

Regeneração dentária a partir de células-tronco: avanços na Odontologia contemporânea – uma revisão integrativa de literatura

Dental regeneration from stem cells: advances in contemporary dentistry - an integrative literature review

Maysa Ravena Carvalho dos Santos Silva – Centro Universitário Uninovafapi

Magda Rafaella Santos Araújo- Centro Universitário Uninovafapi

Fabricia Café de Oliveira- Centro Universitário Uninovafapi

Gabrielly da Silva Sousa – Centro Universitário Uninovafapi

Laurah Emanuely de Sousa Ribeiro – Centro Universitário Uninovafapi

Thiago Henrique Gonçalves Moreira – Professor Mestre Centro Universitário Uninovafapi

Resumo

A regeneração dentária é uma das áreas mais promissoras da odontologia regenerativa, com potencial para substituir implantes e próteses por dentes biologicamente funcionais. Avanços recentes, como o uso de hidrogéis biomiméticos capazes de induzir diferenciação celular (*King's College London, 2025*) e a criação de dentes híbridos em *scaffolds* suínos descelularizados (Tufts University, 2025), demonstram a viabilidade da bioengenharia dentária. O objetivo deste artigo foi revisar criticamente a literatura científica sobre o emprego de células-tronco mesenquimais dentárias — como DPSCs, PDLSCs, SCAPs e SHEDs — bem como abordagens inovadoras livres de células, como exossomos, aplicadas à regeneração dentária. A busca incluiu bases como PubMed, Scopus, Web of Science, Embase e SciELO, entre 2019 e 2025, contemplando estudos pré-clínicos, ensaios clínicos e relatórios institucionais. OS resultados mostram avanços significativos no uso de *scaffolds* biomiméticos, hidrogéis injetáveis e biomateriais bioativos associados a células-tronco, capazes de promover formação de dentina, regeneração periodontal e neoformação óssea. Além disso, terapias baseadas em vesículas extracelulares apresentam potencial como alternativa segura, com menor risco de rejeição imunológica. Apesar do progresso, se mantém desafios relacionados à padronização metodológica, custos elevados e exigências regulatórias, que ainda limitam a ampla aplicação clínica. Portanto a regeneração dentária encontra-se em fase de transição entre pesquisa experimental e prática clínica, configurando-se como alternativa viável e inovadora à implantodontia convencional.

Palavras chaves: regeneração dentária; células-tronco mesenquimal; odontologia regenerativa.

Abstrac

Dental regeneration is one of the most promising areas of regenerative dentistry, with the potential to replace implants and prostheses with biologically functional teeth. Recent advances, such as the use of biomimetic hydrogels capable of inducing cell differentiation (King's College London, 2025) and the creation of hybrid teeth in decellularized pig scaffolds (Tufts University, 2025), demonstrate the viability of dental bioengineering. The objective of this article was to critically review the scientific literature on the use of dental mesenchymal stem cells - such as DPSCs, PDLSCs, SCAPs and SHEDs - as well as innovative cell-free approaches, such as exosomes, applied to dental regeneration. The search included databases such as PubMed, Scopus, Web of Science, Embase and SciELO, between 2019 and 2025, including preclinical studies, clinical trials and institutional reports. The results show significant advances in the use of biomimetic scaffolds, injectable hydrogels and bioactive biomaterials associated with stem cells, capable of promoting dentin formation, periodontal regeneration and bone neoformation. In

addition, therapies based on extracellular vesicles have potential as a safe alternative, with a lower risk of immunological rejection. Despite the progress, challenges related to methodological standardization, high costs and regulatory requirements remain, which still limit the broad clinical application. Therefore, dental regeneration is in a transition phase between experimental research and clinical practice, configuring itself as a viable and innovative alternative to conventional implant dentistry.

Keywords: dental regeneration; mesenchymal stem cells; regenerative dentistry.

1. INTRODUÇÃO

A odontologia atual encontra-se em um momento de transformação impulsionado pela biotecnologia e pela medicina regenerativa. Tradicionalmente, o tratamento de perdas dentárias e imperfeições orofaciais tem se baseado em enfoques restauradores ou reabilitadores, como implantes, enxertos ósseos e próteses. Apesar de eficazes, essas técnicas apresentam limitações importantes, como: o risco de rejeição, reabsorção óssea, necessidade de múltiplas cirurgias e incapacidade de restaurar completamente a fisiologia do dente natural. Nesse contexto, a pesquisa em células-tronco e bioengenharia de tecidos surge como uma das áreas mais promissoras para a odontologia do futuro, com potencial para substituir dispositivos artificiais por dentes e tecidos biologicamente regenerados.

Em abril de 2025, pesquisadores do King's College London e do Imperial College anunciaram um estudo inovador em que desenvolveram um hidrogel capaz de mimetizar o microambiente dentário, permitindo a comunicação celular e a diferenciação de células-tronco em estruturas dentárias em laboratório. Esse trabalho demonstrou a possibilidade de cultivar dentes humanos *in vitro*, propondo que em breve os pacientes poderão substituir restaurações ou implantes por dentes regenerados biologicamente (KING'S COLLEGE LONDON, 2025).

De forma simultânea, a Tufts University mencionou em fevereiro de 2025 um marco da bioengenharia avançada: a criação de dentes substitutos híbridos, a partir da combinação de células humanas e de porco inseridas em *scaffolds* dentários suínos descelularizados. Esses substitutos foram implantados em maxilares de mini-porcos, e após poucas semanas mostraram formação de estruturas minerais de dentina e cimento, confirmando a capacidade de integração e mineralização do tecido bioengenheirado (DENTISTRY.CO.UK, 2025; GIZMODO, 2025).

Além desses estudos pioneiros, há uma base estabelecida de evidências pré-clínicas e clínicas que realçam o papel das células-tronco mesenquimais derivadas de tecidos dentários - como as células-tronco da polpa dental (DPSCs), das papilas apicais (SCAPs), do ligamento periodontal (PDLSCs) e de dentes decíduos esfoliados (SHEDs). Essas populações celulares

apresentam intensa plasticidade e capacidade de distinção em odontoblastos, cementoblastos, osteoblastos e até células endoteliais, desempenhando papel central na regeneração de polpa, dentina, periodonto e osso alveolar (GRAWISH et al., 2024; LIU et al., 2025). Estudos clínicos recentes reforçam a segurança e eficácia dessas terapias, como o estudo randomizado e controlado conduzido por Liu et al. (2025), que demonstrou regeneração periodontal significativa em pacientes tratados com DPSCs alogênicas injetáveis, em comparação a grupos placebo.

O uso dessas células afiliados a biomateriais e *scaffolds* tridimensionais também representa um avanço fundamental. Meta-análises recentes mostraram que o emprego de DPSCs ou SHEDs em *scaffolds* de hidroxiapatita, fosfato de cálcio ou compósitos bioativos resulta em aumento significativo da neoformação óssea em modelos animais, quando comparado a *scaffolds* sem células (STEM CELL RESEARCH & THERAPY, 2023). Além disso, a incorporação de moléculas bioativas, como hesperidina ou fatores de crescimento, potencializa a diferenciação odontogênica e angiogênica dessas células, favorecendo a integração tecidual e reduzindo processos inflamatórios (BMJ ORAL HEALTH, 2025).

Outro campo emergente é a utilização de estratégias livres de células (*cell-free therapy*), como exossomos e vesículas extracelulares derivadas de DPSCs e PDLSCs. Esses nanovesículos carregam proteínas, RNAs e fatores bioativos que mimetizam a ação das células-tronco, mas sem o risco de rejeição ou transformação tumoral, o que pode acelerar sua tradução clínica (DAGHRERY et al., 2024; AHMAD et al., 2025).

Os benefícios desse conjunto de abordagens são evidentes. Em contraposição com as terapias restauradoras tradicionais, que oferecem apenas modificações artificiais, a regeneração dentária baseada em células-tronco promove tecidos vivos, vascularizados e funcionalmente integrados. Além disso, o potencial de mudança vai além da odontologia, estendendo-se à engenharia de osso craniofacial, cartilagem e tecidos de suporte. A perspectiva de oferecer ao paciente a recuperação de dentes e estruturas periodontais biologicamente equivalentes aos originais representa não apenas um avanço técnico, mas também uma revolução na odontologia. Apesar dos avanços, existem limitações importantes a serem superadas. Primeiramente, os estudos em humanos ainda são restritos e com amostras pequenas, o que dificulta a generalização dos resultados. Em segundo lugar, a diferença nas metodologias de isolamento, cultivo e diferenciação celular compromete a padronização e comparabilidade entre estudos. Além disso, a maioria dos modelos animais apresenta limitações quanto à extrapolação para a clínica humana,

especialmente no que se refere a respostas imunológicas e integração a longo prazo. Outro desafio diz respeito à produção em larga escala e com segurança, atendendo às exigências regulatórias de agências de saúde. Finalmente, os custos associados à manipulação celular e à bioengenharia de *scaffolds* ainda são elevados, o que restringe a aplicação clínica ampla (IVANOVSKI et al., 2024; SONG et al., 2023).

Dessa forma, a literatura recente evidência que a regeneração dentária, seja pela utilização direta de células-tronco mesenquimais dentárias ou pela bioengenharia avançada de dentes em laboratório, encontra-se em uma fase de transição entre a pesquisa experimental e a aplicação clínica. Se por um lado os desafios de padronização e segurança permanecem, por outro, os resultados obtidos nos últimos cinco anos apontam para um futuro em que implantes e próteses poderão ser gradativamente substituídos por terapias regenerativas, estabelecendo um novo paradigma na odontologia. (IVANOVSKI et al., 2024; SONG et al., 2023).

2. MARCO TEÓRICO

Este estudo se desenvolveu por meio de uma análise narrativa com etapas sistematizadas, com o objetivo de examinar criticamente os avanços mais recentes na área de regeneração dentária. Abrangeu métodos que utilizam células-tronco, técnicas de bioengenharia de tecidos e terapias inovadoras baseadas em vesículas extracelulares. A escolha por essa metodologia se justifica pela necessidade de reunir, em um único estudo, dados de pesquisas pré-clínicas, ensaios clínicos e inovações biotecnológicas, oferecendo uma visão completa e atualizada para a comunidade científica odontológica.

2.1 Estratégia de Busca e Seleção de Estudos

A busca por publicações foi conduzida entre janeiro e maio de 2025, explorando diversas bases de dados, como PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Embase e SciELO. Além dos artigos indexados, também foram levados em conta documentos institucionais e comunicados de universidades de referência internacional (como o *King's College London* e a *Tufts University*), quando apresentavam informações relevantes e recentes sobre o tema.

Para direcionar a pesquisa, foram utilizados descritores controlados e palavras-chave livres em português e inglês, incluindo: células-tronco dentárias, odontologia regenerativa,

engenharia tecidual dentária, *dental stem cells*, *tissue engineering*, *tooth regeneration*, *scaffolds* e *exossomos*.

2.2 Critérios de Inclusão e Exclusão

Foram incluídos artigos publicados entre 2019 e 2025, em português ou inglês, que abordassem:

- células-tronco provenientes de tecidos dentários;
- bioengenharia de dentes;
- *scaffolds* biomiméticas;
- tratamentos envolvendo vesículas extracelulares, desde que apresentassem resultados em estudos pré-clínicos ou clínicos.

Foram excluídos trabalhos duplicados, revisões antigas, artigos de opinião sem fundamentação experimental e estudos cujo conteúdo não tivesse relação direta com a prática odontológica.

2.3 Processo de Triagem

A seleção inicial dos trabalhos ocorreu por meio da leitura de títulos e resumos. Em seguida, os artigos considerados relevantes tiveram seu conteúdo completo avaliado de forma independente por dois pesquisadores. Em casos de discordância na interpretação, buscou-se a discussão até alcançar um consenso, assegurando maior confiabilidade no processo de seleção.

2.4 Extração e Análise dos Dados

Dos artigos que atenderam aos critérios estabelecidos, foram coletadas informações sobre:

1. origem e tipo celular (DPSCs, SCAPs, SHEDs, PDLSCs).
2. biomateriais ou *scaffolds* utilizados.
3. modelo experimental empregado (in vitro, in vivo ou ensaios clínicos).
4. resultados principais (formação dentária, regeneração periodontal, neoformação óssea e vascularização);
5. limitações apontadas pelos autores;
6. potencial de aplicação clínica e perspectivas futuras.

3. MATERIAL E MÉTODO

Este trabalho caracteriza-se como uma revisão narrativa, conduzida entre janeiro e maio de 2025. A busca bibliográfica foi realizada nas bases PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Embase e SciELO, complementada por relatórios institucionais de centros de referência internacional, como King's College London e Tufts University. Os descritores utilizados incluíram termos em português e inglês: células-tronco dentárias, odontologia regenerativa, engenharia tecidual dentária, dental *stem cells*, *toothregeneration*, *scaffolds* e exossomos.

Foram incluídos artigos originais, revisões sistemáticas, ensaios clínicos e estudos pré-clínicos publicados entre 2019 e 2025, nos idiomas inglês e português, que abordassem o uso de células-tronco dentárias, *scaffolds* biomiméticos, bioengenharia de dentes ou terapias baseadas em vesículas extracelulares. Foram excluídos estudos duplicados, artigos de opinião e revisões desatualizadas.

A triagem dos trabalhos ocorreu em duas etapas: análise inicial de títulos e resumos, seguida da leitura integral dos artigos elegíveis. Dois pesquisadores realizaram a avaliação de forma independente, e as discordâncias foram resolvidas por consenso. Dos estudos selecionados, foram extraídos dados sobre origem celular, biomateriais utilizados, modelo experimental, principais resultados e limitações relatadas. Essa sistematização permitiu uma análise crítica dos avanços recentes e das perspectivas clínicas da regeneração dentária, destacando suas potencialidades e desafios atuais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se a seguir o quadro com a síntese dos estudos analisados:

Quadro 1. Síntese dos estudos

Yang et al., 2023	Dental pulp stem cells and their potential for neural regeneration: A review.	O estudo é uma revisão narrativa da literatura sobre o potencial das células-tronco da polpa dentária (DPSCs) para regeneração neural. Foram analisadas pesquisas experimentais e pré-clínicas que investigam a diferenciação neural, secreção de fatores tróficos, efeitos imunomodulatórios e angiogênicos das DPSCs. Os resultados apontam que essas células podem se diferenciar em células neuronais e gliais, secretar fatores neurotróficos que favorecem sobrevivência e
-------------------	---	--

		crescimento axonal, além de melhorar a recuperação funcional em modelos de lesão nervosa. Conclui-se que as DPSCs representam uma alternativa promissora para terapias de regeneração neural, mas ainda há necessidade de padronização metodológica e de maior evidência clínica.
Gould et al., 2024	In vivo and in vitro response to a regenerative dental biocomposite incorporating a triphasic hybrid scaffold.	Este estudo avaliou a resposta biológica de um biocompósito dentário regenerativo com scaffold híbrido trifásico (3HB) em modelos in vitro e in vivo. Utilizou-se uma combinação de polímeros biocompatíveis para fornecer resistência, propriedades antibacterianas e suporte celular baseado em proteínas. Os resultados mostraram que o 3HB, incorporado ao MTA (Mineral Trioxide Aggregate), apresentou propriedades mecânicas adequadas, biocompatibilidade e potencial para regeneração tecidual. Conclui-se que o 3HB é promissor como material para tratamentos endodônticos regenerativos, necessitando de mais estudos clínicos para validação.
Ying et al., 2024	Clinical applications of stem cell-based therapies in endodontics: A systematic review.	Esta revisão sistemática avaliou as aplicações clínicas de terapias baseadas em células-tronco na endodontia. Foram analisados estudos que investigaram o uso de células-tronco, como DPSCs (Dental Pulp Stem Cells), em tratamentos regenerativos de dentes com polpa necrosada. Os resultados indicaram que, embora promissores, os protocolos terapêuticos ainda carecem de padronização e evidências clínicas robustas. Conclui-se que as terapias com células-tronco têm potencial na regeneração endodôntica, mas mais pesquisas são necessárias para sua aplicação clínica segura e eficaz
Jia et al., 2025	A cell-free regenerative endodontic approach for immature permanent teeth with necrotic pulp.	Este estudo propôs uma abordagem regenerativa sem células para dentes permanentes imaturos com polpa necrosada. Utilizou-se um biomaterial bioativo combinado com fatores de crescimento para induzir a regeneração pulpar. Os resultados mostraram formação de tecido semelhante à polpa dentária, com aumento da espessura dentinária e resposta positiva nos testes de vitalidade. Conclui-se que a abordagem sem células é uma alternativa viável para tratamentos endodônticos regenerativos em dentes imaturos, oferecendo uma opção sem risco de rejeição imunológica
Li et al., 2025	Decellularized dental scaffolds for	Esta revisão sistemática avaliou o uso de

	pulp-dentin complex regeneration: A systematic review.	scaffolds dentários decelularizados na regeneração do complexo polpa-dentina. Foram analisados estudos que investigaram a eficácia desses scaffolds em combinação com células-tronco ou fatores de crescimento. Os resultados indicaram que os scaffolds decelularizados promovem a regeneração tecidual, com formação de estruturas semelhantes à polpa e dentina. Conclui-se que esses scaffolds têm potencial na engenharia de tecidos dentários, necessitando de mais estudos para otimizar sua aplicação clínica.
Al-Daghri et al., 2025	Clinical and radiographic outcomes of regenerative endodontic procedures in permanent teeth: A systematic review.	Esta revisão sistemática avaliou os desfechos clínicos e radiográficos de procedimentos endodônticos regenerativos em dentes permanentes. Foram analisados estudos que investigaram a eficácia de terapias regenerativas, como a indução de células-tronco e biomateriais, em dentes com polpa necrosada. Os resultados mostraram melhora na espessura dentinária, resposta positiva nos testes de vitalidade e ausência de complicações significativas. Conclui-se que os procedimentos regenerativos são eficazes na regeneração endodôntica, com resultados clínicos e radiográficos favoráveis.
Han et al., 2024	Injectable tissue-specific hydrogel system for pulp- dentin complex regeneration using dental pulp stem cells.	Este estudo desenvolveu um sistema de hidrogel injetável específico para tecido para regeneração do complexo polpa-dentina utilizando células-tronco da polpa dentária (DPSCs). O hidrogel, com rigidez variável, foi combinado com DPSCs e injetado em modelos experimentais. Os resultados mostraram formação de tecido semelhante à polpa e dentina, com integração funcional. Conclui-se que o sistema de hidrogel injetável é uma abordagem promissora para a regeneração do complexo polpa-dentina, oferecendo uma técnica minimamente invasiva.
MBansal et al., 2023	Advances in dental pulp regeneration: A review.	Esta revisão abordou os avanços na regeneração da polpa dentária, incluindo terapias com células-tronco, biomateriais e fatores de crescimento. Foram discutidos os mecanismos de regeneração, desafios clínicos e perspectivas futuras. Os resultados indicaram que, embora os tratamentos regenerativos mostrem potencial, ainda existem desafios relacionados à padronização dos protocolos, segurança e eficácia a longo prazo. Conclui-se que a regeneração da polpa dentária é uma área promissora, necessitando de mais pesquisas

		para sua aplicação clínica.
Fukumoto et al., 2024	Cell-free dental tissue regeneration: A systematic review.	Esta revisão sistemática avaliou a regeneração de tecidos dentários sem o uso de células, focando em biomateriais e fatores de crescimento. Foram analisados estudos que investigaram a eficácia de abordagens sem células na regeneração da polpa dentária e estruturas associadas. Os resultados mostraram que os biomateriais e fatores de crescimento podem induzir a regeneração tecidual, com formação de estruturas semelhantes à polpa e dentina. Conclui-se que as abordagens sem células são alternativas viáveis para a regeneração dentária, com potencial para aplicação clínica.
Ullah et al., 2024	Biomaterials for pulp regeneration: A review.	Esta revisão abordou os biomateriais utilizados na regeneração da polpa dentária, incluindo scaffolds, hidrogéis e biomateriais bioativos. Foram discutidos os mecanismos de ação, propriedades dos materiais e resultados experimentais. Os resultados indicaram que os biomateriais desempenham um papel crucial na regeneração da polpa, promovendo a formação de tecido semelhante à polpa e dentina. Conclui-se que os biomateriais são fundamentais para o sucesso da regeneração pulpar, necessitando de mais estudos para otimizar sua aplicação clínica.

Fonte: dados da pesquisa, 2025.

4.1 Discussão

A regeneração dentária é um campo emergente da odontologia regenerativa que busca restaurar a estrutura e a função dos dentes por meio da combinação de células-tronco, biomateriais e fatores bioativos. Diferentemente das abordagens convencionais, que se limitam a reparar ou substituir tecidos danificados, a regeneração visa restaurar tecidos ocultos organizados, incluindo polpa, dentina, vasos sanguíneos e fibras nervosas. Essa perspectiva abre caminho para superar limitações da endodontia tradicional e alcançar resultados mais duradouros e fisiológicos (Chen et al., 2020).

Entre as principais fontes celulares estão as células-tronco da polpa dentária (DPSCs) e as células-tronco de dentes decíduos esfoliados (SHED), que apresentam alto potencial proliferativo e de diferenciação em odontoblastos. Além disso, essas células secretam fatores paracrinos que são importantes para a angiogênese, neurogênese e modulação inflamatória, ampliando suas

aplicações em terapias regenerativas. Tais propriedades como DPSCs e SHED disponibilizam opções valiosas para a bioengenharia de dentes (Murakami et al., 2023).

Duas estratégias principais se destacam na endodontia regenerativa: a terapia baseada em células, que envolve o transplante de células-tronco, e a abordagem “cell homing”, na qual sinais químicos atraem células endógenas para o local da lesão. Estudos clínicos iniciais sugerem que ambas as técnicas são seguras e apresentam potencial regenerativo, embora o transplante celular exija maior infraestrutura laboratorial e logística de manipulação (Rana et al., 2025).

No ensaio clínico fase I/II, o uso de células mesenquimais derivadas de cordão umbilical encapsulado em andaimes demonstrou segurança, além de melhoria em testes de sensibilidade pulpar e perfusão sanguínea quando comparado a controles tratados por métodos convencionais. Esses resultados, obtidos após 12 meses de acompanhamento, indicam que a regeneração dentária pode ser viável em humanos, embora sejam necessários estudos maiores e com maior tempo de seguimento (Huang et al., 2020).

Os biomateriais utilizados como scaffolds desempenham papel crucial na regeneração dentária, oferecendo suporte físico, permitindo adesão celular e guiando a formação do tecido. Pesquisas atuais desenvolvem andaimes biodegradáveis e bioativos capazes de liberar fatores de crescimento de maneira controlada, otimizando o processo regenerativo. Materiais à base de colágeno, ácido hialurônico e compostos poliméricos são os mais investigados (Sharma et al., 2024).

Além das células e dos biomateriais, os fatores de crescimento são fundamentais para estimular a diferenciação odontoblástica e a angiogênese. Moléculas como BMP-2, VEGF e SDF-1 são frequentemente incorporadas em andaimes para induzir a regeneração pulpar. A sinergia entre células-tronco, biomateriais e fatores bioativos constitui a base das abordagens combinadas mais promissoras (Ali et al., 2025).

Uma alternativa às terapias celulares são as abordagens baseadas em produtos secretados por células, como vesículas extracelulares e exossomos. Essas partículas carregam proteínas, RNA e fatores bioativos que replicam muitos dos efeitos das células-tronco sem os riscos de imunogenicidade ou tumorigenicidade. Ensaios pré-clínicos indicam que exossomos baseados em DPSCs podem induzir regeneração pulpar significativa (Kumar et al., 2023).

A nanotecnologia também vem sendo aplicada para melhorar o desempenho dos andaimes, criando superfícies que favorecem a adesão celular e promovem diferenciação

específica. Nanopartículas de cálcio e fosfato, por exemplo, são investigadas para induzir a formação de dentina reparadora. Essa integração entre nanotecnologia e bioengenharia amplia as possibilidades terapêuticas (Lee et al., 2024).

A bioimpressão 3D representa outro avanço significativo, permitindo a fabricação de andaimes personalizados que reproduzem a anatomia do canal radicular e integram múltiplos tipos celulares em arranjos precisos. Essa tem potencial para criar modelos individualizados de regeneração, aproximando ainda mais a pesquisa experimental técnica da aplicação clínica (Park et al., 2025).

Apesar dos avanços, um dos principais desafios é garantir uma regeneração histológica completa, incluindo a organização de odontoblastos em camada contínua, formação de vasos funcionais e inervação adequada. Muitos protocolos resultam em tecido fibroso que, embora preencham o espaço pulpar, não reproduzem as funções originais do dente (Ribeiro et al., 2022).

Questões regulatórias e logísticas também dificultam uma ampla adoção clínica. A manipulação de células em ambiente GMP (Boas Práticas de Fabricação) eleva os custos e exige infraestrutura especializada. Além disso, a utilização de células alogênicas levanta questões quanto à imunogenicidade e rastreabilidade. Nesse sentido, terapias livres de células podem oferecer alternativas mais viáveis (Zhang et al., 2021).

A escolha da fonte celular permanece tema de debate. Além de DPSCs e SHED, células mesenquimais derivadas de cordão umbilical e de tecido adiposo apresentam eficácia na regeneração dentária. Cada tipo de celular apresenta vantagens e limitações, e a seleção deve considerar opções, acessibilidade e segurança clínica (Gonçalves et al., 2023).

No futuro, uma combinação de diferentes estratégias como células-tronco, biomateriais inteligentes, fatores bioativos e bioimpressão 3D, pode consolidar a regeneração dentária como prática clínica. Um estudo com medicina personalizada e modelagem computacional permitirá protocolos individualizados, aumentando a previsibilidade e segurança dos tratamentos. Para isso, ainda são necessários ensaios clínicos de larga escala com acompanhamento a longo prazo (Yelick, 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A regeneração dentária a partir de células-tronco vem mostrando resultados muito animadores e abre caminho para um futuro em que dentes e tecidos perdidos poderão ser

substituídos de forma biológica, e não apenas com próteses ou implantes. Os estudos recentes comprovam o potencial das células-tronco dentárias, dos scaffolds e até de terapias livres de células, como os exossomos, para reconstruir estruturas como polpa, dentina e periodonto.

Mesmo assim, ainda existem obstáculos importantes, como a falta de padronização entre os métodos, os altos custos e as barreiras regulatórias que dificultam a aplicação imediata em larga escala. Também é preciso mais pesquisas clínicas bem conduzidas para confirmar a segurança e a eficácia em humanos.

De modo geral, pode-se dizer que a regeneração dentária já não é apenas uma promessa distante, mas um campo em fase de consolidação, que tem tudo para transformar o futuro da odontologia.

REFERÊNCIAS

AHMAD, A. et al. Therapeutic potential of dental stem cell-derived exosomes in periodontitis. *Stem Cell Research & Therapy*, 2025.

AHMAD, P. et al. Isolation methods of exosomes derived from dental stem cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 2025. DOI: —.

AL-DAGHRI, N. et al. Clinical and radiographic outcomes of regenerative endodontic procedures in permanent teeth: a systematic review. *BMC Oral Health*, v. 25, n. 1, p. 1-12, 2025. Disponível em: <https://bmcoralhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12903-025-06368-6>.

ALI, H. et al. Growth factors in dental tissue engineering: clinical perspectives and future directions. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 26, n. 2, p. 12123186, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms260212123186>.

BANSAL, R. et al. Advances in dental pulp regeneration: a review. *Journal of oral and Maxillofacial Surgery*, v. 81, n. 8, p. 1045-1053, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221081702300096X>.

BMJ ORAL HEALTH. Stem cell-based scaffolds in mandibular regeneration. *BMJ Oral Health*, 2025.

DAGHRERY, A. et al. Exosomes in craniofacial and dental regeneration. *Stem Cell Research & Therapy*, 2024.

DENTISTRY.CO.UK. Lab-grown replacement teeth successfully implanted into jaws. *Dentistry.co.uk*, fev. 2025.

FUKUMOTO, S. et al. Cell-free dental tissue regeneration: a systematic review. *Journal of Clinical Medicine*, v. 21, p. 6400, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0383/13/21/6400>.

GIZMODO. These mini pigs just grew human-like teeth. *Gizmodo*, fev. 2025.

GONÇALVES, F. A. et al. Comparative potential of mesenchymal stem cells from different sources for dental regeneration. *World Journal of Stem Cells*, v. 15, n. 3, p. 31-46, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.4252/wjsc.v15.i3.31>.

GOULD, M. L. et al. In vivo and in vitro response to a regenerative dental biocomposite incorporating a tri-phasic hybrid scaffold. *Journal of Endodontics*, v. 50, n. 4, p. 567-574, 2024. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/00220345241261900>.

GRAWISH, H. et al. Clinical translation of dental pulp stem cells. *Stem Cell Research & Therapy*, 2024.

HAN, Y. et al. Injectable tissue-specific hydrogel system for pulp–dentin complex regeneration using dental pulp stem cells. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, v. 35, n. 5, p. 56-67, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10856-024-06900-5>.

HUANG, G. T. J. et al. Regenerative endodontics: a systematic review of randomized clinical trials. *Journal of Endodontics*, v. 11, p. 1371–1389, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.08.015>.

IVANOVSKI, S. et al. Dental MSC-based therapies in regenerative dentistry. *Journal of Dental Research*, 2024.

JIA, P. et al. A cell-free regenerative endodontic approach for immature permanent teeth with necrotic pulp. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, v. 83, n. 1, p. 28-36, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352320425000021>.

KING'S COLLEGE LONDON. Lab-grown teeth might become an alternative to fillings. *King's College London*, abr. 2025.

KUMAR, V. et al. Extracellular vesicles in regenerative endodontics: a paradigm shift. *Frontiers in Dental Medicine*, v. 4, p. 10915954, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fdmed.2023.10915954>.

LEE, C. H. et al. Applications of nanotechnology in dental pulp regeneration. *Journal of Dentistry*, v. 135, p. 104353, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.104353>.

LI, Y. et al. Decellularized dental scaffolds for dentin–pulp complex regeneration: a systematic review. *Cell Regeneration*, v. 14, n. 1, p. 1-15, 2025. Disponível em: <https://cellregeneration.springeropen.com/articles/10.1186/s13619-025-00249-7>.

LI, Y.; YELICK, P. N. Bioengineered human-like teeth grown in pigs. *Science Advances*, v. 7, n. 22, p. eabf7447, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/sciadv.abf7447>.

LIU, Y. et al. Allogeneic DPSCs injection improves periodontal regeneration. *Stem Cell Research & Therapy*, 2025.

MAI, Z. et al. Translational and Clinical Applications of Dental Stem Cell-Derived Exosomes. *Frontiers in Genetics*, 2021.

MURAKAMI, M. et al. Dental pulp stem cells for tissue engineering and regenerative medicine: advances and perspectives. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, v. 11, p. 11222197, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fcell.2023.11222197>.

PARK, J. H. et al. 3D bioprinting in regenerative dentistry: innovations and future perspectives. *Materials Today Bio*, v. 20, p. 2352320425000021, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2025.100673>.

QIAO, X. et al. Dental Pulp Stem Cell-Derived Exosomes Regulate Anti-Inflammatory and Osteogenesis in Periodontal Ligament Stem Cells and Promote the Repair of Experimental Periodontitis in Rats. *International Journal of Nanomedicine*, v. 18, p. 4683-4703, 2023.

RANA, M. A. et al. Advancements in regenerative endodontics: a systematic literature review of stem cell-based therapies. *Journal of Pakistan Medical Students*, v. 5, n. 1,