



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Ciência e Tecnologia

Faculdade de Engenharia

André Rocha Pimenta

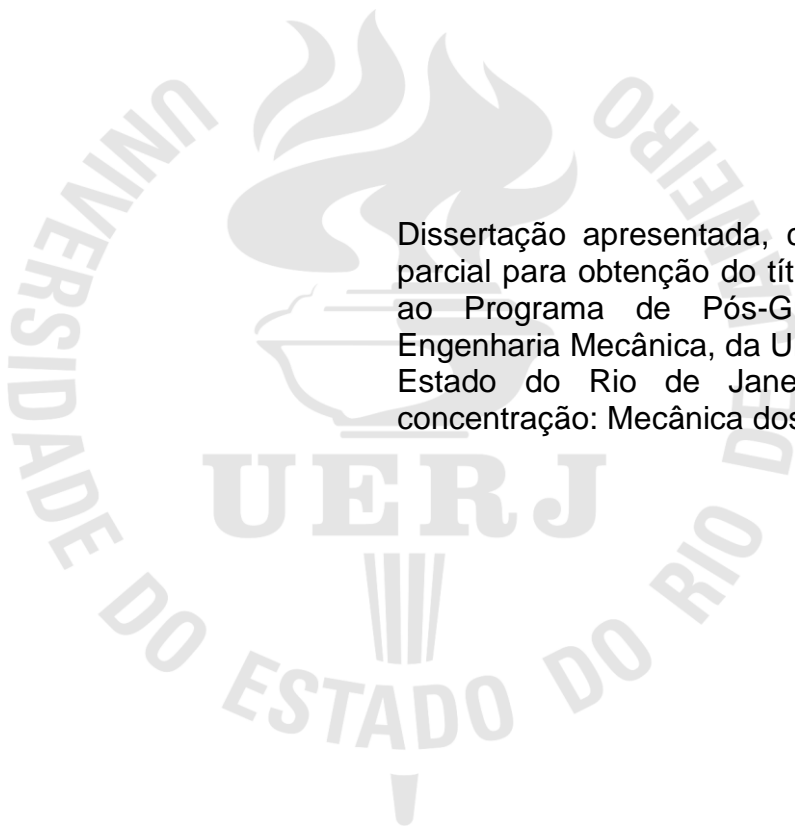
**Influência de tratamentos térmicos nas propriedades mecânicas e  
metalúrgicas em liga odontológica à base de níquel-cromo**

Rio de Janeiro

2009

André Rocha Pimenta

**Influência de tratamentos térmicos nas propriedades mecânicas e metalúrgicas em liga odontológica à base de níquel-cromo.**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Mecânica dos Sólidos.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marília Garcia Diniz

Rio de Janeiro

2009

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

P644 Pimenta, André Rocha.  
Influência de tratamentos térmicos nas propriedades mecânicas e metalúrgicas em liga odontológica à base de níquel-cromo / André Rocha Pimenta. - 2009.  
118 f.

Orientador: Marília Garcia Diniz.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Mecânica. 2. Metais – Tratamento térmico - Dissertações. 3. Ligas de níquel-cromo– Dissertações. I. Diniz, Marília Garcia. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 66.040

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

André Rocha Pimenta

**Influência de tratamentos térmicos nas propriedades mecânicas e metalúrgicas em liga à base de níquel-cromo.**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Mecânica dos Sólidos.

Aprovado em: 25 de novembro de 2009.

Banca Examinadora:

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marília Garcia Diniz (Orientadora)  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof. Dr. Francisco José Da Cunha Pires Soeiro  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

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

---

Prof. Dr. Ivan Guillermo Solórzano Naranjo  
Departamento de Engenharia de Materiais - PUC Rio

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lavinia Maria Sanabio Alves Borges  
Faculdade de Engenharia Mecânica - UFRJ

Rio de Janeiro

2009

## DEDICATÓRIA

À minha família pela dedicação, compreensão e estímulo.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Nadia Maria Rocha Pimenta e José Maria Paolucci Pimenta, pelos anos de dedicação a minha educação e pelo exemplo de vida.

Aos meus irmãos, Bruno Rocha Pimenta e Bárbara Rocha Pimenta, pelos anos de convivência e companheirismo.

A minha orientadora, professora Marília Garcia Diniz, pelo estímulo e dedicação a minha formação.

Aos meus alunos, fonte de motivação para dedicar-me aos estudos.

A todos os meus familiares pela ajuda e anos de convivência.

A todos aqueles que estiveram em minha vida durante esses anos de estudos, e partilharam noites e finais de semana de intensa leitura e confecção de trabalhos.

Em especial ao meu Pai, José Maria Paolucci Pimenta, pelo exemplo de pessoa, profissional e professor, que guia todos os meus passos.

## RESUMO

PIMENTA, André Rocha. **Influência de tratamento térmico nas propriedades mecânicas e metalúrgicas em liga odontológica à base de níquel-cromo**. Rio de Janeiro. 2009. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

É crescente a preocupação com o desenvolvimento de materiais adequados a trabalharem interagindo com o corpo humano. Diversas pesquisas têm sido realizadas no desenvolvimento de biomateriais aplicáveis na odontologia, este empenho é justificável pelo grande número de intervenções cirúrgicas para extração de dentes realizadas em todo o mundo. Durante o processo de fabricação de reconstruções dentárias, que utilizam sistemas metalocerâmicos, é utilizado um tratamento térmico que tem a função de promover a adesão da porcelana ao metal. Entretanto, sabe-se que tratamentos térmicos podem alterar a microestrutura do material metálico, modificando suas propriedades. Este trabalho avaliou as modificações causadas em propriedades mecânicas e microestruturais da liga à base de níquel (FIT CAST-SB) utilizada para fins odontológicos, quando a mesma é submetida ao tratamento térmico para adesão da porcelana (denominado de “queima”). A liga foi inicialmente fundida através da técnica de centrifugação e cera perdida. Posteriormente, um grupo de amostras (grupo TT) foi submetido ao tratamento térmico de queima para adesão da porcelana e o outro grupo (grupo F), permaneceu apenas submetido ao processo de fundição. Os grupos F e TT foram submetidos a ensaio de tração. Nos grupos F e TT, e no material como recebido pelo fabricante (grupo CR), foram realizados ensaios de microdureza e caracterização microestrutural, esta última através da técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os grupos F e CR foram submetidos à análise química quantitativa (em um espectrômetro de emissão atômica) e semi-quantitativa por um sistema de Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) acoplado ao MEV, sendo que esta última técnica também foi aplicada ao grupo TT. A técnica de tratamento digital de imagem foi aplicada às micrografias dos grupos F e TT, para a determinação de possíveis modificações quantitativas nas fases presentes, antes e após o tratamento térmico. Todos os resultados dos ensaios foram submetidos ao teste de hipótese nula ( $H_0$ ), para a distribuição t de Student. Concluiu-se que, para as amostras testadas, o limite de resistência foi superior ao fornecido pelo fabricante, respectivamente 559,39 e 545,55 MPa para os grupos F e TT, contra 306 MPa do fabricante. Enquanto o limite de escoamento foi ligeiramente inferior, 218,71 e 240,58 MPa para os grupos F e TT, respectivamente, contra 258 MPa do fabricante. Os resultados de microdureza ficaram entorno de 70HV, superior aos 21HV fornecido pelo fabricante. Pode-se afirmar, com 95% de confiabilidade, que não houve variação nas propriedades mecânicas e na microestrutura (quantidades de fases presentes e tamanho) antes e após a queima para adesão da porcelana, para os corpos de prova testados. A microestrutura da liga, quando observada em MEV no modo elétrons retroespalhados (modo BSE), é formada por uma matriz de estrutura dendrítica e coloração cinza, uma segunda fase interdendrítica de coloração branca e aspecto rendilhado, e precipitados de coloração preta, apresentando também porosidades.

Palavras-chaves: Ligas de níquel; Biomaterial; Ligas odontológicas; Queima da porcelana.



## ABSTRACT

There is a growing concern with the development of suitable materials for interactive working with the human body. Many searches have been carried in the development of biomaterials for odontology applications and this dedication is justifiable for the large number of surgical interventions for tooth extractions in the entire world. During the manufacturing process of dental reconstructions, which use metal-ceramic systems, a heat treatment is used to promote adhesion of the porcelain in the metal. However, it is known that heat treatment can change the metallic materials microstructure, changing their properties. This work evaluated the mechanical properties and microstructural changing of the nickel base alloy (FIT CAST-SB) used in odontology, when the alloy is submitted to the heat treatment for the porcelain adhesion (demented of "firing"). First the alloy was cast using the technical of centrifugation and lost-wax. After that, one samples group (TT group) was submitted for porcelain firing heat treatment and another group (F group), remained only cast. The F and TT groups were submitted to tensile test. The F and TT groups, and the material as received by the manufacturer (CR group), were submitted to microhardness test and microstructural characterization, this latter using scanning electron microscopic. The F and CR groups were submitted to quantitative chemical analysis (atomic emission spectroscopy) and semi-quantitative by Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) in the MEV, and this last technique was applied to TT group too. The digital images process technique was applied to micrographics of F and TT groups, to determine the changes in the material phases before and after heat treatment. All results were submitted to the hypothesis test of Student's t-distribution. For the samples tested, it was concluded that the tensile strength was higher then the manufacturer information, respectively 559,39 and 545,55 MPa for F and TT groups, against 306 MPa informed by the manufacturer. However, the yield point was slightly lower, 218,81 and 240,58 MPa for F and TT groups, respectively, against 258 informed by the manufacturer. The microhardness results were about 70HV, higher than 21HV informed by the manufacturer. It was concluded, with 95% of confiability, that there was no mechanical properties and microstructure (percent and size of the phases) changes, before and after porcelain firing, in the specimens used. The alloy microstructure, when observed by scanning electron microscopy (SEM) in backscattered electron mode (BSE mode) is formed by a matrix with dendritic structure and gray color, a second phase interdendritic with white color and lacy appearance, and black precipitates, and porosity are also found.

Keywords: Nickel alloy; Biomaterials; Dental alloy; Porcelain firing.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Diagrama de equilíbrio da liga Ni-Cr .....	39
Figura 02 - Diagrama de equilíbrio da liga Cr-Mo-Ni para temperatura de 1200°C...	40
Figura 03 - Diagrama de equilíbrio da liga Cr-Mo-Ni para temperatura de 600°C.....	40
Figura 04 - Microestrutura da liga Wiron 99, como recebida, ataque: água régia, microscopia óptica, 500X .....	42
Figura 05 - Microestrutura da liga Wiron 99, fundida a 1420°C, ataque: água régia, microscopia óptica, 500X (P = precipitado; Po = porosidade) .....	42
Figura 06 - Microestrutura liga VeraBond, ataque: ácido nítrico e ácido acético proporção: 1:1, microscopia óptica, 400X. Seta branca: matriz; seta preta: fase lamelar.....	43
Figura 07 - Microestrutura liga Cast-V, ataque: ácido nítrico e ácido acético proporção: 1:1, microscopia óptica, 400X. Seta branca: matriz; seta preta: fase lamelar.....	43
Figura 08 - Microestrutura liga Tilitte, ataque: ácido nítrico e ácido acético proporção: 1:1, microscopia óptica, 400X. Seta branca: matriz; seta preta: fase lamelar .....	44
Figura 09 - Microestrutura da liga Matchmate, como fundida, ataque: eletrolítico em ácido sulfúrico 10%, microscopia óptica.....	45
Figura 10 - Microestrutura da liga Matchmate, após a queima para coloração da porcelana, ataque: eletrolítico em ácido sulfúrico 10%, microscopia óptica.....	45
Figura 11 - Microestrutura da liga Dsign 10, como fundida, ataque: eletrolítico em ácido sulfúrico 10%, microestrutura óptica .....	46
Figura 12 - Microestrutura da liga Dsing 10, após a queima para colocação da porcelana, ataque: eletrolítico em ácido sulfúrico 10%, microscopia óptica.....	46
Figura 13 - Micrografias em MEV e EDS correspondente para a liga Matchmate antes (A) e após a queima para porcelana (B).....	47
Figura 14 - Micrografias em MEV e EDS correspondente para a liga Dsing 10 antes (A) e após a queima para porcelana (B) .....	48

Figura 15 - Microestrutura da liga Litecast, antes da queima para adesão da porcelana, ataque: $\text{NHO}_3$ e HCL, proporção: 1:4, microscopia óptica, 500X.....	49
Figura 16 - Microestrutura da liga Litecast, após a queima para adesão da porcelana, ataque: $\text{NHO}_3$ e HCL, proporção: 1:4, microscopia óptica, 500X .....	50
Figura 17 - Microestrutura da liga NPXIII, antes da queima para adesão da porcelana, ataque: eletrolítico em ácido oxálico 10%, microscopia óptica, 500X.....	50
Figura 18 - Microestrutura da liga NPXIII, após a queima para adesão da porcelana, ataque: eletrolítico em ácido oxálico 10%, microscopia óptica, 500X ....	51
Figura 19 - Taxa de corrosão das ligas níquel-cromo de acordo com o percentual de cromo .....	52
Figura 20 - Diferentes taxas de corrosão na liga Dsing 10, de acordo com o percentual de cromo e molibdênio .....	53
Figura 21 - Forno para tratamento térmico (aplicações odontológicas) PHOENIX QUICK COOL.....	58
Figura 22 - Gráfico temperatura (T) versus tempo (t) da etapa de oxidação do tratamento térmico .....	59
Figura 23 - Gráfico temperatura (T) versus tempo (t) das etapas opac I e opac II do tratamento térmico .....	59
Figura 24 - Gráfico temperatura (T) versus tempo (t) da etapa dentina I do tratamento térmico .....	60
Figura 25 - Gráfico temperatura (T) versus tempo (t) da etapa dentina II do tratamento térmico .....	60
Figura 26 - Diferença entre conectividade (ou vizinhança) 4 e 8.....	64
Figura 27 - Gráficos tensão x deformação dos cinco corpos de prova do grupo F ...	67
Figura 28 - Gráficos tensão x deformação dos cinco corpos de prova do grupo TT .	67
Figura 29 - Gráfico com os limites de resistência para os grupos F e TT .....	69
Figura 30 - Gráfico com os limites de escoamento para os grupos F e TT .....	69
Figura 31 - Gráfico dos valores de dureza, comparando os resultados dos grupos CR, F e TT.....	73
Figura 32 - Aspecto microestrutural da amostra 01 do grupo F, aumento 100X, MEV, modo BSE .....	75

Figura 33 - Aspecto microestrutural da amostra 01 do grupo F, aumento 750X, MEV, modo BSE .....	76
Figura 34 - Aspecto microestrutural da amostra 02 do grupo F, aumento 100X, MEV, modo BSE .....	76
Figura 35 - Aspecto microestrutural da amostra 02 do grupo F, aumento 750X, MEV, modo BSE .....	77
Figura 36 - Aspecto microestrutural da amostra 03 do grupo F, aumento 100X, MEV, modo BSE .....	77
Figura 37 - Aspecto microestrutural da amostra 03 do grupo F, aumento 750X, MEV, modo BSE .....	78
Figura 38 - Aspecto microestrutural da amostra 01 do grupo TT, aumento 100X, MEV, modo BSE .....	78
Figura 39 - Aspecto microestrutural da amostra 01 do grupo TT, aumento 750X, MEV, modo BSE .....	79
Figura 40 - Aspecto microestrutural da amostra 02 do grupo TT, aumento 100X, MEV, modo BSE .....	79
Figura 41 - Aspecto microestrutural da amostra 02 do grupo TT, aumento 750X, MEV, modo BSE .....	80
Figura 42 - Aspecto microestrutural da amostra 03 do grupo TT, aumento 100X, MEV, modo BSE .....	80
Figura 43 - Aspecto microestrutural da amostra 03 do grupo TT, aumento 750X, MEV, modo BSE .....	81
Figura 44 - Aspecto microestrutural da amostra do grupo CR, aumento 100X, MEV, modo BSE .....	81
Figura 45 - Aspecto microestrutural da amostra do grupo CR, aumento 750X, MEV, modo BSE .....	82
Figura 46 - Espectro do EDS para a amostra 01 do grupo F .....	83
Figura 47 - Espectro do EDS para a amostra 02 do grupo F .....	84
Figura 48 - Espectro do EDS para a amostra 03 do grupo F .....	84
Figura 49 - Espectro do EDS para a amostra 01 do grupo TT .....	85
Figura 50 - Espectro do EDS para a amostra 02 do grupo TT .....	85
Figura 51 - Espectro do EDS para a amostra 03 do grupo TT .....	86
Figura 52 - Espectro do EDS para a amostra do grupo CR .....	86

Figura 53 - Os pontos 1, 2 e 3 indicam as regiões onde foram realizados os testes de EDS sobre a microestrutura na condição TT.....	88
Figura 54 - Espectro do EDS do ponto 1 da Figura 53.....	88
Figura 55 - Espectro do EDS do ponto 2 da Figura 53.....	88
Figura 56 - Espectro do EDS do ponto 3 da Figura 53.....	89
Figura 57 - O ponto 1 indica a região onde foi realizado o teste de EDS do espectro da Figura 58 .....	89
Figura 58 - Espectro do EDS do ponto 1 da Figura 57. O pico de energia referente ao titânio mostra-se intenso .....	90
Figura 59 - O ponto 1 indica a região onde foi realizado o teste de EDS do espectro da Figura 60 .....	90
Figura 60 - Espectro do EDS, do ponto 1 da Figura 59. Trata-se de um poro, uma vez que o espectro obtido é semelhante ao da liga como um todo.....	90
Figura 61 - Imagem exemplo para o uso do ImLab no processamento digital. MEV, modo BSE, aumento 750X.....	92
Figura 62 - Imagem da Figura 61 após comando <i>Crop</i> do ImLab.....	93
Figura 63 - Imagem da Figura 62 após <i>Pseudo Colors Hues</i> .....	94
Figura 64 - Imagem da Figura 62 após <i>Pseudo Colors Black Body</i> .....	94
Figura 65 - Histograma da imagem da Figura 62.....	95
Figura 66 - Imagem da Figura 62 após filtro <i>Circular Mean</i> ser passado três vezes.	96
Figura 67 - Histograma da imagem da Figura 66.....	96
Figura 68 - Imagem da Figura 66, após segmentação no tom 70. Comando <i>Threshold</i> , do ImLab .....	97
Figura 69 - Pequenas regiões pretas inseridas por equívoco na segmentação da fase preta .....	97
Figura 70 - Imagem da Figura 68, após comando <i>Prune</i> para objetos menores que 5 pixels .....	98
Figura 71 - Imagem exemplo onde se faz necessária a utilização do comando <i>Fill Holes</i> .....	98
Figura 72 - Imagem da Figura 66 após segmentação no ponto mínimo do seu histograma.....	99
Figura 73 - Imagem da Figura 72 após comando <i>Close</i> .....	100
Figura 74 - Ilustração da importância do comando <i>Close</i> .....	100
Figura 75 - Imagem da Figura 73 após comando <i>Fill Holes</i> .....	101

Figura 76 - Imagem da Figura 75 após comando <i>Prune</i> .....	101
Figura 77 - Imagens das Figuras 76 e 62 somadas .....	102
Figura 78 - Quantificação dos objetos pretos, excluindo aqueles que tocam a borda da imagem. Comando <i>Find Regions, Touching Border False</i> .....	103
Figura 79 - Quantificação dos objetos brancos, excluindo aqueles que tocam a borda da imagem. Comando <i>Find Regions, Touching Border False</i> .....	103
Figura 80 - Quantificação dos objetos pretos, incluindo aqueles que tocam a borda da imagem. Comando <i>Find Regions, Touching Border True</i> .....	104
Figura 81 - Quantificação dos objetos brancos, incluindo aqueles que tocam a borda da imagem. Comando <i>Find Regions, Touching Border True</i> .....	104
Figura 82 - Gráfico com os valores percentuais das quantidades de matriz cinza para os grupos F e TT .....	106
Figura 83 - Gráfico com os valores percentuais das quantidades de segunda fase branca (interdendrítica) para os grupos F e TT .....	106
Figura 84 - Gráfico com os valores percentuais das quantidades de regiões pretas para os grupos F e TT .....	107
Figura 85 - Percentagem dos tamanhos da fase branca, entre 25 e 600 $\mu\text{m}^2$ .....	108
Figura 86 - Percentagem dos tamanhos da fase branca, entre 3 e 26 $\mu\text{m}^2$ .....	109

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Grupos de materiais metálicos para uso odontológico .....	29
Tabela 02 - Tipos de ligas com alto teor de elementos nobres .....	30
Tabela 03 - Limite de resistência de ligas Ni-Cr, fundidas por diferentes processos	37
Tabela 04 - Alongamento de ligas Ni-Cr, fundidas por diferentes processos .....	37
Tabela 05 - Microdureza de ligas Ni-Cr, fundidas por diferentes processos .....	38
Tabela 06 - Composição química da liga FIT CAST-SB Plus, dados fornecidos pelo fabricante.....	55
Tabela 07 - Propriedades mecânicas da liga FIT CAST-SB Plus, dados fornecidos pelo fabricante.....	55
Tabela 08 - Resultado da análise química .....	65
Tabela 09 - Resultados dos ensaios de tração para o grupo F .....	66
Tabela 10 - Resultados dos ensaios de tração para o grupo TT.....	66
Tabela 11 - Comparação entre as composição químicas das ligas Tilitte Star e FIT- CAST SB.....	68
Tabela 12 - de f e t calculados e valores de $f_c$ e $t_c$ tabelados para os resultados de LE e LR.....	70
Tabela 13 - Resultados dos ensaios de microdureza para o grupo CR .....	71
Tabela 14 - Resultados dos ensaios de microdureza para o grupo F .....	71
Tabela 15 - Resultados dos ensaios de microdureza para o grupo TT .....	72
Tabela 16 - Valores de f e t calculados e valores de $f_c$ e $t_c$ tabelados para os resultados dos ensaios de microdureza .....	74
Tabela 17 - Comparação entre as composições químicas das ligas Matchmate e FIT- CAST SB.....	91
Tabela 18 - Percentagem das regiões presentes nas amostras do grupo F .....	105
Tabela 19 - Tabela 19 – Percentagem das regiões presentes nas amostras do grupo TT.....	105
Tabela 20 - Valores de f e t calculados e de $f_c$ e $t_c$ tabelados para os resultados da análise quantitativa das fases presentes.....	108

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Amostra
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADA	<i>American Dental Association</i>
Ag	Prata
Al	Alumínio
ALCAP	Cerâmicas de Fosfato de Cálcio e Alumínio
Au	Ouro
Be	Berílio
BSE	Elétrons Retroespalhados
C	Carbono
°C	Graus Celsius
c/	Com
Co	Cobalto
Cr	Cromo
CP	Corpo de Prova
CR	Como Recebido
Cu	Cobre
Dr	Doutor
EDS	Espectroscopia por Dispersão de Energia
F	Fundido
f	Valor de f calculado para a distribuição F
f <sub>c</sub>	Valor de f crítico, tabelado para a distribuição F
Fe	Ferro
Ga	Gálio
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HCL	Ácido Clorídrico
HNO <sub>3</sub>	Ácido Nítrico
HV	Dureza Vickers
HV10	Dureza Vickers com força de ensaio de 98,07N
HV0,1	Dureza Vickers com força de ensaio de 0,9807N
In	Índio



Ir	Irídio
ISO	International Standard Organization
LE	Limite de Escoamento
LR	Limite de Resistência
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
min	Minutos
mL	Mililitros
Mo	Molibdênio
MPa	Mega Pascal
N	Newton
Nb	Nióbio
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
Ni	Níquel
O	Oxigênio
oxi-GLP	Oxigênio e Gás Liquefeito de Petróleo
P	Precipitados
Pd	Paládio
Po	Porosidade
Pt	Platina
RGB	<i>Red Green Blue</i>
Rh	Ródio
s	Segundos
s/	Sem
t	Valor de t calculado para a distribuição t de Student
Ta	Tântalo
t <sub>c</sub>	Valor de t crítico, tabelado para a distribuição t de Student
TCP	Cerâmicas Fosfato Tricálcico
Ti	Titânio
TT	Tratamento Térmico
V	Vanádio
W	Tungstênio
X	Vezes
Zn	Zinco
%	Percentual

±	Mais ou Menos
γ'	Gama Linha
α	Valor alfa para os testes de hipóteses
<	Menor
μm <sup>2</sup>	micrometros quadrados
kPa	Kilo Pascal

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	19
1	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	21
1.1	<b>Biomateriais</b> .....	21
1.1.1	<u>Biocompatibilidade</u> .....	22
1.1.2	<u>Tipos de Biomateriais</u> .....	23
1.1.2.1	Biomateriais metálicos .....	23
1.1.2.2	Biomateriais poliméricos.....	25
1.1.2.3	Biomateriais cerâmicos.....	25
1.1.2.4	Biomateriais compósitos.....	26
1.2	<b>Biomateriais na Odontologia</b> .....	26
1.2.1	<u>Ligas Metálicas</u> .....	27
1.2.1.1	Ligas à base de ouro .....	28
1.2.1.2	Ligas à base de prata .....	30
1.2.1.3	Ligas à base de paládio.....	30
1.2.1.4	Ligas à base de cobre .....	31
1.2.1.5	Ligas à base de cobalto.....	32
1.2.1.6	Ligas à base de níquel.....	33
1.2.2	<u>Evolução da Técnica de Fabricação Odontológica</u> .....	33
1.3	<b>Ligas Níquel-Cromo para Aplicações Odontológicas</b> .....	34
1.3.1	<u>Propriedades Mecânicas das Ligas Ni-Cr</u> .....	34
1.3.2	<u>Microestrutura das Ligas Ni-Cr</u> .....	37
1.3.3	<u>Influência dos Elementos de Liga nas Ligas Ni-Cr</u> .....	50
1.3.3.1	Cromo.....	51
1.3.3.2	Molibdênio .....	53
1.3.3.3	Berílio .....	53
1.3.3.4	Carbono.....	53
2	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	54
2.1	<b>A Liga Níquel-Cromo</b> .....	54
2.2	<b>Técnica de Fundição</b> .....	55
2.3	<b>Tratamento Térmico para Adesão da porcelana</b> .....	56
2.4	<b>Análise Química</b> .....	60

2.5	<b>Ensaio de Tração</b> .....	60
2.6	<b>Preparação Metalográfica</b> .....	60
2.7	<b>Ensaio de Microdureza Vickers</b> .....	61
2.8	<b>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</b> .....	61
2.9	<b>Tratamento Digital de Imagem</b> .....	62
2.10	<b>Análise Estatística dos Resultados</b> .....	63
3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	64
3.1	<b>Resultado da Análise Química Quantitativa</b> .....	64
3.2	<b>Propriedades Mecânicas de Limite de Resistência e Limite de Escoamento</b> .....	64
3.3	<b>Propriedade Mecânica de Microdureza</b> .....	71
3.4	<b>Caracterização Microestrutural</b> .....	74
3.5	<b>Análise Química Semi-Quantitativa por EDS</b> .....	82
3.6	<b>Resultados Obtidos pelo Tratamento Digital de Imagem</b> .....	91
4	<b>CONCLUSÃO</b> .....	109
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	111