U.PORTO

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

A influência da duração da surdez no desempenho auditivo de adultos após implantação coclear: um estudo retrospetivo.

Marta da Silva Gomes Lucena Caride

M

2026

A influência da duração da surdez no desempenho auditivo de adultos após implantação coclear: um estudo retrospetivo.

Mestrado Integrado em Medicina (MIM)
Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar – Universidade do Porto (ICBAS-UP)

Estudante: Marta da Silva Gomes Lucena Caride

Aluna do 6º ano do Mestrado Integrado em Medicina (nº mecanográfico: 201908913).
Unidade Local de Saúde de Santo António (ULS-SA).
Endereço do correio eletrónico: up201908913@up.pt

Assinado por: Marta da Silva Gomes Lucena Caride
Num. de Identificação: BI30237367
Data: 02-06-2026 14:08:22 +01:00
CHAVE MÓVEL

(Marta da Silva Gomes Lucena Caride)

Orientador: Dr. João Carvalho Almeida

Mestrado Integrado em Medicina pela Universidade do Minho.
Assistente Convidado da Unidade Curricular (UC) de Otorrinolaringologia do MIM no ICBAS.
Assistente Hospitalar no Serviço de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cabeça e Pescoço, na ULS-SA.
Endereço do correio eletrónico: joaocarvalhoalmeida@gmail.com

Assinado por: João Guilherme Carvalho de Almeida
Identificação: BI13393720
Data: 2026-05-28 às 17:02:58

(João Carvalho Almeida)

Coorientador: Doutor João Nuno Melo Beirão

Mestrado Integrado em Medicina pelo ICBAS-UP.
Doutoramento em Ciências Médicas no ICBAS-UP.
Professor Catedrático Convidado da UC de Oftalmologia do MIM no ICBAS.
Assistente Hospitalar Graduado no Serviço de Oftalmologia, na ULS-SA.
Endereço do correio eletrónico: brandaobeirao@gmail.com

Assinado por: **João Nuno Melo Beirão**
Num. de Identificação: 06957438
Data: 2026.05.26 20:01:09+01'00'

(João Nuno Melo Beirão)

2º Coorientador: Doutor Milton Severo Barros da Silva

Investigador Principal do Instituto de Saúde Pública da Universidade do Porto (ISPUP).
Doutorado em Saúde Pública.
Endereço do correio eletrónico: msevero@icbas.up.pt

Assinado por: Milton Severo Barros da Silva
Num. de Identificação: BI11469501
Data: 28-05-2026 15:57:39 +01:00
CHAVE MÓVEL

(Milton Severo Barros da Silva)

Declaração de Integridade Académica

Eu, Marta da Silva Gomes Lucena Caride, n.º mecanográfico 201908913, aluna do 6.º ano do Mestrado Integrado em Medicina do Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar da Universidade do Porto (ICBAS-UP), declaro, sob compromisso de honra, ter pautado a elaboração da dissertação intitulada "A influência da duração da surdez no desempenho auditivo de adultos após implantação coclear: um estudo retrospetivo." segundo os princípios de integridade académica e ética científica.

Neste âmbito, asseguro que a presente dissertação é de minha autoria e nela não incorri em qualquer prática de plágio, garantindo a devida citação e referência de todas as fontes consultadas; não houve lugar a falsificação ou manipulação de dados, sendo os resultados apresentados o reflexo fiel da investigação retrospetiva efetuada; a investigação foi conduzida no estrito cumprimento das normas éticas e deontológicas vigentes na Unidade Local de Saúde de Santo António, zelando pela confidencialidade e proteção dos dados dos utentes incluídos no estudo.

Assinado por: Marta da Silva Gomes Lucena Caride
Num. de Identificação: BI30237367
Data: 05-06-2026 09:49:24 +01:00

CHAVE MÓVEL

Marta da Silva Gomes Lucena Caride

Agradecimentos

Ao meu orientador, Dr. João Almeida, pela oportunidade de desenvolver um trabalho numa área que me é tão próxima, neste desafio que representa o culminar do meu percurso académico. Agradeço a prontidão e disponibilidade com que acompanhou cada etapa deste projeto.

Ao meu coorientador, Professor Doutor Milton Severo, pela disponibilidade para me ajudar a transpor os desafios da componente estatística deste projeto, contribuindo de forma decisiva para a integração e representação dos dados recolhidos.

Ao meu coorientador, Professor Doutor João Melo Beirão, pelo rigor ético e científico com que orientou o desenvolvimento deste projeto, e pela visão experiente que trouxe a este trabalho.

À Professora Doutora Fernanda Gentil, que além de minha audiologista desde que tenho memória, trouxe um contributo essencial à recolha dos dados audiológicos e à compreensão dos detalhes inerentes à sua interpretação clínica. A sua presença neste trabalho tem, para mim, um significado além do académico.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional e pelos valores de determinação, perseverança e rigor que sempre me incutiram, e que levarei comigo para este novo capítulo profissional que se avizinha.

Aos amigos que partilharam comigo este percurso, pelo apoio constante e pela leveza que trouxeram aos dias mais exigentes.

Resumo

Introdução: A perda auditiva neurossensorial profunda representa o limite funcional da reabilitação auditiva convencional, sendo o implante coclear a intervenção de referência. A eficácia da estimulação elétrica depende da integridade das vias auditivas centrais, progressivamente comprometida pela privação sensorial prolongada. Na população adulta pós-lingual, a predição de resultados permanece uma área de incerteza clínica, particularmente relevante face à expansão progressiva dos critérios de elegibilidade.

Objetivo: Avaliar a influência da duração da privação auditiva - expressa em termos absolutos, dicotomizada pelo limiar convencional de 10 anos e como percentagem da vida em surdez - no desempenho auditivo de adultos pós-linguais submetidos a implantação coclear, e identificar os determinantes clínicos associados ao efeito imediato da ativação e à trajetória pós-implantação.

Métodos: Estudo observacional, retrospetivo e unicêntrico na Unidade Local de Saúde de Santo António, incluindo 109 adultos pós-linguais submetidos a IC entre 2018 e 2024, com mínimo de 12 meses de seguimento. O desempenho auditivo foi avaliado através do limiar tonal médio, limiar de receção de fala e percentagem de discriminação. A duração da privação auditiva foi analisada nas três dimensões descritas no objetivo. A modelação longitudinal recorreu a modelos lineares de efeitos mistos, distinguindo o efeito imediato da ativação da progressão temporal subsequente.

Resultados: Doentes com maior duração de privação auditiva apresentaram maior comprometimento auditivo pré-implantação em todas as métricas, seguindo uma relação dose-resposta contínua sem evidência de efeito de limiar. O critério de 10 anos não demonstrou valor discriminativo em nenhuma das métricas - quer no efeito imediato, quer na trajetória pós-implantação, equivalente entre grupos. A seleção do ouvido a implantar e o estado de estimulação auditiva à data da cirurgia foram os principais determinantes do efeito imediato. A percentagem do tempo de surdez coberta por amplificação auditiva foi o único preditor associado a recuperação longitudinal superior.

Discussão/ Conclusão: A duração da surdez não deve ser interpretada como critério de exclusão para a implantação coclear. O diferencial funcional estabelecido no momento da ativação tende a manter-se ao longo do seguimento, tornando a otimização do efeito imediato determinante para o prognóstico a longo prazo. A ponderação individualizada do ouvido a implantar, a manutenção da amplificação até à data da cirurgia e a maximização da percentagem do tempo de surdez com próteses constituem os principais alvos modificáveis de intervenção, com impacto demonstrado nos resultados funcionais.

Palavras-chave: *Cochlear Implantation; Hearing Loss, Sensorineural; Deafness; Disease Duration; Speech Perception; Auditory Threshold.*

Abstract

Introduction: Profound sensorineural hearing loss represents the functional limit of conventional auditory rehabilitation, with cochlear implantation as the reference intervention. The efficacy of electrical stimulation depends on the integrity of central auditory pathways, progressively compromised by prolonged sensory deprivation. In the post-lingual adult population, outcome prediction remains an area of clinical uncertainty, particularly relevant in the context of the progressive expansion of implantation eligibility criteria.

Objective: To evaluate the influence of hearing deprivation duration — expressed in absolute terms, dichotomised by the conventional 10-year threshold, and as a proportion of life lived with deafness — on auditory performance in post-lingual adults undergoing cochlear implantation, and to identify the clinical determinants associated with the immediate activation effect and the post-implantation trajectory.

Methods: Single-centre, retrospective, observational study at Unidade Local de Saúde de Santo António, including 109 post-lingual adults undergoing CI between 2018 and 2024, with a minimum follow-up of 12 months. Auditory performance was assessed through pure-tone average, speech reception threshold, and speech discrimination score. Hearing deprivation duration was analysed across the three dimensions described in the objective. Longitudinal modelling used linear mixed-effects models, distinguishing the immediate activation effect from subsequent temporal progression.

Results: Patients with longer hearing deprivation duration presented greater pre-implantation auditory impairment across all metrics, following a continuous dose-response relationship with no evidence of a threshold effect. The 10-year criterion demonstrated no discriminative value across any metric — either in the immediate effect or in the post-implantation trajectory, which was equivalent between groups. Ear selection for implantation and pre-operative auditory stimulation status were the strongest determinants of the immediate effect. The proportion of the deafness period covered by hearing aid amplification was the only predictor associated with superior longitudinal recovery.

Discussion/ Conclusion: Duration of deafness should not be interpreted as an exclusion criterion for cochlear implantation. The functional differential established at activation tends to be maintained throughout follow-up, making optimisation of the immediate effect determinant for long-term prognosis. Individualised consideration of the ear to be implanted, maintenance of hearing aid use until the date of surgery, and maximisation of the proportion of deafness duration with hearing aid use constitute the main modifiable targets for intervention, with demonstrated impact on functional outcomes.

Keywords: *Cochlear Implantation; Hearing Loss, Sensorineural; Deafness; Disease Duration; Speech Perception; Auditory Threshold.*

Índice

1. **Introdução** 1
2. **Revisão da Literatura** 1
2.1. Fisiologia da audição e mecanismos do IC 1
2.2. Elegibilidade e monitorização audiométrica 1
2.3. Duração da surdez, plasticidade neural e reorganização cortical 2
2.4. A controvérsia clínica em torno do limiar temporal de 10 anos 2
2.5. Trajetória de recuperação pós-implantação 3
2.6. Determinantes clínicos do desempenho auditivo pós-implantação 3
2.6.1. Reserva auditiva pré-operatória: uso de PA 3
2.6.2. Idade ao diagnóstico da surdez 3
2.6.3. Idade à data da cirurgia 3
2.6.4. Etiologia da surdez 3
2.6.5. Dinâmica e modo de instalação da surdez 4
2.6.6. Seleção do ouvido a implantar 4
2.6.7. Adesão ao IC 4
3. **Metodologia** 4
3.1. Desenho do estudo e considerações éticas 4
3.2. Seleção da amostra 4
3.3. Contexto institucional e protocolo clínico 5
3.4. Recolha de dados e protocolo de avaliação audiológica 5
3.5. Operacionalização de variáveis 5
3.6. Análise estatística 6
4. **Resultados** 7
4.1. Caracterização da amostra 7
4.2. Efeito global do IC 7
4.3. Determinantes do ponto de partida pré-ativação 7
4.3.1. Duração da privação auditiva 8
4.3.2. Perfil de amplificação e estado de estimulação auditiva à data da cirurgia 8
4.3.3. Idade à data da cirurgia e idade do diagnóstico 8
4.4. Determinantes da magnitude do efeito cirúrgico imediato 8
4.4.1. Ouvido implantado 8
4.4.2. Estado de estimulação auditiva à data da cirurgia 8
4.4.3. Percentagem de vida com surdez e duração da privação 8
4.4.4. Uso prévio de PA 9
4.4.5. Idade à data da cirurgia 9
4.4.6. Etiologia da surdez 9
4.5. Determinantes da trajetória pós-implantação 9
4.5.1. Percentagem do tempo de surdez com PA 9
5. **Discussão** 9
5.1. Efeitos globais: um padrão bifásico preservado em toda a coorte 9
5.2. O ponto de partida: privação como determinante do valor basal 10
5.3. O efeito imediato: o determinante crítico do prognóstico a longo prazo 11
5.4. Trajetória de recuperação: uma exceção com implicações clínicas 11
5.5. Outros determinantes clínicos 12
6. **Limitações, pontos fortes e perspetivas futuras** 12
7. **Conclusão** 14
Apêndice 25
Referências bibliográficas 27

Lista de abreviaturas

BIAP — *Bureau International d'Audiophonologie*

DEFI — Departamento de Ensino, Formação e Investigação

DGS — Direção-Geral da Saúde

IC — implante coclear

ICBAS — Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar

ISO — *International Organization for Standardization*

LMM — modelos lineares de efeitos mistos

LTM — limiar tonal médio

PA — prótese auditiva

SRT — limiar de receção de fala

ULS-SA — Unidade Local de Saúde de Santo António

Lista de tabelas

Tabela I. Caracterização sociodemográfica e clínica da amostra……15

Tabela II. LMM: Efeitos globais da ativação do implante coclear (Efeito imediato e tendência temporal)……18

Tabela III. LMM: Associações entre determinantes clínicos e performance auditiva pós- Implantação……19

Lista de figuras

Figura 1. Trajetória longitudinal do LTM, SRT e discriminação vocal por grupo de duração da privação auditiva (< 10 anos vs ≥ 10 anos)……23

Figura 2. Trajetória longitudinal do LTM, SRT e discriminação vocal segundo o ouvido implantado……24

1. Introdução

Estima-se que, globalmente, aproximadamente 430 milhões de pessoas necessitem de reabilitação auditiva, posicionando a perda auditiva como a quarta principal causa de incapacidade a nível global. [1]

A perda auditiva neurossensorial profunda representa o limite funcional da reabilitação auditiva convencional. Nestes casos, o implante coclear (IC) constitui a intervenção de referência, ao estabelecer uma estimulação elétrica direta do nervo auditivo que contorna as estruturas periféricas lesadas. [2] A eficácia desta estimulação depende, contudo, da integridade e plasticidade das vias auditivas centrais no momento da cirurgia - precisamente a integridade que a privação sensorial prolongada progressivamente pode comprometer. [2]

Ao contrário da área pediátrica, onde o impacto da privação em indivíduos pré-linguais está amplamente documentado e a intervenção precoce é consensual, [3] a predição de resultados na população adulta pós-lingual permanece uma área de incerteza clínica. A ausência de diretrizes uniformes reflete a heterogeneidade dos perfis dos candidatos e a insuficiência da evidência disponível para estabelecer limites temporais de privação com valor preditivo definitivo. [4, 5] Esta incerteza é particularmente relevante no sistema de saúde português onde constrangimentos estruturais das vias de referenciação podem prolongar o tempo de privação auditiva, gerando perfis de doentes que nem sempre se enquadram nos limiares temporais propostos pela literatura internacional. A Unidade Local de Saúde de Santo António (ULS-SA) constitui um contexto institucional onde os resultados do IC têm expressão documentada, [6] mas a questão da duração da privação auditiva como determinante do prognóstico funcional não foi até ao momento examinada nesta população.

O presente estudo tem como objetivo primário avaliar a influência da duração da privação auditiva - expressa em termos absolutos, dicotomizada pelo limiar convencional de 10 anos, e como percentagem da vida em surdez - no desempenho auditivo de adultos pós-linguais submetidos a IC. Como objetivos secundários pretende-se identificar os determinantes clínicos independentemente associados ao efeito imediato da ativação do IC e à trajetória pós-implantação.

2. Revisão de Literatura

2.1 Fisiologia da audição e mecanismos do IC

A audição depende da integridade das vias auditivas periféricas e centrais, desde o ouvido externo até ao córtex auditivo. [7] A transdução mecanoelétrica inicia-se na cóclea, onde o estímulo mecânico é convertido em sinal elétrico e propagado pelo nervo auditivo, [8] sendo a sua viabilidade anatómica confirmada imagiologicamente na avaliação pré-operatória.

Na presença de lesão periférica irreversível, o IC promove a estimulação elétrica direta do nervo auditivo através de uma unidade interna recetora-estimuladora e de um processador externo responsável pela captação e transmissão da informação acústica por radiofrequência transcutânea. [9, 10] A eficácia do IC depende da replicação da tonotopia fisiológica coclear. [11]

2.2 Elegibilidade e monitorização audiométrica

Em Portugal, a norma *006/2016* da Direção Geral de Saúde (DGS) estabelece que a implantação coclear está indicada para adultos com surdez profunda pós-lingual bilateral, ou surdez severa bilateral sem benefício funcional com prótese auditiva (PA) convencional

(discriminação vocal inferior a 50%) estratificada segundo as recomendações do *Bureau International d'Audiophonologie* (BIAP). **(Apêndice A)** [12] É especificamente nos graus severo e profundo que a amplificação convencional atinge os seus limites e o IC se assume como a intervenção de eleição.

A monitorização do benefício assenta em três indicadores padronizados - o limiar tonal médio (LTM), o limiar de receção de fala (SRT) e a discriminação vocal - cuja variabilidade interindividual reflete diretamente o grau de reorganização do sistema auditivo central induzida pela privação sensorial. [13]

2.3 Duração da surdez, plasticidade neural e reorganização cortical

A privação auditiva prolongada desencadeia um processo de degeneração periférica e profunda reorganização central. [14] A atrofia das áreas auditivas primárias e o desenvolvimento de neuroplasticidade cruzada - mediante a qual regiões auditivas privadas de aferência são progressivamente recrutadas por outras modalidades sensoriais, em particular a visão e o tato - comprometem o processamento da fala e limitam a recuperação funcional pós-implantação. [15]

A literatura identifica a existência de períodos críticos nestes fenómenos de plasticidade, durante os quais a privação auditiva exerce um impacto estrutural mais pronunciado sobre as vias auditivas centrais. [3] Neste contexto, duas métricas temporais assumem relevância prognóstica distinta: a duração absoluta da privação e a percentagem da vida em surdez.

A duração absoluta da privação tem sido classicamente utilizada como referência clínica para a elegibilidade do IC. A privação superior a 10 anos associa-se, na literatura, a adaptações centrais que podem limitar a recuperação da perceção da fala, enquanto uma duração inferior a 2 anos parece preservar mais adequadamente a integridade das vias auditivas, favorecendo a adaptação ao IC e maximizando os resultados funcionais. [4, 16]

A percentagem de vida em surdez representa uma métrica complementar e potencialmente mais informativa, na medida em que um mesmo período absoluto de privação induz repercussões neurobiológicas heterogéneas consoante a idade do indivíduo - o impacto da privação sensorial é modulado não apenas pela sua duração, mas também pela fase do ciclo de vida em que ocorre. [5]

2.4 A controvérsia clínica em torno do limiar temporal de 10 anos

A influência da duração da surdez no prognóstico pós-implantação permanece objeto de debate. Se o declínio da neuroplasticidade sugere uma correlação negativa com os resultados funcionais, [4, 17] evidência mais recente demonstra que a estimulação elétrica pode conferir ganhos significativos mesmo após períodos de privação prolongada. [13, 15, 18, 19] Neste sentido, a duração da surdez parece traduzir menos uma barreira ao benefício e mais um indicador da plasticidade residual disponível. [4, 13, 15]

Este paradigma ganha particular relevância clínica dada a expansão do perfil dos candidatos adultos: o envelhecimento populacional, a ampliação das indicações cirúrgicas e os avanços tecnológicos têm originado coortes progressivamente mais heterogéneas em termos de duração e natureza da privação auditiva. [20, 21] A ausência de dados validados em contexto nacional que permitam aferir se o limiar de 10 anos mantém o seu valor preditivo numa população sujeita a condicionalismos estruturais específicos constitui a lacuna relevante que o presente estudo procura colmatar.

2.5 Trajetória de recuperação pós-implantação

A recuperação funcional pós-ativação exibe ganhos precoces mais acentuados nos primeiros meses com evidência de progressão sustentada além de um ano suportada pela neuroplasticidade central - particularmente sensível a métodos de modelação longitudinal contínua. [13, 22] Apesar desta progressão, estima-se que até 16% dos adultos apresentem resultados funcionais subótimos a longo prazo. [13] A magnitude e a trajetória do benefício são moduladas por um conjunto de determinantes clínicos que, em interação com o contexto de privação auditiva, condicionam o prognóstico individual.

2.6 Determinantes clínicos do desempenho auditivo pós-implantação

O impacto prognóstico da duração da surdez é modulado por um conjunto de determinantes clínicos identificados na literatura, que importa caraterizar para contextualizar a variabilidade dos resultados pós-implantação.

2.6.1 Reserva auditiva pré-operatória: uso de PA

A estimulação acústica prévia protege as vias auditivas da degeneração, com efeito neuroprotetor dependente da consistência de utilização. Neste contexto, três dimensões merecem avaliação particular: a lateralidade do uso, a duração total e a percentagem do período de surdez coberta por amplificação. O estado de estimulação ativa à data da cirurgia poderá igualmente condicionar o desempenho pós-operatório imediato. [23]

2.6.2 Idade ao diagnóstico da surdez

A fase do ciclo de vida em que ocorre o início da privação auditiva modula o seu impacto neurobiológico. O diagnóstico precoce - na infância ou adolescência - coincide com períodos de maior neuroplasticidade, durante os quais a privação exerce efeitos estruturais mais pronunciados sobre o desenvolvimento das vias auditivas centrais. Em contraste, o diagnóstico em idade avançada tende a associar-se a períodos de privação severa relativamente mais curtos e a maior preservação da representação cortical da fala adquirida na fase de audição normal, com potenciais implicações nos resultados funcionais pós-implantação. [3, 15, 17]

2.6.3 Idade à data da cirurgia

O potencial de neuroplasticidade pode diferir consoante a fase do ciclo de vida, tornando a idade de implantação um determinante potencialmente relevante cuja influência importa considerar na modelação do prognóstico. [3, 18]

2.6.4 Etiologia da surdez

Embora a etiologia não influencie apreciavelmente os resultados na maioria dos doentes, [13] condições de natureza constitucional ou sistémica - caracterizadas por envolvimento frequentemente bilateral e mecanismos de progressão endógena - associam-se a perfis de reorganização central distintos, com potencial repercussão nos resultados funcionais pós-implantação. [23] Adicionalmente, certas etiologias condicionam o prognóstico por via das alterações estruturais cocleares que impõem ao

ato cirúrgico. A identificação etiológica é, por isso, relevante para personalizar a reabilitação e gerir as expectativas funcionais do doente.

2.6.5 Dinâmica e modo de instalação da surdez

A surdez súbita induz reorganização cortical rápida, com relativa preservação anatómica nos meses iniciais que favorece a implantação precoce. [24, 25] Em contraste, a surdez progressiva origina uma adaptação central mais prolongada, com potenciais implicações no momento cirúrgico e na calibração das expectativas de reabilitação.

2.6.6 Seleção do ouvido a implantar

A decisão clínica requer ponderar a integridade neural do ouvido com menor privação com a preservação da audição residual contralateral para maximizar o benefício bimodal. [26] Na ausência de diretrizes universais, esta escolha reflete um balanço entre o prognóstico individual e a estratégia de reabilitação global.

2.6.7 Adesão ao IC

O uso consistente do IC, igual ou superior a oito horas diárias, fornece a dose de estimulação elétrica necessária para consolidar a neuroplasticidade central, explicando cerca de 20% da variância nos resultados funcionais pós-operatórios. [27]

A consideração conjunta destes determinantes evidencia que a duração da surdez, embora central no debate clínico, opera em interação com fatores que modulam o seu impacto prognóstico real - o que torna indispensável isolar o efeito específico da privação auditiva de forma estatisticamente rigorosa, avaliando se o limiar de 10 anos retém valor preditivo independente numa coorte portuguesa de adultos pós-linguais.

3. Metodologia

3.1 Desenho do estudo e considerações éticas

Realizou-se um estudo observacional, retrospetivo e unicêntrico na Unidade Local de Saúde de Santo António (ULS-SA). O protocolo foi aprovado pela Comissão de Ética da ULS-SA/ Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar (ICBAS), pelo Conselho de Administração e pelo Departamento de Ensino, Formação e Investigação (DEFI) [N/REF 2025-255(213-CAC/213-CE)].

3.2 Seleção da amostra

Foram selecionados todos os doentes submetidos a implantação coclear, entre 2018 e 2024, perfazendo um total de 185 procedimentos registados. A unidade de observação foi o doente. Em casos de implantação coclear bilateral sequencial, foram considerados apenas os dados da primeira cirurgia.

Critérios de Inclusão:

- Idade igual ou superior a 18 anos à data da cirurgia;
- Diagnóstico de surdez neurossensorial profunda bilateral ou surdez severa bilateral com benefício limitado com PA;
- Confirmação radiológica de posicionamento intracoclear dos elétrodos;
- Mínimo de 12 meses de seguimento após a ativação do IC.

Critérios de Exclusão:

- Surdez de instalação pré-lingual (n = 25);
- Surdez unilateral (n = 4);
- Patologia retrococlear ou malformações *major* do ouvido interno;
- Implantação coclear bilateral simultânea (n = 13);
- Dados clínicos ou audiológicos incompletos (n = 7).

A coorte ficou constituída por 136 doentes, dos quais 109 apresentavam dados suficientes para inclusão no modelo linear de efeitos mistos (LMM), constituindo a amostra analítica principal. Variações pontuais do denominador por dados omissos estão identificadas nas tabelas.

3.3 Contexto institucional e protocolo clínico

Na ULS-SA, a avaliação de candidatos segue um protocolo multidisciplinar (audiológico, imagiológico e psicossocial), culminando em Consulta de Decisão Terapêutica. O protocolo de seguimento prevê avaliações padronizadas aos 3, 6 e 12 meses pós-ativação, com periodicidade anual subsequente.

3.4 Recolha de dados e protocolo de avaliação audiológica

As avaliações decorreram em cabine audiométrica calibrada segundo as normas internacionais de calibração (ISO). Os limiares tonais foram determinados por via aérea (250–8000 Hz), sendo o LTM calculado como a média dos limiares obtidos nas frequências convencionais. Na ausência de resposta percetiva ao estímulo máximo, imputou-se o valor fixo de 125 dB, representativo de cofose, em conformidade com a prática validada na literatura. [28]

A audiometria vocal foi realizada em campo livre, com o doente posicionado a um metro da fonte sonora (0º azimute). Utilizaram-se listas de palavras dissilábicas em português europeu, apresentadas até uma intensidade de 60 dB HL. Foram registados os seguintes indicadores:

- Limiar tonal médio (LTM).
- Limiar de receção de fala (SRT).
- Discriminação vocal.

Face à variabilidade temporal inerente à execução do protocolo de seguimento institucional, o tempo de seguimento foi operacionalizado como variável contínua, quantificada em dias exatos decorridos desde a data da intervenção cirúrgica até à avaliação audiométrica, rejeitando-se a categorização em janelas temporais fixas.

3.5 Operacionalização de variáveis

Os dados foram recolhidos através da consulta de processos clínicos eletrónicos (SClínico) e registos de audiologia. A listagem completa das variáveis recolhidas, incluindo as utilizadas exclusivamente na caracterização descritiva da amostra, encontra-se no **Apêndice B**. As variáveis incluídas na modelação multivariada foram:

- **Duração da surdez.** Intervalo entre a instalação da surdez e a data da cirurgia, analisado como variável contínua (efeito dose-resposta) e dicotomizada pelo limiar de 10 anos (validade preditiva do limiar proposto pela literatura).
- **Percentagem de vida com surdez.** Rácio entre a duração da surdez e a idade à

data da cirurgia, introduzido para padronizar o impacto proporcional da privação entre subgrupos etários.

- **Idade ao diagnóstico da surdez e estratificação etária.** Determinada por revisão de registos clínicos e categorizada em três grupos: infância/adolescência (0–18 anos), adulto jovem/meia-idade (18–65 anos) e idosos (>65 anos).
- **Idade à data da cirurgia.** Dicotomizada em adultos/ meia-idade (18-65 anos) e idosos (>65 anos).
- **Etiologias da surdez.** Inicialmente estratificada em categorias específicas (otosclerose, doença de Ménière, autoimune, trauma acústico, traumática, ototóxica, inflamatória/infeciosa, genética e idiopática) [29], reagrupadas para modelação estatística em três categorias funcionais com base em mecanismos fisiopatológicos partilhados:
  - **a)** Etiologia Desconhecida/ Idiopática: ausência de causa primária identificável após investigação etiológica exaustiva.
  - **b)** Etiologia Adquirida/ Ambiental: condições decorrentes de agressão externa direta à cóclea (inflamatória, infeciosa ou traumática).
  - **c)** Etiologia Constitucional/ Sistémica: patologias intrínsecas, de envolvimento frequentemente bilateral e progressão mediada por mecanismos sistémicos.
- **Uso prévio de PA.** Estratificado em sem uso prévio, uso unilateral e uso bilateral.
- **Anos de uso de PA**. Intervalo temporal entre o início documentado da adaptação protésica e a cessação da sua utilização.
- **Percentagem do tempo de surdez com PA**. Rácio entre os anos de utilização de PA e a duração total da surdez no ouvido implantado.
- **Estado de estimulação auditiva à data da cirurgia.** Variável dicotómica que distingue doentes com uso ativo de PA até à cirurgia dos que tinham cessado a sua utilização, refletindo o grau de estimulação periférica imediatamente anterior ao início da estimulação elétrica.
- **Ouvido implantado.** Classificado operacionalmente de acordo com a assimetria funcional prévia: melhor ouvido, pior ouvido ou simétrico.
- **Adesão ao IC.** Dicotomizada pelo limiar de 8 horas diárias de utilização (uso adequado vs. inadequado), englobando a baixa adesão comportamental e limitações técnicas do equipamento.

Nota metodológica: a duração da surdez, a idade ao diagnóstico e o perfil de amplificação foram calculados de forma independente para cada ouvido. A análise de correlação com o prognóstico funcional utilizou exclusivamente os dados do ouvido implantado, por este representar o substrato biológico direto da intervenção.

3.6 Análise estatística

Os dados foram organizados em *Microsoft Excel* e analisados no ambiente estatístico R 4.5.2. A caracterização da amostra recorreu a estatística descritiva: variáveis categóricas reportadas em frequências absolutas e relativas (N, %) e as variáveis contínuas em média e respetivo desvio padrão.

Para a modelação longitudinal das variáveis dependentes (LTM, SRT e discriminação vocal), aplicaram-se LMM, selecionados pela sua capacidade de acomodar dados omissos, intervalos de seguimento contínuos, não balanceados e ter em conta a dependência das observações. O LMM incluiu efeitos aleatórios na constante (*intercept*), para retirar o efeito da dependência das observações do doente, isto é, foi introduzido como efeito aleatório, controlando a correlação intra-individual das medidas repetidas. O impacto do tempo foi modelado de forma bipartida,

avaliando o efeito imediato da ativação e a tendência linear durante o seguimento pós-implantação. Testaram-se termos de interação entre os preditores clínicos e o tempo, para identificar se as tendências variam de acordo com os preditores. O nível de significância foi fixado em $\alpha = 0,05$, considerando-se estatisticamente significativos os resultados com $p < 0,05$.

Foram incluídos no modelo, como preditores, as seguintes variáveis: idade estratificada, idade ao diagnóstico estratificada, duração da surdez (forma contínua e dicotomizada), percentagem de vida com surdez, uso prévio de PA, anos de uso de PA, percentagem de tempo de surdez com PA, estado de estimulação auditiva à data da cirurgia e ouvido implantado.

Na interpretação dos coeficientes de regressão (β), a direcionalidade do benefício clínico varia consoante a métrica: para LTM e SRT, coeficientes negativos refletem redução dos limiares auditivos, indicando melhoria; para a discriminação vocal, coeficientes positivos traduzem aumento na percentagem de discriminação. Esta convenção aplica-se tanto aos efeitos globais das variáveis sobre o valor basal como aos termos de interação com o efeito imediato e com a progressão temporal.

4. Resultados

4.1 Caracterização da amostra

A amostra analítica englobou 109 doentes, com flutuações amostrais pontuais do denominador nas análises devido a dados omissos. Observou-se predomínio do sexo feminino (58,7%) e uma idade média de 58,0 ± 12,6 anos, integrando-se a maioria (67,9%) na faixa etária dos adultos/ meia-idade.

A instalação da surdez ocorreu tipicamente na quarta década de vida (média de 36,2 anos no ouvido implantado), com tempo de privação médio de 21,9 anos e superior a 10 anos em 74,7% da amostra. Predominaram as formas progressivas (71,6%) e a etiologia idiopática (62,2%), com história familiar de surdez em 32,1% dos casos. A prevalência basal de queixas otoneurológicas (62,4%) sofreu redução expressiva no pós-operatório (15,9%).

No perfil de amplificação prévia, o ouvido implantado registou tempo médio de uso superior ao contralateral (18,8 vs. 11,4 anos) e maior cobertura do tempo de surdez (71,8% vs. 41,4%). No pré-operatório, entre os utilizadores de PA, 74,3% mantinham uso consistente.

A intervenção incidiu maioritariamente no ouvido com melhor limiar audiológico (58,5%), com preferência absoluta pela via da janela redonda (95,4%) e colocação de elétrodos retos (86,2%). O modo de estimulação final foi unilateral exclusivo em 74,3% dos casos. No seguimento longitudinal, 85,3% da coorte manteve uso adequado do IC. **(Tabela I)**

4.2 Efeito global do IC

A ativação do IC resultou em melhoria imediata e significativa em todos os domínios audiológicos ($p < 0,001$): redução de 52,90 dB no LTM, 31,18 dB no SRT e incremento de 15,84% na discriminação vocal. Confirmou-se adicionalmente uma trajetória de evolução contínua por cada mês de seguimento: melhoria de 0,12dB no LTM ($\beta = -0,12$; $p = 0,033$), 0,46 dB no SRT ($\beta = -0,46$; $p < 0,001$) e 0,68% na discriminação vocal ($\beta = 0,68$; $p < 0,001$). **(Tabela II)**

4.3 Determinantes do ponto de partida pré-ativação

As seguintes variáveis apresentaram associação significativa com o estado audiométrico basal

estimado pelo modelo **(Tabela III)** - isto é, com o nível de desempenho auditivo basal esperado, antes da ativação do IC, independentemente da melhoria auditiva pós-implantação ou da velocidade de progressão subsequente.

4.3.1 Duração da privação auditiva

A duração da surdez atuou como preditor significativo no valor basal em todas as métricas: por cada ano adicional de privação, o LTM aumentou 0,11 dB ($p = 0,028$), o SRT aumentou 0,49 dB ($p < 0,001$) e a discriminação vocal diminuiu 0,50% ($p < 0,001$). A estratificação pelo limiar de 10 anos não revelou diferenças significativas no valor basal em nenhuma das métricas ($p > 0,05$ em todas). A percentagem de vida em surdez associou-se a maior comprometimento auditivo basal no SRT ($\beta = 20,52$; $p = 0,004$) e na discriminação vocal ($\beta = -22,04$; $p = 0,004$). **(Gráfico I)**

4.3.2 Perfil de amplificação e estado de estimulação auditiva à data da cirurgia

Os anos de uso de PA associaram-se a maior défice auditivo basal no LTM ($\beta = 0,24$; $p < 0,001$), SRT ($\beta = 0,44$; $p = 0,012$) e discriminação vocal ($\beta = -0,51$; $p = 0,006$). A ausência de uso ativo de PA à data da cirurgia não se associou a diferenças significativas no valor basal na maioria das métricas, com exceção de melhor função discriminativa basal neste grupo ($\beta = 8,41$; $p = 0,045$).

4.3.3 Idade à data da cirurgia e idade do diagnóstico

Os doentes com idade superior a 65 anos apresentaram função auditiva basal ligeiramente mais comprometida (LTM agravado em 3,55 dB; $p = 0,020$). O diagnóstico após os 65 anos associou-se a melhor função discriminativa basal ($\beta = 11,42$; $p = 0,021$) e menor comprometimento basal no SRT ($\beta = -9,06$; $p = 0,049$) comparativamente ao diagnóstico na infância/adolescência.

4.4 Determinantes da magnitude do efeito cirúrgico imediato

O efeito imediato da ativação do IC foi significativamente modulado pelas seguintes variáveis clínicas.

4.4.1 Ouvido implantado

A implantação no melhor ouvido associou-se a maior benefício funcional no LTM ($\beta = 33,40$; $p < 0,001$), no SRT ($\beta = 33,73$; $p < 0,001$) e na discriminação vocal ($\beta = -46,27$; $p < 0,001$) face à implantação no pior ouvido. **(Gráfico II)**

4.4.2 Estado de estimulação auditiva à data da cirurgia

A ausência de uso ativo de PA à data da cirurgia resultou em resposta funcional imediata mais atenuada em todas as métricas (LTM: $\beta = 20,32$; $p < 0,001$; SRT: $\beta = 25,27$; $p < 0,001$; discriminação vocal: $\beta = -25,95$; $p < 0,001$). A progressão longitudinal foi equivalente entre grupos ($p > 0,05$).

4.4.3 Percentagem de vida com surdez e duração da privação

A percentagem de vida em privação associou-se a ganho imediato de LTM mais atenuado ($\beta = -24,63$; $p < 0,001$) - por cada 10 pontos percentuais adicionais de vida em

surdez, o ganho imediato no LTM reduziu-se em 2,46 dB. A duração da surdez interagiu igualmente com o efeito imediato: no LTM, cada ano adicional de privação associou-se a menor ganho imediato (β = -0,49; p < 0,001); na discriminação vocal, a interação foi positiva (β = 0,44; p = 0,044). O limiar de 10 anos mostrou apenas uma interação marginal com o efeito imediato no LTM (β = -7,98; p = 0,032), onde o grupo com 10 ou mais anos de privação apresentou um ganho imediato no LTM ligeiramente inferior ao grupo < 10 anos, sem significado nas restantes métricas.

4.4.4 Uso prévio de PA

O uso prévio de PA não alterou o valor basal audiométrico (p > 0,05 em todas as métricas), mas associou-se a maior reatividade funcional no efeito imediato após a ativação do IC. O uso unilateral prévio conferiu ganhos adicionais no LTM (β = -14,71; p < 0,001) e SRT (β = -19,94; p = 0,015); o uso bilateral prévio conferiu ganho adicional no LTM (β = -8,83; p = 0,018).

4.4.5 Idade à data da cirurgia

Os doentes idosos apresentaram maior benefício funcional no SRT no efeito imediato, com uma diferença de 15,99 dB face aos adultos/meia-idade (p = 0,013), com tendência para maior ganho na discriminação vocal (p = 0,052).

4.4.6 Etiologia da surdez

A estratificação etiológica não revelou diferenças significativas no valor basal (p > 0,05). o efeito imediato após a ativação do IC, as etiologias constitucionais/sistémicas associaram-se a melhoria mais expressiva no LTM (β = -9,21; p = 0,024) e no SRT (β = -17,03; p = 0,041), com tendência de maior ganho na discriminação vocal (β = 16,17; p = 0,057) face ao grupo idiopático.

4.5 Determinantes da trajetória pós-implantação

4.5.1 Percentagem do tempo de surdez com PA

A percentagem do tempo de surdez coberta por amplificação auditiva foi a única variável com impacto significativo na taxa de progressão, associando-se a progressão longitudinal superior na discriminação vocal (β = 0,66; p < 0,001) e no SRT (β = -0,40; p = 0,005).

5. Discussão

Os resultados deste estudo organizam-se em torno de um achado estrutural transversal: os determinantes clínicos analisados condicionam sobretudo o ponto de partida auditivo antes da implantação coclear e a magnitude do efeito inicial após a ativação do IC, mas não a velocidade de recuperação ao longo do tempo pós-implantação.

5.1 Efeitos globais: um padrão bifásico preservado em toda a coorte

Os resultados demonstram um padrão de recuperação auditiva bifásico: efeito imediato robusto após a ativação, seguido de progressão sustentada e estatisticamente significativa nas três métricas. À semelhança do descrito na literatura, [22, 30] os ganhos são

mais acentuados nos primeiros meses, com progressão contínua nos períodos subsequentes - trajetória detetável pela modelação contínua do tempo de seguimento, intrinsecamente mais sensível do que a categorização em janelas discretas que caracteriza a maioria dos estudos. [22]

O substrato neurobiológico da progressão tardia assenta na reorganização cortical contínua. Esmaelpoor et al. (2025) demonstraram que a conectividade funcional dinâmica pós-implantação prediz os resultados de longa duração, mediando ganhos na percentagem de discriminação mesmo após estabilização da deteção. [31] Estes dados são consistentes com estudos de neuroimagem que documentam melhorias progressivas na codificação temporal cortical com a experiência prolongada de IC. [14, 32] Em conjunto, estes resultados confirmam que o sistema auditivo adulto pós-lingual preserva plasticidade funcional robusta, ainda que com ponto de partida basal inferior em contextos de privação prolongada. [4, 15]

5.2 O ponto de partida: privação como determinante do valor basal

A duração da privação auditiva exerce um efeito dose-resposta sobre o desempenho auditivo basal pré-implantação, com cada ano de privação adicional a comprometer progressivamente as três métricas avaliadas – padrão corroborado pela literatura, [16, 17] que documenta correlação negativa entre duração da surdez e reconhecimento de palavras. A dissociação entre métricas - discriminação vocal mais afetada que o SRT - é explicável pela natureza distinta das tarefas: a discriminação vocal é dependente da resolução fonética das vias ascendentes, mais vulnerável à privação prolongada, enquanto o SRT recruta mecanismos que se mantêm relativamente preservados.

A estratificação pelo limiar de 10 anos não revelou diferenças no valor basal - resultado compatível com a literatura, [33] que não encontrou diferenças significativas no reconhecimento de fala entre grupos, e explicável pela heterogeneidade intragrupo inerente a qualquer limiar de categorização.

O maior ganho imediato no grupo com privação prolongada (7,98 dB no LTM; $p = 0,032$) reflete o elevado contraste entre o silêncio crónico e a nova aferência elétrica, e não uma melhor integridade neural basal.

A ausência de diferença na progressão mensal - visualmente confirmada pela sobreposição das trajetórias **(Gráfico I)** - sugere que o limiar de 10 anos não condiciona a capacidade de neuroplasticidade adaptativa pós-implantação.

A percentagem de vida em privação associou-se de forma significativa ao estado audiométrico basal - com agravamento do SRT ($\beta = 20,52$) e redução da discriminação vocal ($\beta = -22,04$) - e a ganhos agudos mais proeminentes na ativação, sem aceleração compensatória na progressão mensal. Esta combinação - maior comprometimento basal e ganho imediato de LTM mais atenuado, sem recuperação posterior - condiciona um teto funcional esperado mais baixo a longo prazo, mecanismo que a literatura não modela de forma integrada, analisando esta métrica apenas como preditor de resultados sem dissociar o efeito imediato da progressão subsequente. A literatura descreve um ponto de inflexão crítico aos 66% de vida em privação, sugerindo que esta métrica captura limiares de reorganização cortical que a duração absoluta não discrimina [17] - particularmente relevante numa coorte com grande heterogeneidade etária, onde um mesmo período absoluto de privação representa impactos neurobiológicos distintos consoante a fase do ciclo de vida em que ocorre. [5]

5.3 O efeito imediato: o determinante crítico do prognóstico a longo prazo

Um achado transversal emerge da análise das interações com o efeito cirúrgico imediato: o diferencial funcional estabelecido no momento da ativação tende a manter-se ao longo do seguimento.

A seleção do ouvido a implantar foi o preditor de maior magnitude em todo o modelo. A implantação no melhor ouvido associou-se a maior benefício funcional no efeito imediato - com uma diferença de 33,40 dB no LTM, 33,73 dB no SRT e 46,27 pontos percentuais na percentagem de discriminação ($p < 0,001$ em todas). A trajetória longitudinal evidencia atenuação progressiva do diferencial no LTM, mas não no SRT nem na percentagem de discriminação - o diferencial funcional estabelecido no momento da ativação tende a manter-se nestas métricas ao longo do seguimento. Estes dados quantificam a penalização funcional imediata associada à implantação no pior ouvido e reforçam a necessidade de ponderação individualizada no contexto da consulta de decisão terapêutica, dada a heterogeneidade prognóstica deste subgrupo. [26] **(Gráfico II)**

A ausência de uso ativo de PA à data da cirurgia resultou em efeito imediato significativamente inferior em todas as métricas, sem compromisso da progressão posterior. Este padrão é interpretável como reflexo de uma redução da prontidão neural das vias auditivas centrais por ausência de estimulação acústica recente, mecanismo consistente com os modelos de privação sensorial a curto prazo descritos na literatura. [27, 34] A manutenção do uso de PA até à data da cirurgia constitui uma recomendação consensual nas recomendações internacionais de candidatura ao IC, [20, 34] corroborada pelos dados do presente estudo ao nível do efeito imediato.

O uso prévio de PA não alterou o valor basal audiométrico pré-implantação, mas associou-se a maior reatividade funcional no efeito imediato pós-implantação, com ganhos adicionais de 14,71 dB no LTM (uso unilateral) e 8,83 dB (uso bilateral). Este padrão sugere que a amplificação prévia preserva a prontidão neural para a adaptação ao estímulo elétrico, sem influenciar o ponto de partida absoluto nem a velocidade de progressão longitudinal.

5.4 Trajetória de recuperação: uma exceção com implicações clínicas

Com exceção da percentagem do tempo de surdez coberta por amplificação auditiva, nenhuma das variáveis estudadas influenciou a taxa de progressão mensal pós-ativação. Este padrão — em que os determinantes condicionam o nível de chegada imediato, mas não a velocidade de melhoria subsequente - tem uma implicação clínica direta: o diferencial funcional gerado no momento da ativação do IC tende a manter-se ao longo do seguimento, tornando a otimização do efeito imediato o principal alvo de intervenção de reabilitação.

A percentagem do tempo de privação coberta por amplificação destaca-se por se associar não só a reatividade imediata robusta, mas também a progressão longitudinal sustentada na discriminação vocal e no SRT. Esta dissociação sugere que a cobertura proporcional da privação por amplificação não apenas preserva a prontidão neural para a ativação, como se associa a maior neuroplasticidade adaptativa a longo prazo. A literatura raramente isola esta dimensão, sendo o presente estudo um dos poucos a modelar a cobertura proporcional da privação como preditor da trajetória longitudinal.

5.5 Outros determinantes clínicos

O diagnóstico tardio associou-se a melhor função discriminativa basal na discriminação vocal (β = 11,42; p = 0,021), compatível com o efeito neuroprotetor da aferência acústica prolongada - quanto mais tarde instalada a surdez, mais consolidada a identidade funcional do córtex auditivo. [14] Verificou-se, contudo, interação negativa no efeito imediato para adultos (β = -20,39; p = 0,017): sistemas nervosos habituados à estimulação biológica tonotópica enfrentam maior inércia sináptica inicial perante o sinal elétrico. [35] Superada esta barreira adaptativa, a taxa de progressão é equivalente entre grupos.

Apesar de a população geriátrica partir de um valor basal pré-implantação mais comprometido, esta desvantagem é contrariada por uma recuperação imediata mais robusta no SRT, com uma diferença de 15,99 dB face aos adultos jovens (p = 0,013), congruente com a literatura. [36, 37] A invariância na progressão longitudinal contraria parcialmente estudos que reportam menor capacidade de progressão em doentes muito idosos, [37] divergência possivelmente explicável pela estratificação adotada: o presente estudo dicotomizou em adultos/meia-idade versus idosos (>65 anos), enquanto essa literatura analisa subgrupos acima dos 80 anos. Uma leitura integradora sugere então que a reatividade imediata e a taxa de progressão são preservadas no idoso "jovem" (65–80 anos), podendo deteriorar-se apenas em idades mais avançadas.

A magnitude de recuperação imediata no LTM observada nas etiologias constitucionais/sistémicas (β = -9,21; p = 0,024) e no SRT (β = -17,03; p = 0,041), com tendência idêntica na discriminação vocal (β = 16,17; p = 0,057), é interpretável pela tendência para maior preservação funcional da via auditiva periférica nestas condições, com menor destruição estrutural direta da cóclea face a etiologias adquiridas de impacto mecânico ou infecioso direto. [13] A menor reorganização cortical intermodal associada a uma progressão tipicamente bilateral e simétrica poderá também contribuir para este padrão. [3] A dimensão reduzida deste subgrupo (17,12%) limita a generalização destes achados.

6. Limitações, pontos fortes e perspetivas futuras

O desenho retrospetivo constitui a principal limitação estrutural. A dependência de registos clínicos eletrónicos condicionou a completude do histórico audiológico - nomeadamente a caracterização precisa do início da perda auditiva e a documentação sistemática do padrão de uso protésico ao longo do tempo. Esta limitação tem implicações diretas na operacionalização da duração da surdez: calculada desde o início documentado da perda auditiva, pode incluir períodos com audição não severa nem profunda, anteriores à verdadeira indicação para IC. Esta heterogeneidade na operacionalização - reconhecida como desafio metodológico transversal à literatura, [5] pode subestimar o verdadeiro efeito da privação auditiva grave e condicionar a interpretação do limiar de 10 anos. [16]

A imputação do valor fixo de 125 dB para doentes sem resposta percetiva ao estímulo máximo pode amplificar artificialmente a magnitude do efeito imediato no LTM, particularmente nos doentes com privação mais profunda, onde o contraste entre o valor basal imputado e o limiar pós-ativação é potencialmente maior. A consistência direcional dos achados entre as três métricas avaliadas - incluindo SRT e discriminação vocal, independentes desta imputação - atenua o seu impacto sobre as conclusões principais.

Algumas variáveis com plausibilidade clínica - nomeadamente o fabricante do IC, a tipologia dos elétrodos, a técnica cirúrgica e os antecedentes otológicos - não foram incluídas no modelo. A sua exclusão constitui uma limitação, parcialmente atenuada pelo contexto unicêntrico com protocolo cirúrgico padronizado. Relativamente ao fabricante, estudos com os três sistemas atuais não documentaram diferenças significativas nos resultados de reconhecimento de fala. [27] A dinâmica de instalação da surdez foi excluída por insuficiência de poder estatístico no subgrupo de surdez súbita (n=31). Este subgrupo teria particular valor metodológico: nos casos de instalação súbita, a duração total da surdez e a duração da privação severa são praticamente equivalentes, eliminando a heterogeneidade de operacionalização descrita anteriormente. A insuficiência amostral constitui assim uma limitação e simultaneamente uma direção de investigação futura. A variável "uso inadequado" do IC é uma categoria heterogénea que agrega baixa adesão comportamental, falhas técnicas do equipamento e, nos utilizadores bimodais, eventual preferência pelo modo acústico - heterogeneidade que pode atenuar efeitos reais da adesão comportamental na análise agregada.

A avaliação audiométrica com listas de palavras em português europeu, embora adequada ao contexto clínico nacional, limita a comparabilidade direta com estudos internacionais que utilizam listas de palavras *Consonant-Nucleus-Consonant* (CNC) ou frases AzBio - reforçando a originalidade dos dados, mas restringindo a generalização das comparações quantitativas. [22] Adicionalmente, a avaliação em condições de silêncio em cabine audiométrica, embora metodologicamente padronizada, não replica os ambientes acústicos da vida quotidiana - onde ruído de fundo e múltiplos interlocutores condicionam substancialmente o desempenho funcional. A inclusão de testes em ruído ou medidas de resultado reportado pelo doente constituiria uma mais-valia.

A ausência de medidas de função cognitiva no modelo constitui uma limitação adicional, dado que a cognição tem sido identificada como determinante dos resultados pós-ativação não capturado pelas variáveis tradicionais, e contribui para a variabilidade residual que persiste mesmo nos modelos multivariados mais robustos. [38]

A não inclusão de medidas eletrofisiológicas perioperatórias - nomeadamente as impedâncias dos elétrodos e a resposta evocada do nervo auditivo (*Neural Response Telemetry*) obtida no intraoperatório - constitui uma limitação adicional. Estas medidas refletem a integridade da interface elétrodo-nervo e a viabilidade das células do gânglio espiral, sendo reconhecidas como preditores do desempenho pós-ativação independentes das variáveis clínicas convencionais. A sua recolha sistemática no contexto clínico e a integração futura em modelos preditivos representaria uma mais-valia metodológica relevante.

Em contrapartida, o presente estudo apresenta forças metodológicas relevantes. A realização das intervenções maioritariamente pelo mesmo cirurgião sénior e a execução dos testes audiométricos pela mesma equipa técnica e instrumentos minimizam a variabilidade operacional intra-institucional, conferindo homogeneidade ao protocolo clínico e audiológico que raramente é alcançada em séries multicêntricas.

A modelação longitudinal com tempo contínuo – em vez da categorização em janelas temporais fixas – aumenta a sensibilidade para detetar trajetórias de progressão e distinguir o efeito cirúrgico imediato da recuperação subsequente, [22] abordagem intrinsecamente mais informativa do que a comparação entre dois pontos temporais isolados.

A dimensão amostral num contexto unicêntrico nacional e o seguimento longitudinal alargado conferem robustez à modelação da trajetória de recuperação e permitem a estimativa de efeitos de menor magnitude com poder estatístico adequado.

Finalmente, a inclusão simultânea de três métricas audiométricas complementares — LTM, SRT e discriminação vocal - permite uma caracterização multidimensional da recuperação auditiva que distingue efeitos sobre os limiares tonais, a receção de fala e o processamento fonético. A sua análise conjunta revela padrões - como a dissociação entre a estabilização precoce do LTM e a progressão tardia da discriminação vocal - que seriam invisíveis com uma métrica única.

7. Conclusão

Este estudo demonstra que a duração da surdez exerce um efeito dose-resposta significativo sobre o desempenho auditivo basal em adultos pós-linguais submetidos a implantação coclear, condicionando progressivamente o LTM, o SRT e a discriminação vocal - consistente com o impacto da privação prolongada sobre as vias auditivas centrais. Contudo, a duração da privação não compromete a trajetória de recuperação funcional pós-implantação: a taxa de progressão mensal é independente do tempo de privação, e o limiar de dez anos não condiciona a trajetória longitudinal de recuperação - dados que contribuem para clarificar a incerteza clínica identificada na literatura e reforçar a sua interpretação como indicador de gestão de expectativas e não como critério de exclusão. Paralelamente, a seleção do ouvido a implantar e o estado de estimulação auditiva pré-operatória emergiram como os principais determinantes do efeito imediato da ativação - achado com implicações clínicas diretas na consulta de decisão terapêutica e na gestão perioperatória do candidato a IC.

Um segundo achado transversal tem implicações clínicas diretas: à exceção da percentagem do tempo de surdez com PA, nenhuma das variáveis estudadas influenciou a taxa de progressão mensal pós-ativação. Os determinantes clínicos analisados - privação auditiva, perfil de amplificação, idade e etiologia - condicionaram o valor basal e a magnitude do efeito imediato, mas não a velocidade de recuperação subsequente. Isto implica que o diferencial funcional gerado no momento da ativação tende a perpetuar-se ao longo do seguimento sem recuperação compensatória - tornando os determinantes do efeito imediato os principais alvos de intervenção reabilitativa.

A percentagem de vida em surdez revelou-se uma métrica complementar e clinicamente informativa, capturando o impacto proporcional da privação de forma mais sensível do que a duração absoluta. A percentagem do tempo de surdez coberta por amplificação auditiva constitui o único preditor associado a progressão longitudinal superior - achado raramente modelado na literatura que sublinha o valor neuroprotetor da estimulação acústica continuada e proporcional.

Estes resultados têm implicações clínicas diretas: a otimização do prognóstico reabilitativo passa pela maximização do efeito imediato - através da ponderação individualizada da seleção do ouvido a implantar, da manutenção da amplificação auditiva até à cirurgia e da referenciação atempada – e não apenas pela minimização do tempo de privação absoluta. Em contexto nacional, onde os constrangimentos estruturais das vias de referenciação podem prolongar este período, a monitorização e otimização destes determinantes modificáveis assume particular relevância. Este estudo aponta para a direção mais promissora de investigações futuras: a replicação destes achados com uma métrica de duração de privação severa ou profunda permitiria testar com maior validade se o limiar de 10 anos reteria valor preditivo quando aplicado ao período de privação neurologicamente relevante. Até lá, os presentes dados suportam que a duração da surdez não deve constituir critério de exclusão para a candidatura ao IC devendo ser interpretada como modulador das expectativas funcionais no contexto de uma avaliação clínica individualizada.

Tabela I. Caracterização sociodemográfica e clínica da amostra

Características da amostra	N	%
Sexo (n=109)		
Feminino	64	58,7%
Masculino	45	41,3%
Via de referenciação (n=109)		
Exterior	41	37,6%
Consulta externa	36	33,0%
Outros	32	29,4%
Estratificação etária (n=109)		
18 - 65 anos	74	67,9%
> 65 anos	35	32,1%
Idade ao diagnóstico estratificada (n=104)		
<18 anos	30	28,8%
18 - 65 anos	32	30,8%
> 65 anos	42	40,4%
Idade ao diagnóstico estratificada (ouvido contralateral) (n=95)		
<18 anos	60	60,6%
18 - 65 anos	38	38,4%
>65 anos	1	1,0%
Duração da surdez estratificada (n=95)		
<10 anos	24	25,3%
≥10 anos	71	74,7%
Duração da surdez estratificada (ouvido contralateral) (n=84)		
<10 anos	19	22,6%
≥10 anos	65	77,4%
Etiologia (n=109)		
Desconhecida	67	61,5%
Inflamatória/Infeciosa	9	8,3%
Trauma acústico	8	7,3%
Genética	7	6,4%
Otosclerose	6	5,5%
Doença de Ménière	4	3,7%
Ototóxica	3	2,8%
Queda traumática	3	2,8%
Autoimune	2	1,8%
Etiologia estratificada (n=111)		
Idiopática	69	62,2%
Adquirida/Ambiental	23	20,7%
Constitucional/Sistémica	19	17,1%
Evolução da surdez (n=109)		
Progressiva	78	71,6%
Súbita	31	28,4%
Uso prévio de PA (n=109)		
Não	26	23,9%
Unilateral	33	30,3%

Bilateral	50	45,9%
Estado de estimulação auditiva à data da cirurgia (n=109)		
Uso ativo de PA	60	55,1%
Sem uso ativo de PA	49	44,9%
Consistência do uso prévio de PA (n=109)		
Consistente	81	74,3%
Não consistente	28	25,7%
Cirurgias otológicas prévias (n=109)		
Sim	10	9,2%
Não	99	90,8%
Lado implantado (n=109)		
Ouvido direito	60	55,1%
Ouvido esquerdo	49	44,9%
Ouvido implantado (n=106)		
Pior	39	36,8%
Melhor	62	58,5%
Simétricos	5	4,7%
História familiar (n=109)		
Sim	35	32,1%
Não	74	67,9%
Sintomas otoneurológicos prévios (n=109)		
Sim	68	62,4%
Não	41	37,6%
Sintomas otoneurológicos pós-operatórios (n=107)		
Sim	17	15,9%
Não	90	84,1%
Modalidade (n=109)		
Unilateral	81	74,3%
Bimodal	28	25,7%
Fabricante (n=109)		
Medel	64	58,7%
Advanced Bionics	28	25,7%
Cochlear	17	15,6%
Técnica de inserção (n=109)		
Janela redonda	104	95,4%
Cocleostomia	5	4,6%
Elétrodos (n=109)		
Reto	94	86,2%
Perimodiolar	13	11,9%
Personalizado	2	1,8%
Adesão ao IC (n=109)		
Uso adequado	93	85,3%
Uso inadequado	16	14,7%
Estatística Descritiva	**Média (DP)**	
Idade, anos (n=109)	58,0 (12,6)	
Idade ao diagnóstico (ouvido implantado), anos (n=109)	36,2 (19,9)	

Idade ao diagnóstico (ouvido não implantado), anos (n=109)	34,3 (20,7)
Duração da surdez (ouvido implantado), anos (n=109)	21,9 (15,7)
Duração da surdez (ouvido não implantado), anos (n=109)	23,7 (16,7)
Percentagem de vida com surdez (ouvido implantado) (%) (n=109)	39,7 (28,4)
Percentagem de vida com surdez (ouvido não implantado) (%) (n=109)	42,6 (29,8)
Idade de início do uso de PA (ouvido implantado), anos (n=109)	46,7 (18,1)
Idade de início do uso de PA (ouvido não implantado), anos (n=109)	47,3 (17,9)
Idade de fim do uso de PA (ouvido implantado), anos (n=109)	56,8 (13,4)
Idade de fim do uso de PA (ouvido não implantado), anos (n=109)	55,9 (14,2)
Duração do uso de PA (ouvido implantado), anos (n=109)	18,8 (14,0)
Duração do uso de PA (ouvido não implantado), anos (n=109)	11,4 (10,0)
Percentagem do tempo de surdez com PA (ouvido implantado), (%) (n=108)	71,8 (31,6)
Percentagem do tempo de surdez com PA (ouvido não implantado), (%) (n=109)	41,4 (29,1)

Tabela II. LMM: efeitos globais da ativação do implante coclear (efeito imediato e tendência temporal)

		Efeito Imediato (outro vs. tempo 0)	Tendência Temporal (/mês)
LTM (dB)	***β***	-52,90	-0,12
	IC95%	(-56,08; -49,72)	(-0,23; -0,01)
	P	<0,001	0,033
SRT (dB)	***β***	-31,18	-0,46
	IC95%	(-37,56; -24,79)	(-0,69; -0,24)
	P	<0,001	<0,001
Discriminação vocal (%)	***β***	15,84	0,68
	IC95%	(9,00; 22,67)	(0,44; 0,92)
	P	<0,001	<0,001

Tabela III. LMM: Associações entre determinantes clínicos e performance auditiva pós-implantação

	LTM (dB)			SRT (dB)			*Discriminação vocal (%)*		
Idade (n=109)	***β***	**IC95%**	***P***	***β***	**IC95%**	***P***	***β***	**IC95%**	***P***
18 - 65 anos	Ref			Ref			Ref		
> 65 anos	3,55	(0,57; 6,54)	0,020	4,78	(-3,69; 13,24)	0,266	-2,72	(-11,63; 6,20)	0,547
Efeito imediato	-52,26	(-55,18; -49,33)	<0,001	-31,80	(-37,70; -25,90)	<0,001	17,40	(11,16; 23,65)	<0,001
Tempo (/mês de seguimento)	-0,15	(-0,24; -0,05)	0,002	-0,40	(-0,59; -0,20)	<0,001	0,62	(0,41; 0,83)	<0,001
Efeito imediato	-51,33	(-54,87; -47,79)	<0,001	-26,74	(-33,85; -19,64)	<0,001	13,23	(5,71; 20,75)	0,001
Idade × Efeito imediato									
18 - 65 anos	Ref			Ref			Ref		
> 65 anos	-2,88	-9,18 – 3,41	0,369	-15,99	(-28,62; -3,37)	0,013	13,33	(-0,10; 26,75)	0,052
Tempo (/mês de seguimento)	-0,14	(-0,25; -0,03)	0,016	-0,50	(-0,73; -0,26)	<0,001	0,67	(0,42; 0,92)	<0,001
Idade × Tempo									
18 - 65 anos	Ref			Ref			Ref		
> 65 anos	-0,03	(-0,24; 0,18)	0,799	0,33	(-0,10; 0,76)	0,131	-0,16	(-0,62; 0,29)	0,482
Idade ao diagnóstico (n=106)									
<18 anos	Ref			Ref			Ref		
18 - 65 anos	-3,21	(-6,89; 0,47)	0,086	-7,63	(-17,20; 1,95)	0,117	9,82	(-0,41; 20,06)	0,060
> 65 anos	-2,13	(-5,60; 1,35)	0,228	-9,06	(-18,10; -0,03)	0,049	11,42	(1,76; 21,07)	0,021
Efeito imediato	-52,99	(-55,98; -50,00)	<0,001	-32,76	(-38,79; -26,73)	<0,001	17,46	(10,97; 23,94)	<0,001
Tempo (/mês de seguimento)	-0,13	(-0,23; -0,03)	0,012	-0,45	(-0,66; -0,24)	<0,001	0,68	(0,46; 0,90)	<0,001
Efeito imediato	-60,08	(-65,52; -54,65)	<0,001	-39,00	(-50,07; -27,93)	<0,001	29,95	(17,99; 41,92)	<0,001
Idade ao diagnóstico × Efeito imediato									
<18 anos	Ref			Ref			Ref		
18 - 65 anos	5,73	(-1,87; 13,32)	0,139	8,83	(-6,78; 24,43)	0,267	-20,39	(-37,14; -3,63)	0,017
> 65 anos	13,01	(5,87; 20,15)	<0,001	8,55	(-6,01; 23,12)	0,249	-15,45	(-31,10; 0,19)	0,053
Tempo (/mês de seguimento)	-0,20	(-0,37; -0,03)	0,023	-0,47	(-0,83; -0,12)	0,010	0,59	(0,20; 0,98)	0,003
Idade ao diagnóstico × Tempo									
<18 anos	Ref			Ref			Ref		
18 - 65 anos	0,10	(-0,15; 0,35)	0,440	-0,17	(-0,69; 0,35)	0,525	0,28	(-0,28; 0,84)	0,325
> 65 anos	0,12	(-0,12; 0,35)	0,329	0,21	(-0,29; 0,70)	0,411	-0,02	(-0,55; 0,51)	0,943
Duração da surdez (n=95)									
Duração da surdez	0,11	(0,01; 0,20)	0,028	0,49	(0,25; 0,73)	<0,001	-0,50	(-0,76; -0,24)	<0,001
Efeito imediato	-52,87	(-56,05; -49,69)	<0,001	-31,13	(-37,51; -24,75)	<0,001	-31,13	(-37,51; -24,75)	<0,001
Tempo (/mês de seguimento)	-0,12	(-0,23; -0,01)	0,026	-0,48	(-0,70; -0,25)	<0,001	-0,48	(-0,70; -0,25)	<0,001
Efeito imediato	-52,01	(-55,10; -48,93)	<0,001	-30,65	(-37,08; -24,23)	<0,001	14,93	(8,09; 21,77)	<0,001
Duração da surdez × Efeito imediato	-0,49	(-0,69; -0,30)	<0,001	-0,32	(-0,72; 0,08)	0,114	0,44	(0,01; 0,86)	0,044
Tempo (/mês de seguimento)	-0,11	(-0,21; 0,00)	0,060	-0,45	(-0,68; -0,22)	<0,001	0,68	(0,44; 0,93)	<0,001

Duração da surdez × Tempo	-0,00	(-0,01; 0,00)	0,483	-0,00	(-0,02; 0,01)	0,555	0,00	(-0,01; 0,02)	0,848
Duração da surdez estratificada (n=95)									
<10 anos	Ref			Ref			Ref		
≥10 anos	-0,08	(-3,62; 3,46)	0,965	4,24	(5,23; 13,70)	0,376	-3,18	(-13,50; 7,14)	0,542
Efeito imediato	-52,90	(-56,08; -49,71)	<0,001	-31,18	(-37,57; -24,80)	<0,001	15,83	(8,99; 22,66)	<0,001
Tempo (/mês de seguimento)	-0,12	(-0,23; -0,01)	0.032	-0,46	(-0,69; -0,24)	<0,001	0,68	(0,44; 0,92)	<0,001
Efeito imediato	-46,95	(-53,25; -40,66)	<0,001	-28,03	(-40,72; -15,33)	<0,001	13,26	(-0,14; 26,66)	0,052
Duração da surdez estratificada × Efeito imediato									
<10 anos	Ref			Ref			Ref		
≥10 anos	-7,98	(-15,26; -0,70)	0,032	-4,34	(-19,02; 10,35)	0,562	3,54	(-12,03; 19,12)	0,654
Tempo (/mês de seguimento)	-0,05	(-0,27; 0,18)	0,680	-0,28	(-0,75; 0,19)	0,243	0,47	(-0,02; 0,96)	0,059
Duração da surdez estratificada × Tempo									
<10 anos	Ref			Ref			Ref		
≥10 anos	-0,09	(-0,35; 0,16)	0,480	-0,24	(-0,78; 0,30)	0,379	0,28	(-0,29; 0,84)	0,335
Percentagem de vida com surdez (n=95)									
Percentagem de vida com surdez	4,70	(-0,63; 10,03)	0,083	20,52	(6,76; 34,28)	0,004	-22,04	(-36,91; -7,17)	0,004
Efeito imediato	-52,89	(-56,07; -49,71)	<0,001	-31,16	(-37,54; -24,77)	<0,001	15,69	(8,87; 22,52)	<0,001
Tempo (/mês de seguimento)	-0,12	(-0,23; -0,01)	0,029	-0,47	(-0,69; -0,24)	<0,001	0,69	(0,45; 0,93)	<0,001
Efeito imediato	-53,04	(-56,11; -49,96)	<0,001	-31,33	(-37,69; -24,97)	<0,001	15,81	(9,02; 22,60)	<0,001
Percentagem de vida com surdez × Efeito imediato	-24,63	(-35,45; -13,81)	<0,001	-15,12	(-37,39; 7,16)	0,183	21,20	(-2,73; 45,12)	0,082
Tempo (/mês de seguimento)	-0,11	(-0,22; 0,00)	0,042	-0,45	(-0,68; -0,23)	<0,001	0,68	(0,44; 0,92)	<0,001
Percentagem de vida com surdez × Tempo	-0,18	(-0,55; 0,18)	0,320	-0,38	(-1,16; 0,41)	0,346	0,13	(-0,71; 0,97)	0,761
Etiologia estratificada (n=111)									
Idiopática	Ref			Ref			Ref		
Adquirida/Ambiental	3,13	(-2,25; 8,52)	0,251	7,18	(-2,94; 17,29)	0,162	-8,87	(-19,54; 1,81)	0,102
Constitucional/ Sistémica	2,28	(-3,60; 8,17)	0,443	-1,40	(-12,41; 9,61)	0,802	1,22	(-10,42; 12,85)	0,836
Efeito imediato	-49,78	(-53,47; -46,08)	<0,001	-29,11	(-36,52; -21,69)	<0,001	13,46	(5,64; 21,28)	0,001
Etiologia × Efeito imediato									
Idiopática	Ref			Ref			Ref		
Adquirida /Ambiental	-3,85	(-11,21; 3,51)	0,305	1,35	(-13,53; 16,23)	0,859	6,06	(-9,87; 21,99)	0,455
Constitucional /Sistémica	-9,21	(-17,21; -1,20)	0,024	-17,03	(-33,34; -0,72)	0,041	16,17	(-1,11; 33,46)	0,067
Tempo (/mês de seguimento)	-0,14	(-0,26; -0,03)	0,014	-0,37	(-0,61; -0,13)	0,003	0,60	(0,35; 0,86)	<0,001
Etiologia × Tempo									
Idiopática	Ref			Ref			Ref		
Adquirida /Ambiental	0,01	(-0,23; 0,25)	0,906	-0,08	(-0,58; 0,42)	0,744	0,19	(-0,34; 0,72)	0,474
Constitucional /Sistémica	-0,10	(-0,40; 0,21)	0,532	-0,15	(-0,77; 0,47)	0,630	-0,10	(-0,75; 0,55)	0,768
Uso prévio de PA (n=109)									
Não	Ref			Ref			Ref		

Unilateral	0,98	(-2,80; 4,76)	0,607	3,60	(-7,19; 14,39)	0,510	-4,25	(-15,54; 7,04)	0,457
Bilateral	-2,92	(-6,42; 0,59)	0,102	-3,20	(-13,19; 6,80)	0,528	3,23	(-7,25; 13,71)	0,543
Efeito imediato	-52,27	(-55,20; -49,34)	<0,001	-31,78	(-37,68; -25,89)	<0,001	17,38	(11,14; 23,63)	<0,001
Tempo (/mês de seguimento)	-0,15	(-0,25; -0,06)	0,002	-0,40	(-0,60; -0,20)	<0,001	0,62	(0,41; 0,83)	<0,001
Efeito imediato	-43,78	(-49,70; -37,87)	<0,001	-20,77	(-32,85; -8,69)	0,001	12,41	(-0,49; 25,32)	0,059
Uso prévio de PA × Efeito imediato									
Não	Ref			Ref			Ref		
Unilateral	-14,71	(-22,63; -6,78)	<0,001	-19,94	(-36,05; -3,83)	0,015	16,63	(-0,52; 33,79)	0,057
Bilateral	-8,83	(-16,12; -1,54)	0,018	-10,69	(-25,58; 4,20)	0,159	-0,19	(-16,01; 15,63)	0,981
Tempo (/mês de seguimento)	-0,17	(-0,36; 0,03)	0,104	-0,64	(-1,06; -0,22)	0,003	0,73	(0,29; 1,17)	0,001
Uso prévio de PA × Tempo									
Não	Ref			Ref			Ref		
Unilateral	0,03	(-0,23; 0,29)	0,820	0,36	(-0,19; 0,91)	0,203	-0,31	(-0,89; 0,27)	0,289
Bilateral	0,01	(-0,23; 0,26)	0,907	0,28	(-0,23; 0,79)	0,277	-0,03	(-0,57; 0,50)	0,903
Anos de uso de PA (n=67)									
Anos de uso de PA	0,24	(0,14; 0,35)	<0,001	0,44	(0,10; 0,78)	0,012	-0,51	(-0,87; -0,16)	0,006
Efeito imediato	-59,98	(-63,23; -56,73)	<0,001	-40,30	(-47,50; -33,10)	<0,001	23,30	(15,70; 30,90)	<0,001
Tempo (/mês de seguimento)	-0,12	(-0,22; -0,01)	0,031	-0,37	(-0,61; -0,13)	0,003	0,67	(0,42; 0,93)	<0,001
Percentagem do tempo de surdez com PA (n=59)									
Percentagem do tempo de surdez com PA	6,66	(1,00; 12,32)	0,022	9,14	(-8,36; 26,64)	0,300	-15,23	(-33,61; 3,15)	0,103
Efeito imediato	-60,65	(-64,13; -57,16)	<0,001	-39,21	(-47,21; -31,21)	<0,001	23,50	(15,16; 31,85)	<0,001
Tempo (/mês de seguimento)	-0,09	(-0,21; 0,02)	0,115	-0,41	(-0,69; -0,13)	0,004	0,67	(0,38; 0,96)	<0,001
Efeito imediato	-60,39	(-63,83; -56,96)	<0,001	-39,05	(-47,09; -31,00)	<0,001	23,07	(14,76; 31,38)	<0,001
Percentagem do tempo de surdez com PA × Efeito imediato	-15,68	(-26,58; -4,78)	0,005	-6,57	(-32,00; 18,85)	0,611	21,27	(-4,92; 47,46)	0,111
Tempo (/mês de seguimento)	-0,10	(-0,21; 0,02)	0,108	-0,40	(-8,36; 26,64)	0,005	0,66	(0,37; 0,95)	<0,001
Percentagem do tempo de surdez com PA × Tempo	0,06	(-0,33; 0,44)	0,772	-0,16	(-1,07; 0,76)	0,737	0,16	(-0,78; 1,10)	0,739
Estado de estimulação auditiva à data da cirurgia (n=109)									
Uso ativo de PA	Ref			Ref			Ref		
Sem uso ativo de PA	-1,54	(-4,39; 1,31)	0,287	-7,50	(-15,34; 0,35)	0,061	8,41	(0,20; 16,62)	0,045
Efeito imediato	-52,25	(-55,18; -49,33)	<0,001	-31,79	(-37,69; -25,90)	<0,001	17,37	(11,12; 23,61)	<0,001
Tempo (/mês de seguimento)	-0,15	(-0,25; -0,05)	0,002	-0,40	(-0,60; -0,20)	<0,001	0,62	(0,41; 0,83)	<0,001
Efeito imediato	-61,40	(-65,13; -57,67)	<0,001	-43,06	(-50,84; -35,28)	<0,001	28,87	(20,71; 37,03)	<0,001
Estado de estimulação auditiva × Efeito imediato									
Uso ativo de PA	Ref			Ref			Ref		
Sem uso ativo de PA	20,32	(14,76; 25,88)	<0,001	25,27	13,62; 36,93)	<0,001	-25,95	(-38,21; -13,68)	<0,001
Tempo (/mês de seguimento)	-0,11	(-0,23; 0,01)	0,083	-0,26	(-0,52; 0,00)	0,051	0,53	(0,26; 0,80)	<0,001

Estado de estimulação auditiva × Tempo									
Uso ativo de PA	Ref			Ref			Ref		
Sem uso ativo de PA	-0,10	(-0,28; 0,09)	0,294	-0,32	(-0,71; 0,07)	0,110	0,21	(-0,20; 0,62)	0,314
Ouvido implantado (n=106)									
Pior ouvido	Ref			Ref			Ref		
Melhor ouvido	-7,14	(-9,69; -4,60)	<0,001	-17,92	(-24,98; -10,86)	<0,001	23,34	(16,50; 30,17)	<0,001
Simétricos	7,35	(1,53; 13,18)	0,014	26,98	(10,67; 43,29)	0,001	-24,82	(-40,58; -9,06)	0,002
Efeito imediato	-52,20	(-55,43; -49,56)	<0,001	-31,22	(-37,23; -25,21)	<0,001	17,29	(10,96; 23,63)	<0,001
Tempo (/mês de seguimento)	-0,15	(-0,24; -0,05)	0,002	-0,41	(-0,61; -0,21)	<0,001	0,64	(0,43; 0,84)	<0,001
Efeito imediato	-72,05	(-76,08; -68,03)	<0,001	-52,11	(-61,57; -42,65)	<0,001	44,97	(35,59; 54,34)	<0,001
Ouvido implantado × Efeito imediato									
Pior ouvido	Ref			Ref			Ref		
Melhor ouvido	33,40	(28,24; 38,55)	<0,001	33,73	(21,59; 45,88)	<0,001	-46,27	(-58,35; -34,19)	<0,001
Simétricos	3,97	(-8,31; 16,26)	0,525	23,85	(-4,83; 52,52)	0,103	-17,34	(-45,88; 11,21)	0,233
Tempo (/mês de seguimento) Ouvido implantado × Tempo	-0,02	(-0,14; 0,10)	0,701	-0,42	(-0,71; -0,12)	0,006	0,56	(0,27; 0,85)	<0,001
Pior ouvido	Ref			Ref			Ref		
Melhor ouvido	-0,18	(-0,35; -0,02)	0,028	0,03	(-0,37; 0,42)	0,891	0,10	(-0,29; 0,49)	0,617
Simétricos	-0,59	(-1,02; -0,16)	0,008	-0,13	(-1,16; 0,90)	0,802	0,35	(-0,66; 1,37)	0,493

Todas as associações foram estabelecidas em relação ao ouvido implantado.

Atendendo à natureza inversa das escalas audiológicas, um Beta negativo no LTM e SRT traduz melhoria clínica (diminuição dos limiares em dB), enquanto um Beta positivo na discriminação vocal indica melhoria (aumento da percentagem de reconhecimento).

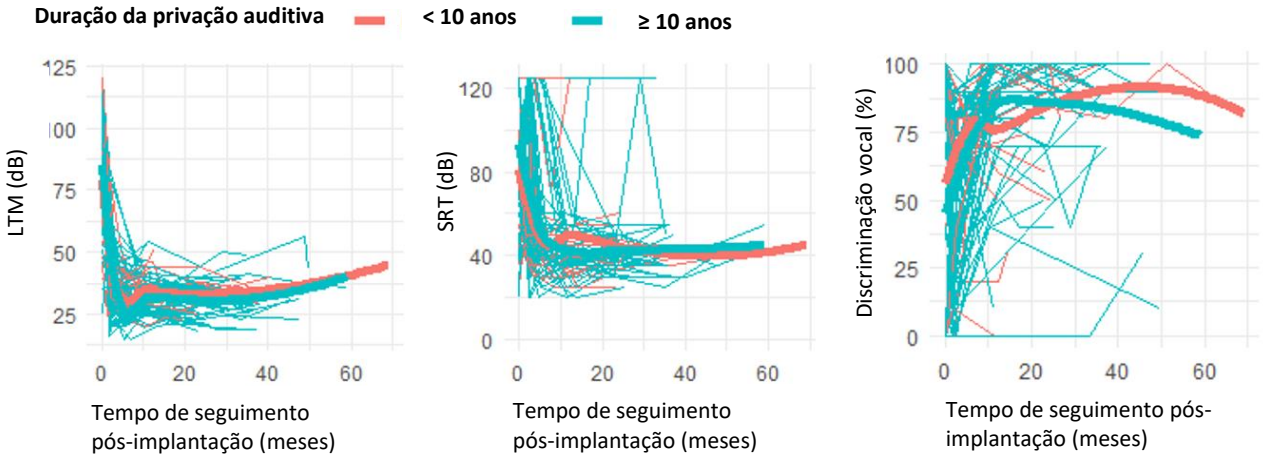

Figura 1. Trajetória longitudinal do LTM, SRT e discriminação vocal por grupo de duração da privação auditiva (< 10 anos vs ≥ 10 anos).

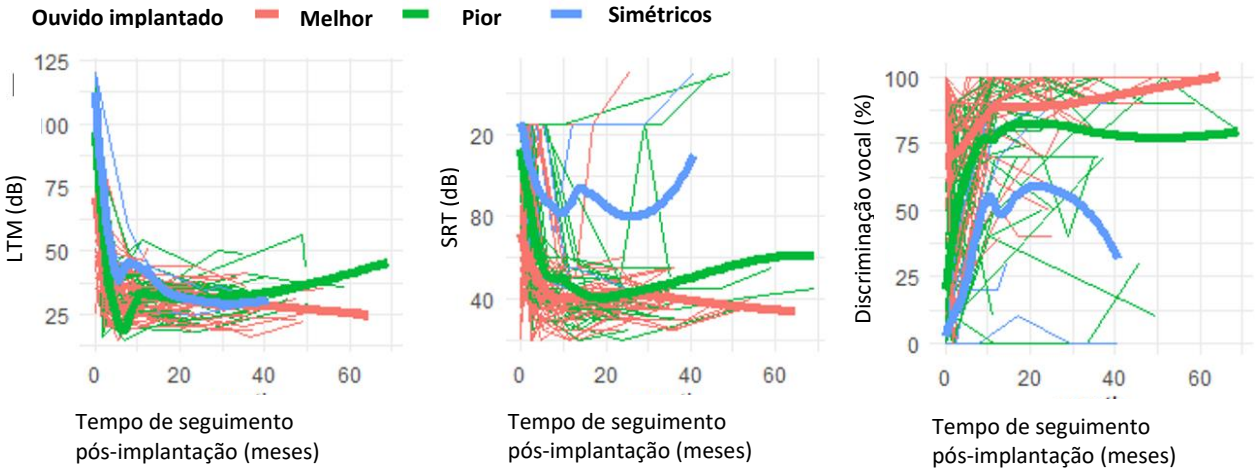

Figura 2. Trajetória longitudinal do LTM, SRT e discriminação vocal segundo o ouvido implantado.

Valores de SRT de 125 dB correspondem à imputação adotada para doentes sem resposta percetiva ao estímulo máximo, representativa de cofose, em conformidade com a prática validada na literatura.

Apêndice A. Classificação diagnóstica da perda auditiva segundo o BIAP

Classificação diagnóstica	Perda tonal auditiva (dB)
Audição Normal	≤ 20
Hipoacusia Ligeira	21 - 40
Hipoacusia Moderada (Grau I / Grau II)	41 - 55 / 56 - 70
Hipoacusia Severa (Grau I / Grau II)	71 - 80 / 81 - 90
Hipoacusia Profunda (Grau I / Grau II / Grau III)	91 - 100 / 101 - 110 / 111 - 119
Cofose	≥ 120

Apêndice B. Índice de variáveis recolhidas e operacionalização

	Tipo de variável	Valores que a variável pode assumir
Variáveis dependentes		
Seguimento Pós-Operatório: LTM	Numérica	
Seguimento Pós-Operatório: SRT	Numérica	
Seguimento Pós-Operatório: Discriminação vocal	Numérica	
Preditores: variáveis incluídas no LMM		
Idade ao Diagnóstico da Surdez	Numérica	
Idade ao Diagnóstico da Surdez estratificada	Categórica	Infância/Adolescência (0–18 anos); Adulto jovem/meia-idade (18–65 anos); Idosos (>65 anos)
Idade à Data da Cirurgia	Numérica	
Idade à Data da Cirurgia estratificada	Categórica	18–65 anos: Adulto jovem/meia-idade; >65 anos: Idosos
Duração da surdez	Numérica	
Duração da surdez estratificada	Categórica	≤10 anos; >10 anos
Percentagem de vida com surdez	Numérica	
Uso prévio de próteses auditivas	Categórica	Não; Unilateral; Bilateral
Anos de uso de próteses auditivas	Numérica	
Percentagem do tempo de surdez com próteses auditivas	Numérica	
Estado de estimulação auditiva à data da cirurgia	Categórica	Sim; Não
Etiologia da surdez estratificada	Categórica	Etiologia Desconhecida/ Idiopática; Etiologia Adquirida/ Ambiental; Etiologia Constitucional/ Sistémica
Ouvido implantado	Categórica	Melhor; Pior; Simétricos
Adesão ao Implante Coclear	Categórica	Uso adequado; Uso inadequado
Variáveis de caracterização descritiva		
Sexo	Categórica	Masculino; Feminino

Origem da referenciação	Categórica	Serviço de Urgência; Cuidados de Saúde Primários; Outras unidades hospitalares
Etiologias da surdez	Categórica	Otosclerose; Vascular; D. Ménière; Autoimune; Trauma acústico; Traumática; Ototóxica; Inflamatória/Infeciosa; Genética; Idiopática
Dinâmica e Modo de Instalação da Surdez	Categórica	Súbita; Progressiva
Idade ao Diagnóstico da Surdez	Numérica	
Idade ao Diagnóstico da Surdez estratificada	Categórica	Infância/Adolescência (0–18 anos); Adulto jovem/meia-idade (18–65 anos); Idosos (>65 anos)
Idade à Data da Cirurgia estratificada	Categórica	18–65 anos: Adulto jovem/meia-idade; >65 anos: Idosos
Duração da surdez	Numérica	
Duração da surdez estratificada †	Categórica	≤10 anos; >10 anos
Percentagem de vida com surdez †	Numérica	
Uso prévio de próteses auditivas †	Categórica	Não; Unilateral; Bilateral
Anos de uso de próteses auditivas †	Numérica	
Percentagem do tempo de surdez com próteses auditivas †	Numérica	
História Familiar	Categórica	Sim; Não
Consistência de utilização de aparelho auditivo prévio	Categórica	Utilizador consistente; Não utilizador
Antecedentes Cirúrgicos Otológicos	Categórica	Sim; Não
Lateralidade da Implantação	Categórica	Direito; Esquerdo
Sintomatologia Neurotológica (pré e pós-cirúrgica)	Categórica	Sim; Não
Categorização por marca	Categórica	Advanced Bionics; Med-El; Cochlear
Modo de uso de amplificação	Categórica	Bimodal; Unilateral
Tipologia de Feixes de Elétrodos	Categórica	Retos; Perimodiolares; Customizados
Técnica de inserção	Categórica	Janela redonda; Cocleostomia

† Variável recolhida independentemente para o ouvido implantado e para o ouvido contralateral.

Referências bibliográficas

1. Deafness and hearing loss (Internet). City: World Health Organization; página eletrónica; disponível em https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss. Consultado pela última vez a 08/09/2025.
2. Watkinson JC, Clarke RW. Scott Brown´s Otorhinolaryngology and Head and Neck Surgery, 8th Edition: CRC Press; 2018 July 2018.
3. Kral A, Kronenberger WG, Pisoni DB, O'Donoghue GM. Neurocognitive factors in sensory restoration of early deafness: a connectome model. Lancet Neurol. 2016;15(6):610-21.
4. Sorrentino F, Gheller F, Lunardi G, et al. Cochlear implantation in adults with auditory deprivation: What do we know about it? Am J Otolaryngol. 2020;41(2):102366.
5. Kelly R, Tinnemore AR, Nguyen N, Goupell MJ. On the Difficulty of Defining Duration of Deafness for Adults With Cochlear Implants. Ear Hear. 2025;46(5):1125-9.
6. Casanova MJ, Castro A, Lino JV, Bernardes C, Magalhães A, Meireles L. Cochlear implant: factors that impact hearing outcomes. International Journal of Otorhinolaryngology and Head and Neck Surgery. 2023;9(9):693-6.
7. Peterson DC, Reddy V, Launico MV, Hamel RN. Neuroanatomy, Auditory Pathway. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing
Copyright © 2025, StatPearls Publishing LLC.; 2025.
8. Watkinson JC, Clarke RW. Scott-Brown´s Otorhinolaryngology and Head and Neck Surgery, Eighth Edition2018 July 2018.
9. Lenarz T. . Cochlear implant – state of the art. GMS Curr Top Otorhinolaryngol Head Neck Surg 2017.
10. Watkinson JC, Clarke RW. Scott-Brown´s Otorhinolaryngology and Head and Neck Surgery, Eighth Edition2018.
11. Watkinson JC, Clarke RW. Scott-Brown's Otorhinolaryngology and Head and Neck Surgery, Eighth Edition: CRC Press; 2018. 671 - 83 p.
12. Direção-Geral da Saúde. Tratamento da Surdez com Implantes Cocleares no Adulto (Norma 006/2016). Saúde DGd, editor2016.
13. Carlson ML. Cochlear Implantation in Adults. N Engl J Med. 2020;382(16):1531-42.
14. Sun Z, Seo JW, Park HJ, et al. Cortical reorganization following auditory deprivation predicts cochlear implant performance in postlingually deaf adults. Hum Brain Mapp. 2021;42(1):233-44.
15. Moon IS, Park S, Kim HN, et al. Is there a deafness duration limit for cochlear implants in post-lingual deaf adults? Acta Otolaryngol. 2014;134(2):173-80.
16. Bernhard N, Gauger U, Romo Ventura E, et al. Duration of deafness impacts auditory performance after cochlear implantation: A meta-analysis. Laryngoscope Investig Otolaryngol. 2021;6(2):291-301.

17. Savvas E, Heslinga K, Sundermann B, et al. Prognostic factors in cochlear implantation in adults: Determining central process integrity. Am J Otolaryngol. 2020;41(3):102435.
18. Migirov L, Taitelbaum-Swead R, Drendel M, Hildesheimer M, Kronenberg J. Cochlear implantation in elderly patients: surgical and audiological outcome. Gerontology. 2010;56(2):123-8.
19. Honeder C, Gadenstaetter AJ, Liepins R, et al. Long-Term Results of Cochlear Implantation in Single-Sided Deaf Patients: Influence of Duration of Deafness and Age at Onset of Deafness. Otol Neurotol. 2025;46(3):279-86.
20. Archbold S. LB, & De Raeve L. International consensus statement on adult cochlear implantation: Global guidelines on standards of care. Cochlear Implant International Community of Action (CIICA) & European Association of Cochlear Implant Users (EURO-CIU). 2020.
21. Tsai Do BS, Bush, M.L., Weinreich, H.M., Schwartz, S.R., Anne, S., Adunka, O.F., Bender, K., Bold, K.M., Brenner, M.J., Hashmi, A.Z., Keenan, T.A., Kim, A.H., Moore, D.J., Nieman, C.L., Palmer, C.V., Ross, E.J., Steenerson, K.K., Zhan, K.Y., Reyes, J., Dhepyasuwan, N. Clinical Practice Guideline: Age-Related Hearing Loss. Otolaryngology–Head and Neck Surgery 170. 2024.
22. Ma C, Fried J, Nguyen SA, et al. Longitudinal Speech Recognition Changes After Cochlear Implant: Systematic Review and Meta-analysis. Laryngoscope. 2023;133(5):1014-24.
23. Green KMJ, Bhatt YM, Mawman DJ, et al. Predictors of audiological outcome following cochlear implantation in adults. Cochlear Implants International. 2007;8(1):1-11.
24. Minosse S, Garaci F, Martino F, et al. Global and local brain connectivity changes associated with sudden unilateral sensorineural hearing loss. NMR Biomed. 2021;34(8):e4544.
25. Li YT, Bai K, Li GZ, et al. Functional to structural plasticity in unilateral sudden sensorineural hearing loss: neuroimaging evidence. Neuroimage. 2023;283:120437.
26. Patro A, Lindquist NR, Holder JT, et al. Further Evidence for Individual Ear Consideration in Cochlear Implant Candidacy Evaluation. Otol Neurotol. 2022;43(9):1033-40.
27. DeFreese AJ, Lindquist NR, Shi L, et al. The Impact of Daily Processor Use on Adult Cochlear Implant Outcomes: Reexamining the Roles of Duration of Deafness and Age at Implantation. Otol Neurotol. 2023;44(7):672-8.
28. Adunka OF, Gantz BJ, Dunn C, Gurgel RK, Buchman CA. Minimum Reporting Standards for Adult Cochlear Implantation. Otolaryngol Head Neck Surg. 2018;159(2):215-9.
29. Li MM, Tayoun AA, DiStefano M, et al. Clinical evaluation and etiologic diagnosis of hearing loss: A clinical practice resource of the American College of Medical Genetics and Genomics (ACMG). Genetics in Medicine. 2022;24(7):1392-406.
30. Cusumano C, Friedmann DR, Fang Y, Wang B, Roland JT, Jr., Waltzman SB. Performance Plateau in Prelingually and Postlingually Deafened Adult Cochlear Implant Recipients. Otol Neurotol. 2017;38(3):334-8.
31. Esmaelpoor J, Peng T, Jelfs B, Mao D, Shader MJ, McKay CM. Dynamic functional connectivity following cochlear implantation: Predicting speech outcomes and exploring brain network dynamics. Proc Natl Acad Sci U S A. 2025;122(51):e2505086122.

32. Sandmann P, Plotz K, Hauthal N, de Vos M, Schönfeld R, Debener S. Rapid bilateral improvement in auditory cortex activity in postlingually deafened adults following cochlear implantation. Clin Neurophysiol. 2015;126(3):594-607.
33. Medina MDM, Polo R, Gutierrez A, et al. Cochlear Implantation in Postlingual Adult Patients With Long-Term Auditory Deprivation. Otol Neurotol. 2017;38(8):e248-e52.
34. Buchman CA, Gifford RH, Haynes DS, et al. Unilateral Cochlear Implants for Severe, Profound, or Moderate Sloping to Profound Bilateral Sensorineural Hearing Loss: A Systematic Review and Consensus Statements. JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery. 2020;146(10):942-53.
35. Han JH, Lee HJ, Kang H, Oh SH, Lee DS. Brain Plasticity Can Predict the Cochlear Implant Outcome in Adult-Onset Deafness. Front Hum Neurosci. 2019;13:38.
36. Birman CS, Hassarati RT. Cochlear Implant Adult Speech Perception Outcomes: Seniors Have Similar Good Outcomes. Otol Neurotol. 2023;44(5):438-46.
37. Shen S, Sayyid Z, Andresen N, et al. Longitudinal Auditory Benefit for Elderly Patients After Cochlear Implant for Bilateral Hearing Loss, Including Those Meeting Expanded Centers for Medicare & Medicaid Services Criteria. Otol Neurotol. 2023;44(9):866-72.
38. Amini AE, Naples JG, Hwa T, et al. Emerging Relations among Cognitive Constructs and Cochlear Implant Outcomes: A Systematic Review and Meta-Analysis. Otolaryngol Head Neck Surg. 2023;169(4):792-810.

INSTITUTO DE **CIÊNCIAS BIOMÉDICAS ABEL SALAZAR**