



INFLUÊNCIA DA CORROSÃO NA RESISTÊNCIA À FRATURA DE MINI-IMPLANTES ORTODÔNTICOS DE TITÂNIO E AÇO INOXIDÁVEL: UMA REVISÃO DA LITERATURA.

Felipe Gomes Dallepiane¹, Alef da Silva¹, Júlia Dal Paz¹, Brenda Klein Dias¹, Micheline Sandini Trentin².

Revisão da Literatura

Resumo

Introdução: Os mini-implantes são utilizados como sistema de ancoragem sendo um fator chave para o sucesso do tratamento ortodôntico dando resistência ao movimento dentário indesejado. **Objetivo:** realizar uma revisão de literatura detalhada sobre os achados científicos atuais e traçar um paralelo entre mini implantes de Ti6AlV4 e aço inoxidável e sua influência na corrosão e conseqüentemente na resistência a fratura. **Material e Métodos:** Foi realizada uma busca na literatura, pertinente ao assunto pesquisado, nas seguintes bases de dados: PubMed, Scielo e Google Acadêmico nos idiomas inglês e português usando os termos de pesquisa: “orthodontics” AND “mini-implant” OR/AND “corrosion” OR/AND “fracture”. tendo em vista os resultados dos estudos relacionando a mini-implantes ortodônticos. Os artigos foram selecionados por meios de critérios e inclusão e exclusão. **Resultados:** Com base nas pesquisas atuais, cabe ao profissional analisar as características de cada material para saber qual utilizar clinicamente, tendo em vista que ambos possuem excelentes qualidades, como o mini-implante de titânio possuem boas propriedades a resistência à corrosão e ótima osseointegração, já o mini-implante de aço inoxidável possuindo boas propriedades mecânicas e mais resistente a fratura. **Conclusão:** Contudo, os mini-implantes com ligas de aço inoxidável possuem maior resistência a fratura quando comparados com as ligas de Ti6AlV4, porém vale ressaltar que ambos resistem as forças aplicadas na ancoragem ortodôntica podendo serem utilizados sem problemas clínicos.

Descritores: Odontologia; Ortodontia; Fratura; Corrosão.

INFLUENCE OF CORROSION ON FRACTURE RESISTANCE OF TITANIUM AND STAINLESS STEEL ORTHODONTIC MINI-IMPLANTS: A LITERATURE REVIEW

Abstract

Introduction: Mini-implants are used as an anchorage system, being a key factor for the success of orthodontic treatment, providing resistance to unwanted tooth movement. **Objective:** to carry out a detailed literature review on current scientific findings and draw a parallel between Ti6AlV4 and stainless steel mini-implants and their influence on corrosion and consequently on fracture resistance. **Material and Methods:** A search was carried out in the literature, relevant to the subject researched, in the following databases: PubMed, Scielo and Google Scholar in English and Portuguese using the search terms: “orthodontics” AND “mini-implant” OR/ AND “corrosion” OR/AND “fracture”. in view of the results of studies relating to orthodontic mini-implants. The articles were selected by means of inclusion and exclusion criteria. **Results:** Based on current research, it is up to the professional to analyze the characteristics of each material to know which one to use clinically, considering that both have excellent qualities, such as titanium mini-implants, which have good properties, corrosion resistance and excellent osseointegration, the stainless steel mini-implant, on the other hand, has good mechanical properties and is more resistant to fracture. **Conclusion:** However, mini-implants with stainless steel alloys have greater resistance to fracture when compared to Ti6Al4V alloys, but it is worth mentioning that both resist the forces applied in orthodontic anchorage and can be used without clinical problems.

Keywords: Dentistry; Orthodontics; Fracture; Corrosion.

Instituição afiliada - ¹Departamento de Odontologia, Universidade De Passo Fundo – Passo Fundo – RS – Brasil

²Departamento de Periodontia e Implantodontia, Universidade De Passo Fundo – Passo Fundo – RS – Brasil.

Dados da publicação: Artigo recebido em 20 de Fevereiro, revisado em 15 de Março, aceito para publicação em 25 de Março e publicado em 30 de Março de 2023.

DOI: <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2023v5n2p31-47>

Autor correspondente: Felipe Gomes Dallepiane fe.g.d1@hotmail.com



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

INTRODUÇÃO

Os mini-implantes são utilizados como sistema de ancoragem esquelética na ortodontia, sendo um fator indispensável no controle de ancoragem e determinante para o sucesso no tratamento¹. Os dispositivos temporários de ancoragem ortodôntica (DATs) possuem o mecanismo de ação no qual se baseiam no embricamento mecânico de sua estrutura metálica nas corticais e osso denso, e não necessariamente no conceito da osseointegração².

Os mini-implantes metálicos predominantemente usados são feitos de titânio comercialmente puro, ligas de titânio (Ti6AL4V) e aço inoxidável³. Dentro das aplicações clínicas em que os mini-implantes podem ser utilizados para realizar a ancoragem na movimentação ortodôntica, temos a retração em massa dos elementos dentários ântero-superiores, retração anterior-superior e inferior com ancoragens máximas para casos de pacientes com biprotrusão, intrusão de molares superiores, distalização de molares superiores, mesialização de molar inferior, verticalização de molares, tracionamento de caninos impactados, intrusão de incisivos, intrusão de caninos, correção de mordida cruzada posterior e correção da linha média^{4, 5, 6}.

Mini-implantes ortodônticos são confeccionados à base de titânio e, quando submetidos ao meio ácido, aos íons fluoreto ou à saliva, a proteção da camada de óxido de titânio, que desempenha função importante na resistência à corrosão pode ser perdida, e um processo de corrosão é iniciado. A definição de corrosão é a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação física, química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. Sendo que a corrosão pode atingir todos os metais, basta haver meio corrosivo suficiente para que isso ocorra⁷.

Uma das principais complicações clínicas dos mini-implantes é a possível fratura ao inserir ou removê-lo do tecido ósseo, ou devido a aplicação de força excessiva durante o tratamento ortodôntico⁸. Buscando maior eficácia clínica, vários tipos e formatos de mini-implantes foram lançados no mercado por diferentes fabricantes. Sabe-se que a seleção do diâmetro e do comprimento dos mini-implantes, é um fator importante para a sua adequada utilização, apesar de poderem ser instalados em diversos sítios da cavidade bucal⁹. À medida que o uso de mini-implantes se tornou mais popular, houve uma maior atenção aos fatores clínicos e mecânicos que contribuem para o seu sucesso. Os profissionais que instalam os mini-implantes devem tomar cuidados especiais, tanto na fase cirúrgica como na aplicação da força



ortodôntica, uma vez que pode ocorrer deformação ou, até mesmo, a fratura do mini-implante¹⁰.

Considerando que o tratamento com mini-implantes é um fator determinante no sucesso do tratamento ortodôntico, a seguinte revisão de literatura tem como objetivo traçar um paralelo entre mini implantes de Ti6AlV4 e aço inoxidável, além de descrever a possível influência do potencial de corrosão na resistência à fratura dos mesmos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada uma busca na literatura atual, pertinente ao assunto pesquisado, nas seguintes bases de dados: PubMed, Scielo e Google Acadêmico nos idiomas inglês e português usando os termos de pesquisa: “orthodontics” AND “mini-implant” OR/AND “corrosion” OR/AND “fracture”. Em relação aos resultados dos estudos encontrados na literatura relacionando a fratura a corrosão de mini-implantes ortodônticos, os artigos foram selecionados por meios de critérios e inclusão e exclusão, sem restrição de ano de publicação.

Configurou-se como critérios de inclusão: estudos de caso-controle, séries de casos, pesquisas clínicas ou pesquisas clínicas randomizadas e controladas, revisões sistemáticas e meta-análise apenas nos idiomas inglês e português. Já para critérios de exclusão foram artigos os quais não apresentassem nenhum objetivo a ser pesquisado como protocolos, comunicações breves, opiniões pessoais, cartas, pôsteres, resumos de conferências, estudos em dentes decíduos e quando não eram estudos relevantes para o estudo proposto.

RESULTADOS

Os mini-implantes são feitos de titânio comercialmente puro, ligas de titânio (Ti6Al4V) e aço inoxidável. Existe, atualmente, disponíveis no mercado uma série de mini-implantes com diferentes formas, desenhos, diâmetros, comprimentos, graus de pureza do titânio e tratamentos de superfície. Essas características diferentes são utilizadas como argumento pelos diversos fabricantes, para um melhor desempenho clínico¹¹. O diâmetro do mini-implante deve ser escolhido de acordo com o sítio e o espaço disponível no mesmo, através de radiografias. Na maxila, deve-se selecionar uma peça de diâmetro mais fino, quando ela for colocada entre as raízes de dentes. Se for necessária a inserção do mini-implante em osso trabecular, para obtenção de estabilidade, uma peça de comprimento mais longo se faz necessária. A observação desses fatores é fundamental para evitar que os mesmos fraturem e percam sua estabilidade e função¹². A forma do mini-implante deve prover ancoragem



mecânica através da superfície de contato osso/implante e tem que permitir a distribuição das cargas ortodônticas de maneira que não prejudique a fisiologia óssea⁹.

Os mini-implantes possuem três porções distintas: cabeça, porção transmucosa ou pescoço e porção rosqueável. A porção transmucosa pode apresentar comprimentos variados, possibilitando sua colocação em diferentes sítios. Quanto mais bem polida se apresentar esta parte da peça, menor a possibilidade de infecção nos tecidos adjacentes. Os mini-implantes autoperfurantes têm o ápice extremamente fino e afiado, dispensando, na maioria dos casos, a utilização de qualquer procedimento adicional para perfuração óssea. Enquanto os de ápice arredondado, necessitam de perfuração com broca, no sítio onde serão posicionados, sendo estes denominados implantes autorosqueantes^{12, 13}.

Além das funções já citadas, a terapia com estes dispositivos pode ser eficaz em casos de correção ortopédica esquelética de más oclusões de classe 2 e classe 3. Sendo indicadas também para o fornecimento de fixação para dentes artificiais em casos de hipodontia e para fornecer fixação intermaxilar durante cirurgias ortognáticas¹⁴.

Os metais sofrem corrosão em diferentes tipos de meios, principalmente no meio aquoso em que o mecanismo é eletroquímico. Dessa forma, na maioria das reações que se manifestam em presença de uma superfície metálica, ocorre a passagem de corrente através do metal¹⁵. A corrosão em mini-implantes tem sido contribuinte para a inflamação dos tecidos bucais e insucesso clínico¹⁶.

Implantes metálicos para aplicações ósseas submersas em íons eletrólitos no corpo constituem uma célula básica de corrosão. Amplas correntes podem ser induzidas pelo fluxo de íons e elétrons gerados durante reações eletroquímicas que ocorrem entre a corrosão da superfície metálica e eletrólito. Essas correntes são geralmente usadas para medir a taxa de corrosão de um metal; porque eles são diretamente relacionados à liberação de íons metálicos ou, em outras palavras, a degradação do material. Consequentemente, eventos de corrosão resultam em um aumento da rugosidade da superfície do dispositivo que podem amplificar o ambiente corrosivo ao redor do implante e comprometer sua estabilidade mecânica¹⁷. Quando os mini-implantes são submetidos ao meio ácido, aos íons fluoreto ou a saliva, a camada de proteção se perde e ocorre a corrosão⁷.

MILANI (2017) realizou uma revisão de literatura sobre a corrosão de ligas metálicas utilizadas para produção dos dispositivos de ancoragem temporários (Dats); pesquisando sobre a corrosão em ligas de titânio e em ligas de aço inoxidável. O Ti6AL4V é a liga metálica mais usada atualmente, porém, apresenta maior corrosão quando em contato com a saliva, apresentando aceleração no processo de corrosão em altas concentrações de flúor o que



resulta na liberação de íons de alumínio (AL) e vanádio (V), ambos tóxicos para os tecidos peri-implantares. A presença de biofilme pode ser um fator corrosivo, pois são capazes de diminuir o pH do meio e acelerar o processo de corrosão das ligas. O aço inoxidável F-138 foi o que apresentou a maior resistência à corrosão, com os avanços dos estudos realizados em ligas metálicas e apresentando propriedades de corrosão melhorada. Dessa forma, se faz necessário mais estudos laboratoriais para a sua aplicabilidade clínica¹⁸.

O objetivo do estudo de BAHIA *et al.* (2018), foi avaliar a resistência à corrosão e a microestrutura superficial de mini-implantes novos, já utilizados ou que foram perdidos precocemente e os que tiveram sucesso de estabilidade, analisando se o processo de corrosão influencia na falha ou na perda de estabilidade destes, a fim de se comparar com as principais causas de sucesso e insucesso clínico. A amostra foi composta de 21 mini-implantes ortodônticos autoperfurantes com 6mm de comprimento e diâmetro de 1,5mm, fabricados com liga de Ti6AL4V. Os mini-implantes foram divididos em 3 grupos: grupo C: mini-implante na sua forma original; grupo PE: mini-implantes utilizados em pacientes que apresentaram perda de estabilidade precoce em até 2 meses; grupo E: mini-implantes utilizados em pacientes com sucesso de estabilidade. Inicialmente foi usada a análise visual da superfície da rosca dos mini-implantes através de um microscópio eletrônico de varredura com aumento de 100x e 500x. Para avaliar a resistência à corrosão, todos os mini-implantes foram submetidos a ensaios de polarização cíclica potenciodinâmica em potenciostato PGSTAT204N, acoplado a um computador com o programa advanced electrochemical software nova 2.0. A microestrutura superficial não foi alterada pela permanência e/ou perda precoce de estabilidade em seus sítios ósseos, não ocorrendo a influência da corrosão na microestrutura dos mini implantes⁷.

O estudo de PICOLO *et al.* (2021), buscaram comparar amostras de liga de titânio (Ti6AL4V), e aço 316L em saliva artificial com e sem flúor na sua composição. Quatro amostras de cada material foram testadas, os testes foram realizados a 37^o C simulando a temperatura normal da cavidade oral. A saliva artificial de Fusayama foi usado como eletrólito solução, num segundo momento se usou uma concentração de 1500 ppm de flúor. As amostras foram montadas na célula eletroquímica de acrílico em contato com uma fiação elétrica. Os testes eletroquímicos realizados com Potenciostato (Metrohm, Herisau-Suíça), acoplado ao software Voltmaster 4 (Radiometer Analytical, França), usado para controle eletroquímico e análise de dados. O potencial de circuito aberto foi usado com um eletrodo de referência padrão e como um eletrodo contador para fazer as medições de impedância e polarização potenciodinâmica, e as amostras foram conectadas no eletrodo de trabalho. Após se realizou uma polarização catódica a partir de - 0,9V aumentando essa voltagem por 5 minutos ou até



que se obtivessem os pitins de corrosão, na saliva com e sem flúor. Os resultados foram direcionados para obtenção de valores de intensidade de corrente aplicada no material até o momento de sua passivação quando ocorrida, demonstrando o início do processo de corrosão diferiram entre Ti6AL4V que sofria corrosão contínua e o aço 316L que sofria a corrosão inicial em um curto momento e logo ocorria a passivação do material e conseqüentemente tamponamento da superfície acometida pela corrosão. Ambas as ligas apresentam boa resistência a corrosão, porém o aço 316L faz a passivação da superfície¹⁹.

O objetivo do estudo de KNUTSON AND BÉRZINS (2012), foi medir as propriedades de corrosão de mini-implantes ortodônticos em saliva artificial com e sem flúor. Utilizaram-se para tanto, três marcas comerciais de mini-implantes (VectorTAS, Unitek, Orthodontics) de 8mm. A fim de permitir a conexão do eletrodo foi realizado o isolamento na ponta rosqueável de cada mini-implante para teste eletroquímico, até um nível padronizado de 3mm, revestida em verniz e montada em resina epóxia, permitindo dessa forma que o restante do mini-implante (cabeça) seja exposto à solução de teste. Os mini implantes foram acoplados aos eletrodos, e estes, foram conectados a um potenciostato acionado por computador. A solução de saliva artificial de Fusayama-Meyer foi utilizada com e sem flúor a 37°C. O flúor com 1500 ppm foi escolhido por ter sido utilizado em estudos de implantes dentários e sua influência a desenvolver um potencial corrosivo maior do que somente a saliva artificial. O resultado desse teste foi a resistência a polarização (R_p), que mede a facilidade como o metal/liga se oxida durante a aplicação de um potencial externo. Entre os três fabricantes não houve diferenças estatísticas significantes entre os mini-implantes em relação ao potencial de circuito aberto, Resistência a polarização e Corrente de corrosão do dispositivo de ancoragem temporário. Somente os mini-implantes da marca Orthodontics tiveram um OCP significativamente mais nobre em comparação com os outros. A incorporação de flúor aumentou a corrente de corrosão de todos os mini-implantes¹⁶.

Já no estudo de SOUZA *et al.* (2015), foi realizado um estudo do comportamento eletroquímico do titânio comercialmente puro e do Ti6AL4V imersos em solução salivares contendo diferentes concentrações de flúor representativas para cavidade oral. Foram cortadas barras de titânio comercialmente puro e Ti6AL4V com 10mm de espessura e 25mm de diâmetro. As amostras foram moídas, limpas e armazenadas por 24 horas antes da realização das medições eletroquímicas. A saliva artificial de Fusayama foi usada como eletrólito solução neste estudo *in vitro*. Foi adicionado solução de flúor na saliva artificial para simular meio fluoretado diferente. As soluções foram agitadas por 24 horas antes de iniciar o teste eletroquímico e o pH foi medido. O volume da solução utilizada foi 30 ml. As amostras foram montadas na célula eletroquímica acrílica em contato com uma fiação elétrica. Os



testes eletroquímicos (n=5) foram realizados em potenciostato acoplado a um software usado para controle eletroquímico e análise de dados. Como as medidas de potencial de circuito aberto e sua evolução com o tempo de imersão revelam apenas uma tendência à corrosão, isso requer a análise de curvas potenciodinâmicas de polarização e espectros de impedância. Os testes foram realizados a 37°C em banho de água termostático, simulando a temperatura normal de uma cavidade oral. A topografia das amostras foi analisada por microscopia eletrônica de varredura. O titânio comercialmente puro e o Ti6AL4V representam alta resistência à corrosão após polarização potenciodinâmica. No entanto, uma diminuição significativa de resistência à corrosão de ambos ocorreu na saliva artificial contendo 227 e 12.300 ppm de flúor. A rugosidade aumentou em ambos os materiais como resultado do processo de corrosão. Conseqüentemente, uma alta quantidade de íons metálicos foi liberada de ambos os materiais para o ambiente circundante por imersão em soluções concentradas de fluoreto²⁰.

A instalação do mini-implante é relativamente simples e, devido ao seu tamanho reduzido, apresenta possibilidade de inserção em vários locais^{13, 21}. As dimensões reduzidas dos mini-implantes aumentam a possibilidade de fraturas durante a sua inserção ou remoção. O risco de fratura está intimamente relacionado ao diâmetro do mini-implante utilizado, uma vez que, geralmente ocorre em casos de mini-implantes de diâmetro muito fino ou cujo pescoço não seja resistente o suficiente para suportar a tensão no momento da sua remoção⁹. Para evitar tal incidente, deve-se utilizar peças cônicas de diâmetro apropriado para a qualidade do sítio ósseo escolhido. A fratura também pode ocorrer por falha do operador, em caso de aplicação de força excessiva na colocação de mini-implante do tipo auto-rosqueável ou autoperfurante¹².

Os DATs podem ser instalados tanto pelo ortodontista como o implantodontista, sendo que este deverá receber a orientação precisa para que não existam dúvidas quanto a posição eleita. Esta comunicação deverá ser por correspondência, com redação clara, contendo informação detalhada, por imagens digitais de radiografias apontando o local da instalação, sinalização em modelos de gesso ou ainda através do fornecimento de guias⁸. Além disso a avaliação radiográfica (filmes dentários periapicais e radiografias panorâmicas) é normalmente utilizada para visualização e planejamento pré-operatório de mini-implantes, minimizando a possibilidade de inserção dos mini-implantes em estruturas anatômicas adjacentes importantes²².

NOVA *et al.* (2008) realizaram um estudo com mini-implantes de fabricantes e dimensões diferentes para avaliar o torque de inserção e de remoção, assim como as características mecânicas da fratura sob torção. Foram utilizados 20 mini-implantes



comerciais autoperfurantes, sendo 10 da empresa SIN e 10 da empresa Neodent. Todos possuíam 1,6mm de diâmetro, os da SIN possuíam comprimento de 8mm e os da Neodent 7mm. Foram usados 5 mini-implantes sem perfil-transmucoso e 5 mini-implantes com perfil transmucoso. A amostra foi dividida em 4 grupos: SIN sem perfil; SIN com perfil; Neodent sem perfil; Neodent com perfil. Para avaliação clínica foram obtidas duas tíbias de boi, que após cortada obteve-se 20 fragmentos ósseos um para cada mini-implante, que foram mantidos em 4° C por 3 dias até a data dos ensaios. Foi realizada uma pré-perfuração com broca de diâmetro de 1,3mm específica para perfurar o osso sob irrigação. Após foi realizada a inserção dos mini-implantes no osso sob irrigação até que não visualizasse as roscas dos mini-implantes, e após foram feitas as remoções desses mini-implantes. Durante os ensaios de inserção e remoção o torque foi medido, durante o ensaio alguns mini-implantes sofreram fratura. Os que não sofreram fratura foram submetidos ao ensaio mecânico de fratura a torção, utilizando um dispositivo de mandris acoplado a máquina universal de ensaios mecânicos com célula de carga de 500N. A região de fratura dos mini-implantes foi avaliada através do (MEV), sendo fotografadas com aumento de 500x, com essas imagens pode-se determinar o tipo de fratura para cada grupo de mini-implante. Se utilizou o teste (ANOVA), para comparação entre os grupos e o nível de significância foi estabelecido em $p < 0,05$. A média dos torques de fratura dos mini-implantes foi de $35,1 \pm 4,9$ Ncm; $35,1 \pm 2,7$ Ncm; $27,4 \pm 1,1$ Ncm e $30,6 \pm 1,8$ Ncm, para os grupos SIN sem perfil (SSP), SIN com perfil (SCP), Neodent sem perfil (NSP), Neodent com perfil (NCP) respectivamente. Os grupos SSP e SCP apresentaram valores mais próximos entre si do que os grupos NSP e NCP. O grupo NCP apresentou o maior torque de inserção e também apresentou a menor resistência a fratura. Todos os grupos apresentaram fratura do tipo dúctil, em inspeção por microscopia eletrônica de varredura, demonstrando haver compatibilidade no material de confecção dos mini-implantes, apesar de serem de fabricantes diferentes⁹.

Cinco diferentes marcas (SIN, INP, Conexão, Neodent e Mondeal) foram estudadas com o objetivo de caracterizar os mini-implantes em relação a topografia, ensaios mecânicos de torque até a fratura e design das peças, apresentando dados que auxiliem na produção e qualidade dos mini-implantes, o que irá promover o maior aproveitamento dos mesmos na utilização como reforço na ancoragem ortodôntica. Foram analisados 30 mini-implantes (5 peças de cada grupo) utilizados como reforço na ancoragem ortodôntica. Para observação da topografia e design das peças foram usadas fotomicrografias com várias ampliações através do Microscópio eletrônico de varredura. Para os ensaios de torque, cada peça foi inserida em cortical de tíbia suína, até que ocorresse a fratura, para isso foi realizada a confecção do orifício guia com fresa cirúrgica de 1,0mm de diâmetro. Em seguida a chave manual própria



de cada sistema de mini-implantes foi fixada no cabeçote do torquímetro digital. Os valores de torque de inserção obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e teste de TuKey, bem como análise estatística descritiva. Após caracterização da topografia e design dos mini-implantes estudados, bem como no teste de torque, pode-se concluir que todos os mini-implantes testados estão aptos a utilização clínica como reforço de ancoragem ortodôntica¹².

PITHON *et al.* (2008) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar a deformação e fratura de mini-implantes ortodônticos. Foram utilizados 75 mini-implantes de cinco diferentes marcas comerciais (Mondeal, Neodent, INP, SIN e Titanium Fix), com n=15, para cada grupo. Previamente ao teste de fratura se avaliou a morfologia com microscópio eletrônico de varredura com aumento de 15x. Para realização de ensaios de flexão e fratura. Os corpos de prova foram mantidos em solução salina em geladeira a temperatura de 8° C. Decorrido os 7 dias, os corpos de prova foram removidos da geladeira e mantidos por 12 horas a temperatura ambiente para posterior inserção dos mini-implantes. Imediatamente após a inserção dos mini-implantes os corpos de prova foram avaliados através da máquina universal de ensaios mecânicos para realização dos testes. Para estabilização dos corpos de prova, confeccionou-se um dispositivo em forma de morsa, que manteve os corpos de prova estáveis durante a realização dos ensaios. O teste de resistência flexural foi realizado em uma máquina universal mecânica EMIC, operando em uma velocidade de 0,5mm/min, através de ponta ativa em cinzel. A força foi aplicada na cabeça dos implantes para reforçá-los em 0,5; 1,0; 1,5; 2,0mm e até a fratura dos mesmos. Os resultados demonstraram deformação em todos os mini-implantes avaliados. Os minis implantes do grupo SIN necessitaram de maior força para que ocorresse deformação. Os menores valores para deformação ocorreram nos grupos Mondeal e Neodent. Todos os mini-implantes testados mostraram-se aptos para utilização como recurso de ancoragem ortodôntica. O formato do mini-implante está diretamente relacionado com a resistência obtida por esse dispositivo, quando da aplicação de forças perpendiculares ao seu longo eixo¹⁰.

O objetivo deste estudo foi medir o torque de inserção e a resistência máxima ao torque de fratura de diferentes mini-implantes ortodônticos. Cinquenta mini-implantes autoperfurantes de cinco fabricantes diferentes (DEN, RMO, CON, NEO e SIN) foram divididos em 5 grupos. A morfologia da superfície foi analisada em microscópio eletrônico de varredura. Seis costelas de porco foram preparadas para inserção dos mini-implantes, realizou-se blocos ósseos que foram anexados a uma peça de metal, para padronização do tamanho e forma. Este pedaço de metal foi anexado ao medidor de torque digital conectado por um computador e pré configurado para evitar qualquer movimento durante o teste. Os testes foram realizados sem qualquer perfuração preliminar e os mini-implantes foram inseridos na porção central do



osso. O mesmo operador calibrado executou todo o ensaio. Os torques de inserção foram gravados continuamente e os valores máximos e mínimos de torque foram considerados. Cinco mini-implantes de cada grupo foram submetidos a teste de torção por fratura (na ponta e no pescoço). Para este teste um dispositivo com dois mandris foi acoplado a máquina de teste mecânico universal (EMIC) com células de carga de 500N. O osso utilizado para inserir os mini-implantes não influenciou os resultados e os valores de torque da fratura na região do pescoço foram superiores aos valores de torque obtidos na região da ponta em todos os grupos. Mini-implantes de diferentes marcas, design, morfologia e resistência de torque de fratura são determinados pelo diâmetro externo, diâmetro interno, razão entre diâmetro interno e externo e moagem na região apical²³.

DISCUSSÃO

Os mini-implantes ou (Dats), estão aumentando a sua popularidade entre os ortodontistas que costumam utilizar ao menos um dispositivo de ancoragem temporário nos seus tratamentos^{18, 24}. A ancoragem ortodôntica é definida como fator de resistência ao movimento dentário indesejado, e o controle da ancoragem é um fator chave para o sucesso do tratamento ortodôntico^{25, 26}.

Os mini-implantes têm múltiplas utilizações na ortodontia, como retração de dentes anteriores, correção de mordidas abertas, distalização e intrusão de dentes, erupção de dentes impactados, fechamento de espaço, distalização total do arco, correção de mordida profunda e verticalização de posteriores²⁷. O uso generalizado de mini-implantes leva a melhores resultados de tratamento em casos críticos de ancoragem. Em alguns casos, pode ser necessário alterar a posição do mini-implante. A possibilidade de reciclar os mini-implantes e utilizá-los numa segunda intervenção diminuiria os custos do tratamento, podendo melhorar o resultado clínico. Para tanto, os mini-implantes precisam de uma certa resistência à fratura ao torque durante a sua inserção e remoção²⁶.

Os mini-implantes são fabricados com elementos biocompatíveis, como ligas de titânio e aço inoxidável cirúrgico. O titânio tem demonstrado boas propriedades de resistência à corrosão, porém, quando comparado ao aço inoxidável, o titânio apresenta um custo mais elevado. Entretanto, o aço inoxidável também possui boas propriedades mecânicas tais como: rigidez, ductilidade e elasticidade, atendendo assim aos critérios mínimos para ser utilizado como um mini-implante eficaz²⁷.

A cavidade oral pode ser um ambiente potencialmente corrosivo e a resistência à corrosão das ligas ortodônticas depende do ambiente bucal em que elas se encontram. Sendo

influenciada por diversas variáveis, como quantidade e qualidade da saliva, pH de alimentos e bebidas, entre outros^{28,29}. Os aspectos topográficos do processo de corrosão diferiram entre titânio comercialmente puro e Ti6AL4V em saliva artificial contendo 12.300 ppm de flúor. O titânio comercialmente puro foi degradado por corrosão por pites enquanto o Ti6AL4V sofria corrosão geral mostrando microfissuras²⁰. Contudo, o estudo de MILANI., 2017 demonstrou que o aço inoxidável F-138 foi o que apresentou a maior resistência à corrosão, apresentando propriedades de corrosão melhorada¹⁸.

Tanto o titânio comercialmente puro (cp-Ti) quanto as ligas de titânio (como a Ti-6Al-4V) têm sido amplamente utilizados na fabricação de mini-implantes ortodônticos devido à sua alta resistência à corrosão e biocompatibilidade. No entanto, quando o Ti é submetido a ácidos, fluoretação e saliva, a proteção do filme de óxido pode ser perdida e um processo de corrosão é iniciado³⁰. O titânio comercialmente puro é usado para aumentar a resistência à fratura do mini-implante. Alumínio (Al) e vanádio (V) são incorporados ao titânio puro para produzir uma liga mais forte, chamada de liga Ti-6Al-4V^{16,28}.

A cabeça dos mini-implantes é a parte que fica exposta clinicamente e por sua vez, se torna mais susceptível à ação da saliva e do flúor no ambiente bucal. Com isso, pode sofrer um processo de corrosão com maior ou menor intensidade, sendo um fator que interfere clinicamente no sucesso da terapia ortodôntica. A corrosão de metais manifesta-se em diferentes tipos de meios, porém, o meio em que ela ocorre com maior frequência é o aquoso. Nesse meio, o mecanismo da corrosão é essencialmente eletroquímico. Uma reação é considerada *eletroquímica* se ela estiver associada a uma passagem de corrente elétrica através de uma distância finita, maior do que a distância Inter atômica. Esta passagem de corrente envolve o movimento de partículas carregadas: íons, elétrons ou ambos¹⁵.

O tamanho reduzido dos mini-implantes possibilita um aumento da fratura durante a inserção, e uma possível deformação ou fratura durante a sua remoção²³. Estudos em humanos e animais relataram taxas de fratura de aproximadamente 4% a 5%, porém existem poucos estudos clínicos e laboratoriais que avaliaram a frequência com que os mini-implantes fraturam nesse contexto clínico^{31,32}.

Outros estudos sugeriram o uso de mini-implantes de aço inoxidável, ao invés de ligas de titânio, pois o aço pode suportar um torque de inserção maior, o que significa que o mini-implante pode ter menos probabilidade de fraturar³³. A fratura de mini-implantes varia de acordo com o fabricante e o tipo de material que é fabricado, portanto, cabe o profissional analisar as características de cada material para saber qual utilizar clinicamente de forma segura durante a inserção¹¹. As diferenças nas propriedades mecânicas podem ser atribuídas ao *design* dos mini-implantes. Foi observado trincas e ranhuras na superfície, concluindo, que



essas irregularidades poderiam facilitar a fratura dos mini-implantes³⁴.

A fratura dos mini-implantes de Ti6Al4V é causada devido a tensão de torção causada por seu pequeno diâmetro e por sua composição, geralmente, esta liga possui boa resistência mecânica e ótima osseointegração³⁵. Pensando em reduzir o risco de fratura dos mini-implantes, tem-se optado por usar o aço inoxidável que são materiais mais resistentes à fratura em comparação com mini-implantes de titânio. Porém, uma desvantagem do aço inoxidável é possuir menor osseointegração³³.

CONCLUSÃO

De acordo com os achados da seguinte revisão de literatura, conseguimos concluir que os mini-implantes com ligas de aço inoxidável possuem maior resistência a fratura quando comparados com as ligas de Ti6Al4V, porém vale ressaltar que ambos resistem as forças aplicadas na ancoragem ortodôntica, podendo serem utilizados sem problemas clínicos.

Acredita-se que, com o avanço das pesquisas surgirão outros meios para que se possa avaliar todas as variáveis envolvidas, e partir disso, melhorar ainda mais a qualidade dessas ligas metálicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MATTOS, C. T.; RUELLAS, A. C. O.; ELIAS, C. N. Is it Possible to Re-use Mini-implants for Orthodontic Anchorage ? Results of an In Vitro Study. *Materials Research*, v. 13, n. 4, p. 521–525, 2010.
2. WIECHMANN, D.; MEYER, U.; BÜCHTER, A. Success rate of mini- and micro-implants used for orthodontic anchorage: A prospective clinical study. *Clinical Oral Implants Research*, v. 18, n. 2, p. 263–267, 2007.
3. CADOSCH, D.; CHAN, E.; GAUTSCHI, O. P.; FILGUEIRA, L. Review Metal is not inert : Role of metal ions released by biocorrosion in aseptic loosening — Current concepts. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, p. 1252-1262, 2009.
4. MARASSI, C.; LEAL, A.; HERDY, J. L.; CHIANELLI, O.; SOBREIRA, D. O uso de miniimplantes como auxiliares do tratamento ortodôntico. *OrtodontiaSPO*, v.38, n.03, p. 256–265, 2005.
5. JARDIM, F. L. Utilização de miniimplantes na ortodontia. *Revista Saúde e Pesquisa*, v. 2, n. 3, p. 417–426, 2009.
6. SANTOS, R. M.; DOS SANTOS, R. S. B. M.; AVENA, D. A. M. Ancoragem esquelética com mini-implantes. *Ciência em movimento*, v. 19, n. 39, p. 81-87, 2017.
7. BAHIA, M. S.; LOPES, A. L. S.; CAETANO, P. L.; VITRAL, R. W. F.; CAMPOS, M. J. S. Análise do processo de corrosão na falha clínica de mini-implantes ortodônticos. *Rev Odontol UNESP*,



v.47, n.6, p. 376-382, 2018.

8. ARAÚJO, T. M.; NASCIMENTO, M. H. A.; BEZERRA, F.; SOBRAL, M. C. Ancoragem esquelética em Ortodontia com miniimplantes. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*, v. 11, n. 4, p. 126–156, 2006.
9. NOVA, M. F. P.; CARVALHO, F. R.; ELIAS, C. N.; ARTESE, F. Avaliação do torque para inserção, remoção e fratura de diferentes mini-implantes ortodônticos. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*, v. 13, n. 5, p. 76–87, 2008.
10. PITHON, M. M.; NOJIMA, L. I.; NOJIMA, M. G.; RUELLAS, A. C. O. Avaliação da resistência à flexão e fratura de mini-implantes ortodônticos. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*, v. 13, n. 5, p. 128–133, 2008.
11. LOSS, T. F. A. *Torque de inserção, remoção e fratura de mini-implantes ortodônticos*. Mestrado em clínica odontológica ênfase em ortodontia, Universidade Feral Fluminense, Niterói, 2009.
12. SQUEFF, L. R.; SIMONSON, M. B. A.; ELIAS, C. N.; NOJIMA, L. I. Caracterização de mini-implantes utilizados na ancoragem ortodôntica. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*, v. 13, n. 5, p. 49–56, 2008.
13. MELSEN, B. Mini-implants, where are we? *J. Clin. Orthod*, v. 39, n. 9, p. 539- 547, 2005.
14. UMALKAR, S. S.; JADHAV, S. R. V. V.; PAUL, P.; RECHE, A.; JADHAV, V. V. Modern Anchorage Systems in Orthodontics. *Cureus*, v. 14, n. 11, p. 1-10, 2022.
15. WOLYNEC, S. *Técnicas eletroquímicas em corrosão*. São Paulo: EDUSP, 2002.
16. KNUTSON, K. J.; BERZINS, D. W. Corrosion of orthodontic temporary anchorage devices. *European Journal of Orthodontics*, p. 1–7, 2012.
17. GITTENS, R. A.; OLIVARES-NAVARRETE, R.; TANNENBAUM, R.; BOYAN, B. D.; SCHWARTZ, Z. Electrical implications of corrosion for osseointegration of titanium implants. *Journal of Dental Research*, v. 90, n. 12, p. 1389–1397, 2011.
18. MILANI, R. A. *Corrosão e ligas metálicas usadas em mini-implantes para ancoragem ortodôntica temporária: uma revisão integrativa da literatura*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Fernando Pessoa, Porto, 2017.
19. PICOLO, T. S.; TRENTIN, M. S.; KOCHENBORGER, R.; DA SILVA, L. E.; FERRAZ, M. B.; PATUSSI, E. G. Diferenciação oxidativa em dispositivos temporários de ancoragem de Ti6Al4V e aço 316L - estudo piloto. *Ortho science: Orthodontic science and practice*, v. 14, p. 80-84, 2021.
20. SOUZA, J. C. M.; BARBOSA, S. L.; ARIZA, E. A.; HENRIQUES, M.; TEUGHEL, W.; PONTIAUX, P.; CELIS, J. P.; ROCHA, L. A. How do titanium and Ti6Al4V corrode in fluoridated medium as found in the oral cavity? An in vitro study. *Materials Science & Engineering C*, v. 47, p. 384–393, 2015.
21. MOTOYOSHI, M.; HIRABAYASHI, M.; VEMURA, M.; SHIMIZU, N. Recommended placement torque when tightening an orthodontic mini-implant. *Clinical Oral Implants Research*, v. 17, n. 1, p. 109–114, 2006.
22. PIRES, M. S. M.; REINHARDT, L. C.; ANTONELLO, G. M.; COUTO, R. T. Use of Orthodontic Mini-Implants for Maxillomandibular Fixation in Mandibular Fracture. *Craniomaxillofacial Trauma & Reconstruction*, v. 4, n. 4, p. 213–216, 2011.



23. ASSAD-LOSS, T. F.; KITAHARA-CÉIA, F. M. F.; SILVEIRA, G. S.; ELIAS, C. N.; MUCHA, J. N. Fracture strength of orthodontic mini-implants. *Dental Press J. Orthod*, v. 22, n. 3, p. 47–54, 2017.
24. BUSCHANG, P. H., CARRILLO, R., OZENBAUGH, B. Survey of AAO Members on Miniscrew Usage. *Journal Clinical Orthodontics*, v.42, n. 9, p. 513-518, 2008.
25. TSUI, W. K.; CHUA, H. D. P.; CHEUNG, L. K. Bone anchor systems for orthodontic application: A systematic review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, v. 41, n. 11, p. 1427–1438, 2012.
26. HERGEL, C. A.; ACAR, Y. B.; ATES, M.; KUÇUKKELES, N. In-vitro evaluation of the effects of insertion and sterilization procedures on the mechanical and surface characteristics of mini screws. *European Oral Research*, v. 53, n. 1, p. 25–31, 2019.
27. GARG, H.; AHLUWALIA, R.; GREWAL, S. B.; PANDEY, S. K.; MAHESH, A.; SAINI, N. Stainless steel vs. titanium miniscrew implants: Evaluation of stability during retraction of maxillary and mandibular anterior teeth. *Journal of Orthodontic Science*, v. 11, n. 1, p. 49, 2022.
28. ALVES, C. B. C; SEGURADO, M. N.; DORTA, M. C. L.; DIAS, F. R.; LENZA, M. G.; LANZA, M. A. Evaluation of cytotoxicity and corrosion resistance of orthodontic mini-implants. *Dental Press Journal of Orthodontics*, v. 21, n. 5, p. 39-46, 2016.
29. GALEOTTI, A.; UOMO, R.; SPAGNUOLO, G.; PADUANO, S.; CIMINO, R.; VALLETTA, R.; D'ANTÒ, V. Effect of pH on in vitro biocompatibility of orthodontic miniscrew implants. *Progress in Orthodontics*, v. 14, n. 15, p. 1-7, 2013.
30. BARÃO, V. A. R.; MATHEW, M. T.; ASSUNÇÃO, W. G.; YUAN, J. C. C.; WIMMER, M. A.; SUKOTJO, C. Stability of cp-Ti and Ti-6Al-4V alloy for dental implants as a function of saliva pH - an electrochemical study. *Clinical Oral Implants Research*, v. 23, n. 9, p. 1055-1062, 2012.
31. SCHÄTZLE, M.; MÄNNCHEN, R.; ZWAHLEN, M.; LANG, N. P. Survival and failure rates of orthodontic temporary anchorage devices: A systematic review. *Clinical Oral Implants Research*, v. 20, n. 12, p. 1351–1359, 2009.
32. SMITH, A.; HOSEIN, Y. K.; DUNNING, C. E.; TASSI, A. Fracture resistance of commonly used self-drilling orthodontic mini-implants. *Angle Orthodontist*, v. 85, n. 1, p. 26–32, 2015.
33. WILMES, B.; PANAYOTIDIS, A.; DRESCHER, D. Fracture resistance of orthodontic mini-implants: A biomechanical in vitro study. *European Journal of Orthodontics*, v. 33, n. 4, p. 396–401, 2011.
34. BURMANN, P. F. P.; TOMÉ, S. B.; TONETTO, A.; HEIZEMANN, G.; MEIRELLES, P.; BRUGGEMANN, R.; RUSCHEL, G. H. Characterization of Orthodontic Mini-implants in scanning electron microscopic. *Saúde Integrada - Biomedicina*, p. 83–93, 2013.
35. BURMANN, P. F. P.; RUSCHEL, H. C.; VARGAS, I. A.; VERNEY, J. C. K.; KRAMER, P. F. Titanium alloy orthodontic mini-implants: scanning electron microscopic and metallographic analyses. *Acta odontologica latinoamericana : AOL*, v. 28, n. 1, p. 42–47, 2015.



**INFLUÊNCIA DA CORROSÃO NA RESISTÊNCIA À FRATURA DE MINI-IMPLANTES
ORTODÔNTICOS DE TITÂNIO E AÇO INOXIDÁVEL: UMA REVISÃO DA LITERATURA**
Dallepiane et al.