a soldagem a laser gera menor distorção quando comparada a soldagem convencional, uma resistência compatível com o metal base, um tempo de soldagem significativamente menor em comparação a solda convencional (cerca de 10 vezes) e nenhuma alteração na resina acrílica ou na porcelana adjacente à área de solda.

HULLING, *et al.* (1977), avaliaram a distorção em prótese fixa de três elementos unidos por soldagem a laser, convencional e monobloco. Quinze amostras foram fabricadas, sendo cada procedimento repetido cinco vezes. Os resultados deste estudo indicaram que todos os três procedimentos utilizados apresentaram algum grau de distorção. A solda a laser e monobloco produziu significativamente menor distorção comparativamente a solda convencional. Os

autores sugeriram que isso se deve parcialmente a um menor número de passos na realização da soldagem a laser, sendo uma técnica de maior previsibilidade e de confiabilidade superior.

Em 1993, YAMAGISHI *et al* fizeram um estudo comparando áreas de titânio soldadas a laser com o titânio original. Foram soldadas placas de titânio utilizando um pulso normal Nd: YAG laser (modelo ML-2220A, Miyachi Technos, Tóquio, Japão, sob atmosfera de argônio de 5L/min. Testes de flexão de três pontos e de dureza Vickers (HV) foram utilizados. Os autores relacionaram a atmosfera sob a qual a irradiação é realizada e a intensidade do pulso. Provetes soldados em uma atmosfera de argônio de 3,5 e 6,5 J/P se tornaram bastante frágeis, sendo incapazes de se submeterem aos testes. Os resultados mostraram que para as estruturas apresentarem resistência a flexão equivalente ao material original, é necessário serem soldadas em atmosfera do ar superior a 20J/P e em uma atmosfera de argônio, deveria ser feito em aproximadamente 15 J/P. Segundo os autores o aumento na dureza foi menor para provetes soldados em uma atmosfera de argônio que para os irradiados no ar. Para o mesmo poder de irradiação, as peças soldadas sob atmosfera de argônio foram menos oxidadas que os soldados no ar, sendo portanto mais eficaz quando a soldagem é feita sob a proteção deste gás. Há uma relação significativa entre a resistência a flexão, atmosfera de irradiação, intensidade da irradiação e a combinação destes fatores. No entanto como os resultados diferiram significativamente com a intensidade da irradiação, os autores concluíram que seriam necessárias mais pesquisas para determinar a melhor combinação destes fatores.

WANG *et al*, em 1995, compararam as propriedades mecânicas e características metalúrgicas do titânio puro e da liga Ti-6Al-4V, soldadas com gás inerte de tungstênio (TIG), a laser e brasagem infravermelho. Foram utilizadas 48 amostras para cada tipo de metal, sendo 16 para cada tipo de soldagem. As amostras passaram por testes mecânicos, de dureza, exames metalográficos e análise em microscopia eletrônica. Observaram que todas as amostras soldadas a laser apresentaram uniões incompletas, e que apenas as regiões periféricas foram unidas. Isso se deve, segundo os autores, a limitada

capacidade de penetração do feixe do laser. Além disso, constataram que todas as amostras soldadas foram significativamente mais fracas em força de tensão, que os materiais originais, independente do método utilizado.

BEZERRA *et al.*, 1999, investigaram o comportamento da microestrutura e da resistência a corrosão do Titânio puro antes e depois da soldagem a laser. Corpos de prova em forma de chapa, com dimensões de 10mm de comprimento, 4mm de largura e 1,5mm de espessura foram soldados em juntas topo a topo. Foi utilizado para a soldagem a laser, uma máquina Dentaurem DL 20002S, que utiliza cristal Nd:YAG como fonte de laser, sob atmosfera protetora de argônio. Foi empregada uma potência do laser de 4,32 kW, durante 12ms, gerando uma energia de soldagem de 51,84J. As amostras foram posicionadas manualmente dentro da câmara e foram realizados de 35 a 40 pontos de solda em cada lado da secção longitudinal da junta. Nesta secção os pontos de solda foram sobrepostos em torno de 2/3 de suas superfícies para obter uma soldagem completa também em profundidade. A potência foi suficiente para uma penetração de 60% em cada lado no sentido transversal da união. A observação metalográfica das juntas soldadas foi realizada empregando-se microscopia eletrônica de varredura (MEV) e ensaios de dureza no metal base e na junta soldada foram feitos utilizando um microdurímetro Micromet 2003 da Buehler-EUA. Com o objetivo de se comparar o comportamento da resistência à corrosão do metal base e da região do cordão de solda, foram realizados ensaios eletroquímicos. De acordo com autores, o cordão de solda apresentou uma microestrutura do tipo martensítica, sendo mais refinada e de maior dureza que no metal base. Esta microestrutura é condizente com a alta velocidade de resfriamento imposta pelo processo. Segundo os autores, a ZAC foi pequena, aproximadamente 0,6 mm, devido ao feixe concentrado de alta energia do laser, que fornece uma pequena quantidade de calor ao metal base. Por apresentar maior energia interna, a microestrutura refinada da área de solda apresenta menor resistência à corrosão do que a microestrutura granular do metal base.

No Brasil, a soldagem a laser foi introduzida por DINATO *et al.*, em 1997. Este autor, junto com SOUZA *et al.* (2000) compararam próteses confeccionadas

com a liga de Au-Pd, soldadas pelo método de brasagem e a laser. Análise com microscopia eletrônica e testes metalográficos e de dureza foram utilizados. Concluíram que na soldagem por brasagem, obteve-se uma microestrutura granular de maior dureza que o metal base. Em comparação a solda a laser, que apresentou uma microestrutura refinada no cordão de solda de menor dureza que o metal base, devido à alta velocidade de resfriamento. Eles concluíram que na soldagem a laser, como o feixe transfere menor energia ao metal base, minimizando o tamanho da ZAC, não causa distorções durante o processo, sendo, portanto, adequado para a substituição da brasagem nas aplicações odontológicas.

Em 2001, BERTRAND *et al.*, avaliaram a qualidade, precisão e reprodutibilidade do laser pulsado YAG aplicado em ligas não nobres (NiCrMo e CoCrMo). Foi utilizados exames metalográficos e microscópicos e testes de tensão para medir a eficiência das juntas. Concluíram que duas ligas com composição similar podem reagir de forma diferente para o processo de soldagem e a rastreabilidade das ligas é importante. Uma mudança muito pequena na química das ligas Ni-Cr teve uma forte influência sobre a qualidade da união, já a liga CoCr apresentou uma excelente soldabilidade. A microestrutura na área de solda é granular com uma subestrutura muito fina e com a mesma composição da liga inicial. Há uma coesão muito forte dentro da estrutura durante a contração, ocasionando um enfraquecimento nos contornos de grão pelo processo de resfriamento rápido ocasionado na soldagem a laser.

Os mesmos autores, em 2004, avaliaram fatores que influenciam o sucesso ou fracasso da soldagem a laser. Dentre eles se destacam os relacionados ao operador como a qualidade de destreza (alinhamento dos fios de metal a ser unido), acuidade visual, que requer o ajuste do feixe de laser e o foco e o conhecimento do operador sobre a máquina. E os parâmetros físicos como a potência e duração do pulso do laser, que influencia na profundidade de penetração do feixe e define a qualidade da soldagem. Diferentes diâmetros de fios de FeNiCr foram escolhidos para o estudo. O estudo foi dividido em três partes: Primeiro, analisando a influência do operador sobre o procedimento de soldagem. Foram solicitados 8 operadores para soldar 10 fios de aço

inoxidável, de mesmo diâmetro e mesma irradiação ($P = 0,8 \text{ kW}$, $t = 3,6 \text{ ms}$, $E = 2,8 \text{ J}$ e lente focal = mm 0,90). Depois os parâmetros físicos foram testados usando 50 Watts pulsado Nd Yag laser HASS ® (empresa TRUMPF, Roissy Charles de Gaulle, França) com o mesmo nível de energia, com diferentes variações de energia e duração de pulso. Foram então comparados ao material de controle (não soldados), a fim de avaliar a qualidade da solda. Microscopia eletrônica de varredura e microscopia óptica foram utilizadas para observar as propriedades físicas nas áreas de solda. Além disso, a microdureza foi medida (tipo Vickers) na área de solda e na zona afetada pelo calor (ZAC) e comparadas com a liga não soldada. Após a soldagem, a área de solda apresentou-se mais suave em relação à liga não soldada, devido à recristalização da liga. Os resultados demonstraram uma combinação adequada de energia e duração do pulso com potência definida no intervalo entre 0,8 a 1 Kw levando a uma melhora na profundidade de penetração e conseqüentemente no sucesso da soldagem. Segundo os autores a habilidade do operador também é uma variável importante na qualidade do processo de soldagem, podendo ser minimizado pela otimização dos parâmetros físicos de soldagem.

LIU *et al.*(2002), estudaram a resistência das uniões de titânio soldadas a laser em vários níveis de energia (corrente ou voltagem). Segundo os autores, existem fatores que influenciam na resistência mecânica das uniões soldadas a laser, como os tipos de metais soldados, o comprimento de onda, a potência do pulso, a duração do pulso, a energia do pulso, a frequência do pulso, o diâmetro do ponto a ser soldado, a quantidade de saída de energia (corrente ou voltagem). E a combinação destas variáveis como a saída de energia, duração de pulso e diâmetro do ponto de solda mudam a profundidade de penetração do laser na área a ser soldada. Para determinar as condições de duração do pulso e o diâmetro do ponto da solda, foram preparados blocos de titânio, que foram soldados para depois serem separados. Foram utilizados voltagem de 160 a 300A, duração de pulso de 1a13ms e diâmetro do pulso 0,4 a 1,8mm. Com referência aos dados obtidos, foram novamente soldados blocos de titânio com espessura de 0,5 e 1,0mm, com duração de pulso de 10ms, diâmetro de ponto de solda de 1,0mm e voltagem de 180 a 300A. Foram

então analisados a profundidade de penetração, submetendo-os a testes de resistência elástica com máquina de teste universal. Para as amostras com 0,5mm de espessura a força de rompimento nas voltagens de 240, 270, 300 A não foram diferentes estatisticamente das amostras do grupo controle. Como também, não houve diferença na força de ruptura entre as amostras de 1,0 mm de espessura soldadas nas voltagens de 270 e 300A. Eles concluíram que como na soldagem convencional são usados metais de origem diferentes para se fazer a fusão, há uma redução na resistência dessas uniões, contribuindo para a falha de junção de restaurações soldadas. Já na soldagem a laser, essas uniões apresentam a mesma resistência que o metal de origem das regiões não soldadas.

SANTOS *et al.* (2002a), investigaram o comportamento da união de ligas a base de ouro em próteses sobre implantes, antes e depois da soldagem a laser. A máquina utilizada para a soldagem foi uma Dentaurum DL20002S, com cristal Nd (YAG) e potência 5,84Kw durante 12 milissegundos, gerando uma energia de 70,08J. Com pontos de solda sobrepostos em cerca de 2/3 de suas superfícies e 60% de penetração do feixe. Os corpos de prova foram submetidos a análises metalográficas, de dureza e eletroquímicos. Concluíram que na soldagem a laser, a liga AuPd apresentou uma microestrutura dendrítica refinada do cordão de solda, sendo mais heterogênea e de menor dureza que no metal base, que teve uma estrutura granular bifásica. A microestrutura do cordão de solda é condizente com a alta taxa de resfriamento proveniente do processo de soldagem a laser. Conferindo a esta região, uma maior resistência à corrosão, quando comparada à estrutura do metal base.

SANTOS *et al.* (2002b), examinaram ligas Ag-Pd-Au-Cu, utilizadas na confecção de próteses sobre implantes, antes e após a soldagem a laser. Corpos de prova, cilíndricos, com 0,27 cm de diâmetro e 1,0cm de comprimento foram submetidos ao processo de soldagem a laser em juntas sobrepostas. Foi utilizada uma máquina de solda, Dentaurum DL 20002S, com cristal de Neodímio, YAG como fonte de laser e potência do feixe em torno de 6,08 Kw em 14 ms, gerando uma energia de 85,12J. Os corpos de prova foram seccionados por uma máquina Isomet 1000-BUEHLER, separando o metal

base da área de solda após o processo do laser. A microestrutura foi analisada através de microscopia eletrônica, onde foi detectada uma mudança estrutural na área de solda, cuja microestrutura se apresentou refinada, decorrentes de um processo de fusão localizada, seguido de uma alta velocidade de resfriamento durante a soldagem, o que não permite a microestrutura retornar a sua estrutura inicial. Já o metal base manteve sua característica de microestrutura grosseira. A resistência a corrosão foi estudada por técnicas eletroquímicas tradicionais e por impedância eletroquímica, em condições ambientais simulando a agressividade encontrada na cavidade oral. Os ensaios eletroquímicos mostraram diferenças no comportamento de polarização nas áreas de solda e no metal base, indicando uma resistência superior na área de solda.

De acordo, com DEAC *et al.* (2003) a qualidade e força da junção resultadas da soldagem dependem das características da máquina a laser utilizada (comprimento de onda, energia ,freqüência e duração do pulso) e do tipo de metal utilizado na soldagem. O titânio tem baixa condutividade térmica e alta taxa de absorção do feixe laser em comparação a outras ligas como, por exemplo, o ouro. Isso resulta em uma maior profundidade de penetração e assim, em uma qualidade superior da junta. Os autores soldaram peças feitas de Titânio Grau 3 usando diferentes métodos como soldagem a laser, plasma e radiação infravermelha, a fim de determinar as propriedades mecânicas de cada método utilizado. Eles concluíram que a resistência mecânica da área de solda é menor em relação ao metal base e apresenta maior dureza em todos os métodos utilizados. Eles destacaram que os experimentos soldados a laser apresentam melhor resistência a tração em comparação aos outros dois métodos, devido à microestrutura granular fina na região de solda. Mas devido à ausência de material adicional para a soldagem a laser, haverá redução da profundidade de solda (menos de 1mm) , reduzindo com isso a aplicação deste método. Diferentemente da soldagem por plasma e radiação infravermelha, que permite soldar estruturas de maior diâmetro.

MOSH *et al.* (2004), analisaram os diferentes métodos de soldagem para união de ligas odontológicas. Eles compararam a soldagem por brasagem e a laser,

e concluíram que na soldagem a laser, há uma melhor produtividade, tendo em vista alguns fatores: o calor é estritamente limitado a área de soldagem, o que permite soldar áreas adjacentes a superfícies com acrílico ou porcelana e caso houver necessidade de reparos na solda, poderá realizá-los diretamente no modelo mestre, sem a necessidade de refazer todo o trabalho protético. Com isso, haverá uma redução de 80% no tempo de trabalho. Eles concluíram também, que a soldagem a laser tem maior biocompatibilidade em relação à soldagem por brasagem. Pois como na solda a laser não requer uma terceira liga adicional, tendo a mesma composição do metal base, haverá melhor resistência a corrosão em relação à outra solda. Outro fator destacado pelos autores seria a influência da superfície dos componentes que irão ser soldados (polidos ou jateados) no efeito da energia do laser. Quanto mais brilhante, menor o efeito do laser na fundição, pois a energia da luz será refletida. Portanto, a mesma liga poderá reagir diferentemente dependendo das condições da superfície.

ZUPANCIK, *et al.*(2006), questionaram sobre a limitação da longevidade das restaurações protéticas, devido à falha mecânica ou de corrosão que ocorrem nos segmentos de uma estrutura metálica após a união. Estudaram, através de experimentos, qual método de união oferece propriedades superiores para ligas de CoCr. Analisaram as características mecânicas e corrosivas após a soldagem por Brasagem e a Laser. Foram utilizadas sessenta e oito espécimes cilíndricas de CoCr, de 35mm de comprimento e 2mm de diâmetro. Desses, dezesseis amostras foram selecionadas para medidas eletroquímicas em uma solução de saliva artificial e divididas em 4 grupos. Sendo um grupo controle e as amostras dos três grupos restantes foram seccionadas no centro, perpendicular ao longo eixo e foram unidas através da Brasagem (Grupo Brasagem) e pela Soldagem a Laser, utilizando máquina modelo laser X para um grupo(Grupo laser X) e o outro, modelo I laser(Grupo laser I). As outras 16 espécimes foram selecionadas para medidas eletroquímicas em uma solução mais ácida artificial. Para avaliar os potenciais de corrosão e de degradação foram utilizados espectroscopia de impedância eletroquímica e polarização. As trinta e seis amostras restantes foram utilizadas para testes de tração, através de uma máquina universal de ensaios. Essas espécimes foram divididas em

três grupos em que pares de amostras ($n = 6$) foram unidos por Brasagem ou Soldagem a Laser para formar barras cilíndricas de 70 mm de comprimento. Diferenças entre os grupos foram analisados usando um meio da análise de variância ($\alpha = .05$). As superfícies de fratura e defeitos de corrosão foram examinadas através de um microscópio eletrônico de varredura. Os autores concluíram através desses experimentos que as técnicas de soldagem não afetaram significativamente a resistência a tração das juntas. Mas a resistência a tração média pelo método de Brasagem foi significativamente maior que a realizada pelos dois tipos de soldagem a laser. Quando esta foi utilizada, o sucesso ficou limitado à periferia da solda, devido à penetração superficial do feixe a laser. Em relação à resistência a corrosão, as medidas eletroquímicas indicaram que, após a Soldagem a Laser, as amostras apresentaram superioridade em relação à Brasagem.

DA SILVA, J (2007) avaliou a resistência flexural na solda a Laser, Brasagem e TIG. Foram analisados espécimes cilíndricos obtidos a partir de canais de cera pré-fabricados, fundidos em liga NiCr e seccionados transversalmente. As extremidades foram unidas com resina acrílica com distâncias pré-determinadas de 0,3mm para o Grupo Brasagem, 0,1mm para o Grupo TIG e juntas sobrepostas para o Grupo Laser. As amostras foram submetidas ao teste de flexão para comparações múltiplas. Os autores concluíram que os três métodos apresentaram resultados semelhantes estatisticamente. O grupo controle (monoblocos sem soldagem) apresentou maior resistência à tração em relação aos grupos soldados. Na soldagem a Laser, devido à modificação da estrutura metalúrgica da solda em microestrutura dendrítica, conferiu a esta região, maior potencial de corrosão, pelos diferentes métodos citados.

De acordo com FREITAS, Renato *et al.* (2007,2008), durante a soldagem, o feixe de laser produz grande quantidade de calor, em tempo muito curto (milissegundos), sendo capaz de fundir o metal antes que o calor afete a região adjacente a área de solda. Isto resulta em um alto gradiente de temperatura, gerando um resfriamento muito rápido após a remoção do calor. Diferentemente, ao processo de soldagem convencional, que segundo os autores, transfere um grande aporte de calor para a peça a ser soldada,

originando uma maior zona afetada pelo calor no metal, o que causa maiores problemas de distorções nas peças. Além disto, eles citaram como vantagem da técnica a laser, a ausência do contato direto na área de solda durante a soldagem, pois esta é realizada através de um vidro. E também, como não se utilizam fornos, materiais de revestimento e ligas para solda, diminuem riscos a contaminações e resulta em uma maior resistência mecânica devido à homogeneidade da estrutura. Como desvantagem, eles destacam a pequena penetração do laser, aproximadamente 0,5 a 1,5mm de profundidade, o que poderia alterar a longevidade de infraestruturas de grandes dimensões. Eles destacam a importância do espaço para a solda. Segundo os autores é recomendável um espaço de 0,1 a 0,76mm para garantir a qualidade da soldagem. Eles concluíram que como a soldagem a laser é um processo rápido e prático, tem uma grande empregabilidade durante para trabalhos de carga imediata, uma vez que a agilidade dos procedimentos cirúrgicos e protéticos garante um maior conforto ao paciente e aos profissionais envolvidos, além de apresentar uma infra-estrutura de alta qualidade.

POP *et al.* (2007) , estudaram a influência do gás argônio (gás de proteção) sobre a resistência das ligas Ti ,Ti-6Al-7Nb e NiCr, Ouro e CoCr, soldadas a laser. Para o experimento, foram utilizados dois tipos de padrões de placa de cera para serem soldados a laser com medidas de 0,5 x 3,0 x10 mm e grupo controle (não soldado) com medidas de 0,5 x 3,0 x 20 mm. As placas foram soldadas utilizando um Nd:YAG laser (Ortig), em uma tensão de 200V, duração de pulso de 10ms e diâmetro do ponto de 1mm sendo aplicados cinco pontos bilateralmente, perpendicular à superfície . Testes de tração foram realizados com uma máquina de ensaio universal. Os resultados deste estudo indicaram que as ligas de Ti e Ti-6Al-7Nb unidas por soldagem a laser, sob condições adequadas, em conjunto com gás argônio para proteção, terão resistência mecânica similar as amostras não soldadas. As ligas soldadas a ouro, independente da proteção do gás argônio, podem não ser confiáveis a longo prazo, devido a presença de poros encontrada na estrutura após a soldagem. O uso do argônio como gás de proteção, nas ligas de CoCr, pode interferir na qualidade da soldagem a laser, em condições semelhantes utilizadas neste estudo. Os autores concluíram que o gás argônio é necessário,

na soldagem a laser de ligas de titânio, para garantir a qualidade da junção, Diferentemente das ligas de CoCr , em que o argônio poderá ser prejudicial para a soldagem.

SIMAMOTO JR *et al.* (2008) analisaram comparativamente o ajuste e desajuste vertical e horizontal na interface implante/ pilar em Prótese Fixa de 3 elementos, quando os elementos protéticos são submetidos a 2 tipos de soldagem: solda a laser ou brasagem. Dois modelos mestres com implantes foram posicionados de forma alinhada (reta) e desalinhada (arco). Doze modelos de trabalho foram divididos em quatro grupos: solda laser/arco; brasagem/arco; solda laser/reta e brasagem/reta, para comparação da qualidade do ajuste nos processos de solda a laser e por brasagem. As estruturas foram avaliadas, através de microscopia eletrônica, na interface pilar/implante, verificando a qualidade da adaptação tanto na horizontal quanto na vertical. Os autores concluíram que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os dois processos de soldagem, quando avaliados o ajuste da interface pilar/implante para prótese fixa de pequena extensão. A técnica a laser pode ser mais eficaz em situações que exija maior número de pontos a serem soldados, pois se trata de uma técnica promissora com menores chances de erros devido a sua automatização e exclusão de etapas inerentes a técnica de brasagem.

SILVA *et al* (2008), estudaram a influência da soldagem a laser e eletroerosão na adaptação de estruturas implanto suportadas de titânio. Foram confeccionadas vinte estruturas com abutments UCLA calcináveis sobre cinco implantes paralelos, a partir de um modelo mestre. Esses foram divididos em quatro grupos: G1 amostras grupo controle, G2 amostras com aplicação de eletroerosão, G3 amostras soldadas a laser e G4 amostras soldadas a laser e submetidas à eletroerosão. Os autores analisaram o ajuste passivo ente o abutment UCLA e o implante, utilizando um microscópio óptico Olympus STM (Olympus Optical Co., Tóquio, Japão), com 0,0005 milímetros de precisão. Os resultados demonstraram que a soldagem a laser melhora na adaptação marginal, associada ou não a procedimento de eletroerosão. Os autores concluíram que estruturas clinicamente inaceitáveis depois de fundidas, podem

mostrar adaptação precisa após serem seccionadas e submetidas ao procedimento de soldagem a laser. A solda a laser e a eletroerosão causam efeito similar na melhoria de adaptação marginal quando utilizadas isoladamente, mas há uma melhora superior nesta adaptação quando as duas técnicas estão associadas.

KHORRAM *et al.* (2010), estudaram a influência da potência do laser, velocidade de soldagem e posição do ponto focal na soldagem a laser da liga Ti6Al4V. Vinte experimentos foram soldados, utilizando uma máquina de laser Optimo de CO₂, com gás argônio como proteção. Parâmetros de soldagem geométrica foram medidos através de microscópio óptico e analisador de imagens software. Eles concluíram que a velocidade de soldagem e a potência do laser afetam significadamente a profundidade da penetração do laser. Segundo os autores, o aumento da potência do laser, aumenta a entrada de calor, gerando maior fusão dos materiais e conseqüentemente, maior profundidade de penetração. Em relação à velocidade de soldagem, seria o inverso. Sendo assim, para se obter o máximo de profundidade de penetração do laser, a potência deveria ser aumentada e a velocidade de soldagem diminuída durante o processo de soldagem. A largura da zona de soldagem também sofre influência da potência do laser e velocidade da soldagem. Quanto menor a velocidade de soldagem e maior potência do laser, maior entrada do calor, mais volume de metal fundido, maior largura da zona de soldagem. Em relação à posição do ponto focal do laser, os resultados mostraram influência insignificante sobre o processo de soldagem.

BURATTO, L.F. (2011), comparou a Soldagem Clássica (Chama Direta) com a Soldagem a Laser. Segundo o autor, para a Soldagem Clássica, é necessário material de revestimento para compensar as distorções de expansão e contração da liga durante o processo de soldagem. Na Soldagem a Laser, não há necessidade de usar material de revestimento. A energia aplicada se faz em uma região muito restrita. Como a estrutura é condutora de calor, o resfriamento é quase imediato e o aquecimento global das partes é muito menor daquele gerado pela chama aberta. No processo de soldagem por laser obtém-se uma união sem (ou quase sem) incorporação de material de

acrécimo resultando em uma estrutura igual ao um monobloco. A necessidade do preenchimento será inevitável quando duas partes de uma estrutura a serem soldadas estiverem muito distantes. Para obter todas as vantagens com o Laser, é preciso preparar a junta de soldagem aproximando as superfícies. Na soldagem com chama não basta fundir a solda, é preciso orientá-la, fornecendo energia às superfícies. Esse procedimento produz uma alteração tanto no material de preenchimento como nas superfícies, podendo formar compostos intermediários mais fracos. Para evitar que isso ocorra, deve-se deixar o bloco de soldagem resfriar naturalmente. A soldagem por laser é menos complicada, mas problemas de trincas ou empenamentos podem acontecer, já que, mesmo o disparo da emissão de energia sendo em uma área restrita, irá ocorrer fusão da liga metálica com grande e rápida variação de temperatura na região de impacto (alta velocidade de resfriamento). O autor através de experimentos, mantendo o diâmetro do feixe laser em 0,4mm e variando, a energia de bombeamento (Amperes) e o tempo de aplicação (milissegundos), concluiu que, o aumento da potência de bombeamento aumenta o diâmetro da região de impacto para uma mesma regulagem de diâmetro de foco e que quanto maior o tempo de aplicação do disparo, maior o diâmetro da “poça” de solda, pois mais metal será fundido por disparo, causando maior distorção. A verificação de microtrincas indica excesso de potência ou tempo do pulso.

KIKUCHI, H *et al.*(2011), investigaram, através de testes de tração, a resistência de ligas a ouro e cromocobalto em diferentes energias e durações de pulso, na soldagem a Laser. Neste estudo, sete espécimes foram soldadas a laser, através da máquina Nd: YAG laser (Neolaser P, Selec Co., Osaka, Japão), utilizando cada condição de irradiação: energias de 150V e 170V, duração de pulso de 4, 8 e 12ms, frequência a 1Hz e diâmetro do ponto para 0,5mm., com área de sobreposição de aproximadamente 53% . As amostras foram testadas através de análise de variância e Teste de Tukey. Segundo os autores, os resultados indicaram que a duração do pulso de 8ms atingiu a melhor resistência a tração de todas as espécimes, 698MPa. Houve diferença na resistência a tração entre energias de 150V e 170V, independente da duração do pulso. A energia de 150V apresentou baixa resistência à tração

(320Mpa), em comparação à energia de 170V, que excedeu 500Mpa, demonstrando superior resistência a tração. Mas através da análise de microscopia eletrônica por varredura, foi observado que com a energia de 170V e duração de pulso de 4ms, não houve completa fusão na área de solda, com grandes poros presentes. Com duração de 8ms, a superfície apresentou fraturas com um considerável número de ondulações. Já com duração de 12ms, mantendo a energia de 170V, embora as amostras estivessem fundidas em toda a área de solda, os poros ainda estavam presentes. Segundo os autores, ao executar a soldagem a laser, é preciso definir as condições de irradiação do laser, incluindo a intensidade do pulso, duração do pulso, de acordo com o diâmetro do ponto, pois quando este é reduzido, a densidade da potência se torna alta, aumentando a profundidade de penetração. Além disso é preciso definir o tipo, morfologia e superfície da liga que será unida, para alcançar as propriedades desejadas na soldagem. Conforme os autores, diferentes taxas de absorção, condutividade térmica e densidade da liga, influenciam na profundidade de penetração do feixe do laser. Quando o laser é usado, parte da luz é absorvida pelos metais e o restante é refletido. Para metais com baixa condutividade térmica, mudanças da energia óptica em térmica, levam ao aumento da temperatura em algumas áreas, aumentando a profundidade de penetração. Essa também é alterada pelas condições da superfície do metal e presença de uma película de óxido na superfície do espelho do metal. Portanto, não somente as condições de irradiação, como também a superfície do metal e da atmosfera, podem influenciar os resultados da soldagem a laser.

5. DISCUSSÃO

Na soldagem por Brasagem, há necessidade de uma “terceira” liga de baixa fusão como material adicional para a junção do trabalho protético MOSH *et al.* (2004). Em comparação a Soldagem a Laser que não requer material de preenchimento, com exceção de casos em que duas partes de uma estrutura a serem soldadas estiverem muito distantes, necessitando preparar a junta de soldagem para aproximar as superfícies (BURATTO, 2011). Como na maioria das vezes, na solda a laser não utiliza material adicional, haverá mesma composição e cor que a liga a ser soldada, resultando em uma mesma resistência a corrosão e biocompatibilidade do metal original. (GORDON *et al.*, 1970; HULLING *et al.*, 1977; LIU *et al.*, 2002; MOSH *et al.*, 2004; FREITAS *et al.*, 2007; BURATTO, L.F., 2011).

Ao soldar por Brasagem, o tempo de trabalho se torna maior, pois após unir as peças protéticas comacrílico, este será removido durante a inserção do material de solda. Este procedimento requer tempo e longos períodos de espera para o aquecimento e resfriamento do material. Diferentemente na soldagem a Laser que é feita no próprio modelo mestre e por isso não necessita de forno e material de preenchimento. (FREITAS, *et al.*, 2007). Como na soldagem a Laser, o calor gerado é estritamente limitado a área de junção dos elementos protéticos, o resfriamento é quase imediato e o aquecimento global das partes é muito menor daquele criado pela brasagem. Ou seja, na soldagem a laser, haverá uma grande quantidade de energia em um tempo muito curto, milissegundos, gerando a fusão das estruturas, antes que o calor afete a região adjacente a área de solda (FREITAS *et al.*, 2007; BURATTO, L.F., 2011). Com isso poderá soldar estruturas ou partes com acabamento estético (resina ou porcelana) sem ocasionar distorção a este material. (GORDON *et al.*, 1970, MOSH, *et al.*, 2004).

Segundo, BEZERRA *et al.* (1999), após a Soldagem a Laser, estruturas de ligas de Ti puro, apresentam no cordão de solda, microestrutura do tipo martensítica, sendo mais refinada e de maior dureza que o metal base. Devido ao feixe de

alta energia concentrado na área de solda, a ZAC ((Zona Afetada pelo Calor) é pequena, o que fornece uma pequena quantidade de calor ao metal base, diferentemente na soldagem por Brasagem que transfere um grande aporte de calor para a peça a ser soldada, originando em uma maior ZAC. De acordo com os autores, a microestrutura da área de solda após a soldagem a Laser é condizente com a alta velocidade de resfriamento imposta pelo processo. Essa transformação martensítica, introduz um acréscimo na energia de deformação interna do sistema, sendo maior que a energia interna da microestrutura do metal base que tem característica granular. Isso resulta em uma área de solda com menor resistência a corrosão que o metal base. Diferentemente, as ligas a base de ouro apresentam maior resistência a corrosão na área de solda em comparação a estrutura do metal base após a soldagem a laser, devido à característica microestrutural refinada e de menor dureza, apresentada na área de solda. Segundo SOUZA, *et al.* (2000); SANTOS, *et al.* (2002), na Soldagem a Laser, em ligas a base de ouro, o cordão de solda apresenta uma microestrutura dentrítica refinada e uma zona de transição bem definida, com uma morfologia de crescimento do tipo celular dentrítico, devido à segregação dos elementos da liga no resfriamento do cordão de solda. Pois à medida que a velocidade de solidificação cresce, tem-se uma condição de instabilidade no crescimento interface sólido/ líquido, originando estruturas planas, seguidas de celulares e dentríticas. Sendo condizente com o processo empregado, produzindo uma microestrutura mais grossa, granular. Sendo assim, a dureza na solda a laser é estatisticamente igual na ZAC e no metal base, e menor na área de solda, devido à microestrutura dentrítica obtida nessa região, comparativamente ao metal base que apresenta estrutura granular mais homogênea. Na brasagem, a dureza no cordão de solda é um pouco maior que no metal base devido à oxidação durante o processo de soldagem e a presença de precipitados, que pode causar um endurecimento por precipitação nessa região. A ZAC formada no processo de soldagem a laser é aproximadamente 0,5mm, devido à menor energia transferida ao metal base e já na brasagem, a ZAC é muito maior, em função do aquecimento de uma grande região da peça a ser unida, podendo com isso ocasionar distorções do trabalho protético

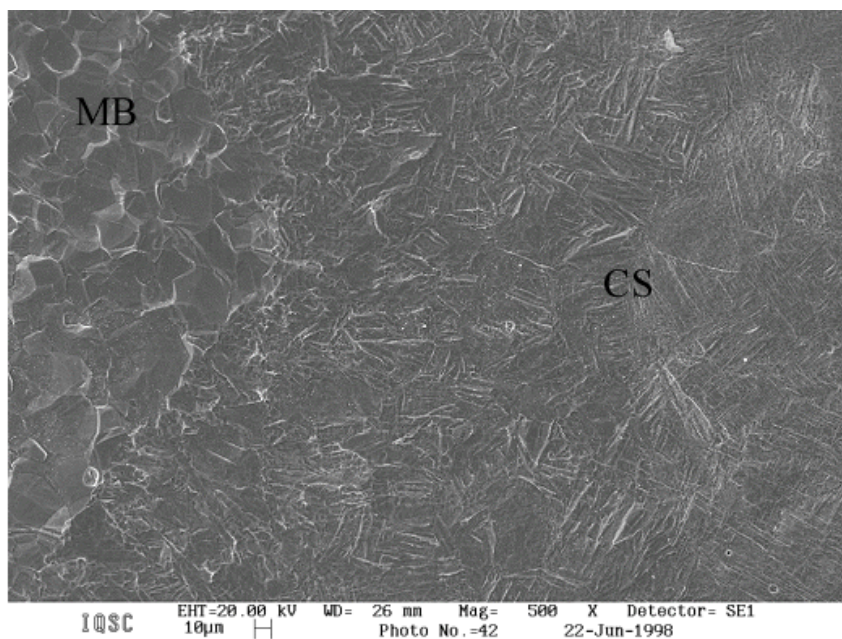


Figura VI - Microestrutura do metal base (MB) e do cordão de solda (CS) do Ti c.p. 500x.

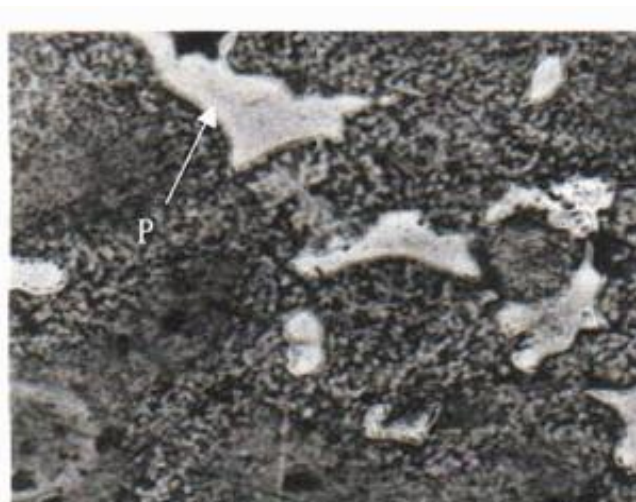


Figura VII - a): Micrografia do metal base da liga de Au: P=precipitado: Aumento: 1000X

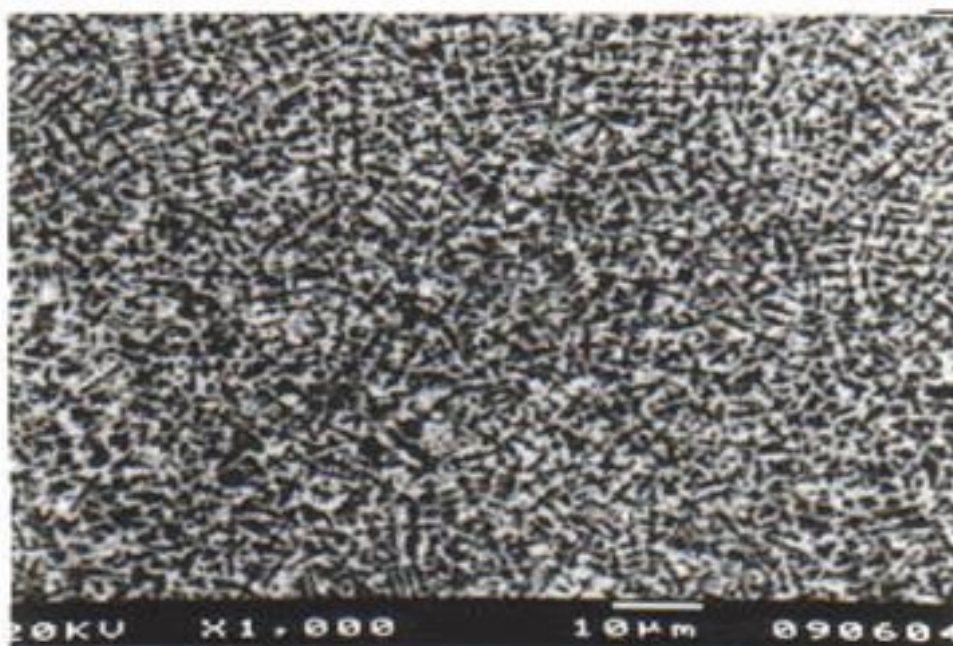


Figura VII - b): Micrografia da estrutura dendrítica da região da solda: Aumento: 1000X

Região	Dureza (HV)
Metal-base	199 ± 16
Cordão de solda	421 ± 34
ZAC	229 ± 11
Extensão da ZAC (mm)	0,6

Figura VIII - a): Valores médios de dureza do Ti

Região	Dureza (HV)
Metal base	197 ± 3
Junta soldada	107 ± 1

Figura VIII – b): Valores médios de dureza do Au

Segundo ZUPANCIC, *et al.*, 2006; WANG, *et al.*, 1995, DEAC *et al.*, 2003, a soldagem a laser apresenta excelente resistência à corrosão, mas limitada resistência a tração, devido à pequena penetração do feixe do laser, cerca de 0,5 a 1,5 mm de profundidade. Essa limitação poderá gerar uniões incompletas, resultando em soldas mais fracas, com menor resistência a tensão em comparação aos materiais originais. Segundo FREITAS, *et al.*, o espaço entre as faces a serem soldadas é um aspecto importante nos procedimentos de soldagem. Na soldagem a Laser, é recomendável um espaço de 0,1 a 0,76 mm para que não haja formação de grande número de poros afetando a resistência da junta. De acordo com LIU, *et al.*, 2002; DEAC, *et al.*, 2003; BERTRAND, *et al.* 2004; KHORRAM, *et al.*, 2010; KIKUCHI, *et al.*, 2011, haverá fatores que influenciarão na profundidade de penetração do feixe e conseqüentemente na qualidade da soldagem a laser.

Esses fatores serão:

- Os tipos de metais utilizados. As ligas apresentam características distintas, como a taxa de absorção do feixe de luz, condutibilidade térmica, pontos diferentes de fusão entre cada metal e densidade da liga. Em geral pode-se dizer que quanto maior o feixe do laser absorvido e menor a condutibilidade térmica do metal, maior será a profundidade de penetração (KIKUCHI *et al.*, 2011; DEAC *et al.*, 2003; BERTRAND, *et al.* 2004).
- Os parâmetros físicos da máquina a laser: comprimento de onda, potência do pulso, duração do pulso, energia do pulso, frequência do pulso, diâmetro do ponto de solda.

Segundo KHORRAM (2002), quanto maior a potência do pulso, menor a velocidade de soldagem, maior será a profundidade atingida pelo feixe. BURATTO, L. F. (2011), relatou que aumentando a potência do pulso, aumenta o diâmetro da área de impacto e que quanto maior o tempo de aplicação do disparo, maior o diâmetro da “poça” de solda, mais metal será fundido, maior possibilidade de distorção. De acordo com o autor, a presença de microtrincas indica excesso de potência ou tempo do pulso. De acordo com KIKUCHI *et al.* (2011), ao executar a soldagem a laser, é preciso definir as condições de

irradiação do feixe, incluindo a intensidade e duração do pulso de acordo com o diâmetro do ponto a ser soldado, pois quando este é reduzido, a densidade se torna alta aumentando a profundidade de penetração do feixe.

- Habilidade do operador como a qualidade de destreza, acuidade visual, ajuste do feixe do laser e foco e conhecimento do técnico sobre a máquina. Segundo BERTRAND, *et al.* (2004), este fator é uma variável importante na qualidade do processo de soldagem a laser, podendo ser minimizado pela otimização dos parâmetros físicos da máquina.

É importante ressaltar, que como o laser é uma luz, a superfície dos componentes, que irão ser soldados, influenciará o efeito da energia do laser. Quanto mais brilhante, menos efeito do laser, pois a energia da luz será refletida. A mesma liga poderá reagir diferentemente, dependendo das condições da superfície. Sendo necessário, portanto, tornar foscas as superfícies da região a ser soldadas, antes de receber o disparo do laser (MOSH, *et al.*, 2004; KIKUCHI, *et al.*, 2011).

Como na soldagem a Laser, minimiza as possibilidades de distorções durante o processo, vem sendo utilizada para trabalhos protéticos que requerem assentamento passivo, como nos implantes. Conseqüentemente haverá menor transmissão de cargas, reduzindo, assim a presença de forças deletérias responsáveis pela perda de componentes protéticos, ou até, perda óssea ao redor do implante, quando superam o limite de remodelação óssea (SOUZA, *et al.*, 2000; SANTOS, *et al.*, 2002, FREITAS *et al.*, 2008). Um obstáculo significativo no sucesso da soldagem do titânio é o controle da atmosfera de argônio para isolar o titânio do ar e evitar a oxidação, o que o tornaria descolorido, extremamente duro, quebradiço e conseqüentemente inútil. Na soldagem a laser trabalha-se com o gás de proteção (argônio ou nitrogênio) que permite soldar titânio e derivados sem qualquer reação química negativa. De acordo com YAMAGISHI, *et al.* (1993), estruturas soldadas sob atmosfera de argônio terão maior resistência a flexão comparativamente aquelas soldadas no ar. Segundo POP, *et al.* (2007), a presença do gás argônio influencia diferentemente de acordo com a liga utilizada, devido às

características de cada uma (taxa de absorção e condutividade térmica). Nas ligas de Ti e derivados, que apresentam maior taxa de absorção do feixe e baixa condutividade térmica, comparativamente a outras ligas, é fundamental a presença do gás de proteção para manter a resistência das estruturas após a soldagem a laser. Nas ligas de CoCr, a presença deste gás, pode interferir negativamente na qualidade da junta.

6. CONCLUSÕES

As conclusões deste trabalho são:

- Na soldagem a laser haverá mesma resistência a corrosão e biocompatibilidade da estrutura original.
- A soldagem a laser é feita diretamente no modelo mestre.
- Permite reparos em materiais estéticos como resina ou porcelana, sem causar distorções.
- A soldagem a laser permite soldar ligas de titânio e derivados.
- Na soldagem a LASER necessita um agente protetor de superfície como argônio ou nitrogênio que irá isolar o metal do ar.
- A soldagem a laser apresenta limitada resistência à tração devido à pequena penetração do feixe.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTRAND, C.; LE PETITCORPS, Y.; ALBINGRE, L.; DUPUIS, V. Prosthodontic: The laser welding technique applied to the non precious dental alloys procedure and results. *British Dental Journal*, v.190, n.5, p.255 – 257, March. 2001.
- BERTRAND, C.; LE PETITCORPS, Y.; ALBINGRE, L.; DUPUIS, V. British. Optimization of operator and physical parameters for laser welding of dental materials. *British Dental Journal*, v. 196, n. 7, p.413–18. April. 2004.
- BEZERRA R.M; SOUZA, P.C.R.D; RAMIRES, I.; BOTTINO, M.A.; GUASTALDI, A.C. Microestrutura e resistência à corrosão do Ti c.p. soldado a laser utilizando em prótese sobre implantes. *Ecl. Quím. São Paulo*, v.24, p.113-124. 1999
- BURATTO, L.F. *Soldagem com laser x soldagem clássica (chama aberta)*. *Revista Apdesp*. v.26, n158, p.20-29, Março/Abril. 2011.
- CAVALCANTE, L.A.L.; FERREIRA, F.M; NOVAIS, V.R.; NEVES, F.D.; NETO, A.J.F.; ARAÚJO, C.A.; NÓBILO, M.A.A.; SIMAMOTO JR, P.C. *Análise da resistência à flexão em braços suspensos de protocolos alternativos sobre implantes utilizando diferentes técnicas de soldagem*. [Dissertação] Universidade de Uberlandia-MG , 2009.
- CARDOSO, L.M. *Avaliação da Resistência a Flexão de Liga de Ti submetida à soldagem Laser e Tig, visando a Prótese Dentária*. Dissertação (Mestrado em Odontologia, Laser)- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP; Faculdade de Odontologia, Universidade de São Paulo , São Paulo, 2007

- CASTILIO, D. *Avaliação da Interface Intermediários/ Cilindros de Plástico Fundidos em Titânio e Cromo Cobalto, Antes e Após Soldagem a Laser.* [Dissertação] Bauru: Faculdade de Odontologia de Bauru/USP, p.1-114, 2000.
- COSTA, E.M.V.; BOTTINO, M.A. Influência da ciclagem térmica e diferentes tipos de solda da resistência da interface metalocerâmica. *Revista Odonto*, São Bernardo do Campo, SP, v. 16, n. 32, p. 39-46, jul/dez. 2008.
- DA SILVA, J. *Avaliação da resistência flexural entre diferentes métodos de soldagem: Chama Direta - TIG- Laser.* Dissertação (Mestrado em Odontologia, Reabilitação Oral) Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, 2007.
- DEAC, C.; NEMES, T. Special Procedures for the Joining of Titanium-Based Dental Prosthetic Parts. *Metal*. P.1-5. 2003.
- FRAGOSO, W.; HENRIQUE,G.E.P.; NOBILO,M.A.A.; MESQUITA, M.F., BASTOS,P.L. Protese Total Fixa Implanto- Suportada obtida por soldagem a laser de infra-estrutura fundida em titânio comercialmente puro. *Odontologia Clin.-Cientif.Recife.v.4,n.3,p.219-226.set/dez.2005.*
- FREITAS, R.; ALMEIDA J, A.A.; OLIVEIRA, J. L. G.; MARTINS, L. M.; CATALAN, C.A. Solda a laser em barras de TI na busca da passividade em carga imediata: relato de caso. *Innovations Implant Journal - Biomaterials and Esthetics*. v. 02, n. 4, dezembro. 2007.
- FREITAS, R.; OLIVEIRA, J.L.G.; ALMEIDA JR, A. A.; MARTINS, L. M.; RESENDE, D.R.B.; SANTOS, T.S.. Carga imediata com utilização de barra de titânio soldada a laser: relato de caso. *Rev. cir. Traumatol. Buco- Maxilo-fac*; Camaragibe, v.8, n.4, p.27-34, out/dez. 2008.

- GORDON, T.E; SMITH, D.L. Laser welding of prostheses – an initial report. *J Prosthe Dent.*; 24(4): 472-76. 1970.
- HULING, J.S.; CLARK, R.E. Comparative Distortion in Three-Unit Fixed Prostheses Joined by Laser Welding, Conventional Soldering, or Casting in One Piece. *J. Dent Res.* v.56, n.2, p.128-134, February. 1977.
- KIKUCHI, H., KUROTANI, T.; KAKETANI, M.; HIRAGUCHI, H.; HIROSE, H.; YONEYAMA, T. Effect of laser irradiation conditions on the laser welding strength of cobalt-chromium and gold alloys. *Journal of Oral Science*, v. 53, n. 3, p.301-305. 2011.
- KHORRAM, A.; YAZDI, M.R.S.; GHOREISHI, M.; MORADI, M. Usando Abordagem ANN para investigar a Soldagem Geometria da liga de titânio Ti 6Al 4V. *International Journal of Engineering and Technology*, v.2, n.5, October. 2010.
- LIU J. W., YOSHIDA K, ATSUTA, M. Joint strenght of laser welded titanium, *Dental Materials*, Nagasaki, v. 18, p. 143-148, October. 2002.
- MOSH, J; HOFFMANN, A.; HOPP, M. State of the art joining techniques in dental technology. *Dental Dialogue*. v.4, p.110/119, janeiro. 2004.
- PANTOJA, J.M.C.N. ; TAKAHASHI, JMF; NOBILO, M.A.A.; CONSANI, R.L.X.; MESQUITA, M.F. Radiographic inspection of porosity in Ti-6Al-4V laser-welded joints. *Braz Oral Res*. Piracicaba, v.25, n.2, p.103-108, Mar-Apr. 2011.
- POP, D.; NEGRUTIU, M.; SINESCU, C.; DEMIAN, C; TODEA, C.; ROMINU, M.; BALABUC, C. Different types of laser welding in dental technology. *TMJ* v. 57, n. 2 / 3, September. 2007.

- ROCHA, R.; PINHEIRO, A.L.B.; VILLAVERDE, A.B. Flexural Strength of Pure Ti, Ni-Cr and Co-Cr alloys submitted to ND: Yag Laser or TIG welding. *Braz. Dent. J.* Ribeirão Preto, v.17, n.1, p.20-23. 2006.
- SANTOS, M.L.; SOUZA, P.C.R.D.; VERCİK, L.C.O.; GUASTALDI, A.C. Estudo Microestrutural e Resistência a Corrosão de uma Liga de Au Soldada a Laser, Empregada em Prótese sobre Implantes. *Eclética Química*, São Paulo, v.27, p. 1 – 17. 2002.
- SANTOS, M.L., ACCIARI, H.A., VERCİK, L.C.O., GUASTALDI, A.C. *Laser weld: microstructure and corrosion study of Ag-Pd-Au-Cu alloy of the dental application. Materials Letters.* Instituto de Química de Araraquara-UNESP, São Paulo, v.57, p.1888–1893. 2002.
- SILVA, T.B.; NOBILO, M.A.D.A; HENRIQUES, G.E.P.; MESQUITA, M. F.; GUIMARAES, M.B. Influence of laser-welding and electroerosion on passive fit of implant-supported prosthesis. *Stomatologija, Baltic Dental and Maxillofacial Journal*, v.10, n.3, p. 96-100, 2008.
- SIMAMOTO, JR.; NOVAIS, P.C.; RESENDE, V.; NÓBILO, M.A.A.; BARBOSA, G.A.S.B.; SOARES, C.J.; NEVES, F.D. Influência do tipo de soldagem na qualidade da adaptação de infra-estrutura protética: análise por microscopia eletrônica de varredura. *Arquivos em Odontologia*. v. 44, n. 1,p.23-29, jan/mar. 2008.
- SOUZA, P.C.; DINATO, J.C; BEATRICE, C.R.; GUASTALDI, A.C.; BOTTINO, M.A. Soldagem na Odontologia: Estudo de Uniões Soldadas Empregando Laser e Brasagem. *Revista APCD*, v.54, n.6, p. 470-475, nov/dez. 2000.

- UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Fundamentos da Soldagem. Belo Horizonte. p.1-9. Disponível em: <ftp://www.demec.ufmg.br/ema097solda/1-FundSold1.pdf>
- WANG, R.R; WELSCH, G.E. Joining titanium materials with tungsten inert gas welding, laser welding and infrared brazing. *J. Prosthet Dent*, v.74, n.5, 521-530, nov. 1995.
- YAMAGISHI, T.; ITO, M.; FUJIMURA, Y. Mechanical properties of laser welds of titanium in dentistry by pulsed Nd: YAG laser apparatus. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, Nagano, v.70, n.3, p. 264-73, September.1993.
- ZUPANCIC, R.; LEGAT, A.; FUNDUK N. Tensile strength and corrosion resistance of brazed and laser-welded cobalt-chromium alloy joints.*J.Prosthet Dent*. . v. 96, n.4, p. 273-82, Oct. 2006.