

Rodrigo Alexandre Milani

**Corrosão e ligas metálicas usadas em mini implantes para ancoragem ortodôntica
temporária: uma revisão integrativa da literatura**

Universidade Fernando Pessoa
Faculdade de Ciências da Saúde
Porto, 2017

Rodrigo Alexandre Milani

**Corrosão e ligas metálicas usadas em mini implantes para ancoragem ortodôntica
temporária: uma revisão integrativa da literatura**

Universidade Fernando Pessoa
Faculdade de Ciências da Saúde
Porto, 2017

Rodrigo Alexandre Milani

**Corrosão e ligas metálicas usadas em mini implantes para ancoragem ortodôntica
temporária: uma revisão integrativa da literatura**

Rodrigo Alexandre Milani

Dissertação apresentada à Universidade Fernando Pessoa
como parte dos requisitos para a obtenção do grau de
Mestre em Medicina Dentária.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi apresentar uma compilação de dados reportados na literatura sobre a resistência à corrosão de ligas metálicas utilizadas para produzir mini-implantes na ancoragem ortodôntica temporária. Este artigo apresenta uma revisão integrativa da literatura, realizada a partir de uma pesquisa de artigos publicados entre 2006 a 2017 nas bases de dados Medline/PubMed, Science Direct (Elsevier), B-on via Universidade Fernando Pessoa. Os termos utilizados para busca foram *corrosion* AND *mini-implants*, OR *corrosion And mini implants AND steel*, OR *mini implants AND steel*, OR *steel And F138*, OR *screw And corrosion And implants AND steel*, OR *stainless steel AND corrosion*.

Os resultados apresentados pelos testes eletroquímicos e microscópicos para ligas de titânio e aço inoxidável usados para fabricação de mini-implantes ortodônticos revelam uma baixa resistência à corrosão destes materiais em condições encontradas na cavidade oral. Dentre todas as ligas metálicas utilizadas atualmente a liga de Ti6Al4V apresentou uma melhor resistência à corrosão em saliva artificial. Entretanto, a corrosão destas ligas ocorre em contato com altas concentrações de flúor tendo como consequência a liberação de íons de Al e V, tóxicos para os tecidos peri implantares. A presença de biofilme e substâncias ácidas, também são fatores capazes de diminuir o pH da cavidade oral, podendo acelerar o processo de corrosão das ligas. Novas ligas metálicas tem sido desenvolvidas para a fabricação de mini-implantes sendo o necessário a caracterização destes materiais em relação à resistência à corrosão e biocompatibilidade antes da indicação para uso clínico.

Palavras-chaves: corrosão; mini implante; dispositivo de ancoragem temporário; aço inoxidável; F138; titânio .

Abstract

The objective of this work was to perform a literature review on the corrosion resistance of alloys used to produce mini-implants for temporary orthodontic anchorage. A Medline/Pubmed and Sciencedirect bibliographical review was carried out via Universidade Fernando Pessoa. The search items were used: *corrosion*” AND “*mini-implants*”, OR “*corrosion And mini implants AND steel*”, OR “*mini implants AND steel*”, OR “*steel AND F138*”, OR “*screw And corrosion AND implants AND steel*”, OR “*stainless steel AND corrosion*”.

The results reported from electrochemical and microscopic studies revealed a decrease in corrosion resistance of stainless steel and titanium alloys used for mini-implants in different oral conditions. Among all the current alloys for mini-implants, Ti6Al4V showed a better corrosion resistance in artificial saliva although their corrosion resistance decreased when immersed in solutions containing a high F concentration. As a result, Al and V ions are released from titanium alloys that can be toxic for peri-implant tissues. Also, acidic substances from therapeutic solutions, dietary and biofilms can decrease the pH of the human saliva that can negatively affect the corrosion. In fact, novel stainless steel has been developed for mini-implants and therefore studies on corrosion resistance and biocompatibility should be performed on such alloys to avoid detrimental effects to the patients.

Keywords: corrosion; mini-implants; temporary anchorage devices; stainless steel; F-138; titanium.

Agradecimentos

À minha esposa Karina Milani pelo companheirismo, incentivo e por estar sempre ao meu lado em todos os momentos das nossas vidas.

Ao meu filho Vitor Zoppi Milani, que é a razão da minha vida, e a inspiração para fazer o meu melhor todos os dias.

Ao meu orientador professor Dr. Júlio Souza, por todos os ensinamentos, apoio, paciência e disponibilidade para realização deste trabalho.

A minha professora Dra. Sandra Gavinha, pela ajuda e disponibilidade para a confecção deste trabalho.

Aos meus pais, que são meu exemplo de vida, caráter e de amor ao próximo.

Ao meu sogro Plautus e minha sogra Evani, pelo apoio neste nossa nova jornada da vida.

Ao meu grande amigo e sócio Fabio Michelletti Araújo, pela amizade, incentivo e parceria ao longo desta jornada da minha vida.

“Estamos aqui para fazer alguma diferença no universo, se não, porque estar aqui?”

Steve Jobs

Abreviaturas

AAS - Análise de espectrometria de absorção atômica

BP - Jateada e passivada

CP - Curva de polarização

CpTi - Titânio comercialmente puro

Dats - Dispositivo de ancoragem temporário(s)

EIS - Espectroscopia de impedância eletroquímica

Ep – Potencial de pites

NP - Nitretação à plasma

OCP - Potencial em circuito aberto

PBS - Solução de fosfatase tamponada

Rp - Resistência à polimerização

SCE - Eletrodo de Calomelano saturado

Ti - Titânio

Índice

I. Introdução	1
1. Materiais e Métodos	2
II. Desenvolvimento	4
2. Resultados.....	4
3. Discussão.....	7
III. Conclusão	9
IV. Bibliografia	10
V. Anexos	13
1. Tabela 1 - Corrosão das ligas metálicas usadas para mini implantes ortodônticos.....	13

I. Introdução

Desde o surgimento das técnicas e dispositivos ortodônticos, o controle da ancoragem tem sido uma grande preocupação para o sucesso do tratamento ortodôntico. Nos dias atuais, os mini-implantes ou dispositivos de ancoragem temporários (Dats), estão aumentando a sua popularidade entre os ortodontistas. Uma pesquisa realizada em 2008 pela Associação Americana de Ortodontia, constatou que 80% dos ortodontistas tem utilizado ao menos um dispositivo de ancoragem temporário nos seus tratamentos (Buschang et al., 2008). Contudo, são aplicadas cargas sobre estes Dats para movimentação dentária o que pode afetar o suporte ósseo de ancoragem (Liu et al., 2011). Além disso, problemas com corrosão, fraturas e biocompatibilidade de diversos materiais metálicos usados para fabricação dos Dats tem sido reportados na literatura (Knutson et al., 2012; Gittens et al., 2011).

Com o aumento da utilização dos Dats para o movimento ortodôntico, surgiu também a necessidade de estudar os diferentes tipos de materiais que podem ser utilizados para tal propósito. Na grande maioria, ligas de Ti6Al4V ou aço inoxidável são utilizados para produção dos Dats (Knutson et al., 2012), devido a alta resistência mecânica (Chang et al., 2015). Ligas metálicas de aço inoxidável são desejadas pelo motivo dos Dats apresentarem menor diâmetro que os implantes osseointegráveis convencionais e estarem sujeitos a cargas para o tratamento ortodôntico o que pode levar à fratura precoce. Sendo assim, faz-se necessária a utilização de material de maior resistência mecânica que o titânio comercialmente puro (cp Ti) (Squeff et al., 2008; Chang et al., 2015). Atualmente, os Dats de aço inoxidável para ancoragem apresentam um alto índice de sucesso o que tem levado a uma grande procura pelos profissionais da área (Chang et al., 2015). Entretanto, casos de insucessos tem sido reportados e associados a idade, sexo, localização (mandíbula ou maxila), tipo de osso e qualidade do material. A falha na seleção do local de instalação dos Dats tem sido reportado com um dos principais fatores de insucesso (Moon et al., 2008; Chang et al., 2015). Outro fator de insucesso é a corrosão dos materiais usados para fabricação dos Dats o que estimula reações inflamatórias peri-implantares o que pode levar a perda do mini-implante e atraso no tratamento (Messer et al, 2010; Mouhyi et al., 2009; Chang et al., 2015; Gittens et al., 2011).

Tendo em vista os problemas biológicos e físico-químicos associados aos Dats, o objetivo do presente trabalho foi realizar uma revisão integrativa na literatura sobre a corrosão de ligas metálicas utilizadas para produção dos Dats. A hipótese deste estudo foi baseada no potencial de corrosão dos materiais para produção dos Dats, usados nos tratamentos ortodônticos.

1. Materiais e Métodos

Foi realizada uma pesquisa nas bases de dados eletrônicas MEDLINE/PubMed, Science Direct (Elsevier), B-on (via Universiade Fernando Pessoa) compreendendo publicações entre o período entre 2006 a 2017. Os seguintes termos de busca foram utilizados: “*corrosion*” AND “*mini-implants*”, OR “*corrosion And mini implants AND steel*”, OR “*mini implants And steel*”, OR “*steel And F138*”, OR “*screw And corrosion And implants AND steel*”, OR “*stainless steel AND corrosion*”. Como critério de inclusão, a pesquisa foi limitada aos artigos publicados em língua Inglesa e Portuguesa, que abordaram análises laboratoriais e clínicas das ligas metálicas de aço inoxidável e titânio. Artigos de revisão bibliográfica e capítulos de livros foram excluídos para revisão.

Os artigos identificados tiveram seus títulos e resumos lidos para verificar se os mesmos se enquadravam nos critérios de inclusão. Essa etapa foi realizada por dois pesquisadores de forma independente, com uma reunião para resolverem possíveis discordâncias. Os artigos inicialmente selecionados, foram lidos na íntegra levando em consideração os critérios de inclusão, para constatar se estavam de acordo com a hipótese do estudo. Os dados extraídos dos artigos e considerados nesta revisão, foram: autores, ano de publicação, periódico, tipos de materiais e de análises laboratoriais.

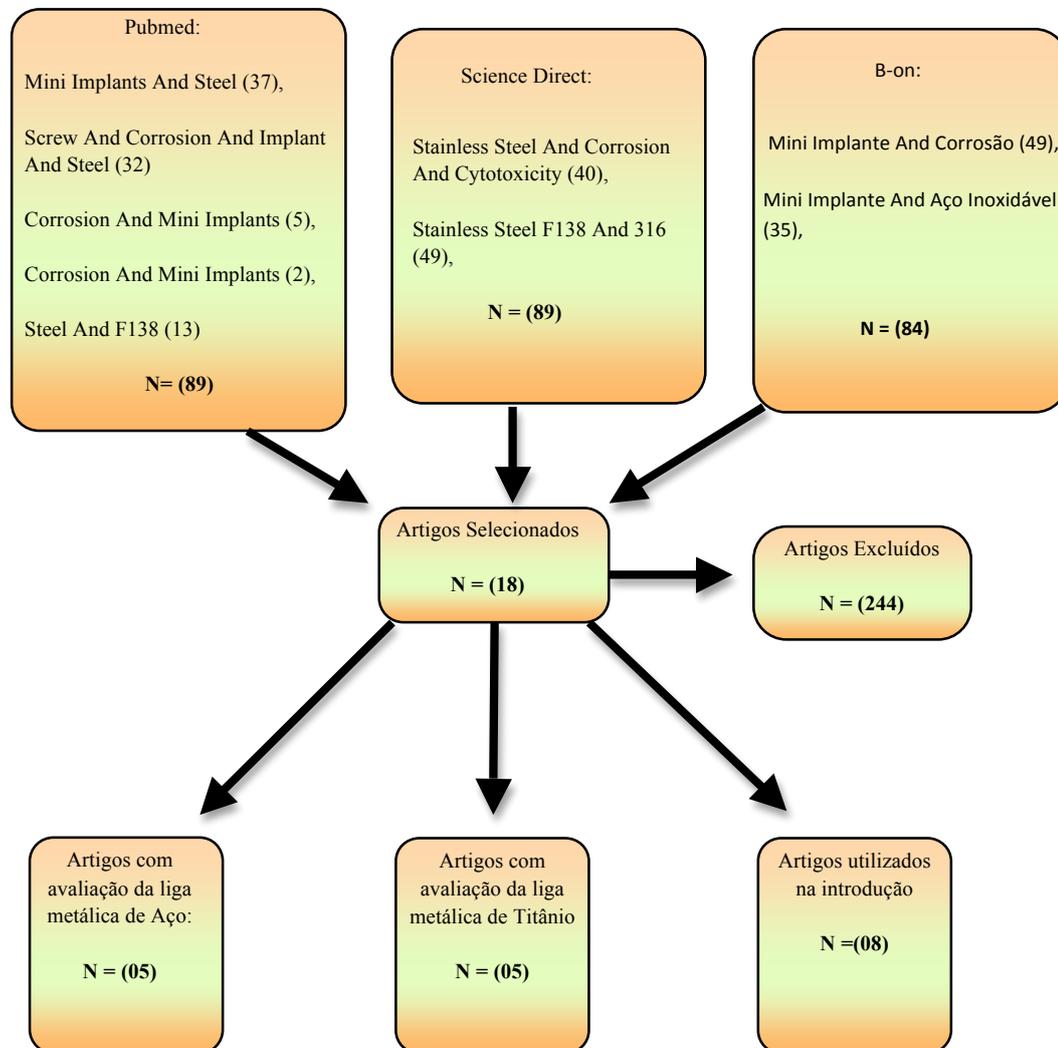


Figura 1. Estratégia de seleção dos artigos para revisão de literatura.

II. Desenvolvimento

2. Resultados

A partir das bases de dados de busca bibliográfica acessadas no presente trabalho, foram encontrados 262 artigos, dos quais apenas 10 se enquadravam nos critérios de inclusão pré-estabelecidos conforme ilustrado na Figura 1. Dos artigos selecionados, cinco reportaram estudos de corrosão sobre titânio e ligas de titânio (e.g. Ti6Al4V). Os demais artigos reportaram estudos de corrosão de ligas de aço inoxidável. Os principais testes para obtenção de resultados sobre a corrosão dos materiais foram: potencial em circuito aberto (OCP); polarização potenciodinâmica; espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS); microscopia eletrônica de varrimento (MEV) e espectroscopia de absorção atômica (AAS)

Dos artigos selecionados sobre a corrosão de materiais à base de titânio, o maior nível de corrosão do cp Ti e Ti6Al4V, foi encontrado após imersão na formulação de saliva artificial de Fusayama modificada, com concentração de 12.300 ppm Flúor. Os valores de OCP, cuja sua definição faz-se, como o potencial de um material condutor de elétrons, imerso em um eletrólito condutor de íons e medido contra um eletrodo de referência, determina apenas uma tendência de corrosão ou a passivação do material de superfície e *Rpf*, que avalia a taxa de corrosão, feita pela análise de Espectro de impedância eletroquímica (EIS), através das análises de curvas de polarização potenciodinâmica são apresentados na Tabela 1 em anexos. No mesmo estudo, mas sem a presença, ou com concentração baixa de flúor em torno de 0 a 227 ppm, ambos os materiais apresentaram a formação de filme passivo (Souza et al., 2013; Souza et al., 2015).

Knuston et al. (21012) realizou um estudo com três marcas comerciais de Dats produzidas por Ti6Al4V. Os testes de OCP, EIS e polarização potenciodinâmica foram realizados em saliva artificial de Fusayama–Meyer contendo ou não 1.500 ppm F. Os valores de potencial de corrosão (i_{corr}) obtidos foram maiores associados a menores valores de resistência à polarização (*Rpf*) para os materiais imersos na solução contendo flúor quando comparado aos dados obtidos em saliva artificial. Estes dados indicam uma diminuição a resistência à corrosão dos dispositivos implantáveis em meio contendo flúor.

Em relação aos estudos sobre aço inoxidável, foi realizado um estudo com três tipos de ligas de aço inoxidáveis, DIN 1.4460 nitretado, DIN 1.4970 e ASTM F138 SS, que são amplamente utilizadas em várias aplicações biomédicas. Estas, foram submetidas a testes eletroquímicos de OCP e espectrometria de impedância eletroquímica (EIS), em solução tampão fosfatada (Tabela 1). O resultado obtido neste ensaio, foi que a liga de aço inoxidável DIN 1.4460 nitretado apresentou a maior resistência à corrosão conforme valores de R_{pf} indicados na Tabela 1 em comparação aos aços inoxidáveis DIN 1.4970 e ASTM F-138 SS, mas que também apresentaram também alta resistência a corrosão (Terada et al., 2007).

Conforme o estudo de Souza et al. (2013), a presença de biofilme com espécies acidogênicas (ex., *Streptococcus mutans*) fez com que os valores de OCP do titânio em saliva artificial diminuísse (Tabela 1) o que aumentou a tendência do material à corrosão. Os valores de R_{pf} obtidos por EIS (Tabela 1) foram maiores para o cp Ti em saliva artificial sem biofilmes em comparação em meio com biofilme. A corrosão localizada em forma de pites (picadas) não foi confirmada, pois a liga apresentou uma película passiva de óxidos de acordo com o circuito elétrico analisado pela técnica de EIS.

Alves et al. (2016), analisou à degradação de três marcas comerciais de Dats por meio de análises por MEV e ASS. Foram analisadas alterações nas superfície assim como a libertação de íons dos materiais após imersão nos meios de imersão. Alterações de superfície foram mais intensas em amostras imersas em períodos mais prolongados em saliva artificial. As análises químicas por AAS demonstraram a libertação de Ti, Al e V em saliva artificial o que indica uma alta reatividade da liga de Ti6Al4V para produção dos Dats assim como o seu processo corrosivo com o tempo de imersão.

Pereda et al. (2012), avaliaram a degradação do aço inoxidável F138 e F139, por meio de polarização potenciodinâmica para avaliação do potencial de pites (E_p). Os grupos testes foram divididos de acordo com o tipo de tratamento de superfície: imersão em ácido nítrico (MPP); tratamento passivo (MP) seguido por jateamento com partículas de sílica com diâmetro de 30 à 160 μm a 5 Kg/cm^2 ; superfícies passivadas (BP), nos tempos de 30 s (BP30s), 2 min (BP2m) e 5 min (BP5m). Os resultados obtidos, foram que o tratamento com MPP promoveu uma melhor a resistência a corrosão do material em comparação com as amostras sem tratamento (MP). Quando analisada as amostras pela análise SEM, observou-se

se que o tratamento por jateamento e passivação química (BP) não gera uma redução significativa da corrosão, sendo que os valores encontrados. A variação do tempo de jateamento da superfície do aço inoxidável, exerce uma significativa influência nos parâmetros de rugosidade da liga, sendo que é possível obter uma melhoria da topografia, sem uma perda apreciável na resistência à corrosão por pites.

A corrosão do aço inoxidável F138 também foi analisada em outro estudo antes e após nitretação à plasma em diferentes tempos: 2, 4 e 7 horas (Souza et al., 2010). O resultado da curva de polarização, demonstrou um menor valor para E_{corr} , (-0.10 V SCE) nas amostras sem tratamento, em comparação as amostras com tratamento (2hs -0.19 V SCE; 4 hs -0.14 V SCE e 7 hs -0.14 V SCE). Esta mesma amostra foi submetida a análise de SEM, que demonstrou menor alteração localizada da superfícies por pites nas amostras tratadas por 4 hs em comparação com as outras amostras. (Souza et al., 2010).

Os aços inoxidáveis 317L e 317L-Cu foram comparados em relação sua resistência à corrosão na solução de NaCl 0,9% em presença de *Staphylococcus aureus*. A citotoxicidade destas ligas também foi avaliada usando uma metodologia com embriões de peixes zebras (Sun et al., 2016). Nas análises de polarização potenciodinâmica, ambas as ligas apresentaram baixa taxas de corrosão, como demonstrado pelos valores de OCP apresentados na Tabela 1. Em relação a aderência de *S. aureus*, a liga 317L-Cu, apresentou uma menor retenção de colônias bacterianas em um tempo maior de incubação, que pode ser explicado pela maior liberação de íons de Cu^{2+} , conforme o aumento do tempo. Contudo, os resultados de citotoxicidade das duas ligas foram semelhantes, sem malformações nos embriões dos peixes zebras. A partir destas análises, o aço inoxidável 317L-Cu apresentou resultados de baixa corrosão e aceitável biocompatibilidade, podendo ser indicado para instrumentos e outros equipamentos cirúrgicos (Sun et al., 2016).

Muruve et al. (2016), avaliaram a corrosão do aço inoxidável 304 após modificação com diferentes camadas de peptídeos. Os peptídeos demonstraram uma melhoria na resistência à corrosão das ligas como uma camada que impede o fluxo de corrente elétrica.. Na Tabela 1, pode-se observar uma diminuição nos valores de corrente elétrica com o aumento da concentração de peptídeos. O aumento da resistência à corrosão foi estimado em 85,3%.

3. Discussão

Os resultados encontrados nos artigos selecionados validam a hipótese apresentada neste estudo. De fato, os materiais metálicos usados para fabricação dos Dats apresentam susceptibilidade à corrosão frente a diversidade da cavidade oral. Atualmente, as ligas metálicas à base de aço inoxidáveis estão a causar um maior interesse para fabricação deste tipo de dispositivo, tendo-se a necessidade de mais estudos sobre o risco de corrosão em cavidade oral associada a um toxicidade peri-implantar.

A liga de Ti6Al4V tem sido ainda o material mais utilizado para fabricação dos Dats, entretanto este tipo de liga pode apresentar algumas deficiências, além do seu maior custo, em contato com certas substâncias terapêuticas, como por exemplo, em flúor em concentração acima de 227 ppm (Knuston et al., 2012; Souza et al., 2012; Souza et al., 2015). Dos estudos que utilizaram potencial de circuito aberto (OCP), como um dois meios de análises dos resultados, foram unânimes em afirmar que o cp Ti e as ligas de Ti6Al4V apresentam uma tendência à corrosão quando em presença do flúor (Knuston et al., 2012; Souza et al., 2012; Souza et al., 2013; Souza et al., 2015). As análises de impedância eletroquímica (EIS) e polarização potenciodinâmica determinaram a baixa resistência à corrosão do titânio e suas ligas pela dissolução da camada de filme passivo na presença de flúor (Souza et al., 2012; Souza et al., 2015). De fato, a resistência à corrosão das ligas de titânio diminuem à medida que a concentração de flúor aumenta a partir de 227 ppm. Conseqüentemente, corrosão localizada em forma de pites foi detectada para o cp Ti enquanto a liga de Ti6Al4V foi degradada na forma de corrosão intergranular (Souza et al., 2015) com libertação de íons tóxicos de Al e V para o meio circundante (Alves et al., 2016).

A liberação de íons como resultado da corrosão dos materiais no meio bucal tem sido associada a efeitos biológicos adversos locais e sistêmicos em nível mutagênico e carcinogênico (Alves et al., 2016). Os produtos de corrosão podem ser englobados por macrófagos no processo de fagocitose no entanto são acumuladas nos tecidos causando danos teciduais no processos inflamatório (Messer et al., 2010; Mouhyi et al., 2009; Gittens et al., 2011). Produtos de corrosão em escala nanométrica conseguem atravessar membranas celulares e causar danos ao DNA da célula com potencial risco carcinogênico dependente da concentração, composição química e tamanho das partículas (Warheit et al., 2007).

Neste mesmo tipo de análise, mas com meio de solução fosfatase tamponado em pH 7,0, As ligas mais comuns de aço inoxidáveis tem sido testadas principalmente em solução tampão de fosfatos (Terada et al., 2006; Terada et al., 2007). Neste meio, as ligas apresentam uma camada de filme passivo e alta resistência à corrosão. Entretanto, são poucos os estudos que realizam os testes de corrosão destas ligas em soluções que mimetizam em meio oral. Tal fator corresponde ao maior uso destas ligas para implantes ortopédicos em contato com meio fisiológico similar. Atualmente estão sendo utilizados alguns tipos de ligas de aço para a confecção dos Dats, sendo uma delas o aço inoxidável AISI 316L. Este tipo de material tem apresentado uma alta resistência à corrosão entre os tipos de ligas de aço inoxidável quando imersas em solução tampão de fosfatos (Terada et al., 2006). Outra liga de aço inoxidável, utilizada é a F-138, que quando submetidos aos testes eletroquímicos na solução tampão de fosfatos ou solução de Ringer, apresentou alta resistência a corrosão (Terada et al., 2006; Pareda et al., 2012), assim como as ligas aço inoxidáveis 317L e 317L (Sun et al., 2016).

A partir da informação encontrada nos artigos selecionados para o presente estudo, foi detectada uma variação de parâmetros para estudos de corrosão incluindo solução líquida para testes e métodos eletroquímicos. As soluções testadas são formuladas com o propósito de simular soluções fisiológicas no corpo humano. Dentre uma delas, encontra-se a saliva artificial que pode apresentar variação em composição química e pH os quais são fatores relevantes para a corrosão de ligas metálicas. Outro fator está condicionado a presença de soluções terapêuticas corrosivas como o flúor e peróxido de hidrogênio (Souza et al., 2015). Tendo em consideração à variação de parâmetros, os estudos devem ser avaliados de acordo com o tipo de solução e técnica utilizada para uma melhor classificação da resistência à corrosão dos tipos de ligas metálicas comercialmente disponíveis ou recentemente desenvolvidas. Outro ponto é que os estudos de corrosão na área do mini-implantes estão limitados aos materiais mais utilizados a décadas. Novos materiais tem surgido mas poucos estudos avaliam o comportamento de corrosão destas ligas em diferentes condições agressivas que simulam o meio oral corrosivo.

III. Conclusão

O presente trabalho selecionou os estudos mais relevantes sobre resistência à corrosão de ligas metálicas utilizadas para a produção de mini-implantes de ancoragem ortodôntica temporária. Tendo em consideração às limitações dos estudos *in vitro* reportados na literatura sobre o comportamento corrosivo destes materiais, as seguintes conclusões podem apresentadas como seguem:

- O Ti6Al4V é a liga metálica mais utilizada atualmente, apresentando uma maior resistência à corrosão em comparação com ligas de aço inoxidável quando em contato com saliva. Entretanto, as ligas de Ti6Al4V apresentam uma aceleração do processo de corrosão em altas concentrações de Flúor o que resulta na liberação de íons de Al e V, tóxicos para os tecidos peri-implantares;
- Outras substâncias presentes na cavidade oral também podem também influenciar a resistência à corrosão de materiais à base de titânio e aço inoxidável. Dentre os principais fatores corrosivos na cavidade oral, está a presença de biofilmes com bactérias acidogénicas (ex. *S. mutans*) capazes de diminuir o pH do meio e acelerar a corrosão das ligas;
- Dentre as ligas metálicas atualmente utilizados para dispositivos (mini-implantes) de ancoragem ortodôntica, o aço inoxidável F-138 foi o que apresentou a maior resistência à corrosão. As liga de aço, DIN 1.4460 alta N e 317L, não são encontradas atualmente em mini-implantes, mas apresentaram ótimos resultados em relação a corrosão. Com o avanço dos estudos em ligas metálicas, outros materiais estão surgindo, com propriedades de corrosão melhorada, e com isso se faz necessário mais estudos laboratoriais para a aplicabilidade clínica.

IV. Bibliografia

Alves, C. B., Segurado, M. N., Dorta, M. C. et al. (2016). Evaluation of Cytotoxicity and Corrosion Resistance of Orthodontic Mini-Implants. *Dental Press Journal Orthodontics*, 21(5), pp. 39-46.

Buschang, P. H., Carrillo, R., Ozenbaugh, B. et al. (2008). 2008 Survey of AAO Members on Miniscrew Usage. *Jornal Clinical Orthodontics*, 42(9), pp. 513-518.

Chang, C., Liu, S. S. e Roberts, W. E. (2015). Primary Failure Rate for 1680 Extra-Alveolar Mandibular Buccal Shelf Mini-Screws Placed in Movable Mucosa or Attached Gingiva. *Angle Orthodontics*, 85(6), pp. 905-910.

Gittens R A, Olivares-Navarrete R, Tannenbaum R, et al. (2011) Electrical implications of corrosion for osseointegration of titanium implants. *Journal of Dental Research* ,90(1), pp. 1389–1397

Gittens R A, Olivares-Navarrete R, Tannenbaum R, et al. (2011) Electrical implications of corrosion for osseointegration of titanium implants. *Journal of Dental Research*, 90(1), pp. 1389–1397

Knutson, K. J. e Berzins, D. W. (2013). Corrosion of Orthodontic Temporary Anchorage Devices. *European Journal Orthodontics*, 35(4), pp.500-506.

Liu, J. K., Lee, T. M. e Liu, I. H. (2011). Effect of Loading Force on the Dissolution Behavior and Surface Properties of Nickel-Titanium Orthodontic Archwires in Artificial Saliva. *American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics* 140(2), pp. 166-176.

Luzi, C., Verna, C. e Melsen, B. (2009). Guidelines for Success in Placement of Orthodontic Mini-Implants. *Journal Clinical Orthodontics*, 43(1), pp. 39-44.

Mendes, K. D. S., Silveira, R. C. C., Galvao, C. M. (2008). Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. *Texto contexto – enfermagem*, 17(4). [Em Linha] Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-07072008000400018>> [Consultado em 01/072017].

Messer, R. L. W., Seta, F., Mickalonis, J. et al. (2010). Corrosion of Phosphate-Enriched Titanium Oxide Surface Dental Implants (TiUnite) Under in Vitro Inflammatory and Hyperglycemic Conditions. *Journal Of Biomedical Materials Research. Part B, Applied Biomaterials*, 92(2), pp. 525-534.

Moon, C. H., Lee, D. G., Lee, H. S. et al. (2008). Factors Associated With the Success Rate of Orthodontic Miniscrews Placed in the Upper and Lower Posterior Buccal Region. *The Angle Orthodontist*, 78(1), pp. 101-106.

Mouhyi, J., Ehrenfest, D. M. D. e Albrektsson, T. (2012). The Peri-Implantitis: Implant Surfaces, Microstructure, and Physicochemical Aspects. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 14(2), pp. 170-183.

Muruve, N. G. G., Cheng, Y. F., Feng, Y. et al. (2016). Peptide-Based Biocoatings for Corrosion Protection of Stainless Steel Biomaterial in a Chloride Solution. *Materials Science & Engineering C*, 68(1), pp. 695-700.

Pereda, M. D., Kang, K. W., Bonetto, R. et al. (2012). Impact of Surface Treatment on the Corrosion Resistance of ASTM F138-F139 Stainless Steel for Biomedical Applications. *Procedia Materials Science*, 1(1), pp. 446-453.

Souza, J. C., Barbosa, S. L., Ariza, E. A. et al. (2015). How do Titanium and Ti6Al4V Corrode in Fluoridated Medium as Found in the Oral Cavity? An in Vitro Study. *Materials Science and Engineering C*, 47(1), pp. 384-93.

Souza, J. C., Ponthiaux, P., Henriques, M. et al. (2013). Corrosion Behaviour of Titanium in the Presence of *Streptococcus mutans*. *Journal of Dental research*, 41(6), pp. 528-34.

Souza, J. C. M., Barbosa, S. L., Ariza, E. et al. (2012). Simultaneous Degradation by Corrosion and Wear of Titanium in Artificial Saliva Containing Fluorides. *Wear*, 292-293(1), pp. 82-88.

Souza, S. D., Olzon-Dionysio, M., Basso, R. L. O. et al. (2010). Mössbauer Spectroscopy Study on the Corrosion Resistance of Plasma Nitrided ASTM F138 Stainless Steel in Chloride Solution. *Materials Characterization*, 61(10), pp. 992-999.

Squeff, L.R., Simonson M.B., Elias C.N. et al. (2008). Characterization of the Mini-Implants used to orthodontic anchorage. *Dental Press Journal Orthodontics*, 13(5), pp. 49-56.

Sun, D., Xu, D., Yang, C. et al. (2016). Inhibition of Staphylococcus Aureus Biofilm by a Copper-Bearing 317L-Cu Stainless Steel and Its Corrosion Resistance. *Materials Science and Engineering C*, 69(1), pp. 744-750.

Terada, M., Antunes, R. A., Padilha, A. F. et al. (2006). Comparison of the Corrosion Resistance of DIN W. N° 1.4970 (15%Cr-15%Ni-1.2%Mo-Ti) and ASTM F-138 (17%Cr-13%Ni-2.5%Mo) Austenitic Stainless Steels for Biomedical Applications. *Materials Research*, 9(3), pp. 281-286.

Warheit, D.B., Weeb, T. R., Reed, K. L. et al. (2007). Pulmonary toxicity study in rats with three forms of ultrafine - TiO₂ particles: 120 differential responses related to surface properties. *Toxicology*, 230(1), pp. 90-104

V. Anexos

1. Tabela 1 - Corrosão das ligas metálicas usadas para mini implantes ortodônticos.

Autores	Materiais	Métodos	OCP	Rp	I _{corr}
Souza et al. 2015	Titânio comercialmente puro grau IV e Ti6AL4V	Saliva artificial Fusayama modificada: pH 5,5 - sem F, 20, 30 e 227ppm F pH 6,5 - 12.300 ppm F OCP, EIS, Polarização Potenciodinâmica	Sem F, 20 e 30 ppm F: -0,4V vs. SCE 227 ppm F: -0,5 ± 0,03 V vs. SCE 12.300 ppm F: -1,2 ±V vs. SCE	- Sem F, 20, 30, 227 ppm F – capacitância da película de óxido de titânio -12.300 ppm F – sugere defeito no filme da película de óxido - Maior valor de Rp para CpTi grau IV	_____
Souza et al. 2012	Titânio comercialmente puro grau IV	Saliva artificial de Fusayama modificada. Concentrações de 0 até 12.300 ppm F OCP, EIS	0 a 227 ppm F: -0,1 – 0,2 V vs. SCE -12.300 ppm F: -0,8 vs. SCE	- 0 a 227 ppm F - presença de uma película passiva compacta sobre titânio - 12.300 ppm F - sugere defeito na película, com diminuição da resistência a corrosão.	_____
Knutson et al. 2012	3 marcas comerciais de Dats em Ti6AL4V	Saliva artificial de Fusayama Meyer, em pH 5,8, sem Flúor e com 1500 ppm F OCP, EIS, I _{corr}	Sem Flúor 0,3 V vs. SCE 1.500 ppm F -0,44 V vs. SCE	- Sem F - passividade na camada de óxido. -1.500 ppm F - afetou a camada passiva das três Dats Maiores valores de Rp para Ti6Al4V, em contato com solução sem flúor	Sem Flúor: 2.7- 6.0 nA 1.500 ppm F: 29.0 - 197,8 nA
Souza et al. 2013	Titânio comercialmente puro grau IV	Saliva artificial de Fusayama modificada OCP, EIS	Na presença de biofilme: -0,3 ± 0.02 V vs. SCE Na saliva artificial, sem presença de biofilme: -0,1±0.02 V vs. SCE	Comportamento capacitivo nos dois grupos e presença de uma película passiva compacta sobre titânio Na presença de biofilme: 1.0x10 ⁷ Ohm.cm ² Sem presença de biofilme: 1.0x10 ⁵ Ohm.cm ²	_____
Terada et al. 2007	Aço Inoxidável ASTM F-138, DIN 1.4970 e DIN 1.4460 alta N	Solução de Fosfatase Tamponado	Tendências de corrosão muito baixas exibidas por ambos os materiais	24 horas de imersão – apresenta camada de óxido, com boa proteção contra corrosão.	_____
Terada et al. 2006	Aço inoxidável, AISI 316L ASTM F-138 e DIN 1.4970	Solução de Fosfatase Tamponado	Baixa tendência de corrosão, abaixo de 10 ⁻⁵ A/cm ² , típico de metais passivos	R1 –camada mais externa e R2 camada mais interna, em ambos os materiais, apresentaram boa polarização (resistência a corrosão).	_____

Autores	Materiais	Métodos	OCP	Rp	I _{corr}
Alves et al. 2016	3 marcas de Dats em Ti6Al4V	Saliva artificial Meyer modificada e com 1.500 ppm F OCP, EIS, I _{corr}	Saliva artificial: 115 até 170 mV versus SCE Com 1500 ppm F -467 até -314 mV versus SC	- Não alterou o Rp em saliva artificial - Diminuiu o Rp na presença de 1.500 ppm F	Saliva artificial: 2.7 até 6.0 nA Com 1500 ppm F 29 até 197.8 nA
Souz et al. 2010	Aço inoxidável ASTM F138 sem e com nitretação plasmática	- Solução de NaCl 3% - Escaneamento por microscopia electrónica (SEM) - Espectroscopia Mössbauer, com conversão de eletrons - (CEMS) - Curva de Polarização	Com nitretação plasmática: diminuição da corrente anódica. Sem nitretação plasmática: corrente baixa de -0.10 à 0.0 V(SCE) e com aumento da corrente, -0.10 à 0.0 V(SCE)		
Sun et al. 2016	Aço inoxidável 317L e 317L - Cu	- Incubação com S. Aureus - Solução de NaCl 0,9% - Polarização Potenciodinâmica - OCP, I _{corr}	317 L: 113.9 mV SCE 317 L- Cu: 171.2 mV SCE		317 L: 113,8 nA cm ⁻¹ 317 L- Cu: 136,7 nA cm ⁻¹
Murruve et al. 2016	aço inoxidável 304	Solução de NaCl 0,9% e 3,5% co pH 1.0 -Testes com adição de peptídeos OCP, I _{corr} , E _{corr} , -Polarização potenciodinâmica	0 5 µg/mL 10 µg/mL 40 µg/mL 100 µg/mL		7.39 x 10 ⁻⁸ Acm ^{m2} 4.93 x 10 ⁻⁸ Acm ^{m2} 3.35 x 10 ⁻⁸ Acm ^{m2} 1.40 x 10 ⁻⁸ Acm ^{m2} 1.09 x 10 ⁻⁸ Acm ^{m2}