

Oftalmologia e Otorrinolaringologia

Edição VII

Capítulo 15

NEUROPLASTICIDADE E VISÃO ARTIFICIAL: O PAPEL DAS PRÓTESES VISUAIS NA RECONFIGURAÇÃO CEREBRAL

MELANIE MAY CHOW¹
CARLA LUIZA RODRIGUES RIBEIRO¹
JÚLIA HELENA GALANTE GARCIA¹
JULIA CAROLINA MARTINS TAKEMURA¹
PAULA RIBEIRO OZIERES¹
RAFAEL ANDRADE TEIXEIRA¹
RUY CARLOS KAMEI JUNIOR¹
MICHAEL CHOW²
JEAN SOUSA CAVALCANTE³

1. Discente – Universidade Santo Amaro.

2. Discente – Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo.

3. Docente – Residente de Oftalmologia do Complexo Hospitalar Padre Bento de Guarulhos.

Palavras-chave: Próteses Funcionais; Visão Artificial; Reabilitação Visual.

INTRODUÇÃO

A perda visual representa um importante problema de saúde pública mundial. De acordo com o relatório global sobre visão publicado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2019, mais de 2,2 bilhões de pessoas apresentam algum grau de deficiência visual, variando desde redução moderada da acuidade até cegueira completa. Essas limitações comprometem significativamente as atividades diárias, restringem a independência e afetam o desempenho social, emocional e funcional dos indivíduos. Nesse cenário, soluções tecnológicas capazes de restaurar, ainda que parcialmente, a visão funcional emergem como uma necessidade crescente (WHO, 2019).

Historicamente, o manejo cirúrgico de condições que levam à perda irreversível do globo ocular concentrou-se principalmente em abordagens estéticas e estruturais. Em cirurgias anoftálmicas, como evisceração, enucleação e exenteração, a cavidade orbitária torna-se vazia, exigindo o uso de conformadores de acrílico ou silicone para manter seu formato durante o processo de cicatrização. Após cerca de quatro semanas, esses dispositivos são substituídos por uma prótese ocular artificial, geralmente confeccionada de forma personalizada para se ajustar aos fórnices conjuntivais e proporcionar um aspecto natural (SUZUKI JÚNIOR *et al.*, 2025a).

As cirurgias anoftálmicas diferem entre si quanto à extensão dos tecidos removidos. A evisceração consiste na retirada da córnea e do conteúdo intraocular, preservando esclera, músculos extraoculares e nervo óptico; já a enucleação envolve a remoção completa do globo ocular, mantendo intactos os tecidos orbitários; enquanto a exenteração corresponde ao procedimento mais amplo, removendo-se não apenas o globo, mas parte ou todos os tecidos da órbita.

Os implantes orbitais, quando utilizados, têm a função de preencher o espaço deixado pelo globo e transmitir mobilidade à prótese estética subsequente, sendo a evisceração o procedimento que, em geral, permite melhor movimentação devido às estruturas preservadas (PAUL & SWAMY, 2012).

Embora fundamentais para o conforto e bem-estar psicossocial, esses recursos tradicionais não restauram a função visual, o que impulsionou o desenvolvimento de tecnologias voltadas à geração artificial da visão. Os primeiros indícios da possibilidade de induzir percepção luminosa artificial surgiram na década de 1950. Em 1956, o pesquisador norte-americano Tassiker demonstrou que a estimulação elétrica era capaz de produzir a percepção de luz, descoberta que se tornaria a base conceitual para a criação de sistemas modernos de visão artificial (WANG *et al.*, 2022).

As próteses visuais representam a evolução desses esforços. Tais dispositivos convertem luz em sinais elétricos e os transmitem ao tecido retiniano remanescente, ao nervo óptico ou diretamente ao córtex visual occipital. Pesquisas recentes sugerem que a quantidade e distribuição dos eletrodos nos implantes desempenham papel central na qualidade da percepção visual gerada, estando diretamente relacionadas ao grau de restauração possível. Apesar das limitações atuais, usuários de próteses visuais já conseguem identificar objetos, perceber movimento, localizar obstáculos e até reconhecer letras de maior tamanho (RAMIREZ *et al.*, 2023).

O progresso contínuo no campo da engenharia biomédica, aliado às inovações em biotecnologia e processamento de sinais, torna o futuro das próteses visuais cada vez mais promissor. O aperfeiçoamento dos eletrodos, o desenvolvimento de materiais biocompatíveis, a integração com inteligência artificial e a exploração de interfaces corticais avançadas apontam

para uma transformação profunda na forma como a perda visual poderá ser reabilitada nas próximas décadas. Assim, o objeto deste capítulo é discutir a trajetória tecnológica, os avanços atuais e as perspectivas futuras das próteses visuais, apresentando limitações e melhorias de resolução visual.

TIPOS DE PRÓTESES VISUAIS

Próteses oculares externas (cosméticas)

As próteses oculares externas constituem o tipo mais comum e tradicional de prótese utilizado na prática oftalmológica. Elas são destinadas a substituir o globo ocular ausente (após enucleação ou evisceração) ou atrófico (*ptisis bulbi*) por razões cosméticas, estéticas e para dar suporte à pálpebra. Consistem em cascas acrílicas personalizadas, ajustadas individualmente para se acomodar na cavidade anoftálmica e posicionar-se sobre um implante orbital. A prótese se move ligeiramente com o implante, dando uma aparência de naturalidade (DUTTON, 2012).

- Vantagens: incluem a restauração estética e psicossocial completa e o suporte à estrutura palpebral, prevenindo o afundamento da órbita (*enophthalmos*) (DUTTON, 2012).

- Desvantagens: não restauram a visão, requerem manutenção e limpeza periódica, e apresentam risco de secreção, irritação ou deslocamento (DUTTON, 2012).

Próteses retinianas (implantes sub-retinianos e epi-retinianos)

As próteses retinianas são dispositivos funcionais implantáveis desenvolvidos para restaurar a percepção luminosa em pacientes com cegueira secundária à degeneração dos fotorreceptores, especialmente na retinose pigmentar e

em alguns casos avançados de degeneração macular relacionada à idade (DMRI) (BOWLING *et al.*, 2016).

Os dispositivos são microeletrônicos implantados na retina (podem ser sub-retinianos, substituindo fotorreceptores, ou epi-retinianos, estimulando células ganglionares). O sistema geralmente utiliza uma câmera externa (montada em óculos) (**Figura 15.1**) que captura a imagem, processa-a e envia os dados (via *wireless* ou cabos) para a matriz de eletrodos implantada, que estimula eletricamente as células retinianas remanescentes (BOWLING *et al.*, 2016)

- Vantagens: conseguem restaurar a percepção de luz e de formas básicas (melhorando a orientação e a identificação de objetos grandes) e, conseqüentemente, a mobilidade e a independência (BOWLING *et al.*, 2016).

- Desvantagens: incluem a visão de baixa resolução (limitada pelo número de eletrodos), o fato de funcionarem apenas em pacientes que têm as células ganglionares (nervos ópticos) intactas, o alto custo, a cirurgia invasiva e a necessidade de reabilitação intensiva (BOWLING *et al.*, 2016).

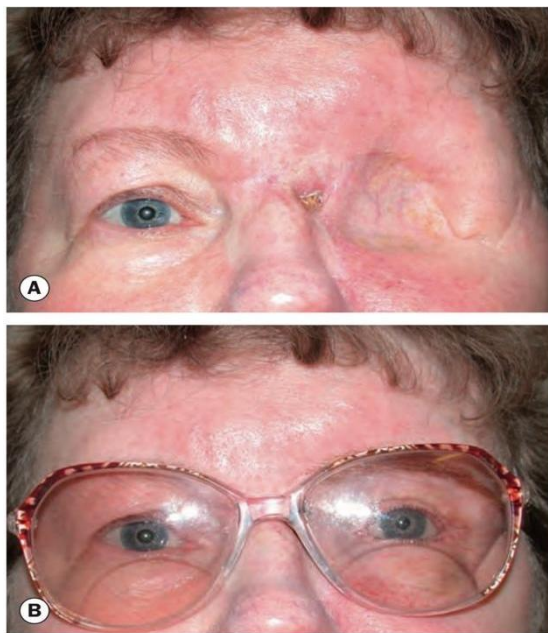
Próteses corticais

As próteses corticais representam o ápice da tecnologia visual funcional, buscando contornar o dano em toda a via óptica e estimular diretamente o centro de processamento visual no cérebro (DUTTON, 2012).

Esses dispositivos são implantados na superfície ou no interior do córtex visual primário (V1), localizado no lobo occipital. Uma câmera externa capta imagens, que são processadas e convertidas em sinais elétricos transmitidos aos eletrodos corticais. Dessa forma, todo o componente aferente da via óptica, incluindo globo ocular, retina, nervo óptico e núcleo geniculado lateral, é contornado integralmente ou ignorado

(*bypassed*), permitindo a estimulação direta do córtex visual (DUTTON, 2012).

Figura 15.1 (A) cavidade ocular sem prótese; (B) prótese montada em óculos



Fonte: BOWLING *et al.*, 2016.

- Vantagens: apresentam o potencial para restaurar a visão em pacientes com dano no nervo óptico ou no globo ocular que não seriam elegíveis para próteses retinianas, pois ignoram a patologia do olho (DUTTON, 2012).

- Desvantagens: requerem uma cirurgia cerebral altamente invasiva e complexa, carregam o risco de convulsões e danos cerebrais, e a tecnologia ainda se encontra em fase experimental e de pesquisa, com resolução visual extremamente baixa (DUTTON, 2012).

Auxílios não invasivos (tecnicamente órteses)

No contexto da reabilitação visual, embora frequentemente agrupados sob o guarda-chuva de "auxílios visuais", os auxílios externos não são próteses no sentido de substituição de um órgão. Eles são, tecnicamente, órteses que auxiliam a função visual residual existente. Exemplos incluem lupas, telescópios e vídeo-lupas

(amplificadores eletrônicos de imagem) (AAO, 2025).

MELHORIA NA PERCEPÇÃO DE LUZ E FORMAS

Os avanços recentes em próteses visuais têm se concentrado em aprimorar a percepção de luz e formas, buscando superar as limitações das tecnologias atuais e aproximar o usuário de uma experiência visual mais funcional. A literatura oftalmológica clássica demonstra que, mesmo em doenças degenerativas avançadas, uma parcela da arquitetura neural da retina permanece preservada, permitindo que sinais elétricos bem direcionados sejam interpretados pela via óptica e pelo córtex visual. A partir desse princípio fisiológico, diversas estratégias tecnológicas vêm sendo desenvolvidas (BOWLING *et al.*, 2016; SUZUKI *et al.*, 2025b).

Uma das frentes mais relevantes é a miniaturização dos componentes eletrônicos. A redução do tamanho de *microchips*, sensores e módulos de processamento possibilita maior densidade de eletrodos sem aumentar o volume do dispositivo, o que melhora a resolução espacial da imagem percebida. Além disso, dispositivos menores apresentam melhor adaptação aos tecidos oculares, menor risco cirúrgico e maior estabilidade mecânica dentro da retina ou sobre o córtex visual. Esse processo acompanha a necessidade anatômica de estruturas de baixo perfil e alta flexibilidade, considerando que a retina é altamente sensível a volume, pressão e rigidez mecânica (BOWLING *et al.*, 2016; SUZUKI *et al.*, 2025b).

Paralelamente, o uso de nanomateriais tem ampliado a biocompatibilidade e a eficiência dos sistemas de estimulação. Superfícies nanoestruturadas, como grafeno, nanotubos de carbono e polímeros condutores, oferecem exce-

lente condução elétrica, resistência à degradação e interação mais harmônica com o tecido neural. Essa integração microscópica reduz a inflamação e a fibrose, problemas frequentemente observados com próteses tradicionais, já a preservação do ambiente microestrutural é fundamental para manter circuitos neurais responsivos, reforçando o papel central da nanotecnologia (USP, 2025).

A evolução dos materiais também permitiu o desenvolvimento de eletrodos flexíveis e inteligentes. Diferentemente dos eletrodos rígidos usados em gerações anteriores, as novas arquiteturas mimetizam a elasticidade da retina, acomodam o movimento ocular e diminuem o risco de microtraumas. A flexibilidade permite que o dispositivo permaneça aderido ao tecido com menor indução de fibrose, o que melhora a transmissão elétrica ao longo do tempo. Além disso, dispositivos orbitais e oculares modernos caminham para soluções cada vez menos invasivas e mais biocompatíveis, o que reforça a importância dessa abordagem (AAO, 2025).

Outro eixo fundamental para o futuro das próteses é a integração com inteligência artificial e visão computacional. A utilização de câmeras externas associadas a processadores capazes de interpretar o ambiente em tempo real permite que a prótese receba um sinal já pré-processado, otimizado, com realce de bordas, contraste e identificação de elementos essenciais da cena. Esse processamento compensatório é crucial, uma vez que a densidade de eletrodos das próteses atuais ainda não é suficiente para produzir imagens detalhadas (BOWLING *et al.*, 2016; SUZUKI *et al.*, 2025b).

Somando-se a isso, algoritmos de aprendizado de máquina permitem que o sistema aprenda com o próprio uso. A prótese passa a reconhecer objetos recorrentes, rostos, sinais, obstáculos e até letras em alto contraste, forne-

cendo ao usuário informações úteis para a navegação diária e maior independência. Como as vias corticais de reconhecimento facial e de objetos seguem padrões relativamente organizados, simplificar a informação de entrada favorece a interpretação cerebral. Nesse contexto, aprendizado de máquina e neuroplasticidade se complementam: o dispositivo aprende com o usuário, e o cérebro aprende com o dispositivo (BOWLING *et al.*, 2016; SUZUKI *et al.*, 2025).

Combinadas, essas inovações (miniaturização, nanotecnologia, biocompatibilidade aprimorada, eletrodos flexíveis e integração com inteligência artificial) representam uma mudança significativa no papel das próteses visuais. De dispositivos geradores de fosfenos rudimentares, elas caminham para se tornar sistemas nanotecnológicos complexos, capazes de oferecer percepção luminosa mais precisa, reconhecimento de padrões simples e melhoria real na autonomia visual do paciente. O futuro das próteses visuais depende da interação entre engenharia, neurociência e oftalmologia, e os avanços atuais demonstram que essa convergência já está em curso, conforme discutido nas principais referências (AAO, 2025).

LIMITAÇÕES E MELHORIAS DE RESOLUÇÃO VISUAL

Percepção de imagens e formas

Pacientes com próteses retinianas podem ver fosfenos, a sensação de ver luzes, manchas ou pontos coloridos sem que haja luz entrando no olho devido ao estímulo elétrico da retina. A qualidade das imagens que podem ser percebidas depende de diversos fatores, como o número de eletrodos/fotodiodos no implante, as estratégias de estimulação utilizadas e os níveis de cinza que o paciente consegue identificar (AYTON *et al.*, 2020).

Nos pacientes que fazem uso de um dispositivo baseado em câmera, a câmera primeiramente captura a imagem do objeto observado. O ganho da imagem é ajustado de acordo com a iluminação no fundo, e os tons de cinza otimizam a apresentação após seu ajuste. A imagem então é pixelada de acordo com o número e a disposição dos eletrodos do dispositivo, e, assim, os sinais são enviados para cada eletrodo que projeta para o paciente a imagem do objeto pixelado. Algoritmos de dispositivos mais complexos e o uso de câmeras externas acopladas em óculos e viseiras podem detectar as bordas para destacar melhor os contornos dos objetos, auxiliando na melhora da qualidade do processamento das imagens (BARNES *et al.*, 2016).

Próteses baseadas em microfotodiodos implantáveis ou qualquer outra forma de sensor visual dentro do olho apresentaram dificuldades para a realização do processamento de imagem devido às restrições do processamento totalmente implantável, tais como a dissipação do calor.

Alguns métodos foram criados para impulsionar o desempenho em tarefas específicas consideradas importantes para a melhora da qualidade de vida, dando então menor ênfase na melhoria do desempenho visual geral. Um exemplo é a detecção de faces que pode ser auxiliada pelo uso de um algoritmo padrão de detecção facial em visão computacional, que destaca as áreas da imagem onde um rosto aparece (STANGA *et al.*, 2016). Assim, embora o participante não consiga ver os detalhes do rosto, ele percebe sua presença pela ativação de fosfenos nesta região.

Outros métodos foram desenvolvidos para auxiliar o paciente na identificação de objetos e formatos no solo, usando algoritmos de profundidade. Modalidades de estudos mais recentes utilizaram câmeras térmicas para localizar obje-

tos, geralmente para pessoas e alimentos quentes ou frios em uma mesa (STANGA *et al.*, 2016).

Diversos algoritmos diferentes estão sendo desenvolvidos para beneficiar pacientes de próteses retinianas, auxiliando na melhora da acuidade visual atualmente limitada de tais dispositivos. Próteses retinianas proporcionam para os pacientes uma visão distinta da percepção natural, logo requerem treinamento durante sua reabilitação e prática extensiva para que possam otimizar os resultados.

Reconhecimento de movimento

Devido a uma série de limitações e considerações técnicas, a realização de testes perimétricos em participantes com próteses visuais não é fácil. Contudo, um grupo após o implante de um dispositivo já comercializado, o Argus II, demonstrou um aumento da sensibilidade retiniana ao estímulo perimétrico (RIZZO *et al.*, 2015).

A detecção de movimento se mostrou possível com o implante do Argus II, como também os dispositivos sub-retinianos Alpha IMS e AMS; com um único paciente usando do dispositivo Alpha IMS sendo capaz de reconhecer corretamente uma velocidade de 35 graus por segundo, o equivalente a um carro se movendo a 22 km/h a uma distância de 10 metros (STINGLE *et al.*, 2015b).

Apesar da dificuldade da realização de testes em participantes com próteses retinianas, pode-se afirmar que o reconhecimento de movimento, apesar de simples, é possível. Estudos continuam a ser realizados para aprimorar a visão dos pacientes e proporcionar maior riqueza de detalhes e uma visão mais natural.

ADAPTAÇÃO CEREBRAL E NECESSIDADE DE TREINAMENTO SENSORIAL INTENSIVO

Neuroplasticidade e adaptação cerebral

A neuroplasticidade corresponde à capacidade do sistema nervoso de reorganizar conexões, ajustar mapas sensoriais e redistribuir funções diante de alterações na entrada de informação. Em indivíduos com cegueira adquirida, métodos de neuroimagem mostram que o córtex occipital passa a responder progressivamente a estímulos táteis e auditivos, fenômeno conhecido como plasticidade cruzada (CARVALHO *et al.*, 2019). Embora essa adaptação favoreça a compensação sensorial, ela impõe um desafio quando um sinal visual, mesmo artificial, é reintroduzido: o cérebro precisa reorientar suas redes para voltar a processar informação luminosa.

Com a implantação de próteses visuais, inicia-se uma nova fase de reorganização. Evidências em próteses corticais demonstram que o uso contínuo do dispositivo altera a conectividade entre áreas visuais primárias e regiões parietais e temporais associadas à integração espacial, reconhecimento de objetos e navegação (LIU *et al.*, 2022). Assim, além de reativar o córtex visual, o cérebro passa a reconfigurar redes mais amplas para acomodar um tipo de visão fragmentada baseada em pontos ou padrões mínimos. O êxito desse processo depende de fatores como idade, tempo de privação visual, etiologia e, principalmente, da qualidade do treinamento sistemático pós-implante.

Treinamento sensorial e cognitivo

A literatura é consistente em afirmar que a visão artificial não é intuitiva. Em dispositivos já comercializados, como o Argus II, os usuários inicialmente percebem apenas *flashes* de luz sem forma definida. Estudos clínicos mos-

tram que é o treinamento estruturado que transforma gradualmente esses fosfenos em linhas, contornos e, em alguns casos, em reconhecimento de objetos simples (MARKOWITZ *et al.*, 2018).

O treino sensorial geralmente inicia-se com tarefas básicas, como discriminar presença/ausência de luz, direção luminosa e padrões simples de contraste. Com o progresso, evolui para atividades mais complexas, como reconhecimento de barras orientadas, separação figura-fundo, localização de objetos e percepção de movimento. Em modelos experimentais, protocolos intensivos de treino repetitivo demonstraram melhorar significativamente o desempenho em tarefas de leitura de padrões espaciais representados por fosfenos, reforçando que a prática refina a sensibilidade do sistema visual artificial (RASSIA *et al.*, 2018).

Entretanto, a visão também envolve processos cognitivos. Pacientes precisam aprender a direcionar a atenção para pistas relevantes, sustentar maior esforço mental nas fases iniciais e utilizar memória espacial e estratégias de categorização para interpretar cenas a partir de informação parcial. Intervenções que combinam treino visual com exercícios cognitivos, inclusive em ambientes de realidade virtual, mostram capacidade de induzir modificações neuroplásticas mensuráveis e melhorar o desempenho funcional mesmo em cérebros adultos (CASTALDI *et al.*, 2020).

Por fim, cresce o interesse em abordagens multissensoriais. Protocolos que integram exploração tátil, pistas auditivas e visão artificial favorecem a construção de representações espaciais mais estáveis, aproveitando o caráter multimodal da plasticidade em indivíduos com perda visual. Revisões recentes destacam que a integração multissensorial, especialmente quando

associada a estratégias optogenéticas, pode potencializar o reaprendizado visual (LUCCHESI *et al.*, 2025).

Processo de reabilitação pós-implante

Estudos clínicos com próteses retinianas, especialmente envolvendo o Argus II, têm permitido estruturar modelos mais refinados de reabilitação pós-implante. Protocolos recentes demonstram que pacientes com visão ultrabaixa podem apresentar ganhos funcionais relevantes, como maior autonomia e melhora em atividades diárias, quando o dispositivo é utilizado de maneira consistente e associado a programas de treinamento estruturado (WHITE *et al.*, 2021). Na prática, a reabilitação costuma ser organizada em três fases principais:

- Fase inicial – alfabetização da visão artificial: nas primeiras semanas, busca-se familiarizar o paciente com o padrão de estímulo gerado pela prótese. Atividades como detectar fontes de luz, localizar objetos de alto contraste e seguir linhas no chão funcionam como o “abece-dário” da nova modalidade perceptiva.

- Fase intermediária – construção de formas e orientação: com o uso contínuo, o paciente avança para identificação de formas simples, localização de objetos em mesas e reconhecimento de portas e obstáculos em ambientes guiados. Essa fase costuma marcar a transição para tarefas com maior valor ecológico, ainda que a resolução perceptiva permaneça limitada.

- Fase avançada – visão funcional em contexto real: a etapa final inclui simulações de cenários cotidianos, navegação em ambientes complexos e, em alguns centros, o uso de realidade virtual para melhorar a orientação espacial e a segurança de locomoção. Revisões sobre próteses corticais destacam que, à medida que a resolução das interfaces aumenta, cresce a necessidade de programas reabilitadores individualizados (BALAS & WONG, 2025).

Independentemente da fase, a literatura descreve a reabilitação como um processo multidisciplinar. Profissionais como oftalmologistas, terapeutas ocupacionais, fisioterapeutas, engenheiros clínicos e neuropsicólogos atuam desde a calibração técnica até o desenvolvimento de tarefas significativas para o cotidiano do usuário (FERNANDEZ, 2018).

Fatores psicológicos na recuperação da percepção visual

A dimensão psicológica exerce papel fundamental no processo de adaptação às próteses visuais. Estudos mostram que pacientes candidatos ao implante apresentam prevalência elevada de ansiedade e depressão, especialmente em doenças degenerativas como a retinose pigmentar (BENTLEY *et al.*, 2019). Em muitos casos, a carga emocional preexistente influencia tanto a adesão ao tratamento quanto as expectativas em relação aos resultados.

Pesquisas com usuários de próteses oculares não eletrônicas mostram que sintomas de ansiedade e depressão também podem estar relacionados à autoimagem, ao estigma social e às limitações funcionais, indicando que parte dos desafios psicológicos precede o implante (YE *et al.*, 2015).

Após a cirurgia, novos fatores emergem. Estudos com usuários do Argus II mostram que muitos relatam melhora na autonomia e na qualidade de vida conforme evoluem na reabilitação, mas também vivenciam momentos de frustração, sobrecarga cognitiva e, em alguns casos, abandono do dispositivo quando a expectativa inicial não é realista (WHITE *et al.*, 2021).

Por isso, diversos autores defendem que programas de cuidado incluam:

- Avaliação psicológica formal antes do implante;
- Alinhamento claro de expectativas sobre a natureza da visão artificial;

- Suporte psicoterapêutico contínuo, incluindo familiares, especialmente nos primeiros meses.

Por fim, os dados reforçam que a recuperação da percepção visual mediada por próteses é um processo complexo, que envolve interações entre plasticidade neural, treinamento sistemático e saúde mental. Sem cuidar do componente psicológico, a capacidade de transformar estímulos artificiais em visão funcional é significativamente reduzida.

CONCLUSÃO

Portanto, a evolução das próteses visuais representa um avanço crucial contra a cegueira (WHO, 2019), superando as abordagens puramente estéticas (SUZUKI JÚNIOR *et al.*, 2025a) e focando na restauração funcional (WANG *et al.*, 2022). O cerne das inovações re-

side na engenharia biomédica, com a miniaturização, uso de nanomateriais (USP, 2025) e integração de inteligência artificial (IA) para pré-processar e otimizar o sinal visual, superando a limitação da baixa resolução (RAMIREZ *et al.*, 2023).

Contudo, a adaptação depende da neuroplasticidade (CASTALDI *et al.*, 2020) e exige treinamento sensorial intensivo e multidisciplinar. O cérebro precisa reaprender a interpretar fosfenos rudimentares para alcançar a visão funcional (MARKOWITZ *et al.*, 2018; WHITE *et al.*, 2021). O suporte psicológico é essencial, pois a ansiedade e a depressão prévias (BENTLEY *et al.*, 2019; YE *et al.*, 2015) podem comprometer a adesão. Assim, o futuro da visão artificial exige a convergência contínua entre tecnologia, neurociência e saúde mental para garantir maior autonomia e qualidade de vida (BALAS & WONG, 2025).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN ACADEMY OF OPHTHALMOLOGY - AAO. BCSC – section 7: oculofacial plastic and orbital surgery. San Francisco: American Academy of Ophthalmology, 2025.
- AYTON, L.N. *et al.* An update on retinal prostheses. *Clinical Neurophysiology*, v. 131, p. 1383, 2020.
- BALAS, M. & WONG, D.T. Cortical visual prostheses: a future paradigm shift in ophthalmology and vision restoration. *JFO Open Ophthalmology*, v. 100178, 2025. doi: 10.1016/j.jfop.2025.100178.
- BENTLEY, S.A. *et al.* Psychosocial assessment of potential retinal prosthesis trial participants. *Clinical and Experimental Optometry*, v. 102, p. 506, 2019. doi: 10.1111/cxo.12889.
- BOWLING, B. Kanski's clinical ophthalmology: a systematic approach. 8. ed. London: Elsevier, 2016.
- CARVALHO, J. *et al.* Studying cortical plasticity in ophthalmic and neurological disorders: from stimulus-driven to cortical circuitry modeling approaches. *Neural Plasticity*, v. 2019, 2019. doi: 10.1155/2019/2724101.
- CASTALDI, E. *et al.* Neuroplasticity in adult human visual cortex. *Neuroscience and BioBehavioral Reviews*, v. 112, p. 542, 2020. doi: 10.1016/j.neubiorev.2020.02.028.
- DUTTON, J.J. Ophthalmic plastic and reconstructive surgery. 3. ed. Philadelphia: Elsevier Saunders, 2012.
- FERNANDEZ, E. Desenvolvimento de neuropróteses visuais: tendências e desafios. *Bioelectronic Medicine*, v. 4, 2018. doi: 10.1186/s42234-018-0013-8.
- LIU, X. *et al.* A narrative review of cortical visual prosthesis systems: the latest progress and significance of nanotechnology for the future. *Annals of Translational Medicine*, v. 10, p. 716, 2022. doi: 10.21037/atm-22-2858.
- LUCCHESI, M. *et al.* Multisensory integration, brain plasticity and optogenetics in visual rehabilitation. *Frontiers in Neurology*, v. 16, 1590305, 2025. doi: 10.3389/fneur.2025.1590305.
- MARKOWITZ, M. *et al.* Rehabilitation of lost functional vision with the Argus II retinal prosthesis. *Canadian Journal of Ophthalmology*, v. 53, p. 14, 2018. doi: 10.1016/j.jcjo.2017.12.001.
- PAUL, M.D. & SWAMY, K.S., editors. Oculofacial plastic and orbital surgery. New York: Springer, 2012.
- RAMIREZ, K.A. *et al.* An update on visual prosthesis. *International Journal of Retina and Vitreous*, v. 9, p. 7, 2023.
- RASSIA, K.E.K. & PEZARIS, J.S. Reading performance improvement through training with simulated thalamic visual prostheses. *Scientific Reports*, v. 8, 2018. doi: 10.1038/s41598-018-31435-0.
- SUZUKI JUNIOR, E.R. *et al.* Semiologia oftalmológica. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 2025a.
- SUZUKI JUNIOR, E.R. *et al.* Semiologia oftalmológica. Belo Horizonte: PUC Minas, 2025b.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP. Apostila de anatomia e fisiologia ocular. São Paulo: USP, 2025.
- WANG, J. *et al.* Clinical progress and optimization of information processing in artificial visual prostheses. *Sensors (Basel)*, v. 22, p. 6544, 2022. doi: 10.3390/s22176544.
- WHITE, J. *et al.* Effects of the Argus II retinal prosthesis system on the quality of life of patients with ultra-low vision due to retinitis pigmentosa: protocol for a single-arm, mixed-methods study. *JMIR Research Protocols*, v. 10, e17436, 2021. doi: 10.2196/17436.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. World report on vision. Geneva: World Health Organization, 2019.
- YE, J. *et al.* Vision-related quality of life and appearance concerns are associated with anxiety and depression after eye enucleation: a cross-sectional study. *PLoS One*, v. 10, e0136460, 2015. doi: 10.1371/journal.pone.0136460.