

**CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIGUAIACÁ**  
**GRADUAÇÃO DE ODONTOLOGIA**

ISABELLA SERBAI BILEK

**A INFLUÊNCIA DA NANOTECNOLOGIA NA OSSEOINTEGRAÇÃO**

GUARAPUAVA

2023

ISABELLA SERBAI BILEK

## **A INFLUÊNCIA DA NANOTECNOLOGIA NA OSSEOINTEGRAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito para obtenção do título de Cirurgiã Dentista pelo Centro Universitário UniGuairacá de Guarapuava.

Prof. Orientador: Vinícius Traiano.

GUARAPUAVA

2023

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por me permitir o dom da vida e aos meus pais que foram pilares do meu crescimento humano.*

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus e Nossa Senhora das Graças, onde sempre tive refúgio, e me concederam força e sabedoria em toda a minha trajetória acadêmica.

Aos meus pais, Elizandra de Fátima Serbai Bilek e Paulo Cesar Bilek, a minha irmã Gabriella Serbai Bilek e aos meus avôs Catarina Serbai e Pedro Serbai, que tanto me incentivam e não mediram esforços para me apoiar e fazer parte da realização deste grande sonho.

Ao meu noivo, Graciano, que sempre esteve ao meu lado me apoiando e nunca mediu esforços para me ajudar. Obrigada por todo companheirismo e, especialmente, por se orgulhar de mim. Eu amo você!

Agradeço ao meu orientador, professor Vinicius Traiano, minha gratidão, por ter me orientado e por partilhar seu tempo e conhecimento em prol do desenvolvimento do presente trabalho.

A todos os professores da instituição UniGuairacá pela infraestrutura oferecida e a todo corpo docente desta instituição por todo conhecimento transmitido, nesses 5 anos de curso, me capacitando a chegar até aqui. Em especial os professores, Ana Paula, André, Daíza, Gustavo, Liziane, Murilo e Sandra.

Por fim, aos meus colegas de turma e amigos, que tive amizade durante os 5 anos de curso, obrigada pela amizade com muita confiança, risadas, conselhos e por todo o incentivo.

## RESUMO

BILEK, I. S. **A Influência da Nanotecnologia na Osseointegração.** [Trabalho de Conclusão de Curso]. Guarapuava: Centro Universitário UniGuairacá; 2023.

Implantes dentários osseointegrados são estruturas fixadas ao osso que surgiram como uma excelente alternativa de reabilitação bucal. Ademais, para o êxito da osseointegração, uma série de fatores devem ser levados em consideração, sendo a superfície dos implantes uma característica fundamental para o sucesso pós-operatório. A nanotecnologia surgiu como uma nova alternativa de tratamento de superfície dos implantes, proporcionando alterações a níveis nanométricos em sua estrutura. Dessa forma, criam-se na interface implante-tecido sítios de maior afinidade para células neoformadoras ósseas iniciarem o processo de osseointegração de maneira muito mais ágil comparado a implantes sem tal tecnologia. O uso de nanopartículas alavancou o cenário da osseointegração a partir do entendimento de que rugosidades de medidas específicas fossem necessárias para que a técnica alcançasse níveis de sucesso muito próximos de 100%, agilizando os processos fisiológicos de cicatrização óssea junto aos implantes e ocasionando uma estabilidade biomecânica mais precoce. O propósito do presente estudo é a elaboração de uma revisão de literatura acerca do uso da nanotecnologia na implantodontia, elucidando dúvidas sobre sua utilização como um acelerador da osseointegração, expondo suas características, vantagens e os tipos de tratamento de superfície disponíveis. Foram utilizados artigos científicos atuais em português e inglês, encontrados nas bases de dados Scielo, PubMed e Google Acadêmico. De forma geral, a maioria dos autores concorda que a nanotecnologia associada às superfícies de implante é um fator acelerador do processo de osseointegração.

**Palavras-chave:** Nanotecnologia; Implantes Dentários; Carga Imediata em Implante Dentário; Reabilitação Bucal.

## ABSTRACT

BILEK, I. S. **The Influence of Nanotechnology on Osseointegration.** [Completion of course work]. Graduation of Dentistry. Guarapuava: UniGuairacá University Center; 2023.

Osseointegrated dental implants are structures attached to the bone that have emerged as an excellent alternative for oral rehabilitation. Furthermore, for successful osseointegration, a range of factors must be taken into account, with the surface of the implants being a fundamental characteristic for postoperative success. Nanotechnology has emerged as a new alternative for surface treatment of implants, providing changes at nanometric levels in their structure. In this way, sites of greater affinity are created at the implant-tissue interface for bone neoforming cells to initiate the osseointegration process in a much more agile way compared to implants without such technology. The use of nanoparticles leveraged the scenario of osseointegration based on the understanding that roughness of specific measures were necessary for the technique to reach levels of success very close to 100%, speeding up the physiological processes of bone healing next to the implants and causing biomechanical stability earlier. The purpose of this study is the elaboration of a literature review about the use of nanotechnology in implant dentistry, clarifying doubts about its use as an accelerator of osseointegration, exposing its characteristics, advantages and the types of surface treatment available. Current scientific articles in Portuguese and English, found in the Scielo, PubMed and Google Scholar databases, were used. In general, most authors agree that nanotechnology associated with implant surfaces is an accelerating factor in the osseointegration process.

**Key-words:** Nanotechnology; Dental Implants; Immediate Dental Implant Loading; Mouth Rehabilitation.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2. PROPOSIÇÃO</b> .....	10
2.1 PROPOSIÇÃO GERAL .....	10
2.2 PROPOSIÇÃO ESPECÍFICA .....	10
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	11
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	12
4.1 HISTÓRICO DA IMPLANTODONTIA .....	12
4.2 OSSEOINTEGRAÇÃO .....	12
4.3 TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE .....	13
4.4 TIPOS DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE .....	14
<b>4.4.1 Tratamentos mecânicos</b> .....	14
<b>4.4.2 Tratamentos químicos</b> .....	15
<b>4.4.3 Tratamentos físicos</b> .....	16
4.5 NANOTECNOLOGIA NA ODONTOLOGIA .....	16
4.6 NANOTECNOLOGIA NA IMPLANTODONTIA .....	17
4.7 IMPLANTES IMPRESSOS PELA TECNOLOGIA 3D .....	19
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	21
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	25
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	26

## 1. INTRODUÇÃO

O tratamento de reabilitação oral passou a ter elevados níveis de sucesso tanto de conforto ao paciente quanto da longevidade reabilitadora com o advento dos implantes dentários fixados pelo processo chamado de osseointegração, fenômeno descoberto pelo médico sueco Per-Ingvar Branemark na década de 1950, que se define como uma união direta, estrutural e funcional entre o osso vital organizado e a superfície de um implante. Tais estruturas permitem uma estabilidade consideravelmente mais satisfatória no momento da reabilitação protética, fornecendo ao paciente uma melhora da função mastigatória, bem como da qualidade de vida como um todo (BISPO, 2019).

O titânio é o material mais utilizado na confecção dos implantes dentários, devido à sua afinidade com o tecido ósseo no momento da sua cicatrização pós cirúrgica, sendo a resposta biológica do hospedeiro em relação às propriedades físico-químicas dos implantes primordial para o sucesso do tratamento (GUIMARÃES NETO; BACELAR, 2019).

De acordo com Costa e colaboradores (2021), o êxito durante a fixação dos implantes de titânio em osso depende de uma complexa interação entre tecido conjuntivo do paciente e o óxido metálico sobre a superfície de titânio.

Em busca de impulsionar a afinidade implante-tecido, diversos materiais já foram utilizados, persistindo o titânio comercialmente puro como unanimidade. Ademais, um dos focos atuais da implantodontia consiste de novos meios de tratamento da superfície dos implantes, visando a formação de rugosidades e acarretando o aumento de micro áreas de contato entre osso e implante por processos de adição ou remoção de partículas com uso de nanotecnologia, aprimorando a estabilidade inicial e a resistência (MONTEIRO et al., 2020).

Conforme citado por Bispo (2019), chegou ao mercado no ano de 2010 a nanotecnologia (conhecida como a quarta geração de tratamento de superfície de implantes), consistindo de alterações estruturais específicas de partículas a níveis nanométricos. Esta geração engloba processos como a combinação de anodização e ataques ácidos, além de adição de nanopartículas de hidroxiapatita, estrôncio, fluoretos e outros materiais. O objetivo primordial dos tratamentos envolve a potencialização de características como a molhabilidade e hidrofília dos implantes, visando a maximização dos processos osseointegradores.



Alterações nanométricas sobre as superfícies de implantes atuam não apenas agilizando processos iniciais da cicatrização óssea, mas também culminam numa estabilidade biomecânica mais precoce. Tais fatores são primordiais durante as fases iniciais de adesão de osteoblastos durante a osseointegração, bem como da fase de remodelação óssea (COSTA et al., 2021).

De acordo com Gupta, Noubissi e Kunrath (2020), a aposição de substâncias na superfície e insuficiência de osso em torno dos implantes são as principais causas de falha na osseointegração, tendo estes fatores ligação direta com o tipo de superfície utilizada pelas empresas durante a confecção dos implantes. Dessa forma, viu-se necessário a elaboração de novos meios de tratamento de superfície, onde resultados exímios foram notados com o advento da nanotecnologia.

O primordial motivo dos estudos nanotecnológicos consiste na busca de uma rugosidade de superfície propícia que contribua para a afinidade de aposição dos osteoblastos, células neoformadoras ósseas, sobre a superfície dos implantes. A utilização de nanopartículas fornece um ambiente adequado para adesão de agentes biológicos, além de restringir os agentes nocivos de perturbarem o sistema biológico (EDGAHI et al., 2022).

Portanto, o objetivo do presente trabalho, através de uma revisão de literatura, é relatar a aplicação de técnicas de nanotecnologia e uso de nanopartículas na superfície de implantes dentários como potencializador da osseointegração, bem como expor suas características, vantagens na área da implantodontia e os tipos de tratamento de superfície disponíveis.

## **2. PROPOSIÇÃO**

### **2.1 PROPOSIÇÃO GERAL**

O propósito do presente estudo é a elaboração de uma revisão de literatura acerca do uso da nanotecnologia na implantodontia.

### **2.2 PROPOSIÇÃO ESPECÍFICA**

Elucidar dúvidas sobre a nanotecnologia como um acelerador da osseointegração na implantodontia, além de expor suas características, vantagens, a inovação dessa técnica e os tipos de tratamento de superfície disponíveis.

### **3. METODOLOGIA**

Para tal revisão de literatura, foram selecionados artigos encontrados nas bases de dados Scielo, PubMed e Google Acadêmico, em português e inglês, entre os anos de 2019 a 2022. Foram incluídos artigos do tipo revisão de literatura, casos clínicos e estudos comparativos.

Para a pesquisa, foi feito o uso dos seguintes termos: nanotecnologia na implantodontia, nanotecnologia no tratamento de superfície de implantes, nanotechnology dental implants e nanotechnology in dentistry. Após a leitura, os artigos mais relevantes para o presente estudo foram selecionados. No caso dos artigos em língua inglesa, estes passaram por tradução.

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 HISTÓRICO DA IMPLANTODONTIA

Desde as civilizações mais antigas, se tem relatos de que o homem buscava maneiras de restituir os elementos dentários perdidos. Foram encontrados estudos arqueológicos com inúmeras tentativas do uso de diferentes materiais para a substituição de dentes e obter sucesso de implantações dentárias de origem animal, humana ou mineral. Desde milhares de anos atrás até os dias de hoje, inúmeras tentativas com os mais diferentes tipos de materiais já foram utilizadas em busca da substituição de elementos dentários perdidos (GRINGS, 2018).

Em tempos remotos, os esforços eram concentrados em práticas curativas e essas informações eram transmitidas através dos sacerdotes. Ao longo da história, há relatos evidenciando que os povos egípcios, fenícios e etruscos já buscavam maneiras de reestabelecer suas perdas dentárias desde a idade antiga, em meados de 2.500 A.C. Entretanto, o evento histórico cujo, de fato, causou grandes avanços na implantodontia foi entre as décadas de 50 e 60 com a descoberta da osseointegração por Branemark, na busca pelo tratamento de pacientes edêntulos (BISPO, 2019).

De acordo com Amorim e colaboradores (2019), o avanço técnico científico da odontologia no campo da implantodontia tem tido muito sucesso, e impulsionou a busca por estudos e aperfeiçoamentos da técnica com o decorrer dos anos, buscando a biocompatibilidade e a estabilidade dos materiais. A implantodontia tem se mostrado através dos anos como uma técnica segura, reproduzível e estável, desde que bem executada e bem planejada, vista como o padrão ouro na recuperação de espaços ausentes de elementos dentários.

### 4.2 OSSEOINTEGRAÇÃO

A osseointegração é o pré-requisito básico para a longevidade clínica dos implantes dentários. Este conceito da osseointegração surgiu por volta do ano de 1960, com o médico ortopedista sueco Per-Ingvar Branemark, sendo ele o responsável por documentar a osseointegração. Ao realizar uma pesquisa em tíbias de coelho com auxílio de câmaras ópticas de titânio, o médico descobriu por acaso que o metal e o osso se integravam perfeitamente, sem haver rejeição, formando uma forte ligação de fixação entre ambas as partes. A partir daí, Branemark aprofundou

seus estudos nessa ligação metal-hospedeiro, levando a descoberta e aplicando-a em humanos com intuito de repor dentes perdidos (NASCIMENTO, 2022).

Tal descoberta propôs a ideia da regeneração óssea, cujo tecido fica ancorado por proteínas na superfície do implante, formando uma ligação direta, funcional e estrutural. Após os primeiros estudos, surge então a concepção de que a biocompatibilidade do material utilizado é um atributo indispensável para uma ligação de sucesso entre o tecido ósseo e o biomaterial (BISPO, 2019).

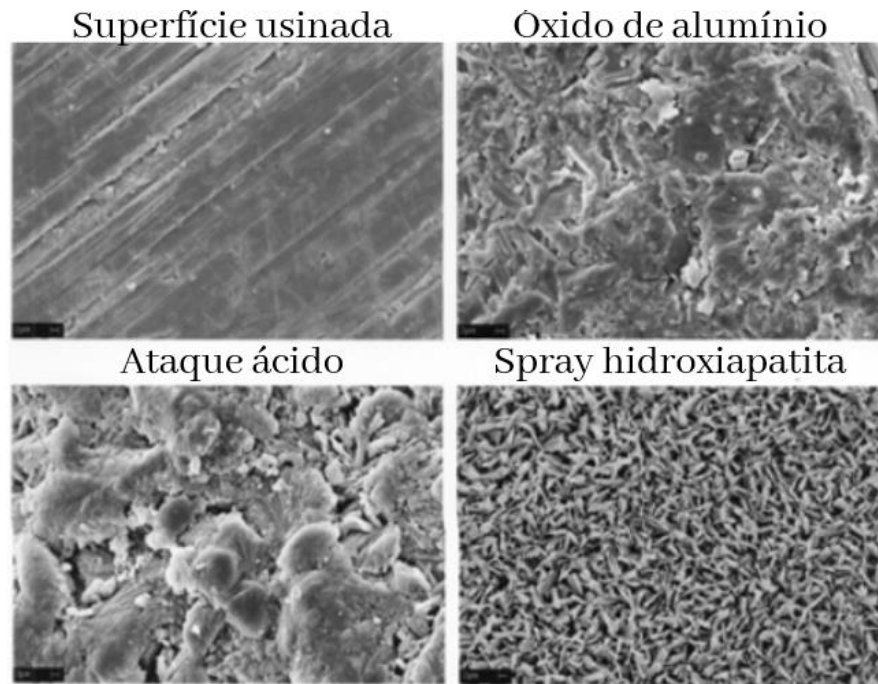
Após instalado o implante em seu sítio ósseo, proteínas plasmáticas aderem-se à superfície do implante, onde inicia-se o processo de angiogênese. Dessa forma, proporciona-se uma interação entre a superfície reativa do implante e as células neoformadoras ósseas, como os osteoblastos. Gradativamente, observa-se o aumento da aposição óssea imatura em torno do implante, sendo esta gradualmente remodelada em osso lamelar e culminando na osseointegração (GONÇALVES et al., 2020).

#### 4.3 TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE

A superfície de implantes em íntimo contato com osso tem sido vastamente estudada nos últimos anos. Sabe-se que os primeiros implantes dentários utilizados careciam de uma superfície tratada, apresentando superfície lisa pelo processo de usinagem, sendo considerado o padrão ouro para a época. Naquele tempo, o processo para alcançar a osseointegração demandava vários meses, onde começou-se a buscar formas de agilizar o método e aprimorar os resultados (LORENZONI E SILVA et al., 2016).

Na busca pelo aperfeiçoamento das superfícies dos implantes, notou-se em estudos experimentais que implantes que passavam por um processo de criação de rugosidades em sua superfície apresentavam melhor resposta biológica quando comparados aos implantes sem nenhum tipo de tratamento, onde começaram grandes estudos a fim de descobrir qual o melhor tipo de tratamento de superfície (Figura 1). Dessa forma, passou-se a entender que a texturização nas superfícies de implantes influenciava positivamente o processo da osseointegração, já que favorecia a proliferação óssea no local (MONTEIRO et al., 2020).

**Figura 1** – Ampliação microscópica em implantes com diferentes tipos de tratamento de superfície.



(ALBREKTSSON; WENNERBERG, 2004)

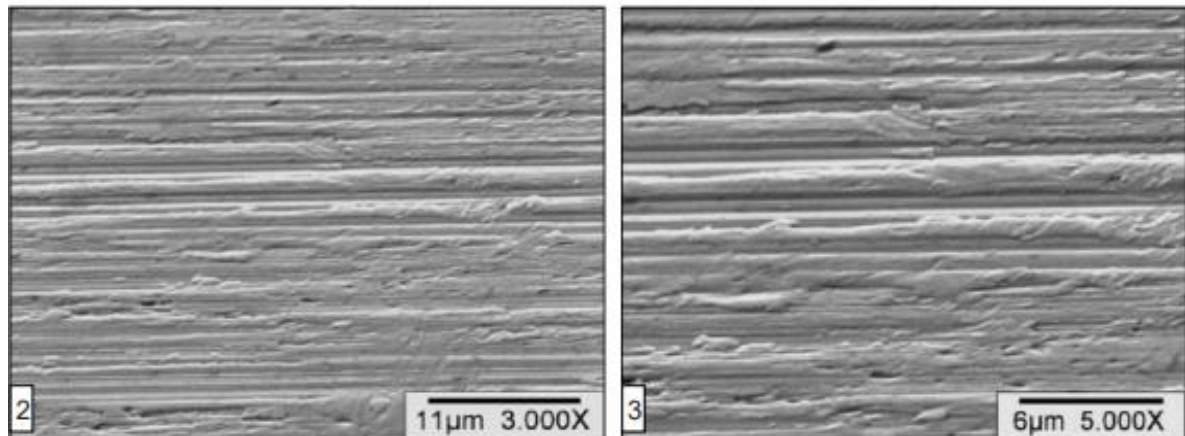
#### 4.4 TIPOS DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE

Historicamente, foram desenvolvidos diversos métodos afim de aprimorar a micro texturização dos implantes dentários, em busca de melhorar a resposta do organismo e beneficiar a formação óssea. Existem três grupos de divisão dos tratamentos de superfície, de acordo com suas características (COSTA et al., 2021).

##### 4.4.1 Tratamentos mecânicos

No tipo de tratamento de superfície mecânico (Figura 2), o objetivo é a alteração da rugosidade de superfície por meio de jateamentos, polimentos e usinagens. Dessa forma, obtém-se uma superfície mais limpa e com melhora nas capacidades de adesão (NICHOLSON, 2020).

**Figura 2** – Superfície de implante com tratamento de superfície mecânico.

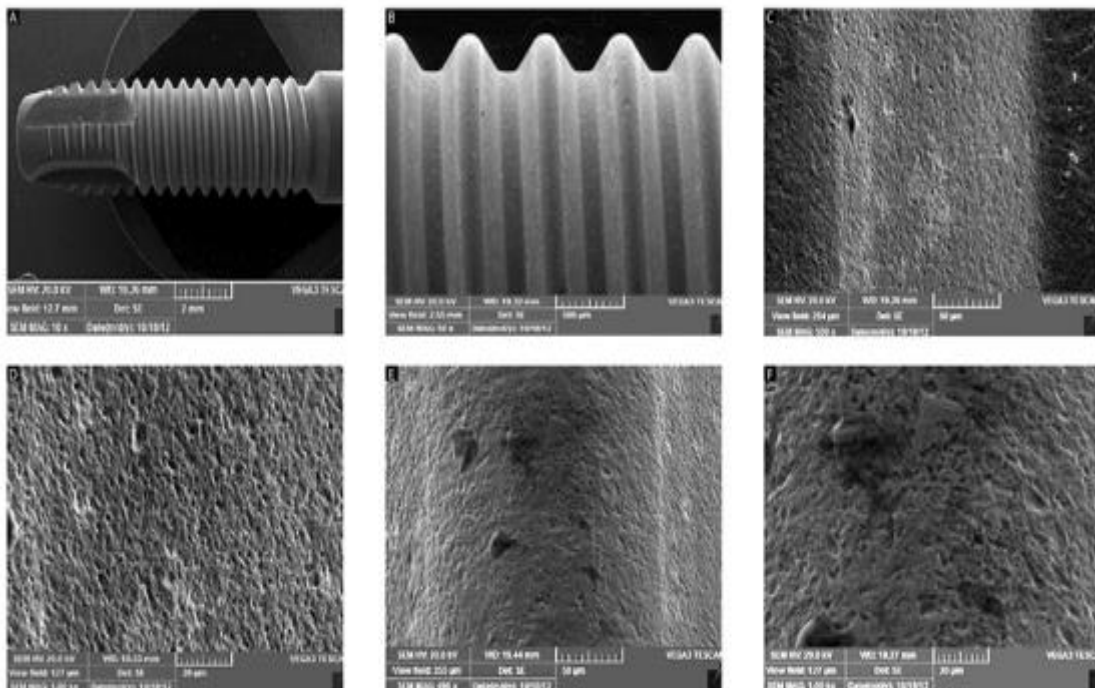


(FALCO, 2010)

#### 4.4.2 Tratamentos químicos

No tipo de tratamento superficial químico (Figura 3), a criação das rugosidades na superfície dos implantes é feita por meio de corrosões, alterando os íons presentes na região e modificando sua composição química. Com tais modificações, mantém-se o caráter hidrofílico e eleva-se a energia de superfície dos implantes. Os meios químicos mais utilizados são o ataque ácido, tratamento alcalino, oxidação anódica, peróxido de hidrogênio e oxidação eletrolítica plasmática (MAKOWIECKI et al., 2019).

**Figura 3** – Superfície de implante com tratamento de superfície químico.



(PAIXÃO et al., 2013)

#### 4.4.3 Tratamentos físicos

No tratamento físico de superfície de implantes (Figura 4), são utilizados o spray de plasma de titânio, jateamento com hidroxiapatita e a implantação de feixes de íons. Todos esses meios têm como objetivo a facilidade de criação de uma fina película de óxido de titânio durante a instalação dos implantes, favorecendo a molhabilidade e biocompatibilidade, os quais são fatores imprescindíveis para o fenômeno da osseointegração ocorrer (HANAWA, 2019).

**Figura 4** – Superfície de implante com tratamento de superfície físico.



(VIDIGAL et al., 1999)

#### 4.5 NANOTECNOLOGIA NA ODONTOLOGIA

A nanotecnologia é um artifício que vem sendo incorporado do sistema de saúde, incluindo a assistência odontológica, é conceituada como uma ciência que trabalha com o desenvolvimento de novos materiais com as propriedades de novos materiais e operações na escala nanométrica abaixo de 100 nanômetros. Alguns dos benefícios notáveis dentro do campo da odontologia incluem, tratamentos odontológicos otimizados, propriedades do material aprimoradas, como propriedades mecânicas, durabilidade e resistência, atividade antimicrobiana, remineralização, controle da dor e recuperação rápida dos pacientes graças à nanotecnologia (JHANJI; PASUPULETI, 2022).

Este ramo da tecnologia é altamente eficaz e inclui a utilização de diversos materiais biológicos que desempenham um papel de destaque. A avaliação dos benefícios e da eficácia dessa tecnologia mostra-se promissora para o uso



generalizado da tecnologia na saúde bucal. É usada na odontologia para melhorar a eficácia, e por fim, a satisfação do paciente com o tratamento (GHODS et al., 2022).

Conforme citado por Jhanji e Pasupuleti (2022), é importante desenvolver nanomateriais bioamigáveis e garantir que sejam compatíveis com todas as características do corpo humano. Partículas menores são mais bioativas e mais tóxicas. Ele pode atravessar facilmente a pele, os pulmões e, em alguns casos, a barreira hematoencefálica, aumentando sua capacidade de interagir com outros sistemas biológicos. Uma vez dentro do corpo, muitas outras reações bioquímicas podem ocorrer, incluindo a formação de radicais livres que danificam as células. O corpo constrói defesas contra as partículas naturais que encontra, mas o perigo da nanotecnologia é introduzir um novo tipo de partícula.

#### 4.6 NANOTECNOLOGIA NA IMPLANTODONTIA

Apesar de o titânio ser um metal biocompatível e com excelentes características mecânicas, ele não apresenta nenhuma propriedade que iniba a proliferação de bactérias na região do implante, e os implantes necessitam de modificações na sua superfície para aprimorar as suas propriedades e potencializar sua bioatividade na interface com o tecido natural. A aplicação da nanotecnologia em implantes dentários pode ser feita por um revestimento de nanopartículas sobre eles. Tem sido demonstrado que diferentes tipos de células respondem positivamente à nano topografia. A superfície do implante desempenha um papel crítico na determinação da biocompatibilidade e biointegração porque está em contato direto com os tecidos. Composição da superfície do implante, energia de superfície, rugosidade da superfície e topografia da superfície são os quatro fatores materiais que podem influenciar os eventos nas interfaces osso-implante (JHANJI; PASUPULETI, 2022).

Várias texturas de superfície foram criadas e usadas para influenciar com sucesso as respostas das células e tecidos. As texturas de superfície podem ser classificadas em três tipos: macro, micro e nano. Os materiais nanoestruturados podem exibir propriedades mecânicas, elétricas, magnéticas e ópticas aprimoradas em comparação com suas contrapartes convencionais em microescala ou macroescala, atuando como coadjuvantes nos processos bioquímicos. Utilizando padrões de topografia de implantes em nanoescala, geram-se partículas preparadas para desempenhar funções específicas dentro da osseointegração, onde estudos

mostraram uma melhor interação da superfície dos implantes com a membrana celular do hospedeiro (EDGAHI et al., 2022).

De acordo com Jhanji e Pasupuleti (2022), os materiais nanoestruturados contém uma grande fração volumétrica de defeitos, como contornos de grão, contornos interfases e discordâncias, e isso influencia fortemente suas propriedades químicas e físicas.

O sucesso dos implantes de titânio tratados em microescala, em particular, é apoiado por extensa literatura científica e dados clínicos de longo prazo. No entanto, as melhorias nas superfícies rugosas de titânio parecem ter atingido um excepcional patamar tecnológico com o uso de nanotecnologia. Dessa forma, foi possível o desenvolvimento de implantes de titânio com maior osteocondutividade do que os existentes previamente, sendo esse um verdadeiro desafio na implantodontia (GUPTA; NOUMBISSI; KUNRATH, 2020).

Muitos sistemas de modificação química, física e mecânica como processamento térmico, jateamento de areia, ataque ácido e revestimentos são usados para tornar as superfícies dos implantes ásperas (SCHÜNEMANN et al., 2019).

Diversos estudos clínicos demonstraram que as superfícies rugosas dos implantes apresentam níveis mais elevados de osseointegração em comparação com as superfícies lisas ou usinadas. Isso se deve não apenas a uma forte interface entre implantes e osso, mas também a uma melhor qualidade da formação óssea, melhor osteogênese e melhor capacidade de formar ligações moleculares interfaciais (NAGANUMA, 2017).

As nanointerações e a funcionalização da superfície são estimuladores muito potentes dos processos de disseminação e adesão celular. Proteínas e componentes da matriz extracelular se comunicam mais facilmente com superfícies em nanoescala por meio de ligações químicas, acelerando os processos de adesão, diferenciação e proliferação celular (GUPTA; NOUMBISSI; KUNRATH, 2020).

Além disso, diversas pesquisas comprovam a efetividade de nanopartículas de metais e óxidos de metais, o que impedem ou eliminam a formação de biofilmes bacterianos. Nesse contexto, a utilização de nanopartículas com efeito bactericida é uma opção válida para inibir a adesão de bactérias na superfície do biomaterial, como as nanopartículas de ouro, prata, zinco, cobre, entre outros (MALAEKEH-NIKOUEI et al., 2020. MATTIONI; RODRIGUES JUNIOR, 2022).

O uso de plasma reativo, tratamento térmico e mudanças drásticas na molhabilidade de materiais como titânio e zircônia através do uso de luz ultravioleta e modificação da superfície da zircônia para níveis de nanotexturização, acelera o processo de adesão e migração celular ao longo de toda a superfície, reduzindo o tempo de osseointegração para 1 mês (RASOULI et al., 2018).

#### 4.7 IMPLANTES IMPRESSOS PELA TECNOLOGIA 3D

Com o advento da nanotecnologia e a revolução digital, novos horizontes são abertos, como a impressão 3D de implantes dentários. Essa tecnologia proporciona a sinterização direta de metal a laser que permite a fabricação até mesmo de implantes perfeitamente adaptados à anatomia específica do paciente (MANGANO et al., 2020).

Particularmente, nos implantes impressos em 3D, a arquitetura das microporosidades facilita a ativação de moléculas sinalizadoras em sítios específicos, auxiliando na manutenção da altura óssea alveolar e aprimorando as características de cicatrização (LIU et al., 2021).

Referente ao processo de fabricação dos implantes impressos em 3D, eles resultam da aplicação de contínuas camadas de titânio em pó, que são fundidas na geometria final do implante pela ação de um feixe a laser de alta potência. Dessa forma, são garantidas características específicas aos implantes, como a rugosidade superficial (Figura 5), possibilitando uma osseointegração acelerada (PLENUM, 2023).

Segundos Lopes e colaboradores (2022), implantes de titânio feitos em 3D podem ser obtidos por impressão ou manufatura aditiva, onde um laser de alta potência derrete o pó de titânio camada por camada. Dessa maneira, é garantido grande precisão na confecção dos implantes com uma macrogeometria que permite estabilidade nos remanescentes ósseos de diferentes densidades.

**Figura 5** – Rugosidade superficial de implante confeccionado pela tecnologia de impressão em 3D.



(LOPES et al., 2022)

## 5. DISCUSSÃO

Lorenzoni e Silva e colaboradores (2016) destacam um fator fundamental que aprimora a osseointegração, referente ao tratamento de superfície dos implantes. Atualmente sabe-se que o sucesso clínico dos implantes depende da maneira como é modificada a sua superfície, a modificação da topografia em escala nanométrica oferece uma nova oportunidade na criação de superfícies com maior controle e leva a novos comportamentos físico-químicos o que favorece a aderência osseointegrar fornecendo uma resposta rápida e confiável a osseointegração (LUNA; ANDRADE, 2011).

Segundo Husain e colaboradores (2023), a nanotecnologia é definida como a concepção, desenvolvimento e produção de estruturas, dispositivos e sistemas com controle de tamanho e forma na escala nanométrica. A nanociência envolve a concepção de novos materiais, instrumentos e processos baseados na regulação atômica em uma escala de tamanho abaixo de 1 a 100 nanômetros.

A escala nanométrica tem demonstrado ser bastante relevante no contexto da osseointegração, influenciando na adesão celular específica, proliferação e diferenciação. Entretanto, existem poucas pesquisas sobre a importância das nanoestruturas na integração osso-implante, e os que existem indicam que estes têm um grande impacto na cicatrização óssea nos momentos iniciais. Essas alterações são importantes tanto para a diferenciação e adesão dos osteoblastos durante a fase inicial de osseointegração, quanto para a fase de remodelação óssea. O comportamento biológico do titânio, por si só, já proporciona ao implante biocompatibilidade, força e capacidade de osseointegração (WESZL et al., 2017).

Conforme citado por Lorenzoni e Silva e seus colaboradores (2016), um fator fundamental que aprimora a osseointegração, é referente ao tratamento de superfície dos implantes. Existem diversas técnicas de tratamento de superfície documentadas na literatura, mas o princípio comum de todas é o aumento da área de contato superficial do implante, por meio da criação de rugosidades.

Em um estudo dirigido por Tomsia e colaboradores (2011), constatou-se que rugosidade excessiva pode trazer a desvantagem de tornar o implante mais difícil de remover, caso faça-se necessário, e pode ser prejudicial para a resistência do implante. Deve-se levar em consideração também que os implantes com superfícies

muito ásperas podem apresentar maior possibilidade de peri-implantite, bem como comprometimento do grau de hidrofobicidade.

Segundo Gupta, Noubissi e Kunrath (2020), proteínas e componentes da matriz extracelular se comunicam mais facilmente através de ligações químicas com a superfície em nanoescala, desencadeando um processo mais rápido de adesão, diferenciação e proliferação celular quando comparados com processos de tratamentos de superfície em maiores escalas. Tomsia e seus colaboradores (2011) também sugerem que superfícies nanopadronizadas podem fornecer melhor adesão do coágulo de fibrina que se forma logo após o implante, facilitando a migração de células osteogênicas à superfície do material.

Meirelles (2010) não observou diferenças ao comparar implantes de superfície de microestruturas à implantes de superfície com nanoestruturas. Todavia, estudos como os de Wang e colaboradores (2018) afirmam que as topografias em nanoescala alteram o comportamento celular, promovendo maior absorção de proteínas, migração celular, adesão celular e diferenciação celular.

Brito e seus colaboradores (2021) demonstram que, quando comparadas, há uma resposta celular diferente à microescala em relação à nanoescala. Na microescala, as células acabam sendo forçadas a entrar em contato por características de altura semelhante a elas mesmas. Na nanoescala, as células serão guiadas a uma adesão que tende a aumentar com o tempo. Conforme as proteínas adesivas de dimensões nanométricas localizam uma superfície em nanoescala (implante nanotexturizado), as adesões das células sofrem remodelamento ao longo desta superfície, reorganizando a direção da tensão aplicada à adesão, favorecendo a ancoragem célula-implante.

Segundo Kataria e Arora (2022), a causa mais frequente de insucesso dos implantes é a formação óssea insuficiente em torno do biomaterial imediatamente após a instalação do implante. Com o revestimento de nanopartículas sobre os implantes dentários, a adesão e conexão aos tecidos circundantes é aprimorada. A superfície de um implante, que pode ser macro, micro ou nanoestruturada, desempenha um papel crítico e fundamental na determinação da biocompatibilidade, pois está em contato direto com os tecidos. Os materiais nanoestruturados demonstram exibir melhores mecânicas, magnéticas e ópticas em comparação com as convencionais microescala ou macroescala.

Nakpan e Aeimbhu (2021) relatam que técnica de anodização é comumente utilizada por ser um processo controlável e reproduzível de tratamento de superfície em nanoescala com ótimos resultados. Demonstra-se ser um método promissor que produz nano-tubos com diâmetro controlado e uniforme, sendo capaz de melhorar a biocompatibilidade, diminuir o tempo osseointegração e fornecer uma grande área superficial para se ligar às células ósseas (ESMAEILNEJAD et al., 2019).

Segundo Pavei e Celória (2022), a formação dos nano-tubos de dióxido de titânio pelo processo de anodização culmina em uma melhor osseointegração do que os implantes tratados com superfície com jateamento ou ataque ácido, podendo ainda gerar indução óssea com a adição de proteínas específicas dentro dos túbulos, o que traz melhorias na fase inicial da cicatrização e reduz consideravelmente o tempo de osseointegração.

Thakral e colaboradores (2014) afirmam em estudo que a adição de um tratamento de fosfato de cálcio em escala nanométrica associada a uma superfície de implante duplamente condicionada com ácido demonstrou aumentar a extensão do desenvolvimento ósseo após 4 e 8 semanas de cicatrização. Foi observado neste estudo que tal elevado acúmulo ósseo na superfície do implante acelera significativamente o período de cicatrização do implante, permitindo o suporte para técnicas de carga precoce.

Estudos de Lopes e colaboradores (2022) relatam que a evidente diferença entre o módulo de elasticidade da liga de titânio em implantes sólidos convencionais e o osso resulta no aumento da micromovimentação do implante no osso, o que pode comprometer a osseointegração. Atualmente, a impressão 3D de implantes de titânio tem se destacado dos métodos de usinagem para fabricação dos implantes, permitindo maior controle em algumas propriedades, como macrogeometria, molhabilidade e microestrutura superficial.

A microestrutura do implante impresso em 3D possui uma porosidade estrutural adequada para mimetizar as trabéculas ósseas, beneficiando a adesão e proliferação celular, ou seja, resultando na aceleração do processo de neoformação óssea na superfície do implante. O módulo de elasticidade é proporcional à rigidez do material, mas a presença de microporosidades reduz essa rigidez. Por conseguinte, tais características combinadas dos implantes impressos em 3D permitem que eles tenham um comportamento biomecânico muito mais semelhante ao osso, mantendo resistência mecânica adequada (LOPES et al., 2022).

Conforme descrito por Subramani e colaboradores (2018), as propriedades das superfícies, como características químicas e rugosidade exercem um papel determinante nas interações biológicas da osseointegração. Características físico-químicas na faixa nanométrica podem atualmente controlar a adsorção de proteínas, bem como a adesão e diferenciação de células, culminando em uma osseointegração precoce. Atualmente, as nanotecnologias estão sendo cada vez mais utilizadas para modificações de superfície de implantes dentários.

Thakral e colaboradores (2014) afirmam que a arquitetura nanotopográfica em implantes tem a capacidade de influenciar as interações celulares na superfície do material. Ademais, leva a um diferente comportamento celular quando comparada à topografia de tamanho convencional, alterando a adsorção celular de proteínas pela modificação em nanoescala e acelerando os processos da fase inicial da osseointegração. Dessa forma, observa-se que a propagação celular pode ser aumentada ou diminuída, dependendo da nanoarquitetura, sendo que os atuais mecanismos indicam que a proliferação celular parece ser aumentada por topografia em nanoescala.



## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A nanotecnologia associada às superfícies de implantes exerce um fator significativo na redução do tempo de osseointegração. Tendo em vista que a instalação de um implante propriamente dita pode passar por inúmeras variáveis, desde seu planejamento até sua execução, não se pode definir com exatidão em quanto tempo a osseointegração de um implante será concluída, pois depende de como o procedimento foi realizado, a técnica e materiais utilizados. Contudo, a maioria dos estudos assegura que os efeitos da nanotecnologia nas superfícies de implante são de fato aceleradores do processo de osseointegração.

## REFERÊNCIAS

- 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. **J. Prosthodont.**, v. 17, n. 5, p. 536-546, 2004.
- AMORIM, A. V. et al. Implantodontia: Histórico, Evolução e Atualidades. **Rev. Mult. Psic.**, v. 13, n. 45, p. 36-48, 2019.
- BISPO, L. B. A influência do tratamento de superfície das fixações na osseointegração. **Rev. Odontol. Univ. Cid. São Paulo**, v. 31, n. 3, p. 61-70, 2019.
- BRITO, T. O. et al. A influência da rugosidade nos mecanismos da osseointegração de implantes: uma revisão de literatura. *In*: BRITO, T. O. et al. **Odontologia: pesquisa e práticas contemporâneas**. São Paulo: Editora Científica Digital. Cáp. 3, vol. 2, p. 40-58, 2021.
- COSTA, T. L. B. et al. Nanosuperfície de titânio como uma nova realidade na implantodontia: revisão de literatura. **Rev. Psic.**, v. 15, n. 58, p. 232-241, 2021.
- EDGAHI, M. A. et al. A practical review over surface modification, nanopatterns, emerging materials, drug delivery systems, and their biophysiochemical properties for dental implants: recent progresses and advances. **Nanotechnol.**, v.1, n. 11, p. 637-679, 2022.
- ESMAEILNEJAD, A. et al. Synthesis of titanium oxide nanotubes and their decoration by MnO nanoparticles for biomedical applications. **Ceram. Int.**, v. 45, n. 15, p. 19275-19282, 2019.
- FALCO, L. A. **Tipos de superfície dos implantes dentários**. 2010. 45f. Monografia (Especialização em implantodontia) – Faisa Ciodonto, Rio de Janeiro, 2010.
- GHODS, K. et al. Newest developments of nanotechnology in dentistry: a review of literature. **Journal of Dental Materials and Techniques**, v. 11, n. 1, p. 1-10, 2022.
- GONÇALVES, S. M. et al. Influence of the use of bisphosphonates on the dental implants osseointegration. **Res., Soc. Dev.**, v. 9, n. 11, p.1-16, 2020.
- GRINGS, J. S. **Protocolo de Branemark**: uma revisão de literatura. 2018. 26f. Monografia (Conclusão de curso em Odontologia) – Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.
- GUIMARÃES NETO, U. G.; BACELAR, S. M. A. Implantes dentários com superfície tratada: revisão de literatura. **Braz. J. Implantol. Health Sci.**, v. 1, n. 4, p. 69-83, 2019.
- GUPTA, S.; NOUMBISSI, S.; KUNRATH, M. F. Nano modified zirconia dental implants: advances and the frontiers for rapid osseointegration. **Med. Devices Sens.**, v.3, n.1, p. 1-8, 2020.
- HANAHA, T. Titanium–tissue interface reaction and its control with surface treatment. **Front. Bioeng. Biotechnol.**, v. 7, n. 170, p. 1-13, 2019.

- HUSAIN, S. et al. Emerging trends in advanced translational applications of silver nanoparticles: a progressing dawn of nanotechnology. **J. Funct. Biomater.**, v. 14, n. 47, p. 1-29, 2023.
- JHANJI, K.; PASUPULETI, S. C. Nanotechnology in dentistry: a review. **J. MAR Dent. Sci.**, v. 4, n. 4, p. 1-8, 2022.
- KATARIA, A. P. S.; ARORA, G. Nanotechnology: a novel approach in dentistry. **Eur. J. Mol. Clin. Med.**, v. 9, n. 8, p. 2419-2422, 2022.
- LIU, J. et al. Surface Treatment and Bioinspired Coating for 3D-Printed Implants. **Front. Chem.**, v. 9, n.1, p. 1-14, 2021.
- LOPES, G. R. S. et al. Posterior rehabilitation using 3D-printed dental implants and synthetic regenerative biomaterials. **Braz. Dent. Sci.**, v. 25, n. 4, p. 1-9, 2022.
- LORENZONI E SILVA, F. et al. Tratamento de superfície em implantes dentários: uma revisão de literatura. **RFO**, v. 21, n. 1, p. 136-142, 2016.
- LUNA, D. M. N.; ANDRADE, C. A. S. Nanotecnologia aplicada à odontologia. **Int. J. Dent.**, v. 10, n. 3, p. 161-168, 2011.
- MAKOWIECKI, A. et al. An evaluation of superhydrophilic surfaces of dental implants - a systematic review and meta-analysis. **BMC Oral Health**, v. 19, n. 79, p. 1-13, 2019.
- MALAEKEH-NIKOUEI, B. et al. The role of nanotechnology in combating biofilm-based antibiotic resistance. **J. Drug. Deliv. Sci. Technol.**, v. 60, n. 1, 2020.
- MANGANO, C. et al. Custom-made 3D printed subperiosteal titanium implants for the prosthetic restoration of the atrophic posterior mandible of elderly patients: a case series. **Bio. Med. Central**, v. 6, n.1, p.1-14, 2020.
- MATTIONI, A. C.; RODRIGUES JUNIOR, L. F. Modificações da superfície de titânio: revisão de métodos e seu efeito osteointegrador e antibiofilme. **Discip. Sci. Sér. Ciênc. Nat. Tecnol.**, v. 23, n. 1, p. 59-74, 2022.
- MEIRELLES, L. Nanostructures and bone response. Safe alternative for rehabilitation with osseointegrated implants? **Implant News**, v. 7, n. 2, p. 169-172, 2010.
- MONTEIRO, M. T. P. et al. Tratamento de superfície de implantes dentários e a osseointegração: uma revisão de literatura. **Braz. J. Surg. Clin. Res.**, v. 1, n. 1, p. 1-4, 2020.
- NAGANUMA, T. The relationship between cell adhesion force activation on nano/micro-topographical surfaces and temporal dependence of cell morphology. **Nanoscale**, v. 9, n. 35, p. 13171-13186, 2017.
- NAKPAN, P.; AEIMBHU, A. Fabrication of titanium dioxide nanotubes by difference the anodization voltage and time. **Mater. Today: Proc.**, v. 47, n. 12, p. 3436-3440, 2021.

NICHOLSON, J. W. Titanium Alloys for Dental Implants: A Review. **MDPI**, v. 2, n. 1, p. 100 - 116, 2020.

NASCIMENTO, M. Integração célula-proteína-implante no processo de osseointegração. **Braz. J. Implantol. Health Sci.**, v. 4, n. 2, p. 44-59, 2022.

PAIXÃO, A. H. et al. Análise topográfica de implantes de titânio comercialmente puros. Estudo por meio de microscopia eletrônica de varredura. **Dental Press implantol.**, v. 7, n. 2, p. 49-58, 2013.

PAVEI, B. S.; CELÓRIA, A. A. Superfície de implantes dentários tratados com dióxido de titânio e melhorias na osseointegração. **Full Dent. Sci.**, v. 13, n. 51, p. 66-77, 2022.

PLENUM. Disponível em: <<https://plenum.bio/produtos/implantes>>. Acesso em: 23 de março de 2023.

RASOULI, R. et al. A review of nanostructured surfaces and materials for dental implants: surface coating, patterning and functionalization for improved performance. **Biomater. Sci.**, v. 6, n. 6, p. 1312-1338, 2018.

SCHÜNEMANN, F.H et al. Zirconia surface modifications for implant dentistry. **Mater. Sci. Eng. C. Mater. Biol. Appl.**, v. 98, n.1, p.1294-1305, 2019.

SUBRAMANI, K. et al. Impact of nanotechnology on dental implants. *In*: SUBRAMANI, K.; AHMED, W. **Emerging nanotechnologies in dentistry**. Massachusetts: Elsevier. Cap. 5, vol. 2, p. 83-97, 2018.

THAKRAL, G. K. et al. Nanosurface – the future of implants. **J. Clin. Diagnostic Res.**, v. 8, n. 5, p. 7-10, 2014.

TOMSIA, A. P. et al. Nanotechnology approaches for better dental implants. **Int. J. Maxillofac. Implants**, v. 26, n.1, p. 25-49, 2011.

VIDIGAL, J. R. et al. Histomorphometric analyses of hydroxyapatite-coated and uncoated titanium dental implants in rabbit cortical bone. **Implant. Dent.**, v. 8, n. 3, p. 295-302, 1999.

WANG, H. et al. Enhancing the osteogenic differentiation and rapid osseointegration of 3D printed Ti6Al4V implants via nano-topographic modification. **J. Biomed. Nanotechnol.**, v. 14, n.1, p. 707-715, 2018.

WESZL, M. et al. Investigation of the mechanical and chemical characteristics of nanotubular and nano-pitted anodic films on grade 2 titanium dental implant materials. **MSE:C**, v. 78, n. 1, p. 69-78, 2017.