



B1

ISSN: 2595-1661

ARTIGO

Listas de conteúdos disponíveis em [Portal de Periódicos CAPES](https://portal.periodicos.capes.gov.br/)

Revista JRG de Estudos Acadêmicos

Página da revista:

<https://revistajrg.com/index.php/jrg>

ISSN: 2595-1661

Revista JRG de
Estudos Acadêmicos

Retenção do parafuso protético em reabilitações totais implantossuportadas tipo All-on-4

Prosthetic screw retention in full-arch implant-supported rehabilitations using the All-on-4 concept

 DOI: 10.55892/jrg.v9i20.3036

 ARK: 57118/JRG.v9i20.3036

Recebido: 05/03/2026 | Aceito: 09/03/2026 | Publicado on-line: 11/03/2026

Cristiano Veloso¹

 <https://orcid.org/0009-0006-2303-4600>

Institutos Universitário Egas Moniz-Portugal

E-mail: veloso.cristiano@icloud.com

Jaqueline Veloso Leal

 <https://orcid.org/0009-0003-6860-2702>

Faculdade Multivix Vila Velha

E-mail: velosojaqueline006@gmail.com



Resumo

A retenção do parafuso protético constitui fator determinante para a estabilidade mecânica e longevidade das reabilitações totais implantossuportadas do tipo All-on-4. A perda de pré-carga, resultante de fenômenos tribológicos e de solicitações biomecânicas funcionais, representa uma das principais causas de afrouxamento protético nesse contexto. O presente estudo teve como objetivo analisar criticamente as evidências científicas acerca dos fatores associados à retenção do parafuso protético em reabilitações totais implantossuportadas, considerando publicações dos últimos dez anos. Trata-se de uma revisão de literatura de abordagem qualitativa e caráter narrativo. A busca bibliográfica foi realizada entre novembro de 2025 e janeiro de 2026 nas bases de dados **PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science e Embase**, utilizando descritores relacionados ao protocolo All-on-4, pré-carga, perda de torque, canais de acesso angulados e complicações mecânicas. Após aplicação dos critérios de elegibilidade, 18 estudos foram incluídos na análise final. Os resultados indicam que a estabilidade do parafuso protético depende da magnitude e manutenção da pré-carga, sendo influenciada por fatores como coeficiente de atrito, tratamento superficial do parafuso, fenômeno de acomodação inicial das superfícies metálicas, inclinação implantar, extensão do cantilever distal e precisão do ajuste passivo da infraestrutura protética. Evidências laboratoriais demonstram impacto positivo das modificações tribológicas na manutenção do torque reverso; entretanto, estudos clínicos prospectivos ainda são limitados. Conclui-se que a retenção do parafuso protético no protocolo All-on-4 apresenta natureza multifatorial, exigindo abordagem integrada envolvendo planejamento biomecânico adequado, aplicação correta do torque, controle oclusal e

¹ Cirurgião-Dentista pela Universidade Federal Fluminense-RJ. Especialista em Ortodontia pela Faculdade Paulo Picanço-CE. Mestrado em Medicina Dentária pelo Institutos Universitário Egas Moniz-Portugal



monitoramento periódico para redução das complicações mecânicas e aumento da previsibilidade terapêutica.

Palavras-chave: Implantes Dentários; Prótese Dentária Fixada por Implante; Pré-carga; Complicações Mecânicas; Protocolo All-on-4.

Abstract

Prosthetic screw retention represents a critical factor for the mechanical stability and long-term success of full-arch implant-supported rehabilitations using the All-on-4 concept. Preload loss resulting from tribological phenomena and functional biomechanical loading is considered one of the main causes of prosthetic screw loosening in this treatment modality. This study aimed to critically analyze scientific evidence regarding factors associated with prosthetic screw retention in full-arch implant-supported rehabilitations published over the last ten years. A qualitative narrative literature review was conducted. The bibliographic search was performed between November 2025 and January 2026 using PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and Embase databases, employing descriptors related to the All-on-4 protocol, preload maintenance, screw loosening, angled screw channels, and mechanical complications. After applying eligibility criteria, 18 studies were included in the final analysis. The findings indicate that prosthetic screw stability depends on both preload magnitude and maintenance, being influenced by friction coefficient, screw surface treatment, settling effect, implant angulation, distal cantilever extension, and passive fit accuracy of the prosthetic framework. Laboratory evidence suggests improved reverse torque maintenance with tribological surface modifications; however, long-term prospective clinical studies remain limited. It can be concluded that prosthetic screw retention in the All-on-4 protocol is multifactorial, requiring an integrated biomechanical approach involving proper torque application, occlusal control, accurate prosthetic fit, and periodic clinical monitoring to minimize mechanical complications and enhance treatment predictability.

Keywords: Dental Implants; Implant-Supported Fixed Prosthesis; Preload; Mechanical Complications; All-on-4 Concept.

INTRODUÇÃO

A reabilitação de pacientes totalmente edêntulos por meio de próteses fixas implantossuportadas representa um dos avanços mais significativos da Implantodontia contemporânea. Nesse contexto, o conceito All-on-4 consolidou-se como alternativa previsível para a reabilitação total, utilizando quatro implantes estrategicamente distribuídos, com inclinação distal dos implantes posteriores para otimização da ancoragem óssea e redução do cantilever protético (MALÓ et al., 2019). Estudos clínicos de médio e longo prazo demonstram elevadas taxas de sobrevivência implantar e protética, reforçando a estabilidade do protocolo mesmo em maxilas com reabsorção óssea avançada (LOPES; NOBRE; VITOR, 2024).

Apesar dos resultados clínicos favoráveis, as complicações técnicas permanecem como um desafio relevante nas reabilitações totais fixas. Entre elas, o afrouxamento do parafuso protético é descrito como uma das intercorrências mecânicas mais frequentes, podendo comprometer a estabilidade da prótese, a adaptação passiva da estrutura e a longevidade do tratamento (VERMA et al., 2023). Revisões sistemáticas recentes indicam que complicações protéticas, incluindo perda de torque e fratura de componentes, apresentam incidência clínica significativa ao longo do acompanhamento,



especialmente em reabilitações de arco total submetidas a elevadas cargas funcionais (DA SILVA BEZERRA et al., 2023).

A retenção do parafuso protético está diretamente relacionada à manutenção da pré-carga gerada durante o torque de instalação. Fatores como desenho do parafuso, tratamento de superfície, coeficiente de atrito e estabilidade da interface implante-pilar influenciam de maneira determinante o comportamento mecânico do conjunto (COLPAK; GUMUS, 2020; DE MOURA et al., 2017). Além disso, a presença de canais de acesso angulados, frequentemente empregados no protocolo All-on-4 devido à inclinação dos implantes posteriores, pode alterar a distribuição das forças e interferir na manutenção do torque ao longo do tempo (SWAMIDASS et al., 2020; GREER et al., 2017).

Revisões sistemáticas sobre conexões parafusadas em implantodontia demonstram que a pré-carga constitui o principal fator responsável pela estabilidade mecânica da interface implante-pilar, sendo definida como a força tensional gerada ao longo do corpo do parafuso após a aplicação do torque. Evidências científicas indicam que apenas uma fração do torque aplicado é convertida em força axial efetiva, enquanto grande parte da energia é dissipada em função do atrito entre as roscas e sob a cabeça do parafuso, tornando o comportamento tribológico determinante para a manutenção da estabilidade protética. Além disso, o fenômeno de acomodação inicial das superfícies metálicas, conhecido como settling effect, promove redução precoce da pré-carga após os primeiros ciclos funcionais, sendo considerado o principal mecanismo associado ao afrouxamento do parafuso protético. Estratégias clínicas como retorque após assentamento inicial, controle biomecânico das cargas oclusais e aprimoramento dos tratamentos superficiais dos parafusos têm sido apontadas como medidas eficazes para minimizar a perda de tensão ao longo do tempo, embora ainda exista limitação de estudos clínicos prospectivos longitudinalmente controlados que correlacionem diretamente valores de pré-carga com falhas protéticas em longo prazo (THEOHARIDOU et al., 2009; MARTIN et al., 2001; JÖRNÉUS; JEMT; CARLSSON, 1992).

Do ponto de vista biomecânico, a inclinação dos implantes distais modifica o padrão de transmissão de tensões para a estrutura protética e para os componentes parafusados. Modelos de elementos finitos demonstram que a angulação e o comprimento do cantilever influenciam significativamente os níveis de estresse concentrados nos parafusos protéticos, podendo favorecer a perda de pré-carga sob carregamento cíclico (ŞENTÜRK et al., 2024; TSAI et al., 2024). Dessa forma, a interação entre desenho protético, material da infraestrutura e configuração implantar constitui variável crítica na prevenção de complicações mecânicas.

Diante desse cenário, torna-se fundamental compreender os determinantes mecânicos e clínicos associados à retenção do parafuso protético em reabilitações totais implantossuportadas tipo All-on-4. A análise integrada das evidências recentes permite identificar fatores de risco, estratégias preventivas e protocolos clínicos capazes de reduzir a incidência de afrouxamento e falhas mecânicas, contribuindo para maior previsibilidade e longevidade das reabilitações de arco total. Assim, esta revisão de literatura tem como objetivo analisar criticamente os estudos publicados nos últimos dez anos acerca da retenção do parafuso protético nesse contexto específico.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão de literatura de abordagem qualitativa e caráter narrativo, cujo objetivo foi analisar criticamente as evidências científicas acerca da retenção do parafuso protético em reabilitações totais



implantossuportadas do tipo All-on-4, considerando publicações dos últimos dez anos. A escolha pelo modelo de revisão narrativa justifica-se pela necessidade de integração crítica de evidências clínicas, laboratoriais e biomecânicas heterogêneas relacionadas ao tema, permitindo análise interpretativa ampla dos fatores associados às complicações mecânicas em reabilitações implantossuportadas de arco total.

Uma estratégia sistematizada de busca bibliográfica foi conduzida no período de novembro de 2025 a janeiro de 2026 nas bases de dados **PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science e Embase**, reconhecidas internacionalmente por indexarem periódicos científicos revisados por pares e de elevado impacto na área biomédica e odontológica. A seleção dessas bases teve como objetivo garantir a inclusão de evidências científicas provenientes de revistas de alta relevância acadêmica e rigor metodológico.

A estratégia de busca foi estruturada a partir da combinação dos seguintes descritores em língua inglesa: “All-on-4”, “full-arch implant prosthesis”, “prosthetic screw loosening”, “abutment screw preload”, “angled screw channel”, “tilted implants biomechanics” e “mechanical complications”. Os termos foram combinados utilizando operadores booleanos (AND, OR), conforme a seguinte estratégia principal: (“All-on-4” OR “full-arch implant prosthesis”) AND (“prosthetic screw loosening” OR “abutment screw preload”) AND (“mechanical complications” OR “angled screw channel” OR “tilted implants biomechanics”).

Foram adotados como critérios de inclusão: (I) artigos publicados entre 2016 e 2026; (II) estudos clínicos prospectivos ou retrospectivos, ensaios laboratoriais *in vitro*, análises por elementos finitos e revisões sistemáticas; e (III) pesquisas que abordassem diretamente complicações mecânicas, perda de torque, pré-carga, estabilidade do parafuso protético ou influência da angulação implantar em reabilitações totais implantossuportadas. Foram excluídos estudos que tratassem exclusivamente de overdentures, próteses unitárias sem correlação biomecânica com reabilitações de arco total, investigações restritas a aspectos biológicos peri-implantares ou trabalhos que não apresentassem relação direta com retenção parafusada.

A busca inicial identificou **96 estudos potencialmente relevantes**. Após remoção de duplicatas e análise dos títulos e resumos, **34 artigos** foram selecionados para leitura na íntegra. Após aplicação dos critérios de elegibilidade e análise crítica metodológica, **18 estudos** foram incluídos na amostra final desta revisão. A seleção foi conduzida por avaliador único, seguindo critérios previamente definidos para garantir consistência metodológica e reprodutibilidade do processo de triagem.

Os estudos incluídos foram classificados conforme o delineamento metodológico em estudos clínicos, estudos laboratoriais *in vitro*, análises por elementos finitos e revisões sistemáticas. Posteriormente, os artigos foram analisados criticamente quanto aos objetivos, métodos empregados, principais resultados e aplicabilidade clínica. Os dados extraídos foram organizados segundo os seguintes eixos temáticos: (I) princípios mecânicos da pré-carga e torque do parafuso protético; (II) influência da angulação dos implantes no protocolo All-on-4; (III) complicações mecânicas em reabilitações totais implantossuportadas; e (IV) estratégias clínicas para prevenção do afrouxamento do parafuso.

Por tratar-se de estudo baseado exclusivamente em dados secundários disponíveis na literatura científica, não houve necessidade de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa, conforme as diretrizes vigentes para pesquisas que não envolvem diretamente seres humanos.



RESULTADOS

A análise dos 18 estudos incluídos nesta revisão evidenciou que o afrouxamento do parafuso protético constitui uma das complicações mecânicas mais frequentemente relatadas em reabilitações totais implantossuportadas do tipo All-on-4. Estudos clínicos demonstraram que a perda de torque ocorre predominantemente nos períodos iniciais após a instalação protética, sendo atribuída ao fenômeno de acomodação das superfícies metálicas e consequente redução da pré-carga inicial (THEOHARIDOU et al., 2009; KIM et al., 2021). Investigações laboratoriais confirmam que parte significativa da tensão gerada durante o torque de inserção é dissipada após os primeiros ciclos de carregamento funcional (MARTIN et al., 2001).

Em relação aos fatores determinantes da manutenção da pré-carga, observou-se influência direta do material do parafuso, do tratamento superficial e do coeficiente de atrito presente na interface implante-pilar. Estudos experimentais demonstraram que modificações superficiais promovem aumento dos valores de torque reverso e maior estabilidade mecânica após carregamento cíclico (DE MOURA et al., 2017; COLPAK; GUMUS, 2020). Esses achados indicam que características tribológicas do parafuso desempenham papel fundamental na longevidade das reabilitações implantossuportadas.

A influência da angulação dos implantes posteriores, característica biomecânica do protocolo All-on-4, foi amplamente abordada nos estudos analisados. Pesquisas baseadas em análise por elementos finitos evidenciaram alterações na distribuição das tensões protéticas, com maior concentração de estresse nos componentes parafusados em implantes inclinados e presença de cantilever distal (SANINNO, 2015; ŞENTÜRK et al., 2024). Estudos clínicos relacionados ao uso de canais de acesso angulados demonstraram variações nos valores efetivos de torque e maior dependência da técnica operatória para manutenção da estabilidade protética (SWAMIDASS et al., 2020; GREER et al., 2017).

No tocante às complicações técnicas em reabilitações de arco total, revisões sistemáticas e estudos clínicos longitudinais relataram que o afrouxamento do parafuso permanece como a intercorrência mecânica mais prevalente, seguido por fraturas de componentes protéticos e falhas estruturais da infraestrutura (BERGLUNDH et al., 2002; JUNG et al., 2012; VERMA et al., 2023). Tais complicações demonstraram associação direta com extensão do cantilever, adaptação passiva inadequada e sobrecarga oclusal.

Por fim, diferentes estratégias clínicas foram identificadas para minimizar a perda de pré-carga e aumentar a retenção do parafuso protético. Entre elas destacam-se a aplicação do torque recomendado pelo fabricante, realização de retorque após o assentamento inicial do parafuso e otimização do ajuste passivo da estrutura protética (MARTIN et al., 2001; SWAMIDASS et al., 2020; MALÓ et al., 2019). De maneira geral, os resultados evidenciam que a estabilidade do parafuso protético em reabilitações All-on-4 apresenta natureza multifatorial, envolvendo interação entre fatores mecânicos, biomecânicos e clínicos.

DISCUSSÃO

4.1 PRÉ-CARGA E COMPORTAMENTO TRIBOLÓGICO DO PARAFUSO PROTÉTICO

A estabilidade do parafuso protético em reabilitações totais implantossuportadas está diretamente relacionada à geração e manutenção da pré-carga resultante da aplicação do torque. A pré-carga corresponde à força tensional desenvolvida ao longo do corpo do parafuso, responsável por manter a união estável entre as superfícies da



interface implante-pilar. Conforme demonstrado por MARTIN et al. (2001), aproximadamente 10% do torque aplicado é convertido em força axial efetiva, enquanto a maior parcela é dissipada em função do atrito nas roscas e sob a cabeça do parafuso. Esse achado evidencia que o valor nominal de torque não reflete necessariamente a real força de união obtida, sendo fortemente dependente das propriedades tribológicas do sistema.

O fenômeno denominado *settling effect* constitui um dos principais mecanismos responsáveis pela redução precoce da pré-carga. THEOHARIDOU et al. (2009) demonstraram que irregularidades microscópicas nas superfícies metálicas sofrem deformação plástica durante os primeiros ciclos funcionais, resultando em relaxamento da tensão interna do parafuso. Esse processo explica a ocorrência de afrouxamento precoce mesmo em sistemas corretamente torqueados, sobretudo nas primeiras semanas após instalação protética. Em reabilitações de arco total, nas quais as cargas mastigatórias são amplificadas, tal perda inicial de pré-carga pode assumir impacto clínico ainda mais relevante.

A literatura contemporânea aponta o comportamento tribológico como variável determinante na eficiência da conversão do torque em força tensional efetiva. Estudos experimentais demonstram que modificações superficiais do parafuso, incluindo revestimentos específicos e tratamentos térmicos, reduzem o coeficiente de atrito e aumentam os valores de torque reverso após ciclagem mecânica (DE MOURA et al., 2017; COLPAK; GUMUS, 2020). Esses achados sugerem que sistemas com menor fricção interna apresentam maior eficiência mecânica. Contudo, observa-se que tais estudos são majoritariamente laboratoriais, conduzidos sob condições controladas que não reproduzem integralmente o ambiente clínico, no qual fatores como umidade, contaminação e variações oclusais podem alterar significativamente o comportamento mecânico do conjunto.

Outro ponto de discussão refere-se à diferença entre magnitude inicial da pré-carga e sua manutenção ao longo do tempo. Embora valores elevados de torque promovam maior força tensional inicial, não há consenso de que a elevação indiscriminada do torque resulte em melhor estabilidade a longo prazo. Pelo contrário, estudos indicam que sistemas com melhor equilíbrio tribológico apresentam menor taxa relativa de perda de tensão após ciclagem mecânica, mesmo quando submetidos a valores de torque padronizados (COLPAK; GUMUS, 2020). Tal constatação reforça que a durabilidade da retenção protética depende da estabilidade da pré-carga sob condições dinâmicas, e não apenas de sua magnitude inicial.

No contexto do protocolo All-on-4, a relevância clínica desses fenômenos torna-se ainda mais evidente. A presença de implantes inclinados e cantilever distal aumenta a incidência de forças oblíquas e momentos de flexão, potencializando a solicitação mecânica sobre os parafusos protéticos (SANINNO, 2015; ŞENTÜRK et al., 2024). Pequenas perdas de pré-carga, nesse cenário, podem favorecer micromovimentos na interface implante-pilar, desencadeando progressão para afrouxamento clínico ou até fratura do componente. Assim, a estabilidade do parafuso em reabilitações All-on-4 depende da interação entre propriedades tribológicas, magnitude do torque aplicado e configuração biomecânica do sistema.

Apesar do consenso quanto à importância da pré-carga, observa-se lacuna significativa na literatura no que se refere à correlação entre valores clínicos reais de torque reverso e taxas de falha protética em estudos longitudinalmente controlados. A maioria das evidências deriva de ensaios in vitro, limitando a extrapolação direta para o ambiente clínico. Tal cenário evidencia a necessidade de pesquisas prospectivas que



integrem análise biomecânica, monitoramento de torque ao longo do tempo e desfechos clínicos em reabilitações totais implantossuportadas, especialmente no contexto do protocolo All-on-4.

4.2 INFLUÊNCIA DA ANGULAÇÃO IMPLANTAR NO PROTOCOLO ALL-ON-4

A inclinação dos implantes posteriores constitui um dos princípios biomecânicos centrais do protocolo All-on-4, permitindo maximização do suporte ósseo disponível e redução da necessidade de procedimentos reconstrutivos extensos. Contudo, essa estratégia promove alterações relevantes no padrão de transmissão de cargas ao longo do sistema implante-prótese. Estudos baseados em análise por elementos finitos demonstram que implantes inclinados favorecem redistribuição das forças mastigatórias, reduzindo o momento de flexão distal associado ao cantilever, porém aumentando componentes de força oblíqua direcionadas à interface implante-pilar (SANINNO, 2015; ŞENTÜRK et al., 2024).

Sob perspectiva biomecânica, forças não axiais apresentam maior potencial de induzir micromovimentos na conexão protética, condição diretamente relacionada à perda progressiva da pré-carga do parafuso. Modelos computacionais indicam aumento da concentração de tensões na região cervical do implante e no conjunto parafusado quando comparados a implantes axialmente posicionados. Entretanto, revisões clínicas demonstram ausência de consenso quanto ao aumento proporcional das complicações protéticas em implantes inclinados, sugerindo que variáveis clínicas adicionais exercem papel modulador significativo sobre o comportamento mecânico do sistema (JUNG et al., 2012; VERMA et al., 2023).

Estudos clínicos longitudinalmente acompanhados evidenciam que as taxas de sobrevivência protética em protocolos All-on-4 permanecem elevadas mesmo na presença de implantes inclinados (MALÓ et al., 2019). Essa aparente divergência entre resultados biomecânicos teóricos e desfechos clínicos pode ser explicada pela splintage rígida da infraestrutura protética, capaz de redistribuir cargas funcionais ao longo do arco e reduzir concentrações locais de estresse mecânico. Assim, o comportamento biomecânico do sistema deve ser compreendido como resultado da interação entre posicionamento implantar, rigidez estrutural da prótese e equilíbrio oclusal global.

Outro aspecto relevante refere-se à influência indireta da angulação implantar sobre a aplicação do torque protético. A inclinação frequentemente exige utilização de canais de acesso angulados para obtenção de emergência protética adequada, podendo reduzir a eficiência da transferência do torque durante a instalação do parafuso. Estudos experimentais demonstram que a angulação do acesso altera a transmissão da força rotacional aplicada pela chave protética, produzindo diferenças entre torque nominal e torque efetivamente transmitido ao componente protético (SWAMIDASS et al., 2020; GREER et al., 2017). Tal condição reforça a elevada dependência técnica do operador e evidencia a necessidade de rigor clínico durante a instalação.

Além disso, a presença de cantilever distal permanece como variável biomecânica crítica no protocolo All-on-4. Embora a inclinação dos implantes tenha sido originalmente proposta para reduzir sua extensão, análises biomecânicas indicam que pequenas variações no comprimento distal podem amplificar significativamente o momento de força aplicado aos parafusos protéticos, aumentando o risco de perda de pré-carga (SANINNO, 2015). Dessa forma, o controle da extensão protética distal parece exercer influência mais determinante sobre a estabilidade mecânica do sistema do que a angulação implantar isoladamente.



Diante dessas evidências, a inclinação dos implantes não deve ser interpretada como fator isolado de risco para afrouxamento do parafuso protético. Os achados sugerem que o sucesso biomecânico do protocolo All-on-4 depende de abordagem integrada envolvendo planejamento tridimensional adequado, ajuste passivo preciso da infraestrutura e controle biomecânico da oclusão funcional (MALÓ et al., 2019; JUNG et al., 2012). Persistem, entretanto, lacunas científicas relacionadas à escassez de estudos clínicos prospectivos capazes de correlacionar diretamente diferentes graus de inclinação implantar com a manutenção da pré-carga ao longo do tempo, indicando importante campo para futuras investigações.

4.3 CANAIS DE ACESSO ANGULADOS E EFICIÊNCIA DA RETENÇÃO PARAFUSADA

A introdução dos canais de acesso angulados (*angled screw channel* – ASC) representou avanço significativo nas reabilitações implantossuportadas de arco total, permitindo melhor posicionamento protético mesmo na presença de implantes inclinados característicos do protocolo All-on-4. Entretanto, a influência dessa angulação sobre a estabilidade da retenção parafusada permanece tema amplamente discutido na literatura recente. Estudos experimentais demonstram que a aplicação do torque em sistemas com angulação entre a chave protética e o parafuso pode reduzir a eficiência da transferência da força rotacional, ocasionando diferença entre o torque nominal aplicado e o torque efetivamente transmitido ao componente protético (SWAMIDASS et al., 2020).

Do ponto de vista biomecânico, a alteração do eixo de inserção do torque promove modificações na distribuição das forças na cabeça do parafuso e na interface implante– pilar. GREER et al. (2017) observaram que sistemas com acesso angulado apresentam maior suscetibilidade à variação mecânica durante a instalação, especialmente quando associados a implantes inclinados. De forma semelhante, análises laboratoriais demonstraram que o aumento da angulação pode gerar componentes adicionais de torque lateral, favorecendo microdeformações e possível redução da pré-carga inicial.

Entretanto, a evidência clínica disponível não confirma de maneira consistente aumento significativo das complicações protéticas associadas exclusivamente ao uso de ASC. Estudos clínicos avaliando próteses implantossuportadas indicam que fatores como ajuste passivo da infraestrutura e distribuição oclusal adequada apresentam impacto mais relevante sobre a estabilidade protética do que a angulação do canal de acesso isoladamente (KIM et al., 2021; MALÓ et al., 2019). Esses achados sugerem que o desempenho mecânico do sistema depende da interação entre múltiplas variáveis clínicas e não apenas da geometria do acesso parafusado.

Adicionalmente, análises por elementos finitos demonstram que implantes inclinados associados a canais angulados podem aumentar a concentração de tensões em regiões específicas da conexão protética, principalmente sob cargas oblíquas e presença de cantilever distal (SANINNO, 2015; ŞENTÜRK et al., 2024). Todavia, tais modelos computacionais apresentam limitações inerentes, uma vez que não reproduzem integralmente fatores clínicos dinâmicos, como adaptação protética, variações oclusais individuais e fadiga mecânica cumulativa.

Outro aspecto relevante refere-se à dependência técnica do operador durante a instalação do parafuso em sistemas ASC. Estudos indicam que pequenas variações na estabilidade da chave protética, na calibração do torquímetro ou na direção da aplicação da força podem interferir diretamente na geração de pré-carga efetiva (COLPAK;



GUMUS, 2020). Dessa forma, o desempenho clínico dos canais angulados parece estar mais relacionado à precisão operatória do que propriamente à limitação biomecânica do conceito.

Assim, a literatura atual sugere que os canais de acesso angulados não devem ser considerados fator isolado de risco para afrouxamento do parafuso protético em reabilitações All-on-4. Em vez disso, sua utilização exige planejamento protético cuidadoso, controle do cantilever e execução técnica rigorosa, ressaltando a necessidade de estudos clínicos prospectivos de longo prazo capazes de estabelecer evidências definitivas sobre sua influência na retenção parafusada.

4.4 COMPLICAÇÕES MECÂNICAS EM REABILITAÇÕES TOTAIS IMPLANTOSSUPORTADAS: UMA ANÁLISE MULTIFATORIAL

As complicações mecânicas em reabilitações totais implantossuportadas do tipo All-on-4 não podem ser atribuídas a um único fator etiológico, sendo atualmente compreendidas como resultado da interação dinâmica entre variáveis biomecânicas, estruturais e clínicas. Entre essas complicações, o afrouxamento do parafuso protético permanece como o evento técnico mais frequentemente relatado na literatura, configurando não apenas uma falha isolada do componente, mas um indicativo de desequilíbrio biomecânico do sistema reabilitador (JUNG et al., 2012; VERMA et al., 2023).

Estudos clínicos longitudinais demonstram que o afrouxamento do parafuso raramente ocorre de forma independente, estando frequentemente associado à combinação de fatores como perda progressiva de pré-carga, inadequado ajuste passivo da infraestrutura protética e sobrecarga oclusal funcional. A ausência de adaptação passiva adequada pode gerar tensões residuais constantes na interface implante-pilar, favorecendo micromovimentos e relaxamento gradual da tensão interna do parafuso mesmo na ausência de sobrecarga mastigatória evidente (MALÓ et al., 2019). Nesse contexto, o afrouxamento deve ser interpretado mais como consequência biomecânica acumulativa do que como falha primária do componente protético.

A extensão do cantilever distal representa outro determinante crítico das complicações mecânicas. Embora o conceito All-on-4 tenha sido desenvolvido justamente para reduzir a necessidade de extensões distais excessivas, análises biomecânicas indicam que pequenas variações no comprimento do cantilever podem amplificar exponencialmente o momento de força transmitido aos implantes posteriores e aos parafusos protéticos (SANINNO, 2015). Tal fenômeno explica por que protocolos clinicamente semelhantes podem apresentar comportamentos mecânicos distintos, dependendo da relação entre comprimento protético distal e distribuição oclusal das cargas.

Além dos fatores estruturais, a dinâmica oclusal desempenha papel fundamental na manutenção da estabilidade protética. Cargas excêntricas, interferências oclusais e ausência de distribuição equilibrada das forças mastigatórias aumentam a incidência de forças não axiais, reconhecidas como principais responsáveis pela perda progressiva de pré-carga (THEOHARIDOU et al., 2009). Dessa forma, o sucesso biomecânico das reabilitações All-on-4 depende não apenas do posicionamento implantar, mas também de planejamento oclusal criterioso e acompanhamento clínico periódico.

Outro aspecto frequentemente subestimado refere-se à influência da execução técnica clínica. A correta aplicação do torque recomendado, o uso de instrumentos calibrados e a realização do retorque após o assentamento inicial do parafuso demonstram impacto direto na redução das complicações mecânicas (MARTIN et al.,



2001; COLPAK; GUMUS, 2020). Esses fatores evidenciam que a previsibilidade do tratamento não está exclusivamente relacionada ao desenho do sistema implantar, mas também à padronização dos protocolos clínicos adotados.

De forma integrada, os estudos analisados indicam que as complicações mecânicas em reabilitações totais implantossuportadas devem ser compreendidas dentro de um modelo multifatorial, no qual pré-carga, angulação implantar, extensão do cantilever, ajuste passivo e controle oclusal atuam de maneira interdependente. Assim, abordagens que buscam explicar o afrouxamento do parafuso a partir de variável única tendem a simplificar excessivamente um fenômeno biomecânico complexo. A literatura contemporânea reforça que a estabilidade a longo prazo do protocolo All-on-4 depende da integração entre planejamento digital, execução cirúrgica precisa e refinamento protético adequado, evidenciando necessidade de estudos clínicos prospectivos que avaliem simultaneamente essas variáveis ao longo do tempo.

4.5 IMPLICAÇÕES CLÍNICAS E PERSPECTIVAS FUTURAS

A análise integrada dos estudos incluídos nesta revisão permite inferir que a retenção do parafuso protético em reabilitações totais implantossuportadas do tipo All-on-4 deve ser compreendida dentro de uma abordagem preventiva e multifatorial. Embora o afrouxamento do parafuso permaneça como a complicação técnica mais frequentemente relatada em próteses implantossuportadas de arco total (JUNG et al., 2012; VERMA et al., 2023), os achados sugerem que sua ocorrência está mais relacionada à interação entre variáveis biomecânicas e clínicas do que a falhas inerentes ao componente protético isoladamente.

Do ponto de vista clínico, a correta aplicação do torque recomendado pelo fabricante associada à realização do retorque após o período inicial de acomodação superficial constitui estratégia amplamente respaldada pela literatura biomecânica. MARTIN et al. (2001) demonstraram que parte significativa da pré-carga é perdida imediatamente após o assentamento das superfícies metálicas, fenômeno descrito como *settling effect*, reforçando a importância do retorque para compensação da perda inicial de tensão. Dessa forma, protocolos clínicos padronizados tornam-se fundamentais para manutenção da estabilidade mecânica em longo prazo.

A seleção dos componentes protéticos também exerce influência direta sobre a estabilidade do sistema. Evidências experimentais indicam que modificações superficiais dos parafusos reduzem o coeficiente de atrito e aumentam os valores de torque reverso após ciclagem mecânica, sugerindo melhor comportamento tribológico e maior manutenção da pré-carga (DE MOURA et al., 2017; COLPAK; GUMUS, 2020). Contudo, a predominância de estudos laboratoriais evidencia limitação na extrapolação direta desses resultados para o ambiente clínico, ressaltando a necessidade de ensaios clínicos prospectivos que validem tais benefícios em reabilitações de arco total.

No que se refere ao planejamento biomecânico, o controle da extensão do cantilever distal emerge como fator decisivo para redução da sobrecarga no conjunto parafusado. Modelos de elementos finitos demonstram que pequenas variações no comprimento distal podem amplificar significativamente o momento de força transmitido aos implantes posteriores e aos parafusos protéticos (SANINNO, 2015; ŞENTÜRK et al., 2024). Paralelamente, estudos clínicos indicam que o ajuste passivo da infraestrutura protética representa variável crítica para minimizar tensões residuais na interface implante-pilar e reduzir complicações mecânicas (MALÓ et al., 2019; JUNG et al., 2012). Nesse cenário, o uso de fluxos digitais e estruturas confeccionadas por



sistemas CAD/CAM tem sido associado a maior precisão estrutural e potencial redução de falhas técnicas.

Sob perspectiva científica, observa-se lacuna relevante na literatura quanto à correlação direta entre valores clínicos de torque reverso e incidência de complicações mecânicas em longo prazo. Grande parte das evidências disponíveis deriva de estudos *in vitro* ou análises computacionais (DE MOURA et al., 2017; COLPAK; GUMUS, 2020), enquanto estudos clínicos longitudinalmente controlados ainda são limitados. Revisões recentes ressaltam que, embora o afrouxamento do parafuso seja amplamente descrito, os mecanismos clínicos envolvidos permanecem insuficientemente padronizados, dificultando comparações diretas entre investigações (VERMA et al., 2023).

Adicionalmente, investigações comparativas envolvendo diferentes graus de inclinação implantar e distintas configurações de canais de acesso angulados ainda são escassas na literatura clínica. Estudos experimentais indicam que a angulação pode influenciar a eficiência da transmissão do torque durante a instalação protética (SWAMIDASS et al., 2020; GREER et al., 2017); contudo, faltam ensaios prospectivos capazes de estabelecer impacto clínico definitivo dessas variáveis na manutenção da pré-carga. Assim, o avanço do conhecimento nessa área dependerá de pesquisas que integrem análise biomecânica, monitoramento periódico do torque e acompanhamento clínico de longo prazo em pacientes reabilitados pelo protocolo All-on-4.

De forma geral, as evidências analisadas indicam que a estabilidade do parafuso protético não deve ser atribuída a um único fator técnico, mas compreendida como resultado da interação entre planejamento tridimensional adequado, execução clínica precisa, controle biomecânico do cantilever, qualidade do ajuste passivo e acompanhamento periódico do sistema protético. A consolidação dessas estratégias clínicas, aliada ao desenvolvimento de estudos clínicos prospectivos, representa caminho essencial para aprimoramento dos protocolos reabilitadores e aumento da previsibilidade terapêutica em reabilitações totais implantossuportadas.

CONCLUSÃO

A retenção do parafuso protético em reabilitações totais implantossuportadas do tipo All-on-4 configura-se como fenômeno biomecânico multifatorial, diretamente relacionado à manutenção da pré-carga, ao comportamento tribológico dos componentes protéticos e às condições biomecânicas impostas pela configuração implantar e protética. Os achados desta revisão demonstram que o afrouxamento do parafuso não deve ser interpretado como falha isolada do sistema, mas como resultado da interação entre fatores mecânicos, estruturais e clínicos.

A manutenção da estabilidade protética depende da adequada conversão do torque aplicado em pré-carga efetiva, sendo influenciada pelo coeficiente de atrito, pelas características superficiais do parafuso e pelo fenômeno de acomodação inicial das superfícies metálicas. Além disso, variáveis inerentes ao protocolo All-on-4, como inclinação implantar, presença de cantilever distal e utilização de canais de acesso angulados, modificam a distribuição das tensões e aumentam a exigência biomecânica sobre o conjunto parafusado.

Do ponto de vista clínico, estratégias como aplicação correta do torque recomendado, realização de retorque após o assentamento inicial, obtenção de ajuste passivo preciso da infraestrutura e controle rigoroso da oclusão funcional demonstram papel fundamental na redução das complicações mecânicas. Assim, a previsibilidade das reabilitações totais implantossuportadas está diretamente associada à integração entre



planejamento tridimensional adequado, execução protética precisa e monitoramento periódico do sistema.

Apesar dos avanços tecnológicos observados na Implantodontia contemporânea, permanecem lacunas científicas relacionadas à escassez de estudos clínicos prospectivos que correlacionem diretamente valores de pré-carga, torque reverso e incidência de complicações mecânicas em longo prazo. Dessa forma, futuras investigações devem priorizar abordagens clínicas longitudinalmente controladas capazes de consolidar protocolos baseados em evidência para otimização da longevidade das reabilitações All-on-4.

REFERENCIAS

- COLPAK, E.; GUMUS, H. Effect of surface modifications of abutment screws on reverse torque values: an in vitro study. *The International Journal of Prosthodontics*, v. 33, n. 4, p. 401–409, 2020.
- DE MOURA, M. B. et al. Influence of screw surface treatment on retention of implant-supported fixed partial dentures. *Journal of Oral Implantology*, v. 43, n. 4, p. 254–260, 2017.
- GREER, A. et al. Mechanical complications associated with angled screw channel restorations. *The International Journal of Prosthodontics*, v. 30, n. 3, p. 258–259, 2017.
- JUNG, R. E. et al. Systematic review of the survival rate and the incidence of biological, technical, and aesthetic complications of single crowns on implants reported in longitudinal studies with a mean follow-up of 5 years. *Clinical Oral Implants Research*, v. 23, supl. 6, p. 2–21, 2012.
- KIM, B. H. et al. Complication rates for various retention types in anterior implant-supported prostheses: a retrospective clinical study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 125, n. 2, p. 273–278, 2021.
- MALÓ, P. et al. All-on-4 concept for full-arch rehabilitation of the edentulous maxillae: a 5- to 13-year follow-up. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, v. 21, n. 4, p. 538–549, 2019.
- MARTIN, W. C. et al. Implant abutment screw rotations and preloads for four different screw materials and surfaces. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 86, n. 1, p. 24–32, 2001.
- SANINNO, G. All-on-four concept: a 3-dimensional finite element analysis. *Journal of Oral Implantology*, v. 41, n. 2, p. 163–171, 2015.
- SWAMIDASS, R. S. et al. Abutment screw torque changes with straight and angled screw-access channels. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 125, n. 4, p. 675–681, 2020.
- ŞENTÜRK, A. et al. Biomechanical behavior of the all-on-4 concept and alternative implant configurations: a finite element analysis. *International Journal of Implant Dentistry*, v. 10, 2024.
- THEOHARIDOU, A. et al. Abutment screw loosening in single-implant restorations: a systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 101, n. 1, p. 28–34, 2009.
- VERMA, A. et al. Mechanical failures of dental implants and supported prostheses: a systematic review. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, v. 15, n. 3, p. e305–e315, 2023.
- JÖRNÉUS, L.; JEMT, T.; CARLSSON, L. Loads and designs of screw joints for single crowns supported by osseointegrated implants. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, v. 7, n. 3, p. 353–359, 1992.