REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

ANÁLISE COMPARATIVA TOPOGRÁFICA DA SUPERFÍCIE DE IMPLANTES COM DIFERENTES TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE A MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) E PERFILOMETRIA

COMPARATIVE TOPOGRAPHIC ANALYSIS OF IMPLANT SURFACES WITH DIFFERENT SURFACE TREATMENTS USING SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM) AND PROFILOMETRY

ANÁLISIS TOPOGRÁFICO COMPARATIVO DE LA SUPERFICIE DE IMPLANTES CON DIFERENTES TRATAMIENTOS SUPERFICIALES MEDIANTE MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB) Y PERFILOMETRÍA

Paulo George Esteves Areal Neto
São Leopoldo Mandic (SL MANDIC), Rio de Janeiro – RJ
José Henrique Cavalcanti Lima
Universidade Camilo Castelo Branco (UNICASTELO), Rio de Janeiro – RJ
Enzo da Silva Pereira
Escola e clínica de Odontologia em Campo Grande (CENCRO), Rio de Janeiro – RJ
Thiago Borges Mattos
Centro Universitário Vale do Rio Verde (UNINCOR), Três Corações – MG
Lídia Batista Conrado Martins
Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora - MG

Resumo

Objetivo: Realizar uma análise descritiva e comparativa da micromorfologia e das características topográficas de superfícies de titânio grau IV, comparando implantes com superfícies usinadas e superfícies submetidas ao tratamento de jateamento seguido de duplo ataque ácido. **Métodos:** Foi realizada uma análise comparativa das superfícies de titânio grau IV por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), em diferentes magnitudes, e perfilometria óptica tridimensional. Foram avaliadas qualitativamente as características morfológicas e quantitativamente os parâmetros de rugosidade média (Ra), rugosidade quadrática (Rq), densidade de picos e profundidade de vales. **Resultados:** As superfícies usinadas apresentaram padrão topográfico regular, caracterizado por estrias paralelas e baixa rugosidade média (Ra = 0,125 µm). Em contrapartida, as superfícies submetidas ao jateamento seguido de duplo ataque ácido demonstraram morfologia irregular, com micro e nanoporosidades, maior densidade de picos e maior profundidade de vales, além de aumento

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

de aproximadamente 85% na rugosidade média (Ra = 0,231 µm). Esses resultados evidenciam diferenças topográficas importantes entre os tratamentos, indicando maior complexidade superficial no grupo jateado e condicionado por ácido. **Conclusão/Considerações finais:** O tratamento por jateamento seguido de duplo ataque ácido promove alterações significativas na topografia do titânio grau IV, aumentando sua rugosidade e complexidade morfológica, características potencialmente favoráveis à interação osso-implante e à osseointegração. A associação entre MEV e perfilometria óptica tridimensional mostrou-se adequada para a caracterização qualitativa e quantitativa das superfícies avaliadas.

Palavras-chave: Osseointegração; Implante dentário; Propriedades de superfície.

Abstract

Objective: To perform a descriptive and comparative analysis of the micromorphology and topographic characteristics of grade IV titanium surfaces, comparing implants with machined surfaces and those subjected to grit blasting followed by double acid etching. **Methods:** A comparative analysis of grade IV titanium surfaces was performed using Scanning Electron Microscopy (SEM) at different magnifications and three-dimensional optical profilometry. Morphological characteristics were qualitatively assessed, while mean roughness (Ra), root mean square roughness (Rq), peak density, and valley depth were quantitatively evaluated. Results: Machined surfaces exhibited a regular topographic pattern characterized by parallel grooves and low mean roughness (Ra = 0.125 µm). In contrast, surfaces subjected to grit blasting followed by double acid etching showed irregular morphology, with micro- and nanoporous structures, higher peak density, and greater valley depth, as well as an approximately 85% increase in mean roughness (Ra = 0.231 µm). These findings demonstrate relevant topographic differences between the treatments, indicating greater surface complexity in the grit-blasted and acid-etched group. **Conclusion/Final Considerations**: Grit blasting followed by double acid etching promotes significant changes in the topography of grade IV titanium, increasing its roughness and morphological complexity, characteristics that may favor bone–implant interaction and osseointegration. The combination of SEM and three-dimensional optical profilometry proved suitable for the qualitative and quantitative characterization of the evaluated surfaces.

Keywords: Osseointegration; Dental Implants; Surface Properties. .

Resumen

Objetivo: Realizar un análisis descriptivo y comparativo de la micromorfología y de las características topográficas de las superficies de titanio grado IV, comparando implantes con superficies mecanizadas y superficies sometidas a un tratamiento de arenado seguido de doble ataque ácido.Métodos: Se realizó un análisis comparativo de las superficies de titanio grado IV mediante microscopía electrónica de barrido (MEB), a diferentes aumentos, y perfilometría óptica tridimensional. Se evaluaron cualitativamente las características morfológicas y, cuantitativamente, los parámetros de rugosidad media (Ra), rugosidad cuadrática media (Rq), densidad de picos y profundidad de valles.Resultados: Las superficies mecanizadas presentaron un patrón topográfico regular, caracterizado por estrías paralelas y una baja rugosidad media (Ra = 0,125 µm). Por el contrario, las superficies sometidas a arenado seguido de doble ataque ácido mostraron una morfología irregular, con microporosidades y nanoporosidades, mayor densidad de picos y mayor profundidad de valles, además de un aumento aproximado del 85 % en la rugosidad media (Ra = 0,231 µm). Estos hallazgos demuestran diferencias topográficas relevantes entre los tratamientos, indicando una mayor complejidad superficial en el grupo tratado mediante arenado y ataque

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

ácido.Conclusión/Consideraciones finales: El tratamiento de arenado seguido de doble ataque ácido promueve cambios significativos en la topografía del titanio grado IV, aumentando su rugosidad y complejidad morfológica, características que pueden favorecer la interacción hueso-implante y la osteointegración. La combinación de MEB y perfilometría óptica tridimensional demostró ser adecuada para la caracterización cualitativa y cuantitativa de las superficies evaluadas.

Palabras clave: Osteointegración; Implantes Dentales; Propiedades de Superficie.

1. Introdução

A osseointegração, embora consolidada clinicamente como fundamento da implantodontia moderna, permanece como um dos fenômenos mais complexos da bioengenharia aplicada aos biomateriais, sendo definida como a conexão estrutural e funcional direta entre o osso vital e a superfície de um implante submetido à carga funcional. Desde os trabalhos pioneiros de Brånemark, o titânio comercialmente puro consolidou-se como material de escolha para implantes dentários devido à sua elevada biocompatibilidade, resistência à corrosão e capacidade de formação espontânea de uma camada passiva de dióxido de titânio (TiO_2), além disso considerado responsável pela estabilidade química e pela interação favorável com os tecidos biológicos (BRÅNEMARK et al., 1977; ALBREKTSSON; WENNERBERG, 2004). Entretanto, apesar das propriedades inerentes do titânio, compreende-se atualmente que o sucesso da osseointegração não depende exclusivamente da composição química do biomaterial, mas principalmente das características topográficas, físico-químicas e energéticas de sua superfície. A resposta biológica inicial ao implante envolve uma complexa cascata de eventos moleculares, incluindo adsorção proteica, formação do coágulo sanguíneo, recrutamento celular, diferenciação osteoblástica e deposição de matriz mineralizada, sendo profundamente influenciada pela micro e nanotopografia superficial do implante (DAVIES, 2003; SUL et al., 2006).

Produzidos por torneamento mecânico industrial, implantes apresentam baixa rugosidade superficial e limitada área de contato ósseo. Embora estudos clínicos clássicos demonstrem elevadas taxas de sobrevivência em longo prazo, superfícies

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

usinadas apresentam um padrão biológico caracterizado predominantemente pela osteogênese à distância, na qual o tecido ósseo neoformado cresce em direção à superfície implantável sem interação mecânica inicial significativa. Esse comportamento resulta em menor velocidade de neoformação óssea, reduzido contato osso-implante (Bone-to-Implant Contact – BIC) e maior tempo necessário para aquisição da estabilidade secundária (ALBREKTSSON; WENNERBERG, 2004; DAVIES, 2003).

Neste contexto a evolução das superfícies implantáveis ocorreu paralelamente ao avanço da engenharia de biomateriais e da compreensão da biologia óssea peri-implantar. Assim, as superfícies jateadas e tratadas por duplo ataque ácido passaram a ser amplamente empregadas com o objetivo de transformar o titânio de um material biologicamente passivo em um substrato bioativo capaz de modular respostas celulares específicas. O jateamento com partículas abrasivas, associado ao condicionamento ácido, promove microirregularidades homogêneas que mimetizam a arquitetura lacunar produzida pela atividade osteoclástica durante o remodelamento ósseo fisiológico, favorecendo a adesão celular e a retenção do coágulo sanguíneo (BUSER et al., 1991).

Segundo Wennerberg e Albrektsson (2009), superfícies moderadamente rugosas apresentam melhor desempenho biológico quando comparadas às superfícies lisas, especialmente em relação à diferenciação osteoblástica, deposição de matriz extracelular mineralizada e aumento do percentual de contato osso-implante. Além disso, a rugosidade micrométrica promove aumento da energia superficial e da molhabilidade, fatores diretamente relacionados à adsorção de proteínas plasmáticas e à ativação de vias celulares osteogênicas (SUL et al., 2006). A literatura demonstra ainda que superfícies hidrofílicas e nanotexturizadas podem acelerar significativamente os estágios iniciais da osseointegração por meio da modulação de integrinas, citocinas inflamatórias e expressão gênica osteoblástica (HOTCHKISS et al., 2016; GITTENS et al., 2014).

Sob a perspectiva biomecânica, Coelho (2015) descreve que superfícies rugosas também exercem papel fundamental na estabilidade secundária dos implantes,

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

particularmente em regiões de baixa densidade óssea e em protocolos de carga imediata. A maior interdigitação mecânica entre tecido mineralizado e superfície implantável reduz micromovimentos durante o reparo ósseo inicial, favorecendo a manutenção da estabilidade biológica e a previsibilidade clínica em longo prazo. Contudo, apesar das vantagens biológicas associadas às superfícies rugosas, a literatura contemporânea também discute possíveis limitações relacionadas à maior retenção bacteriana e susceptibilidade à peri-implantite, tornando necessária a compreensão crítica da relação entre rugosidade superficial e saúde peri-implantar (RENVERT et al., 2018).

Dessa forma, a caracterização micromorfológica das superfícies implantáveis assume importância central naquilo que representa potenciais melhoria em Implatodontia, especialmente diante da constante introdução de novos tratamentos de superfície pela indústria biomédica. Nesse contexto, o presente trabalho analisa a micromorfologia dos implantes osseointegrados, comparando o padrão de usinagem convencional com superfícies submetidas a tratamento de jateamento abrasivo.

2. Metodologia

O presente estudo de caráter descritivo e quantitativa, analisou a topografia superficial de amostras de titânio grau IV (Dentoflex, São Paulo, SP), simulando as condições industriais de fabricação dos implantes. O delineamento experimental foi baseado em protocolos metodológicos amplamente utilizados na caracterização de biomateriais implantáveis descritos por Wennerberg e Albrektsson (2009), Coelho et al. (2015) e Elias et al. (2015), buscando estabelecer correlação entre morfologia superficial, parâmetros de rugosidade e potencial biológico de osseointegração. As amostras foram divididas em dois grupos experimentais distintos, conforme o tratamento superficial empregado. O Grupo 1 (Controle) foi composto por pastilhas de titânio grau IV submetidas exclusivamente ao processo convencional de usinagem mecânica por torneamento, objetivando a obtenção de uma superfície lisa com padrão linear característico das marcas de corte industriais. Já o Grupo 2 (Experimental) foi composto por pastilhas de titânio grau IV inicialmente usinadas e

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

posteriormente submetidas ao jateamento abrasivo com partículas de pó de titânio, seguido de tratamento químico por duplo ataque ácido, utilizando solução composta por ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido clorídrico (HCl), visando à indução de rugosidade controlada e formação de microcavidades superficiais.

Para a caracterização qualitativa da micromorfologia superficial, utilizou-se a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Previamente às análises, as amostras foram submetidas à limpeza ultrassônica em álcool isopropílico e fixadas em suportes metálicos (“stubs”) com fita condutiva de carbono, sendo posteriormente metalizadas com fina camada de ouro-páladio em equipamento sputtering, a fim de aumentar a condutividade elétrica e minimizar artefatos de imagem. As amostras do Grupo 1 (Controle) foram avaliadas em magnificações crescentes de 200x, 500x, 1000x e 5000x, permitindo identificação do padrão geométrico linear resultante da usinagem mecânica. As amostras do Grupo 2 (Experimental) foram avaliadas em magnificações de 250x, 500x, 1000x e 5000x, possibilitando análise detalhada da distribuição das microcavidades, irregularidades topográficas e porosidades produzidas pelo tratamento químico-mecânico. A avaliação qualitativa considerou aspectos como homogeneidade superficial, presença de depressões, picos, irregularidades e interconectividade morfológica, parâmetros frequentemente correlacionados à resposta biológica óssea em estudos de biomateriais. Adicionalmente, a caracterização quantitativa da rugosidade superficial foi realizada por meio de rugosimetria de contato associada à análise tridimensional em perfilometria, o uso foi baseada em estudos de Kohles (2004) e Ravindran (2021). A utilização combinada dessas técnicas permitiu obtenção de parâmetros quantitativos confiáveis relacionados à amplitude, distribuição espacial e complexidade geométrica da superfície.

Foram avaliados os parâmetros de amplitude Ra e Rq, utilizados para determinar, respectivamente, a média aritmética e a média quadrática das irregularidades superficiais, sendo amplamente empregados na classificação da rugosidade de implantes dentários segundo Wennerberg e Albrektsson (2009). Também foi analisada a densidade de picos (Peak Density), utilizada para quantificar a frequência de irregularidades por unidade de área, parâmetro diretamente

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

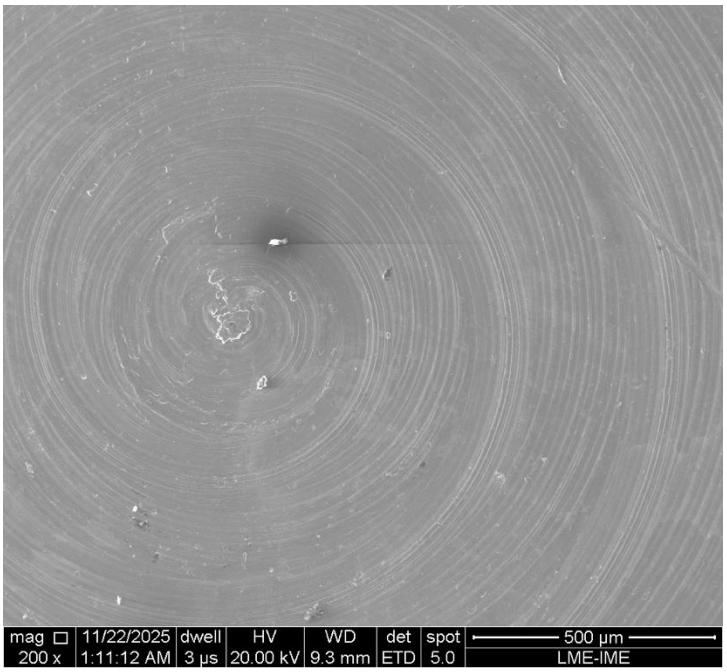
relacionado à capacidade de retenção do coágulo sanguíneo e à ancoragem celular inicial. Além disso, avaliou-se o espaçamento entre picos (Peak Spacing), utilizado para determinar a distância média entre irregularidades topográficas, fator relevante na organização celular, deposição de matriz extracelular e diferenciação osteoblástica.

3. Resultados

3.1. Grupo de Superfícies Usinadas

As imagens do grupo revelam uma topografia característica do processo de fabricação mecânica por torno:

Figura 1: Topografia característica do processo de fabricação mecânica pro torno



Observa-se, nas Figuras 1, a presença de estrias circunferenciais regulares, paralelas e uniformemente distribuídas ao longo da superfície da amostra, características do processo de usinagem mecânica por torneamento. Essas ranhuras lineares refletem o percurso da ferramenta de corte durante a fabricação do material, evidenciando um padrão topográfico organizado e contínuo, típico de superfícies usinadas convencionais. Nota-se que as irregularidades apresentam baixa

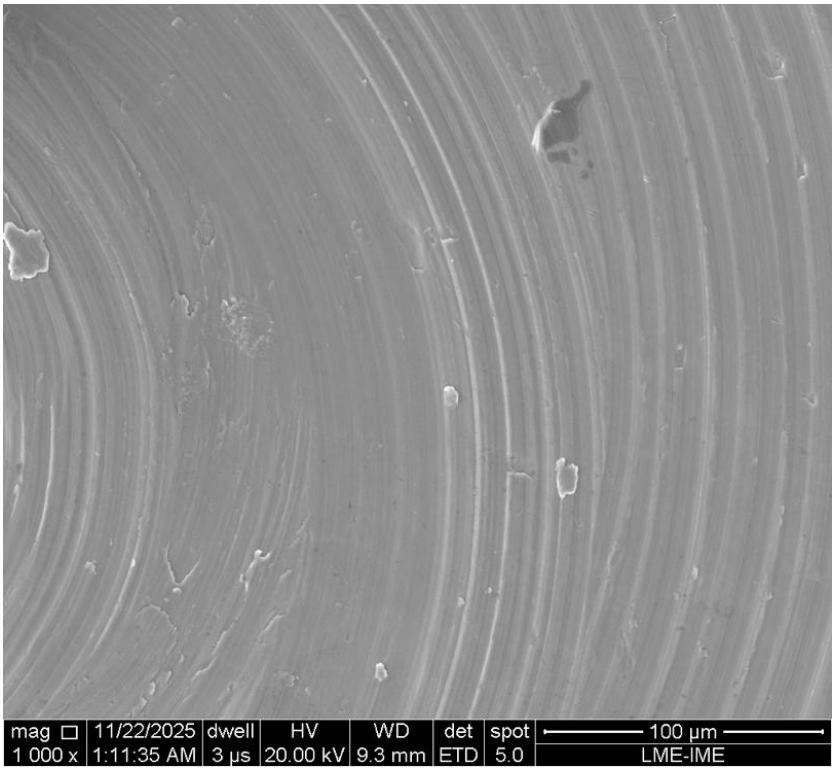
CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

profundidade e reduzida complexidade geométrica, resultando em uma superfície predominantemente lisa e homogênea quando comparada a superfícies submetidas a tratamentos de rugosificação. Além disso, observa-se discreta presença de debris e partículas residuais aderidas à superfície, possivelmente decorrentes do desgaste mecânico da ferramenta de corte ou da deposição de fragmentos metálicos produzidos durante o processo de usinagem. Esses resíduos encontram-se distribuídos de maneira pontual e sem formação evidente de porosidades ou microcavidades interconectadas. Em maiores aumentos, percebe-se que a superfície apresenta baixa densidade de picos e reduzido relevo topográfico, características frequentemente associadas a menores valores de rugosidade média (Ra) e menor área superficial disponível para interação biológica inicial. Do ponto de vista biomaterial, sugere se padrão morfológico está relacionado a superfícies classificadas como lisas ou minimamente rugosas, nas quais a resposta óssea ocorre predominantemente por osteogênese à distância.

Figura 2: Amplificação das rugosidades em magnitude aumentada



Fonte: Autor

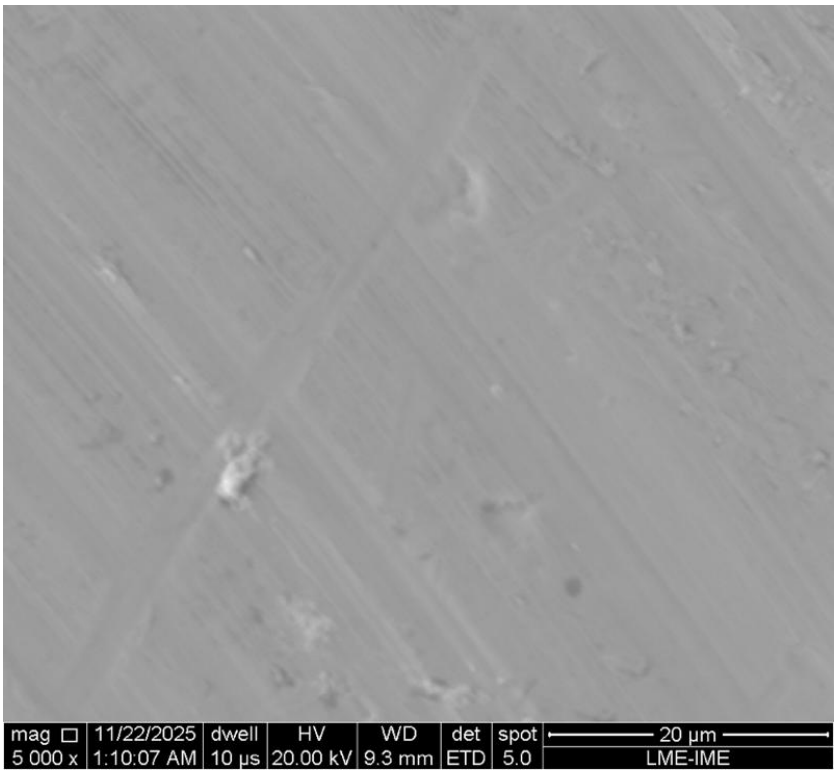
CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

No aumento de 1000x (Figura 2), a regularidade das ranhuras de usinagem torna-se ainda mais evidente, evidenciando um padrão topográfico altamente ordenado, com estrias contínuas, paralelas e de orientação homogênea, resultantes diretamente do contato mecânico da ferramenta de corte com o titânio durante o processo de torneamento. Nessa ampliação, observa-se com maior clareza a baixa complexidade geométrica da superfície, caracterizada pela ausência de microirregularidades secundárias significativas, como porosidades, cavitações ou interconexões tridimensionais.

Figura 3: Amplificação dos sulcos rasos em magnitude aumentada



Fonte: Autor

Na magnitude de 5000x (Figura 3), a superfície apresenta-se relativamente lisa, com predominância de sulcos rasos, contínuos e bem orientados, mantendo o padrão regular típico do processo de usinagem por torneamento. Nessa ampliação mais elevada, observa-se com maior precisão a baixa profundidade das ranhuras, as quais se apresentam como depressões superficiais pouco pronunciadas, sem transições abruptas ou formação de microgeometrias complexas. Nota-se, ainda, a

CC BY

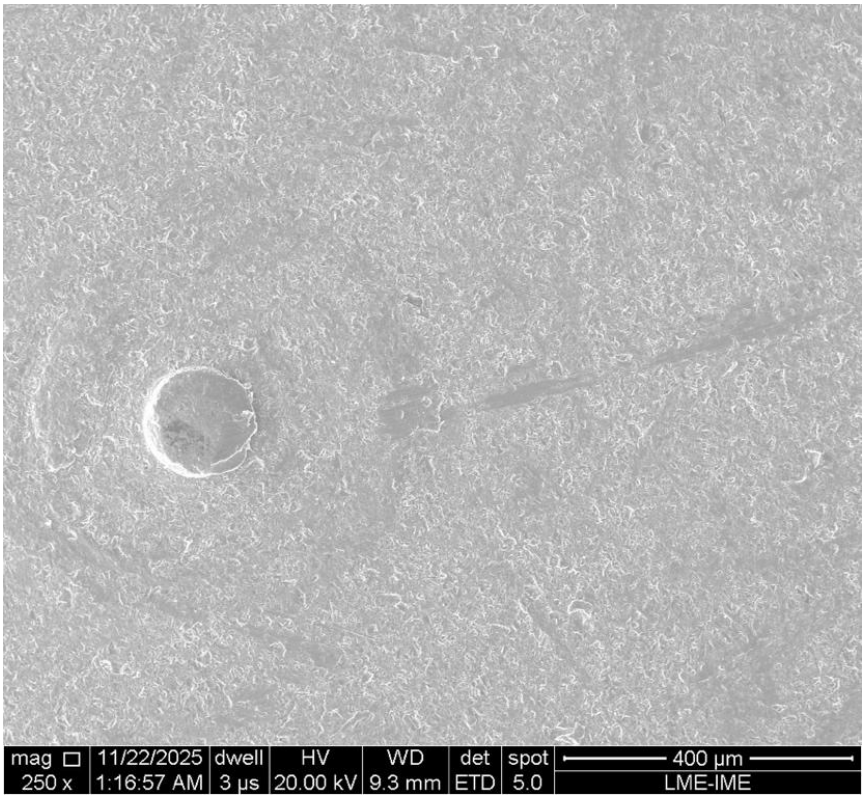
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

ausência de microporosidades aleatórias, cavitações ou interconexões tridimensionais que possam conferir maior heterogeneidade topográfica ao substrato.

3.2. Grupo Jateado e com Duplo Ataque Ácido

Figura 4: Alteraçôes morfologicas significativas pelo processo de jateamento



Fonte: Autor

Na magnitude de 500x (Foto 4), a topografia superficial passa a apresentar um padrão completamente distinto daquele observado nas superfícies usinadas, sendo caracterizada por uma rugosidade macroscópica irregular, porém relativamente homogênea e uniformemente distribuída por toda a extensão da peça. Sugere se que o processo de jateamento promove a ruptura do padrão linear de estrias oriundo da usinagem mecânica, eliminando a organização paralela previamente descrita e substituindo-a por uma superfície tridimensional mais complexa, com distribuição aleatória de depressões e elevações. Nessa condição, evidenciam-se claramente a

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

formação de vales mais profundos e picos mais proeminentes, resultantes do impacto mecânico das partículas abrasivas sobre o substrato de titânio. Esse processo gerou microdeformações plásticas superficiais, responsáveis por aumentar significativamente a área superficial disponível e introduzir uma heterogeneidade topográfica importante para a interação biológica. Alem disso, notou se maior complexidade geométrica, com incremento da rugosidade média e da densidade de irregularidades, quando comparada ao padrão usinado.

Como resultado, observa-se um aumento da área superficial efetiva e da interconectividade entre microcavidades, criando um ambiente topográfico mais adequado para retenção do coágulo sanguíneo e organização da matriz extracelula r inicial. Revela-se uma topografia caracterizada pela presença concomitante de microenanoporosidades distribuídas de forma heterogênea e interconectada aolongo da superfície.

O tratamento por duplo ataque ácido promove uma dissolução controlada e seletiva do substrato de titânio, resultando na formação de crateras microscópicas bem defi nidas, associadas à geração de irregularidades em escala nanométrica que se s obrepõem à rugosidade previamente induzida pelo jateamento.

Essa combinação de micro e nanotopografia confere à superfície uma complexidade tridimensional significativa mente aumentada, com maior densidade de sítios de ancoragem e ampliação expressiva da área de superfície efetiva. As crateras formadas apresentam distribuição relativamente homogênea, com variações de profundidade que contribuem para a criação de microambientes topográficos capazes de reter fluidos biológicos e favorecer a estabilização inicial do coágulo sanguíneo. Em escala nanométrica, observa-se a presença de irregularidades sutis que não são perceptíveis em aumentos menores, mas que desempenham papel fundamental na modulação da adsorção proteica e na organização inicial da matriz extracelular. Essa organização hierárquica da superfície, combinando micro e nanotopografia, é particularmente relevante para a regulação do comportamento celular na interface osso-implante.

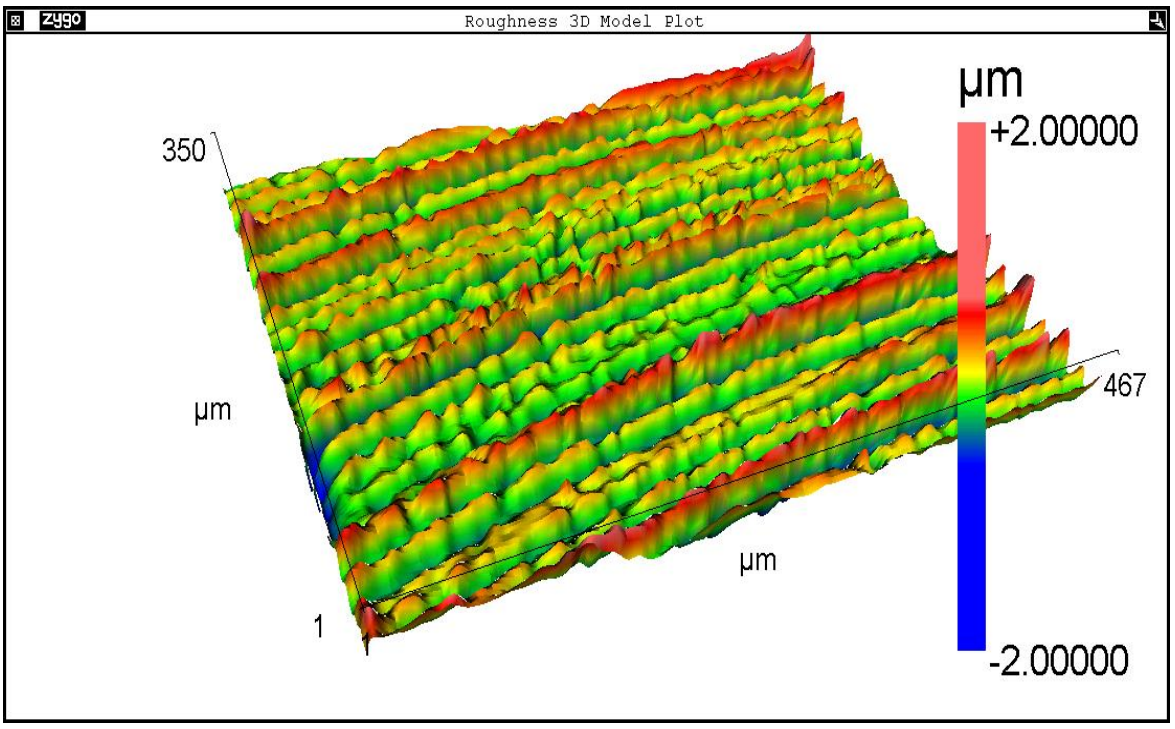
4. Análise em perfilometria - Análise Comparativa das Superfícies

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

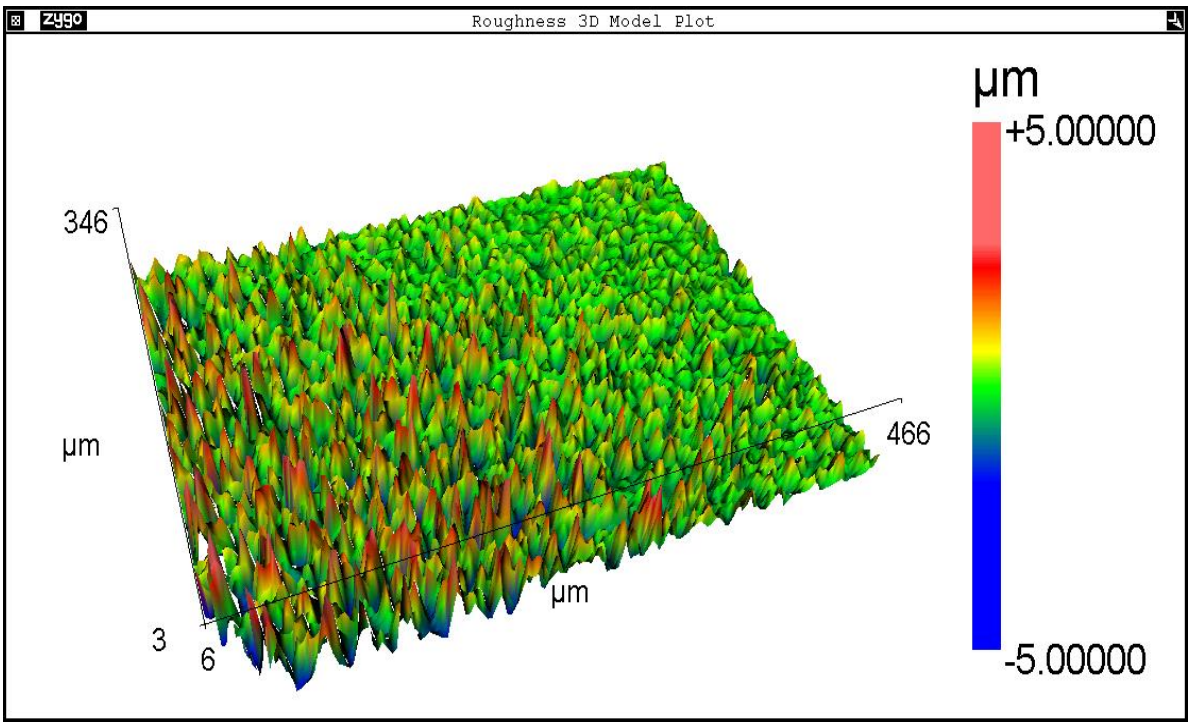
Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

Figura 5: Grupo superfície usinada



Fonte: Autor

Figura 6: Grupo de Superfícies Jateadas e Duplo Ataque Ácido



CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

Fonte: Autor.

Na análise comparativa entre as superfícies avaliadas (Figura 5 e 6) observa-se que a superfície usinada apresenta uma topografia caracterizada por padrões geométricos altamente organizados, típicos do processo de torneamento mecânico. Verificam-se sulcos e vales rítmicos com orientação direcional bem definida, refletindo o trajeto da ferramenta de corte durante a fabricação do implante. Essa organização linear confere à superfície um aspecto regular e homogêneo, com variação de altura relativamente restrita, evidenciada pela escala de cores que indica amplitude entre −2,00 e +2,00 µm. Do ponto de vista funcional, esse tipo de topografia está associado a uma menor área superficial disponível para adsorção proteica e adesão celular inicial, o que, em termos biológicos, pode retardar os eventos iniciais da osseointegração. Assim, superfícies puramente usinadas são frequentemente descritas na literatura como menos favoráveis à resposta osteogênica inicial, uma vez que o padrão liso e regular limita a formação de microambientes estáveis para fixação celular.

Em contrapartida, a superfície jateada com duplo ataque ácido (Figura 22(Amostra 2) apresenta uma modificação morfológica significativa, com transição para uma topografia irregular, heterogênea e aleatória. Essa configuração resulta da combinação entre remoção mecânica de material pelo jateamento e corrosão controlada promovida pelo ataque ácido, originando uma estrutura complexa composta por picos e vales sem orientação preferencial. O jateamento é responsável pela criação de uma macrorrugosidade inicial, enquanto o duplo ataque ácido promove a formação de microrrugosidades adicionais, resultando em uma superfície hierarquicamente estruturada em múltiplas escalas. A análise da amplitude revela variação significativamente maior, entre −5,00 e +5,00 µm, evidenciando incremento expressivo da rugosidade superficial. Essa condição aumenta substancialmente a área de contato osso-implante e favorece a adsorção de proteínas, a adesão celular e a diferenciação osteoblástica, sendo amplamente reconhecida como mais favorável à osseointegração na implantodontia contemporânea.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

A transição observada entre as duas superfícies representa, do ponto de vista técnico e funcional, a evolução de um comportamento superficial inerte para um comportamento bioativo e condutor. Enquanto a superfície usinada atua como um substrato de baixa interação biológica, a superfície tratada por jateamento e ataque ácido funciona como um arcabouço tridimensional (scaffold) que favorece o acúmulo de coágulo sanguíneo e a subsequente deposição de matriz óssea. Além disso, a remoção das marcas de usinagem e sua substituição por uma textura altamente irregular otimiza a interação com o tecido hospedeiro, aumentando a previsibilidade da resposta biológica.

No que se refere aos resultados obtidos por perfilometria óptica tridimensional, observa-se uma diferença quantitativa significativa entre os grupos analisados. Os parâmetros de amplitude Ra e Rq demonstram que a superfície usinada apresenta valores médios de 0,125 µm e 0,165 µm, respectivamente, caracterizando uma superfície de baixa rugosidade e pequena variação topográfica. Já a superfície jateada com duplo ataque ácido apresenta incremento substancial nesses parâmetros, com Ra médio de 0,231 µm e Rq de 0,318 µm, representando aumento aproximado de 85% em relação à superfície usinada. Esse aumento reflete diretamente na ampliação da área potencial de interação biológica. A análise espacial reforça essas diferenças, uma vez que a densidade de picos (Peak Density) na superfície usinada é de 586,9 picos/mm², enquanto na superfície tratada esse valor atinge 1185,8 picos/mm², representando mais que o dobro da complexidade superficial. Em contrapartida, o espaçamento médio entre picos (Peak Spacing) diminui de 41,98 µm na superfície usinada para 35,83 µm na superfície tratada, indicando uma topografia mais compacta e densamente distribuída após o processamento químico-mecânico.

Quanto aos parâmetros de profundidade, observa-se que o valor de pico-a-vale (P-V) aumenta de 3,50 µm na superfície usinada para 4,71 µm na superfície jateada e acidificada, evidenciando maior amplitude vertical da superfície tratada. De forma complementar, a profundidade média dos vales também se mostra mais acentuada no grupo experimental, passando de −1,05 µm na superfície usinada para −2,11 µm na superfície tratada. A presença de vales mais profundos e frequentes é

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

considerada altamente relevante do ponto de vista biológico, uma vez que favorece a retenção do coágulo sanguíneo inicial, além de contribuir para maior estabilidade mecânica e melhor organização da matriz extracelular durante as fases iniciais da osseointegração.

4.1 Análise em perfilometria:

A análise descritiva dos dados de rugosidade evidencia diferenças quantitativas marcantes entre a superfície usinada e a superfície jateada com ataque ácido, corroborando de forma consistente a eficácia do tratamento químico-mecânico na modificação da topografia do titânio. Esses resultados indicam que a combinação entre jateamento abrasivo e condicionamento ácido não apenas altera a morfologia superficial, mas promove um aumento significativo da complexidade topográfica, refletido nos parâmetros de amplitude, densidade e distribuição espacial das irregularidades. Do ponto de vista comparativo, observa-se que a superfície usinada mantém um padrão de baixa rugosidade e menor variação topográfica, enquanto a superfície tratada apresenta incremento expressivo em todos os parâmetros analisados, indicando maior área superficial efetiva e maior heterogeneidade estrutura.Essa diferença quantitativa é particularmente relevante, uma vez que a literatura demonstra que o aumento controlado da rugosidade superficial está diretamente associado à melhoria dos eventos iniciais da osseointegração, incluindo maior adsorção proteica, estabilização do coágulo sanguíneo e favorecimento da adesão celular osteoblástica.

Esses achados são consistentes com estudos clássicos de Wennerberg e Albrektsson (2009), que demonstram que superfícies moderadamente rugosas apresentam desempenho biológico superior em comparação às superfícies lisas usinadas. De maneira semelhante, Buser et al. (1991) observaram que superfícies tratadas por processos combinados apresentam maior contato osso-implante (BIC), atribuído à maior complexidade topográfica. Além disso, Coelho et al. (2015) reforçam que alterações na microgeometria superficial influenciam diretamente a estabilidade biomecânica inicial e a velocidade de maturação óssea, enquanto

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

Davies (2003) destaca que superfícies mais complexas favorecem a osteogênese de contato, com deposição óssea direta sobre o substrato implantável

4.1.1. Comparação de Parâmetros de Amplitude (Ra e Rq)

Os parâmetros Ra (Rugosidade Média) e Rq (Rugosidade Quadrática Média) representam medidas fundamentais para a quantificação da amplitude das irregularidades superficiais, permitindo uma análise objetiva da topografia dos materiais avaliados. O parâmetro Ra expressa a média aritmética dos desvios absolutos do perfil em relação à linha média, enquanto o Rq, por ser uma medida quadrática, confere maior sensibilidade às variações extremas da superfície, sendo particularmente útil na detecção de irregularidades mais pronunciadas. Na superfície usinada, observa-se um valor médio de Ra de 0,125 µm e Rq de 0,165 µm, caracterizando uma topografia de baixa rugosidade e pequena variação vertical. Esses valores são compatíveis com superfícies lisas obtidas por torneamento mecânico, nas quais o padrão de estrias regulares resulta em limitada complexidade geométrica e reduzida área superficial disponível para interações biológicas iniciais.

Em contrapartida, a superfície jateada seguida de ataque ácido apresenta incremento significativo desses parâmetros, com Ra médio de 0,231 µm e Rq de 0,318 µm, evidenciando aumento expressivo da rugosidade superficial e da heterogeneidade topográfica. Esse aumento reflete a ação combinada do impacto abrasivo e da corrosão controlada, que promovem a formação de microirregularidades mais complexas e maior área efetiva de contato. A diferença percentual observada, com aumento aproximado de 85% no valor de Ra em relação à superfície usinada, reforça quantitativamente a eficácia do tratamento de superfície em modificar a topografia do titânio.

4.1.2. Análise Espacial e Densidade - Peaks e Valleys

Os parâmetros Ra (Rugosidade Média) e Rq (Rugosidade Quadrática Média) constituem medidas fundamentais para a quantificação da amplitude das irregularidades superficiais, permitindo uma avaliação objetiva e reprodutível da

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

topografia dos materiais analisados. O parâmetro Ra corresponde à média aritmética dos desvios absolutos do perfil em relação à linha média, fornecendo uma estimativa geral da rugosidade superficial. Já o Rq, por se tratar de uma medida quadrática, apresenta maior sensibilidade às variações extremas do perfil, sendo particularmente útil na detecção de irregularidades mais pronunciadas e na caracterização de superfícies com maior complexidade topográfica. Na superfície usinada, observa-se um valor médio de Ra de 0,125 µm e Rq de 0,165 µm, caracterizando uma topografia de baixa rugosidade e reduzida variação vertical. Esses valores são compatíveis com superfícies obtidas por torneamento mecânico convencional, nas quais a presença de estrias regulares e paralelas resulta em limitada complexidade geométrica e menor área superficial disponível para interações biológicas iniciais, especialmente no que se refere à adsorção proteica e adesão celular.

Em contrapartida, a superfície jateada seguida de ataque ácido apresenta incremento significativo desses parâmetros, com Ra médio de 0,231 µm e Rq de 0,318 µm, evidenciando aumento expressivo da rugosidade superficial e maior heterogeneidade topográfica. Esse comportamento reflete a ação combinada do impacto abrasivo do jateamento e da dissolução controlada promovida pelo ataque ácido, que juntos resultam na formação de microirregularidades mais complexas e no aumento da área superficial efetiva disponível para interação biológica. A diferença percentual observada, com aumento aproximado de 85% no valor de Ra em relação à superfície usinada, reforça quantitativamente a eficácia do tratamento de superfície na modificação da topografia do titânio. Esse incremento é clinicamente relevante, uma vez que a literatura demonstra que o aumento controlado da rugosidade superficial está diretamente associado à melhora da adsorção proteica inicial, à maior estabilização do coágulo sanguíneo e ao aumento da adesão e diferenciação de células osteoblásticas. Esses eventos são determinantes para a aceleração do processo de osseointegração e para o incremento da estabilidade secundária dos implantes dentários.

4.1.3 Volume e Profundidade - PV e Valleys

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

Estes parâmetros descrevem a amplitude vertical total da superfície, representando a diferença entre os pontos mais elevados e mais profundos do perfil topográfico, sendo indicadores importantes da complexidade tridimensional do material. O parâmetro P-V (Peak-to-Valley) corresponde à distância entre o pico mais alto e o vale mais profundo da superfície analisada. Na superfície usinada, observa-se uma média de 3,50 µm, refletindo uma variação vertical relativamente limitada, compatível com uma topografia mais regular e homogênea, típica de superfícies obtidas por torneamento mecânico. Em contrapartida, a superfície jateada seguida de ataque ácido apresenta valor médio de 4,71 µm, evidenciando aumento significativo da amplitude vertical, o que indica maior complexidade topográfica e maior heterogeneidade estrutural.

De forma complementar, o parâmetro de profundidade de vales (Valley Roughness) permite avaliar especificamente a extensão das regiões depressivas da superfície, as quais desempenham papel relevante na interação inicial com o meio biológico. Na superfície usinada, os vales apresentam profundidade média de −1,05 µm, enquanto na superfície tratada esse valor atinge −2,11 µm, demonstrando a formação de depressões mais profundas e frequentes após o processo combinado de jateamento e ataque ácido.

Tabela 1: Média dentre os grupos análises

Parâmetro	Unidade	Usinado (Média)	Jateado + Ácido (Média)
Ra (Rugosidade Média)	µm	0,125	0,231
Rq (Rugosidade RMS)	µm	0,165	0,318
Peak Density	1/mm2	586,9	1185,8
PV (Roughness)	µm	3,50	4,71

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

4. Discussão

A análise comparativa entre as superfícies evidencia que a aplicação do jateamento e do duplo ataque ácido altera radicalmente a dinâmica da interface osso-implante. Enquanto o grupo usinado apresenta uma topografia dominada por sulcos rítmicos e paralelos — vestígios do processo de torneamento mecânico — o grupo tratado exibe uma morfologia complexa e heterogênea. Esta diferença é quantificada pelo aumento expressivo no parâmetro Ra (0,231 µm vs. 0,125 µm) e na densidade de picos, que praticamente dobra no grupo experimental. Biologicamente, essa maior complexidade topográfica é o que permite a transição da osteogênese à distância para a osteogênese de contato, onde as células formadoras de osso se depositam diretamente sobre a superfície do biomaterial (DAVIES, 2003; TABORELLI et al., 1999). A escolha do tratamento por jateamento associado ao duplo ataque ácido fundamenta-se em evidências experimentais que demonstram maior capacidade osteocondutiva em superfícies moderadamente rugosas quando comparadas às superfícies usinadas convencionais. A metodologia foi baseada em estudos de Buser et al. (1991) e Sul et al. (2006), esse tipo de modificação topográfica promove aumento da energia livre de superfície, maior molhabilidade e favorecimento da adsorção proteica inicial, fatores considerados determinantes para adesão osteoblástica e formação óssea peri-implantar.

Do ponto de vista biomaterial, essa modificação estrutural está diretamente associada ao aumento da energia livre de superfície, favorecendo a molhabilidade e a adsorção inicial de proteínas plasmáticas, etapas fundamentais para a estabilização do coágulo sanguíneo e subsequente recrutamento celular. Além disso, a presença de picos e vales contribui para a ancoragem mecânica inicial de células osteoprogenitoras, favorecendo o processo de osteogênese de contato. Observa-se sobreposição do ataque ácido sobre a textura previamente obtida pelo jateamento, resultando em uma modificação significativa da morfologia superficial. Esse processo promove o alisamento parcial das irregularidades mais agudas geradas pelo impacto das partículas abrasivas, conferindo à superfície uma aparência mais homogênea do ponto de vista microgeométrico, porém com manutenção e ampliação da rugosidade em escala micrométrica.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

Nota-se, ainda, a redução ou eliminação de bordas cortantes e de picos excessivamente agudos remanescentes do jateamento, substituídos por contornos mais arredondados e vales mais definidos, o que contribui para uma topografia mais regular e biologicamente favorável. Sugere se que essas alteraçoes decorre do efeito corrosivo controlado dos ácidos utilizados no tratamento, que promovem dissolução seletiva do titânio superficial, ampliando a complexidade tridimensional da superfície sem comprometer sua integridade estrutural.

Em análise ao processo de jateamento, a eficácia do tratamento reside na sinergia entre os dois processos. O jateamento cria uma macrorrugosidade que aumenta a área de superfície total e promove o intertravamento mecânico inicial (estabilidade secundária), enquanto o duplo ataque ácido gera microporosidades e crateras que atuam na escala celular. Segundo Gehrke (2017), essa microgeometria é crucial para a retenção do coágulo e da rede de fibrina, que serve como um arcabouço (scaffold) para a migração dos osteoblastos. A análise de MEV em alta magnitude (5000x) confirmou a presença dessas microcavidades, que, conforme apontado por Le Guéhennec (2007) e Jemat (2015), favorecem a expressão de genes osteogênicos e a rápida calcificação da matriz óssea. Outro ponto determinante discutido na literatura e corroborado pelos dados de rugosimetria é a influência da topografia na energia superficial. Em estudos de Sul (2006), superfícies mais rugosas e com maior densidade de picos tendem a apresentar maior hidrofilia, o que acelera a adsorção de proteínas osteocondutoras, como a fibronectina e a vitronectina. Resultados esses que corroboraram com estudos de Novaes (2010), a profundidade média de vales mais acentuada (−2,11µm) oferece nichos protegidos para o desenvolvimento celular inicial, protegendo o tecido neoformado das micromovimentações durante a fase crítica de cicatrização. Por fim, a literatura ressalta que a qualidade de uma superfície não se limita à sua rugosidade, mas também à sua pureza química. A utilização de ácidos fortes após o jateamento cumpre o papel secundário de descontaminação, removendo resíduos metálicos ou partículas de jateamento que poderiam induzir uma resposta inflamatória indesejada (ZAREI et al., 2014; CHAPPUI et al., 2016). De forma, como demonstrato em literatura, os resultados obtidos no presente estudoAssim, a análise micromorfológica dos implantes Dentoflex demonstra um perfil topográfico em total consonância com as exigências biomecânicas e biológicas da implantodontia moderna, oferecendo um substrato que favorece a osseointegração acelerada e a longevidade clínica do componente.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

Do ponto de vista biomaterial, essa modificação estrutural está diretamente associada ao aumento da energia livre de superfície, favorecendo a molhabilidade e a adsorção inicial de proteínas plasmáticas, etapas fundamentais para a estabilização do coágulo sanguíneo e subsequente recrutamento celular. Além disso, a presença de picos e vales contribui para a ancoragem mecânica inicial de células osteoprogenitoras, favorecendo o processo de osteogênese de contato. Essas características estão amplamente descritas na literatura. Buser et al. (1991) demonstraram que superfícies jateadas apresentam maior contato osso-implante (BIC) e melhor organização de matriz óssea quando comparadas a superfícies usinadas, atribuindo esses resultados à maior complexidade topográfica gerada pelo jateamento. De forma semelhante, Wennerberg e Albrektsson (2009) relataram que superfícies moderadamente rugosas, obtidas por jateamento e ataque ácido, apresentam desempenho biológico superior, especialmente em termos de formação óssea inicial e estabilidade secundária. Coelho et al. (2015) também observaram que a presença de micro e macroirregularidades em superfícies jateadas promove maior interdigitação mecânica entre tecido ósseo e implante, resultando em maior estabilidade biomecânica nas fases iniciais de cicatrização. Complementarmente, estudos de Davies (2003) indicam que esse tipo de topografia favorece a osteogênese de contato, na qual a formação óssea ocorre diretamente sobre a superfície do implante, ao contrário do padrão observado em superfícies lisas usinadas, onde predomina a osteogênese à distância.

As caracteristícas obtidas em análise dos grupos de jateamento e com duplo ataque ácido estão amplamente descritas na literatura. Buser (1991), onde demonstraram que superfícies jateadas apresentam maior contato osso-implante (BIC) e melhor organização de matriz óssea quando comparadas a superfícies usinadas, atribuindo esses resultados à maior complexidade topográfica gerada pelo jateamento. De forma semelhante, Wennerberg e Albrektsson (2009) relataram que superfícies moderadamente rugosas, obtidas por jateamento e ataque ácido, apresentam desempenho biológico superior, especialmente em termos de formação óssea inicial e estabilidade secundária. Coelho et al. (2015) também observaram que a presença de micro e macroirregularidades em superfícies jateadas promove maior interdigitação mecânica entre tecido ósseo e implante, resultando em maior estabilidade biomecânica nas fases iniciais de cicatrização. Complementarmente, estudos de Davies (2003) indicam que esse tipo de topografia

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

favorece a osteogênese de contato, na qual a formação óssea ocorre diretamente sobre a superfície do implante, ao contrário do padrão observado em superfícies lisas usinadas, onde predomina a osteogênese à distância.

Além disso, do ponto de vista biológico, essa configuração híbrida — jateada e posteriormente condicionada por ataque ácido — é associada a uma resposta osteogênica mais favorável, uma vez que combina microirregularidades suficientes para ancoragem celular com redução de picos excessivamente agressivos que poderiam interferir na estabilidade do coágulo. Estudos clássicos corroboram esse comportamento. Buser et al. (1991) demonstraram que superfícies submetidas a tratamentos combinados apresentam maior contato osso-implante (BIC) em comparação com superfícies apenas usinadas ou somente jateadas. De forma semelhante, Wennerberg e Albrektsson (2009) destacam que superfícies moderadamente rugosas obtidas por jateamento seguido de ataque ácido apresentam o melhor equilíbrio entre estabilidade biomecânica e resposta biológica. Coelho et al. (2015) também relatam que a redução de irregularidades excessivamente agudas pelo ataque ácido contribui para uma interface mais estável durante o processo de remodelação óssea inicial, favorecendo a maturação do tecido ósseo neoformado. Complementarmente, Davies (2003) reforça que superfícies com topografia micrometricamente otimizada favorecem a osteogênese de contato, com deposição direta de matriz óssea sobre o substrato, em contraste com superfícies excessivamente lisas ou com irregularidades inadequadamente distribuídas.

A análise comparativa das micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura demonstrou diferenças substanciais entre as superfícies usinadas e aquelas submetidas ao jateamento abrasivo seguido de duplo ataque ácido, evidenciando modificações relevantes na microtopografia do titânio grau IV. As superfícies usinadas preservaram o padrão geométrico linear decorrente do processo convencional de torneamento, caracterizado por ranhuras concêntricas e reduzida rugosidade superficial. Em contrapartida, o tratamento experimental promoveu uma morfologia irregular, heterogênea e altamente microtexturizada, com formação de microcavidades distribuídas em múltiplas escalas. Segundo Wennerberg e Albrektsson (2009), superfícies moderadamente rugosas apresentam maior potencial de interação biológica quando comparadas às superfícies lisas,

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

favorecendo eventos celulares essenciais para o processo de osseointegração. Os autores afirmam que “a rugosidade superficial exerce influência direta sobre a resposta óssea ao implante”, reforçando a importância das modificações topográficas observadas no presente estudo.

Os achados obtidos corroboram as observações descritas por Coelho et al. (2015), os quais destacam que tratamentos de superfície capazes de produzir micro e nanotopografias complexas promovem aumento significativo da área de contato osso-implante e maior estabilidade biológica inicial. A análise em alta magnificação (5000x) confirmou que o protocolo de duplo ataque ácido associado ao jateamento abrasivo foi eficaz na geração de porosidades e irregularidades superficiais capazes de ampliar a energia de superfície e favorecer a adsorção proteica. Conforme descrito por Coelho et al. (2015), “as modificações topográficas influenciam diretamente a adesão celular, a proliferação osteoblástica e a diferenciação tecidual”, evidenciando que a arquitetura superficial obtida possui potencial para otimizar a resposta biológica peri-implantar e acelerar os mecanismos iniciais de cicatrização óssea.

Adicionalmente, os resultados encontrados estão em consonância com os estudos desenvolvidos por Elias et al. (2015), que ressaltam a relevância dos tratamentos físico-químicos na indução de superfícies biologicamente ativas e funcionalmente mais previsíveis sob condições de carga. Os perfis de rugosidade observados no presente estudo constituem parâmetros fundamentais para validação da eficácia do tratamento superficial, uma vez que superfícies microtexturizadas tendem a proporcionar maior ancoragem mecânica e melhor interação celular em nível microscópico. Elias (2015) afirmam que “superfícies rugosas favorecem a retenção do coágulo sanguíneo e estimulam eventos celulares relacionados à neoformação óssea”, o que reforça a hipótese de que a topografia produzida pelo protocolo experimental possa contribuir para processos de osseointegração mais rápidos, estáveis e biologicamente seguros.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

5. Conclusão

A análise comparativa das micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura evidencia que a transição da microgeometria organizada e estriada característica da superfície usinada para a morfologia complexa resultante do jateamento abrasivo associado ao duplo ataque ácido representa uma mudança substancial no comportamento biológico potencial da superfície implantável, deslocando-se de um modelo predominantemente voltado à retenção mecânica para uma configuração favorável à integração biológica em níveis microestruturais mais profundos.

As superfícies submetidas exclusivamente à usinagem preservaram o padrão geométrico inerente ao processo de fabricação industrial, caracterizado por ranhuras concêntricas regulares e reduzida rugosidade superficial, condição que, embora proporcione relativa estabilidade mecânica inicial, limita o potencial de adesão biológica precoce e a interação celular em nível microscópico. Em contrapartida, o protocolo de tratamento superficial proposto promoveu modificações permanentes na micromorfologia do titânio, produzindo uma topografia significativamente mais irregular, heterogênea e biologicamente ativa. Os perfis de rugosidade obtidos constituem evidências fundamentais para a validação da eficácia dos tratamentos de superfície empregados, uma vez que demonstram a capacidade do implante em adquirir propriedades físico-topográficas compatíveis com maior previsibilidade clínica e potencial longevidade funcional sob condições de carga mastigatória. A análise em alta magnificação (5000x) confirmou que o tratamento químico por duplo ataque ácido foi efetivo na formação de uma infraestrutura complexa composta por microcavidades e porosidades distribuídas em múltiplas escalas topográficas.

Tal configuração superficial assume relevância biológica significativa, pois favorece a adsorção de proteínas plasmáticas, a adesão celular e a subsequente interação osteoblástica, permitindo que o tecido ósseo reconheça o implante como um substrato biologicamente compatível. Consequentemente, essa arquitetura microtopográfica pode contribuir para a aceleração do processo de osseointegração, promovendo respostas cicatriciais mais rápidas, estáveis e biologicamente seguras.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

Referências

BRÅNEMARK, P. I. et al. *Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw: experience from a 10-year period*. Stockholm: Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery Supplement, 1977. v. 16, p. 1–132.

ALBREKTSSON, T.; WENNERBERG, A. Oral implant surfaces: Part 1 – review focusing on topographic and chemical properties of different surfaces and in vivo responses to them. *The International Journal of Prosthodontics*, Lombard, v. 17, n. 5, p. 536–543, 2004.

ALBREKTSSON, T.; WENNERBERG, A. Oral implant surfaces: Part 2 – review focusing on clinical knowledge of different surfaces. *The International Journal of Prosthodontics*, Lombard, v. 17, n. 5, p. 544–564, 2004.

BUSER, D. et al. Influence of surface characteristics on bone integration of titanium implants: a histomorphometric study in miniature pigs. *Journal of Biomedical Materials Research*, Hoboken, v. 25, n. 7, p. 889–902, 1991.

CHAPPUI, S. et al. Fabrication of professionally machined and sandblasted/acid-etched titanium surfaces. *Journal of Oral Implantology*, Abingdon, v. 42, n. 3, p. 240–248, 2016.

COELHO, P. G. et al. Biologic design of dental implants. *Dental Clinics of North America*, Philadelphia, v. 59, n. 1, p. 95–115, 2015.

COELHO, P. G. et al. Biomechanical evaluation of implant surface treatment effects on osseointegration. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, Hoboken, v. 103, n. 3, p. 552–560, 2015.

DAVIES, J. E. Understanding peri-implant endosseous healing. *Journal of Dental Education*, Washington, v. 67, n. 8, p. 932–949, 2003.

ELIAS, C. N. et al. Relevância clínica das propriedades das superfícies dos implantes dentários. *Revista Brasileira de Odontologia*, Rio de Janeiro, v. 72, n. 1/2, p. 80–84, 2015.

ELIAS, C. N. et al. Relationship between surface properties (roughness, wettability and morphology) of titanium and dental implant removal torque. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, Amsterdam, v. 62, p. 270–279, 2016.

GEHRKE, S. A. et al. Effects of different surface treatments on the osseointegration of titanium implants: a histomorphometric study in rabbits. *Archives of Oral Biology*, Oxford, v. 84, p. 116–123, 2017.

GITTENS, R. A. et al. Implant osseointegration and the role of microroughness and nanostructures: lessons for spine implants. *Acta Biomaterialia*, Oxford, v. 10, n. 8, p. 3363–3371, 2014.

HOTCHKISS, K. M. et al. Titanium surface characteristics, including topography and wettability, alter macrophage activation. *Acta Biomaterialia*, Oxford, v. 31, p. 425–434, 2016.

JEMAT, A. et al. Surface modifications and their effects on titanium dental implants. *BioMed Research International*, London, v. 2015, p. 1–11, 2015.

LE GUÉHENNEC, L. et al. Surface treatments of titanium dental implants for rapid osseointegration. *Dental Materials*, Oxford, v. 23, n. 7, p. 844–854, 2007.

NOVAES, A. B. Jr. et al. Influence of implant surfaces on osseointegration. *Brazilian Dental Journal*, Ribeirão Preto, v. 21, n. 6, p. 471–481, 2010.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/08/2026 - **Accepted:** 13/09/2026
Vol: 13.23
DOI: 10.66104/ydt0g106
Pages: 1-26

RENVERT, S.; POLYZOIS, I. Risk indicators for peri-implant mucositis: a systematic literature review. *Journal of Clinical Periodontology*, Copenhagen, v. 42, suppl. 16, p. S172–S186, 2015.

SHALABI, M. M. et al. A meta-regression analysis of proposed implant surface roughness and its bone responses. *Clinical Oral Implants Research*, Copenhagen, v. 17, n. 5, p. 544–559, 2006.

SUL, Y. T. et al. The role of surface energy and water wettability in early bone responses to osseointegrated titanium implants. *Clinical Oral Implants Research*, Copenhagen, v. 17, suppl. 2, p. 130–140, 2006.

SUL, Y. T. et al. Characteristics of the surface oxide on turned and electrochemically oxidized pure titanium implants up to dielectric breakdown: the oxide thickness, micropore configurations, surface roughness, crystal structure and chemical composition. *Biomaterials*, Guildford, v. 23, n. 2, p. 491–501, 2002.

TABORELLI, M. et al. Influence of surface treatments developed for oral implants on the physical and chemical properties of titanium. *Clinical Oral Implants Research*, Copenhagen, v. 10, n. 6, p. 441–453, 1999.

WENNERBERG, A.; ALBREKTSSON, T. Effects of titanium surface topography on bone integration: a systematic review. *Clinical Oral Implants Research*, Copenhagen, v. 20, suppl. 4, p. 172–184, 2009.

ZAREI, M. et al. Evaluation of the effect of different surface treatments on the surface roughness of titanium implants. *Journal of Dentistry (Tehran)*, Tehran, v. 11, n. 4, p. 427–435, 2014.

CC BY