

**AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DOS MINI-
IMPLANTES DE LIGA DE TITÂNIO ANTES E
APÓS A SUA INSERÇÃO:
uma revisão sistemática**

FLÁVIA REGINA LOPES DA SILVA

Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Ortodontia

Gandra, 17 de Janeiro de 2021



FLÁVIA REGINA LOPES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DOS MINI-
IMPLANTES DE LIGA DE TITÂNIO ANTES E
APÓS A SUA INSERÇÃO:
uma revisão sistemática**

Dissertação do 2º Ciclo de Estudos Conducente ao grau de Mestre em Ortodontia

Trabalho realizado sob a Orientação de:

Orientadora: Prof.ª Doutora Primavera Sousa Santos

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Flávia Regina Lopes da Silva estudante do Mestrado em Ortodontia do Instituto Universitário de Ciências da Saúde, declaro ter atuado com absoluta integridade na elaboração desta Dissertação.

Confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri a qualquer forma de falsificação de resultados ou à prática de plágio (ato pelo qual um indivíduo, mesmo por omissão, assume a autoria do trabalho intelectual pertencente a outrem, na sua totalidade ou em partes dele).

Mais declaro que todas as frases que retirei de trabalhos anteriores pertencentes a outros autores foram referenciadas ou redigidas com novas palavras, tendo neste caso colocado a citação da fonte bibliográfica.

Avaliação da superfície dos mini-implantes de liga de titânio antes e após a sua inserção:
uma revisão sistemática

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Professora Doutora Primavera Sousa Santos, pela qual tenho grande consideração, pela sua atenção, disponibilidade, incentivo, profissionalismo essenciais na realização deste trabalho.

Aos Professores do Mestrado, pelo seu grande empenho e entusiasmo, tornando a Ortodontia especial e cativante e que necessita de muito estudo para se conseguir exercer de forma eficaz.

Às minhas colegas de mestrado, em especial Inês e Filipa, por todo o apoio que demos e pelo espírito de equipa que sempre mantivemos.

Aos meus pais por todo o esforço que fizeram para a concretização deste curso, por todo o empenho e dedicação que sempre me deram, e pela confiança que depositaram em mim. São para mim exemplos de vida a seguir. Obrigada por todo o amor e orgulho que vocês têm em mim.

À minha irmã que é para mim também um exemplo de pessoa, tanto a nível pessoal como profissional. Obrigada por todos os conselhos e “raspanetes” que me foste dando ao longo da vida. És o meu porto seguro.

Ao Francisco pela sua capacidade de me tentar sempre compreender, por me motivar para fazer sempre mais e por todo o amor e carinho.

Obrigada!

Avaliação da superfície dos mini-implantes de liga de titânio antes e após a sua inserção:
uma revisão sistemática

RESUMO

Introdução: A ancoragem necessária na prática ortodôntica pode ser fornecida através do uso de mini-implantes. O processo de fabrico pode levar a alterações na superfície dos mini-implantes em forma de riscos e arranhões, estes locais são pontos de eleição para ataques eletroquímicos sofrendo corrosão quando inseridos na cavidade oral.

Objetivo: Analisar a alteração da superfície dos mini-implantes de liga de titânio antes e após a sua inserção, em osso suíno, artificial e na cavidade oral, com diferentes angulações.

Material e métodos: Realizou-se uma pesquisa bibliográfica na base de dados Medline/PubMed e Scielo. Foram usadas as seguintes palavras-chave em conjugação ou simples para a pesquisa: “orthodontic mini-implants” AND “surface analysis”; “surface characteristics” AND “miniscrew”; “surface analysis” AND “retrieved miniscrew”, tendo selecionado 14 artigos científicos dos 90 encontrados sobre este tema.

Resultados: Existem alterações na superfície dos mini-implantes novos, e após a sua inserção, em osso artificial/animal a deformação da superfície aumenta. Quando os mini-implantes são recuperados da cavidade oral é possível detetar alterações na superfície por corrosão. Verifica-se que na literatura encontrada a esterilização em autoclave não provoca alterações na superfície dos mini-implantes.

Conclusões: A superfície dos mini-implantes apresenta sempre algumas deformações, mesmo quando estes são novos, e verifica-se uma maior degradação química e deformação mais acentuada na ponta ativa do mini-implante após o seu uso clínico. Deste modo, a reutilização de mini-implantes não é um procedimento recomendado. Existem poucos estudos sobre a angulação de inserção dos mini-implantes na cavidade oral e análise da sua superfície, portanto, devem ser realizados mais investigações sobre este assunto.

Palavras-chave: “orthodontic mini-implants or miniscrews” AND “surface analysis or surface characteristics”,

Avaliação da superfície dos mini-implantes de liga de titânio antes e após a sua inserção:
uma revisão sistemática

ABSTRACT

Introduction: The anchorage required in orthodontic practice can be provided through the use of mini-implants. The manufacturing process can lead to changes in the surface of mini-implants in the form of scratches and scrapes, these locations are points of choice for electrochemical attacks that suffer corrosion when inserted into the oral cavity.

Objective: To analyze the alteration of the surface of titanium alloy mini-implants before and after their insertion, in porcine, artificial bone and in the oral cavity, with different angulations.

Material and methods: A bibliographic search was performed in the Medline/PubMed and Scielo database. The following keywords were used in conjunction or simple for the research: “orthodontic mini-implants” AND “surface analysis”; “Surface characteristics” AND “miniscrew”; “Surface analysis” AND “retrieved miniscrew”, having selected 14 scientific articles from the 90 found on this topic.

Results: There are changes in the surface of the mini-implants, these being new, and after their insertion in artificial / animal bone the deformation of the surface increases. When mini-implants are recovered from the oral cavity, it is possible to detect changes in the surface due to corrosion. It appears that in the literature found sterilization in an autoclave does not cause changes in the surface of the mini-implants.

Conclusions: The surface of mini-implants always shows some deformations, even when they are new, and there is a greater chemical degradation and more pronounced deformation in the active tip of the mini-implant after its clinical use. Therefore, the reuse of mini-implants is not a recommended procedure. There are few studies on the angle of insertion of mini-implants in the oral cavity and analysis of its surface, therefore, further research on this subject should be performed.

Keywords: “orthodontic mini-implants or miniscrews or retrieved miniscrew” AND “surface analysis or surface characteristics”,

Avaliação da superfície dos mini-implantes de liga de titânio antes e após a sua inserção:
uma revisão sistemática

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	4
2.1 CRITÉRIOS DE ELIGIBILIDADE.....	4
2.2 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO	4
2.3 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO.....	4
2.4 FONTES DE INFORMAÇÃO	5
3. RESULTADOS	6
3.1 SELEÇÃO DOS ESTUDOS	6
3.2 PROCESSO DE COLETA DE DADOS	7
3.3 ITENS DE DADOS E COLETA	7
4. DISCUSSÃO.....	14
4.1 ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DOS MINI-IMPLANTES DE LIGA DE TITÂNIO APÓS O PROCESSO DE FABRICO	14
4.2 ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DO MINI-IMPLANTE DE LIGA DE TITÂNIO APÓS USO EM OSSO ARTIFICIAL/ANIMAL	15
4.3 ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DO MINI-IMPLANTE DE LIGA DE TITÂNIO APÓS USO CLÍNICO.....	16
4.4 ANÁLISE DOS MINI-IMPLANTES APÓS ESTERILIZAÇÃO	18
4.5 LIBERTAÇÃO DE IÕES PELOS MINI-IMPLANTES DE LIGA DE TITÂNIO	18
5. LIMITAÇÕES.....	20
6. CONCLUSÃO	21
Bibliografia	22

Avaliação da superfície dos mini-implantes de liga de titânio antes e após a sua inserção:
uma revisão sistemática

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma da estratégia de pesquisa utilizada neste estudo	6
---	---

Avaliação da superfície dos mini-implantes de liga de titânio antes e após a sua inserção:
uma revisão sistemática

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Estratégia PICOS.....	4
Tabela 2: Estratégia de pesquisa.....	5
Tabela 3: Resultados relevantes dos artigos selecionados para o estudo.....	8

Avaliação da superfície dos mini-implantes de liga de titânio antes e após a sua inserção:
uma revisão sistemática

LISTA DE ABREVIATURAS

TAD's – Dispositivo de ancoragem temporária

CpTi – Titânio comercialmente puro

Ti-6Al-4V – Liga de titânio – 90% titânio 6% alumínio 4% vanádio

TiO₂ – Dióxido de titânio

Ti₂O₃ – Trióxido de titânio

Al₂O₃ – Oxido de alumínio

MI – Mini-implante

SEM – Microscopia eletrónica de varredura

EDS – Energia dispersiva por rx

1. INTRODUÇÃO

Todos os tratamentos ortodônticos requerem um plano de tratamento cuidadoso e individualizado, com especial atenção na seleção do dispositivo de ancoragem.¹

A ancoragem é definida como a resistência ao movimento dentário indesejado e o controle da ancoragem é o fator chave no sucesso do tratamento ortodôntico.²

Como dispositivo de ancoragem temporária (TAD's) simples e eficaz foram desenvolvidos os mini-implantes. Estes são constituídos por: cabeça, perfil transmucoso, corpo e ponta. Podem ter forma cônica ou cilíndrica com diferentes comprimentos/diâmetros, podem ser do tipo auto-perfurantes ou auto-rosqueantes e relativamente ao material de fabrico podem ser de liga de titânio ou aço.^{1,2,3}

Um dos fatores de sucesso dos mini-implantes prende-se com a liga que é utilizada. O titânio comercialmente puro (CpTi) é o biomaterial mais utilizado na implantologia, devido às suas excelentes características. O CpTi é mais biocompatível, menos tóxico e mais resistente que a liga de titânio. No entanto, as suas propriedades mecânicas são inadequadas para aplicações ortodônticas, que requerem carga imediata num dispositivo com pequenas dimensões.⁴

A liga de titânio Ti-6Al-4V (90% Ti – titânio, 6% Al – alumínio, 4%V – vanádio) foi então introduzida para superar a desvantagem do titânio puro onde ocorre uma maior taxa de fratura do mini-implante. A variação do titânio puro para a liga é que esta, contem uma maior quantidade de alumínio e vanádio, aumentando a resistência mecânica da liga, no entanto diminui a resistência à corrosão.⁵ A liga Ti-6Al-4V tem na sua superfície uma camada de óxido contendo uma variedade de óxidos (TiO, Ti₂O₃ e TiO₂, Al₂O₃) grupos hidroxila e água. A corrosão ocorre porque há uma desestabilização da superfície do mini-implante.⁴

Para além da liga melhorar as propriedades mecânicas, a estrutura externa do mini-implante, o diâmetro, o comprimento e a angulação de inserção também melhoram essas propriedades.⁶

Os defeitos de processamento e polimento da superfície do mini-implante durante o processo de fabrico são vistos na forma de linhas/riscos e arranhões. Esses pequenos defeitos podem ser um ponto de partida para o ataque eletroquímico quando são inseridos na cavidade oral.^{7,8}

A liga de titânio permanece muito sensível ao desgaste, o que pode causar a rutura da camada de óxido de titânio na superfície. Este desgaste pode ocorrer por atrito com os tecidos circundantes, micro-movimentos e contato osso-metal. Também, as superfícies dos mini-implantes estão sujeitas à corrosão, resultante do contato com eletrólitos presentes nos fluidos biológicos, e essa corrosão acelera se o mini-implante estiver submetido a uma força ortodôntica. A corrosão altera não só a natureza da superfície, mas também a resistência e outras propriedades do material.⁹

Segundo Patil et al., (2015)⁸, quando um mini-implante sofre stress e é inserido no osso pode levar à corrosão ou ao rompimento da liga criando fissuras, estas podem propagar-se com o aumento da acidez da cavidade oral e com o tempo de tratamento.

A análise da topografia dos mini-implantes é essencialmente importante para verificar tais alterações, pois quando eles são inseridos na cavidade oral estão sujeitos a corrosão eletroquímica, que provavelmente causa biodegradação gradual da superfície do mini-implante.^{10,11}

Relativamente à colocação do mini-implante o ângulo de inserção é também um fator chave para o seu sucesso, no entanto, há situações clínicas, em que nem sempre este pode ser inserido perpendicularmente à superfície óssea.¹² Os mini-implantes deveriam ser inseridos com uma angulação de 30º a 40º em relação ao longo eixo do dente, a fim de permitir a inserção de um dispositivo mais longo na profundidade óssea disponível.

Também se advoga que um ângulo de inserção de 60º a 70º com a superfície óssea é aconselhável para obter melhor contato osso-mini-implante e estabilidade primária. Uma direção de inserção mais oblíqua parece ser favorável para minimizar o risco de contato com raízes. Como a maioria dos testes *in vitro* inseriu mini-implantes perpendiculares à superfície óssea artificial, é necessário investigar os efeitos da inserção angular nas propriedades mecânicas dos mini-implantes.¹²

No entanto, apesar do protocolo de inserção dos mini-implantes ser relativamente simples, por vezes é necessário removê-lo e voltar a inseri-lo imediatamente devido a limitações anatómicas como proximidade de raízes, vasos sanguíneos, nervos, falta de estabilidade primária, ou dor. Sendo assim, é necessário então verificar se esta inserção/desinserção repetida provoca alterações na superfície do mini-implante.¹³

Deste modo, o objetivo deste trabalho prende-se em perceber se há alterações da superfície dos mini-implantes de liga de titânio antes e após a sua inserção/desinserção, se a superfície pode sofrer alterações mediante a angulação a que é colocado e se a esterilização em autoclave altera as suas características.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CRITÉRIOS DE ELIGIBILIDADE

Os estudos incluídos na presente revisão sistemática integrativa, foram selecionados de acordo com os seguintes critérios, seguindo a estratégia PICOS (PICOS Strategy) (Tabela 1):

Tabela 1: Estratégia PICOS

População (Population)	Mini-implantes de liga de titânio
Intervenção (Intervention)	Avaliação da superfície dos mini-implantes
Comparação (Comparison)	Comparação da superfície antes e após inserção e também após a esterilização
Resultados (Outcomes)	Alterações detetáveis na superfície dos mini-implantes
Desenho dos estudos (Study design)	Artigos originais, estudos <i>in-vitro</i> , estudos <i>in-vivo</i> , estudos observacio-nais.

2.2 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO

- Artigos publicados entre 2009 e 2020
- Artigos de língua inglesa
- Artigos cujo o estudo se refira à avaliação da superfície dos mini-implantes
- Estudos realizados em humanos, animais ou in-vitro

2.3 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

- Artigos que não se enquadram no tema abordado neste estudo
- Artigos cuja leitura na integra não forneceu informações relevantes

- Artigos de revisões sistemáticas ou meta-análises
- Artigos de outras línguas que não inglesa

2.4 FONTES DE INFORMAÇÃO

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica na base de dados eletrônica *Medline/PubMed* (via *National Library of Medicine*) e Scielo, com os seguintes termos: “orthodontic mini-implants” AND “surface analysis”; “surface characteristics” AND “miniscrew”; “surface analysis” AND “retrieved miniscrew”.

Utilizando a pesquisa avançada fizeram-se as seguintes combinações de palavras-chave (Tabela 2):

Tabela 2: Estratégia de pesquisa

Base de dados	Palavras-chave	Artigos encontrados	Artigos selecionados
PubMed/Scielo	<i>(orthodontic mini-implants) AND (surface analysis)</i>	59	6
	<i>(miniscrew) AND (surface characteristics)</i>	14	2
	<i>(retrieved miniscrew) AND (surface analysis)</i>	9	6

3. RESULTADOS

3.1 SELEÇÃO DOS ESTUDOS

Segundo as bases de dados consultadas e de acordo com a estratégia de pesquisa, foram encontrados 90 artigos. Os artigos duplicados foram excluídos ficando 81 artigos. Após ler o título e o abstract, 59 foram excluídos pois não correspondiam aos critérios de inclusão. Foram também excluídos 8 artigos após a leitura na integra pois não forneciam dados relevantes para o estudo. Os restantes 14 artigos foram incluídos nesta revisão sistemática integrativa, que se encontram no fluxograma seguinte, figura 1.

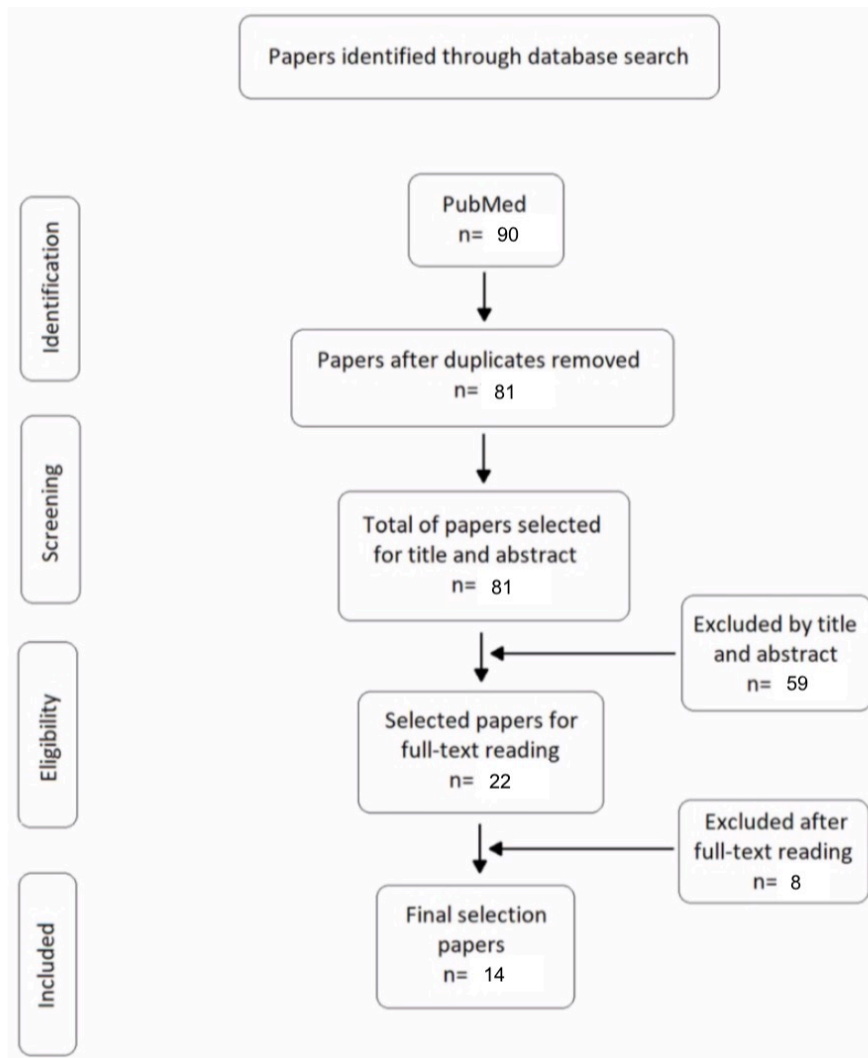


Figura 1: Fluxograma da estratégia de pesquisa utilizada neste estudo

3.2 PROCESSO DE COLETA DE DADOS

Os estudos selecionados, relacionam-se com: a alteração da superfície dos mini-implantes de liga de titânio associada ao processo de fabrico, ao uso clínico, ao contacto com fluidos da cavidade oral e a esterilização.

3.3 ITENS DE DADOS E COLETA

As seguintes informações foram retiradas a partir dos artigos selecionados: autor/ano de publicação, número de mini-implantes, estado do mini-implantes (novo, recuperado e esterilizados), local de inserção do mini-implante, angulação de inserção e alterações da superfície (Tabela 3).

Avaliação da superfície dos mini-implantes de liga de titânio antes e após a sua inserção:
uma revisão sistemática

Tabela 3: Resultados relevantes dos artigos selecionados para o estudo

Autor/Ano publicação	Amostra	Estado do mini-implante	Local de inserção	Angulação inserção	Alterações da superfície
Hergel 2019 ²	140 MI (70 Dual-Top e 70 Ortho Easy)	G1: 10 novos (controlo) G2: 30 recuperados e esterilizados G3: 30 recuperados e esterilizados (2x)	Osso artificial (Sawbone)	90º	SEM - desgaste notável dos mini-implantes utilizados sendo maior no grupo 3.
Chatzigianni 2011 ¹⁴	5 MI (2 Aarhus e 3 LOMAS)	Recuperados	Osso bovino (costela)	90º e 45º	MicroCT Scanner - Não houve diferença estatisticamente significativa na superfície do mini-implante e o ângulo de inserção também não influenciou a estabilidade.
Cho 2013 ¹⁵	100 MI	10 grupos (n=10)	Osso artificial	0º; 8º; 13º; 18º e 23º	Não ocorreu deformação da superfície nem fratura dos mini-implantes com a angulação de 0º, 8º e 13º. A 18º e 23º..
Gross 2016 ¹⁶	18 MI (9 Neodent e 9 AbsoAnchor)	G1: 12 recuperados (4x) G2: 3 (T0: novos; T1:2 ciclos; T2: 4 ciclos inserção e esterilização) G3: 3 (T0: novos; T1:2 inserções; T2: 4 inserções) G4: 3 (T0 novos; T1: 2 ciclos autoclave; T2: 4 ciclos autoclave)	Osso artificial	---	SEM - Neodente demonstrou, inicialmente antes de qualquer inserção, uma superfície regular com algumas imperfeições na ponta ativa deem cinco MI. Após a 2ª e 4ª reinserções, nenhuma deformação visível foi observada em comparação com as fotomicrografias iniciais. Em relação aos AbsoAnchor, nenhuma deformação aparente foi notada inicialmente. Porém, após a 2ª reinserção os 9 MI apresentaram deformações em forma de arranhões.

SEM: Microscopia eletrónica de varredura; EDS: Energia dispersiva por raio-x

Avaliação da superfície dos mini-implantes de liga de titânio antes e após a sua inserção:
uma revisão sistemática

Autor/Ano publicação	Amostra	Estado do mini-implante	Local de inserção	Angulação inserção	Alterações da superfície
Burmann 2015 ¹⁰	5 MI (Neodent; SIN; Morelli; Conexão; Forestadent)	5 novos	Recebido do fabricante – não inseridos em osso	---	SEM - Os mini-implantes exibiram diferenças significativas entre as marcas na cabeça, perfil transmucoso, corpo e design da ponta. Verificaram que todos podem conter irregularidades na superfície resultantes do processo de fabrico, defeitos de polimento, depósito de cristais e áreas de detritos. A maior quantidade de irregularidades e detritos superficiais foi encontrada na ponta ativa dos mini-implantes Neodent, SIN e Morelli. O melhor acabamento da superfície foi encontrado nos mini-implantes Neodent e Forestadent.
Patil 2015 ⁸	28 MI	5 MI novos (controlo)	Osso artificial	45º	SEM - Opacidade mínima na ponta ativa do mini-implante e pequenas linhas foram evidentes.
		18 MI recuperados com sucesso 5 MI recuperados com falha	Cavidade oral	---	SEM - Todos apresentaram opacidade na superfície e apresentavam sinais de corrosão e pequenas crateras sendo mais visíveis no corpo e ponta do mini-implante. Em 4 dos mini-implantes recuperados verificaram-se fraturas das espiras. EDS - deposição de elementos adicionais: o cálcio teve maior percentagem no corpo do mini-implante, o ferro foi observado em maior proporção nos recuperados com falha em comparação com os mini-implantes recuperados com sucesso.
Vlasa 2017 ¹⁷	10 MI	Recuperados	Cavidade oral	---	SEM - Os mini-implantes não apresentavam defeitos como bolhas, imperfeições ou fissuras na microestrutura interna. Não foram observadas marcas significativas resultantes do processo de fabrico. Irregularidades superficiais no corpo e deformação da ponta ativa foi significativamente evidente (80%) dos mini-implantes recuperados. EDS - Detritos depositados como carbono, cálcio e fósforo foram observados.

Avaliação da superfície dos mini-implantes de liga de titânio antes e após a sua inserção:
uma revisão sistemática

Autor/Ano publicação	Amostra	Estado do mini-implante	Local de inserção	Angulação de inserção	Alterações da superfície
Iijima 2015 ¹⁸	10 MI	10 novos (controlo) e os mesmos 10 recuperados	Cavidade oral	---	SEM - Todos os mini-implantes recuperados apresentavam sinais de detritos e contaminações na superfície, não foram observadas fraturas. EDS - Detetaram que para além de titânio, alumínio, vanádio e pequenas quantidades de cálcio e fosforo foram evidentes nos mini-implantes recuperados. A principal diferença entre os mini-implantes novos e recuperados era uma camada orgânica mais espessa contendo carbono, oxigênio e nitrogênio, com espessura maior que 50 nm, sobre a superfície dos mini-implantes recuperados.
Chung 2014 ¹³	92 mini-implantes	8 novos (controlo)	Recebido do fabricante – não inseridos em osso	---	SEM - tinham uma superfície lisa com uma ponta pontiaguda
		84 recuperados e esterilizados	Cavidade oral	---	SEM - os mini-implantes recuperados, a superfície estava degradada e, em alguns casos, apresentavam resíduos orgânicos. Relativamente à ponta do mini-implante encontraram-se variações, uns tinham a ponta semelhante ao grupo controlo, outros ficaram menos pontiagudos e alguns ficaram completamente deformados. EDS - analisou-se os elementos presentes na superfície do mini-implante de controlo, titânio, oxigênio e alumínio foram os únicos elementos detetados. Nos mini-implantes recuperados, elementos estranhos como carbono, cálcio e fósforo foram também detetados.

Avaliação da superfície dos mini-implantes de liga de titânio antes e após a sua inserção:
uma revisão sistemática

Autor/Ano publicação	Amostra	Estado do mini-implante	Local de inserção	Angulação de inserção	Alterações da superfície
Eliades 2009 ¹⁹	11 MI (Aarhus)	Recuperados	Cavidade oral	.---	SEM - alteração morfológica da superfície dos mini-implantes como fendas, poros e crateras. EDS - verificou-se que os materiais precipitados nas superfícies foram sódio, potássio, cloro, ferro, cálcio e fosforo a partir do contacto do implante com fluidos biológicos como sangue e exsudados, formando cloreto de sódio, cloreto de potássio e precipitados de cálcio-fosforo.
Marigo 2016 ¹	22 MI (11 Forestadente e 11 Morelli)	2 MI novo (controlo)	Recebido do fabricante – não inseridos em osso	---	SEM - Forestadent possuíam espiras com mais falhas devido ao processo de fabrico e a terminação da espira é mais nítida e fina. Os mini-implantes Morelli possuíam uma superfície lisa, bom acabamento, e espiras arredondadas com maior diâmetro externo.
		20 MI (recuperados)	Cavidade oral	---	SEM - variações na cor, brilho e polimento da superfície. Todos os mini-implantes tinham uma superfície opaca. Essas alterações foram observadas tanto na cabeça, que é exposta ao ambiente oral, como na ponta ativa, que está em contato com o osso. Esse resultado mostra que a espessura da camada de óxido do mini-implante de liga de titânio está sujeita a alterações. Nos mini-implantes Morelli, observou-se que 20% mantinham as espiras intactas e 80% apresentavam alguma deformação plástica em comparação com o estado original, estas deformações estavam localizadas no terço médio.

Avaliação da superfície dos mini-implantes de liga de titânio antes e após a sua inserção:
uma revisão sistemática

Autor/Ano publicação	Amostra	Estado do mini-implante	Local de inserção	Angulação de inserção	Alterações da superfície
Sebbar 2012 ⁹	4MI (AbsoAnchor - Dentos; Infiniti - DB Orthodontics; Dual Top - Jeil Medical; IMTEC - Ardmore) 10 MI (Dual Top)	4 novos (controlo)	Recebido do fabricante – não inseridos em osso	---	Apesar de uma aparência lisa a olho nu apresentaram acabamento superficial irregular com defeitos de fabrico e polimento, que podem constituir pontos de ataque eletroquímico.
		10 recuperados	Cavidade oral	---	Foram analisados através do microscópio óptico verificando uma notável variabilidade nas características da superfície. Observaram a presença de crateras e fendas associadas à corrosão, estas localizaram-se em toda a extensão do mini-implante.
Sebbar 2011 ¹¹	28 MI (Dual Top Anchor System)	1 novo (controlo)	Recebido do fabricante – não inseridos em osso	---	O mini-implante de controlo apesar de uma aparência suave a olho nu apresentava defeitos de fabrico e polimento na superfície na forma de riscos.
		27 recuperados	Cavidade oral	---	Os mini-implantes foram analisados ao microscópio óptico para avaliar a superfície. As observações foram feitas três lentes de aumento (5x, 10x, 20x). A ampliação da imagem (10x, 20x) permitiu visualizar melhor a superfície e identificar várias alterações que afetam a superfície do mini-implante tais como, sinais de corrosão na forma de fendas e ranhuras, principalmente no local onde existiam defeitos de fabrico, todos eles apresentaram superfície opaca.

Avaliação da superfície dos mini-implantes de liga de titânio antes e após a sua inserção:
uma revisão sistemática

Autor/Ano publicação	Amostra	Estado do mini-implante	Local de inserção	Angulação de inserção	Alterações da superfície
Mattos 2010 ²⁰	70 MI	20 novos (G1: n=10)	Recebido do fabricante – não inseridos em osso	---	SEM - nenhum defeito ou corrosão foi observado
		20 Esterilizados (G2: n=10)	Autoclave	---	SEM - nenhum defeito ou corrosão foram detetados.
		30 recuperados (G3: n=10)	Cavidade oral	---	SEM - superfície desgastada ponta menos afiada e arranhões foram observados

4. DISCUSSÃO

A ancoragem com mini-implantes foi desenvolvida na Ortodontia com base nos implantes dentários convencionais, no entanto, estes apresentavam um grande tamanho, uma maior área óssea necessária para a sua colocação, dor e alto custo. Assim sendo, os mini-implantes foram desenvolvidos para superar estas limitações.⁴

O CpTi usado nos implantes dentários, foi a primeira escolha de material para os mini-implantes, como este material não favorecia a resistência mecânica foi substituído pela liga de titânio Ti-6Al-4V,⁴ fabricada com uma fusão das fases Alfa e Beta. A fase Alfa apresenta resiliência e tenacidade mecânicas, mas baixa ductilidade. A fase Beta apresenta boa conformidade e resistência à fadiga em temperaturas altas e baixas, mas é altamente vulnerável à contaminação atmosférica. Devido às vantagens destas duas fases, a liga de titânio é composta por ambas. A fase alfa é representada por 6% de alumínio e a fase beta é representada por 4% de vanádio.⁶

A composição dos mini-implantes é um aspeto importante a ser analisado, pois pode apresentar alterações na superfície logo após o processo de fabrico, após experimentos em osso animal/artificial e depois de recuperados da cavidade oral.

4.1 ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DOS MINI-IMPLANTES DE LIGA DE TITÂNIO APÓS O PROCESSO DE FABRICO

A microestrutura interna dos mini-implantes é um aspeto importante a ser considerado, e a presença de bolhas, imperfeições e fissuras podem danificar a superfície dos mini-implantes.⁶

A liga de titânio deve estar livre de irregularidades externas e imperfeições internas para evitar interferência na resistência à fratura, retenção mecânica, resistência ao deslocamento e estabilidade primária.¹⁰

O processo de fabrico pode causar, na microestrutura do mini-implante, irregularidades como poros, fendas e detritos. Estes defeitos podem ser um ponto de partida para os processos de degradação eletroquímica que podem alterar o acabamento superficial do mini-implante, a estabilidade e as propriedades mecânicas.¹⁰ Estas irregularidades seriam candidatas a nova observação após o uso no ambiente biológico.⁹

Sebbar et al., (2012),⁹ verificaram que, em mini-implantes novos após o processo de fabrico e polimento, uma alteração irregular da superfície caracterizada na forma de ranhuras e riscos seriam pontos de eleição para ataques eletroquímicos.

No entanto, para Burmann et al., (2015),¹⁰ a análise por SEM mostrou irregularidades superficiais e detritos, principalmente na ponta do mini-implante. A análise metalográfica não demonstrou defeitos na microestrutura. Nos estudos de Cotrim-Ferreira et al., (2010)⁶ e Eliades et al., (2009)¹⁹ este facto é também corroborado.

4.2 ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DO MINI-IMPLANTE DE LIGA DE TITÂNIO APÓS USO EM OSSO ARTIFICIAL/ANIMAL

Quando esta inserção/desinserção ocorre isoladamente (em osso artificial ou animal), não se verificaram grandes alterações superficiais, estas são maiores na interação com fluídos e tecidos corporais. Portanto, efeitos de corrosão não foram observados nos mini-implantes imediatamente recuperados de osso artificial, as alterações verificadas na análise deste tipo de mini-implantes foi uma menor nitidez das espiras e da ponta ativa.⁸

Segundo Hergel et al., (2019)², após a reinserção dos mini-implantes em osso bovino, verificaram que alterações na ponta do mini-implante e riscos na sua superfície foram visíveis quando reutilizados. No entanto, estas alterações não tiveram diferença significativa no seu desempenho quando reinseridos mais que uma vez, mas após a avaliação apresentavam-se desgastados e com opacidade na superfície.

Gross et al., (2016)¹⁶ e Eliades et al., (2009)¹⁹, observaram alterações superficiais nos mini-implantes recuperados, como perda de brilho em algumas partes. É importante destacar que mesmo com estas possíveis alterações, os mini-implantes testados não apresentaram diferenças significativas nas propriedades mecânicas.

Relativamente ao ângulo de inserção apenas Cho et al., (2013)¹⁵, referiram que a angulação crítica de colocação do mini-implante seria de 18º, havendo uma maior probabilidade de deformação e fratura.

4.3 ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DO MINI-IMPLANTE DE LIGA DE TITÂNIO APÓS USO CLÍNICO

Há diversos fatores que podem afetar a estabilidade primária dos mini-implantes como o design, tipo de mini-implante, ângulo de inserção e a qualidade óssea.²

Existem diferenças relativamente ao tipo de mini-implantes, auto-rosqueante e/ou auto-perfurantes, na sua inserção/desinserção podendo causar algum desgaste na superfície, sendo maior o desgaste nos mini-implantes auto-perfurantes.⁸

Na colocação do mini-implante, onde ocorre a perfuração da mucosa e do osso, desencadeia-se uma reação inflamatória traumática, que inclui como fenómenos: redução do pH, durante as fases exsudativas iniciais; ativação celular de neutrófilos, granulócitos e macrófagos; libertação de proteínas, enzimas e agentes oxidantes, que podem modificar significativamente a reatividade superficial dos mini-implantes.^{8,11}

Os mini-implantes analisados após o uso clínico demonstraram que a deformação da ponta ativa pode ocorrer devido às condições de inserção, como a força de inserção aplicada, ângulo de inserção e técnica utilizada. Portanto, o nível de deformação da ponta após a inserção primária pode ser previsível no cenário clínico.¹³

Sebbar et al., (2012)⁹, referem que as mudanças na superfície dos mini-implantes após o uso clínico são difíceis de explicar. Takeshita et al., (1996)²¹, mostraram a presença de ataques corrosivos lineares indicando o desenvolvimento de fendas por fadiga,

provavelmente devido a repetidas tensões de tração, estas encontravam-se por toda a superfície do mini-implante. Também Morais et al (2007)²², verificaram que o processo corrosivo pode alterar as características da superfície dos dispositivos, bem como outras propriedades dos materiais.

Chung et al., (2014)¹³, verificaram que a maioria dos mini-implantes auto-perfurantes recuperados da cavidade oral mostrou graus variados de alteração da ponta ativa, o que dificulta a sua reinserção. O grau de deformação da ponta não foi associado a nenhum dos parâmetros clínicos relacionados ao hospedeiro, como o local de inserção ou o gênero. O grau de deformação da ponta pode ser afetado pelas condições de inserção, como a força de inserção aplicada, ângulo de inserção e o design do mini-implante. Portanto, o nível de deformação da ponta após a inserção primária requer que estes não sejam reutilizados.

Da mesma opinião, outros autores, referem que alterações morfológicas, estruturais e composicionais dos mini-implantes ortodônticos de liga de titânio quando recuperados da cavidade oral, com sucesso, apresentavam maiores sinais de corrosão principalmente nos locais onde há defeitos de fabrico. ^{9,11,19}

Para Patil et al., (2015)⁸, as alterações superficiais localizaram-se mais na região do corpo do mini-implante, no entanto foram observadas fendas e fraturas principalmente nas regiões das espiras e ponta do mini-implante, isto pode ser atribuído à diminuição da espessura do material nessas regiões. Também nos locais de corrosão, e devido à aplicação de força nestes dispositivos, pode dar origem a fendas e até mesmo à fratura do mini-implante. ⁹

Também Patil et al., (2015)⁸, reforçaram esta ideia e que o contato físico do mini-implante com o osso durante a inserção e desinserção não será o único fator a alterar a sua superfície. Assim sendo, é necessário ter em conta a temperatura, quantidade e qualidade da saliva, placa bacteriana, pH, proteínas, propriedades físicas e químicas de

alimentos, medicação, hábitos de higiene oral e condições de saúde oral pois podem provocar maior corrosão.

4.4 ANÁLISE DOS MINI-IMPLANTES APÓS ESTERILIZAÇÃO

Mattos et al. (2011)²⁰ estudaram *in vitro* os efeitos da esterilização em autoclave na resistência à fratura de mini-implantes e não encontraram diferenças nas propriedades mecânicas. A análise por SEM neste estudo indica que o processo de esterilização em autoclave não altera a topografia da superfície do mini-implante de liga de titânio, pois nenhum defeito na forma de poros ou fendas e nenhuma imagem sugestiva de corrosão puderam ser identificados nos mini-implantes esterilizados quando comparados com os novos.

Também Patil et al., (2015)⁸, quando avaliaram a superfície dos mini-implantes após serem esterilizados no autoclave relataram que não foram identificados defeitos ou corrosão.

Gross et al. (2016)¹⁶, num estudo *in vitro*, avaliaram o efeito da esterilização, e que a reutilização até quatro vezes e a esterilização dos mini-implantes não alteraram significativamente a estrutura da superfície. Apesar destes resultados, Thierry et al. (2000)²³, referem que o autoclave pode modificar a topografia da superfície e alterar a composição química da liga de titânio.

4.5 LIBERTAÇÃO DE IÕES PELOS MINI-IMPLANTES DE LIGA DE TITÂNIO

Os mini-implantes são uma fonte potencial de iões metálicos para o corpo humano devido à corrosão da liga, e podem afetar diretamente a sua biocompatibilidade.⁴ A libertação de iões metálicos em concentrações tóxicas pode conduzir a efeitos fisiológicos adversos, incluindo: citotoxicidade, genotoxicidade, carcinogenicidade e efeitos alérgicos.²⁴

Como já se verificou, ocorre a presença de corrosão nos mini-implantes de liga de titânio, deste modo, a análise da superfície das regiões afetadas deve valer a pena para elucidar sobre a fricção e dissolução do biofilme passivo de óxido na sua superfície. A SEM e a EDS revelaram uma camada de sódio, potássio, cloro, ferro, cálcio e fósforo depositadas na superfície do mini-implante, após serem recuperados da cavidade oral. A presença de precipitação de estruturas ósseas e formação de uma camada de contaminação carbônica e absorção de hidrogênio danifica a superfície do mini-implante. ^{11,18}

Estes iões metálicos tóxicos podem ser libertados na cavidade oral, ou seja, o mini-implante pode sofrer biodegradação. Vários fatores contribuem para a degradação do mini-implante como: composição química, morfologia da superfície, composição química da saliva, biofilme, pH da cavidade oral, adsorção de proteínas, propriedades físicas e químicas dos alimentos, medicação e hábitos de higiene oral.¹ Os produtos de corrosão podem ser libertados nos tecidos vizinhos, induzindo reações locais e sistêmicas. ¹¹

A incidência de falhas, a presença de elementos potencialmente tóxicos e a resistência mecânica dos mini-implantes é mais um dos motivos pelo qual os mini-implantes não devem ser reutilizados pois será de esperar uma resposta inadequada. ^{4,11,18}

5 LIMITAÇÕES

- Existência de um número limitado de estudos sobre o conteúdo pretendido, sendo um dos artigos selecionados de 2009, pelo que pode estar um pouco desatualizado.
- Necessidade de amostras maiores dos mini-implantes recuperados da cavidade oral.
- Estudos sem referência ao ângulo de inserção dos mini-implantes na cavidade oral, para analisar se este parâmetro pode ter influência na alteração da sua superfície.

6 CONCLUSÃO

Relativamente à literatura descrita nesta revisão, concluímos que:

- Apesar dos mini-implantes terem uma aparência suave a olho nu, todos exibem defeitos de fabrico na forma de riscos/arranhões.
- Após o uso clínico a superfície dos mini-implantes apresentam poros, fendas e corrosão principalmente no local dos defeitos de fabrico.
- Ocorre a deformação da ponta ativa e fratura das espiras dos mini-implantes recuperados da cavidade oral.
- Todos os mini-implantes analisados, sejam novos ou recuperados da cavidade oral apresentam perda de cor e brilho.
- A reutilização de mini-implantes não é recomendada devido às deficiências biomecânicas e biológicas.
- Os mini-implantes novos submetidos à esterilização em autoclave, são recomendados para uso clínico pois não sofrem alterações.
- A libertação de iões metálicos pode ocorrer podendo não ter efeitos negativos no ser humano. No entanto, a quantidade e toxicidade, devem ser considerados para discutir a segurança dos biomateriais metálicos.

Por último, concluímos que, o processo de fabrico e a superfície do mini-implante são fatores importantes a serem avaliados, a fim de melhorar as propriedades mecânicas, e uma melhoria no acabamento da superfície dos mini-implantes é imprescindível para aumentar a resistência destes dispositivos à corrosão.

Bibliografia

1. Marigo, G., Elias, C. N., & Marigo, M. (2016). Surface analysis of 2 orthodontic mini-implants after clinical use. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 89-97.
2. Hergel, C. A., Acar, Y. B., Ates, M., & Kuçukkeles, N. (2019). In-vitro evaluation of the effects of insertion and sterilization procedures on the mechanical and surface characteristics of miniscrews. *European Oral Research*, 25-31.
3. James, L. C., Liou, E. J., Yeh, C.-L., & Evans, C. A. (2007). A comparative evaluation of current orthodontic miniscrew systems. *World Journal Orthodontics*, 136-144.
4. Serra, G., Morais, L., Elias, C. N., Semenova, I. P., Valiev, R., Salimgareeva, G., . . . Lacerda, R. (2013). Nanostructured severe plastic deformation processed titanium for orthodontic mini-implants. *Materials Science and Engineering C*, 4197-4202.
5. Alves, C. B., Segurado, M. N., Dorta, M. C., Dias, F. R., Lenza, M. G., & Lenza, M. A. (2016). Evaluation of citotoxicity and corrosion resistance of orthodontic mini-implants. *Dental Press Journal Orthodontics*, 39-46.
6. Cotrim-Ferreira, F. A., Quaglio, C. L., Peralta, R. P., Carvalho, P. E., & Siqueira, D. F. (2010). Metallographic analysis of the internal microstructure of orthodontic mini-implants. *Brazilian Oral Research*, 438-442.
7. Brown, R. N., Sexton, B. E., Chu, T.-M. G., Katona, T. R., Stewart, K. T., Kyung, H.-M., & Liu, S. S. (2014). Comparasions of stainless steel and titanium alloy orthodontic miniscrew implants: A mechanical and histologic analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 496-504.
8. Patil, P., Kharbanda, O. P., Duggal, R., Das, T., & Kalyanasundaram, D. (2015). Surface deterioration and elemental composition of retrieved orthodontic miniscrews. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 588-100.
9. Sebbar, M., Bourzgui, F., Aazzab, B., & El Qars, F. (2012). Microscopic comparasion of the miniscrew's surface used in orthodontics: Before and after use. *Revue de Stomatologie de Chirurgie Maxillo-Faciale*, 365-369.
10. Burmann, P. F., Ruschel, H. C., Vargas, I. A., Verney, J. C., & Kramer, P. F. (2015). Titanium alloy orthodontic mini-implants: scanning electron microscopic and metallographic analyses. *Acta Odontológica Latinoamericana*, 42-47.
11. Sebbar, M., Bourzgui, F., Aazzab, B., & Elquars, F. (2011). Anchorage miniscrews: a surface characterization study using optical microscopy. *International Orthodontics*, 325-333.
12. Heo, Y.-Y., Cho, K.-C., & Baek, S.-H. (2012). Angled-predrilling depht and mini-implant shape effects on the mechanical properties of self-drilling orthodontic mini-implants during the angled insertion procedure. *Angle Orthodontist*, 881-888.
13. Chung, C. J., Jung, K.-Y., Choi, Y. J., & Kim, K.-H. (2014). Biomechanical characteristics and reinsertion guidelines for retrieved orthodontic miniscrews. *Angle Orthodontics*, 878-884.
14. Chatziagianni, A., Keiling, L., Duschner, H., Gotz, H., Eliades, T., & Bourauel, C. (2011). Comparative analysis of numerical and experimental data of orthodontic mini-implants. *European Journal Of Orthodontics*, 468-475.
15. Cho, I.-S., Kim, T.-W., Yang, I.-H., & Baek, S.-H. (2013). Effects of insertion angle and implant thread type on the fracture properties of orthodontic mini-implants during insertion. *Angle Orthodontics*, 698-704.

16. Gross, J., Nascimento, G., Araujo, V., Bonecker, M., & Furuse, C. (2016). Mini-implants for orthodontic anchorage: surface analysis after redrilling and sterilization - an in vitro study. *The Journal of Contemporary Dental Practice.*, 300-305.
17. Vlasa, A., Biris, C., Lazar, L., Bud, A., Bud, E., Varlam, C. M., . . . Pacurar, M. (2017). Scanning electron microscope analysis of titanium alloy orthodontic implants. *Revist Materiale Plastice*, 345-347.
18. Iijima, M., Muguruma, T., Kawaguchi, M., Yasuda, Y., & Mizoguchi, I. (2015). In vivo degradation of orthodontic miniscrew implants: surface analysis of as-received and retrieved specimens. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 70-77.
19. Eliades, T., Zinelis, S., Papadopoulos, M. A., & Eliades, G. (2009). Characterization of retrieved orthodontic miniscrew implants. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedic*, 10.e1- 10.e7.
20. Mattos, C. T., Ruellas, A. C., & Elias, C. N. (2010). Is it possible to re-use mini-implants for Orthodontic Anchorage? Results of an in vitro study. *Materials Research*, 521-525.
21. Takeshita, F. M. (1996). Fractures of hidroxyapatite-coated blade implants connectes with natural teeth. A histological study using SEM, light microscopy, and an image processing system. *Journal Periodontology*, 86-92.
22. Morais, L. S. (2007). Titanium ally mini-implants for orthodontic anchorage: immediate loading and metal ion releas. *ScienceDirect*, 331-339.
23. Thierry, B. T. (2000). Efeets os sterilization processes on NiTi alloy: surface characterization. *Inc. J Biomed Mater Res*, 88-98.
24. Suzuki, M. M. (2018). Ions release evaluation and changes in mini-implant orthodontic surface. *Journal f contemporary dental practice*, 910-917.
25. Chaddad, K., Ferreira, A. F., Geurs, N., & Reddy, M. S. (2009). Influence of surface characteristics on survival rates of mini-implants. *Angle Orthodontist*, 107-113.
26. Silverstein, J., Barreto, O., & França, R. (2016). Miniscrews for orthodontic anchorage: nanoscale chemical surface analyses. *European Journal of Orthodontics.*, 146-153.
27. T., H. (2004). Metal ion release from metal implants. *Materials Science and Engineering*, 745-752.