REVISTA TÓPICOS
ISSN 2965-6672 | Qualis A2

POLILAMININA E REGENERAÇÃO NEURAL: AVANÇOS BIOTECNOLÓGICOS PARA O TRATAMENTO DE LESÕES DO SISTEMA NERVOSO

POLYLAMININ AND NEURAL REGENERATION: BIOTECHNOLOGICAL ADVANCES FOR THE TREATMENT OF NERVOUS SYSTEM INJURIES

Ciências da Saúde • 06/11/2026

REGISTRO DOI: 10.70773/revistatopicos/793938167

Nivea Gabriela Gomes Ramos[1]

Antônio Tenório Feitosa[2]

Carmen Schafauser[3]

Helen Suzane Oliveira da Silva Paixão[4]

Joanna da Costa Duque Estrada[5]

Kelly Denise Machado Motter[6]

Márcia Izabel Moreira[7]

Marcos José Fernandes[8]

Marcos Paulo Marquez Cruvinel Santos[9]

Oldair Donizete Galeni[10]

Rafaelly Pinho da Silva[11]

Sandra de Souza Silva[12]

Gabriel Lopes Madeira Nascimento[13]

RESUMO

As lesões do sistema nervoso representam um desafio para a medicina regenerativa em razão da limitada capacidade de recuperação do tecido neural. Nesse contexto, a polilaminina, forma polimérica da laminina, e os biomateriais funcionalizados com essa proteína têm recebido crescente atenção por sua capacidade de modular o microambiente regenerativo. Este estudo teve como objetivo analisar os avanços biotecnológicos relacionados ao emprego da polilaminina e de estratégias baseadas em laminina no tratamento de lesões do sistema nervoso. Realizou-se uma revisão integrativa da literatura, com buscas nas bases SciELO, Latindex, LILACS, Miguilim, PubMed e Scopus, contemplando publicações entre 2006 e 2026, nos idiomas português e inglês. Os achados evidenciaram efeitos associados ao crescimento axonal, neuritogênese, interação com células de Schwann, remielinização e reorganização do microambiente neural. Também foram identificados avanços no desenvolvimento de scaffolds nanofibrosos, conduítes eletrocondutivos, estruturas alinhadas e sistemas biomiméticos destinados à regeneração periférica e medular. Evidências pré-clínicas demonstraram resultados promissores, enquanto investigações translacionais e clínicas iniciais indicaram potencial de recuperação funcional. Conclui-se que a polilaminina e os biomateriais baseados em laminina constituem estratégias promissoras, embora sejam necessários estudos clínicos controlados, padronização terapêutica e acompanhamento longitudinal para confirmar sua segurança e eficácia na prática clínica.

Palavras-chave: Biomateriais; Laminina; Lesão neural; Polilaminina; Regeneração neural.

ABSTRACT

Nervous system injuries represent a major challenge for

regenerative medicine due to the limited capacity of neural tissue to recover. In this context, polylaminin, the polymeric form of laminin, and biomaterials functionalized with this protein have received increasing attention because of their ability to modulate the regenerative microenvironment. This study aimed to analyze biotechnological advances related to the use of polylaminin and laminin-based strategies in the treatment of nervous system injuries. An integrative literature review was conducted using the SciELO, Latindex, LILACS, Miguilim, PubMed, and Scopus databases, including publications from 2006 to 2026 in Portuguese and English. The findings demonstrated effects associated with axonal growth, neuritogenesis, interaction with Schwann cells, remyelination, and remodeling of the neural microenvironment. Advances were also identified in the development of nanofibrous scaffolds, electroconductive conduits, aligned structures, and biomimetic systems designed for peripheral and spinal cord regeneration. Preclinical evidence demonstrated promising outcomes, while early translational and clinical investigations indicated potential for functional recovery. It is concluded that polylaminin and laminin-based biomaterials constitute promising strategies for neural regeneration. However, controlled clinical studies, therapeutic standardization, and long-term follow-up are required to confirm their safety and effectiveness and to support their incorporation into clinical practice.
Keywords: Biomaterials; Laminin; Neural injury; Neural regeneration; Polylaminin.

1. INTRODUÇÃO

As lesões do sistema nervoso constituem um importante desafio biomédico devido à limitada capacidade de regeneração axonal e à

complexidade dos mecanismos envolvidos na recuperação funcional. Nesse contexto, a matriz extracelular exerce papel determinante na organização do microambiente neural, influenciando processos como adesão celular, crescimento axonal, migração e diferenciação. Entre seus componentes, a laminina destaca-se por apresentar propriedades neurotróficas e por participar ativamente da orientação do crescimento dos axônios (Kijeńska *et al*., 2014).

A regeneração neural depende, portanto, da disponibilidade de sinais moleculares e estruturais capazes de favorecer a formação de um ambiente permissivo ao reparo. Evidências experimentais demonstram que polímeros solúveis de laminina podem potencializar significativamente o crescimento de axônios de neurônios primários, indicando que a organização polimérica dessa proteína pode ampliar suas propriedades biológicas e sua aplicabilidade em estratégias regenerativas (Haggerty; Al-Ali; Oudega, 2018).

Sob essa perspectiva, a polilaminina, forma polimérica da laminina, emerge como uma abordagem biotecnológica de interesse para o tratamento de lesões do sistema nervoso. Estudos experimentais demonstraram que sua aplicação pode acelerar processos de reparação após lesões de nervos periféricos, reforçando a possibilidade de utilização desse biomaterial como modulador do microambiente regenerativo e facilitador da recuperação axonal (Haggerty *et al.,* 2019).

No âmbito das lesões medulares, os obstáculos à regeneração são ainda mais complexos, envolvendo perda neuronal, interrupção das conexões axonais, alterações da mielinização e formação de um

ambiente inibitório ao crescimento neural. Nesse cenário, a polilaminina apresentou resultados promissores em modelos experimentais de lesão da medula espinal, favorecendo mecanismos associados à regeneração e à recuperação funcional, o que consolidou seu potencial como estratégia terapêutica inovadora (Menezes *et al.,* 2010).

Paralelamente, a engenharia de tecidos neurais têm incorporado a laminina a diferentes biomateriais, buscando combinar propriedades biológicas e estruturais favoráveis à regeneração. Conduítes e nanofibras funcionalizados com laminina podem proporcionar suporte para células de Schwann, orientação dos axônios e organização do tecido regenerado, demonstrando que a integração entre biomateriais e componentes da matriz extracelular constitui uma estratégia relevante para o reparo neural (Li *et al.,* 2018; Nazeri; Karimi; Ghanbari, 2021).

Outro avanço relevante envolve o desenvolvimento de estruturas biomiméticas capazes de reproduzir características específicas do tecido nervoso e direcionar a regeneração. A construção de tecidos semelhantes à substância branca da medula espinal, associada a estímulos para regeneração axonal direcional e mielinização, evidencia a importância da engenharia do microambiente na recuperação de lesões medulares (Lai *et al*., 2022).

Além disso, abordagens baseadas em conduítes eletrocondutivos e membranas nanofibrosas funcionalizadas com laminina ampliam as possibilidades de intervenção sobre nervos periféricos. Esses sistemas procuram integrar propriedades topográficas, elétricas e bioquímicas para favorecer o crescimento axonal e a reorganização neural, demonstrando a crescente convergência entre

nanotecnologia, biomateriais e medicina regenerativa (Nazeri *et al.,* 2022).

Diante desse panorama, justifica-se a análise dos avanços relacionados à polilaminina e às estratégias fundamentadas na laminina como ferramentas para a regeneração neural, considerando seus efeitos sobre o crescimento axonal, a mielinização, a interação celular e a recuperação funcional. Assim, este estudo tem como objetivo analisar as evidências científicas acerca do potencial biotecnológico da polilaminina e de biomateriais funcionalizados com laminina no tratamento de lesões do sistema nervoso, destacando mecanismos regenerativos, aplicações experimentais e perspectivas para sua utilização terapêutica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A compreensão contemporânea da laminina ultrapassa sua função estrutural na matriz extracelular, considerando-a um componente bioativo capaz de modular respostas celulares fundamentais para a organização do tecido neural. Barros, Amaral e Pêgo (2020) destacam que microambientes inspirados na laminina podem fornecer sinais instrutivos às células-tronco neurais, interferindo em processos de adesão, diferenciação e organização celular. Essa característica amplia a relevância da proteína para estratégias de engenharia tecidual que procuram reproduzir propriedades do nicho neural.

Do ponto de vista molecular, a organização da laminina em estruturas poliméricas pode modificar sua interação com células e componentes do tecido nervoso. Haggerty, Al-Ali e Oudega (2018)

demonstraram que polímeros solúveis de laminina favorecem o crescimento de axônios de neurônios primários em condições experimentais, indicando que a apresentação multivalente de sinais associados à laminina pode potencializar estímulos relacionados à extensão neurítica. Esse mecanismo fornece fundamento para o desenvolvimento de formulações biomiméticas destinadas à regeneração neural.

Em relação ao sistema nervoso periférico, a resposta regenerativa também está diretamente relacionada à qualidade do suporte fornecido às células envolvidas no reparo. Kijeńska *et al.* (2014) observaram a interação de células de Schwann com nanofibras de PLCL contendo laminina, evidenciando que a incorporação dessa proteína em estruturas nanofibrosas pode favorecer uma interface biologicamente compatível com componentes celulares fundamentais para a regeneração neural. A arquitetura do biomaterial, nesse sentido, torna-se tão relevante quanto sua composição bioquímica.

No contexto dos nervos lesionados, a associação entre laminina e biomateriais poliméricos apresenta possibilidades para a reconstrução de trajetórias favoráveis ao crescimento axonal. Li *et al.* (2018) investigaram um conduíte constituído por laminina, quitosana e PLGA associado ao transplante de células de Schwann e células-tronco neurais, demonstrando a importância da combinação entre suporte físico e componentes celulares. Essa abordagem representa uma estratégia de engenharia regenerativa baseada na integração de diferentes estímulos terapêuticos.

De maneira complementar, a orientação espacial dos componentes da matriz constitui um aspecto decisivo para a formação de

prolongamentos neuronais organizados. Song *et al.* (2018) demonstraram que matrizes constituídas por fibras alinhadas contendo laminina apresentaram capacidade de favorecer a neuritogênese. A disposição direcionada das fibras pode fornecer pistas topográficas capazes de influenciar a orientação dos prolongamentos celulares, aspecto particularmente relevante para biomateriais destinados à reconstrução de trajetórias neurais interrompidas.

Outro eixo de investigação envolve a associação da laminina a materiais com propriedades elétricas, considerando a natureza eletrofisiológica do tecido nervoso. Nazeri, Karimi e Ghanbari (2021) avaliaram a modificação superficial de arcabouços nanofibrosos de PLGA e nanotubos de carbono com laminina, demonstrando o interesse em combinar estímulos bioquímicos e características físico-químicas do biomaterial. Essa convergência tecnológica pode ampliar a funcionalidade dos arcabouços e favorecer condições mais apropriadas à regeneração neural.

Sob uma perspectiva de maior complexidade estrutural, Nazeri *et al.* (2022) desenvolveram conduítes eletrocondutivos multicanais associados a membranas nanofibrosas funcionalizadas com laminina para regeneração do nervo ciático. A configuração multicanal apresenta potencial para organizar espacialmente o tecido regenerativo, enquanto a eletrocondutividade acrescenta uma propriedade funcional ao suporte implantável. A estratégia evidencia a evolução dos biomateriais neurais de estruturas predominantemente passivas para sistemas capazes de integrar diferentes sinais regenerativos.

No âmbito das lesões da medula espinal, a engenharia do nicho regenerativo constitui uma dimensão particularmente relevante devido à complexidade do microambiente lesionado. Lai *et al.* (2022) desenvolveram um tecido semelhante à substância branca da medula espinal com características específicas de nicho, buscando favorecer a regeneração axonal direcional e a mielinização. A proposta demonstra que a reconstrução neural não depende exclusivamente da presença de moléculas bioativas, mas também da reprodução de características arquitetônicas e funcionais do tecido original.

A translação dessas estratégias para modelos de maior complexidade biológica representa uma etapa fundamental para avaliar sua aplicabilidade terapêutica. Vivas *et al.* (2025) investigaram uma terapia baseada em laminina em cães com lesão medular crônica e observaram resultados considerados promissores ao longo do acompanhamento longitudinal. A utilização de um modelo animal de maior porte contribui para aproximar a investigação experimental das condições clínicas, embora a interpretação dos resultados deva considerar as diferenças entre espécies e os desafios associados à padronização terapêutica.

Historicamente, a polilaminina também apresenta resultados experimentais relacionados à recuperação após lesões medulares. Menezes *et al.* (2010) demonstraram que a forma polimérica da laminina pode promover processos regenerativos após lesão da medula espinal, fortalecendo a hipótese de que a organização estrutural da laminina seja determinante para sua atividade biológica. A continuidade dessa linha de investigação possibilita compreender a polilaminina não apenas como componente de

suporte, mas como agente potencialmente capaz de modificar o ambiente celular após a injúria.

Mais recentemente, Menezes *et al*. (2024) relataram um estudo piloto em humanos envolvendo polilaminina após lesão medular completa, com retorno de contrações motoras voluntárias em parte dos participantes avaliados. Por se tratar de um trabalho disponibilizado como preprint em plataforma de comunicação científica, seus resultados ainda devem ser interpretados com cautela e submetidos à confirmação por estudos clínicos controlados, com amostras maiores e acompanhamento sistemático. Ainda assim, essa investigação representa um marco relevante na transição da pesquisa pré-clínica para a avaliação da polilaminina em seres humanos.

3. METODOLOGIA

3.1. Delineamento do Estudo

Foi realizada uma revisão integrativa da literatura, de natureza qualitativa, descritiva e exploratória, com o propósito de reunir, analisar e sintetizar evidências científicas relacionadas à utilização da polilaminina e de biomateriais baseados em laminina na regeneração do sistema nervoso. A escolha desse método fundamentou-se na possibilidade de integrar resultados provenientes de diferentes abordagens de investigação, permitindo uma compreensão ampliada do fenômeno estudado e das perspectivas biotecnológicas associadas à regeneração neural. A revisão integrativa é particularmente pertinente quando se pretende reunir evidências experimentais, pré-clínicas e clínicas acerca de uma temática complexa.

O percurso metodológico foi estruturado de maneira sistematizada, contemplando a formulação da questão norteadora, definição dos critérios de elegibilidade, estabelecimento dos descritores, busca nas bases de dados, identificação e seleção das publicações, avaliação dos estudos elegíveis, extração das informações relevantes, organização dos resultados e síntese interpretativa das evidências. A adoção dessas etapas buscou conferir maior rigor, transparência e reprodutibilidade ao processo de investigação.

3.2. Pergunta Norteadora

A elaboração da pergunta norteadora constituiu a etapa inicial da revisão e orientou a delimitação temática, a estratégia de busca e a seleção dos estudos. Considerando o objetivo proposto, estabeleceu-se a seguinte questão: Quais são as evidências científicas sobre o potencial da polilaminina e de biomateriais baseados em laminina para promover a regeneração e a recuperação funcional após lesões do sistema nervoso?

A questão foi formulada de modo a abranger tanto investigações direcionadas à polilaminina quanto estudos que empregaram laminina incorporada, conjugada ou funcionalizada em diferentes plataformas biomateriais. Dessa forma, buscou-se contemplar mecanismos regenerativos, aplicações em lesões periféricas e medulares, estratégias de engenharia tecidual e evidências relacionadas à recuperação neural.

3.3. Estratégia de Busca e Bases de Dados

A busca bibliográfica foi realizada nas bases Scientific Electronic Library Online (SciELO), Latindex, Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS), Miguilim, PubMed e Scopus,

selecionadas por sua relevância para a recuperação de publicações científicas nacionais e internacionais nas áreas de saúde, biotecnologia, engenharia de tecidos e neurociências.

Foram considerados estudos publicados no período compreendido entre 2006 e 2026, permitindo acompanhar a evolução das investigações relacionadas à laminina, polilaminina e regeneração neural ao longo de duas décadas. A estratégia de busca foi adaptada às especificidades de cada base, utilizando combinações entre descritores e termos livres relacionados ao objeto de estudo, com emprego dos operadores booleanos AND e OR, quando disponíveis.

3.4. Descritores e Estratégia de Combinação

Para ampliar a sensibilidade da busca, foram utilizados descritores e termos relacionados aos conceitos centrais da investigação, considerando suas correspondências em português e inglês. Entre os principais termos empregados, destacaram-se: *“polilaminina”, “polylaminin”, “laminina”, “laminin”, “regeneração neural”, “neural regeneration”, “regeneração nervosa”, “nerve regeneration”, “lesão medular”, “spinal cord injury”, “engenharia de tecidos neurais”* e *“neural tissue engineering”*.

Os termos foram combinados de acordo com a estrutura e os recursos de cada base de dados, buscando contemplar diferentes formas de indexação da temática. A utilização de termos equivalentes em português e inglês foi adotada para ampliar a recuperação de estudos relevantes publicados em diferentes contextos científicos.

3.5. Critérios de Inclusão e Exclusão

Foram estabelecidos como critérios de inclusão: artigos científicos completos; estudos publicados entre 2006 e 2026; publicações disponíveis nos idiomas português ou inglês; trabalhos que apresentassem relação direta com laminina, polilaminina, biomateriais funcionalizados com laminina ou estratégias de regeneração neural; e estudos que apresentassem resultados relacionados à regeneração, crescimento axonal, mielinização, reparo neural ou recuperação funcional.

Foram excluídos artigos duplicados entre as bases consultadas, estudos sem disponibilidade do texto completo, trabalhos publicados fora do período estabelecido, publicações em idiomas diferentes do português e inglês, estudos cujo conteúdo não apresentasse relação direta com o tema e documentos que não apresentassem dados científicos pertinentes aos objetivos da revisão. Também foram desconsiderados editoriais, cartas ao editor, comentários, resumos isolados, trabalhos acadêmicos não publicados como artigos científicos e materiais cuja abordagem não permitisse a extração de informações relacionadas ao objeto investigado.

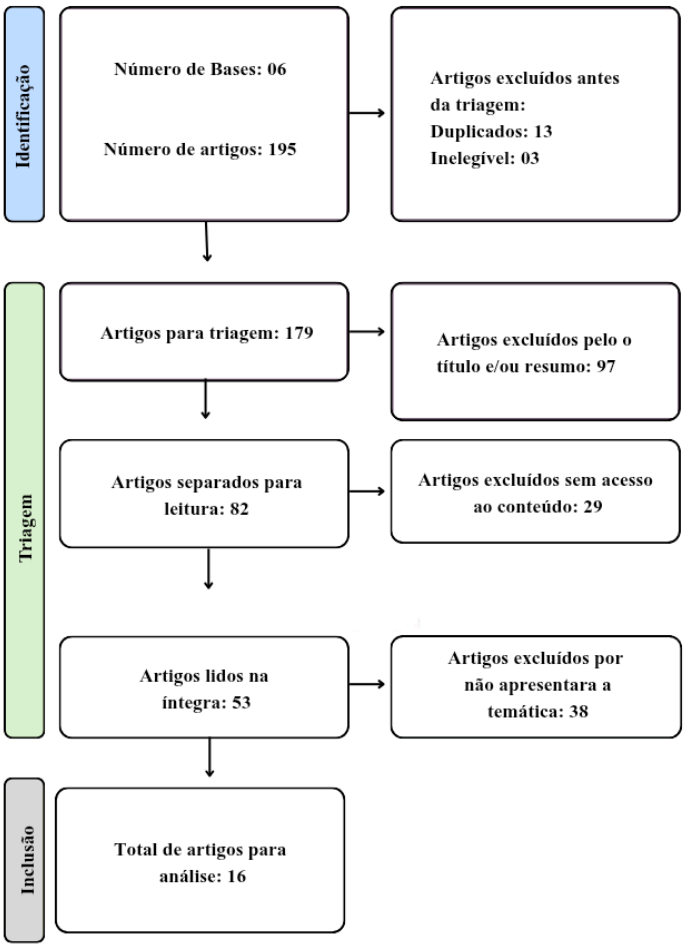
3.6. Seleção e Avaliação dos Estudos

Após a realização das buscas, os resultados recuperados foram inicialmente organizados para identificação e remoção das duplicidades. Em seguida, procedeu-se à leitura dos títulos e resumos, etapa destinada à identificação preliminar dos estudos potencialmente elegíveis. Os artigos que apresentaram compatibilidade com a temática e os critérios previamente estabelecidos foram encaminhados para leitura integral.

A avaliação dos textos completos possibilitou confirmar a elegibilidade dos estudos e excluir aqueles que, embora apresentassem relação superficial com os descritores utilizados, não respondiam aos objetivos da investigação. Esse procedimento buscou reduzir a possibilidade de inclusão de evidências inadequadas e assegurar maior coerência entre os estudos selecionados e a questão norteadora.

O processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos foi organizado de forma sistemática e será apresentado na Figura 1, permitindo visualizar o percurso metodológico empregado desde a recuperação inicial das referências até a composição do corpus final da revisão.

Figura 1. Fluxograma de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos na revisão integrativa



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3.7. Extração, Organização e Análise dos Dados

Para sistematizar as informações provenientes dos estudos selecionados, foi elaborado um instrumento de extração contendo variáveis consideradas relevantes para a análise da literatura. Foram registrados, quando disponíveis, autor e ano de publicação, título, país de realização, objetivo, delineamento metodológico, modelo experimental ou população estudada, intervenção ou biomaterial utilizado, principais mecanismos investigados, desfechos relacionados à regeneração neural e principais resultados.

Posteriormente, as informações foram organizadas em categorias temáticas, possibilitando a comparação dos achados entre diferentes modelos experimentais e abordagens biotecnológicas. A análise foi predominantemente descritiva e interpretativa, buscando

identificar convergências, particularidades, avanços, limitações e lacunas na produção científica sobre polilaminina e laminina aplicada à regeneração neural.

A síntese dos resultados considerou especialmente aspectos relacionados ao crescimento e direcionamento axonal, interação com células de Schwann, diferenciação celular, mielinização, reconstrução do microambiente neural, utilização de nanofibras e conduítes, propriedades eletrocondutivas dos biomateriais e recuperação funcional. A integração dessas dimensões permitiu construir uma interpretação abrangente acerca do potencial regenerativo das diferentes estratégias identificadas na literatura.

3.8. Aspectos Éticos

Por se tratar de uma revisão, desenvolvida exclusivamente com dados secundários provenientes de estudos já publicados, esta pesquisa não envolveu a participação direta de seres humanos, não sendo necessária a apreciação por Comitê de Ética em Pesquisa, em conformidade com a Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016, do Conselho Nacional de Saúde.

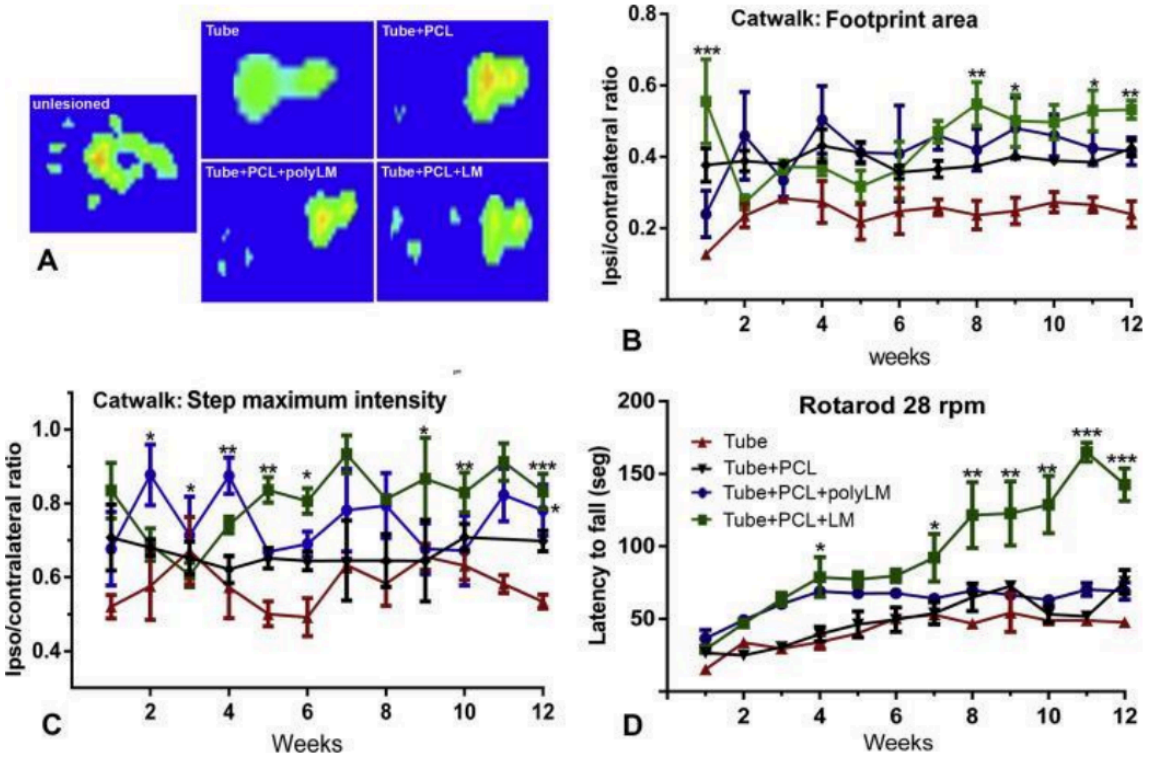
Ressalta-se que foram observados princípios de rigor científico, transparência metodológica e adequada identificação das fontes utilizadas. A organização das etapas de busca, seleção, análise e síntese foi realizada com o propósito de assegurar consistência à interpretação das evidências e reduzir possíveis vieses decorrentes da seleção ou da análise das publicações.

4. RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos estudos selecionados evidenciou um conjunto consistente de resultados favoráveis à utilização da laminina e da polilaminina como componentes bioativos em estratégias de regeneração neural. Haggerty, Al-Ali e Oudega (2018) demonstraram que polímeros solúveis de laminina potencializam o crescimento axonal de neurônios primários, enquanto Haggerty *et al.* (2019) observaram aceleração do processo de reparação após lesão de nervo periférico em modelo animal. Esses achados sustentam a capacidade da laminina polimerizada de atuar sobre eventos iniciais da regeneração, constituindo uma base experimental relevante para aplicações posteriores.

No âmbito dos modelos pré-clínicos, diferentes estratégias demonstraram que a incorporação da laminina ou da polilaminina em sistemas de suporte pode favorecer a reconstrução do tecido neural. Menezes *et al.* (2010) identificaram efeitos regenerativos da polilaminina após lesão medular, enquanto Siqueira-Santos et al. (2019) demonstraram atividade biológica de filamentos de policaprolactona revestidos com laminina/polilaminina durante a regeneração do nervo ciático. A convergência desses resultados reforça que a atividade regenerativa não depende exclusivamente da molécula isolada, mas também de sua associação com estruturas capazes de fornecer suporte físico ao tecido lesionado. A síntese desses resultados pré-clínicos é apresentada na Figura 2.

Figura 2. Resultados pré-clínicos da aplicação de polilaminina e de estratégias terapêuticas baseadas em laminina



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Sob outra perspectiva, a organização espacial da laminina nos biomateriais mostrou-se determinante para a resposta neural. Song *et al.* (2018) verificaram que matrizes fibrosas alinhadas contendo laminina foram efetivas para estimular a neuritogênese, indicando que a arquitetura do suporte pode fornecer pistas direcionais para os prolongamentos neuronais. Em concordância, Kijeńska *et al.* (2014) identificaram interação favorável entre células de Schwann e nanofibras de PLCL contendo laminina. Esses resultados indicam que composição bioquímica e organização topográfica devem ser consideradas conjuntamente no desenvolvimento de plataformas regenerativas.

A avaliação dos nervos periféricos também demonstrou que a funcionalização de enxertos e conduítes pode contribuir para uma regeneração mais organizada. Li *et al.* (2018) associaram um conduíte de laminina, quitosana e PLGA a células de Schwann e células-tronco neurais para reparação do nervo laríngeo recorrente, enquanto Chang et al. (2020) investigaram conduítes nanofibrosos

poliméricos associados à laminina para regeneração periférica. A convergência entre essas abordagens evidencia uma tendência de combinar sinalização molecular, suporte estrutural e componentes celulares para superar limitações inerentes ao reparo espontâneo dos nervos. A recuperação funcional relacionada ao uso de enxertos funcionalizados pode ser representada pela análise de pegadas apresentada na Figura 3.

Figura 3. Recuperação motora avaliada por análise de pegadas após enxerto funcionalizado



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

De forma complementar, os estudos analisados revelaram que a interação entre matriz extracelular e células de Schwann constitui um dos mecanismos centrais das estratégias baseadas em laminina. Yu *et al.* (2023) demonstraram que proteínas da matriz extracelular,

especialmente a laminina, interferem no comportamento biológico das células de Schwann e participam de processos associados à remielinização após lesões periféricas. Esses resultados ajudam a explicar por que biomateriais funcionalizados com laminina apresentam potencial não apenas para estimular o crescimento axonal, mas também para favorecer condições celulares relacionadas à reconstrução da bainha de mielina.

Tabela 1. Caracterização dos estudos selecionados sobre polilaminina e estratégias baseadas em laminina para regeneração neural

Autor/ano	Estratégia/intervenção	Modelo ou aplicação	Principais achados
Kijeńska *et al.*, 2014	Nanofibras de PLCL com laminina encapsulada	Células de Schwann e engenharia de tecido nervoso	A incorporação da laminina em nanofibras de PLCL favoreceu uma interface adequada para a interação com células de Schwann. O estudo evidenciou que a associação entre organização nanofibrosa e componentes da matriz extracelular pode fornecer condições mais apropriadas para a atividade celular relacionada ao reparo neural, ressaltando a importância das características físico-químicas do biomaterial.
Arulmoli *et al.*, 2016	Scaffolds combinados de fibrina de salmão, ácido	Células-tronco neurais humanas e engenharia	A combinação de fibrina, ácido hialurônico e laminina possibilitou a construção de um microambiente

	hialurônico e laminina	de tecido vascular	tridimensional biologicamente ativo, capaz de oferecer suporte à interação e organização de células-tronco neurais. Os resultados reforçaram a importância da associação entre componentes da matriz extracelular e biomateriais para a construção de plataformas destinadas à engenharia neural e à substituição tecidual.
Haggerty; Al-Ali; Oudega, 2018	Polímeros solúveis de laminina	Neurônios primários in vitro	Os resultados demonstraram que os polímeros solúveis de laminina aumentaram o crescimento dos axônios de neurônios primários em condições experimentais. Esse efeito evidencia que a organização polimérica da laminina pode potencializar sua atividade biológica, favorecendo processos associados à extensão neurítica e fornecendo suporte experimental para o desenvolvimento de terapias baseadas em formas modificadas dessa proteína.
Li *et al.*, 2018	Conduíte de laminina, quitosana e PLGA associado a células de Schwann e	Reparação do nervo laríngeo recorrente lesionado	A utilização de um conduíte composto por laminina, quitosana e PLGA em associação com células de Schwann e células-tronco neurais demonstrou uma estratégia integrada de reparação nervosa. A

	células-tronco neurais		abordagem combinou suporte físico, sinalização da matriz extracelular e elementos celulares, evidenciando o potencial de sistemas multifatoriais para favorecer a reconstrução de nervos periféricos lesionados.
Menezes *et al.*, 2010	Polilaminina, forma polimérica da laminina	Lesão da medula espinal	Os autores demonstraram que a polilaminina apresenta atividade regenerativa após lesão da medula espinal. Os achados forneceram evidências experimentais de que a forma polimérica da laminina pode modificar favoravelmente o ambiente lesionado e estimular processos associados à recuperação neural, estabelecendo uma base importante para o desenvolvimento de estudos posteriores de caráter translacional.
Song *et al.*, 2018	Matrizes de fibras alinhadas com núcleo de laminina e envoltório de polidioxanona /colágeno	Neuritogênese	As matrizes fibrosas alinhadas contendo laminina demonstraram capacidade de favorecer a neuritogênese e de fornecer orientação espacial aos prolongamentos neuronais. Os resultados destacaram a influência da topografia do biomaterial sobre o comportamento neural, demonstrando que a disposição ordenada das fibras pode atuar

			conjuntamente com os sinais bioquímicos da laminina para direcionar respostas regenerativas.
Haggerty *et al.*, 2019	Tratamento com polímero de laminina	Nervo periférico esmagado de ratos adultos	O tratamento com polímero de laminina acelerou a reparação do nervo periférico após lesão, indicando capacidade de interferir positivamente no processo regenerativo. Os resultados ampliaram as evidências obtidas anteriormente em modelos celulares e demonstraram que a estratégia também apresenta atividade em um sistema biológico complexo, reforçando seu potencial como abordagem para lesões nervosas periféricas.
Siqueira-Santos *et al.*, 2019	Filamentos de policaprolactona revestidos com laminina/polilaminina	Regeneração e substituição tecidual do nervo ciático de ratos	Os filamentos de policaprolactona funcionalizados com laminina/polilaminina apresentaram atividade biológica associada aos processos de regeneração e substituição do tecido nervoso. O estudo demonstrou que a incorporação dessas moléculas em estruturas poliméricas pode conferir propriedades bioativas ao suporte, favorecendo sua utilização como plataforma para reconstrução de nervos periféricos.

Barros; Amaral; Pêgo, 2020	Microambientes biomiméticos inspirados na laminina	Células-tronco neurais	Os autores demonstraram que microambientes inspirados na laminina podem atuar como sistemas instrutivos para células-tronco neurais, modulando interações célula-matriz e características relacionadas à organização e ao comportamento celular. O estudo destacou a relevância da reprodução de sinais presentes no nicho neural para o desenvolvimento de estratégias de engenharia tecidual mais fisiologicamente orientadas.
Chang *et al.*, 2020	Conduítes nervosos poliméricos nanofibrosos associados à laminina	Regeneração de nervos periféricos	A funcionalização dos conduítes nanofibrosos com laminina foi empregada para combinar suporte estrutural e estímulos bioativos capazes de favorecer a regeneração dos nervos periféricos. Os achados demonstraram o potencial desses sistemas para oferecer uma superfície favorável à interação celular e ao crescimento axonal, evidenciando a importância da integração entre arquitetura nanofibrosa e sinalização molecular.
Nazeri; Karimi;	Modificação superficial de	Engenharia de tecido	A funcionalização dos scaffolds com laminina

Ghanbari, 2021	scaffolds nanofibrosos de PLGA/nanotubos de carbono com laminina	nervoso	permitiu associar características estruturais das nanofibras às propriedades bioativas da matriz extracelular. Os resultados evidenciaram o potencial de plataformas que combinam componentes eletroativos e sinais moleculares para oferecer condições mais favoráveis à regeneração neural, ampliando as possibilidades de aplicação da nanotecnologia na engenharia de tecidos nervosos.
Lai *et al.*, 2022	Construção de tecido semelhante à substância branca da medula espinal	Lesão medular em ratos	A construção de um microambiente específico, semelhante à substância branca da medula espinal, foi direcionada à promoção da regeneração axonal orientada e da mielinização. Os resultados demonstraram que a reprodução de características arquitetônicas do tecido nervoso pode contribuir para organizar o processo regenerativo, indicando que a engenharia do nicho neural constitui componente essencial para estratégias destinadas à recuperação medular.
Nazeri *et al.*, 2022	Conduítes eletroconduti vos multicanais com	Regeneraçã o do nervo ciático	A estratégia combinou arquitetura multicanal, nanofibras, eletrocondutividade e funcionalização com

	membranas nanofibrosas funcionalizadas com laminina		laminina em uma única plataforma regenerativa. Os achados indicaram que a integração de propriedades elétricas, estruturais e bioquímicas pode favorecer um ambiente mais adequado à regeneração do nervo periférico, representando uma evolução em relação aos biomateriais convencionais de função predominantemente estrutural.
Yu *et al.*, 2023	Laminina, fibronectina e colágeno tipo IV	Células de Schwann e remielinização após lesão periférica	O estudo demonstrou que proteínas da matriz extracelular influenciam o comportamento biológico das células de Schwann e participam de mecanismos relacionados à remielinização após lesão de nervos periféricos. Os resultados reforçam particularmente a importância da laminina na comunicação entre células e matriz extracelular, contribuindo para a compreensão dos mecanismos celulares envolvidos na reconstrução do tecido nervoso.
Menezes *et al.*, 2024	Aplicação de polilaminina	Estudo piloto em humanos com lesão medular completa	O estudo piloto relatou retorno de contrações motoras voluntárias após a utilização de polilaminina em indivíduos com lesão medular completa. Embora os resultados representem uma evidência clínica

			inicial de interesse, o caráter preliminar e a disponibilização como preprint exigem interpretação cautelosa. A investigação constitui, contudo, um importante avanço na transição das evidências pré-clínicas para a avaliação da aplicabilidade terapêutica em seres humanos.
Vivas *et al.*, 2025	Terapia baseada em laminina	Cães com lesão medular crônica	O acompanhamento longitudinal de cães com lesão medular crônica apresentou resultados considerados promissores após terapia baseada em laminina. A utilização de um modelo animal de maior porte contribuiu para ampliar a avaliação translacional da abordagem, sugerindo potencial para aplicações em condições de lesão estabelecida. Entretanto, a extrapolação dos resultados para humanos requer estudos clínicos controlados e avaliações de segurança e eficácia em maior escala.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), com base nos estudos selecionados.

A integração dos estudos demonstra que a laminina pode atuar simultaneamente como sinal molecular e elemento funcional de biomateriais. Arulmoli *et al.* (2016) exploraram scaffolds compostos

por fibrina de salmão, ácido hialurônico e laminina para aplicações envolvendo células-tronco neurais humanas e engenharia vascular. Essa combinação evidencia que a regeneração neural pode ser favorecida pela construção de ambientes tridimensionais que reproduzam diferentes características da matriz extracelular, em vez da utilização isolada de um único componente bioativo.

No campo dos microambientes celulares, Barros, Amaral e Pêgo (2020) enfatizaram que sistemas inspirados na laminina podem apresentar propriedades instrutivas para células-tronco neurais. A relevância desse achado está na possibilidade de controlar não apenas a sobrevivência celular, mas também respostas como adesão, organização e diferenciação. Em concordância com os estudos envolvendo scaffolds, essa perspectiva amplia o conceito de biomaterial, que passa a ser concebido como um microambiente capaz de transmitir sinais biológicos específicos.

Em relação às estratégias destinadas ao sistema nervoso periférico, Chang *et al.* (2020) demonstraram a relevância dos conduítes nanofibrosos associados à laminina para a regeneração neural. A utilização de estruturas poliméricas com elevada organização superficial oferece suporte para o crescimento dos axônios e pode auxiliar na reconstrução de trajetórias celulares. Essa abordagem converge com os achados de Siqueira-Santos *et al.* (2019), nos quais filamentos de policaprolactona funcionalizados com laminina/polilaminina foram empregados como suporte para regeneração e substituição tecidual no nervo ciático.

No que concerne à combinação entre propriedades elétricas e estímulos bioquímicos, Nazeri, Karimi e Ghanbari (2021) evidenciaram o potencial de modificar scaffolds de PLGA e

nanotubos de carbono com laminina. A estratégia é particularmente relevante porque o tecido nervoso apresenta comunicação eletrofisiológica intrínseca, tornando desejável o desenvolvimento de materiais capazes de integrar propriedades biológicas e físico-funcionais. Nazeri *et al.* (2022) avançaram nessa concepção ao utilizar conduítes eletrocondutivos multicanais funcionalizados com laminina, reforçando a tendência de desenvolvimento de plataformas regenerativas multifuncionais.

Quanto à recuperação do tecido medular, Lai *et al.* (2022) demonstraram que a reprodução de características específicas da substância branca pode favorecer a regeneração axonal direcional e a mielinização. O resultado amplia a compreensão sobre a regeneração neural ao indicar que a simples disponibilização de fatores promotores do crescimento não é suficiente para reconstruir um tecido funcional. A organização espacial, a composição do microambiente e a orientação dos axônios constituem componentes interdependentes da resposta regenerativa.

No cenário translacional, Vivas *et al.* (2025) contribuíram para aproximar as evidências experimentais da realidade clínica ao avaliar uma terapia baseada em laminina em cães com lesão medular crônica. Os resultados longitudinais considerados promissores sugerem que estratégias fundamentadas na modulação do microambiente neural podem apresentar efeitos mesmo diante de lesões estabelecidas. Entretanto, a extrapolação para seres humanos exige estudos com delineamentos mais robustos, controle de variáveis clínicas e acompanhamento prolongado.

A passagem para investigações em humanos representa um dos aspectos mais recentes dessa trajetória científica. Menezes *et al.*

(2024) relataram, em estudo piloto disponibilizado como preprint, retorno de contrações motoras voluntárias após lesão medular completa em indivíduos submetidos à abordagem com polilaminina. Embora esse resultado seja relevante como evidência inicial de potencial translacional, sua interpretação deve permanecer cautelosa devido ao caráter preliminar do estudo e à necessidade de confirmação independente por ensaios clínicos metodologicamente mais rigorosos.

De modo geral, a concordância entre os estudos evidencia que a laminina e a polilaminina apresentam potencial regenerativo por diferentes vias, incluindo estímulo ao crescimento axonal, interação com células de Schwann, promoção da neuritogênese, suporte à remielinização e organização de microambientes biomiméticos. A literatura também demonstra uma evolução progressiva das estratégias, passando da utilização da laminina como componente bioativo para sistemas complexos que incorporam alinhamento nanofibroso, eletrocondutividade, células terapêuticas e arquiteturas tridimensionais. Esse percurso reforça a necessidade de compreender a regeneração neural como fenômeno multifatorial, no qual a interação entre biomaterial, células e microambiente determina a qualidade da resposta reparadora.

Em síntese, os resultados analisados sustentam a relevância da polilaminina e das plataformas funcionalizadas com laminina como estratégias promissoras para a regeneração do sistema nervoso, embora a maturidade das evidências ainda seja heterogênea entre os diferentes modelos. Os avanços observados apontam para uma crescente integração entre biologia molecular, engenharia de tecidos, nanotecnologia e medicina regenerativa, criando perspectivas para intervenções cada vez mais direcionadas e

funcionalmente orientadas. A consolidação dessas abordagens dependerá, contudo, da padronização dos biomateriais, da definição de parâmetros terapêuticos, da avaliação de segurança e da realização de estudos translacionais capazes de estabelecer sua efetividade clínica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das evidências científicas permitiu responder à pergunta norteadora ao demonstrar que a polilaminina e as estratégias baseadas em laminina apresentam potencial para promover a regeneração e a recuperação funcional após lesões do sistema nervoso. Os estudos indicaram efeitos relacionados ao crescimento axonal, à neuritogênese, à interação com células de Schwann, à remielinização e à reorganização do microambiente neural, evidenciando a natureza multifatorial dessas intervenções.

Os resultados também permitiram cumprir o objetivo de analisar os avanços biotecnológicos relacionados à utilização da polilaminina e de biomateriais funcionalizados com laminina. Observou-se evolução desde a aplicação de polímeros de laminina em modelos celulares e animais até o desenvolvimento de scaffolds nanofibrosos, conduítes eletrocondutivos, estruturas alinhadas e microambientes biomiméticos destinados a diferentes lesões neurais.

Particularmente, as evidências pré-clínicas demonstraram resultados favoráveis quanto à capacidade dessas estratégias de estimular processos regenerativos. A associação da laminina a diferentes biomateriais mostrou-se relevante para proporcionar suporte estrutural e estímulos bioquímicos, enquanto a polilaminina apresentou resultados promissores em modelos de lesão medular e

de nervos periféricos. Esses achados reforçam a importância da engenharia do microambiente para a reconstrução do tecido nervoso.

Do ponto de vista translacional, a literatura recente sinaliza ampliação das possibilidades terapêuticas, incluindo investigações em modelos animais de maior complexidade e evidências clínicas preliminares. Entretanto, a heterogeneidade dos modelos, biomateriais, formas de administração e parâmetros avaliativos limita comparações entre os estudos. Além disso, as evidências clínicas ainda são insuficientes para estabelecer eficácia terapêutica definitiva, exigindo interpretação criteriosa dos resultados disponíveis.

Nesse sentido, recomenda-se o desenvolvimento de pesquisas multicêntricas e longitudinais, especialmente ensaios clínicos controlados, destinados a avaliar diferentes formulações de polilaminina e biomateriais funcionalizados com laminina. Estudos futuros devem estabelecer parâmetros padronizados de dose, administração, composição dos biomateriais, segurança, resposta imunológica, regeneração axonal e recuperação motora, ampliando a comparabilidade dos resultados e a compreensão dos mecanismos envolvidos.

Por fim, a convergência entre biotecnologia, engenharia de tecidos, nanotecnologia e neurociência demonstra que a laminina e a polilaminina constituem plataformas promissoras para terapias regenerativas. Embora as evidências sustentem um cenário favorável, a consolidação dessas estratégias na prática clínica dependerá da superação de limitações experimentais e da produção de evidências clínicas robustas. Assim, seu avanço poderá contribuir

para intervenções mais específicas e biologicamente orientadas, ampliando as possibilidades de recuperação após lesões do sistema nervoso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARULMOLI, J. *et al.* Combination scaffolds of salmon fibrin, hyaluronic acid, and laminin for human neural stem cell and vascular tissue engineering. **Acta Biomaterialia,** v. 43, p. 122-138, 2016.

BARROS, D.; AMARAL, I. F.; PÊGO, A. Laminin-inspired cell-instructive microenvironments for neural stem cells. **Biomacromolecules,** v. 21, n. 2, p. 276-293, 2020.

CHANG, W. *et al.* Polymeric nanofibrous nerve conduits coupled with laminin for peripheral nerve regeneration. **Biomedical Materials,** v. 15, n. 3, 035003, 2020.

HAGGERTY, A. E. *et al.* Laminin polymer treatment accelerates repair of the crushed peripheral nerve in adult rats. **Acta Biomaterialia,** v. 86, p. 185-193, 2019.

HAGGERTY, A. E.; AL-ALI, H.; OUDEGA, M. Soluble laminin polymers enhance axon growth of primary neurons in vitro. **Journal of Biomedical Materials Research. Part A,** v. 106, n. 9, p. 2372-2381, 2018.

KIJEŃSKA, E. *et al.* Interaction of Schwann cells with laminin encapsulated PLCL core-shell nanofibers for nerve tissue engineering. **European Polymer Journal,** v. 50, p. 30-38, 2014.

LAI, B. *et al.* Construction of a niche-specific spinal white matter-like tissue to promote directional axon regeneration and myelination for rat spinal cord injury repair. **Bioactive Materials,** v. 11, p. 15-31, 2022.

LI, Y. *et al.* Laminin-chitosan-PLGA conduit co-transplanted with Schwann and neural stem cells to repair the injured recurrent laryngeal nerve. **Experimental and Therapeutic Medicine,** v. 16, n. 2, p. 1250-1258, 2018.

MENEZES, K. *et al.* Polylaminin, a polymeric form of laminin, promotes regeneration after spinal cord injury. **The FASEB Journal,** v. 24, n. 11, p. 4513-4522, 2010.

MENEZES, K. *et al.* Return of voluntary motor contraction after complete spinal cord injury: a pilot human study on polylaminin. **medRxiv,** 2024. Preprint.

NAZERI, N. *et al.* Improvement of sciatic nerve regeneration by multichannel nanofibrous membrane-embedded electro-conductive conduits functionalized with laminin. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine,** v. 33, n. 6, 50, 2022.

NAZERI, N.; KARIMI, R.; GHANBARI, H. The effect of surface modification of poly-lactide-co-glycolide/carbon nanotube nanofibrous scaffolds by laminin protein on nerve tissue engineering. **Journal of Biomedical Materials Research. Part A,** v. 109, n. 2, p. 159-169, 2021.

SIQUEIRA-SANTOS, R. *et al.* Biological activity of laminin/polylaminin-coated poly-ε-caprolactone filaments on the regeneration and tissue replacement of the rat sciatic nerve. **Materials Today Bio,** v. 3, 100026, 2019.

SONG, S.-J. *et al.* Aligned laminin core-polydioxanone/collagen shell fiber matrices effective for neuritogenesis. **Scientific Reports,** v. 8, n. 1, 5570, 2018.

VIVAS, D. G. *et al.* A laminin-based therapy for dogs with chronic spinal cord injury: promising results of a longitudinal trial. **Frontiers in Veterinary Science,** v. 12, 1592687, 2025.

YU, P. *et al.* Effects of ECM proteins (laminin, fibronectin, and type IV collagen) on the biological behavior of Schwann cells and their roles in the process of remyelination after peripheral nerve injury. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology,** v. 11, 1133718, 2023.

---

[1] Graduanda em Enfermagem, 8° período, com conclusão prevista para 2027.1, pela Faculdade Santíssima Trindade. Carpina, Pernambuco, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[2] Graduando em Medicina. Maceió, Alagoas, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[3] Graduanda em Biomedicina, 4° período. Estácio. Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[4] Graduada em Educação Física e Odontologia. Acadêmica de Química e Medicina. Faculdade Cathedral de Ensino Superior (FACES). Boa Vista, Roraima, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[5] Mestranda em Biomateriais e Medicina Regenerativa pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), Campus

Sorocaba. Graduada em Nutrição pela Universidade de Fortaleza. Fortaleza, Ceará, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[6] Estudante de Medicina do Centro Universitário Faculdade Assis Gurgacz (FAG). Pós-graduada em Enfermagem do Trabalho pela Faculdade Estadual de Filosofia, Ciências e Letras de Paranavaí (FAFIPA). Enfermeira pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[7] Graduanda em Gestão Pública. Centro Universitário de Maringá (UniCesumar), modalidade EAD. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[8] Pós-graduado em Psicologia Hospitalar. Graduado em Psicologia pela Universidade Paulista (UNIP). Goiânia, Goiás, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[9] Pós-graduado em Hematologia, Hemoterapia, Biologia Molecular e Citogenética, Saúde do Idoso e Gerontologia e Atenção ao Paciente Crítico: Urgência, Emergência e UTI. Universidade Nove de Julho (UNINOVE); Faculdade Líbano; Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FMRP-USP); BioEdTech. Barretos, São Paulo, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[10] Enfermeiro. Faculdade de Enfermagem e Obstetrícia. Atua na Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Adamantina, São Paulo, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[11] Graduanda em Biomedicina, 8° semestre, pela Universidade da Amazônia. Belém, Pará, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[12] Acadêmica de Fisioterapia. Uniplan. Açailândia, Maranhão, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[13] Especialista em Farmácia Hospitalar e Clínica pelo Instituto de Ciência, Tecnologia e Qualidade (ICTQ). Graduado em Farmácia pela Universidade Salvador. Feira de Santana, Bahia, Brasil. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail