

ANA CRISTINA SOARES SANTOS HADDAD

**COMPARAÇÃO DAS TAXAS DE LIBERAÇÃO *IN VITRO* DE NÍQUEL
E CROMO POR BRAQUETES ORTODÔNTICOS DE DIFERENTES
MARCAS COMERCIAIS**

São Paulo

2007

Ana Cristina Soares Santos Haddad

**Comparação das taxas de liberação *in vitro* de níquel e cromo por
braquetes ortodônticos de diferentes marcas comerciais**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, para obter o título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Odontologia.

Área de Concentração: Ortodontia

Orientador: Prof. Dr. André Tortamano

São Paulo

2007

Catálogo-na-Publicação
Serviço de Documentação Odontológica
Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

Haddad, Ana Cristina Soares Santos

Comparação das taxas de liberação *in vitro* de níquel e cromo por braquetes ortodônticos de diferentes marcas comerciais / Ana Cristina Soares Santos Haddad; orientador André Tortamano. -- São Paulo, 2007.

121p.: tab., fig., graf.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Odontologia. Área de Concentração: Ortodontia) -- Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo.

1. Braquete ortodôntico – Toxicidade 2. Materiais ortodônticos

CDD 617.643
BLACK D41

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE E COMUNICADO AO AUTOR A REFERÊNCIA DA CITAÇÃO.

São Paulo, ____/____/____

Assinatura:

E-mail:

FOLHA DE APROVAÇÃO

Haddad ACSS. Comparação das taxas de liberação *in vitro* de níquel e cromo por braquetes ortodônticos de diferentes marcas comerciais [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2007.

São Paulo, __/__/2007

Banca Examinadora

1) Prof(a). Dr(a). _____

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

2) Prof(a). Dr(a). _____

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

3) Prof(a). Dr(a). _____

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Jaime e Mena

Ao meu marido, Victor

Às minhas irmãs, Jovita e Daniela

*Com amor, admiração e gratidão por sua compreensão, carinho, presença,
motivação e incansável apoio, dedico este trabalho.*

Ao Prof.Dr. André Tortamano, orientador deste trabalho, minha gratidão pela liderança positiva, pelo incentivo, pelo intercâmbio de conhecimentos, pelo bom humor e pela amizade.

Ao Prof. Pedro Vitoriano de Oliveira, professor livre docente do Instituto de Química da USP, agradeço por acreditar neste trabalho e por contribuir totalmente com ele com generosidade e competência notória.

AGRADECIMENTOS

Escrever uma dissertação é como dar um presente. Passei muito tempo realizando o experimento e escolhendo as palavras para relatá-lo, mas só fui capaz de fazê-lo graças a outros presentes que recebi de muitas pessoas. Quero, então, agradecer a elas.

A Deus por sua presença incansável em minha vida.

Ao Prof. Dr. Julio Wilson Vigorito pela oportunidade de cursar este conceituado programa de mestrado e por instigar a busca pelo conhecimento e pelo aprimoramento.

Aos professores do Departamento de Ortodontia da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, Prof. Dra. Solange Mongelli de Fantini, Prof. Dra. Gladys Cristina Dominguez-Rodriguez, Prof. Dr. José Rino Neto, Prof. Dr. João Batista Paiva e Prof. Dr. Jorge Abrão que acreditaram em mim e me transmitiram generosamente seus conhecimentos com ética e excelência.

À Prof. Elisabeth de Oliveira, professora titular do Instituto de Química da USP, pela simpatia, motivação, solicitude e brilhantismo nas análises químicas no ICP OES.

Ao Prof. Omar Gabriel da Silva Filho, ortodontista, artista, pelos primeiros passos, pelo alicerce ortodôntico, pela genialidade inspiradora e pela amizade.

Aos professores do Setor de Ortodontia e Cirurgia Ortognática do HRAC-USP, Leopoldino Capelozza Filho, Terumi Okada Ozawa, Arlete Cavassan, Rita C.M.C. Lauris, Carlos Alberto Aiello, Araci M. de Almeida, Patrícia Z. Freitas e Sílvia M. Graziadei, Reinaldo Mazzotini, Roberto Macoto Sugimoto e Roberta Martinelli de Carvalho, sempre amigos, pelo apoio e pelo conhecimento.

Aos amigos, Soo Young Kim Weffort, Alael B. F. de Paiva Lino, Maurício Adriano Accorsi, Luís Fernando Corrêa Alonso, Fábio de Abreu Vigorito, pelas idéias que trouxeram, por partilharem generosamente comigo seu tempo e sua sabedoria e pelos momentos felizes e divertidos.

Aos amigos, Cristiane Assis Claro, Silvia Augusta Braga Reis, José Hermenegildo dos Santos Júnior, Vilmar Antônio Ferrazzo, Augusto Ricardo Andriguetto, Líliam Kazumi Kanashiro e Helena Márcia Guerra dos Santos, pela amizade, companheirismo e incentivo.

Aos funcionários da Disciplina de Ortodontia, Viviane T. Passiano, Edina Lúcia B. de Souza, Marinalva J. de Jesus, Antônio Edílson L. Rodrigues e Ronaldo Carvalho, sempre solícitos, pela acolhida, dedicação, auxílio e amizade.

Ao Alexandre Luiz de Souza, mestrando do IQUSP, pela participação nas análises químicas do trabalho, pela disponibilização de seu tempo e pelo intercâmbio de conhecimentos.

Aos amigos do Laboratório de Bioquímica da FOU SP, especialmente ao Douglas, por sua generosidade e contribuição inestimável ao trabalho.

À amiga Roberta Manzano e à sua família pelo carinho, pelo apoio e pela amizade.

À amiga Gisele Costa pelo carinho, pelo incentivo, pelo exemplo e pela amizade.

Aos amigos de Bauru, Ana Paula Ribas, Gabriela Queiroz, Denise Caffer, Denise Meira, Roberta Bandeira, Heloísa Ono, Heloíza Borges, Adriano Peixoto, Fabrizio Calvano, Milton Santamaria, entre tantos outros, pela amizade e pelas boas lembranças.

Aos demais funcionários da FOU SP, sempre solícitos, pelo apoio.

Aos meus familiares, que sempre foram um porto seguro.

À minha nova família, Haddad, pelo apoio e suporte durante a realização deste curso.

À Tatiani Marcasso pela amizade e pela ajuda crucial na obtenção dos reagentes químicos para a manipulação da fórmula de saliva sintética utilizada neste trabalho.

À Sr^a Aguida Feliziani bibliotecária da FO-USP, pela simpatia e eficiência nas correções bibliográficas.

Ao Rogério Rusciotto do Prado pela ajuda na análise e interpretação estatística.

Ao Fabio Nicolau Ferreira pela realização da revisão da língua portuguesa com gentileza e eficiência.

À 3M Unitek® e à Emília Fugimoto pelo incentivo à pesquisa, doando os braquetes ortodônticos utilizados neste trabalho.

À Abzil® e ao Raul Wilchez pela doação dos braquetes utilizados neste trabalho, incentivando a pesquisa em ortodontia.

À CAPES pela bolsa de Mestrado no programa Demanda Social.

“Não poríamos a mão no fogo por nossas opiniões: não temos assim tanta certeza delas. Mas talvez nos deixemos queimar para podemos ter e mudar nossas opiniões”.

Friederich Nietzsche

Haddad ACSS. Comparação das taxas de liberação *in vitro* de níquel e cromo por braquetes ortodônticos de diferentes marcas comerciais [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2007.

RESUMO

Com o propósito de auxiliar o ortodontista na escolha de braquetes ortodônticos com menor potencial tóxico, seja local ou sistêmico, para seus pacientes, o objetivo deste estudo foi comparar diferentes marcas comerciais de braquetes ortodônticos, a fim de identificar, em ambientes orais simulados durante 28 dias, aquelas marcas que liberam as menores taxas de Ni e Cr. Para tal, foram empregados 280 braquetes divididos igualmente de acordo com o modelo e a marca comercial: (1) Kirium Line[®] Abzil[®], (2) Mini Master Series[®] American Orthodontics[®], (3) Discovery[®] Dentaurum[®], (4) Full Size[®] Unitek[®], (5) Morelli M.B.T.[®] Morelli[®], (6) NuEdge[®] TP Orthodontics[®] e (7) Victory[®] Unitek[®]. A norma ISO 10271/2001 foi utilizada para padronização do método. Cada braquete foi imerso em 0,5 mL de saliva sintética ou de fluido de placa artificial durante 28 dias a 37°C. A cada 7 dias, a solução foi substituída e analisada por um espectrômetro de absorção atômica e atomização eletrotérmica (ETAAS) ou por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) para quantificação do conteúdo ($\mu\text{g L}^{-1}$) de Ni e Cr nas soluções. O teste Kruskal-Wallis foi empregado para determinação das diferenças estatísticas entre as taxas de liberação de Ni e Cr pelos braquetes das marcas comerciais estudadas nas duas soluções de imersão. Os resultados indicaram que as diferentes marcas comerciais de braquetes apresentaram diferentes comportamentos corrosivos. Além disso, a solução de fluido de placa provocou a liberação de quantidades significativamente maiores de Ni e Cr, em comparação com a solução de saliva sintética. Portanto, pôde-se concluir que a marca comercial, cujos braquetes apresentaram as menores taxas de liberação de Ni e Cr, foi a Dentaurum[®], seguida, em ordem crescente, pelas marcas Victory[®] Unitek[®], American[®], TP[®], Full Size[®] Unitek[®], Morelli[®] e Abzil[®].

Palavras-Chave: Corrosão – Aço inoxidável – Braquetes – Níquel – Cromo

Haddad ACSS. Comparação das taxas de liberação *in vitro* de níquel e cromo por braquetes ortodônticos de diferentes marcas comerciais [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2007.

ABSTRACT

In order to assist orthodontists on choosing brackets with less potential to induce local or systemic toxicity to their patients, this study aimed at comparing different manufacturers of orthodontic brackets and at identifying the ones that released less amounts of nickel (Ni) and chromium (Cr) in simulated oral environments. 280 brackets were equally divided according to the following models and manufacturers: (1) Kirium Line[®] Abzil[®], (2) Mini Master Series[®] American Orthodontics[®], (3) Discovery[®] Dentaurem[®], (4) Full Size[®] Unitek[®], (5) Morelli M.B.T. [®] Morelli[®], (6) NuEdge[®] TP Orthodontics[®], and (7) Victory[®] Unitek[®]. International standard ISO 10271/2001 was applied to provide test methods. Each bracket was immersed in 0.5 mL of synthetic saliva or artificial plaque fluid during 28 days at 37°C. Solutions were replaced every 7 days, and were analyzed by means of an electrothermal atomic absorption spectrometer (ETAAS) or by an inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP OES) to quantify ($\mu\text{g L}^{-1}$) the amount of Ni and Cr released. Kruskal-Wallis test was applied to determine if differences existed between Ni and Cr release according to bracket manufacturers and to solutions. Results indicated that brackets from different manufacturers presented different corrosion behavior. In addition, artificial plaque fluid induced more Ni and Cr release than artificial saliva. It was therefore concluded that brackets from Dentaurem[®] presented the less quantities of Ni and Cr released in both studied solutions. Increasing rates of Ni and Cr were detected to the following manufacturers: Victory[®] Unitek[®], American[®], TP[®], Full Size[®] Unitek[®], Morelli[®] e Abzil[®].

Keywords: Corrosion – Stainless steel – Brackets – Nickel – Chromium

LISTA DE FIGURAS

- Figura 4.1 - Grades contendo os tubos de polipropileno com as amostras controle e com as amostras de braquetes ortodônticos imersas em saliva sintética (grade superior) e em fluido de placa (grade inferior) após 7 dias de armazenamento a 37°C. (A) Visão frontal das grades e (B) Visão lateral com aproximação 59
- Figura 4.2 - Aspecto visual das soluções de saliva sintética do grupo controle (Br) e dos grupos de marcas comerciais estudadas (M1 a M7) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias 60
- Figura 4.3 - Aspecto visual das soluções de fluido de placa do grupo controle (Br) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias 61
- Figura 4.4 - Aspecto visual das soluções de fluido de placa, nas quais foram imersos os braquetes da marca comercial Abzil[®] (M7) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias 61
- Figura 4.5 - Aspecto visual das soluções de fluido de placa, nas quais foram imersos os braquetes da marca comercial American[®] (M5) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias 62
- Figura 4.6 - Aspecto visual das soluções de fluido de placa, nas quais foram imersos os braquetes da marca comercial Dentaurem[®] (M6) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias 62
- Figura 4.7 - Aspecto visual das soluções de fluido de placa, nas quais foram imersos os braquetes da marca comercial Full Size[®] Unitek[®] (M3) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias 63

- Figura 4.8 - Aspecto visual das soluções de fluido de placa, nas quais foram imersos os braquetes da marca comercial Morelli[®] (M1) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias 63
- Figura 4.9 - Aspecto visual das soluções de fluido de placa, nas quais foram imersos os braquetes da marca comercial TP[®] (M4) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias . 64
- Figura 4.10 - Aspecto visual das soluções de fluido de placa, nas quais foram imersos os braquetes da marca comercial Victory[®] Unitek[®] (M2) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias 64
- Figura 4.11 - Espectrômetro de absorção atômica (SIMAA 6000, Perkin-Elmer Corporation[®], Ueberlinger, Alemanha) utilizado para determinar quantitativamente Ni e Cr presentes nas soluções de saliva sintética provenientes dos braquetes ortodônticos de todas as marcas comerciais estudadas e nas soluções de fluido de placa provenientes dos braquetes das marcas Dentaurum[®] e Victory[®] 66
- Figura 4.12 - Diagrama representando os principais componentes ópticos do espectrômetro simultâneo utilizado (PERKIN-ELMER, 1995) 67
- Figura 4.13 - ICP OES com detecção simultânea e configuração axial (Spectro Ciros CCD[®], Spectro Analytical Instruments GmbH & Co[®], Kleve, Alemanha) utilizado para determinar quantitativamente Ni e Cr presentes nas soluções de fluido de placa provenientes de braquetes ortodônticos das marcas Abzil[®], American[®], Morelli[®], TP[®] e Full Size[®] 69

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 5.1 - Valores medianos da concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas ao longo de 28 dias 81
- Gráfico 5.2 - Valores medianos da concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas ao longo de 28 dias 82
- Gráfico 5.3 - Concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) detectada nas soluções de saliva sintética do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas. Valores medianos semanais, derivados das medidas de tendência central das quatro semanas do estudo 84
- Gráfico 5.4 - Concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) detectada nas soluções de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas. Valores medianos semanais, derivados das medidas de tendência central das quatro semanas do estudo 84
- Gráfico 5.5 - Valores medianos da concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas ao longo de 28 dias 93
- Gráfico 5.6 - Valores medianos da concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas ao longo de 28 dias 94
- Gráfico 5.7 - Concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) detectada nas soluções de saliva sintética do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas. Valores medianos semanais, derivados das medidas de tendência central das quatro semanas do estudo 96
- Gráfico 5.8 - Concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) detectada nas soluções de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas. Valores medianos semanais, derivados das medidas de tendência central das quatro semanas do estudo 96

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 -	Distribuição dos 280 braquetes ortodônticos que compuseram o grupo experimental de acordo com a marca comercial, com a rodada de testes e com a solução de imersão empregada	55
Tabela 4.2 -	Composição das soluções de estoque a partir das quais a solução de saliva sintética foi preparada. Cada uma foi elaborada 50 vezes a concentração da solução de trabalho (LEUNG; DARVEL, 1991)	58
Tabela 4.3 -	Fontes primárias de radiação e seus ajustes operacionais	68
Tabela 4.4 -	Programa de aquecimento do tubo de grafite utilizado para a determinação simultânea de Ni e Cr	68
Tabela 4.5 -	Parâmetros instrumentais para determinação de Ni e Cr por ICP OES	70
Tabela 4.6 -	Informações relativas às soluções de estoque contendo Ni e Cr, que foram utilizadas na preparação das soluções analíticas de referência juntamente com o ácido nítrico	71
Tabela 5.1 -	Medidas de tendência central e dispersão da concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas aos 7 dias de estudo	77
Tabela 5.2 -	Medidas de tendência central e dispersão da concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas aos 14 dias de estudo	78
Tabela 5.3 -	Medidas de tendência central e dispersão da concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas aos 21 dias de estudo	79

Tabela 5.4 -	Medidas de tendência central e dispersão da concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas aos 28 dias de estudo	80
Tabela 5.5 -	Concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) detectada nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas. Valores medianos semanais, derivados das medidas de tendência central e dispersão das quatro semanas do estudo	83
Tabela 5.6 -	Resultado das comparações múltiplas não paramétricas para os níveis de liberação de Ni entre as soluções de imersão	85
Tabela 5.7 -	Resultado das comparações múltiplas não paramétricas para os níveis de liberação de Ni em saliva sintética entre o grupo controle e os grupos de marcas comerciais estudadas	86
Tabela 5.8 -	Resultado das comparações múltiplas não paramétricas para os níveis de liberação de Ni em fluido de placa entre o grupo controle e os grupos de marcas comerciais estudadas	87
Tabela 5.9 -	Medidas de tendência central e dispersão da concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas aos 7 dias de estudo	89
Tabela 5.10 -	Medidas de tendência central e dispersão da concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas aos 14 dias de estudo	90
Tabela 5.11 -	Medidas de tendência central e dispersão da concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas aos 21 dias de estudo	91
Tabela 5.12 -	Medidas de tendência central e dispersão da concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas aos 28 dias de estudo	92

Tabela 5.13 -	Concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) detectada nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas. Valores medianos semanais, derivados das medidas de tendência central e dispersão das quatro semanas do estudo	95
Tabela 5.14 -	Resultado das comparações múltiplas não paramétricas para os níveis de liberação de Cr entre as soluções de imersão.....	97
Tabela 5.15 -	Resultado das comparações múltiplas não paramétricas para os níveis de liberação de Cr em saliva sintética entre o grupo controle e os grupos de marcas comerciais estudadas	98
Tabela 5.16 -	Resultado das comparações múltiplas não paramétricas para os níveis de liberação de Cr em fluido de placa entre o grupo controle e os grupos de marcas comerciais estudadas	99

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

$\mu\text{g L}^{-1}$	microgramas por litro
μg	microgramas
μL	microlitros
AISI	American Iron and Steel Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
cm	centímetros
cm^2	centímetros quadrados
DNA	Ácido desoxirribonucléico
ETAAS	Electrothermal atomic absorption spectrometry
EUA	Estados Unidos da América
g dm^{-3}	gramas por decímetros cúbicos
g	gramas
h	horas
IARC	International Agency for Research on Cancer
ICP OES	Inductively coupled plasma optical emission spectrometry
ICP-MS	Inductively coupled plasma mass spectrometry
ISO	International Standard Organization
lx	lux
M	molar
m/m	massa por massa
mA	miliamperes
mg L^{-1}	miligramas por litro

mim	minutos
mL mim ⁻¹	mililitros por minuto
mL	mililitros
mM	milimolar
mm	milímetros
mol dm ⁻³	mol por decímetros cúbicos
MTT	[3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5diphenyltetrazolium bromide]
MΩ cm	Megohm-centímetros
NiTi	Liga metálica de níquel e titânio
nm	nanômetros
s	segundos
SPSS	Statistical package for the social sciences
STPF	Stabilized temperature platform furnace
TMA	Liga metálica de titânio e molibdênio
v/v	volume por volume
W	watts

LISTA DE SÍMBOLOS

λ	comprimento de onda
"	polegadas
®	marca registrada
Ag	prata
Al	alumínio
Co	cobalto
CO ₂	gás carbônico
Cr	cromo
Cr(III)	cromo trivalente
Cu	cobre
Fe	ferro
H ₂ O	água
HCl	ácido clorídrico
HNO ₃	ácido nítrico
i	corrente elétrica
K ₂ Cr ₂ O ₇	dicromato de potássio
KCl	cloreto de potássio
KSCN	tiocianato de potássio
Mn	manganês
Mo	molibdênio
NaH ₂ PO ₄	fosfato monobásico de sódio
NaOH	hidróxido de sódio

Nb	nióbio
NH ₄ Cl	cloreto de amônia
Ni	níquel
Ni(II)	níquel bivalente
NiCl ₂	cloreto de níquel
°C	graus Celsius
Pd	paládio
Si	silício
Ta	tântalo
Ti	titânio
V	vanádio
W	tungstênio
Zn	zinco
Zr	zircônio

SUMÁRIO

	p.
1 INTRODUÇÃO	23
2 REVISÃO DA LITERATURA	27
2.1 Estudo da liberação de Ni e Cr por aparelhos ortodônticos	27
2.2 Efeitos patológicos locais e sistêmicos de Ni e Cr	41
3 PROPOSIÇÃO	51
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	52
5 RESULTADOS	77
6 DISCUSSÃO	101
6.1 Discussão da liberação de Ni e Cr por aparelhos ortodônticos	101
6.2 Discussão dos efeitos patológicos causados por Ni e Cr.....	111
7 CONCLUSÃO.....	113
REFERÊNCIAS	114
GLOSSÁRIO	120

1 INTRODUÇÃO

Fatores importantes devem ser considerados na escolha dos metais ou ligas metálicas constituintes dos aparelhos ortodônticos. Tais fatores são a biocompatibilidade, as propriedades mecânicas, a empregabilidade e a resistência à corrosão e ao manchamento (KEDICI et al., 1998). Os materiais ortodônticos submetidos ao ambiente bucal devem transpor desafios decorrentes desta condição hostil, pois devem coexistir com a umidade e com as alterações de temperatura e de pH decorrentes da digestão dos alimentos, que aceleram as taxas de corrosão destes materiais. A corrosão de ligas metálicas no ambiente bucal pode deteriorar as propriedades mecânicas dos aparelhos ortodônticos. Além disso, os produtos oriundos da corrosão destes metais ou ligas metálicas podem ser deglutidos ou anexados à mucosa ou à superfície dentária, originando efeitos biológicos adversos.

O aço inoxidável austenítico é o material mais frequentemente utilizado na fabricação de braquetes ortodônticos, pois suas propriedades mecânicas, tais como ductilidade e resistência ao desgaste, o tornam atraente para esta finalidade. Este material apresenta tipicamente uma composição de 17 a 22% m/m de cromo (Cr), 8% a 12% m/m de níquel (Ni), 2 a 3 % m/m de molibdênio (Mo) e uma pequena quantidade de carbono (KEROSUO; MOE; HENSTEN-PETTERSEN, 1997). O Ni é adicionado para estabilizar a liga de aço inoxidável, melhorando suas propriedades anti-corrosivas e diminuindo sua ductilidade. O cromo é adicionado para facilitar a formação de um filme anti-corrosivo passivo (ELIADES et al., 2003). A maioria dos braquetes ortodônticos comercialmente disponíveis é constituída de aço inoxidável tipo AISI 303, 304, 304L e 316L. A quantidade de carbono adicionada à liga diminui

à medida que aumenta o número de série e esta diminuição torna a liga austenítica menos susceptível à corrosão (GWINNETT, 1982). Outros elementos podem ainda ser adicionados para melhorar propriedades específicas. Assim, cada indústria de materiais ortodônticos possui particularidades na fabricação de seus braquetes que os tornam mais resistentes ou susceptíveis à corrosão. A utilização de tipos diferentes de ligas de aço e os processos diferenciados de fabricação, como a eliminação de soldas, são fatores que contribuem para a diminuição da taxa de corrosão apresentada pelos braquetes ortodônticos. Além disso, alguns fabricantes de braquetes ortodônticos têm utilizado outros metais ou ligas metálicas como cromo-cobalto (Cr-Co) e titânio na tentativa de melhorar a biocompatibilidade de seus braquetes.

O Ni tem sido descrito como alergênico, citotóxico, mutagênico e carcinogênico. As reações de hipersensibilidade ao Ni têm sido amplamente relatadas na literatura e sua prevalência na população varia em torno de 4,5% a 28,5%, com prevalência maior no gênero feminino (JANSON et al., 1998). O Ni é um hapteno conhecido que pode ligar-se a proteínas e formar antígenos completos. As manifestações clínicas da alergia ao níquel são dermatite e urticária. A utilização clínica de aparelhos ortodônticos está associada freqüentemente a um aumento da ocorrência de gengivite, geralmente atribuída à higiene bucal deficiente. Entretanto, não se pode distinguir clinicamente uma gengivite de etiologia bacteriana de um dano tecidual local causado pelos produtos de corrosão (GRIMSDOTTIR; HENSTEN-PETTERSEN; KULLMAN, 1992). O Ni em concentrações não tóxicas pode induzir alterações no DNA. A ação mutagênica do Ni pode derivar de seu efeito na inibição de diversas enzimas restauradoras de falhas no DNA (ELIADES et al., 2003). Para o Ni, o risco é inversamente proporcional à solubilidade em água

(BISHARA; BARRET; SELIM, 1993). Casos relatados de carcinoma induzido por Ni ocorreram devido à exposição ocupacional por inalação dos compostos. Não existem evidências de carcinogênese induzida por via oral ou cutânea.

Estudos com pacientes sob nutrição parenteral total indicaram que a falta de Cr pode causar distúrbios no metabolismo de glicose. Assim, o Cr é atualmente considerado um elemento essencial para os humanos (ANDERSON, 1995). Sua toxicidade, portanto, está associada ao seu estado de oxidação. Os compostos de Cr hexavalente são mais tóxicos que os compostos trivalentes. A exposição ocupacional a alguns compostos de Cr hexavalente por inalação mostrou uma alta incidência de neoplasias malignas no trato respiratório. As evidências científicas atuais não mostram associações entre a exposição ao Cr trivalente ou metálico e a ocorrência de neoplasias malignas. Porém, há pouca informação sobre o estado de valência do cromo liberado pelo aço inoxidável. Alguns compostos de Cr, além disso, são alergênicos e induzem dermatite de contato (IARC..., 1990).

As concentrações sanguíneas normais de Ni estão entre $2.4 \pm 0,5 \mu\text{g L}^{-1}$ e $30 \pm 19 \mu\text{g L}^{-1}$ e de Cr estão entre $0,371 \mu\text{g L}^{-1}$ e $1,4 \mu\text{g L}^{-1}$ (BISHARA; BARRET; SELIM, 1993). A ingestão oral diária de Ni pela alimentação é de 300 a 600 μg (GRIMSDOTTIR; GJERDET; HENSTEN-PETTERSEN, 1992), ao passo que para o Cr os valores estão entre 20 e 85 $\mu\text{g}/\text{dia}$, embora valores até 130 $\mu\text{g}/\text{dia}$ tenham sido relatados, dependendo da região geográfica.

Apesar da corrosão de braquetes ortodônticos ser objeto de estudo há décadas, a indústria de materiais ortodônticos apresenta novos braquetes a cada dia. Além disso, há evidência de que o comportamento corrosivo dos braquetes ortodônticos não depende apenas da liga metálica que os constitui, mas também de seu processo de fabricação, incluindo a presença de soldas e o tratamento de

superfície, que torna os braquetes ortodônticos mais susceptíveis ou resistentes à corrosão (GRIMSDOTTIR, GJERDET; HENSTEN-PETERSEN, 1992). Sendo assim, a indagação sobre o comportamento corrosivo de braquetes ortodônticos de marcas comerciais diferentes permanece. Torna-se necessário, portanto, comparar-se as taxas de liberação de Ni e Cr por braquetes ortodônticos diferentes. Isto orientará o ortodontista na escolha de braquetes com menor potencial tóxico para emprego em sua clínica, a fim de contribuir para a saúde dos seus pacientes.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Estudo da liberação de Ni e Cr por aparelhos ortodônticos

2.1.1 Estudos *in vitro* que avaliaram a liberação de Ni e Cr por aparelhos ortodônticos

As ligas metálicas empregadas em ortodontia são inerentemente susceptíveis à corrosão, devido à sua estrutura heterogênea. O comportamento corrosivo das ligas metálicas depende da sua interação eletroquímica com o meio ambiente. A cavidade oral constitui-se de um ambiente iônico que pode promover o depósito e a redução dos metais da superfície, tornando o problema da corrosão uma área de constante interesse em ortodontia. Diversos estudos *in vitro* foram conduzidos com o propósito de avaliar diferentes variáveis de interesse dentro do processo de corrosão. Dentre eles, trabalhos relevantes para o presente estudo encontram-se mencionados a seguir.

Com o objetivo de identificar a natureza e a origem das manchas verdes e negras indeléveis sob o esmalte dentário após a remoção de braquetes ortodônticos, Gwinnett (1982) avaliou 9 braquetes ortodônticos de diferentes marcas comerciais por meio de microscopia eletrônica de varredura e difração de R-X. Independentemente do tipo de braquete ou de resina, foi observada evidência morfológica de atividade corrosiva. Os braquetes estavam escavados e, em alguns

casos, grande quantidade de metal estava ausente. A análise de difração por R-X mostrou presença de cromo (Cr), níquel (Ni) e ferro (Fe) em quantidades significativas sob a resina aderida e manchada.

Braquetes ortodônticos novos e reciclados por três processos diferentes foram avaliados *in vitro* por Maijer e Smith (1986). Os braquetes, após imersão em saliva sintética a 37°C, foram examinados por microscopia óptica nos dias 1, 3, 7, 42, 84 e 144. A saliva sintética foi substituída a cada 7 dias. Os resultados indicaram que marcas comerciais diferentes de braquetes novos apresentaram comportamentos corrosivos diferentes. Além disso, a reciclagem pelos três processos diferentes aumentou a susceptibilidade dos braquetes à corrosão. A solda utilizada na fabricação dos braquetes pareceu ser um fator significativo na iniciação da corrosão, especialmente nos casos em que pontos de solda estavam presentes.

O propósito do estudo conduzido por Grimsdottir, Gjerdet e Hensten-Petersen (1992) foi analisar diferentes tipos de ligas utilizadas em ortodontia e mensurar a liberação de Ni e Cr por estas ligas em solução de cloreto de sódio a 0,9%. Arcos faciais, braquetes, bandas de molares e fios de cinco marcas comerciais foram analisados. Os dispositivos ortodônticos foram imersos a 23°C por 14 dias e a solução de imersão foi substituída e analisada a cada 7 dias. Os autores verificaram que a liberação de Ni e Cr esteve relacionada ao processo de fabricação dos dispositivos ortodônticos, mais especificamente à presença de soldas, e não diretamente associada ao conteúdo de Ni e Cr.

Barret, Bishara e Quinn (1993) avaliaram a taxa de corrosão *in vitro* de um aparelho ortodôntico convencional que consistia de bandas, braquetes e fios de aço inoxidável e de níquel-titânio (NiTi). Os marcadores para corrosão foram os íons Ni e Cr. Os aparelhos foram imersos em 100ml de saliva sintética a 37°C por 28 dias.

Dez arranjos idênticos foram utilizados, cada um simulando um aparelho ortodôntico completo utilizado no arco dentário superior. Cinco arranjos continham fios de aço inoxidável e cinco continham fios de níquel-titânio (NiTi). A liberação de íons Ni e Cr foi quantificada por meio de espectrometria de absorção atômica. A cada intervalo de 7 dias, a solução de saliva foi substituída e analisada. Os resultados indicaram que a liberação de Ni decaiu após 7 dias e, em contrapartida, a taxa de liberação de Cr aumentou durante as duas primeiras semanas, mas estabilizou-se durante as semanas seguintes. Houve grande variância nos resultados. As taxas de liberação de Ni e Cr por arranjos com fios de aço inoxidável e de NiTi não foram significativamente diferentes. Para ambos os fios, a taxa de liberação de Ni foi em média 37 vezes maior que a de Cr.

Matasa (1995) testou o comportamento corrosivo de braquetes ortodônticos por meio da liberação de hidrogênio entre o metal testado e o ácido clorídrico. Para tal, realizou dois testes paralelos com braquetes de 20 marcas comerciais. O autor relata que, apesar da limitação de seus resultados e das informações limitadas fornecidas pelos fabricantes, o aço 316L apresentou os melhores resultados, seguido do aço 304L.

Platt et al. (1997) avaliaram o comportamento corrosivo do aço inoxidável 2205 em comparação com o aço inoxidável tipo 316L. O aço inoxidável 2205 contém baixo teor de Ni (4 a 6%), ao passo que o aço inoxidável 316L contém 10 a 14% de Ni e é um material mais frequentemente empregado na fabricação de braquetes ortodônticos. Ambos foram submetidos a testes eletroquímicos e a testes de imersão a 37°C em solução de cloreto de sódio a 0,9%. Os testes eletroquímicos indicaram que o aço inoxidável 2205 tem uma taxa de passivação maior que o aço inoxidável 316L. A taxa de corrosão do aço inoxidável 2205 foi menor que a taxa de corrosão

do aço inoxidável 316L. Quando o 2205 foi acoplado ao 316L em igual área superficial, sua taxa de corrosão decaiu. Quando o 316L foi acoplado ao NiTi, TMA (liga de titânio-molibdênio) ou fios de aço inoxidável e submetido ao teste de imersão, ocorreu corrosão superficial localizada. Por outro lado, o 2205 não mostrou corrosão localizada, embora a superfície tenha ficado coberta por produtos de corrosão formados pelo acoplamento desse com NiTi e aço inoxidável. Assim, os autores recomendaram o aço inoxidável 2205 como melhor alternativa para a fabricação de braquetes ortodônticos.

A liberação de elementos por oito tipos de ligas metálicas odontológicas em cultura de células durante 10 meses foi avaliada por Wataha e Lockwood (1998). O meio de cultura de células foi substituído a cada 30 dias e analisado por espectrometria de absorção atômica. Os resultados apontaram que a liberação de elementos continuou durante os 10 meses e foi aparentemente constante durante a maior parte do experimento. Uma alta liberação inicial era esperada, mas não foi verificada. A maioria das ligas atingiu uma taxa de liberação constante após 100 dias do experimento. A liberação de elementos da liga metálica não foi baseada em seu conteúdo na liga.

Com base na premissa de que as características microbiológicas e enzimáticas da cavidade oral favorecem a corrosão de metais, Staffolani et al. (1999) testaram a liberação de íons metálicos por um aparelho ortodôntico que continha duas bandas de aço 316 e 304, 10 braquetes de aço 316, um arco de nivelamento de NiTi e uma liga de solda para conectar os elementos das bandas e dos braquetes. O aparelho ortodôntico foi mergulhado em soluções ácidas inorgânicas (pH 3,5-6,5) e orgânicas (ácidos tartárico, cítrico e ascórbico em pH 2,2 ou ácido láctico e acético em pH 2,5). Um espectrômetro de absorção atômica foi utilizado

para determinar a liberação de íons Ni, Cr, cobre (Cu), prata (Ag) e paládio (Pd). Os autores observaram que a liberação de íons Ni, Cr e Cu foi menor em pH 6,5 que em pH 3,5 em todos os períodos de tempo em soluções ácidas inorgânicas e que a liberação diária de íons por aparelho diminuiu após o primeiro dia. Contrariamente às expectativas, os aparelhos imersos em soluções de ácidos orgânicos em pH 2,2 ou 2,5, após 28 dias, liberaram uma quantidade de íons similar à observada nas soluções ácidas inorgânicas com pH 3,5. A liberação diária de Ni, Cu e Cr por um aparelho ortodôntico em pH ácido, particularmente favorável à corrosão, apresentou-se abaixo da quantidade ingerida em uma dieta diária normal. Sendo assim, a quantidade de metal liberada nas condições experimentais deste estudo não deveriam ser causa de preocupação na utilização de aparelhos ortodônticos.

Com o propósito de determinar os efeitos do pH do ambiente oral na corrosão de metais e ligas odontológicas de diferentes composições, Bayramoglu et al. (2000) realizaram um estudo utilizando métodos eletroquímicos. O efeito do pH na corrosão de ligas odontológicas foi dependente de sua composição. A dissolução de íons ocorreu em todos os pHs testados. O Cr, em algumas ligas metálicas, apresentou-se passivo, mostrando equilíbrio nos três diferentes valores de pH. O Ni, por sua vez, mostrou-se passivo em pH 10,8, porém dissolveu-se em Ni(II) em pH 2,4 e 5,6. Os autores concluíram que as ligas de Ni e Cr mostraram resistência à corrosão em comparação com outras ligas metálicas.

Huang, Yen e Kao (2001) compararam a liberação de íons metálicos por braquetes novos e reciclados imersos em saliva sintética e em soluções de diferentes pHs durante 12 semanas. Após este período, Ni, Cr, Fe e Mn (manganês) foram detectados por absorção atômica e a superfície dos braquetes foi analisada por microscopia eletrônica de varredura. Os autores verificaram que: (1) os

braquetes reciclados liberaram mais íons que os braquetes novos, (2) maiores quantidades de Ni, Fe e Mn foram liberadas em saliva sintética que nas demais soluções, (3) a liberação de íons em pH 4 foi maior que em pH 7 e 10, (4) a quantidade total de íons liberados aumentou com o tempo.

Hwang, Shi e Cha (2001) mensuraram a liberação de metais por aparelhos ortodônticos em saliva sintética. Para tal, os autores utilizaram um aparelho ortodôntico simulado, correspondente àquele instalado em um hemiarco dentário superior, e mergulharam-no em 50ml de saliva sintética (pH $6,75 \pm 0,15$, 37°C) por 3 meses. Os braquetes, bandas e tubos utilizados foram fabricados pela Tomy® (Tóquio, Japão). Quatro grupos foram estabelecidos de acordo com o fabricante e o tipo de metal dos fios .016x.022". Os grupos A e B foram compostos por fios de aço inoxidável das marcas Ormco® (Glendora, EUA) e Dentaurum® (Ispringen, Alemanha), respectivamente, e os grupos C e D foram compostos pelo fio Copper NiTi da Ormco® e pelo fio Bioforce Sentalloy da Tomy®, respectivamente. Foi medida a liberação de íons por cada grupo em função do tempo de imersão. As conclusões foram: (1) não houve aumento da quantidade de liberação de Cr após 4 semanas no grupo A, 2 semanas no grupo B, 3 semanas no grupo C e 8 semanas no grupo D e (2) não houve aumento na quantidade de Ni liberada após 2 semanas no grupo A, 3 dias no grupo B, 7 dias no grupo C e 3 semanas no grupo D. Durante o período de 3 meses de estudo, observou-se um decréscimo na liberação de metais com o decorrer do tempo.

A corrosão galvânica de determinadas ligas odontológicas foi avaliada por Karov e Hinberg (2001). Os autores prepararam amostras de três ligas de amálgama acopladas a duas ligas de ouro e a braquetes ortodônticos. As ligas de amálgama acopladas às ligas de ouro exibiram uma corrente galvânica maior que a densidade

de corrente encontrada para as amostras não acopladas. As amostras de amálgama acopladas aos braquetes ortodônticos apresentaram uma corrente galvânica de magnitude semelhante àquela das amostras não acopladas. A escovação causou aumentos transitórios na corrente galvânica que decaíram dentro de 100s para os níveis prévios.

Shin, Oh e Hwang (2003) submergiram e incubaram um aparelho ortodôntico fixo simulado em saliva sintética por períodos de até três meses. Para tal, utilizaram dois tipos de fios de aço inoxidável e dois tipos de fios de NiTi. Os autores determinaram a corrosão superficial dos fios macroscopicamente e por meio de microscopia eletrônica de varredura e espectrometria. Os depósitos sobre os fios foram identificados por difração de R-X. Foi observada uma corrosão uniforme nos fios de aço inoxidável e uma mudança suave de coloração nos fios de NiTi sob as ligaduras de aço inoxidável. Os produtos de corrosão nos fios de aço inoxidável aumentaram com o período de imersão e um filme superficial de óxidos pôde ser facilmente desprendido da matriz. Os autores afirmaram que esta corrosão pode enfraquecer o arco ou a solda, levando-o à fratura. Os fio de NiTi, entretanto, não apresentaram corrosão, nem alterações na morfologia superficial. Sendo assim, os fios de NiTi foram significativamente mais estáveis e resistentes à corrosão que os fios de aço inoxidável.

Com o propósito de caracterizar quantitativamente e qualitativamente as substâncias liberadas pelos braquetes ortodônticos e pelos fios de NiTi e de comparar a citotoxicidade dos íons liberados pelas ligas ortodônticas, Eliades et al. (2004) realizaram um estudo *in vitro* com dois arranjos de 20 braquetes ortodônticos de aço inoxidável cada e com dois grupos de 10 arcos .018x.025” de NiTi cada. As amostras foram imersas em solução salina a 0,9% por um mês e, em seguida,

analisadas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES, do inglês: Inductively coupled plasma optical emission spectrometry). Além disso, fibroblastos do ligamento periodontal e fibroblastos gengivais humanos foram expostos a várias concentrações das soluções de imersão. O cloreto de níquel foi utilizado como controle. A atividade citotóxica e citostática do meio foi avaliada por testes MTT (testes de coloração mitocondrial de células vivas) e de síntese de DNA. O resultados apontaram níveis mensuráveis de Ni e traços de Cr liberados no meio pelos braquetes de aço inoxidável e nenhuma liberação iônica proveniente do fios de NiTi. As concentrações de cloreto de níquel maiores que 2mM reduziram em mais de 50% a viabilidade dos fibroblastos e sua síntese de DNA, entretanto, nenhum meio derivado dos materiais ortodônticos tiveram efeito na viabilidade ou na síntese de DNA das células.

Huang et al. (2004) realizaram uma comparação da liberação de metais por braquetes novos e reciclados imersos em soluções tampão com diferentes pHs durante 48 semanas. A liberação de Ni, Cr, Fe, Co (cobalto) e Mn foi determinada por um espectrômetro de absorção atômica. Os autores afirmaram, ao final do estudo, que, a fim de se evitar efeitos colaterais, os braquetes ortodônticos deveriam ser mais resistentes à corrosão e os braquetes reciclados não deveriam ser utilizados.

Sória et al. (2005) avaliaram três variáveis que influenciam a liberação de Ni proveniente de braquetes ortodônticos: (1) o tipo de liga metálica do braquete; (2) o tipo de solução de imersão e (3) o esforço mecânico nas canaletas dos braquetes de aço inoxidável austenítico. Foram avaliados seis grupos experimentais e dois grupos controles, utilizando dois tipos diferentes de braquetes ortodônticos da marca comercial Morelli® (Sorocaba, Brasil), um deles com aço inoxidável 303 e 304 e

outro com aço especial com baixo teor de Ni. As amostras foram imersas em solução de saliva artificial ou em solução salina e foram mantidas sob agitação e temperatura constante (37°C). A quantidade de Ni presente nas soluções foi avaliada por meio de um espectrômetro de absorção atômica em dois momentos: após 7 dias e após 14 dias. Os autores verificaram que os braquetes de aço inoxidável com baixo teor de Ni apresentaram menor liberação deste elemento, que o tipo de solução de imersão alterou o padrão de liberação de Ni pelos dispositivos avaliados e que o esforço mecânico aplicado nas canaletas dos braquetes não alterou a quantidade de Ni liberada.

Iijima et al. (2006) testaram a corrosão galvânica de ligas metálicas de fios ortodônticos acopladas a ligas de braquetes em solução de NaCl a 0,9%. A corrente galvânica foi mensurada por 3 dias sucessivos utilizando um amperímetro. Os resultados sugeriram que o acoplamento de aço inoxidável 304 com NiTi e de titânio com NiTi poderia acelerar a corrosão desta, que funcionaria como o anodo.

Com o propósito de determinar a influência do fluoreto contido nos enxaguatórios bucais no risco de corrosão por formação de corrente galvânica entre fios e braquetes ortodônticos, Schiff et al. (2006) realizaram a imersão de diversas combinações de fios e braquetes em saliva sintética e em dois enxaguatórios bucais contendo flúor. Foi utilizada a norma ISO 10271/2001 para testes eletroquímicos para padronização do método. O enxaguatório bucal que continha fluoreto de estanho apresentou o mais alto risco de corrosão dos fios de NiTi combinados aos diferentes braquetes, enquanto que aquele contendo fluoreto de sódio apresentou mais alto risco para corrosão dos fios de CuNiTi. Sendo assim, os autores sugerem que os enxaguatórios bucais deveriam ser prescritos de acordo com o material

ortodôntico utilizado e que um novo tipo de solução deveria ser desenvolvido para utilização durante o tratamento ortodôntico.

Portanto, os estudos de liberação de íons metálicos por aparelhos ortodônticos são heterogêneos; variam quanto aos tipos de ligas metálicas, quanto aos fabricantes avaliados e quanto aos aspectos metodológicos, por exemplo, quanto ao tipo de solução empregada. Isto torna complexa a interpretação dos dados e a comparação dos dados entre si.

2.1.2 Estudos *in vivo* que avaliaram a liberação de Ni e Cr por aparelhos ortodônticos

Os aparelhos ortodônticos fixos, incluindo os braquetes ortodônticos, sofrem corrosão no ambiente oral e liberam íons metálicos, dentre eles, Ni e Cr, como foi constatado nos estudos apresentados anteriormente. Os estudos apresentados a seguir, por sua vez, avaliaram a presença de íons metálicos na saliva, no sangue ou nas células da mucosa oral de pacientes ortodônticos.

Com o objetivo de determinar a quantidade de íons Ni e Fe na saliva de pacientes ortodônticos, Gjerdet et al. (1991) colheram amostras de saliva de 34 pacientes entre 9 e 33 anos previamente à instalação do aparelho ortodôntico e pelo menos 3 semanas após. Algumas amostras foram ainda coletadas imediatamente após a instalação do aparelho. Os íons Ni e Fe foram quantificados por meio de espectrometria de absorção atômica. Houve grande variância nos resultados. Não foi observada diferença significativa nas concentrações de Ni e Fe nas amostras de

saliva obtidas antes e três semanas após a instalação do aparelho. Para as amostras colhidas imediatamente após a instalação do aparelho, houve um aumento significativo nas concentrações de Ni e Fe. Isto sugere que ocorre uma liberação inicial alta de metais e que este efeito diminui com o tempo.

Bishara, Barret e Selim (1993) conduziram um estudo para determinar os níveis sanguíneos de Ni durante os primeiros meses de tratamento com aparelho ortodôntico fixo. Amostras de sangue de 31 indivíduos entre 12 e 38 anos foram colhidas em três períodos de tempo: antes do tratamento ortodôntico, 2 meses após a instalação do aparelho e 4 a 5 meses após a instalação. As amostras de sangue foram analisadas por espectrometria de absorção atômica. Os autores puderam concluir, com base nos resultados encontrados, que durante os cinco meses iniciais do tratamento ortodôntico não houve aumento significativo dos níveis sanguíneos de Ni.

O propósito do estudo conduzido por Kerusuo, Moe e Hensten-Pettersen (1997) foi investigar as concentrações de Ni e Cr na saliva de pacientes com diferentes tipos de aparelhos ortodônticos fixos. Amostras de saliva foram coletadas de 47 pacientes ortodônticos, com idades entre 8 e 30 anos. Foram colhidas quatro amostras de cada indivíduo: (1) antes do tratamento ortodôntico, (2) 1 a 2 dias após, (3) 1 semana após e (4) 1 mês após a inserção do aparelho. Foi observada uma grande variação nas concentrações de Ni e Cr. Não foi observada diferença entre as amostras pré e pós-tratamento. Os resultados, portanto, sugerem que as concentrações de Ni e Cr não são afetadas significativamente pela presença do aparelho ortodôntico fixo no primeiro mês de tratamento.

Amostras de saliva obtidas de 17 pacientes ortodônticos e de 7 indivíduos controle foram analisadas por Eliades et al. (2003), a fim de determinar os níveis

presentes de Ni, Cr e Fe. As amostras de saliva foram colhidas antes e após um bochecho com água bi-destilada e foram analisadas por meio de ICP OES para determinação simultânea das concentrações dos elementos metálicos. Não foi observada diferença estatística quanto ao conteúdo metálico salivar dos grupos controle e de pacientes, independente do elemento. Os níveis metálicos encontrados na saliva não excedem aqueles provenientes da ingestão diária via oral ou respiratória.

Faccioni et al. (2003) avaliaram *in vivo* a biocompatibilidade de aparelhos ortodônticos fixos, mensurando a presença de íons metálicos nas células da mucosa oral, a sua citotoxicidade e o seu possível efeito genotóxico. Células da mucosa oral de 55 pacientes em tratamento ortodôntico e de 30 indivíduos-controle que não estavam sendo submetidos a tratamento ortodôntico foram colhidas por uma leve escovação da parte interna das bochechas do lado direito e esquerdo. As células foram imediatamente preparadas para teste de viabilidade e teste de cometa. O conteúdo celular de Ni e cobalto (Co) foi quantificado por meio da espectrometria de massas com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS, do inglês: inductively coupled plasma mass spectrometry). Os autores observaram que as concentrações de Ni e Co foram 3,4 e 2,8 vezes maiores, respectivamente, nos pacientes do que nos controles e que a viabilidade celular foi significativamente menor nos pacientes do que nos controles, com correlação negativa significativa com os níveis metálicos. Os efeitos biológicos, avaliados pelo teste alcalino de cometa, indicaram que ambos os metais induziram dano ao DNA (mais células com cometas e células apoptóticas). Este estudo, portanto, observou que Ni e Co liberados pelos aparelhos ortodônticos fixos podem induzir dano ao DNA nas células da mucosa oral.

Fors e Persson (2006) avaliaram o conteúdo de Ni na saliva e na placa bacteriana de 24 pacientes ortodônticos e de 24 indivíduos sem aparelho ortodôntico. Um diário dietético foi preenchido com dados das últimas 48 horas para avaliação da quantidade de Ni recentemente adquirida pela dieta. As amostras de saliva e placa bacteriana foram analisadas por espectrometria de absorção atômica. Não foi observada diferença significativa entre o conteúdo de Ni na saliva das amostras teste ou controle, mas sim no conteúdo filtrado de saliva. Foi observada diferença significativa no conteúdo de Ni da placa bacteriana coletada nas diferentes regiões dentárias. Uma diferença ainda mais significativa foi observada quando se comparou a placa bacteriana sob a superfície metálica e sob o esmalte dentário dos pacientes ortodônticos. Nenhuma diferença foi observada entre a ingestão de Ni e o conteúdo mensurado no estudo. Os autores concluíram que a liberação de Ni ocorre na placa bacteriana e nos componentes da saliva de pacientes ortodônticos.

Os resultados apresentados pelos estudos que avaliaram *in vivo* a liberação de metais por aparelhos ortodônticos, assim como aqueles apresentados pelos estudos *in vitro*, indicam que os aparelhos ortodônticos liberam Ni e Cr na cavidade oral. Porém, os trabalhos sugerem que os valores de Ni e Cr liberados não excedem os valores da ingestão diária média destes metais.

2.1.3 Saliva sintética para emprego em estudos de corrosão *in vitro*

Uma saliva sintética que reaja de maneira similar à saliva natural é um pré-requisito para a simulação de situações clínicas que requerem condições químicas

similares àsquelas existentes na cavidade oral. Entretanto, sabe-se que a duplicação exata das propriedades da saliva humana é impossível, devido à sua característica instável. Além disso, os constituintes salivares diferem conforme a glândula que os produz e são afetados pelo tipo, intensidade e duração do estímulo alimentar, pela hora do dia, pela dieta, pela idade, pelo gênero e por uma variedade de doenças e de agentes farmacológicos (DARVELL, 1978). Isto torna a saliva natural coletada *in situ* imprópria para estudos *in vitro* (LEUNG; DARVELL, 1997). Assim, o desenvolvimento de uma saliva sintética é essencial para experimentos controlados. Cada componente da saliva sintética desempenha um papel no processo a ser estudado, seja na corrosão, no tamponamento do pH, na absorção de água ou na estabilidade dos tecidos dentários.

O uso de saliva sintética em estudos de corrosão de ligas odontológicas foi relatado inicialmente em 1931 (LEUNG; DARVELL, 1997). Desde então, inúmeras formulações tem sido descritas, empregadas e modificadas (BARRETT; BISHARA; QUINN, 1993; FUZAYAMA; KATAYORI; NOMOTO, 1963; GJERDET; HERO, 1987; LEUNG; DARVELL, 1991; SHANNON; MCCRARY; STARCKE, 1977; SHIN; OH; HWANG, 2003). Darvell (1978) revisou a maioria das formulações apresentadas até 1975 e observou que a maioria delas era resultado de compilações arbitrárias de substâncias presentes na saliva humana. Frequentemente, estas fórmulas não consideravam a solubilidade dos componentes e incluíam injustificadamente algumas substâncias. Meyer e Nally (1975) examinaram o comportamento de diversas salivas sintéticas e indicaram que, entre as fórmulas testadas, aquela proposta por Fuzayama, Katayori e Nomoto (1963) produzia resultados mais aproximados à saliva natural. Em seguida, Darvell (1978) desenvolveu uma formulação para testes de corrosão baseada em dados da análise da saliva humana,

cujos componentes foram, pela primeira vez, explicitados em seus efeitos no processo de corrosão. Holland (1992) comparou as formulações de Darvell (1978) e Fuzayama, Katayori e Nomoto (1963) e comentou que a solução de Darvell (1978) tinha uma composição similar à saliva natural referente aos íons e aos componentes de baixo peso molecular. Os resultados de Holland (1992) mostraram que a solução de Fuzayama, Katayori e Nomoto (1963) era mais corrosiva e se diferenciava da saliva natural devido à alta concentração de uréia e à presença de sulfetos. A norma ISO 10.271 (2001), que padroniza testes de corrosão aplicados em materiais odontológicos metálicos, cita a solução de Leung e Darvell (1991) como exemplo de uma solução aceitável para testes de corrosão.

2.2 Efeitos patológicos locais e sistêmicos de Ni e Cr

Independentemente de como os metais são utilizados, estes estão amplamente presentes no ambiente, nos produtos consumidos e no processo industrial. Sendo assim, a exposição humana é, na maioria das vezes, inevitável. Modelos de toxicocinética têm sido desenvolvidos para descrever a absorção, a distribuição, a toxicidade e a eliminação de metais pesados, bem como seus efeitos tóxicos conseqüentes. Estes modelos permitem, por exemplo, prever por quanto tempo uma exposição crônica pode persistir até que alcance concentrações críticas no órgão alvo, ou quão rápido decaem os níveis sanguíneos após o término da exposição ao metal. O problema dos modelos está no fato de que fatores exógenos ou endógenos podem influenciar fortemente a cinética e os efeitos dos metais. Por

exemplo, o Disulfiram, droga empregada no tratamento do alcoolismo crônico, é um forte quelador de Ni e pode provocar dermatite ou vasculite em pacientes sensíveis. A dermatite causada por Ni pode ser exacerbada pela ingestão de alimentos que o contém, como chocolate e castanhas. A indometacina, que aumenta o nível de Ni na urina, pode também causar exacerbações. Além disso, os íons de metais pesados, em geral, são caracterizados por sua grande reatividade. Conseqüentemente, nos sistemas biológicos, existem principalmente em forma de complexos e a cinética do metal não reflete o comportamento dos íons, mas do complexo (GOYER; KLAASSEN; WAALKES, 1995).

Muitos metais são biologicamente essenciais, mas podem se tornar tóxicos com o aumento da dose. Relatos de toxicidade grave associada a Ni e Cr estão vinculados a exposições ocupacionais por inalação elevada (GOYER; KLAASSEN; WAALKES, 1995). Reações de hipersensibilidade a Ni e Cr são comuns, devido ao contato com metais presentes em roupas, bijuterias, entre outros. A literatura, porém, não apoia a afirmativa de que os aparelhos ortodônticos possam iniciar ou agravar as reações de hipersensibilidade (GRIMAUDO, 2001; JANSON et al., 1998; LEITE; BELL, 2004). A toxicidade sistêmica de Ni e Cr nas doses de exposição provenientes da ortodontia é ainda indeterminada, bem como os modelos de toxicocinética e o manejo de risco.

2.2.1 Citotoxicidade de Ni e Cr

A utilização de aparelhos ortodônticos pode contribuir para a gengivite, que frequentemente é atribuída ao acúmulo de placa bacteriana. Porém, uma gengivite bacteriana não pode ser distinguida clinicamente de uma irritação tecidual local causada pelos produtos de corrosão. Com o propósito de avaliar os efeitos citotóxicos locais de vários componentes metálicos utilizados em ortodontia, Grimsdottir, Hensten-Pettersen e Kullman (1992) testaram dispositivos ortodônticos com vários componentes, como aparelho extrabucal, bandas e braquetes, e dispositivos com componentes únicos, como braquetes e arcos de nivelamento, sobre ágar com fibroblastos de ratos. Nenhum dos arcos de nivelamento causou efeitos citotóxicos, mesmo aqueles com 54% de Ni. Assim, os autores relataram que a liberação de Ni pelos aparelhos ortodônticos está relacionada com o processo de fabricação, especialmente com a composição da solda, e não com o conteúdo real de Ni. Os dispositivos com vários componentes soldados com ligas de prata (Ag) ou cobre (Cu) foram mais citotóxicos que os dispositivos com componentes únicos. Os autores encontraram uma maior citotoxicidade para Cu que para Ni, o que pode explicar a maior citotoxicidade para elementos com soldas. Baseando-se nestes dados, os autores inferiram que os produtos da corrosão de aparelhos ortodônticos podem contribuir para a gengivite localizada.

Bumgardner e Lucas (1995) avaliaram a liberação de íons metálicos a partir de quatro ligas comerciais de Ni-Cr de diferentes composições em cultura de células por três dias. A liberação de íons metálicos, avaliada por espectrometria de absorção atômica, foi correlacionada com as alterações na morfologia celular, viabilidade e

proliferação. Os tipos e a quantidade de íons liberados também foram correlacionados com os decréscimos observados na proliferação celular após três dias. A liga estudada que liberou a menor quantidade de produtos de corrosão foi a que causou menor decréscimo na proliferação celular em comparação com o controle. Isto foi consequência de sua resistência à corrosão conferida por uma superfície homogênea de óxidos com alto conteúdo de Cr e Mo. As outras ligas estudadas, que foram susceptíveis a um processo acelerado de corrosão, liberaram altos níveis de íons metálicos que foram correlacionados com uma diminuição na proliferação celular. Os autores, porém, sugerem que mais pesquisas são necessárias para avaliar os efeitos sinérgicos dos metais liberados com a atividade e função celular.

Mockers, Deroze e Camps (2002), com o propósito de avaliar a biocompatibilidade de aparelhos ortodônticos, metálicos ou não, realizaram um teste *in vitro* de citotoxicidade. 28 materiais ortodônticos novos e 9 clinicamente utilizados, incluindo braquetes, bandas e arcos de nivelamento, foram estudados. Os materiais metálicos eram constituídos de aço inoxidável, aço coberto por ouro, titânio puro, titânio-molibdênio e liga de prata para solda. Os materiais não metálicos foram policarbonatos e cerâmicas. Após o período de liberação do material em meio de cultura por 3 ou 14 dias, a viabilidade de fibroblastos cultivados neste meio foi comparada com o controle. Os resultados mostraram a não citotoxicidade dos materiais, metálicos ou não, utilizados clinicamente ou novos, com exceção de uma amostra citotóxica aos 14 dias, correspondente a uma banda de molar soldada e clinicamente utilizada. Os resultados aos 3 dias foram diferentes dos resultados de 14 dias em 6 dos 37 casos. Os autores relataram que, apesar da presença de uma amostra citotóxica, os materiais ortodônticos podem ser considerados não

citotóxicos. Os clínicos, segundo os autores, devem, entretanto, estar atentos à composição e ao polimento das soldas a base de prata que contenham cobre (Cu) ou zinco (Zn), a fim de limitar a liberação de íons citotóxicos.

Os efeitos de 14 partículas metálicas e uma não metálica sobre a viabilidade de células similares aos osteoblastos foram estudados *in vitro* por Sakai, Takeda e Nakamura (2002) com o propósito de determinar se os efeitos adversos sobre as células derivam das partículas em si ou dos íons solúveis. Em altas concentrações, as partículas de alumínio (Al), titânio (Ti), zircônio (Zr), nióbio (Nb), tântalo (Ta), Cr, Mo e Fe diminuíram a viabilidade celular, mas seus íons não tiveram efeitos sobre as células, exceto para o Mo. A viabilidade celular observada na presença de partículas e de íons de Cu, silício (Si), vanádio (V), tungstênio (W) e Co foi semelhante. Maiores efeitos adversos sob as células foram produzidos por Mn e Ni em forma de partículas que em íons. Estes achados sugerem que os efeitos das partículas sobre as células dependem dos efeitos do contato direto destas com as células, dos efeitos indiretos dos íons solúveis e dos tipos de partículas dos elementos.

2.2.2 Reações de hipersensibilidade ao Ni e ao Cr

As reações alérgicas associadas ao Ni e ao Cr comumente se manifestam como uma dermatite de contato. Há diversos relatos de casos na literatura associando sintomas na mucosa ou na pele, como vermelhidão, inchaço ou dor, com alergias causadas por materiais dentários. A dermatite de contato por dicromato é

comum (GOYER; KLAASSEN; WAALKES, 1995), embora os testes cutâneos tenham revelado que o Ni é o metal alergênico mais freqüente (LEITE; BELL, 2004). O uso de aparelhos ortodônticos contendo Ni deve ser evitado em indivíduos reconhecidamente hipersensíveis, embora reações alérgicas de hipersensibilidade real sejam raras (GRIMAUDO, 2001).

As placas de teste cutâneo de alergia são o método mais comumente empregado na identificação de indivíduos alérgicos (BISHARA; BARRET; SELIM, 1993). Entretanto, este teste apresenta limitações. Existe um risco de sensibilização de indivíduos durante a aplicação do teste. Reações falso-positivas ao teste podem ocorrer por irritação quando se empregam altas concentrações de sais. Do mesmo modo, baixas concentrações de sais podem produzir reações falso-negativas ao teste (JANSON et al., 1998).

O Parlamento Europeu e o Conselho da União Européia, interessados em melhorar a qualidade de vida, a saúde e a segurança dos consumidores europeus, publicaram em 1994 uma diretriz que restringe o uso de Ni. Segundo estes, o uso deste elemento deve ser limitado, pois sua presença em determinados objetos pode levar a sensibilização e a reações alérgicas. Brincos, colares, braceletes, anéis, relógios, botões, zíperes, entre outros, não podem ser utilizados se a taxa de liberação de Ni de qualquer parte do produto em contato direto ou prolongado com a pele for superior a $0,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{semana}$. Sendo assim, nenhum fabricante ou importador pode disponibilizar comercialmente produtos que contenham Ni a menos que estes obedeçam a essa diretriz. Dispositivos médicos, incluindo os braquetes ortodônticos, contudo, não estão incluídos nessa diretriz (EUROPEAN PARLIAMENT, 1994).

Kerosuo et al. (1996) realizaram um estudo com 700 adolescentes, com idade entre 14 e 18 anos, a fim de investigar a freqüência de hipersensibilidade ao Ni em relação ao gênero, ao início, duração e tipo de tratamento ortodôntico e à idade na qual as orelhas foram perfuradas. Do total da amostra, 476 (58%) indivíduos relataram tratamento ortodôntico prévio com aparelhos metálicos. Os indivíduos realizaram teste cutâneo para Ni e a história foi colhida por meio de questionário e de fichas clínicas. A freqüência de sensibilização ao Ni foi de 19%. A alergia ao Ni foi significativamente mais freqüente em mulheres (30%) que em homens (3%) e em indivíduos com orelhas perfuradas (31%) que naqueles cujas orelhas não foram perfuradas (2%). O tratamento ortodôntico aparentemente não afetou a prevalência de sensibilidade ao Ni. Nenhuma das mulheres que foram tratadas com aparelho fixo antes de terem suas orelhas perfuradas mostrou hipersensibilidade ao Ni, ao passo que 35% das mulheres que tiveram suas orelhas perfuradas antes do tratamento ortodôntico eram sensíveis ao Ni. Os resultados deste estudo, portanto, sugerem que o tratamento ortodôntico não aumenta o risco de hipersensibilidade ao Ni. Ao contrário, o tratamento ortodôntico com aparelhos metálicos antes da sensibilização pelo Ni (perfuração das orelhas) pode reduzir a freqüência de hipersensibilidade ao Ni por indução de tolerância imunológica.

Janson et al. (1998) realizaram um estudo transversal para determinar a prevalência de reações de hipersensibilidade ao níquel antes, durante e após o tratamento ortodôntico com braquetes e fios convencionais de aço inoxidável, para evidenciar a indução desta reação pelos aparelhos ortodônticos e para caracterizar os indivíduos hipersensíveis. Um questionário e testes cutâneos para Ni foram empregados para avaliar a sensibilidade a este metal. A amostra constituiu de 170 pacientes, 105 do gênero feminino e 85 do gênero masculino, que foram divididos

em três grupos: A (n=60), pacientes antes do início do tratamento ortodôntico, B (n=66), pacientes atualmente em tratamento ortodôntico, e C (n=44), pacientes que haviam realizado tratamento ortodôntico previamente. Foi observada uma reação alérgica em 23% dos indivíduos do gênero feminino e em 5,3% do gênero masculino. Isto apontou um dimorfismo significativo entre os gêneros. Houve uma associação positiva significativa entre a hipersensibilidade ao Ni e a história pessoal prévia de alergia a metais, bem como ao uso diário de objetos metálicos. Não houve diferença significativa na prevalência de dermatite de contato entre os três grupos. Isto sugere que a terapia ortodôntica com aparelhos convencionais de aço inoxidável não inicia, nem agrava as reações de hipersensibilidade ao níquel.

Marigo et al. (2003) otimizaram um método para testar *in vitro* o impacto do antígeno Ni em cultura de células e para identificar as reações adversas das ligas metálicas em pacientes ortodônticos. Foram selecionados 35 pacientes ortodônticos classificados como sensíveis ou não sensíveis ao Ni, de acordo com suas fichas clínicas. Os resultados apontaram que este método foi capaz de distinguir entre os pacientes sensíveis e de discriminar aqueles que possuíam resposta positiva ao teste cutâneo. Os dados obtidos indicaram que a exposição contínua às ligas metálicas contendo Ni induziu mecanismos de tolerância que modularam a sensibilidade ao Ni. Além disso, uma resposta imune tipo II e uma perda considerável de imunidade tipo I (interferon γ) foram detectadas nos pacientes sensíveis ao Ni.

Em resumo, a literatura sugere que os aparelhos ortodônticos não aumentam o risco de hipersensibilidade ao Ni. Entretanto, os pacientes com relato prévio de dermatite atópica aos componentes metálicos que contém Ni devem ser monitorados proximamente.

2.2.3 Carcinogênese induzida por Ni e Cr

Segundo a Agência Internacional para a Pesquisa em Câncer (IARC) em 1990, os compostos de cromo hexavalente e os compostos de níquel são aceitos como carcinógenos humanos.

Casos relatados de carcinoma induzido por níquel ocorreram devido à exposição ocupacional por inalação dos compostos. Modelos experimentais em ratos puderam confirmar a indução de neoplasias malignas no pulmão após inalação de sulfeto de Ni. Porém, os compostos de Ni apresentaram resultados negativos para indução de tumores pelas vias de exposição oral ou intramuscular (OLLER; COSTA; OBERDORSTER, 1997).

O cromo hexavalente tem sido associado a danos ocupacionais à saúde desde 1827, quando casos de ulcerações na pele e dermatites foram observados em trabalhadores britânicos que lidavam com tintas. Em seguida, houve relatos de que trabalhadores expostos ao Cr(VI) apresentaram perfuração no septo nasal (SALEM, 1989). A primeira associação entre inalação de Cr e neoplasias malignas no pulmão foi detectada na Alemanha durante a Segunda Guerra Mundial. Por volta deste período, a solubilidade e o estado de valência do Cr foram reconhecidos como determinantes de efeitos nocivos à saúde (SALEM, 1989). O Cr hexavalente apresenta maior potencial para toxicidade que o Cr trivalente. Nos anos 50, o processo de produção do Cr foi alterado e a exposição dos trabalhadores foi significativamente reduzida. Sendo assim, melhorias tecnológicas e notável melhora na higiene industrial limitaram a exposição ocupacional ao Cr tanto por via tópica quanto inalatória (SALEM, 1989). Diversos estudos demonstraram que os

compostos de Cr hexavalente induzem neoplasias malignas em animais experimentais (IARC..., 1990). Quando o Cr(VI) entra na célula pelos sistemas normais de transporte de íons, como o sistema de transporte de sulfato, este interage com elementos intracelulares para formar complexos capazes de causar danos ao DNA, levando a alterações na expressão dos genes-alvo (WETTERHAHN; HAMILTON, 1989). Há poucos estudos disponíveis sobre a carcinogenicidade do Cr após administração oral. Nestes estudos, não foi observada resposta carcinogênica após exposição ao Cr trivalente, o único estado de valência estudado.

Portanto, não há estudos longitudinais que confirmem a indução de tumores por via local ou sistêmica nas quantidades de metais liberadas pelos aparelhos ortodônticos (GRIMAUDDO, 2001).

3 PROPOSIÇÃO

Com o propósito de auxiliar o ortodontista na escolha de braquetes ortodônticos com menor potencial para causar toxicidade local ou sistêmica para seus pacientes, o presente estudo teve como objetivo comparar diferentes marcas comerciais de braquetes ortodônticos, a fim de identificar aquelas que liberam as menores taxas de Ni e Cr em ambientes orais simulados durante 28 dias.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A liberação de Ni e Cr por braquetes ortodônticos de diversas marcas comerciais, submetidos à imersão estática em saliva sintética e em uma solução que simula o fluido de placa bacteriana durante 28 dias a 37°C, foi determinada quantitativamente. A norma ISO 10.271 (2001), denominada “Materiais odontológicos metálicos – métodos dos testes de corrosão”, foi empregada no presente estudo para padronização do método.

4.1 Amostra

4.1.1 Caracterização da amostra

A amostra foi constituída de 280 braquetes ortodônticos de pré-molares superiores pertencentes a sete grupos de modelos e marcas comerciais diferentes. A quantidade e a especificação comercial dos braquetes estão apresentadas a seguir:

- 40 braquetes de pré-molares superiores modelo Kirium Line[®], marca comercial Abzil[®] (São José do Rio Preto, Brasil). Código no catálogo da empresa: 288-133.
- 40 braquetes de pré-molares superiores modelo Mini Master Series[®], marca comercial American Orthodontics[®] (Sheboygan, EUA). Código no catálogo da empresa: 390-0027.
- 40 braquetes de pré-molares superiores modelo Discovery[®], marca comercial Dentaurem[®] (Ispringen, Alemanha). Código no catálogo da empresa: 790-118-00.
- 40 braquetes de pré-molares superiores Sistema Morelli M.B.T.[®], marca comercial Morelli[®] (Sorocaba, Brasil). Código no catálogo da empresa: 10.35.007.
- 40 braquetes de pré-molares superiores modelo NuEdge MBT[®], marca comercial TP Orthodontics[®] (LaPorte, EUA). Código no catálogo da empresa: 293-205.
- 40 braquetes de pré-molares superiores modelo Full Size[®], marca comercial 3M Unitek[®] (Monrovia,EUA). Código no catálogo da empresa: 119-936.
- 40 braquetes de pré-molares superiores modelo Victory[®], marca comercial 3M Unitek[®] (Monrovia,EUA). Código no catálogo da empresa: 017-890.

Os braquetes ortodônticos empregados no presente estudo eram constituídos de aço inoxidável, com exceção dos braquetes NuEdge[®] da marca TP[®] Orthodontics que eram constituídos de uma liga de cobalto-cromo (ASTM F-75), que apresenta baixo teor de níquel.

Os braquetes ortodônticos estudados obedeceram à prescrição MBT[®], proposta por McLaughlin, Bennett e Trevisi (2002). Cada braquete possuía, portanto, -7° de torque e 0° de angulação.

Os braquetes ortodônticos modelos Discovery[®] da marca Dentaurum[®] e Full Size[®] da marca Unitek[®] não possuem soldas em seu processo de fabricação. Estes braquetes são fabricados por um sistema de injeção de metais. Os braquetes ortodônticos modelos Kirium Line[®] da Abzil[®], Mini Master Series[®] da American Orthodontics[®], Morelli MBT[®] da marca Morelli[®], NuEdge[®] da marca TP Orthodontics[®] e Victory[®] da Unitek[®] possuem soldas em seu processo de fabricação. Os braquetes modelo NuEdge[®] da marca TP Orthodontics[®] possuem ainda um polímero, denominado Prime Kote[®], que recobre toda a superfície dos braquetes. Os braquetes Morelli MBT[®] da marca Morelli[®], segundo Sória et al. (2005), possuem a base constituída de aço 304 e as aletas constituídas de aço 303. Sendo assim, as aletas são soldadas à base e esta é novamente soldada à tela de retenção.

Os braquetes ortodônticos foram testados na condição fornecida pelo fabricante que equivale à condição encontrada pelo ortodontista clínico durante a aquisição de seus braquetes por meio de uma compra habitual. Os braquetes estudados podem, assim, pertencer ou não ao mesmo lote de fabricação.

Clinicamente, espera-se que a superfície do braquete sujeita à corrosão não inclua sua base. Entretanto, no presente estudo, a base dos braquetes não foi coberta por resina. Isto foi realizado para eliminar a introdução de impurezas que poderiam gerar artefatos de técnica.

4.1.2 Distribuição amostral

Cada grupo de 40 braquetes de cada marca comercial foi dividido em 4 grupos de 10 espécimes cada. Uma primeira rodada de testes de corrosão foi realizada com 10 braquetes de cada marca comercial imersos estaticamente em saliva sintética (SS) e com 10 braquetes de cada marca comercial imersos em uma solução que simula o fluido liberado pela placa bacteriana (FP). Uma segunda rodada de testes, idêntica à primeira, foi realizada com os braquetes ortodônticos restantes imersos nestas mesmas soluções (Tabela 4.1). Houve um intervalo de 30 dias entre a primeira e a segunda rodada de testes.

Tabela 4.1 – Distribuição dos 280 braquetes ortodônticos que compuseram o grupo experimental de acordo com a marca comercial, com a rodada de testes e com a solução de imersão empregada

		Abzil®	American®	Dentaurum®	Morelli®	TP®	Unitek®	Unitek®
		Kirium®	Mini Master Series®	Discovery®	Morelli MBT®	NuEdge®	Full Size®	Victory®
Teste	SS	10	10	10	10	10	10	10
1	FP	10	10	10	10	10	10	10
Teste	SS	10	10	10	10	10	10	10
2	FP	10	10	10	10	10	10	10
Total		40	40	40	40	40	40	40

SS: Saliva sintética
FP: Fluido de placa

4.2 Procedimentos experimentais

4.2.1 Inspeção e limpeza dos braquetes ortodônticos

Os braquetes ortodônticos constituintes da amostra foram analisados visualmente para preencherem o requisito de “nenhum sinal visível de alteração ou deterioração”. Para tal, todos os braquetes ortodônticos foram analisados ao mesmo tempo, da mesma maneira e pelo mesmo indivíduo apresentando visão cromaticamente normal. A inspeção foi realizada sob um refletor com uma intensidade de luz de pelo menos 1000 lx e a uma distância inferior a 25 cm.

As superfícies dos braquetes foram limpas ultrasonicamente por 2 min em etanol. Em seguida, foram lavadas com água e secadas com ar comprimido livre de óleo e de água.

4.2.2 Teste de imersão estática dos braquetes ortodônticos

A liberação Ni e Cr a partir dos braquetes ortodônticos constituintes da amostra foi avaliada por meio da imersão destes estaticamente em duas soluções sob temperatura constante a 37 °C por 28 dias ou 4 semanas. O teste de imersão estática é aquele no qual a amostra é exposta a uma solução corrosiva em condições de mobilidade relativa mínima entre a amostra e a solução. Empregou-se

uma solução de saliva sintética com pH neutro ($6,7\pm 1$) e uma solução que simula o fluido liberado pela placa bacteriana e que possui pH ácido ($2,3\pm 1$). Foram adotadas duas soluções de imersão, pois embora a saliva tenha uma capacidade tampão eficiente, ao redor dos braquetes ortodônticos de indivíduos com deficiência de higiene oral podem-se formar microambientes acidificados pela placa bacteriana.

A composição da solução de saliva sintética empregada no presente estudo encontra-se na Tabela 4.2. Considerando a solubilidade e a instabilidade do bicarbonato em baixo pH e considerando a necessidade de minimizar a perda de CO_2 , foi necessário o armazenamento em três soluções de estoque (A, B e C, conforme Tabela 4.2), das quais alíquotas foram retiradas para formar a solução final. As soluções de estoque foram armazenadas em refrigerador. A solução de saliva sintética foi preparada pela mistura de alíquotas iguais das três soluções (A, B e C), seguida pela diluição da mesma por 50 vezes em água destilada. O pH da solução foi ajustado utilizando-se 1M HCl ou 1M NaOH previamente ao ajuste final de volume. Os instrumentos utilizados neste trabalho para a manipulação dos braquetes e das soluções não continham metais em sua composição.

Tabela 4.2 – Composição das soluções de estoque a partir das quais a solução de saliva sintética foi preparada. Cada uma foi elaborada 50 vezes a concentração da solução de trabalho (LEUNG; DARVEL, 1991)

	Concentração	
	/g dm ⁻³	/mol dm ⁻³
Solução de estoque A		
NaH ₂ PO ₄	28,0	0,233
KCl	86,8	1,164
NaCl	7,21	0,123
NH ₄ Cl	11,0	0,205
Citrato trissódico . 2		
H ₂ O	1,1	3,74 x 10 ⁻³
Ácido láctico	3,5	0,039
Solução de estoque B		
Uréia	10,0	0,167
Ácido úrico	0,75	4,46 x 10 ⁻³
NaOH	0,2	5,00 x 10 ⁻³
Solução de estoque C		
KSCN	12,0	0,123

A solução de imersão que simula o fluido de placa bacteriana foi composta pela dissolução de $10 \pm 0,1$ g de ácido láctico (C₃H₆O₃) e de $5,85 \pm 0,005$ g de NaCl em aproximadamente 300 mL de água destilada e, em seguida, novamente diluída até 1000 ± 10 mL de água destilada.

Considerando-se que um braquete ortodôntico possui aproximadamente 0,5 cm², o volume de 0,5 mL foi adotado para obedecer à proporção de 1 cm² de área de amostra para 1 mL de solução. O volume de 0,5 mL foi dispensado automaticamente em cada tubo de polipropileno por uma pipeta de volume ajustável (Eppendorf[®], Westbury, EUA).

Ao início de cada teste, uma solução fresca de saliva sintética e de fluido de placa foi preparada. Todos os braquetes com sua respectiva solução de imersão foram estocados durante o experimento em tubos de polipropileno descartáveis não contaminados, com capacidade para 1,5 mL (Axygen[®], Union City, EUA) e dotados

de sistema de fechamento eficiente. Foi adicionado a cada tubo de polipropileno 0,5 mL da solução empregada e um braquete ortodôntico constituinte da amostra. Os espécimes foram mantidos em temperatura constante a $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, durante 7 dias \pm 1h (Figura 4.1). Para o armazenamento adequado dos espécimes, estes foram devidamente colocados em uma estufa de cultura Linha 502 (Fanem[®], São Paulo, Brasil). A solução de saliva sintética ou de fluido de placa foi substituída semanalmente em intervalos de 7, 14, 21 e 28 dias e a cada substituição foi preparada uma solução fresca. O preparo das soluções e sua substituição semanal foram realizados no Laboratório de Bioquímica do Departamento de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo.



Figura 4.1 – Grades contendo os tubos de polipropileno com as amostras controle e com as amostras de braquetes ortodônticos imersas em saliva sintética (grade superior) e em fluido de placa (grade inferior) após 7 dias de armazenamento a 37°C . (A) Visão frontal das grades e (B) Visão lateral com aproximação

O grupo controle consistiu na avaliação das soluções armazenadas sob mesmas condições, porém, sem contato com braquetes ortodônticos. Seis tubos de polipropileno, 3 com 0,5 mL de saliva sintética em cada e 3 com 0,5 mL de fluido de placa em cada, foram estocados a cada intervalo de 7, 14, 21 e 28 dias em cada um dos dois testes sem braquetes ortodônticos. Isto foi realizado a fim de determinar a quantidade de Ni e Cr previamente existente na solução.

O aspecto das soluções de saliva sintética, previamente à análise química das concentrações de Ni e Cr, pode ser visualizado na Figura 4.2 em cada intervalo de tempo, tomando como exemplo um tubo de polipropileno de cada grupo estudado.

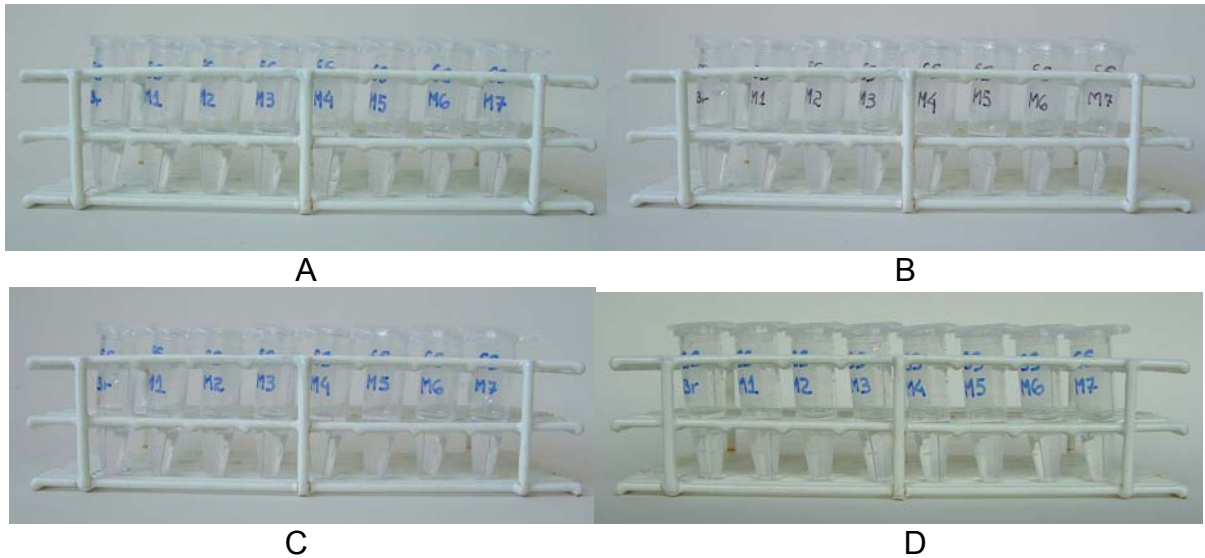


Figura 4.2 – Aspecto visual das soluções de saliva sintética do grupo controle (Br) e dos grupos de marcas comerciais estudadas (M1 a M7) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias

As Figuras 4.3 a 4.10, a seguir, apresentam todas as amostras de fluido de placa do grupo controle e das marcas comerciais estudadas da segunda rodada de testes previamente à análise química para determinação das concentrações de Ni e Cr.



Figura 4.3 – Aspecto visual das soluções de fluido de placa do grupo controle (Br) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias

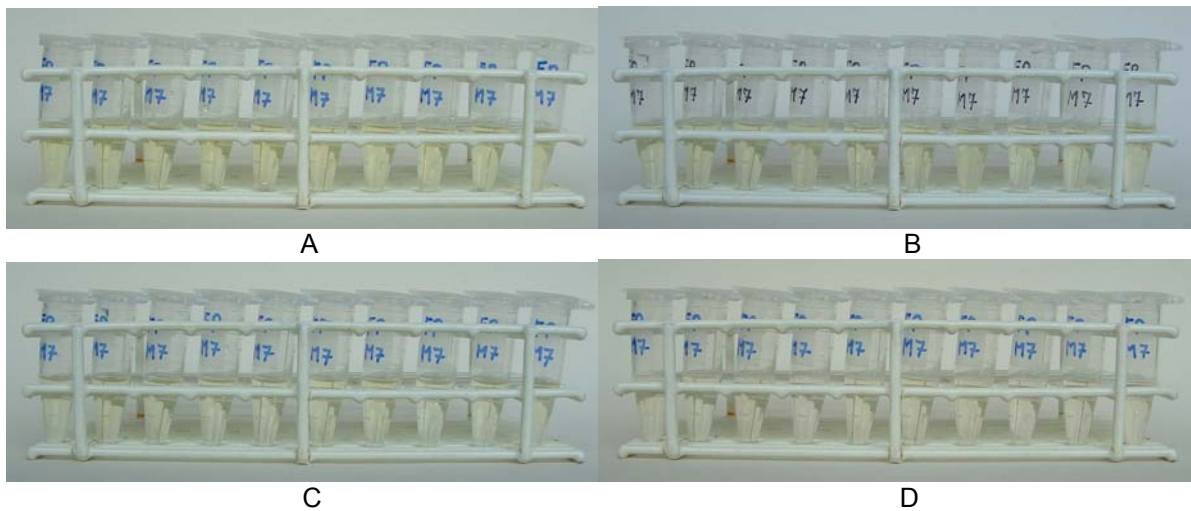


Figura 4.4 – Aspecto visual das soluções de fluido de placa, nas quais foram imersos os braquetes da marca comercial Abzil® (M7) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias

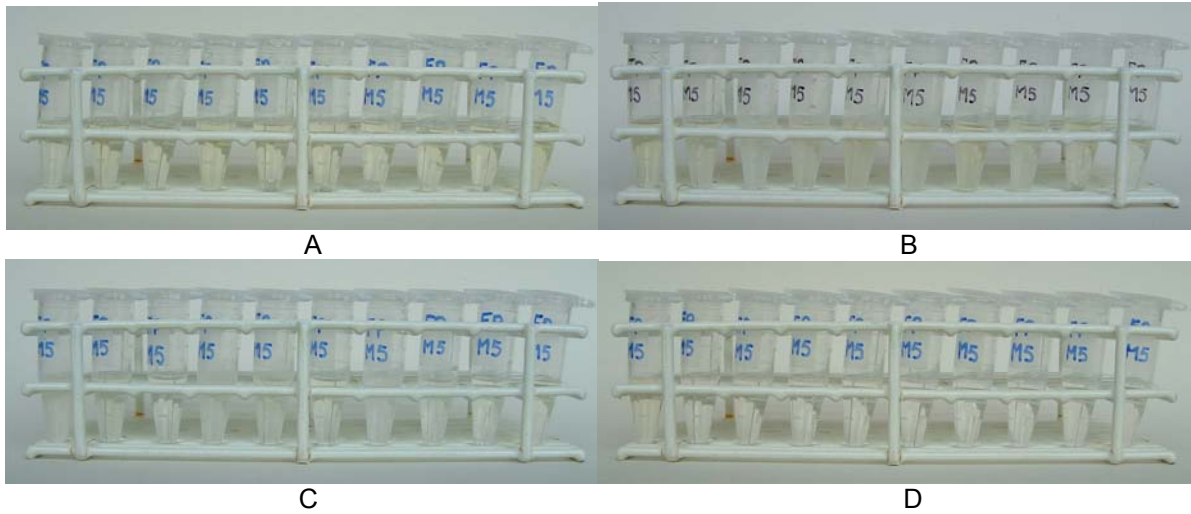


Figura 4.5 – Aspecto visual das soluções de fluido de placa, nas quais foram imersos os braquetes da marca comercial American® (M5) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias

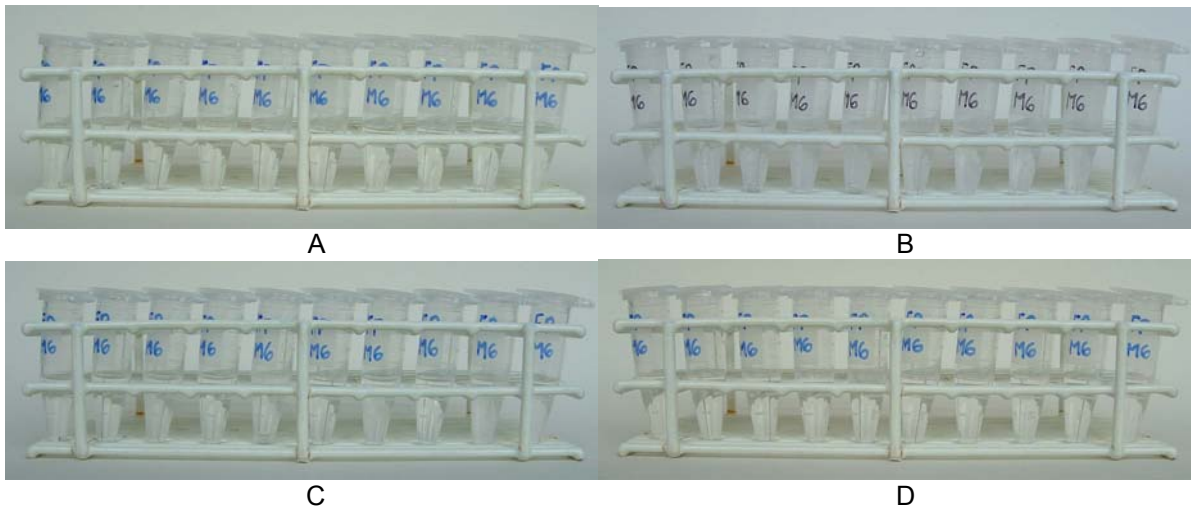


Figura 4.6 – Aspecto visual das soluções de fluido de placa, nas quais foram imersos os braquetes da marca comercial Dentaurem® (M6) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias

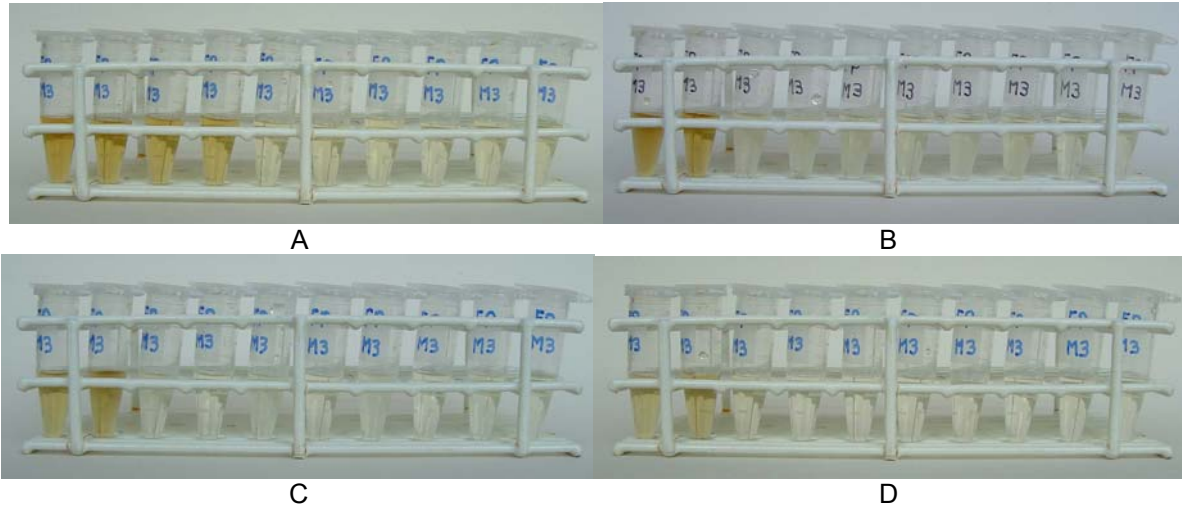


Figura 4.7 – Aspecto visual das soluções de fluido de placa, nas quais foram imersos os braquetes da marca comercial Full Size® Unitek® (M3) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias

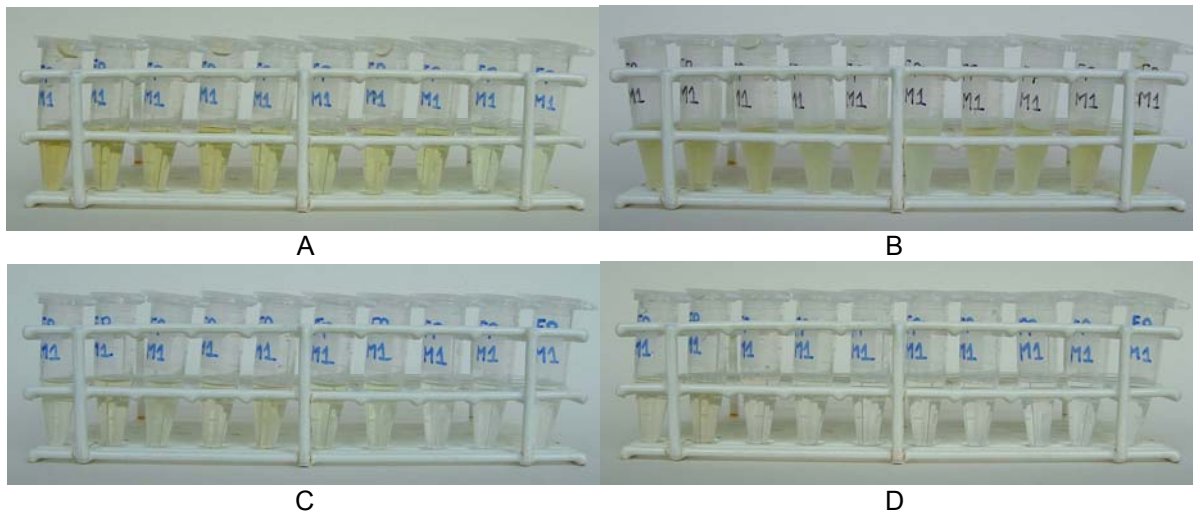


Figura 4.8 – Aspecto visual das soluções de fluido de placa, nas quais foram imersos os braquetes da marca comercial Morelli® (M1) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias

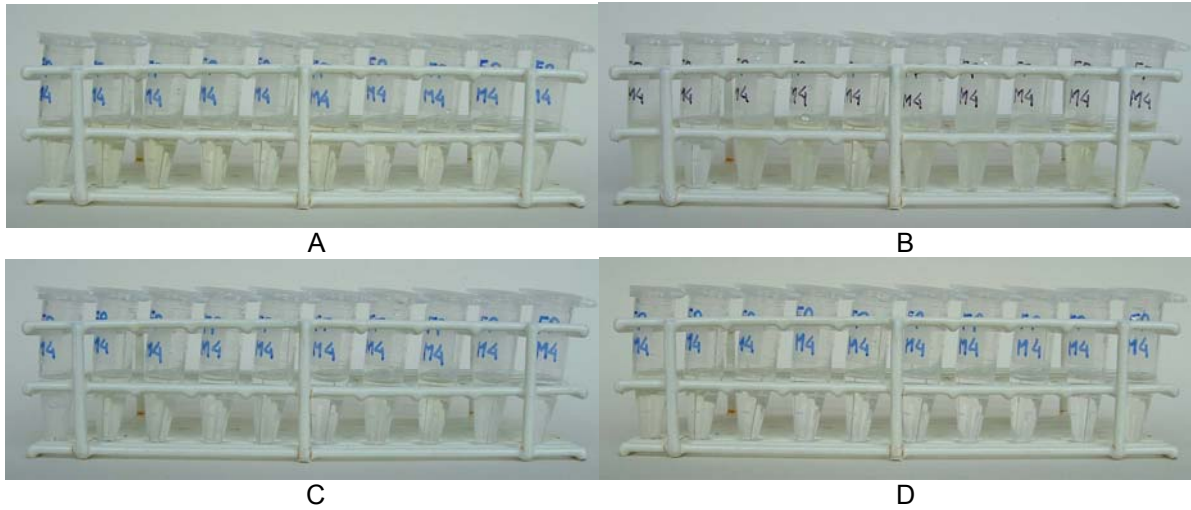


Figura 4.9 – Aspecto visual das soluções de fluido de placa, nas quais foram imersos os braquetes da marca comercial TP[®] (M4) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias

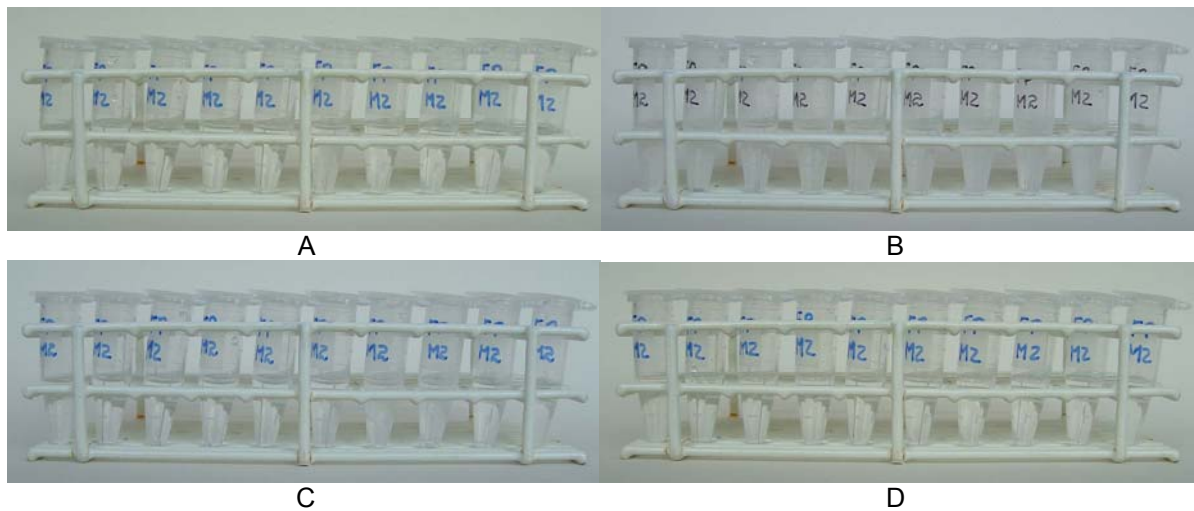


Figura 4.10 – Aspecto visual das soluções de fluido de placa, nas quais foram imersos os braquetes da marca comercial Victory[®] Unitek[®] (M2) na segunda rodada de testes. (A) 7 dias; (B) 14 dias; (C) 21 dias e (D) 28 dias

4.2.3 Determinação de Ni e Cr em saliva sintética e em fluido de placa

4.2.3.1 *Instrumentação*

A análise química das soluções de saliva sintética e de fluido de placa artificial para determinação de Ni e Cr foi realizada no Laboratório de Espectrometria de Emissão e Absorção Atômica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo. As soluções de saliva sintética controle e de todas as marcas comerciais estudadas e as soluções de fluido de placa controle e das marcas Dentaurem[®] e Victory[®], colhidas semanalmente, foram analisadas em um espectrômetro de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite e detecção simultânea (SIMAA 6000, Perkin-Elmer Corporation[®], Ueberlingen, Alemanha) apresentado na Figura 4.11. O aspecto visual límpido das soluções mencionadas, após os períodos de imersão dos braquetes, sugerindo a presença de Ni e Cr em baixas concentrações, e dados provenientes de testes preliminares indicaram o espectrômetro de absorção atômica com atomização eletrotérmica (ETAAS) em forno de grafite como a técnica com sensibilidade apropriada para a determinação quantitativa dos elementos nestas amostras. As soluções de fluido de placa colhidas após a imersão dos braquetes ortodônticos das marcas comerciais Abzil[®], American[®], Morelli[®], TP[®] e Full Size[®] Unitek[®] se apresentaram turvas, o que indicava a presença de Ni e Cr em maiores concentrações. Nessa condição, as determinações de Ni e Cr nestas amostras se tornaram inviáveis por ETAAS, devido às elevadas diluições necessárias, o que resultou em erros, comprometendo a

precisão dos resultados. Sendo assim, as determinações de Ni e Cr nestas soluções foram executadas por ICP OES com detecção simultânea e configuração axial (Spectro Ciros CCD[®], Spectro Analytical Instruments GmbH & Co[®], Kleve, Alemanha).



Figura 4.11 – Espectrômetro de absorção atômica (SIMAA 6000, Perkin-Elmer Corporation[®], Ueberlingen, Alemanha) utilizado para determinar quantitativamente Ni e Cr presentes nas soluções de saliva sintética controle e de todas as marcas comerciais estudadas e nas soluções de fluido de placa controle e das marcas Dentaurum[®] e Victory[®]

Com possibilidade de determinação multielementar, o espectrômetro de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite permitiu quantificar simultaneamente Ni e Cr em todas as amostras de saliva sintética e nas amostras de fluido de placa controle e das marcas Dentaurum[®] e Victory[®]. Este equipamento apresenta alterações instrumentais, comparando-se aos espectrômetros monoelementares, principalmente na parte óptica e no sistema de detecção que conferem a ele a capacidade de realizar detecção simultânea de até seis elementos (Figura 4.12).

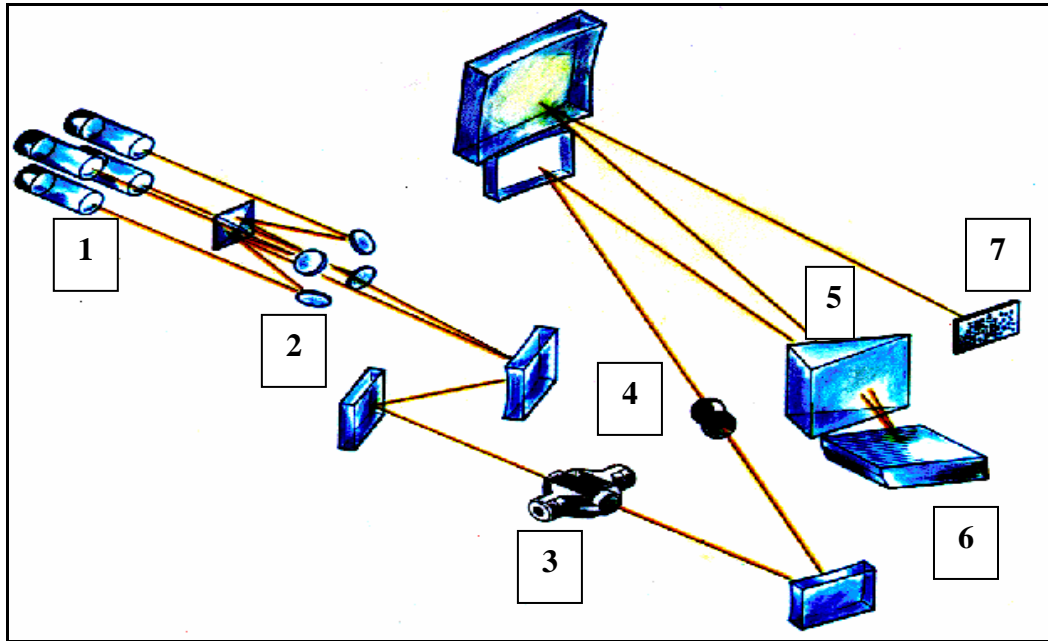


Figura 4.12 – Diagrama representando os principais componentes ópticos do espectrômetro simultâneo utilizado (PERKIN-ELMER, 1995)

Os feixes de radiação (1) produzidos por até quatro lâmpadas de catodo oco (HCL) ou lâmpadas de descarga sem eletrodo (EDL) são colimados (2) e direcionados por espelhos ao interior do tubo de grafite (3), onde ocorrerá a absorção parcial destes feixes, devido à presença de átomos livres no estado fundamental. Através de uma fenda (4), os feixes de radiação das diferentes lâmpadas entram no monocromador do espectrômetro que possui um prisma (5) e uma grade de difração Echelle (6), permitindo a separação bidimensional dos feixes em distintos comprimentos de onda. Esse arranjo é denominado policromador Echelle, devido ao fato de existirem dois elementos dispersores combinados e a grade Echelle (WELZ; SPERLING, 1999). O resultado final é a separação das diferentes radiações em duas dimensões, permitindo a utilização de detectores em estado sólido (KELIHER; WOHLERS, 1976, OLESIK, 1999). Um arranjo de 60 fotodiodos (7) é responsável pela detecção simultânea dos feixes de radiação. Outras características do equipamento são o aquecimento transversal do tubo de

grafite, dotado de plataforma integrada de grafite pirolítico, o corretor de radiação de fundo por efeito Zeeman longitudinal e o amostrador automático (AS-72) para introdução de soluções no interior do atomizador. O espectrômetro utilizado apresenta todos os atributos necessários para operar sob as condições STPF (do inglês: stabilized temperature platform furnace): tubo com aquecimento isotérmico, uso de plataforma de grafite, parada do gás durante a atomização e eletrônica rápida para aquisição de sinal (SLAVIN; MANNING; CARNRICK, 1981).

As fontes primárias de radiação empregadas no desenvolvimento deste experimento e os ajustes operacionais estão indicados na Tabela 4.3. O programa de aquecimento utilizado neste estudo está descrito na Tabela 4.4.

Tabela 4.3 – Fontes primárias de radiação e seus ajustes operacionais

Elemento	λ (nm)	Tipo de lâmpada	i (mA)	Fenda do monocromador
Ni	357.9	HCL	25	0,7
Cr	232,0	HCL	25	0,7

HCL: Lâmpada de catodo oco (do ingles: hollow cathode lamp)

Tabela 4.4 – Programa de aquecimento do tubo de grafite utilizado para a determinação simultânea de Ni e Cr

Etapa	Temperatura (°C)	Rampa (s)	Patamar (s)	Fluxo de Ar (mL min ⁻¹)	Leitura
Secagem I	110	10	15	250	Não
Secagem II	130	1	10	250	Não
Pirólise	1300	10	20	250	Não
Atomização	2400	0	5	0	Sim
Limpeza	2500	1	3	250	Não

Argônio 99,999% v/v (Air Liquide[®], São Paulo, Brasil) foi utilizado como gás protetor do tubo de grafite e como gás de purga. O fluxo de argônio para proteger a

superfície externa do tubo de grafite foi fixado pelo fabricante em 200 mL min^{-1} . Durante o programa de aquecimento, um fluxo interno de argônio (gás de purga) foi fixado em 250 mL min^{-1} nas etapas de secagem, pirólise e limpeza, sendo interrompido durante a etapa de atomização. O fluxo interno de argônio arrasta os vapores formados durante as etapas de secagem, pirólise e limpeza, bem como protege a superfície interna do tubo de grafite.

As determinações de Ni e Cr nas amostras de fluido de placa, após imersão dos braquetes das marcas comerciais Abzil[®], American[®], Morelli[®], TP[®] e Full Size[®] Unitek[®], foram executadas por ICP OES com detecção simultânea e configuração axial (Figura 4.13). O gás de formação do plasma é o argônio 99,998% v/v (Air Liquide[®], São Paulo, Brasil), responsável por gerar um plasma estável e quimicamente inerte. Os parâmetros instrumentais aplicados estão apresentados na Tabela 4.5.



Figura 4.13 – ICP OES com detecção simultânea e configuração axial (Spectro Ciros CCD[®], Spectro Analytical Instruments GmbH & Co[®], Kleve, Alemanha) utilizado para determinar quantitativamente Ni e Cr presentes nas soluções de fluido de placa que estiveram em contato com os braquetes ortodônticos das marcas Abzil[®], American[®], Morelli[®], TP[®] e Full Size[®]

Tabela 4.5 – Parâmetros instrumentais para determinação de Ni e Cr por ICP OES

Potência (W)	1400
Nebulizador	Fluxo Cruzado (Spectro)
Câmara de nebulização	Duplo passo tipo Scott
Fluxo de gás externo (L min ⁻¹)	12
Fluxo de gás intermediário (L min ⁻¹)	1,0
Fluxo de gás de nebulização (L min ⁻¹)	1,0
Introdução de amostra (mL min ⁻¹)	1,5
Comprimento de onda (nm)	Ni(II) = 341,476 Cr(III) = 205,552

O ICP OES se baseia na medida da emissão de átomos ou íons que são formados em um plasma de argônio. Em geral, as amostras líquidas são nebulizadas, formando um aerossol que é conduzido até o plasma. As partículas desse aerossol que atingem o plasma sofrem dessolvatação, fusão, vaporização, atomização e ionização. Uma vez formados, átomos ou íons sofrem excitação, principalmente térmica, e quando retornam ao estado de menor energia remitem a radiação absorvida em forma de luz (fóton). A radiação emitida é transmitida para a parte óptica do espectrômetro, onde são detectados os comprimentos de onda específicos emitidos por cada elemento.

4.2.3.2 Reagentes e soluções

A água utilizada para preparar as soluções analíticas de referência foi destilada e bi-deionizada, em colunas de troca aniônica e catiônica (Permutation[®],

Curitiba, Brasil) e em sistema de ultrapurificação Milli Q (Millipore[®], Bedford, EUA), permitindo obter água com elevado grau de pureza (18,2 MΩ cm).

O ácido nítrico (Synth[®], Diadema, Brasil) utilizado na preparação das soluções analíticas de referência foi purificado por meio de destilação abaixo do ponto de ebulição, realizada em destilador de quartzo (Marconi[®], Piracicaba, Brasil).

As soluções de estoque, contendo 1000 mg L⁻¹ de cada elemento, que foram utilizadas durante o trabalho estão indicadas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Informações relativas às soluções de estoque contendo Ni e Cr, que foram utilizadas na preparação das soluções analíticas de referência juntamente com o ácido nítrico

Elemento	Composto	Fabricante	Diluyente
Ni	NiCl ₂	Tritisol (Merk [®])	HNO ₃
Cr	K ₂ Cr ₂ O ₇	Normex [®]	HCl

Uma solução padrão foi preparada por meio de diluições sucessivas das soluções de estoque: 100 µg L⁻¹ Ni(II) + 400 µg L⁻¹ Cr (III) em 0,2% v/v HNO₃. Esta solução padrão foi utilizada para preparar as soluções que formaram a curva analítica de calibração do espectrômetro de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite.

4.2.3.3 Procedimento

Toda a vidraria e frascos plásticos utilizados para preparo e armazenamento das amostras e soluções foram lavados com detergente, enxaguados com água

destilada, preenchidos com solução de ácido nítrico 10% v/v e, somente antes da utilização, esses materiais foram enxaguados com água bi-deionizada.

A manipulação das amostras e o preparo das soluções analíticas de referência foram realizados em capela de fluxo laminar Classe 100 (Veco[®], Campinas, Brasil) para minimizar as contaminações provenientes do ambiente de laboratório.

Para a preparação das soluções analíticas de referência e das amostras adotou-se o princípio do frasco único (SUBRAMANIAN, 1996). Com base neste procedimento, uma alíquota de solução analítica ou amostra é adicionada ao copo do amostrador automático com o auxílio de uma pipeta de volume ajustável. Em seguida, acrescenta-se um volume adequado de diluente e a homogeneização é feita enchendo-se e esvaziando-se sucessivamente a ponteira com a solução resultante dessa mistura.

Todas as medidas experimentais obtidas pelo espectrômetro de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite foram baseadas na área do sinal de absorbância. Durante todo o desenvolvimento dos procedimentos analíticos, os resultados experimentais obtidos representaram a média de 2 replicatas.

As medidas experimentais obtidas pelo ICP OES foram baseadas na detecção da radiação emitida pelos átomos e íons de Ni e Cr e os resultados obtidos representam os dados de uma única medida de cada amostra.

4.2.3.4 *Determinação simultânea de Ni e Cr em saliva sintética e em fluido de placa*

O preparo das soluções de referência para a calibração do espectrômetro de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite e a diluição das amostras foi executado seguindo o princípio do frasco único. Para isso, utilizou-se uma solução diluente que foi de saliva sintética ou de fluido de placa diluído em água bi-deionizada na proporção de 1:9. A diluição do fluido de placa foi necessária, pois a alta concentração de NaCl em sua composição causava interferência na absorção de Ni e Cr.

As soluções de referência para calibração do espectrômetro foram preparadas por meio da adição de 900 μL da solução diluente (saliva sintética ou fluido de placa diluído em água bideionizada na proporção de 1:9) e volumes (μL) da solução estoque de $100 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cr e de $400 \mu\text{g L}^{-1}$ de Ni em 0,2% v/v de HNO_3 . Em cada solução, o volume foi completado para 1000 μL com solução de 0,2% v/v de HNO_3 , obtendo-se as concentrações finais de Ni e Cr a seguir:

- $1 \mu\text{g L}^{-1}$ Cr(III) + $4 \mu\text{g L}^{-1}$ Ni(II)
- $2 \mu\text{g L}^{-1}$ Cr(III) + $8 \mu\text{g L}^{-1}$ Ni(II)
- $4 \mu\text{g L}^{-1}$ Cr(III) + $16 \mu\text{g L}^{-1}$ Ni(II)
- $8 \mu\text{g L}^{-1}$ Cr(III) + $32 \mu\text{g L}^{-1}$ Ni(II)
- $10 \mu\text{g L}^{-1}$ Cr(III) + $40 \mu\text{g L}^{-1}$ Ni(II)

O branco utilizado para a curva analítica foi obtido misturando 900 μL da solução diluente (saliva sintética ou fluido de placa diluído) e 100 μL 0,2% v/v HNO_3 .

O pré-tratamento da amostra seguiu o mesmo procedimento descrito para as soluções analíticas de referência. Quando a concentração de Ni ou Cr ultrapassou o valor máximo da curva de calibração para aquele elemento, a amostra foi diluída para se obter maior precisão na análise.

As soluções analíticas de referência para calibração do ICP OES foram preparadas a partir da adição de 5 mL da solução de fluido de placa sem os elementos referência a 250, 500 ou 2500 μL das soluções estoques contendo 1000 mg L^{-1} de Ni e 1000 mg L^{-1} de Cr . Em seguida, estas soluções foram diluídas em água bideionizada até o volume final de 50 mL, de forma a apresentarem as seguintes concentrações de Ni e Cr:

- 5 mg L^{-1} Cr(III) + 5 mg L^{-1} Ni(II)
- 10 mg L^{-1} Cr(III) + 10 mg L^{-1} Ni(II)
- 50 mg L^{-1} Cr(III) + 50 mg L^{-1} Ni(II)

O branco utilizado para a curva analítica foi obtido pela diluição de 5 mL da solução diluente (fluido de placa) em água bideionizada.

A escolha do melhor comprimento de onda para Ni e Cr no ICP OES foi realizada por meio de varreduras das amostras. Compararam-se as varreduras nos diversos comprimentos de onda das amostras com as varreduras obtidas com as

soluções analíticas de referência, os melhores comprimentos de onda foram escolhidos considerando a maior razão sinal/ruído e o menor sinal de fundo.

A partir das curvas de calibração obtidas para o espectrômetro de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite, os limites de detecção puderam ser calculados. Em saliva sintética, os valores obtidos para Ni e Cr foram $2,78 \mu\text{g L}^{-1}$ e $0,27 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente, e em fluido de placa foram de $2,77 \mu\text{g L}^{-1}$ para Ni e $0,85 \mu\text{g L}^{-1}$ para Cr. Os limites de detecção calculados a partir das curvas de calibração do ICP OES foram de $0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ para Ni e Cr.

4.3 Análise Estatística

A partir dos dados armazenados em computador, foram obtidas as medidas de tendência central e dispersão para cada uma das medições realizadas, as quais foram submetidas ao teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, acompanhado de comparações múltiplas não paramétricas, para identificação da significância estatística das diferenças entre as taxas de liberação de Ni e Cr apresentadas pelos diferentes grupos de marcas comerciais nas diferentes soluções de imersão (NETER et al., 1996). Os testes foram realizados utilizando-se o nível de significância de 5%. Os programas utilizados na análise estatística foram Excel 2003[®] (Microsoft Corp[®], Redmond, EUA) e SPSS 13.0[®] (SPSS Inc[®], Chicago, EUA).

Os valores aferidos para as concentrações de Ni e Cr que se encontraram abaixo dos limites de detecção dos equipamentos, embora imprecisos, foram considerados na análise estatística, pois foram os valores registrados pelo aparelho.

Porém, estes valores são expressos nas tabelas como valores menores que os limites de detecção (<LD).

Os resultados obtidos foram ilustrados por meio de gráficos de barras (BUSSAB; MORETTIN, 1987) utilizando-se os valores medianos da liberação de Ni e Cr de cada marca comercial em cada solução de imersão.

5 RESULTADOS

A liberação de Ni em saliva sintética e em fluido de placa pelos braquetes ortodônticos das marcas comerciais estudadas ao longo do tempo e a concentração de Ni detectada a cada intervalo de 7 dias no grupo controle foi demonstrada pela estatística descritiva exposta nas Tabelas 5.1 a 5.4 e nos Gráficos 5.1 e 5.2. Os valores aferidos pelo equipamento que se encontraram abaixo dos limites de detecção, devido à sua imprecisão, não foram descritos, mas apenas representados nas tabelas pela abreviatura <LD.

Tabela 5.1 – Medidas de tendência central e dispersão da concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas aos 7 dias de estudo

Marca	Solução	Média	DP	Mediana	Mínimo	Máximo	N
Morelli [®]	Saliva	82.35	61.57	51.15	27.60	194.00	20
	Fluido de placa	11027.00	3000.27	11347.50	811.00	14287.00	20
Victory [®]	Saliva	38.38	35.19	23.70	10.70	127.30	20
	Fluido de placa	500.45	626.64	187.00	88.00	1954.00	20
Full Size [®]	Saliva	26.97	20.01	20.20	6.80	62.90	20
	Fluido de placa	12120.80	8129.39	10757.50	3435.00	23586.00	20
TP [®]	Saliva	27.45	14.32	25.65	8.90	61.20	20
	Fluido de placa	2081.25	1578.61	2684.00	33.00	4495.00	20
American [®]	Saliva	8.12	2.83	8.45	<LD	12.90	20
	Fluido de placa	1899.70	1272.34	2261.00	82.00	3889.00	20
Dentaurum [®]	Saliva	9.91	9.78	7.05	<LD	45.90	20
	Fluido de placa	777.00	637.49	280.00	97.00	1681.00	20
Abzil [®]	Saliva	462.53	329.72	411.25	141.70	804.00	20
	Fluido de placa	10191.95	4998.71	9624.50	2558.00	24006.00	20
Controle	Saliva	<LD	-	<LD	<LD	3.00	6
	Fluido de placa	<LD	-	<LD	<LD	1.50	6

<LD= Abaixo do limite de detecção de $2,78 \mu\text{g L}^{-1}$ para saliva sintética, $2,77 \mu\text{g L}^{-1}$ para fluido de placa dos grupos controle, Victory[®] e Dentaurum[®] e $0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ para os demais grupos

Tabela 5.2 – Medidas de tendência central e dispersão da concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas aos 14 dias de estudo

Marca	Solução	Média	DP	Mediana	Mínimo	Máximo	N
Morelli [®]	Saliva	39.30	27.20	29.15	6.00	89.00	20
	Fluido de placa	8153.40	1745.59	8041.00	6007.00	14063.00	20
Victory [®]	Saliva	16.40	19.76	8.60	<LD	75.00	20
	Fluido de placa	154.35	197.05	87.00	19.00	892.00	20
Full Size [®]	Saliva	3.48	3.26	<LD	<LD	12.50	20
	Fluido de placa	6379.80	4949.62	4164.50	3067.00	19086.00	20
TP [®]	Saliva	8.68	6.37	6.05	3.00	30.40	20
	Fluido de placa	2038.75	1035.68	1970.00	55.00	3908.00	20
American [®]	Saliva	3.37	1.44	3.10	<LD	6.40	20
	Fluido de placa	2415.40	798.71	2585.50	943.00	4443.00	20
Dentaurum [®]	Saliva	<LD	-	<LD	<LD	16.80	20
	Fluido de placa	113.95	100.17	80.00	35.00	408.00	20
Abzil [®]	Saliva	602.68	185.35	622.85	70.90	788.00	20
	Fluido de placa	5403.45	2681.83	4414.00	2422.00	11164.00	20
Controle	Saliva	<LD	-	<LD	<LD	<LD	6
	Fluido de placa	<LD	-	<LD	<LD	<LD	6

<LD= Abaixo do limite de detecção de $2,78 \mu\text{g L}^{-1}$ para saliva sintética, $2,77 \mu\text{g L}^{-1}$ para fluido de placa dos grupos controle, Victory[®] e Dentaurum[®] e $0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ para os demais grupos

Tabela 5.3 – Medidas de tendência central e dispersão da concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas aos 21 dias de estudo

Marca	Solução	Média	DP	Mediana	Mínimo	Máximo	N
Morelli [®]	Saliva	62.12	28.49	75.15	14.80	106.00	20
	Fluido de placa	2996.25	1757.44	3304.00	80.00	5890.00	20
Victory [®]	Saliva	27.99	21.10	18.40	3.50	71.50	20
	Fluido de placa	91.40	119.95	33.00	10.00	521.00	20
Full Size [®]	Saliva	19.30	13.54	23.35	<LD	36.40	20
	Fluido de placa	4609.90	4024.36	3207.00	1175.00	16248.00	20
TP [®]	Saliva	18.55	17.19	12.85	<LD	61.10	20
	Fluido de placa	1162.40	857.68	1202.50	37.00	2916.00	20
American [®]	Saliva	20.31	17.29	13.75	<LD	61.50	20
	Fluido de placa	1502.30	666.11	1498.50	372.00	3178.00	20
Dentaurum [®]	Saliva	9.33	12.13	<LD	<LD	29.40	20
	Fluido de placa	34.65	21.55	25.00	14.00	80.00	20
Abzil [®]	Saliva	508.35	234.78	550.50	196.00	769.00	20
	Fluido de placa	4239.10	1530.56	4214.50	1738.00	6738.00	20
Controle	Saliva	<LD	-	<LD	<LD	<LD	6
	Fluido de placa	<LD	-	<LD	<LD	<LD	6

<LD= Abaixo do limite de detecção de $2,78 \mu\text{g L}^{-1}$ para saliva sintética, $2,77 \mu\text{g L}^{-1}$ para fluido de placa dos grupos controle, Victory[®] e Dentaurum[®] e $0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ para os demais grupos

Tabela 5.4 – Medidas de tendência central e dispersão da concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas aos 28 dias de estudo

Marca	Solução	Média	DP	Mediana	Mínimo	Máximo	N
Morelli [®]	Saliva	33.37	45.88	18.60	<LD	184.00	20
	Fluido de placa	1664.55	2060.37	468.50	12.00	6456.00	20
Victory [®]	Saliva	18.27	19.42	10.20	<LD	61.00	20
	Fluido de placa	44.38	59.35	21.50	<LD	219.00	20
Full Size [®]	Saliva	<LD	-	<LD	<LD	8.20	20
	Fluido de placa	4885.95	4619.20	3237.50	1112.00	16604.00	20
TP [®]	Saliva	<LD	-	<LD	<LD	13.10	20
	Fluido de placa	999.50	939.35	862.00	20.00	3101.00	20
American [®]	Saliva	9.75	6.56	9.85	<LD	21.50	20
	Fluido de placa	1106.90	573.11	1014.00	223.00	3281.00	20
Dentaurum [®]	Saliva	6.76	8.28	<LD	<LD	21.30	20
	Fluido de placa	25.70	16.85	24.00	<LD	70.00	20
Abzil [®]	Saliva	817.50	267.84	722.50	419.00	1386.00	20
	Fluido de placa	4641.30	2467.05	4183.00	1855.00	9380.00	20
Controle	Saliva	<LD	-	<LD	<LD	<LD	6
	Fluido de placa	<LD	-	<LD	<LD	<LD	6

<LD= Abaixo do limite de detecção de $2,78 \mu\text{g L}^{-1}$ para saliva sintética, $2,77 \mu\text{g L}^{-1}$ para fluido de placa dos grupos controle, Victory[®] e Dentaurum[®] e $0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ para os demais grupos

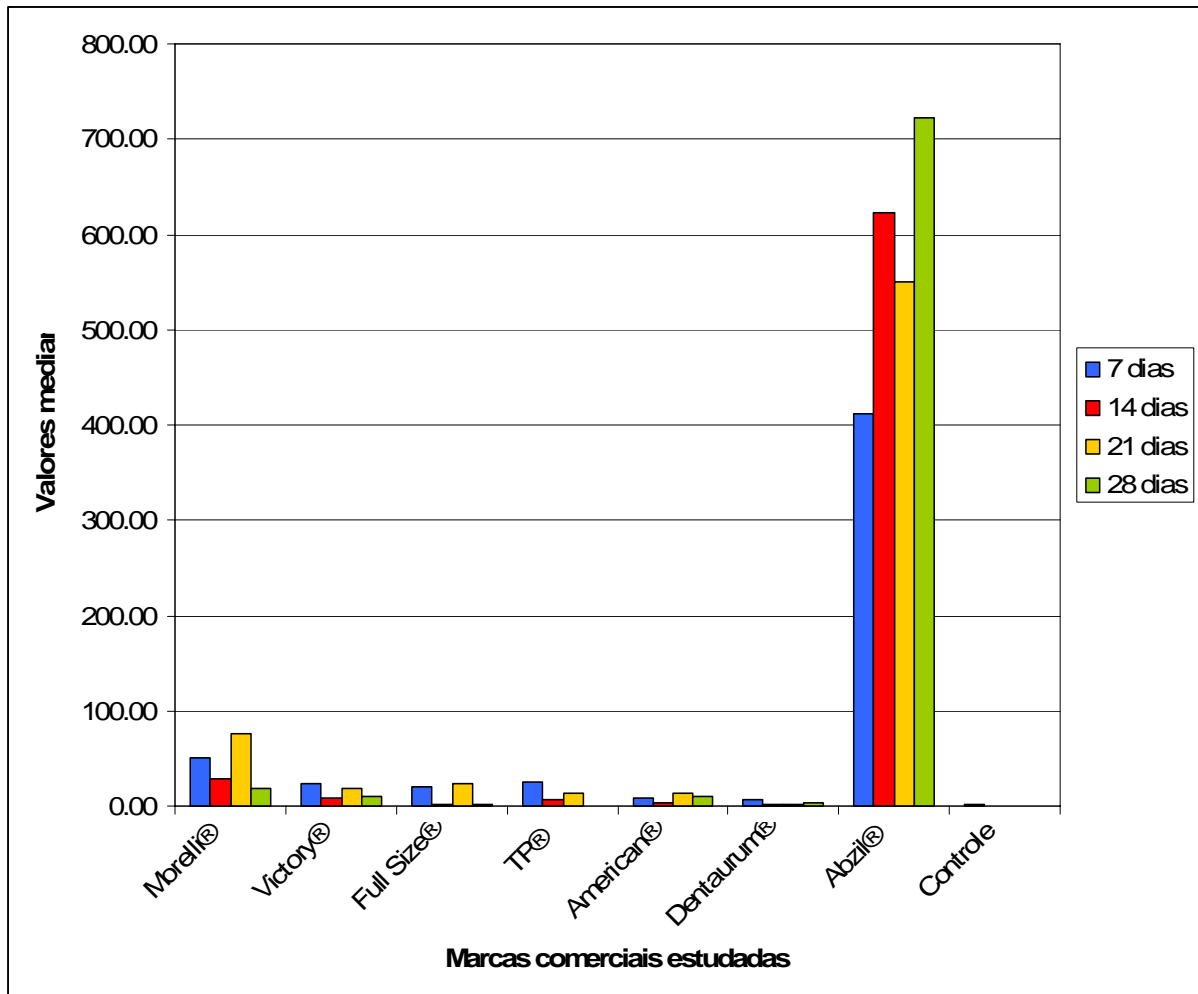


Gráfico 5.1 – Valores médios da concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas ao longo de 28 dias

As taxas de liberação de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) em saliva sintética foram variáveis ao longo dos 28 dias do estudo. Houve períodos de maior liberação de Ni aos 7 e aos 21 dias e períodos de diminuição aos 14 e aos 28 dias para os braquetes de todas as marcas comerciais, exceto da marca Abzil®, que apresentou um comportamento oposto, com elevações nas taxas de liberação aos 14 e aos 28 dias.

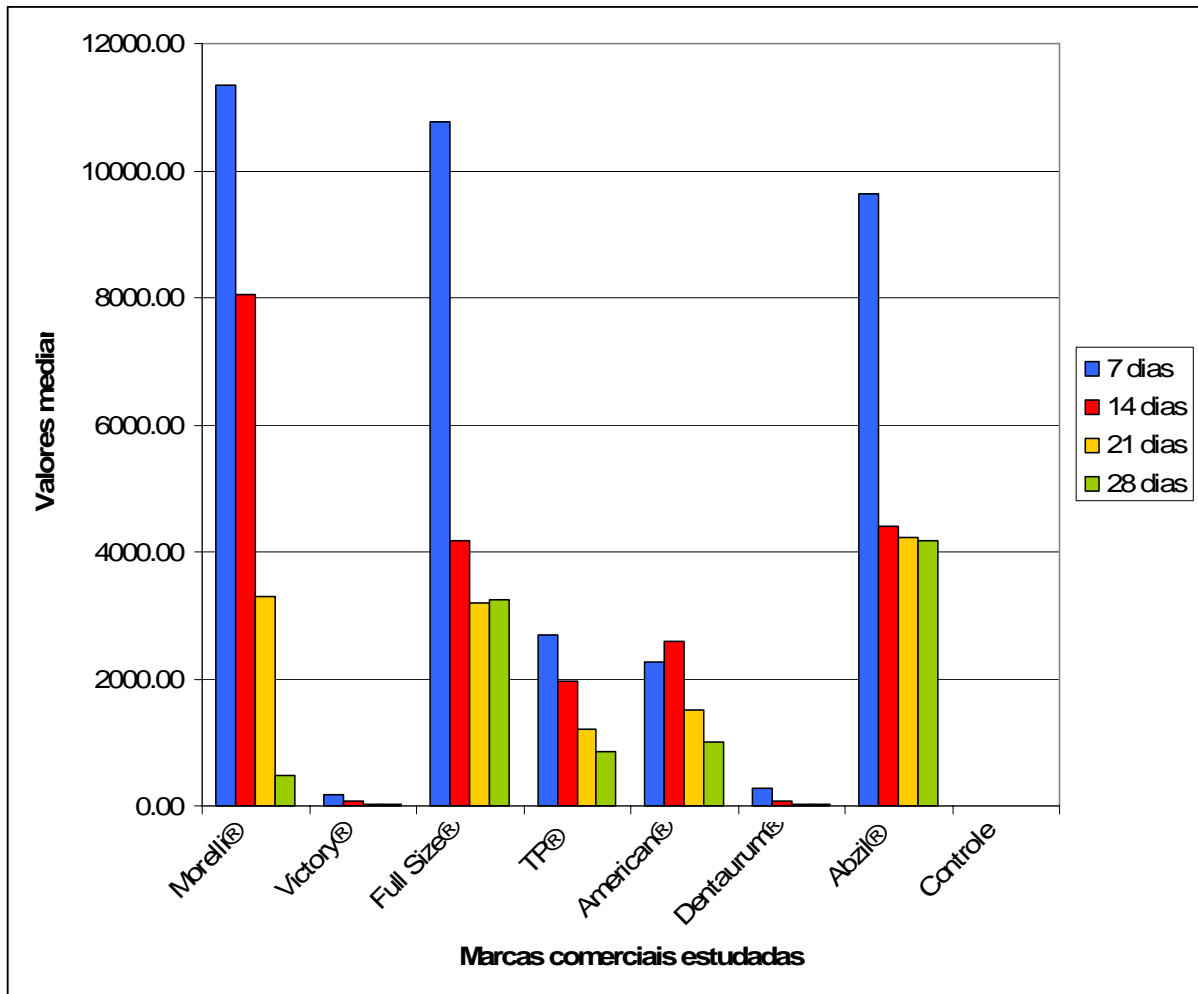


Gráfico 5.2 – Valores médios da concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas ao longo de 28 dias

Ao longo dos 28 dias de estudo, observou-se uma diminuição progressiva nos níveis de liberação de Ni pelos braquetes ortodônticos de todas as marcas comerciais, exceto nos níveis detectados para os braquetes da marca American®. Os braquetes desta marca apresentaram uma elevação no conteúdo de Ni aos 14 dias, porém apresentaram taxas de liberação menores nos intervalos de tempo seguintes.

Os valores da concentração de Ni detectados durante os 28 dias do estudo nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa foram somados e divididos pelos quatro intervalos de tempo estudados para se obter um valor semanal médio de liberação de Ni pelos braquetes ortodônticos. Estes valores estão apresentados na Tabela 5.5. Os Gráficos 5.3 e 5.4 ilustram os valores medianos das concentrações de Ni, apresentados na Tabela 5.5, aferidos nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa, respectivamente. As soluções de imersão foram representadas em gráficos distintos, devido à importante diferença na magnitude dos valores.

Tabela 5.5 – Concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) detectada nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas. Valores medianos semanais, derivados das medidas de tendência central e dispersão das quatro semanas do estudo

Marca	Solução	Média	DP	Mediana	Mínimo	Máximo	N
Morelli®	Saliva	54.28	46.62	35.85	<LD	194.00	80
	Fluido de placa	5960.30	4390.25	5948.50	12.00	14287.00	80
Victory®	Saliva	25.26	25.83	17.10	<LD	127.30	80
	Fluido de placa	197.64	374.94	76.00	<LD	1954.00	80
Full Size®	Saliva	13.07	15.96	6.60	<LD	62.90	80
	Fluido de placa	6999.11	6334.58	4035.00	1112.00	23586.00	80
TP®	Saliva	14.17	15.08	8.95	<LD	61.20	80
	Fluido de placa	1570.48	1221.76	1514.50	20.00	4495.00	80
American®	Saliva	10.39	11.11	6.55	<LD	61.50	80
	Fluido de placa	1731.08	982.91	1566.00	82.00	4443.00	80
Dentaurum®	Saliva	6.93	9.42	<LD	<LD	45.90	80
	Fluido de placa	237.83	446.83	49.00	<LD	1681.00	80
Abzil®	Saliva	597.76	289.49	694.00	70.90	1386.00	80
	Fluido de placa	6118.95	3942.51	5033.50	1738.00	24006.00	80
Controle	Saliva	<LD	-	<LD	<LD	3.00	24
	Fluido de placa	<LD	-	<LD	<LD	<LD	24

<LD= Abaixo do limite de detecção de $2,78 \mu\text{g L}^{-1}$ para saliva sintética, $2,77 \mu\text{g L}^{-1}$ para fluido de placa dos grupos controle, Victory® e Dentaurum® e $0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ para os demais grupos

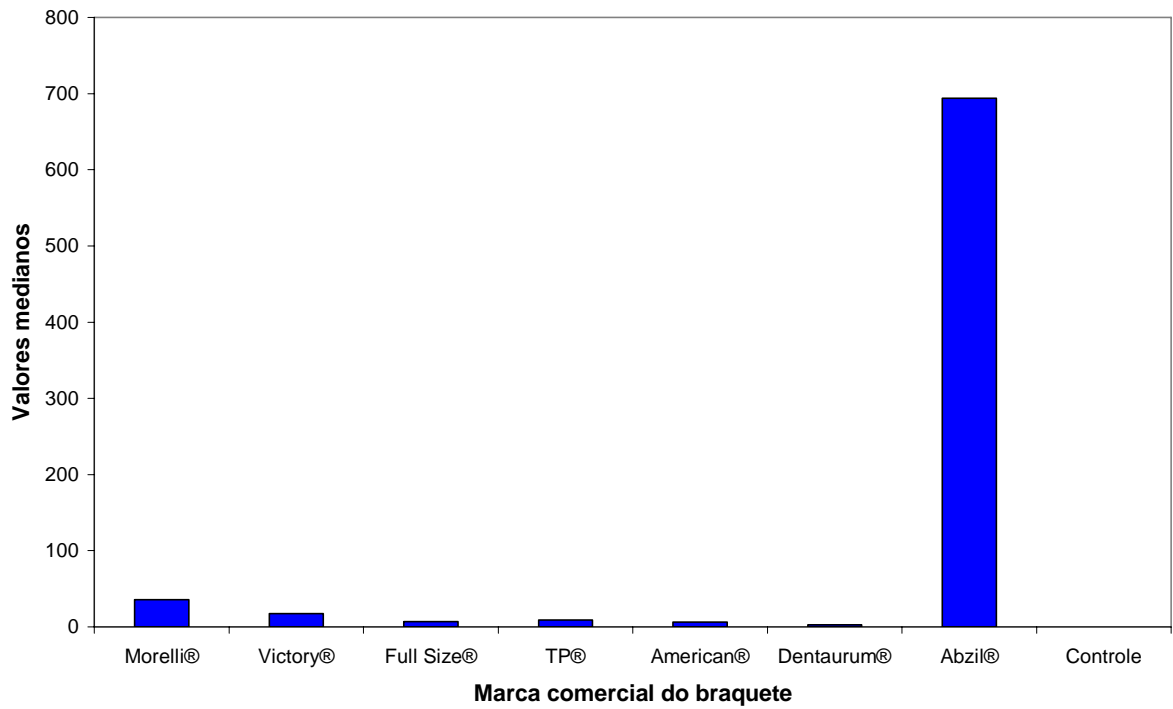


Gráfico 5.3 – Concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) detectada nas soluções de saliva sintética do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas. Valores medianos semanais, derivados das medidas de tendência central das quatro semanas do estudo

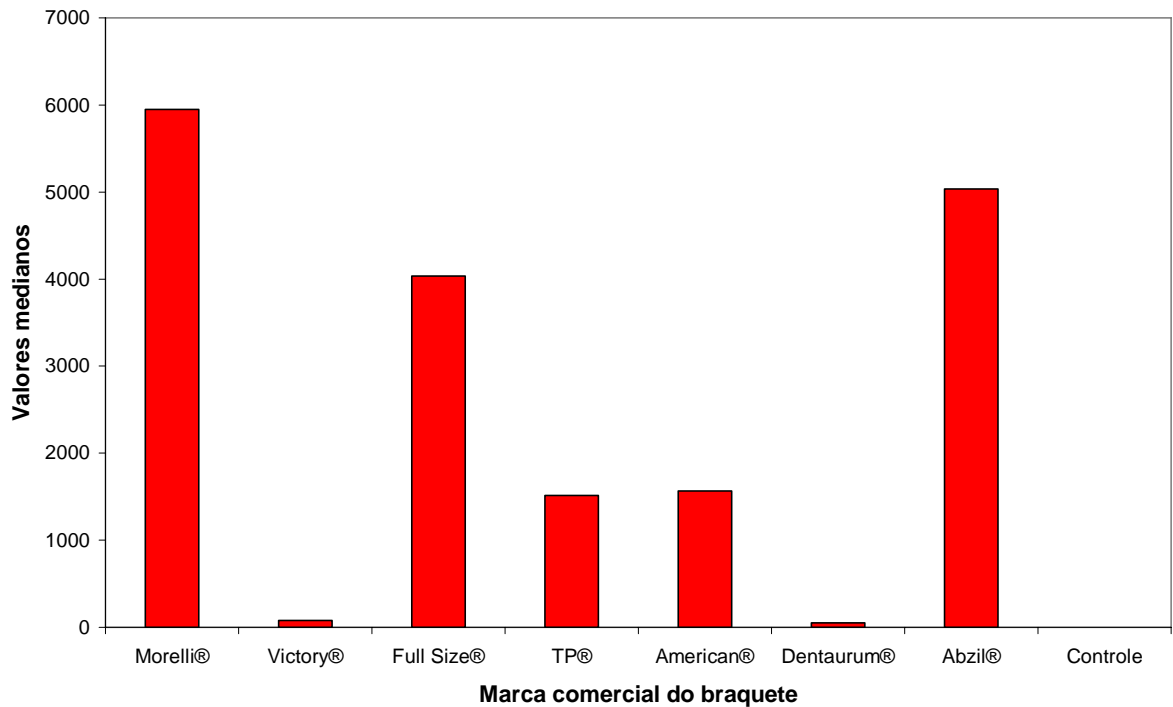


Gráfico 5.4 – Concentração de Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$) detectada nas soluções de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas. Valores medianos semanais, derivados das medidas de tendência central das quatro semanas do estudo

A Tabela 5.6 apresenta o resultado das comparações múltiplas não paramétricas para os níveis de liberação de Ni entre as soluções de saliva sintética e de fluido de placa. Observa-se que a liberação de Ni é estatisticamente maior na solução de fluido de placa para todas as marcas comerciais estudadas ($p < 0,001$) em comparação com a solução de saliva sintética, com exceção do grupo controle, que não apresenta diferença significativa nos níveis de liberação de Ni entre as soluções ($p = 0,950$).

Tabela 5.6 – Resultado das comparações múltiplas não paramétricas para os níveis de liberação de Ni entre as soluções de imersão

Marca	Comparação	Valor Z	p
Morelli [®]	Saliva vs Fluido	-9.05	<0,001
Victory [®]	Saliva vs Fluido	-3.75	<0,001
Full Size [®]	Saliva vs Fluido	-14.35	<0,001
TP [®]	Saliva vs Fluido	-9.89	<0,001
American [®]	Saliva vs Fluido	-11.19	<0,001
Dentaurum [®]	Saliva vs Fluido	-7.03	<0,001
Abzil [®]	Saliva vs Fluido	-5.40	<0,001
Controle	Saliva vs Fluido	0.06	0.950

O resultado das comparações múltiplas não paramétricas entre as marcas comerciais estudadas para os níveis de liberação de Ni em saliva sintética e em fluido de placa está apresentado, para cada solução de imersão, nas Tabelas 5.7 e 5.8.

Tabela 5.7 – Resultado das comparações múltiplas não paramétricas para os níveis de liberação de Ni em saliva sintética entre o grupo controle e os grupos de marcas comerciais estudadas

Comparação	Valor Z	p
Morelli [®] vs Victory [®]	2.24	0.025
Morelli [®] vs Full Size [®]	4.29	<0,001
Morelli [®] vs TP [®]	3.86	<0,001
Morelli [®] vs American [®]	4.23	<0,001
Morelli [®] vs Dentaurem [®]	5.68	<0,001
Morelli [®] vs Abzil [®]	-4.86	<0,001
Morelli [®] vs Controle	5.46	<0,001
Victory [®] vs Full Size [®]	2.05	0.040
Victory [®] vs TP [®]	1.62	0.105
Victory [®] vs American [®]	1.99	0.047
Victory [®] vs Dentaurem [®]	3.44	0.001
Victory [®] vs Abzil [®]	-7.10	<0,001
Victory [®] vs Controle	3.94	<0,001
Full Size [®] vs TP [®]	-0.43	0.665
Full Size [®] vs American [®]	-0.06	0.950
Full Size [®] vs Dentaurem [®]	1.39	0.166
Full Size [®] vs Abzil [®]	-9.15	<0,001
Full Size [®] vs Controle	2.54	0.011
TP [®] vs American [®]	0.37	0.711
TP [®] vs Dentaurem [®]	1.82	0.069
TP [®] vs Abzil [®]	-8.72	<0,001
TP [®] vs Controle	2.84	0.005
American [®] vs Dentaurem [®]	1.45	0.148
American [®] vs Abzil [®]	-9.09	<0,001
American [®] vs Controle	2.59	0.010
Dentaurem [®] vs Abzil [®]	-10.54	<0,001
Dentaurem [®] vs Controle	1.60	0.109
Abzil [®] vs Controle	8.76	<0,001

Tabela 5.8 – Resultado das comparações múltiplas não paramétricas para os níveis de liberação de Ni em fluido de placa entre o grupo controle e os grupos de marcas comerciais estudadas

Comparação	Valor Z	p
Morelli [®] vs Victory [®]	7.54	<0,001
Morelli [®] vs Full Size [®]	-1.00	0.315
Morelli [®] vs TP [®]	3.02	0.003
Morelli [®] vs American [®]	2.09	0.036
Morelli [®] vs Dentaurem [®]	7.70	<0,001
Morelli [®] vs Abzil [®]	-1.22	0.224
Morelli [®] vs Controle	11.69	<0,001
Victory [®] vs Full Size [®]	-8.54	<0,001
Victory [®] vs TP [®]	-4.52	<0,001
Victory [®] vs American [®]	-5.44	<0,001
Victory [®] vs Dentaurem [®]	0.16	0.874
Victory [®] vs Abzil [®]	-8.75	<0,001
Victory [®] vs Controle	6.57	<0,001
Full Size [®] vs TP [®]	4.03	<0,001
Full Size [®] vs American [®]	3.10	0.002
Full Size [®] vs Dentaurem [®]	8.70	<0,001
Full Size [®] vs Abzil [®]	-0.21	0.833
Full Size [®] vs Controle	12.37	<0,001
TP [®] vs American [®]	-0.93	0.354
TP [®] vs Dentaurem [®]	4.67	<0,001
TP [®] vs Abzil [®]	-4.24	<0,001
TP [®] vs Controle	9.63	<0,001
American [®] vs Dentaurem [®]	5.60	<0,001
American [®] vs Abzil [®]	-3.31	0.001
American [®] vs Controle	10.26	<0,001
Dentaurem [®] vs Abzil [®]	-8.91	<0,001
Dentaurem [®] vs Controle	6.46	<0,001
Abzil [®] vs Controle	12.51	<0,001

A observação das Tabelas 5.5 e 5.7 e dos Gráficos 5.1 e 5.3 permite a classificação a seguir, em ordem crescente, das taxas de liberação de Ni em saliva sintética pelos braquetes das marcas comerciais estudadas ao longo de 28 dias. Os braquetes da marca comercial Dentaurem[®] apresentaram os menores níveis de

liberação de Ni e estes níveis não foram diferentes daqueles do controle ($p=0,109$). Em seguida, encontraram-se os braquetes das marcas American[®], Full Size[®] Unitek[®] e TP[®] que foram diferentes do controle ($p<0,05$), porém não foram diferentes entre si e não foram diferentes da Dentaurem[®] ($p>0,05$). A marca Victory[®] Unitek[®] apresentou diferença estatística do controle e das marcas Dentaurem[®], American[®] e Full Size[®] Unitek[®] ($p<0,05$), porém não foi diferente da TP[®] ($p=0,105$). Os braquetes da marca Morelli[®] mostraram diferença estatística do controle e das demais marcas comerciais estudadas ($p<0,05$). A Abzil[®] foi a marca cujos braquetes apresentaram a maior liberação de Ni em saliva sintética, mostrando-se estatisticamente diferente das demais marcas comerciais estudadas e do controle ($p<0,05$).

A liberação de Ni em solução de fluido de placa, cujos dados estatísticos estão expostos nas Tabelas 5.5 e 5.8 e nos Gráficos 5.2 e 5.4, está apresentada a seguir em ordem crescente. Esta foi menor nos braquetes das marcas comerciais Dentaurem[®] e Victory[®]. Os braquetes destas marcas apresentaram taxas de liberação diferentes do controle ($p<0,001$), porém não mostraram diferença estatística entre si ($p=0,874$). Os braquetes das marcas American[®] e TP[®], quanto à liberação de Ni em fluido de placa, não se mostraram diferentes ($p=0,354$), porém diferiram do controle e das marcas Dentaurem[®] e Victory[®] ($p<0,05$). Os maiores níveis de liberação de Ni em fluido de placa foram observados para os braquetes das marcas Morelli[®], Full Size[®] e Abzil[®]. Entre estas marcas comerciais, não houve diferença estatística ($p>0,05$), contudo estas marcas apresentaram diferença estatística das demais marcas comerciais e do controle.

Os dados apresentados a seguir se referem aos níveis de Cr detectados no grupo controle e nos grupos das diferentes marcas comerciais estudadas. A liberação de Cr em saliva sintética e em fluido de placa pelos braquetes ortodônticos das marcas comerciais estudadas ao longo do tempo e a concentração de Cr detectada a cada intervalo de 7 dias no grupo controle foi demonstrada pela estatística descritiva exposta nas Tabelas 5.9 a 5.12 e nos Gráficos 5.4 e 5.5. Os valores aferidos pelo equipamento que se encontraram abaixo dos limites de detecção, devido à sua imprecisão, não foram descritos, mas apenas representados nas tabelas pela abreviatura <LD.

Tabela 5.9 – Medidas de tendência central e dispersão da concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas aos 7 dias de estudo

Marca	Solução	Média	DP	Mediana	Mínimo	Máximo	N
Morelli®	Saliva	4.25	2.83	3.20	1.50	11.00	20
	Fluido de placa	8610.80	3249.30	9527.50	1399.00	13589.00	20
Victory®	Saliva	7.68	2.13	6.85	5.40	13.00	20
	Fluido de placa	228.05	158.65	171.00	144.00	818.00	20
Full Size®	Saliva	2.34	1.02	2.10	1.10	4.30	20
	Fluido de placa	22309.15	13613.73	21598.50	7004.00	40554.00	20
TP®	Saliva	18.88	7.95	20.45	3.00	32.70	20
	Fluido de placa	3440.70	2597.91	4154.50	59.00	7483.00	20
American®	Saliva	6.05	1.34	6.05	3.40	8.20	20
	Fluido de placa	2805.06	2833.35	2220.00	1.60	8059.00	20
Dentaurum®	Saliva	2.58	0.52	2.50	1.90	4.30	20
	Fluido de placa	192.25	77.75	151.50	27.00	287.00	20
Abzil®	Saliva	21.58	11.29	19.60	3.00	43.00	20
	Fluido de placa	6279.95	1953.21	5704.50	3453.00	12734.00	20
Controle	Saliva	0.33	0.27	<LD	<LD	0.70	6
	Fluido de placa	<LD	-	<LD	<LD	1.90	6

<LD= Abaixo do limite de detecção de $0,27 \mu\text{g L}^{-1}$ para saliva sintética, $0,85 \mu\text{g L}^{-1}$ para fluido de placa dos grupos controle, Victory® e Dentaurum® e $0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ para os demais grupos

Tabela 5.10 – Medidas de tendência central e dispersão da concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas aos 14 dias de estudo

Marca	Solução	Média	DP	Mediana	Mínimo	Máximo	N
Morelli [®]	Saliva	2.35	1.64	2.30	<LD	6.00	20
	Fluido de placa	10475.55	3634.60	10274.50	6274.00	22421.00	20
Victory [®]	Saliva	1.43	0.21	1.40	1.10	2.00	20
	Fluido de placa	158.80	349.07	61.50	48.00	1609.00	20
Full Size [®]	Saliva	0.87	0.49	0.70	0.50	2.70	20
	Fluido de placa	13106.00	9797.33	8234.00	6151.00	37469.00	20
TP [®]	Saliva	8.45	3.32	8.85	3.20	16.60	20
	Fluido de placa	3248.25	1565.31	2928.00	391.00	6223.00	20
American [®]	Saliva	2.16	0.99	2.55	0.40	3.60	20
	Fluido de placa	5939.80	2329.16	6685.50	1578.00	11558.00	20
Dentaurum [®]	Saliva	0.61	0.21	0.50	0.40	1.00	20
	Fluido de placa	122.35	66.07	102.00	45.00	322.00	20
Abzil [®]	Saliva	16.76	13.88	10.80	2.70	53.00	20
	Fluido de placa	7304.70	1556.08	7387.00	4557.00	10217.00	20
Controle	Saliva	0.28	0.26	0.30	<LD	0.60	6
	Fluido de placa	<LD	-	<LD	<LD	1.90	6

<LD= Abaixo do limite de detecção de $0,27 \mu\text{g L}^{-1}$ para saliva sintética, $0,85 \mu\text{g L}^{-1}$ para fluido de placa dos grupos controle, Victory[®] e Dentaurum[®] e $0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ para os demais grupos

Tabela 5.11 – Medidas de tendência central e dispersão da concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas aos 21 dias de estudo

Marca	Solução	Média	DP	Mediana	Mínimo	Máximo	N
Morelli [®]	Saliva	15.62	12.46	17.35	2.00	38.60	20
	Fluido de placa	5408.00	3595.32	6090.00	165.00	10912.00	20
Victory [®]	Saliva	7.03	8.08	7.05	<LD	35.70	20
	Fluido de placa	45.35	50.44	32.50	23.00	256.00	20
Full Size [®]	Saliva	5.09	5.02	4.40	<LD	15.10	20
	Fluido de placa	9644.55	9391.73	6352.00	2259.00	37392.00	20
TP [®]	Saliva	18.61	4.35	19.40	8.70	25.20	20
	Fluido de placa	1741.40	1276.19	1755.50	40.00	4409.00	20
American [®]	Saliva	11.60	5.12	10.35	6.10	27.10	20
	Fluido de placa	3297.95	1512.27	3307.50	586.00	6858.00	20
Dentaurum [®]	Saliva	2.08	2.16	1.10	<LD	6.50	20
	Fluido de placa	53.80	20.51	45.00	32.00	110.00	20
Abzil [®]	Saliva	10.59	6.76	9.35	3.10	31.00	20
	Fluido de placa	7201.65	2627.16	7194.00	4014.00	14884.00	20
Controle	Saliva	<LD	-	<LD	<LD	<LD	6
	Fluido de placa	<LD	-	<LD	<LD	1.20	6

<LD= Abaixo do limite de detecção de $0,27 \mu\text{g L}^{-1}$ para saliva sintética, $0,85 \mu\text{g L}^{-1}$ para fluido de placa dos grupos controle, Victory[®] e Dentaurum[®] e $0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ para os demais grupos

Tabela 5.12 – Medidas de tendência central e dispersão da concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas aos 28 dias de estudo

Marca	Solução	Média	DP	Mediana	Mínimo	Máximo	N
Morelli®	Saliva	5.14	2.31	4.40	2.70	12.40	20
	Fluido de placa	2976.70	4062.26	549.00	0.50	13281.00	20
Victory®	Saliva	1.30	0.99	1.50	<LD	3.70	20
	Fluido de placa	26.01	8.63	23.00	16.00	55.00	20
Full Size®	Saliva	0.80	0.63	0.90	<LD	2.40	20
	Fluido de placa	9848.80	9356.09	6438.50	2373.00	30950.00	20
TP®	Saliva	6.75	1.94	7.00	2.40	9.30	20
	Fluido de placa	1459.05	1359.60	1105.00	31.00	4817.00	20
American®	Saliva	3.12	0.88	3.10	1.40	5.40	20
	Fluido de placa	2318.40	1530.61	2148.50	179.00	7989.00	20
Dentaurum®	Saliva	1.13	0.94	1.05	<LD	2.90	20
	Fluido de placa	42.00	15.94	40.50	14.00	89.00	20
Abzil®	Saliva	4.65	4.19	3.80	1.00	18.00	20
	Fluido de placa	6149.30	2156.60	6027.50	3468.00	10761.00	20
Controle	Saliva	0.30	0.53	<LD	<LD	1.30	6
	Fluido de placa	<LD	-	<LD	<LD	1.90	6

<LD= Abaixo do limite de detecção de $0,27 \mu\text{g L}^{-1}$ para saliva sintética, $0,85 \mu\text{g L}^{-1}$ para fluido de placa dos grupos controle, Victory® e Dentaurum® e $0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ para os demais grupos

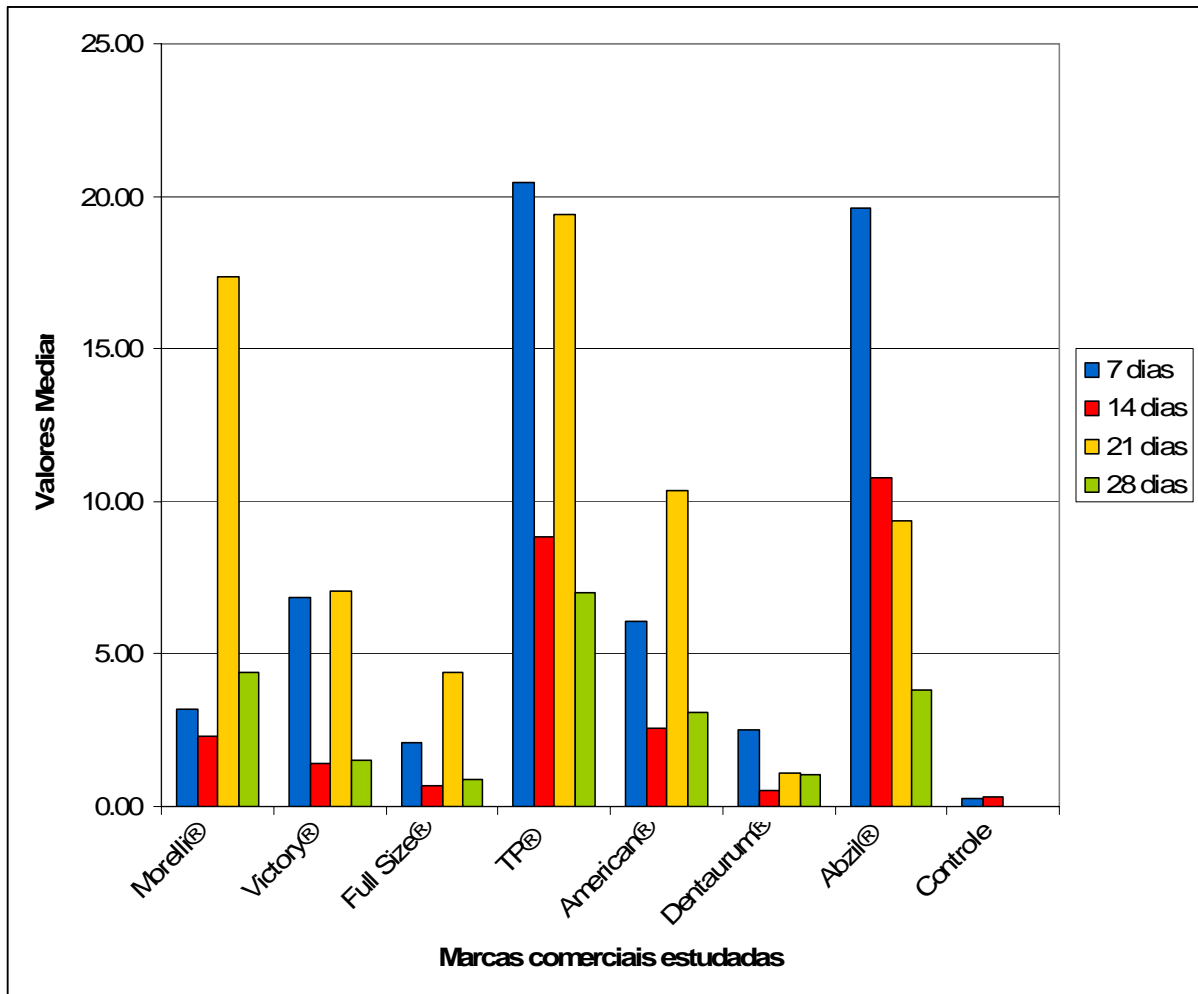


Gráfico 5.5 – Valores médios da concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de saliva sintética do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas ao longo de 28 dias

Considerando-se o comportamento longitudinal da liberação de Cr em saliva sintética pelos braquetes das marcas comerciais estudadas, pôde-se verificar que, a partir de uma determinada liberação aos 7 dias, houve uma relativa diminuição aos 14 dias, uma grande elevação aos 21 dias e, em seguida, uma diminuição aos 28 dias, exceto para os braquetes das marcas Dentaurum® e Abzil®. Os braquetes da marca Dentaurum® apresentaram níveis de liberação de Cr semelhantes aos 21 e aos 28 dias e os braquetes da marca Abzil® mostraram uma diminuição progressiva nas taxas de liberação desse elemento ao longo do tempo.

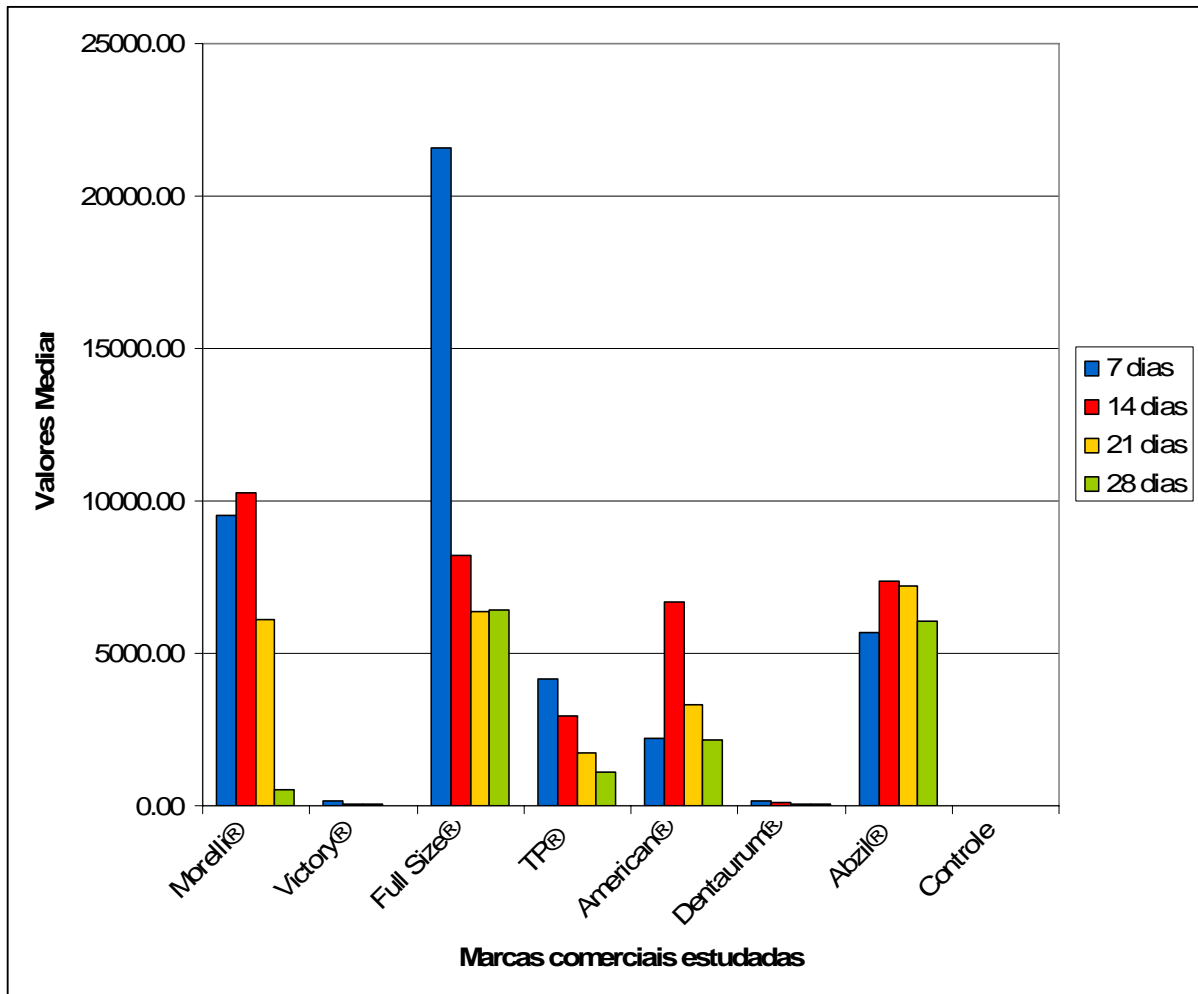


Gráfico 5.6 – Valores médios da concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) presente nas soluções de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas ao longo de 28 dias

Os braquetes das marcas comerciais Victory® Unitek®, Full Size® Unitek®, TP® e Dentaurum® apresentaram ao longo dos 28 dias de estudo uma diminuição progressiva nas taxas de liberação de Cr em fluido de placa. Os braquetes das marcas Morelli® e American® mostraram um aumento nos níveis de Cr em fluido de placa aos 14 dias, porém uma diminuição progressiva nos intervalos de tempo seguintes. Os braquetes da marca Abzil®, a partir dos valores detectados para a liberação de Cr aos 7 dias de estudo, apresentaram elevação aos 14 dias, relativa estabilização aos 21 dias e diminuição aos 28 dias.

Os valores da concentração de Cr detectados durante os 28 dias do estudo nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa foram somados e divididos pelos quatro intervalos de tempo estudados para se obter um valor semanal médio de liberação de Cr pelos braquetes ortodônticos. Estes valores estão apresentados na Tabela 5.13. Os Gráficos 5.7 e 5.8 ilustram os valores medianos das concentrações de Cr, apresentados na Tabela 5.13, aferidos nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa, respectivamente. As soluções de imersão foram representadas em gráficos distintos, devido à diferença importante na magnitude dos valores.

Tabela 5.13 – Concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) detectada nas soluções de saliva sintética e de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas. Valores medianos semanais, derivados das medidas de tendência central e dispersão das quatro semanas do estudo

Marca	Solução	Média	DP	Mediana	Mínimo	Máximo	N
Morelli®	Saliva	6.84	8.26	3.90	0.00	38.60	80
	Fluido de placa	6867.76	4607.71	7381.50	0.50	22421.00	80
Victory®	Saliva	4.36	5.12	1.75	0.00	35.70	80
	Fluido de placa	114.55	207.22	50.50	16.00	1609.00	80
Full Size®	Saliva	2.27	3.09	1.00	0.00	15.10	80
	Fluido de placa	13727.13	11691.77	8225.00	2259.00	40554.00	80
TP®	Saliva	13.17	7.43	10.40	2.40	32.70	80
	Fluido de placa	2472.35	1958.00	2314.50	31.00	7483.00	80
American®	Saliva	5.73	4.57	4.20	0.40	27.10	80
	Fluido de placa	3590.30	2516.70	3286.00	1.60	11558.00	80
Dentaurum®	Saliva	1.60	1.42	1.05	0.00	6.50	80
	Fluido de placa	102.60	79.58	74.00	14.00	322.00	80
Abzil®	Saliva	13.39	11.55	10.00	1.00	53.00	80
	Fluido de placa	6733.90	2134.24	6395.50	3453.00	14884.00	80
Controle	Saliva	0.23	0.33	0.05	0.00	1.30	24
	Fluido de placa	0.68	0.72	0.40	0.00	1.90	24

<LD= Abaixo do limite de detecção de $0,27 \mu\text{g L}^{-1}$ para saliva sintética, $0,85 \mu\text{g L}^{-1}$ para fluido de placa dos grupos controle, Victory® e Dentaurum® e $0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ para os demais grupos

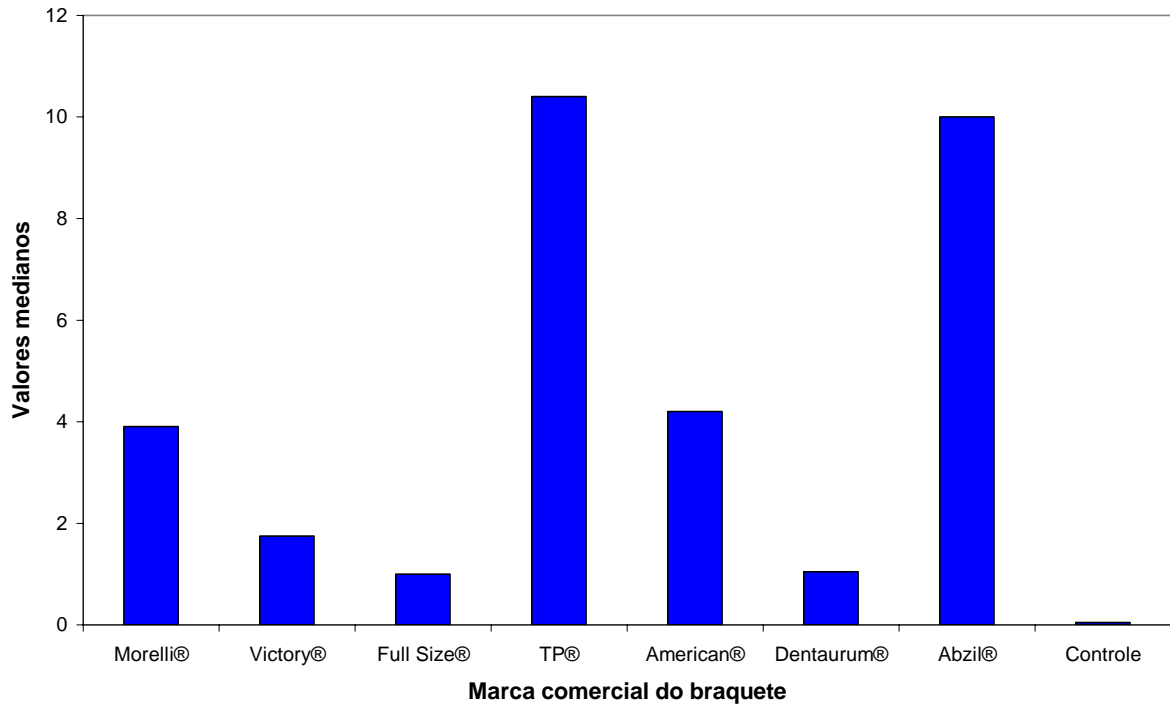


Gráfico 5.7 – Concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) detectada nas soluções de saliva sintética do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas. Valores médios semanais, derivados das medidas de tendência central das quatro semanas do estudo

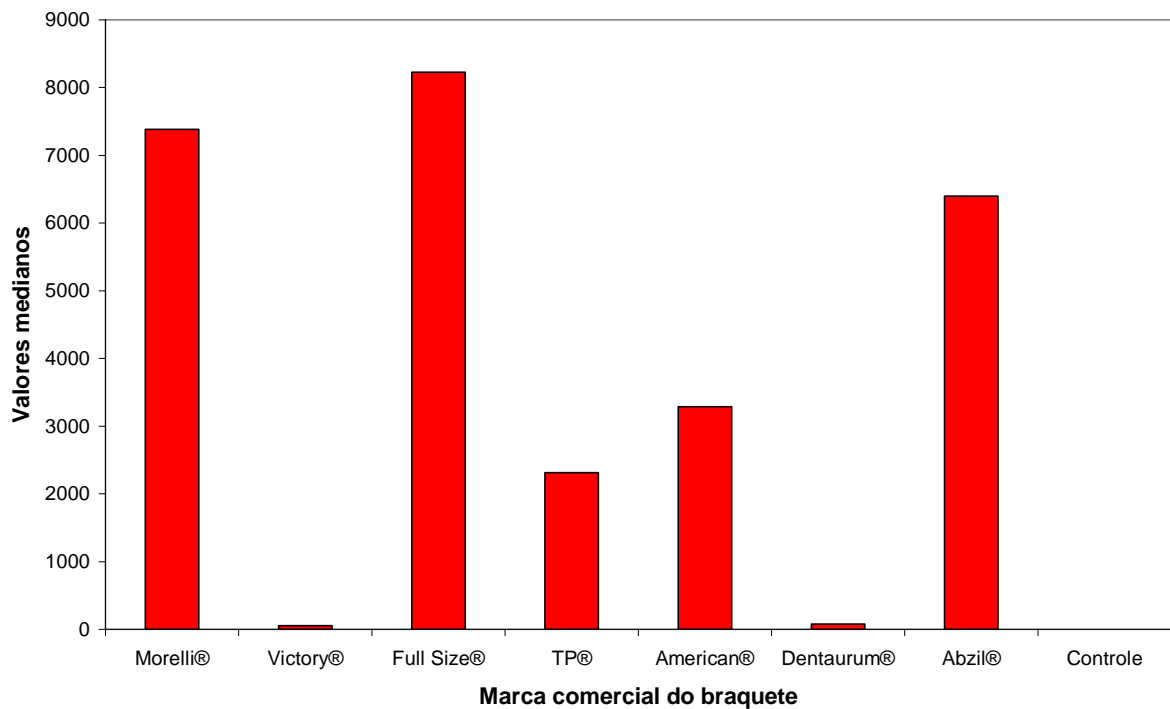


Gráfico 5.8 – Concentração de Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$) detectada nas soluções de fluido de placa do grupo controle e dos grupos de marcas comerciais estudadas. Valores médios semanais, derivados das medidas de tendência central das quatro semanas do estudo

A Tabela 5.14 apresenta o resultado das comparações múltiplas não paramétricas para os níveis de liberação de Cr entre as soluções de saliva sintética e de fluido de placa. Observa-se que a liberação de Cr é estatisticamente maior na solução de fluido de placa para todas as marcas estudadas ($p < 0,001$) em comparação com a solução de saliva sintética, com exceção do grupo controle, que não apresenta diferença significativa nos níveis de liberação de Cr entre as soluções ($p = 0,585$).

Tabela 5.14 – Resultado das comparações múltiplas não paramétricas para os níveis de liberação de Cr entre as soluções

Marca	Comparação	Valor Z	p
Morelli [®]	Saliva vs Fluido	-11.79	<0,001
Victory [®]	Saliva vs Fluido	-7.62	<0,001
Full Size [®]	Saliva vs Fluido	-16.33	<0,001
TP [®]	Saliva vs Fluido	-6.82	<0,001
American [®]	Saliva vs Fluido	-9.81	<0,001
Dentaurum [®]	Saliva vs Fluido	-10.02	<0,001
Abzil [®]	Saliva vs Fluido	-10.19	<0,001
Controle	Saliva vs Fluido	-0.55	0.585

O resultado das comparações múltiplas não paramétricas entre as marcas comerciais estudadas para os níveis de liberação de Cr em saliva sintética e em fluido de placa está apresentado, para cada solução de imersão, nas Tabelas 5.15 e 5.16.

Tabela 5.15 – Resultado das comparações múltiplas não paramétricas para os níveis de liberação de Cr em saliva sintética entre o grupo controle e os grupos de marcas comerciais estudadas

Comparação	Valor Z	p
Morelli [®] vs Victory [®]	1.32	0.187
Morelli [®] vs Full Size [®]	2.99	0.003
Morelli [®] vs TP [®]	-2.79	0.005
Morelli [®] vs American [®]	-0.15	0.878
Morelli [®] vs Dentaurem [®]	3.29	0.001
Morelli [®] vs Abzil [®]	-2.24	0.025
Morelli [®] vs Controle	3.85	<0,001
Victory [®] vs Full Size [®]	1.67	0.094
Victory [®] vs TP [®]	-4.11	<0,001
Victory [®] vs American [®]	-1.47	0.140
Victory [®] vs Dentaurem [®]	1.97	0.048
Victory [®] vs Abzil [®]	-3.56	<0,001
Victory [®] vs Controle	2.96	0.003
Full Size [®] vs TP [®]	-5.78	<0,001
Full Size [®] vs American [®]	-3.15	0.002
Full Size [®] vs Dentaurem [®]	0.30	0.765
Full Size [®] vs Abzil [®]	-5.23	<0,001
Full Size [®] vs Controle	1.82	0.069
TP [®] vs American [®]	2.63	0.009
TP [®] vs Dentaurem [®]	6.08	<0,001
TP [®] vs Abzil [®]	0.55	0.584
TP [®] vs Controle	5.75	<0,001
American [®] vs Dentaurem [®]	3.45	0.001
American [®] vs Abzil [®]	-2.08	0.037
American [®] vs Controle	3.96	<0,001
Dentaurem [®] vs Abzil [®]	-5.53	<0,001
Dentaurem [®] vs Controle	1.62	0.106
Abzil [®] vs Controle	5.37	<0,001

Tabela 5.16 – Resultado das comparações múltiplas não paramétricas para os níveis de liberação de Cr em fluido de placa entre o grupo controle e os grupos de marcas comerciais estudadas

Comparação	Valor Z	p
Morelli [®] vs Victory [®]	5.49	<0,001
Morelli [®] vs Full Size [®]	-1.54	0.123
Morelli [®] vs TP [®]	2.18	0.029
Morelli [®] vs American [®]	1.83	0.068
Morelli [®] vs Dentaurem [®]	5.07	<0,001
Morelli [®] vs Abzil [®]	-0.64	0.522
Morelli [®] vs Controle	11.19	<0,001
Victory [®] vs Full Size [®]	-7.04	<0,001
Victory [®] vs TP [®]	-3.31	0.001
Victory [®] vs American [®]	-3.66	<0,001
Victory [®] vs Dentaurem [®]	-0.42	0.671
Victory [®] vs Abzil [®]	-6.13	<0,001
Victory [®] vs Controle	7.46	<0,001
Full Size [®] vs TP [®]	3.73	<0,001
Full Size [®] vs American [®]	3.37	0.001
Full Size [®] vs Dentaurem [®]	6.61	<0,001
Full Size [®] vs Abzil [®]	0.90	0.367
Full Size [®] vs Controle	12.24	<0,001
TP [®] vs American [®]	-0.36	0.722
TP [®] vs Dentaurem [®]	2.88	0.004
TP [®] vs Abzil [®]	-2.82	0.005
TP [®] vs Controle	9.70	<0,001
American [®] vs Dentaurem [®]	3.24	0.001
American [®] vs Abzil [®]	-2.47	0.014
American [®] vs Controle	9.95	<0,001
Dentaurem [®] vs Abzil [®]	-5.71	<0,001
Dentaurem [®] vs Controle	7.74	<0,001
Abzil [®] vs Controle	11.62	<0,001

Considerando-se os dados estatísticos expostos nas Tabelas 5.13 e 5.15 e ilustrados pelos Gráficos 5.5 e 5.7, os braquetes que apresentaram os menores níveis de liberação de Cr em saliva sintética foram os braquetes das marcas Dentaurem[®] e Full Size[®] Unitek[®]. Os braquetes destas marcas não foram estatisticamente diferentes entre si e não foram diferentes do controle ($p > 0,05$). Os

braquetes da marca Victory[®] Unitek[®] apresentaram diferença do controle e da Dentaurum[®], porém não foram diferentes dos braquetes da marca Full Size[®] Unitek[®]. Os braquetes das marcas Morelli[®] e American[®] não foram diferentes entre si e não apresentaram diferença dos braquetes da marca Victory[®], porém foram diferentes do controle, Dentaurum[®] e Full Size[®] Unitek[®]. As marcas comerciais TP[®] e Abzil[®] apresentaram as maiores taxas de liberação de Cr em saliva sintética e, entre si, não mostraram diferença estatística ($p > 0,05$). Os braquetes destas marcas, contudo, mostraram-se diferentes do controle e das demais marcas comerciais estudadas.

As menores taxas de liberação de Cr em fluido de placa ocorreram com os braquetes das marcas comerciais Victory[®] e Dentaurum[®]. Os braquetes destas marcas não apresentaram diferença estatística entre si ($p = 0,671$), porém ambas foram diferentes do controle ($p < 0,001$). Os braquetes das marcas TP[®] e American[®] não mostraram diferença estatística entre si ($p = 0,722$), contudo foram diferentes do controle, Victory[®] e Dentaurum[®]. Em solução de fluido de placa, os braquetes das marcas comerciais Full Size[®], Morelli[®] e Abzil[®] obtiveram os maiores níveis de liberação de Cr e não apresentaram diferença estatística entre si ($p > 0,05$). Os braquetes destas marcas comerciais foram estatisticamente diferentes das demais marcas estudadas e do controle, com exceção dos braquetes da marca Morelli[®] que não se mostraram diferente daqueles da marca American[®].

6 DISCUSSÃO

A fim de somar-se aos dados disponíveis na literatura sobre a lixiviação de metais por dispositivos ortodônticos submetidos ao ambiente bucal, este estudo avaliou a quantidade de Ni e Cr liberada por braquetes ortodônticos de diferentes marcas comerciais imersos estaticamente em duas soluções, saliva sintética e solução que simula o fluido de placa bacteriana, em temperatura constante a 37°C durante 28 dias.

6.1 Discussão da liberação de Ni e Cr por aparelhos ortodônticos

Os valores absolutos detectados neste estudo para a liberação de Ni e Cr por braquetes ortodônticos, tanto em solução de saliva sintética, quanto em solução de fluido de placa, não podem ser confrontados diretamente com os valores de referência da dieta ou com os níveis sanguíneos destes elementos e não podem ser transferidos diretamente para a clínica, devido à natureza *in vitro* do estudo. Os testes *in vitro* não reproduzem o ambiente oral em todos os seus detalhes, apenas simulam o tipo de ataque que os braquetes ortodônticos sofrem na boca (MATASA, 1995). O comportamento clínico inclui a corrosão de todos os dispositivos ortodônticos, não apenas dos braquetes, e apresenta muitos tipos e mecanismos de corrosão. Corrosão por desgaste pode ocorrer pelo atrito entre os fios e braquetes ortodônticos. Além disso, os braquetes e os fios de nivelamento podem gerar um par

galvânico, capaz de acelerar o processo de corrosão (IIJIMA, 2006). Geralmente, os materiais ortodônticos, colocados em contato com tecidos ou fluidos biológicos, formam componentes organometálicos que, adicionados às variações de temperatura e pH, podem influenciar as taxas de corrosão das ligas (ELIADES et al., 2004). Schiff et al. (2006) verificaram recentemente que os enxaguatórios bucais, pela presença de fluoretos, podem favorecer o processo de corrosão de braquetes e fios ortodônticos. Sendo assim, em um estudo *in vivo*, os braquetes ortodônticos são submetidos a condições bastante variáveis. A modalidade de estudo *in vitro*, portanto, é necessária quando se objetiva a comparação de dispositivos diferentes, uma vez que, neste tipo de estudo, é possível controlar as variáveis de forma a assegurar que todos os dispositivos estudados serão submetidos às mesmas condições experimentais.

Os resultados do presente estudo apontam a marca comercial Dentaurum® como a marca que apresentou a menor taxa de liberação de Ni e Cr, tanto em solução de saliva sintética quanto em solução de fluido de placa em comparação com as demais marcas. Além disso, quando imersos em solução de saliva, os braquetes desta marca comercial não apresentaram liberação de Ni e Cr diferente daquela detectada no grupo controle. Este bom comportamento provavelmente seja decorrente da utilização de um aço inoxidável de boa qualidade, aliado a um processo de fabricação adequado e sem a presença de soldas.

Os braquetes Victory® Unitek® apresentaram, juntamente com a marca mencionada anteriormente, um bom desempenho em solução de fluido de placa em comparação com os braquetes das demais marcas. O bom polimento da superfície destes braquetes provavelmente lhes confira uma superfície lisa o bastante para

resistir melhor ao ataque ácido da solução de fluido de placa. Em solução de saliva sintética, contudo, apresentou uma liberação mediana de Ni e Cr.

Os braquetes da marca comercial American[®] apresentaram uma baixa taxa de liberação de Ni em saliva sintética, porém apresentaram um comportamento mediano em comparação com os braquetes das demais marcas comerciais para a liberação de Ni em fluido de placa e de Cr nas duas soluções de imersão.

Os braquetes da marca comercial TP[®], constituídos de uma liga de Co-Cr, apresentam em sua composição um teor de Ni (0,5% m/m) consideravelmente menor que aquele encontrado no aço inoxidável (8 a 12% m/m), liga metálica constituinte dos demais braquetes estudados. Os braquetes da marca comercial TP[®] apresentaram uma baixa liberação de Ni em saliva sintética e uma liberação mediana de Ni em fluido de placa. Porém, esses braquetes não foram os braquetes que apresentaram os níveis mais baixos de liberação de Ni, o que seria previsível, considerando o baixo conteúdo de Ni na liga metálica. Estes resultados concordam com Grimsdottir, Gjerdet e Hensten-Petersen (1992), pois a liberação de Ni, neste caso, parece estar mais relacionada ao processo de fabricação, do que ao conteúdo de Ni na liga. A liberação de Cr em saliva sintética por estes braquetes, ao contrário, esteve relacionada a fato desta liga possuir mais Cr, pois a marca TP[®] apresentou, juntamente com a marca Abzil[®], as maiores taxas de liberação de Cr em saliva sintética. Em fluido de placa, contudo, a liberação de Cr apresentou-se em níveis medianos em comparação com as demais marcas comerciais.

Os braquetes Full Size[®] Unitek[®] apresentaram uma baixa taxa de liberação de íons, especialmente Cr, em saliva artificial, porém apresentaram altos níveis de liberação de Ni e Cr em fluido de placa bacteriana. Estes braquetes apresentam uma superfície de aspecto fosco. Esta característica superficial lhes confere uma maior

área de contato com o ácido da solução de fluido de placa, o que pode explicar o fato de terem sofrido maior corrosão nesta solução.

Os braquetes da marca comercial Morelli[®] apresentaram, juntamente com os braquetes das marcas Abzil[®] e Full Size[®], as taxas mais elevadas de liberação de Ni e Cr em fluido de placa. Em saliva sintética, apresentaram taxas altas de liberação de Ni, porém, abaixo daquelas apresentadas pelos braquetes da marca Abzil[®] e mostraram uma liberação mediana de Cr nesta solução. A presença de soldas em diversos locais do braquete pode ser responsável pela formação de uma corrente galvânica que influencia o aço inoxidável e a solda (GRIMSDOTTIR; GJERDET; HENSTEN-PETERSEN, 1992). Imersos em fluido de placa bacteriana, 18 dos 20 braquetes estudados tiveram a base desprendida das aletas. Durante o processo de descolagem dos braquetes da marca Morelli[®], ocasionalmente, observa-se que as aletas se soltam da base e esta permanece colada à superfície dentária. Isto dificulta o processo de remoção deste braquete. Este achado clínico pode ser explicado pela deterioração da área de solda entre a base e as aletas, devido ao processo de corrosão.

Os braquetes da marca comercial Abzil[®] foram os braquetes que apresentaram as maiores taxas de liberação de Ni e Cr em ambas as soluções de imersão. Contudo, maiores detalhes sobre o processo de fabricação e sobre o tipo de aço utilizado seriam necessários para explicar o comportamento dos braquetes desta marca.

Portanto, considerando-se globalmente a liberação de Ni e Cr pelos braquetes estudados nas duas soluções de imersão, foi possível apontar a marca Dentaurem[®] como a detentora dos braquetes que apresentaram as menores taxas de liberação dos elementos estudados. As taxas de liberação de Ni e Cr pelos braquetes da

marca Dentaurum[®] foram seguidas, em ordem crescente, pelas taxas apresentadas pelos braquetes das marcas Victory[®] Unitek[®], American[®], TP[®], Full Size[®], Morelli[®] e Abzil[®].

É importante salientar que os braquetes de uma mesma marca comercial, porém de modelos diferentes, podem apresentar taxas de liberação de Ni e Cr distintas. Isto ocorre porque modelos diferentes podem ser constituídos de matérias primas diferentes e podem sofrer diferenciados processos de fabricação. Isto ficou evidente neste estudo, quando foram comparados os modelos Victory[®] e Full Size[®], ambos pertencentes à marca comercial Unitek[®]. A liberação de Ni e Cr em saliva sintética foi significativamente maior para o modelo Victory[®] que para o modelo Full Size[®], enquanto que, em fluido de placa, foi observada uma liberação de Ni e Cr superior para o modelo Full Size[®]. Sória et al. (2005) encontraram diferença significativa entre os modelos Edgewise Standard[®] e Roth Monobloc[®] da marca Morelli[®]. Os autores observaram uma maior liberação de Ni pelo modelo Edgewise Standard[®] que pelo modelo Roth Monobloc[®]. Sendo assim, os resultados do presente estudo limitam-se aos modelos avaliados e não podem ser extrapolados para os demais modelos das marcas comerciais estudadas.

A comparação dos valores obtidos por este estudo com os valores apresentados por outros trabalhos não pode ser realizada diretamente, pois estes utilizaram metodologias diferentes ou testaram variáveis diferentes. Maijer e Smith (1986), por exemplo, observaram o comportamento corrosivo de braquetes ortodônticos por meio de microscopia eletrônica, enquanto o presente estudo utilizou espectrometria. Grimsdottir, Gjerdet e Hensten-Petersen (1992) obtiveram valores mais elevados para a liberação de Ni e Cr pelos braquetes que o presente estudo, porém a diferente metodologia empregada pode justificar os diferentes resultados

encontrados. Barret, Bishara e Quinn (1993), Hwang, Shi e Cha (2001) e Shin, Oh e Hwang (2003), por sua vez, testaram aparelhos completos imersos em uma diferente formulação de saliva sintética. Staffolani et al. testaram também aparelhos completos imersos em soluções de ácidos orgânicos e inorgânicos. Eliades et al. (2004), Huang, Yen e Kao (2001) e Huang et al. (2004) observaram taxas de liberação menores que as taxas detectadas no presente estudo. Entretanto, além de terem utilizado soluções de imersão diferentes, estes autores não substituíram a solução semanalmente. Isto pode ter causado a saturação do meio, o que levou a uma diminuição das taxas de liberação de Ni e Cr. Platt et al. (1997) testaram ligas metálicas, ou seja, fragmentos de aço inoxidável 2205 e 316L e não braquetes ortodônticos. Matasa (1995) testou braquetes individualmente, mas não testou liberação de Ni e Cr. Este autor avaliou a efetividade dos inibidores da corrosão, por meio da liberação de hidrogênio quando o metal entrava em contato com ácido clorídrico.

Os resultados do presente estudo evidenciaram valores de dispersão, desvio padrão e variância elevados, o que se constituiu uma característica da amostra e foi também verificado por Barrett, Bishara e Quinn (1993) e Eliades et al. (2004). Isto sugere que o processo de fabricação, mesmo padronizado, não é capaz de produzir cópias idênticas de braquetes ortodônticos quanto à resistência à corrosão. Entretanto, como as magnitudes das taxas de liberação de Ni e Cr foram diferentes entre as marcas comerciais, foi possível detectar diferenças estatísticas entre as mesmas, apesar dos altos valores de dispersão. O tamanho da amostra do presente estudo está em concordância com a norma ISO 10271 (2001) que exige que seja testada uma área superficial de 10 cm^2 do material, o que corresponde a 20 braquetes ortodônticos aproximadamente. Além disso, este estudo utilizou um

tamanho de amostra maior que aquele empregado em outros estudos *in vitro* que realizaram testes de imersão e mensuraram a liberação de elementos metálicos (BARRETT; BISHARA; QUINN, 1993; ELIADES et al., 2004; GRIMSDOTTIR; GJERDET; HENSTEN-PETERSEN, 1992; SORIA et al., 2005; STAFFOLANI et al., 1999).

Não foi objetivo deste estudo definir um padrão de liberação de Ni e Cr por braquetes de diferentes marcas comerciais ao longo do tempo. Para definir um padrão de comportamento corrosivo, seria necessário um tempo de acompanhamento próximo àquele em que os braquetes permanecem na cavidade oral durante o tratamento ortodôntico, ou seja, cerca de dois anos. Wataha e Lockwood (1998), que avaliaram por 10 meses a liberação de elementos por ligas metálicas em cultura de células, detectaram a liberação de elementos durante todo o experimento. Como no presente estudo, os autores mencionados acima verificaram que uma liberação inicial alta, apesar de esperada, não constituiu a regra. Barret, Bishara e Quinn (1993) verificaram um decréscimo progressivo nas taxas de liberação de Ni ao longo de 28 dias, porém verificaram um comportamento oscilatório nas taxas de liberação de Cr ao longo do tempo. Grimsdottir, Gjerdet e Hensten-Petersen (1992) e Sória et al. (2005) realizaram testes de imersão por apenas 14 dias. A norma ISO 10271 (2001), contudo, estabelece um período mínimo de 28 dias para testes de imersão.

Observou-se, no presente estudo, que as taxas de liberação de Ni e Cr diminuíram ao longo do tempo para a maioria dos braquetes. Isto ocorreu devido ao processo de passivação, que, para o aço inoxidável, é obtido principalmente pelo acréscimo de Cr à liga. Quando os braquetes metálicos são submetidos ao meio corrosivo, à medida que os metais são liberados, é formada uma camada de óxidos

de Cr ao redor de toda sua superfície. Esta camada de óxidos é mais resistente à corrosão que o metal em si. Sendo assim, a resistência à corrosão dos braquetes ortodônticos depende em parte da presença desta película passivante (SHIN; OH; HWANG, 2003). Porém, a camada superficial de óxidos não resiste aos íons cloreto (MATASA, 1995) e, portanto, pode se romper durante o experimento. Por esta razão, se observou frequentemente neste estudo períodos de aumento nas taxas de liberação de Ni e Cr. Clinicamente, a escovação pode causar distúrbios transitórios na película passivante, o que foi evidenciado por Karov e Hinberg (2001). Estes autores observaram um aumento transitório nas densidades de corrente galvânica após a escovação, que foi restabelecido prontamente após 100s. Além disso, a presença da placa bacteriana em pacientes ortodônticos com deficiência de higiene oral causa uma diminuição na concentração de oxigênio, dificultando a regeneração da camada de óxidos (ELIADES et al., 2004; MATASA, 1995) e pode causar um aumento nas taxas de liberação de metais nestes indivíduos.

Os resultados do presente estudo indicaram que a imersão dos braquetes ortodônticos em fluido de placa artificial causou uma liberação de Ni e Cr significativamente maior que a imersão em saliva sintética. Este resultado era esperado, uma vez que o pH ácido é particularmente favorável à corrosão, e está em concordância com Bayramoglu et al. (2000), Huang, Yen e Kao (2001), Huang et al. (2004) e Staffolani et al. (1999), que avaliaram a liberação de elementos em soluções de pHs diferentes. Sória et al. (2005) testou soluções de imersão diferentes (saliva sintética e solução salina), porém, aparentemente com mesmo pH. Esses autores não encontraram diferença significativa na liberação de níquel entre as duas soluções. Os resultados do presente estudo, portanto, reforçam a necessidade de um monitoramento atento dos pacientes ortodônticos quanto à higiene oral, para que

quantidades mínimas de Ni e Cr sejam liberadas pelos aparelhos ortodônticos, evitando efeitos patológicos indesejáveis.

Gwinnett (1982) realizou um estudo a fim de identificar a origem das manchas verdes e negras sobre os braquetes ortodônticos e sobre o esmalte dentário. Este autor pôde verificar que o processo de corrosão foi o causador do manchamento. Contudo, todos os braquetes testados no presente estudo, a olho nu, não se apresentaram manchados após 28 dias de imersão em nenhuma das soluções empregadas. Isto significa que mesmo um braquete com aparência satisfatória pode apresentar uma liberação de íons passível de causar efeitos de irritação tecidual local ou ativação da resposta imune. Além disso, pode-se sugerir que seja necessária a presença de microrganismos e de alimentos para que as manchas se formem.

Os estudos que avaliaram *in vivo* a liberação de elementos metálicos na saliva natural por aparelhos ortodônticos apresentaram resultados diferentes. Gjerdet et al. (1991) observaram uma liberação inicial alta de metais que diminuiu com o tempo. Fors e Person (2006) verificaram a liberação de Ni na saliva e na placa bacteriana de pacientes ortodônticos. Ao contrário, Eliades et al. (2003) e Kerusuo, Moe e Hensten-Pettersen (1997) não observaram alterações no conteúdo salivar de Ni e Cr induzidas pela presença do aparelho ortodôntico. Entretanto, esses estudos não acompanharam os indivíduos longitudinalmente por um período próximo ao tempo em que os braquetes ortodônticos permanecem na cavidade bucal. O período de estudo dos trabalhos de Gjerdet et al. (1991) e Kerusuo, Moe e Hensten-Pettersen (1997) foi de apenas 30 dias. Eliades et al. (2003) e Fors e Person (2006) avaliaram, em um único momento, pacientes com aparelhos ortodônticos completos. Além disso, a saliva natural possui uma composição que

varia de acordo com a hora do dia, com a dieta, com a idade, com o gênero e com inúmeras doenças e agentes farmacológicos (DARVELL, 1978). Isto pode gerar respostas diferentes intra e interindivíduos, de forma que a variância entre as amostras pode mascarar o resultado do estudo. Frequentemente, o processo de coleta da saliva natural envolve a mastigação de uma porção de parafina ou algo similar, o que restringe a coleta da saliva àquela diretamente proveniente das glândulas. Isto limita a exposição dos aparelhos ortodônticos ao fluxo salivar, possibilitando a indução de resultados falso-negativos (ELIADES, 2003). Portanto, a metodologia para o monitoramento *in vivo* dos metais na saliva precisa ser aperfeiçoada, antes de se delinear conclusões sobre a liberação de elementos metálicos pelos aparelhos ortodônticos.

Da mesma forma, o estudo de Bishara, Barrett e Selim (1993), que avaliou os níveis sanguíneos de Ni em pacientes ortodônticos, deve ser analisado com cautela. Esses autores observaram que os níveis sanguíneos de Ni eram similares em indivíduos com e sem aparelhos ortodônticos. Como a depuração e as taxas de excreção de Ni são desconhecidas em humanos, não se pode excluir a possibilidade de que estes achados sejam decorrentes da eliminação deste elemento ou de seu acúmulo em determinado órgão.

O presente estudo concorda com Matasa (1995) quando afirma que, diferentemente das empresas farmacêuticas, as empresas de materiais ortodônticos são livres para alterar sua matéria prima e seu processo de fabricação sem a necessidade de obedecer a um padrão ou a uma regulamentação e, ainda, sem a necessidade de testes regulamentados que comprovem sua biocompatibilidade. Esta falta de normas origina as diferenças detectadas neste estudo entre o comportamento corrosivo de braquetes ortodônticos de marcas comerciais

diferentes. Há, portanto, uma necessidade atual de se definir órgãos que se encarreguem de regulamentar os dispositivos ortodônticos de forma a enquadrá-los em padrões de qualidade adequados, padrões estes que visem alcançar um potencial tóxico cada vez menor para os pacientes.

6.2 Discussão dos efeitos patológicos causados por Ni e Cr

Baseando-se nos estudos de citotoxicidade (BUMGARDNER; LUCAS, 1995; GRIMSDOTTIR; HENSTEN-PETTERSEN; KULLMAN, 1992; SAKAI; TAKEDA; NAKAMURA, 2002), os metais liberados pelos dispositivos ortodônticos podem contribuir para a gengivite localizada. Estes estudos apontam ainda que quanto maior a quantidade liberada de metais, maior o efeito citotóxico (BUMGARDNER; LUCAS, 1995; ELIADES et al., 2004). Apenas Mockers, Deroze e Camps (2002), ao contrário dos autores mencionados anteriormente, não observaram efeitos citotóxicos provocados pelos dispositivos ortodônticos. Como a liberação de Ni e Cr foi consideravelmente maior em fluido de placa, pode-se supor que a gengivite observada frequentemente nos paciente ortodônticos com deficiência de higiene oral seja uma somatória de efeitos nocivos causados diretamente pela placa bacteriana e pelos produtos de corrosão. Os resultados obtidos pelo presente estudo, portanto, reforçam a necessidade de um controle de higiene oral rigoroso nos pacientes sob tratamento ortodôntico, a fim de minimizar a liberação de Ni e Cr pelos aparelhos.

Janson et al. (1998), Kerusuo et al. (1996) e Marigo et al. (2003) são unânimes ao afirmar que os aparelhos ortodônticos metálicos não iniciam, nem

agravam as reações de hipersensibilidade ao Ni. Apenas indivíduos previamente sensíveis ao Ni podem desenvolver estas reações. O tratamento ortodôntico iniciado em indivíduos não sensibilizados pelo Ni, ao contrário, pode induzir tolerância imunológica. Sendo assim, os pacientes reconhecidamente sensíveis ao Ni, previamente ao início do tratamento ortodôntico, devem ser monitorados proximamente pelo ortodontista.

Faccioni et al. (2003), pela primeira vez na literatura ortodôntica, apresentaram evidência da genotoxicidade dos íons provenientes de ligas metálicas. Entretanto, os materiais ortodônticos metálicos têm servido à ortodontia por várias décadas e mais trabalhos científicos são necessários para se questionar seriamente sua segurança.

A indução de neoplasias por Ni, Cr e seus compostos tem sido bem documentada na literatura (IARC..., 1990; OLLER; COSTA; OBERDORSTER, 1997; WETTERHAHN; HAMILTON, 1989). Esta se limita, entretanto, à descrição de casos de carcinomas ocorridos por exposição ocupacional e por via inalatória. Não existem evidências de que Ni, Cr e seus compostos sejam carcinógenos, quando administrados por via oral ou cutânea. Entretanto, há uma necessidade atual de se determinar a quantidade de Cr(VI) liberada pelos aparelhos ortodônticos, pois não há estudos disponíveis que tenham investigado este aspecto.

Portanto, o conhecimento atual sobre os efeitos adversos dos elementos metálicos liberados pelos braquetes ortodônticos está restrito à citotoxicidade local e às reações de hipersensibilidade em pacientes alérgicos a estes elementos.

7 CONCLUSÃO

Com base na metodologia empregada e nos resultados obtidos a partir da comparação entre as taxas de liberação de Ni e Cr pelos braquetes ortodônticos das diferentes marcas comerciais estudadas nos diversos ambientes orais simulados, pôde-se concluir que a marca comercial, cujos braquetes apresentaram as menores taxas de liberação de Ni e Cr, foi a marca Dentaurum[®], seguida, em ordem crescente, pelas marcas Victory[®] Unitek[®], American[®], TP[®], Full Size[®] Unitek[®], Morelli[®] e Abzil[®].

REFERÊNCIAS¹

Anderson RA. Chromium and parenteral nutrition. *Nutrition* 1995;11(1 Supp):83-6.

Barret RD, Bishara SE, Quinn JK. Biodegradation of orthodontic appliances. Part I. Biodegradation of niquel and chromium in vitro. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1993;103(1):8-14.

Bayramoglu G, Alemdaroglu T, Kedici S, Aksut AA. The effect of pH on the corrosion of dental metal alloys. *J Oral Rehabil* 2000;27(7):563-75.

Bishara SE, Barret RD, Selim MI. Biodegradation of orthodontic appliances. Part II. Changes in blood level of niquel. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1993;103(2):115-9.

Bumgardner JD, Lucas LC. Cellular response to metallic ions released from nickel-chromium dental alloys. *J Dent Res* 1995;74(8):1521-7.

Bussab WO, Morettin PA. *Estatística básica*. São Paulo: Atual; 1987.

Darvell BW. The development of an artificial saliva for in vitro amalgam corrosion study. *J Oral Rehabil* 1978;5(1):41-9.

Eliades T, Trapalis C, Eliades G, Katsavrias E. Salivary metal levels of orthodontic patients: a novel methodological and analytical approach. *Eur J Orthod* 2003;25(1):103-6.

Eliades T, Pratsinis H, Kletsas D, Eliades G, Makou M. Characterization and cytotoxicity of ions released from stainless steel and nickel-titanium orthodontic alloys. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2004;125(1):24-9.

European Parliament. Directive 94/27/EC. The European directive restricting the use of nickel. *Official Journal of the European Communities* 1994 Jun 30.

¹ De acordo com Estilo Vancouver. Abreviatura de periódicos segundo base de dados MEDLINE.

Faccioni F, Franceschetti P, Cerpelloni M, Fracasso ME. In vivo study on metal release from fixed orthodontic appliances and DNA damage in oral mucosa cells. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2003;124(6):687-93.

Fors R, Persson M. Nickel in dental plaque and saliva in patients with and without orthodontic appliances. *Europ J Orthod* 2006;28(1):292-7.

Fuzayama T, Katayori T, Nomoto S. Corrosion of gold and amalgam placed in contact with each other. *J Dent Res* 1963;42(5):1183-97.

Gjerdet NR, Hero H. Metal release from heat-treated orthodontic archwires. *Acta Odontol Scand* 1987;45(6):409-14.

Gjerdet NR, Erichsen ES, Remlo HE, Evjen G. Nickel and iron in saliva of patients with fixed orthodontic appliances. *Acta Odontol Scand* 1991;49(2):73-8.

Goyer RA, Klaassen CD, Waalkes MP. *Metal toxicology*. San Diego: Academic Press; 1995.

Grimaudo NJ. Biocompatibility of nickel and cobalt dental alloys. *Gen Dent* 2001;49(5):498-503.

Grimsdottir MR, Gjerdet NR, Hensten-Pettersen A. Composition and in vitro corrosion of orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1992;101(6):525-32.

Grimsdottir MR, Hensten-Pettersen A, Kullmann A. Cytotoxic effect of orthodontic appliances. *Eur J Orthod* 1992;14(1):47-53.

Gwinnett AJ. Corrosion of resin-bonded orthodontic brackets. *Am J Orthod* 1982;82(6):441-6.

Holland RI. Corrosion testing by potentiodynamic polarization in various electrolytes. *Dent Mater* 1992;8(4):241-5.

Huang TH, Yen CC, Kao CT. Comparison of ion release from new and recycled orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2001;120(1):68-75.

Huang TH, Ding SJ, Yan M, Kao CT. Metal ion release from new and recycled stainless steel brackets. *Eur J Orthod* 2004;26(2):171-7.

Hwang C, Shin J, Cha J. Metal release from simulated fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2001;120(4):383-91.

Iijima M, Endo K, Yuasa T, Ohno H, Hayashi K, Kakizaki M, et al. Galvanic corrosion behavior of orthodontic archwire alloys coupled to bracket alloys. *Angle Orthod* 2006;76(4):705-11.

International Association for Research on Cancer - IARC. Monographs on the evaluation of carcinogenesis risks to humans. Chromium, nickel and welding. Lyon; 1990.

International Standard Organization. ISO 10271. Dental metallic materials: corrosion test methods. Geneva; 2001.

Janson GRP, Dainesi EA, Consolaro A, Woodside DG, Freitas MR. Nickel hypersensitivity reaction before, during, and after orthodontic therapy. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1998;113(6):655-60.

Karov J, Hinberg I. Galvanic corrosion of selected dental alloys. *J Oral Rehabil* 2001;28(3):212-9.

Kedici SP, Aksut AA, Kiliçarslan MA, Bayramoglu G, Gokdemir K. Corrosion behavior of dental metals and alloys in different media. *J Oral Rehabil* 1998;25(10):800-8.

Keliher PN, Wohlers CC. Echelle grating spectrometers in analytical spectrometry. *Anal Chem* 1976;48:333A-40A.

Kerosuo H, Moe G, Hensten-Pettersen A. Salivary nickel and chromium in subjects with different types of fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1997;111(6):595-8.

Kerosuo H, Kulla A, Kerosuo E, Kanerva L, Hensten-Pettersen A. Nickel allergy in adolescents in relation to orthodontic treatment and piercing of ears. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;109(2):148-54.

Leite LP, Bell RA. Adverse hypersensitivity reactions in orthodontics. *Semin Orthod* 2004;10(4):240-3.

Leung VWH, Darvell BW. Artificial salivas for in vitro studies of dental materials. *J Dent* 1997;25(6):475-84.

Leung VWH, Darvell BW. Calcium phosphate system in saliva-like media. *J Chem Soc Faraday Trans* 1991;87(11):1759-64.

Maijer R, Smith DC. Biodegradation of the orthodontic bracket system. *Am J Orthod* 1986;90(3):195-8.

Marigo M, Nouer DF, Genelhu MCS, Malaquias LCC, Pizziolo VR, Costa ASV. Evaluation of immunologic profile in patients with nickel sensitivity due to use of fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2003;124(1):46-52.

Matasa CG. Attachment corrosion and its testing. *J Clin Orthod* 1995;29(1):16-22.

McLaughlin RP, Bennett JC, Trevisi HJ. *Mecânica sistematizada de tratamento ortodôntico*. São Paulo: Artes Médicas; 2002.

Meyer JN, Nally JN. Influence of artificial salivas on the corrosion of dental alloys. *J Dent Res* 1975;54(3):678.

Mockers O, Deroze D, Camps J. Cytotoxicity of orthodontic bands, brackets and archwires in vitro. *Dent Mat* 2002;18(4):311-7.

Neter J, Kutner MH, Nachtsheim CJ, Wasserman W. *Applied linear statistical models*. Illinois: Richard D Irwing; 1996.

Olesik JW. Echelle grating spectrometers for inductively coupled plasma optical emission spectrometry: a review of basic equations and operating principles. *Spectros* 1999;14:36-41.

Oller AR, Costa M, Oberdorster G. Carcinogenicity assessment of selected nickel compounds. *Toxicol Appl Pharmacol* 1997;143(1):152-66.

Perkin-Elmer. SIMAA 6000: installation, maintenance and system description. Ueberlinger; 1995.

Platt JA, Guzman A, Zuccari A, Thornburg DW, Rhodes BF, Oshida Y, et al. Corrosion behavior of 2205 duplex stainless steel. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1997;112(1):69-79.

Sakai T, Takeda S, Nakamura M. The effects of particulate metals on cell viability of osteoblast-like cells in vitro. *Dent Mater J* 2002;21(2):133-46.

Salem H. The chromium paradox in modern life: introductory address to the symposium. *Sci Total Environ* 1989;86(1-2):1-3.

Schiff N, Boinet M, Morgon L, Lissac M, Dalard F, Grosogeat B. Galvanic corrosion between orthodontic wires and brackets in fluoride mouthwashes. *Eur J Orthod* 2006;28(6):298-304.

Shannon IL, McCrary BR, Starcke EN. A saliva substitute for use by xerostomic patients undergoing radiotherapy to the head and neck. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1977;44(5):656-66.

Shin J, Oh K, Hwang C. In vitro surface corrosion of stainless steel and NiTi orthodontic appliances. *Austr Orthod J* 2003;19(1):13-8.

Slavin W, Manning DC, Carnrick GR. The stabilized temperature platform furnace. *At Spectrosc* 1981;2(5):137-45.

Sória ML, Menezes L, Dedavid B, Pires M, Rizatto S, Costa Filho LC. Avaliação in vitro da liberação de níquel por braquetes metálicos. *Rev Dental Press Ortodon Ortop Facial* 2005;10(3):87-96.

Staffolani N, Damiani F, Lilli C, Guerra M, Staffolani NJ, Belcastro S et al. Ion release from orthodontic appliances. *J Dent* 1999;27(6):449-54.

Subramanian KS. Determination of metals in biofluids and tissues: sample preparation methods for atomic spectroscopic techniques. *Spectrochim* 1996;Acta51B:291-319.

Wataha JC, Lockwood PE. Release of elements from dental casting alloys into cell-culture medium over 10 months. *Dent Mater* 1998;14(2):158-63.

Welz B, Sperling M. *Atomic absorption spectrometry*. Weinheim: Wiley-VCH; 1999.

Wetterhahn K, Hamilton JW. Molecular basis of hexavalent chromium carcinogenicity: effect on gene expression. *Sci Total Environ* 1989;86(1-2):113-29.

GLOSSÁRIO

Citotoxicidade - Capacidade de um agente exercer ação lítica específica sobre certas células.

Corrosão - Desgaste, ou modificação química ou estrutural de um material, provocados pela ação química ou eletroquímica espontânea de agentes do meio ambiente.

Difração - Fenômeno que ocorre quando uma onda caminhante é limitada, em seu avanço, por um objeto opaco que deixa passar apenas uma fração das frentes de onda.

Ductilidade - Capacidade de suportar deformação plástica, sob a ação de cargas, sem se romper ou fraturar.

Espectrometria - Técnica de análise qualitativa e quantitativa baseada na obtenção e estudo do espectro de emissão de substâncias.

Fotodiodo - Componente eletrônico em que uma junção constituída por dois semicondutores fotossensíveis controla o fluxo de carga elétrica de acordo com a luz que sobre ela incide.

Hapteno - Substância de baixo peso molecular, sem poder antigênico, e que é um dos dois constituintes de um antígeno. Para ter poder antigênico, o hapteno deve estar associado a uma substância protéica ou polissacarídea denominada portador.

Hipersensibilidade – Reação anormalmente intensa a um agente estranho ao organismo.

Lixiviação - Operação de se separar de certas substâncias, por meio de lavagem, os íons nelas contidos.

Passivação - Modificação do potencial de um eletrodo no sentido de menor atividade, devido à formação de uma película de produto de corrosão. Esta película é denominada película passivante.

Pirólise - Ruptura da estrutura molecular original de um determinado composto pela ação do calor.